

Relatie tussen extreme neerslag en atmosferische circulatie

Claudia Brauer

KNMI Intern rapport; IR 2007-01

De Bilt, 2007

PO Box 201
3730 AE De Bilt
Wilhelminalaan 10
De Bilt

<http://www.knmi.nl>
Telefoon +31(0)30-220 69 11
Telefax +31(0)30-221 04 07

Auteur: Brauer, C. [Wageningen Universiteit]



Relatie tussen extreme neerslag en atmosferische circulatie

Claudia Brauer

Januari 2007

Voorwoord

Dit verslag is het eindresultaat van een afstudeeronderzoek dat ik heb gedaan bij het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut in de Bilt als een onderdeel van mijn masteropleiding Hydrologie en Waterkwaliteit aan Wageningen Universiteit.

Ik wil mijn KNMI-begeleiders Aart Overeem en Iwan Holleman bedanken voor de goede raad die ze me tijdens mijn onderzoek hebben gegeven. Zij zijn degenen die nieuwe ideeën aangedragen hebben wanneer ik vastliep en kritisch naar mijn bevindingen hebben gekeken. Ook wil ik Remko Uijlenhoet en Paul Torfs, mijn begeleiders op de universiteit, bedanken voor hun tijd en aandacht.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Gegevens	3
2.1	Neerslaggegevens	3
2.2	Windgegevens	4
2.3	p27-gegevens	5
2.3.1	Beschrijving p27-index	5
2.3.2	Gegevens p27-index	7
3	Trendonderzoek	9
3.1	Introductie	9
3.2	Theorie nonparametrische test van Kendall	9
3.3	Reeksen die op trends zijn onderzocht	10
3.4	Uitkomsten nonparametrische test van Kendall	11
3.4.1	Trends in neerslag	11
3.4.2	Trends in wind	11
3.4.3	Trends in reeksen van de p27-index	12
3.5	Conclusie en discussie	13
4	Extreme neerslag	15
4.1	Introductie	15
4.2	Kans op uursom >5 en >10 mm	15

4.3	Verschillen in extreme neerslag tussen stations	15
4.4	Verdeling extreme neerslag over het jaar	16
4.5	Conclusie en discussie	17
5	Relatie tussen extreme neerslag en wind	19
5.1	Introductie	19
5.2	Windrichting	20
5.2.1	Kans op een bepaalde windrichting	20
5.2.2	Kans op uursom >5 en >10 mm per windrichting	20
5.2.3	Concentration factor per windrichting	21
5.3	Windsnelheid	25
5.3.1	Kans op een bepaalde windsnelheidsklasse	25
5.3.2	Kans op uursom >5 en >10 mm per windsnelheidsklasse	25
5.4	Conclusie en discussie	26
6	Relatie tussen extreme neerslag en de p27-index	29
6.1	Introductie	29
6.2	Score 1	29
6.2.1	Introductie	29
6.2.2	Kans op een bepaalde categorie van score 1	29
6.2.3	Kans op uursom >5 en >10 mm per categorie van score 1	30
6.2.4	Concentration factor per categorie van score 1	31
6.3	Score 2	33
6.3.1	Introductie	33
6.3.2	Kans op een bepaalde categorie van score 2	33
6.3.3	Kans op uursom >5 en >10 mm per categorie van score 2	34
6.3.4	Concentration factor per categorie van score 2	34
6.4	Score 3	36
6.4.1	Introductie	36

6.4.2	Kans op een bepaalde categorie van score 3	36
6.4.3	Kans op uursom >5 en >10 mm per categorie van score 3	37
6.4.4	Concentration factor per categorie van score 3	37
6.5	Conclusie en discussie	38
7	Extreme-waardenstatistiek	41
7.1	Introductie	41
7.2	Theorie extreme-waardenstatistiek	42
7.2.1	Theorie GEV-verdeling	42
7.2.2	Parameterschatting met L-momenten	43
7.2.3	Standaarddeviatie parameters	44
7.2.4	Theorie regenduurlijnen	45
7.2.5	Omrekening van klokuur naar willekeurig uur	46
7.3	GEV-verdelingen: vooronderzoek	46
7.4	GEV-verdelingen van alle jaarmaxima ($D=1$ uur)	47
7.5	GEV-verdelingen met $D=1$ uur	49
7.6	GEV-verdelingen met $D=24$ uur	50
7.7	GEV-verdelingen met $D \geq 1$ uur	51
7.8	Regenduurlijnen	52
7.9	Discussie	53
8	Conclusie en aanbevelingen	59
8.1	Conclusie	59
8.2	Aanbevelingen	61
A	Overige figuren en tabellen	v

Hoofdstuk 1

Inleiding

In het verleden is veel onderzoek gedaan naar de relatie tussen neerslag en atmosferische circulatie. Er is in veel studies aangetoond dat er inderdaad een verband is, maar hoe (extreme) neerslag en circulatie zich tot elkaar verhouden hangt van vele factoren af. Eén van de factoren is de beschouwde locatie. Urstnul [28] en Twardosz [27] beweren dat in Polen extreme neerslag vanuit het noorden aangevoerd wordt, terwijl in Groot-Brittannië de neerslag uit het zuidwesten komt [21].

Bij de meeste onderzoeken wordt gekeken naar dagsommen van de neerslag of zelfs maandsommen [30]. Extreme uursommen kunnen echter het gevolg zijn van andere processen dan extreme dagsommen en kunnen dus een heel ander verband hebben met de luchtstromingen. In deze studie worden vooral extreme uursommen onderzocht, maar ook sommen over meerdere uren worden geanalyseerd.

De extreme uurneerslagen hebben niet alleen een ander karakter dan extreme dagneerslagen of meerdaagse sommen; ze hebben ook andere gevolgen. Bij extreme uursommen is de neerslagintensiteit hoog, waardoor het water niet goed afgevoerd kan worden, met overstromingen tot gevolg. Ook komen deze intensieve buien vooral voor in de zomer, wanneer bodem, grondwater en oppervlaktewater in een andere toestand verkeren. Naast wetenschappelijke interesse is het met name voor het stedelijk waterbeheer van belang om de relatie tussen extreme neerslag en atmosferische circulatie te onderzoeken. In versteedelijkte gebieden is een grote hoeveelheid water in korte tijd een probleem door de snelle afvoer [24].

De hoofdvraag in dit onderzoek luidt: *Wat is het verband tussen extreme neerslag en atmosferische circulatie?* Bij deze onderzoeksvraag zijn verschillende deelvragen gesteld:

- Wat is de kans op extreme neerslag bij een bepaalde windrichting of windsnelheid?
- Wat is de kans op extreme neerslag bij een bepaalde circulatie-index?
- Varieert het type circulatie dat de meeste neerslag veroorzaakt per seizoen?

- Vertonen extreme neerslag, wind en circulatie-index een trend in de tijd?.

Na een korte beschrijving van de gebruikte gegevens wordt in hoofdstuk 3 onderzocht of er trends aanwezig zijn in de data. Daarna wordt de frequentie en seizoensvariatie van neerslagextremen onderzocht in hoofdstuk 4. Vervolgens worden er verbanden gezocht tussen de neerslagextremen en de windsnelheid (hoofdstuk 5.2), windrichting (hoofdstuk 5.3) en de verschillende scores van de hier gebruikte circulatie-index, de p27-index (hoofdstuk 6). Hierbij worden frequenties, overschrijdingsfrequenties en concentration factors (een maat voor de intensiteit) berekend. In hoofdstuk 7 worden met extreme-waardenstatistiek GEV-verdelingen en regenduurlijnen berekend, waarbij gezocht wordt naar de invloed van wind en p27-index op de neerslaghoeveelheid en frequentie. Tot slot volgen conclusies en aanbevelingen.

Hoofdstuk 2

Gegevens

2.1 Neerslaggegevens

De neerslagreeksen zijn afkomstig van 12 stations in Nederland, te weten Beek (Be), De Bilt (Bi), Eelde (Ee), Gilze-Rijen (Gi), De Kooy (Ko), Leeuwarden (Le), Schiphol (Sc), Twente (Tw), Valkenburg (Va), Vlissingen (Vl), Volkel (Vo) en Zestienhoven (Ze). De locaties van de stations zijn weergegeven in figuur 2.1. Van deze stations zijn neerslagsommen van elk klokuur beschikbaar in tienden van millimeters nauwkeurig.

De lengte van de neerslagreeksen varieert van 29 jaar (Gi) tot 100 jaar (Bi) (zie tabel 2.1). Bijna alle reeksen zijn compleet. Omdat in sommige berekeningen gebruik is gemaakt van jaarmaxima, zijn incomplete jaren geheel buiten beschouwing gelaten. De waarden van 1945 in De Bilt, 1981 in Leeuwarden en 1982 in Valkenburg ontbreken.

De neerslag is tot in de jaren tachtig of negentig gemeten met een pluviograaf, waarbij het regenwater werd opgevangen in een reservoir en de hoogte van de waterstand in het reservoir op een strook papier werd getekend. Daarna zijn de pluviografen vervangen door elektrische regenmeters, die m.b.v. de verplaatsing van een vlotter in het reservoir de neerslag automatisch meten [16].

De som van de uursommen van 8 UTC tot 8 UTC van de automatische regenmeters zijn door Buishand [2] en Overeem et al. [22] vergeleken met de met de hand gemeten dagsommen en aangepast zodat de dagsommen van beide regenmeters gelijk zijn. Er is echter wel een kleine fout gemaakt doordat vanaf midden jaren negentig de handregenmeter en automatische regenmeter enkele kilometers uit elkaar staan.

Tabel 2.1: Gebruikte regenmeters, hun locatie en reekslengte.

Station	Afkorting	Lengte P-reeks	Breedtegraad (° NB)	Lengtegraad (° OL)	Hoogte (m +NAP)
Beek	Be	1958 - 2005	50.92	5.78	114
De Bilt	Bi	1906 - 2005	52.10	5.18	2
Eelde	Ee	1957 - 2005	52.92	4.79	0
Gilze-Rijen	Gi	1977 - 2005	53.12	6.59	4
De Kooy	Ko	1957 - 2005	51.57	4.93	11
Leeuwarden	Le	1975 - 2005	53.22	5.75	0
Schiphol	Sc	1971 - 2005	52.30	4.77	-4
Twente	Tw	1975 - 2005	52.27	6.90	35
Valkenburg	Va	1973 - 2005	52.18	4.42	0
Vlissingen	Vl	1957 - 2005	51.44	3.60	8
Volkel	Vo	1975 - 2005	51.66	5.71	20
Zestienhoven	Ze	1974 - 2005	51.95	4.44	-5

2.2 Windgegevens

Uurgemiddelde windrichting (WR) en windsnelheid (WS) zijn gemeten op dezelfde 12 stations. Afkortingen die in dit verslag veel gebruikt worden staan in tabel A.1. De WS is gemeten in tienden van meters per seconde nauwkeurig en de WR in tien graden nauwkeurig.

De WR is nog onderverdeeld in negen klassen: acht windrichtingen en klasse X. In klasse X zitten de uren waarop het niet of nauwelijks woei en de uren met variabele windrichting. De WS is verdeeld in acht klassen die evenveel voorkomen (zie tabel 2.3).

De lengte van de windreeksen varieert van 24 jaar (Va) tot 57 jaar (Sc). De lengte van de gezamenlijke reeks van neerslag (P) en wind (W) varieert van 24 (Va) tot 46 jaar (Vl).

De WR is gemeten met een windvaan: een metalen instrument dat met de wind meedraait en waarvan de hoek wordt gemeten. De WS werd gemeten met een cupanemometer, die het aantal omwentelingen per seconden telt. Door kalibratie van de anemometer is het verband tussen het aantal omwentelingen per seconde en de windsnelheid bekend en kan de WS berekend worden [16].



Figuur 2.1: Ligging van de stations waarop neerslag, windrichting en windsnelheid gemeten zijn.

2.3 p27-gegevens

2.3.1 Beschrijving p27-index

De p27-index is één van de vele manieren om de atmosferische circulatie te classificeren. Zo zijn er de classificaties van Lamb en Jenkinson (Groot-Brittanië), Kirchhofer (West-Europa), Lund (Noord-Amerika), Von Beber en Köppen en het Grosswetterlagensystem van Hess en Brezowsky (West- en Centraal-Europa) [17]. Ook de Noord Atlantische Circulatie index is een veelgebruikte manier om de stroming in de atmosfeer te classificeren.

Eén van de voordelen van de p27-index is dat deze index objectief is en automatisch berekend kan worden, in tegenstelling tot bijvoorbeeld de classificaties van Lamb [19], Lund [20], Kirchhofer [15] of het Grosswetterlagensystem [6]. Bij deze classificatiemethoden spelen synoptische waarnemingen, waaronder ook de neerslag, een rol bij het bepalen van de

Tabel 2.2: Periode waarin wind gemeten is (kolom 2) en waarin zowel wind als neerslag gemeten is (kolom 3).

Station	Periode W	Periode W en P
Beek	1962 - 2006	1962 - 2005
De Bilt	1961 - 2006	1961 - 2005
Eelde	1961 - 2006	1961 - 2005
Gilze-Rijen	1961 - 2006	1977 - 2005
De Kooy	1973 - 2005	1973 - 2005
Leeuwarden	1962 - 2006	1975 - 2005
Schiphol	1951 - 2006	1971 - 2005
Twente	1969 - 2005	1975 - 2005
Valkenburg	1983 - 2005	1983 - 2005
Vlissingen	1959 - 2006	1959 - 2005
Volkel	1971 - 2005	1975 - 2005
Zestienhoven	1962 - 2006	1974 - 2005

klassen. Als men vervolgens de neerslag gaat vergelijken met zo'n classificatie, kan men er niet vanuit gaan dat een gevonden verband inderdaad een verband is tussen circulatie en neerslag. De overeenkomst kan namelijk ook veroorzaakt zijn doordat de klasse-indeling mede bepaald wordt door het optreden van neerslag. Buishand en Brandsma [3] beweren dat de p27-classificatie t.o.v. de meer subjectieve classificatie van Jenkinson en het Grosswetterlagensystem een goede classificatiemethode is.

Volgens Kruizinga [17] is de p27-index ook erg geschikt voor gebruik in de werkamer. De drie scores waar de index op gebaseerd is, hebben een duidelijke fysische betekenis. De eerste score (Sc1) stelt de zonale component voor (oost - west), de tweede (Sc2) de meridionale (noord - zuid) en de derde (Sc3) de cyclonale (cyclonaal - anticyclonaal) component. In tabel 2.5 staat de betekenis van de scores weergegeven.

De scores worden berekend aan de hand van de (modelberekeningen van de) hoogten van het 500 hPa-vlak ($h_{500\text{ hPa}}$) op 36 gridpunten rondom Nederland. De gridpunten liggen 10 lengtegraden en 5 breedtegraden uit elkaar, van 40 tot 65 ° NB en van 20 ° WL tot 30 ° OL. Om de invloed van seizoensvariatie te beperken, wordt van deze 36 hoogten de gemiddelde hoogte (over deze 36 punten) afgetrokken ($h_{500\text{ hPa}} - h_{500\text{ hPa}, gem}$). De combinatie van de 36 punten van $h_{500\text{ hPa}} - h_{500\text{ hPa}, gem}$ wordt het hoogtepatoon genoemd. De afstand tussen twee patronen wordt berekend met behulp van de Euclidische afstand tussen de 2 vectoren met 36 elementen of met de correlatiecoëfficiënt (r als maat van gelijkheid en $(1 - r)$ als maat van afstand). Bij de afstand kan ook een variantie berekend worden. Vervolgens kunnen met een aangepaste vorm van Principal Component Analysis (PCA) de eerste drie componenten worden berekend, die samenhangen met zonaliteit, meridionaliteit en cyclonaliteit [13]. De principal components worden vermenigvuldigd met een score (amplitude) om een patroon te beschrijven. Deze drie scores worden onderverdeeld in drie

Tabel 2.3: Indeling van windrichting in klassen.

Klasse	Windrichting (°)
N	337.5 - 22.5
NO	22.5 - 67.5
O	67.5 - 112.5
ZO	112.5 - 157.5
Z	157.5 - 202.5
ZW	202.5 - 247.5
W	247.5 - 292.5
NW	292.5 - 337.5
X	geen of variabele wind

Tabel 2.4: Indeling klassen windsnelheid. De klassegrenzen zijn zo gekozen dat elke klasse ongeveer evenveel waarnemingen heeft.

Klasse	Windsnelheid (m/s)
1	0-1.9
2	1.9 - 2.8
3	2.8 - 3.5
4	3.5 - 4.4
5	4.4 - 5.3
6	5.3 - 6.5
7	6.5 - 8.2
8	> 8.3

intervallen, waardoor 3^3 combinaties ontstaan: de 27 klassen van p27 (zie bijlage A.2). [18]

2.3.2 Gegevens p27-index

Van de p27-index zijn de waardes van drie scores gebruikt (Sc1, Sc2, Sc3). Per dag is er één waarde voor elke score en klasse beschikbaar die geldt voor heel Nederland. De p27-reeks loopt van 1961 tot en met 2005 (45 jaar). De gezamenlijke reeks van P en p27 is minimaal 29 jaar (Gi) en maximaal 45 jaar (Be, Bi, Ee, Ko, Vl) (zie tabel 2.6).

Zoals vermeld in paragraaf 2.3.1, zijn de hoogten van het 500 hPa-vlak op de 36 gridpunten de basis voor de p27-scores. Met een reanalysis model (het ERA-40 model van ECMWF) zijn de p27-scores van 1961 tot en met 2000 achteraf berekend. De p27-scores van 2001 tot en met 2005 zijn berekend met de analysis van het op dat moment operationele model van ECMWF.

Tabel 2.5: Indeling van p27 scores in categorieën en betekenis van de p27-scores.

	Score 1	Score 2	Score 3
A	$Sc1 < -1.08$	$Sc2 < -0.35$	$Sc3 < -0.50$
B	$-1.08 < Sc1 < -0.66$	$-0.35 < Sc2 < 0.50$	$-0.50 < Sc3 < 0.40$
C	$Sc1 > 0.66$	$Sc2 > 0.50$	$Sc3 > 0.40$
Kenmerk	zonaliteit	meridionaliteit	cyclonaliteit
Lage score	sterk westelijk	noordelijk	anticyclonaal
Hoge score	zwak oostelijk	zuidelijk	cyclonaal

Tabel 2.6: Periode waarin zowel neerslaggegevens als p27-gegevens beschikbaar zijn.

station	periode P en p27
Beek	1962 - 2005
De Bilt	1961 - 2005
Eelde	1961 - 2005
Gilze-Rijen	1977 - 2005
De Kooy	1961 - 2005
Leeuwarden	1975 - 2005
Schiphol	1971 - 2005
Twente	1975 - 2005
Valkenburg	1973 - 2005
Vlissingen	1961 - 2005
Volkel	1975 - 2005
Zestienhoven	1974 - 2005

Hoofdstuk 3

Trendonderzoek

3.1 Introductie

De in dit onderzoek gebruikte extreme-waardenverdeling veronderstelt dat de gebruikte neerslagmaxima stationair zijn. Daarom wordt in dit hoofdstuk met behulp van de non-parametrische test van Kendall onderzocht of dit verondersteld mag worden.

Bij het vergelijken van de stations onderling kan, wanneer er sprake is van een trend, een fout worden gemaakt doordat niet alle stations een even lange reeks gegevens hebben. Als bijvoorbeeld P toeneemt met de tijd, zullen op een station met een reeks die laat begint gemiddeld hogere extremen gemeten worden dan op een station met een reeks die eerder begint. Hierdoor kunnen verschillen tussen stations ten onrechte toegeschreven worden aan verschillen in locatie en meetmethode.

3.2 Theorie nonparametrische test van Kendall

Een veel gebruikte methode om trends in data te detecteren is de nonparametrische test van Kendall, ook wel Kendall's tau test genoemd [14]. Zo gebruikt Gallego et al. [5] hem voor het onderzoeken van trends in de fase van de winterse Noord Atlantische Oscillatie en Trigo en DaCamarra [25] voor het onderzoeken van de variatie van de neerslag die in de maand maart valt. Hundecha [11] gebruikt de nonparametrische test voor het toetsen van extreme dagneerslagen en temperaturen op trends.

Vautard et al. [29] beschrijven de nonparametrische test van Kendall. Bij deze test wordt een datareeks voorgesteld als een vector met n elementen. De getallen worden gerangschikt in de tijd. Van de n elementen wordt elke combinatie van twee elementen bekeken, in totaal $\frac{1}{2}n(n-1)$ combinaties. Elk getal in de vector heeft een index (het rijnummer, de plaats van het element in de vector), die oploopt van 1 tot en met n . K_r is het aantal maal dat

het getal van het element met de hogere index groter is dan het getal met de lagere index. Als er geen trend is, zal in de helft van de gevallen de hogere index een hogere waarde van x hebben, dus in $\frac{1}{4}n(n-1)$ gevallen. Het quotiënt van K_r en de waarde die K_r zou hebben wanneer er geen trend zou zijn, is de basis van Kendall's τ . Om de waarde van τ om nul te laten schommelen wordt van het quotiënt 1 afgetrokken.

$$\tau = \frac{4 K_r}{n(n-1)} - 1 \quad (3.1)$$

De waarde van τ kan alle waarden tusschen -1 en 1 aannemen en is bij benadering normaal verdeeld rond 0. De standaarddeviatie van τ wordt gegeven door:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}} \quad (3.2)$$

De gebruikte nulhypothese en alternatieve hypothese zijn:

- H_0 : geen trend in de reeks
- H_1 : wel een trend in de reeks

Om H_1 met een significantieniveau van 5% aan te tonen, moet τ lager dan $-1.96 \cdot \sigma$ of hoger dan $+1.96 \cdot \sigma$ zijn. Wanneer τ hoger (lager) is dan $+1.96 \cdot \sigma$ ($-1.96 \cdot \sigma$), is er sprake van een positieve (negatieve) trend [29].

3.3 Reeksen die op trends zijn onderzocht

De reeksen van P, WS en p27-scores (Sc1, Sc2 en Sc3) zijn onderzocht op trends. Door de verschillende beschikbaarheid van de grootheden (zie tabellen 2.1, 2.2 en 2.6) zijn er verschillende reeksen van één grootheid. Zo kan Sc2 onderzocht worden door de Sc2-waardes uit de jaarmaxima te toetsen, maar ook de Sc2 die horen bij P5 (de reeks met neerslagsommen van meer dan 5 mm, zie tabel A.1). In tabel 3.1 staat vermeld welke grootheid uit welke datareeks getoetst is. Jaarmaxima van de jaren waarvan zowel neerslag- als p27-gegevens zijn, zijn berekend over verschillende duren, namelijk 1, 2, 4, 8, 12 en 24 uur en deze reeksen zijn allen onderzocht op trends.

Tabel 3.1: Reeksen van neerslag, wind en p27-index die op trends zijn onderzocht.

Gebruikte dataset		P5	P5	P5	P10	P10	P10	JM	JM	alle
		+W	+p27		+W	+p27	+W	+p27	p27	
Getoetste grootheden	P	X			X			X	X	
	W		X			X		X		
	p27			X			X		X	X

3.4 Uitkomsten nonparametrische test van Kendall

3.4.1 Trends in neerslag

Voor de meeste neerslagreeksen kan geen trend worden aangetoond (zie tabel 3.2). De 1uur-jaarmaxima van station Vo (voor de jaren waarin er ook p27-gegevens beschikbaar zijn) vertonen een positieve trend. Van de jaarmaxima van neerslagsommen langer dan een uur vertonen alleen Eelde, Schiphol, Valkenburg en Volkel in sommige gevallen een positieve trend. De reeks van P5 van Be heeft een negatieve trend. Beide trends zijn niet sterk; de waarden van τ liggen vlakbij de grens van het kritieke gebied.

De afwezigheid van trends is het belangrijkste bij de jaarmaxima van de neerslag omdat deze in hoofdstuk 7 gebruikt worden bij het schatten van de parameters van GEV-verdelingen en regenduurlijnen. Aangezien er bij 10 van de (10 stations \cdot 6 duren =) 70 reeksen een trend aangetoond is, kan niet worden gezegd dat de jaarmaxima geheel trendloos zijn. Maar omdat bij het grootste deel van de reeksen geen trend is aangetoond, wordt aan de voorwaarde van stationairiteit redelijk voldaan en is het mogelijk om met deze jaarmaxima GEV-parameters te schatten.

3.4.2 Trends in wind

Het aantonen van trends in de windrichting is lastig, aangezien de WR in graden wordt gemeten. Wanneer de wind ruimt van 360 naar 10 graden zal dit bij de nonparametrische test van Kendall als krimpen worden geteld, wat zorgt voor een fout in de berekening. De test van Kendall is dus niet geschikt voor het onderzoeken van trends in de windrichting en dit is hier dan ook niet onderzocht.

In tabel 3.3 staan de resultaten van de nonparametrische test van Kendall. De windsnelheid vertoont in de reeks van P5 op vier stations een negatieve trend (Gi, Le, Va, Ze). Voor P10 heeft alleen Le een negatieve trend. Voor de windsnelheden die horen bij de jaarmaxima van de neerslag is voor geen enkel station een trend gevonden

Tabel 3.2: Gevonden trends in de reeksen van extreme neerslag.

Station	τ	σ	Onder- grens	Boven- grens	Gebruikte data	Positieve / negatieve trend
Be	-0.062	0.029	-0.056	0.056	P5	negatief
Vo	0.265	0.127	-0.248	0.248	JM(P+p27)-1u	positief
Sc	0.311	0.188	-0.232	0.232	JM(P+p27)-4u	positief
Vo	0.260	0.127	-0.248	0.248	JM(P+p27)-4u	positief
Sc	0.311	0.188	-0.232	0.232	JM(P+p27)-8u	positief
Va	0.262	0.124	-0.244	0.244	JM(P+p27)-8u	positief
Sc	0.351	0.188	-0.232	0.232	JM(P+p27)-12u	positief
Va	0.331	0.124	-0.244	0.244	JM(P+p27)-12u	positief
Ee	0.206	0.103	-0.202	0.202	JM(P+p27)-24u	positief
Sc	0.311	0.118	-0.232	0.232	JM(P+p27)-24u	positief
Va	0.371	0.124	-0.244	0.244	JM(P+p27)-24u	positief

Tabel 3.3: Gevonden trends in de reeksen van windsnelheid.

Station	τ	σ	Onder- grens	Boven- grens	Gebruikte data	Positieve / negatieve trend
WS Gi	-0.076	0.036	-0.070	0.070	P5	negatief
WS Le	-0.118	0.035	-0.068	0.068	P5	negatief
WS Va	-0.165	0.038	-0.074	0.074	P5	negatief
WS Ze	-0.112	0.033	-0.046	0.064	P5	negatief
WS Le	-0.173	0.086	-0.169	0.169	P10	negatief

3.4.3 Trends in reeksen van de p27-index

In tabel 3.4 staan de trends die aangetoond zijn voor de p27 scores. Zoals in paragraaf 2.3.2 is vermeld, is er van de p27-index één waarde voor heel Nederland per dag beschikbaar. De stationsnamen in tabel 3.4 geven aan dat het gaat om de p27-score die is gemeten op de dag dat er een hoge neerslag gemeten is op een bepaald station.

Er zijn in 11 van de (3 scores · 12 stations · 3 soorten datareeksen (P5, P10, JM) =) 111 gevallen trends aangetoond voor de p27-scores. De waarden van Sc1 behorende bij P5 vertonen een negatieve trend bij Bi en juist een positieve bij Ee. In Sc2 is voor de P5-uren een positieve trend aangetoond voor station Tw, en voor de P10-uren voor Tw en Ko. In de P5-reeks is voor 5 stations een negatieve trend gevonden voor Sc3. Station Gi vertoont een trend in Sc3 voor alle reeksen: de P5-data, P10 en de JM.

Ook is de gehele reeks van p27-scores onderzocht op trends. Deze reeks bevat alle dagen van 1961 tot en met 2005. Uit deze toets blijkt, dat er voor de gehele reeks een negatieve

trend aangetoond is voor Sc1 en Sc3 en een positieve trend voor Sc2.

Tabel 3.4: Gevonden trends in p27-scores.

p27-score	Station	τ	σ	Onder-grens	Boven-grens	Gebruikte data	Positieve / negatieve trend
Sc1	Ee	0.072	0.031	-0.061	0.061	P5	positief
Sc1	Bi	-0.073	0.029	-0.056	0.056	P5	negatief
Sc1	alle	-0.027	0.005	-0.010	0.010	alle	negatief
Sc2	Tw	0.121	0.035	-0.069	0.069	P5	positief
Sc2	Ko	0.164	0.071	-0.140	0.140	P10	positief
Sc2	Le	-0.187	0.086	-0.169	0.169	P10	negatief
Sc2	Tw	0.254	0.098	-0.191	0.191	P10	positief
Sc2	alle	0.017	0.005	-0.010	0.010	alle	positief
Sc3	Gi	-0.108	0.036	-0.070	0.070	P5	negatief
Sc3	Tw	-0.077	0.035	-0.069	0.069	P5	negatief
Sc3	Vl	-0.074	0.029	-0.154	0.154	P5	negatief
Sc3	Gi	-0.297	0.079	-0.057	0.057	P10	negatief
Sc3	Gi	-0.291	0.131	-0.257	0.257	JM	negatief
Sc3	alle	-0.032	0.005	-0.010	0.010	alle	negatief

3.5 Conclusie en discussie

Procentueel gezien zijn er in de reeks van Sc3 de meeste trends gevonden: 16 %. Bij Sc2 en Ws is in 14 % van de reeksen een trend gevonden, Bij Sc1 8%. In de neerslaggegevens is bij 10% van de reeksen een trend gevonden.

In dit onderzoek worden de parameters van de GEV-verdeling gefit op jaarmaxima (zie hoofdstuk 7). Hierbij wordt verondersteld dat de jaarmaxima stationair zijn. Van de 70 getoetste reeksen van jaarmaxima van de neerslag hebben er 10 een trend (14%). Aan de hand van deze resultaten kan worden geconcludeerd dat de jaarmaxima gebruikt kunnen worden voor het schatten van parameters van de GEV-verdeling.

Bij het onderzoek naar trends is ervan uitgegaan dat de waarnemingscondities gedurende de hele periode gelijk zijn. Dit is echter niet het geval. De pluviograaf is bijvoorbeeld vervangen door de elektrische regenmeter en de meetopstellingen en -locaties zijn soms in de loop van de tijd veranderd.

De p27-scores worden niet gemeten maar berekend aan de hand van modellen die gebaseerd zijn op waarnemingen. Voor de periode tot en met 2000 is hetzelfde model gebruikt, maar de waarnemingsmethoden zijn wel veranderd. Na 2000 zijn ook andere modellen gebruikt.

Deze feiten kunnen ertoe bijgedragen hebben dat er trends zijn aangetoond in de p27-scores terwijl de atmosferische stroming in werkelijkheid niet veranderd is.

Hoofdstuk 4

Extreme neerslag

4.1 Introductie

Voordat de neerslaggegevens met de circulatiegegevens vergeleken kunnen worden, is het nuttig eerst de neerslag zelf te onderzoeken. In dit hoofdstuk worden het voorkomen van extremen, de verdeling van de neerslag over het jaar en de verschillen tussen de stations onderzocht. Hierbij is alleen gekeken naar klokuursommen van de neerslag.

4.2 Kans op uursom >5 en >10 mm

Om de verdeling van extreme uursommen te bekijken zijn de sommen van meer dan 5 mm (P5) en meer dan 10 mm (P10) geselecteerd. Er is neerslag gemeten in 11.9 % van alle uren, gemiddeld over alle stations. 0.13 % van de uren heeft een uursom van meer dan 5 mm en 0.023 % meer dan 10 mm. Als gekeken wordt naar de neerslaghoeveelheden, komt 11.6 % van de totale neerslag van uursommen groter dan 5 mm; 3.6 % komt van uursommen van meer dan 10 mm. Een uursom van meer dan 5 mm komt gemiddeld 12 keer per jaar voor en een uursom van meer dan 10 mm 2 keer per jaar.

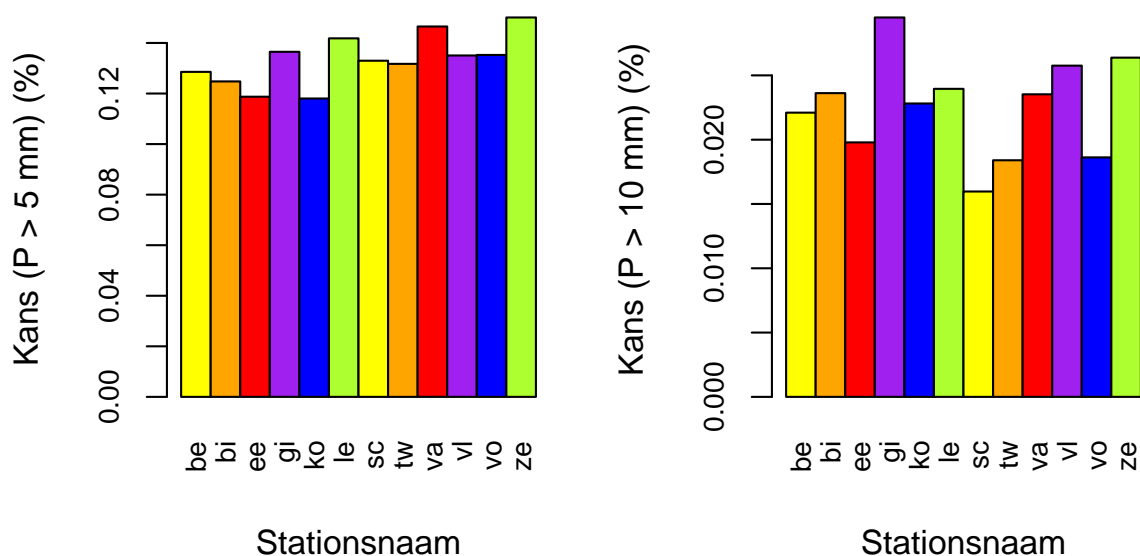
4.3 Verschillen in extreme neerslag tussen stations

Volgens Smits et al. [24] zijn de verschillen in extreme neerslag tussen Nederlandse stations klein. Dit is aangetoond voor sommen over 2, 4 en 8 dagen. In deze paragraaf wordt bekeken of dit ook voor uursommen het geval is.

De kans op neerslag varieert van 10.92 % op station Vl tot 13.08 % op Ee. De gemiddelde hoeveelheid neerslag die valt in een uur varieert tussen 0.088 mm (Vo) en 0.099 mm (Ze).

In figuur 4.1 zijn de kansen op P5 en P10 weergegeven per station. De kans op meer dan 5 mm in een uur is vrijwel gelijk op alle stations. De kans op P10 wisselt sterker van station tot station. De kans op P5 varieert van 0.118 % (Ko) tot 0.150 % (Ze), de kans op P10 van 0.016 % (Sc) tot 0.030 % (Gi). De kans op P10 is in Gi dus bijna twee keer zo groot als in Sc. Doordat uursommen van meer dan 10 mm weinig voorkomen en de neerslag een hoge ruimtelijke variabiliteit heeft, ontstaan er snel grote verschillen tussen de stations; de steekproefonzekerheid is groot.

Door geografie veroorzaakte systematische verschillen in de kans op P5 en P10 kunnen niet worden aangetoond. Van de noordelijke stations hebben Ee en Ko een lage kans op P5, maar Le juist een hoge. Ook bij de zuidwestelijke stations (Vl, Ze, Va), de zuidoostelijke (Gi, Vo, Be) en de stations in de buurt van de kust (Vl, Ze, Va, Sc, Ko, Le) is geen verband te zien.



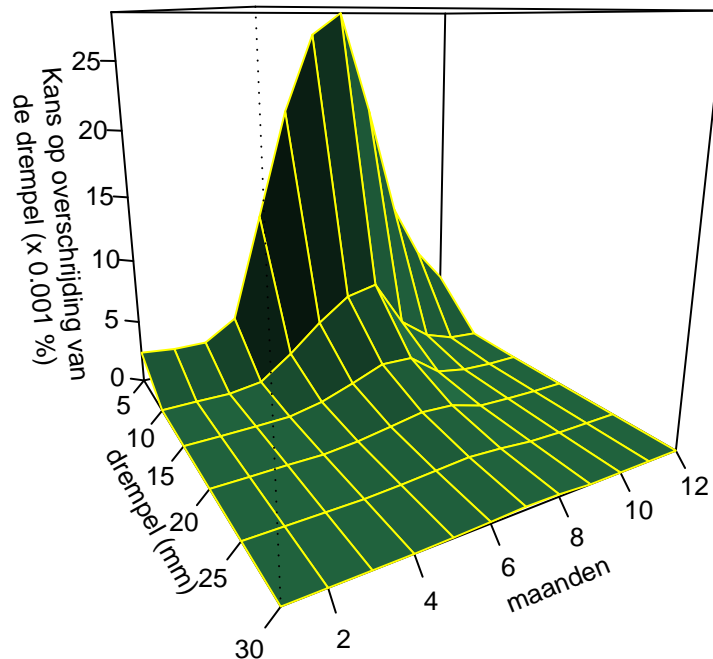
Figuur 4.1: Kans op meer dan 5 en 10 mm in een uur.

4.4 Verdeling extreme neerslag over het jaar

Extreme neerslagen zijn niet gelijkmatig verdeeld over het jaar. Voor P5 en P10 is de verdeling over de maanden bekeken. Wegens het kleine aantal maxima per seizoen per station, is de kans op P5 en P10 per seizoen berekend over de 12 stationsreeksen gezamenlijk.

In figuur 4.2 en bijlage A.3 is te zien dat de neerslag boven alle drempels een piek heeft in de zomermaanden. Uursommen van meer dan 10 mm komen in de winter bijna niet

voor. Naarmate de drempel hoger wordt, neemt het aantal maanden waarin deze sommen voorkomen af.



Figuur 4.2: Kans op overschrijding van een bepaalde uursom van de neerslag. De overschrijdingskans is berekend per maand.

4.5 Conclusie en discussie

Extreme uursommen van de neerslag komen voornamelijk in de zomermaanden voor. Door Smits et al. [24] zijn er geen verschillen aangetoond tussen het optreden van extreme neerslagsommen bij een duur van meer dan een dag bij een aantal regenmeters in Nederland, waardoor de gegevens van alle stations samengevoegd kunnen worden voor een langere reeks.

Hoofdstuk 5

Relatie tussen extreme neerslag en wind

5.1 Introductie

In dit hoofdstuk wordt onderzocht of er een verband is tussen extreme neerslag en windrichting (paragraaf 5.2) en tussen extreme neerslag en windsnelheid (paragraaf 5.3). In de inleiding (hoofdstuk 1) is al vermeld dat er verbanden zijn gevonden tussen extreme dagsommen van de neerslag en windrichting. De vraag is of een dergelijk verband ook bestaat voor extreme uursommen.

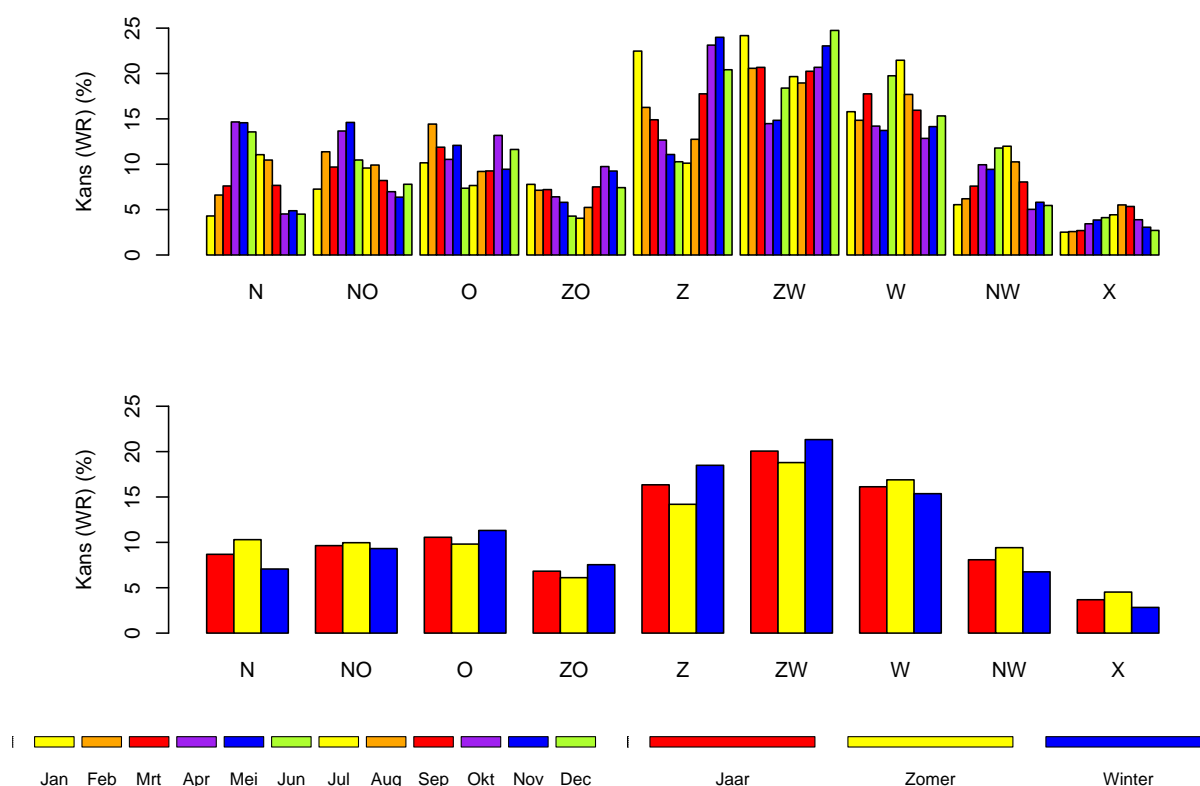
Het verband tussen windsnelheid en neerslag is, wanneer instrumentele effecten buiten beschouwing worden gelaten, niet zo voor de hand liggend als dat tussen windrichting en neerslag. Maar het is mogelijk dat windsnelheid en neerslag het gevolg zijn van hetzelfde proces en daardoor gekoppeld zijn. Men kan daarbij denken aan stormachtig weer met buien en windstoten.

In dit hoofdstuk zijn klokuursommen van de neerslag en uurgemiddelde windrichting en windsnelheid gebruikt. De kans op een bepaalde windrichting (WR) of windsnelheid (WS) en de kans op extreme neerslag bij een bepaalde WR of WS worden berekend. Verder worden voor de windrichtingen nog concentration factors berekend.

5.2 Windrichting

5.2.1 Kans op een bepaalde windrichting

Figuur 5.1 geeft de kans op een bepaalde WR per maand en per seizoen. De zomer is gedefinieerd van mei tot en met oktober, de winter van november tot en met april. De windrichtingen die in alledrie de figuren het meeste voorkomen zijn Z, ZW en W, die samen in 53 % van alle uren voorkomen. De windrichtingen O, ZO, Z en ZW komen meer voor in de winter, terwijl W, NW, N en NO juist meer in de zomer voorkomen.



Figuur 5.1: Kans op een bepaalde WR, per maand (boven) en per seizoen (onder). Jaarwaarden staan in bijlage A.4.

5.2.2 Kans op uursom >5 en >10 mm per windrichting

Om te bepalen hoe groot de kans op extreme neerslag is bij een bepaalde windrichting, is het aantal maal dat P5 voorkomt bij een bepaalde WR gedeeld door het aantal maal dat

deze WR voorkomt in de totale dataset. Hetzelfde is gedaan voor P10. In figuren 5.2 en 5.3 staan deze kansen weergegeven in staafdiagrammen.

De kans op P5 is het grootst bij wind uit het westen en noordwesten. Bij de oostelijke richtingen (NO, O, ZO) is de kans op P5 het kleinst. De kans op P5 is in de winter veel kleiner dan in de zomer. Bij westelijke winden (ZW, W, NW, N) is de kans op P5 zowel in de winter als in de zomer het hoogst. Ook bij categorie X (geen wind of variabele windrichting) is de kans op P5 en P10 hoog.

De kans op P10 is het hoogst in de zomer bij NW en N, de kans op P10 is in de zomer bij W iets kleiner. Dit betekent dat bij W relatief veel van de neerslagsommen hoger zijn dan 5 mm, maar niet hoger dan 10 mm. Bij noordenwind is 22 % van de sommen die hoger zijn dan 5 mm, ook hoger dan 10 mm. Bij westenwind is dit slechts 17 %. Dit kan betekenen dat er in de zomer bij westenwind vaak veel neerslag aangevoerd wordt, maar dat die neerslag een lagere intensiteit heeft dan de neerslag uit het noorden.

In de winter is de kans op meer dan 10 mm het hoogst bij westenwind, namelijk 0.0050 %. Bij NW-wind is de kans de helft (0.0024 %) en bij ZW, Z en O is de kans op P10 slechts een kwart vergeleken met W.

5.2.3 Concentration factor per windrichting

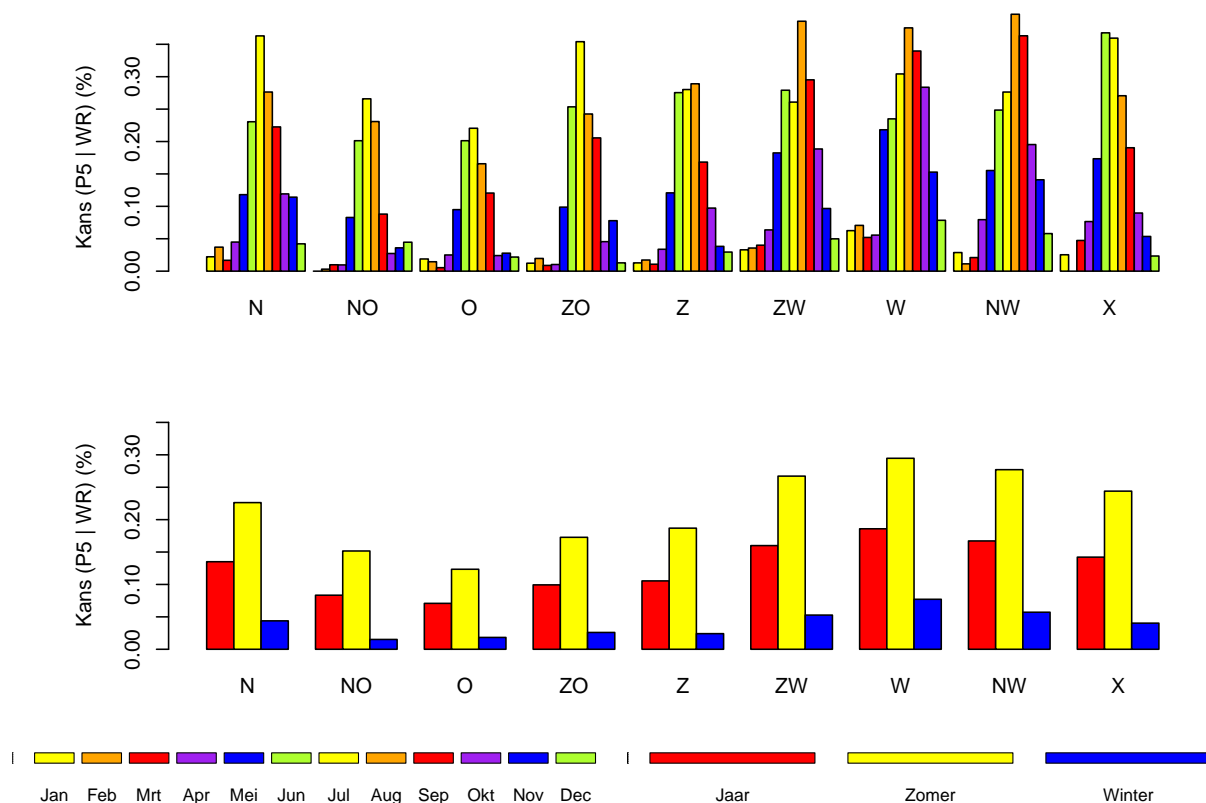
De kans op P5 of P10 bij een bepaalde windrichting zegt iets over hoe vaak P5 of P10 optreedt, maar niet over de neerslagintensiteit. Mitchell [21] en Phillips [23] gebruiken de concentration-factormethode om de neerslagintensiteit tijdens een bepaald weertype te vergelijken met de neerslagintensiteit bij andere weertypen. De CF wordt als volgt berekend [21] :

$$CF = 100 \cdot \left(\frac{R_f}{R_d} - \frac{N_f}{N_d} \right) \quad (5.1)$$

- CF concentration factor (%)
- R_f totale hoeveelheid neerslag in uren met P5 en een bepaalde WR (mm)
- R_d totale hoeveelheid neerslag voor alle uren met P5 (mm)
- N_f aantal uren met P5 en een bepaalde WR
- N_d aantal uren met P5

Concentration factors zijn naast P5 ook berekend voor P10, voor WR en p27-scores.

Een positieve (negatieve) waarde geeft aan dat een WR meer (minder) extreme neerslag veroorzaakt dan gemiddeld over alle WR. Westenwind komt bijvoorbeeld in $\left(\frac{9018}{39396} =\right)$ 22.89 % van de uren met meer dan 5 mm voor en zorgt voor $\left(\frac{1147}{4950} =\right)$ 23.17 % van de neerslaghoeveelheid van deze extreme uren. De waarde van de CF voor westenwind bij P5 bedraagt dan $(22.89 - 23.17 =)$ -0.28%.

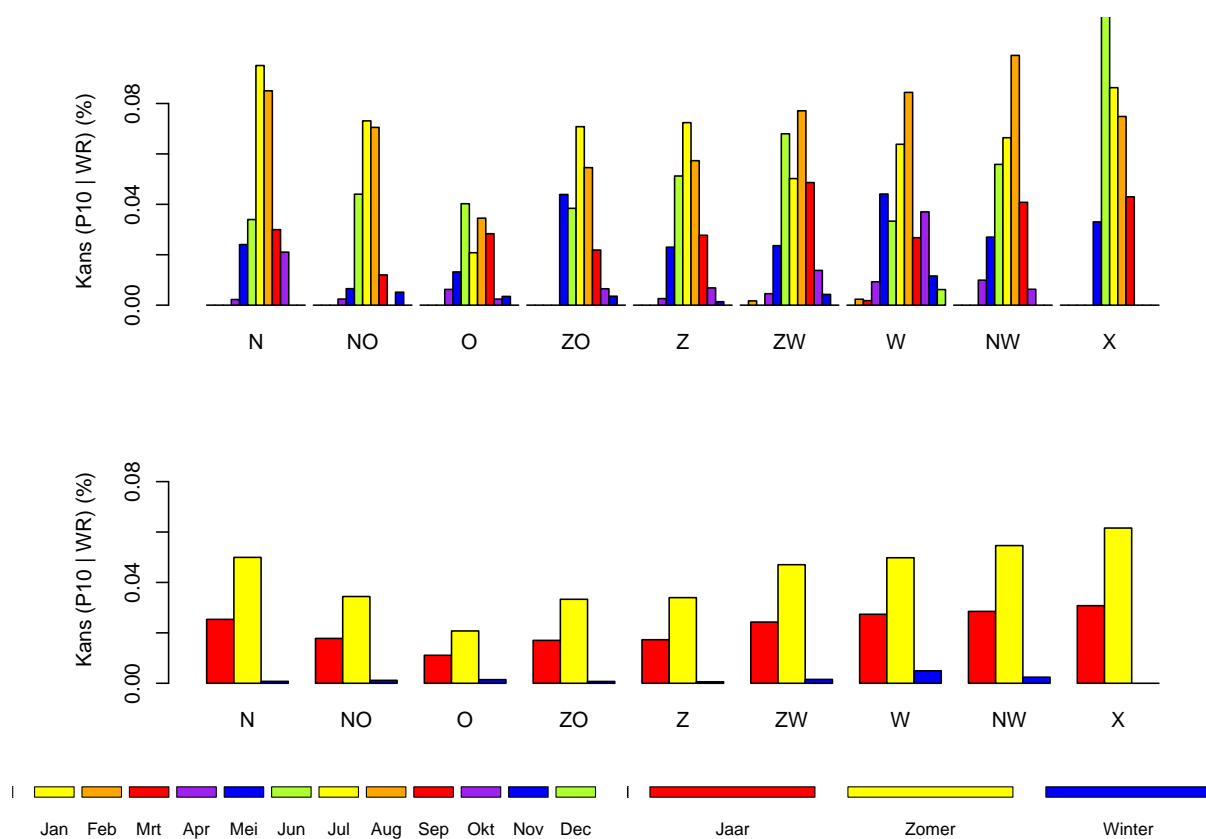


Figuur 5.2: Kans op P5 per WR, per maand (boven) en per seizoen (onder). Jaarwaarden staan in bijlage A.4.

In figuur 5.4 staan de concentration factors behorende bij P5 en P10 voor de verschillende WR. De waarden van de CF is voor alle windrichtingen klein. De intensiteit is dus niet sterk afhankelijk van de windrichting. Er zijn echter wel verschillen tussen de concentration factors behorende bij de verschillende windrichtingen.

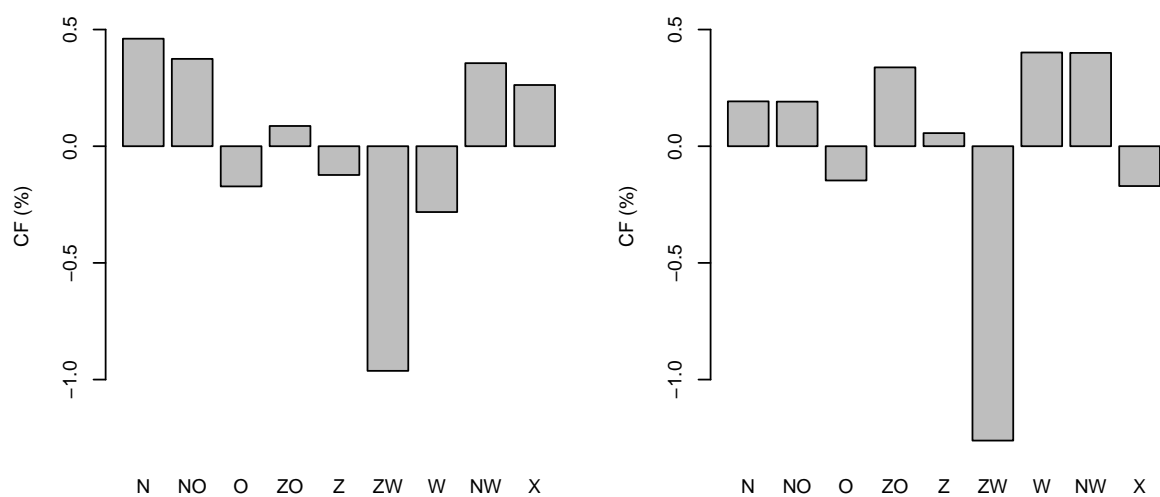
Opvallend is dat de CF-waarde van ZW-wind bij zowel P5 als P10 laag is vergeleken met de andere windrichtingen (hoewel ook deze waarde dicht bij 0 ligt). Dit betekent dat er in de uren van P5 en P10 bij ZW-wind weinig neerslag valt vergeleken met de andere windrichtingen; bij ZW-wind komen redelijk veel uren met hoge neerslag voor, maar deze zijn niet erg intensief.

Bij de noordelijke winden is het tegenovergestelde het geval: de CF is hoog in vergelijking met de andere windrichtingen. Maar ook hier geldt dat de waarden van de CF allemaal klein zijn. In paragraaf 5.2.2 staat dat de kans op P5 en P10 bij noordenwind hoog is. Niet alleen de kans op extreme neerslag is groot, maar ook is de neerslaghoeveelheid gemiddeld groter. Noordelijke winden zorgen dus vaker voor extreme gebeurtenissen en dan ook nog voor veel neerslag.



Figuur 5.3: Kans op P10 per WR, per maand (boven) en per seizoen (onder). Jaarwaarden staan in bijlage A.4.

Concluderend kan gezegd worden dat de concentration factor weergeeft dat bij zuidwestelijke winden minder neerslag valt bij extreme gebeurtenissen. Bij noordelijke winden valt meer neerslag dan gemiddeld bij extreme neerslag. De waarden van de CF zijn echter erg laag.

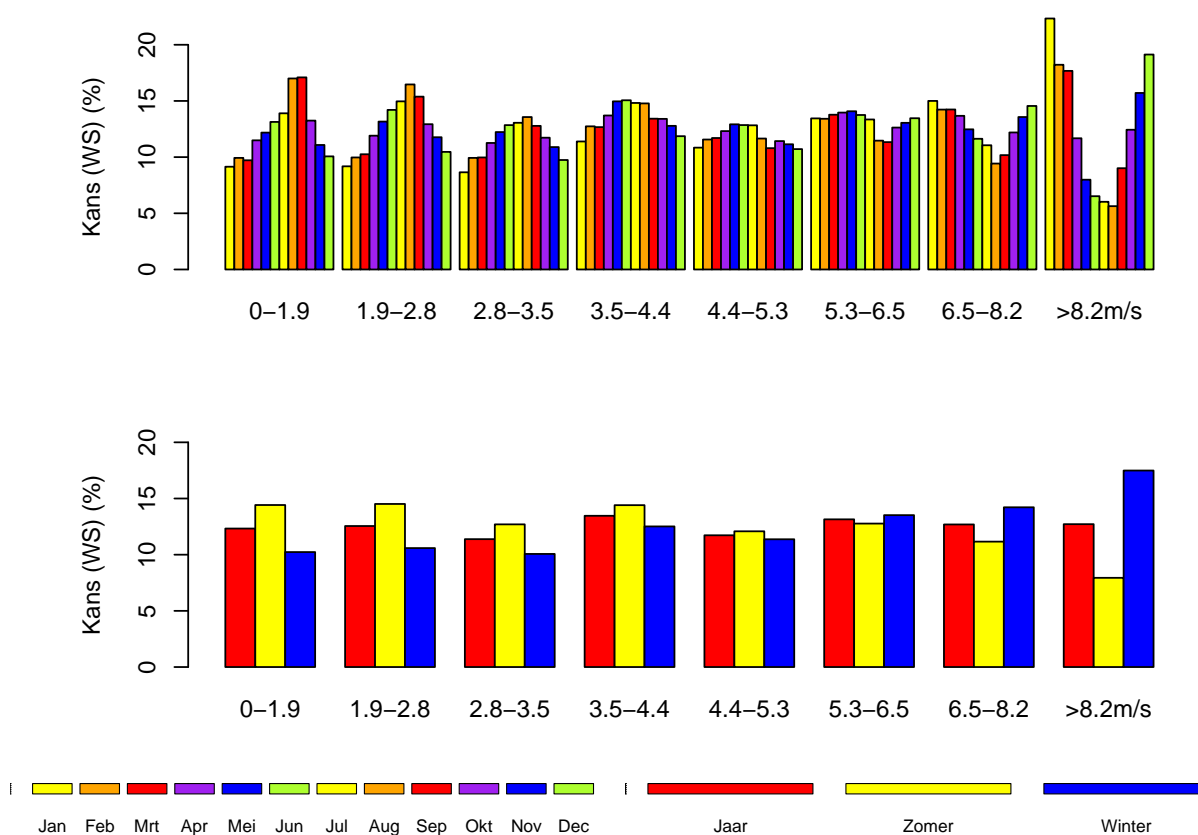


Figuur 5.4: Concentration Factor per WR met P5 (links) en P10 (rechts). Jaarwaarden staan in bijlage A.4.

5.3 Windsnelheid

5.3.1 Kans op een bepaalde windsnelheidsklasse

Wegens de lage frequentie van hoge windsnelheden is een klasse-indeling gebruikt waarin elke klasse even vaak voorkomt. Het bereik van de WS is in 8 delen opgesplitst, waarbij alle categorieën gemiddeld over het jaar evenveel voorkomen. Er is een duidelijke seizoensvariatie te zien: WS van meer dan 6 m/s komen vaker voor in de winter dan in de zomer.

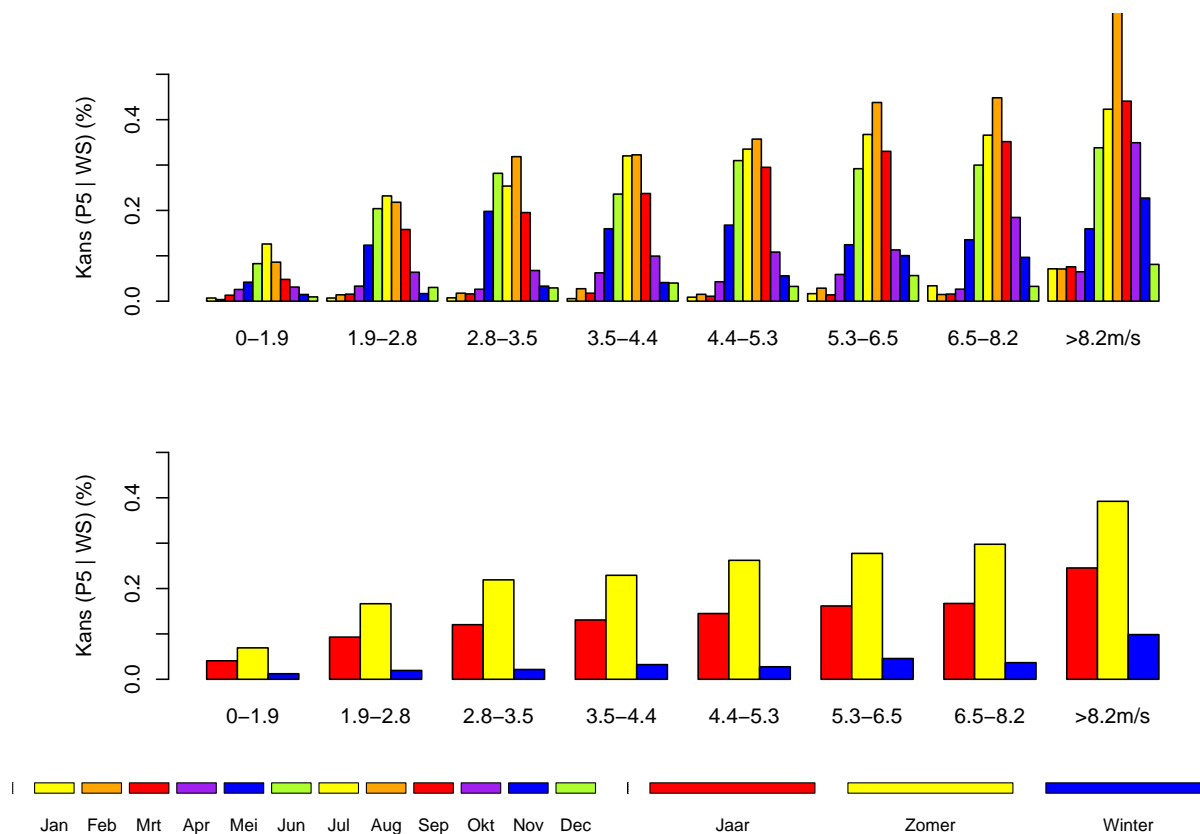


Figuur 5.5: Kans op een bepaalde WS, per maand (boven) en per seizoen (onder). Jaarwaarden staan in bijlage A.5.

5.3.2 Kans op uursom >5 en >10 mm per windsnelheidsklasse

In de zomer neemt de kans op P5 en P10 sterk toe met de WS. In de eerste categorie is de kans op P5 0.07 %, in de laatste 0.39 %. Voor P10 is een soortgelijk verband te zien:

0.01 % in de eerste klasse tegen 0.06 % in de laatste. De kans op P5 en P10 is ongeveer 6.5 keer groter bij een WS van meer dan 8.2 m/s dan bij een WS van minder dan 1.9 m/s.

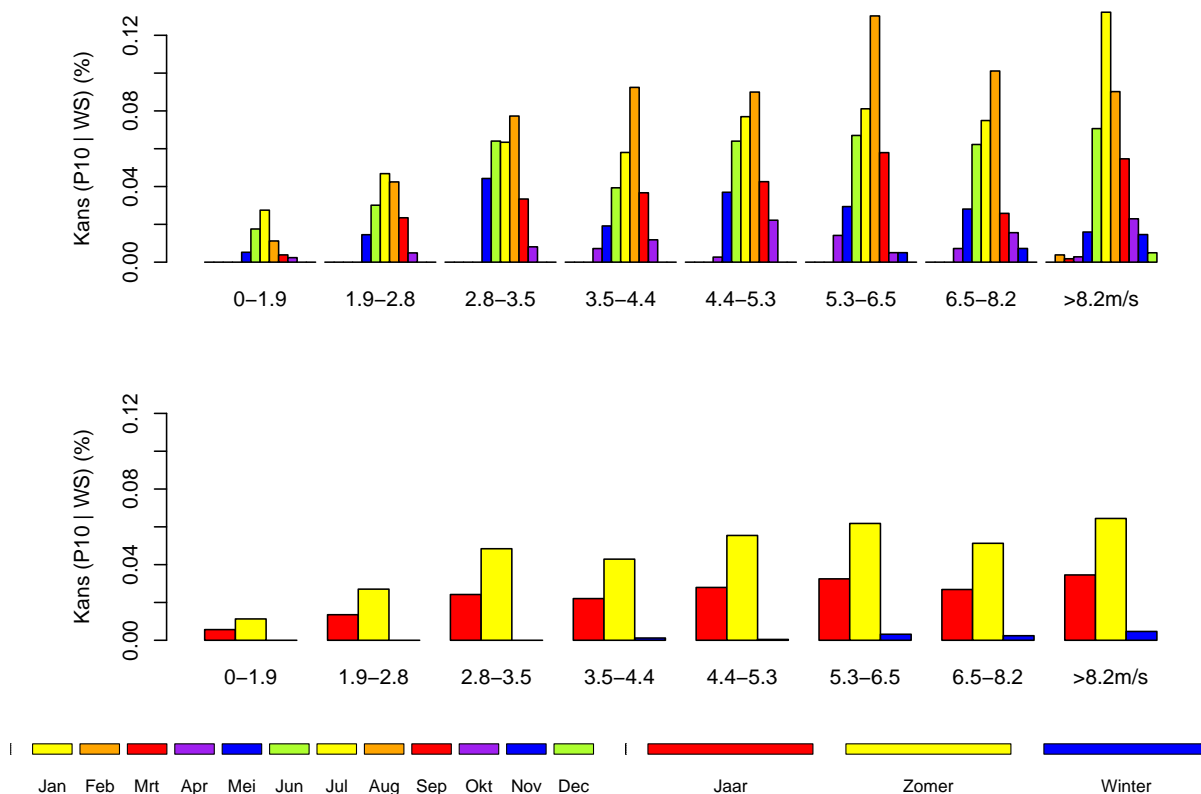


Figuur 5.6: Kans op P5, per WS per maand (boven) en per seizoen (onder). Jaarwaarden staan in bijlage A.5.

5.4 Conclusie en discussie

De kans op een uursom van meer dan 5 mm is het hoogst bij wind uit het westen en noordwesten. De kans op een uursom van meer dan 10 mm is het hoogst bij noordwestenwind en categorie X (variabele windrichting of geen wind), gevolgd door noorden- en westenwind. De kans op meer dan 5 en meer dan 10 mm is hoger in de zomer, maar er is geen seizoensvariatie in het verband tussen hoge neerslagen en WR. De berekende concentration factors laten zien dat er bij zuidwestenwind iets minder neerslag valt dan bij andere windrichtingen.

De kans op een uursom van meer dan 5 en meer dan 10 mm is hoger naarmate de windsnelheid toeneemt, zowel in de zomer als in de winter. Omdat de windsnelheid minder



Figuur 5.7: Kans op P10 per WS, per maand (boven) en per seizoen (onder). Jaarwaarden staan in bijlage A.5.

informatie geeft over de atmosferische circulatie dan windrichting en p27-scores is er geen concentration factor berekend.

Zoals vermeld is in paragraaf 2.2, is de windrichting gemeten in tien graden nauwkeurig. Bij het indelen van de windrichting in klassen heeft dit voor een fout gezorgd. Een windrichting van bijvoorbeeld 24° wordt afgerond tot 20° . De noordoostelijke sector van de windroos loopt van 22.5° tot 67.5° . De windrichting van 24° zou in de NO-klasse moeten komen, maar komt nu in de N-klasse. Door deze afronding komen de klassen N, O, Z en W in figuur 5.1 meer voor dan in werkelijkheid.

Hoofdstuk 6

Relatie tussen extreme neerslag en de p27-index

6.1 Introductie

In paragraaf 2.3.1 is vermeld dat de verschillende scores van de p27-index een duidelijke betekenis hebben. In dit hoofdstuk wordt de relatie tussen extreme klokuursommen van de neerslag en p27-index per score onderzocht. Per score wordt de frequentie bekeken en de kans op P5 en P10 onderzocht. Net als in paragraaf 5.2.3 wordt de concentration-factormethode gebruikt om de intensiteit van de neerslag bij verschillende scorecategorieën mee te nemen.

6.2 Score 1

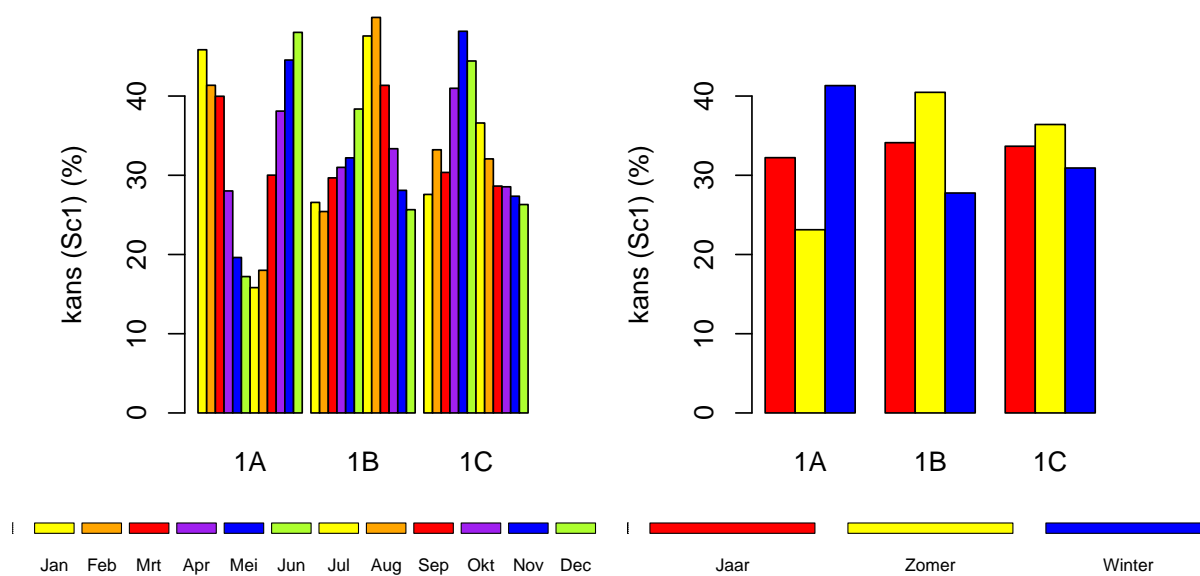
6.2.1 Introductie

De eerste score geeft de zonaliteit van de circulatie aan (zie tabel 2.5). Een hoge waarde van Sc1, bijvoorbeeld een waarde van 0.1 (categorie 1C) duidt op een zwak oostelijke stroming, een lage Sc1 van -2 (categorie 1A) op een sterk westelijke.

6.2.2 Kans op een bepaalde categorie van score 1

Bij de indeling van de categorieën is ervoor gezorgd dat elke categorie gemiddeld over het jaar even vaak voorkomt. Dit blijkt ook uit de hier gebruikte reeks (zie figuur 6.1). Wel is een duidelijke seizoensvariatie te zien. Categorie 1A (een lage Sc1; sterke westenwind) komt

minder voor in de zomer dan in de winter. De categorieën 1B en 1C (hogere Sc1, dus een wat meer oostelijke stroming) komen juist meer voor in de zomer. Dit is te verklaren door de frequente aanwezigheid van lagedrukgebieden boven het noorden van de Atlantische Oceaan in de winter, waardoor een westelijke stroming boven Nederland ontstaat.

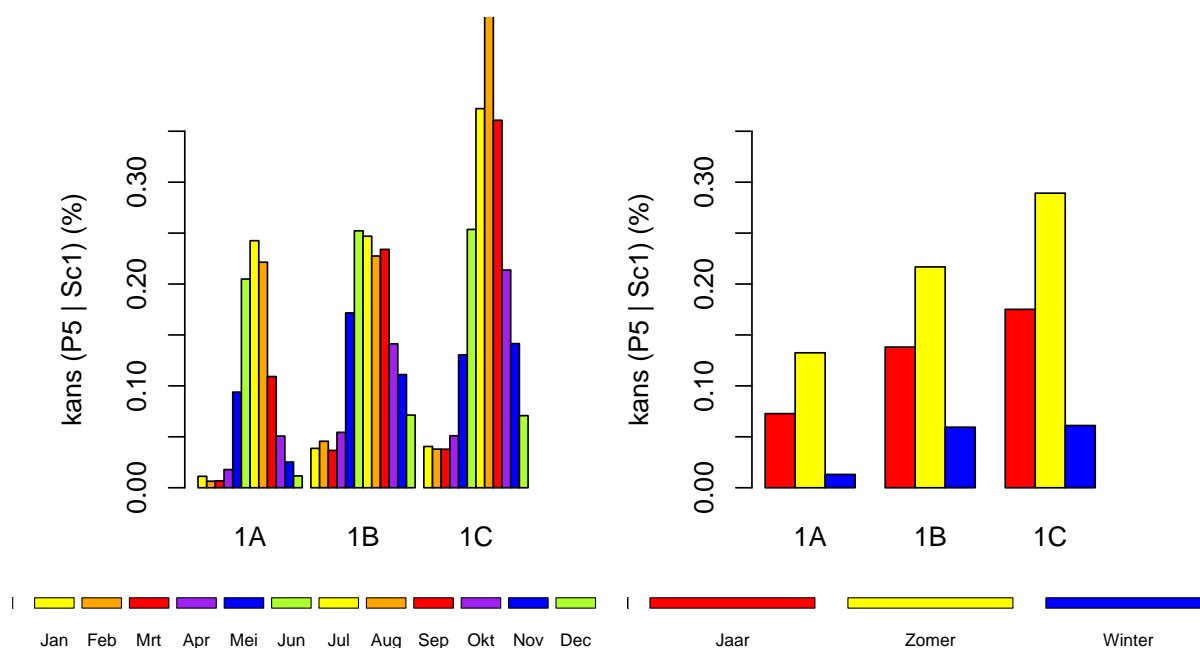


Figuur 6.1: Kans op een bepaalde categorie van Sc1, per maand (links) en per seizoen (rechts). Jaarwaarden staan in bijlage A.6.

6.2.3 Kans op uursom >5 en >10 mm per categorie van score 1

In figuur 6.2 staan de kans op P5 en P10 bij een bepaalde Sc1, per maand en per seizoen. Zowel in de zomer als in de winter neemt de kans op P5 toe met de waarde van score 1. Ook bij de kans op P10 is dit verband te zien. De kans op hoge neerslag is hoger bij een hoge Sc1, wat duidt op een zwak oostelijke stroming. Bij een sterk westelijke stroming is de kans op P5 gemiddeld over het jaar 0.07 %, bij zwak oostelijke stroming 0.18 %. De kans op P10 stijgt van 0.013 % naar 0.029 %.

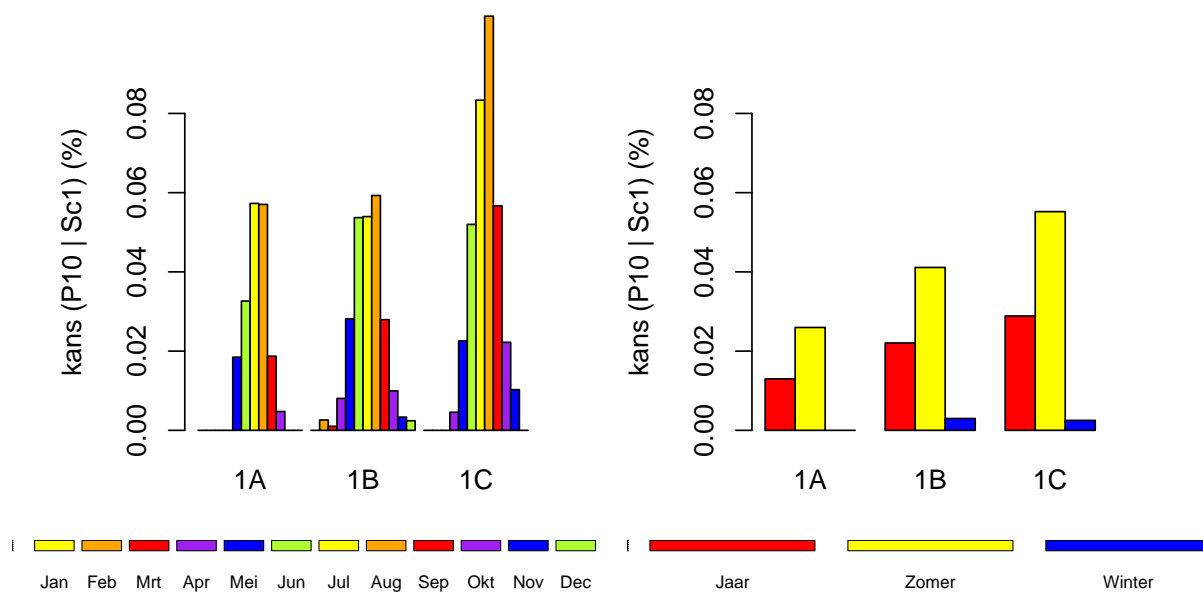
Een verklaring voor dit verband kan zijn dat de zware buien ontstaan zijn door convectie, wat minder vaak voorkomt bij sterk westelijke stroming. De langdurige regenbuien die vanaf de Noordzee over Nederland komen genereren geen hoge uurneerslagsommen. Wanneer dagneerslagsommen in plaats van uurneerslagsommen gebruikt worden, komt wellicht een ander verband aan het licht.



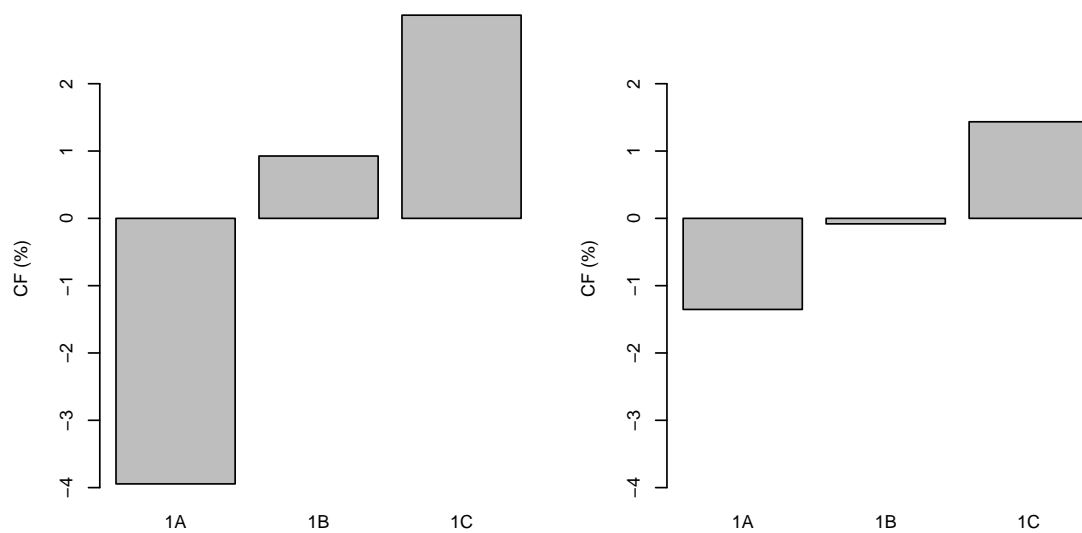
Figuur 6.2: Kans op P5 per categorie van Sc1, per maand (links) en per seizoen (rechts). Jaarwaarden staan in bijlage A.6.

6.2.4 Concentration factor per categorie van score 1

De concentration factor van Sc1 loopt zowel bij P5 als bij P10 op met de hoogte van Sc1 (zie figuur 6.4 en tabel A.6). Bij sterk westelijke stroming valt iets minder neerslag in verhouding met hoe vaak deze score voorkomt bij P5 en P10. In het zomerhalfjaar is de kans op P10 bij 1A (sterke westenwind) minder dan half zo groot als bij de andere categorieën (zie figuur 6.3) en als P10 voorkomt bij 1A, valt er gemiddeld een fractie minder neerslag. Net als bij WR zijn de CF-waarden bij Sc1 laag.



Figuur 6.3: Kans op P10 per categorie van Sc1, per maand (links) en per seizoen (rechts). Jaarwaarden staan in bijlage A.6.



Figuur 6.4: Concentration factor per categorie van Sc1 met P5 (links) en P10 (rechts). Jaarwaarden staan in bijlage A.6.

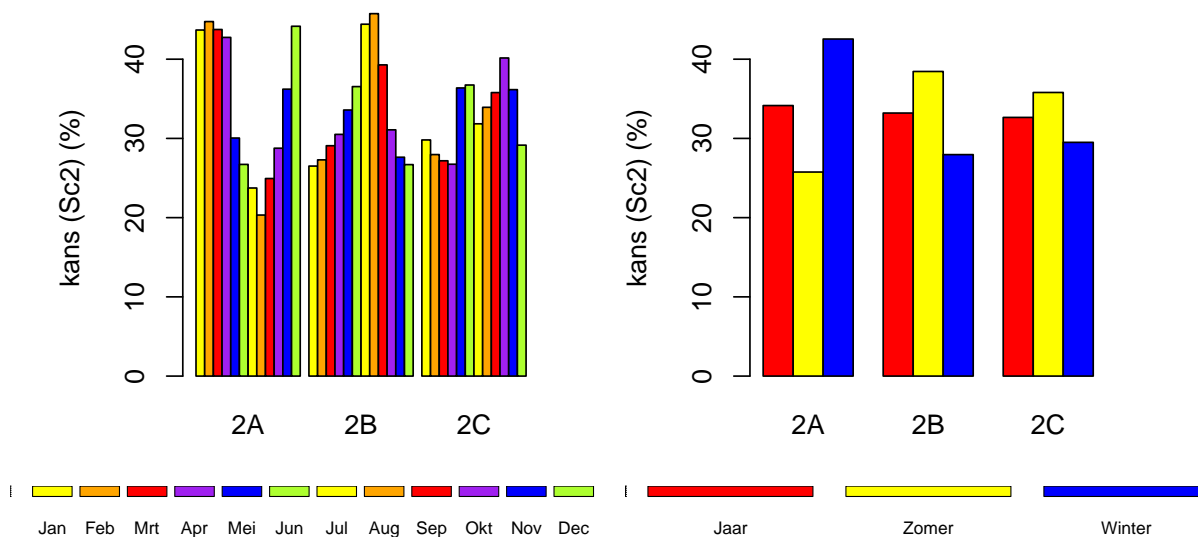
6.3 Score 2

6.3.1 Introductie

Score 2 geeft de meridionaliteit van de luchtstroming weer (zie tabel 2.5). Een hoge Sc2-waarde (categorie 2C) duidt op een zuidelijke component, een lage Sc2 (2A) op een noordelijke [18].

6.3.2 Kans op een bepaalde categorie van score 2

In figuur 6.5 staat de kans op categorie 2A, 2B en 2C per maand en seizoen weergegeven. Door de indeling van de categorieën komen ook bij Sc2 gemiddeld over het jaar alledrie de categorieën even vaak voor. In de wintermaanden komt categorie 2A vaker voor dan in de zomermaanden. Van december tot en met april is de kans op categorie 2A ongeveer 40 %, terwijl die kans in augustus slechts 20 % is. Er is dus vaker een noordelijke stroming in de winter. In de zomermaanden komen categorieën 2B en 2C vaker voor. In juni, juli, augustus en september is de kans op categorie 2B het grootst. Categorie 2C komt het meest voor in de lente (mei, juni) en de herfst (oktober).

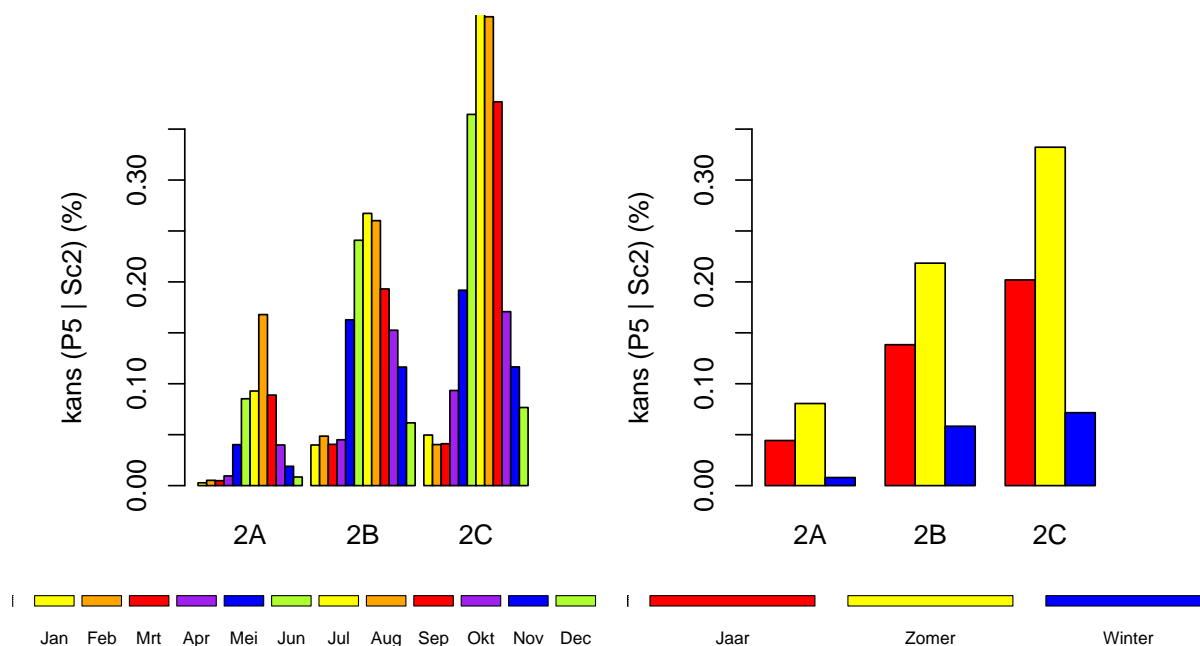


Figuur 6.5: Kans op een bepaalde categorie van Sc2, per maand (links) en per seizoen (rechts). Jaarwaarden staan in bijlage A.7.

6.3.3 Kans op uursom >5 en >10 mm per categorie van score 2

De kans op P5 en P10 neemt toe met de hoogte van de score (zie figuur 6.6 en figuur 6.7). Hoe zuidelijker de stroming, hoe groter de kans op extreme neerslag. Dit is vooral het geval in de zomer. Verder is de kans op hoge neerslag in de zomer veel groter dan in de winter.

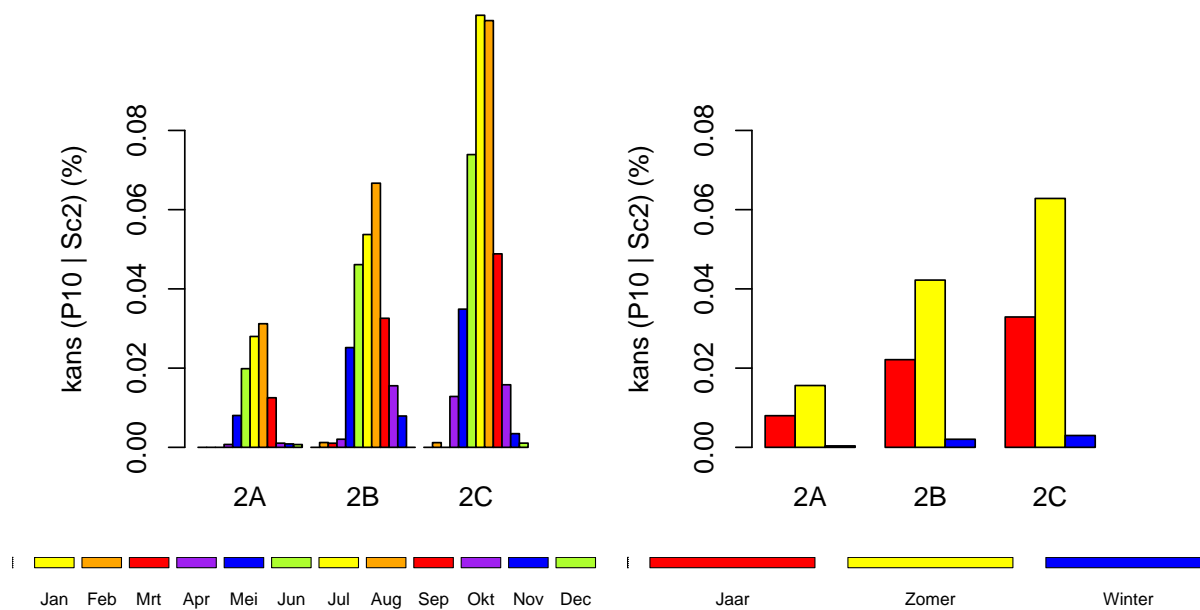
Een mogelijke verklaring hiervoor is dat er in de zomer ten zuiden van Nederland door sterke opwarming van het aardoppervlak convectie optreedt waardoor zich buien kunnen ontwikkelen. Dit type neerslag is convectief en kan een hoge neerslagintensiteit bereiken.



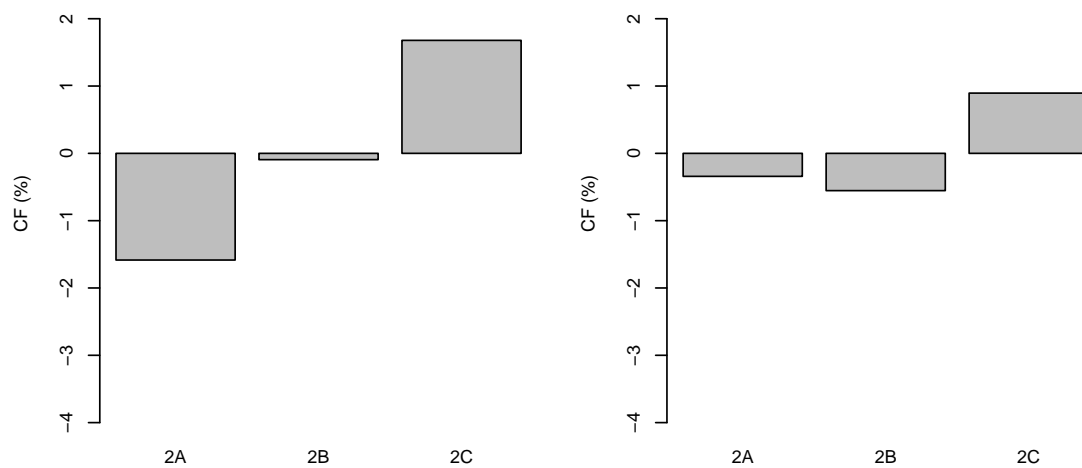
Figuur 6.6: Kans op P5 per categorie van Sc2, per maand (links) en per seizoen (rechts). Jaarwaarden staan in bijlage A.7.

6.3.4 Concentration factor per categorie van score 2

Figuur 6.8 laat zien dat ook bij Sc2 de concentration factor behorende bij P5, net als de kans op P5 en P10, toeneemt met de waarde van Sc2. Dit betekent dat de extreme gebeurtenissen frequenter én iets extremer zijn bij een hoge Sc2. De concentration factor behorende bij Sc2 en P10 laat geen duidelijk verband zien.



Figuur 6.7: Kans op P10 per categorie van Sc2, per maand (links) en per seizoen (rechts). Jaarwaarden staan in bijlage A.7.



Figuur 6.8: Concentration factor per categorie van Sc2 met P5 (links) en P10 (rechts). Jaarwaarden staan in bijlage A.7.

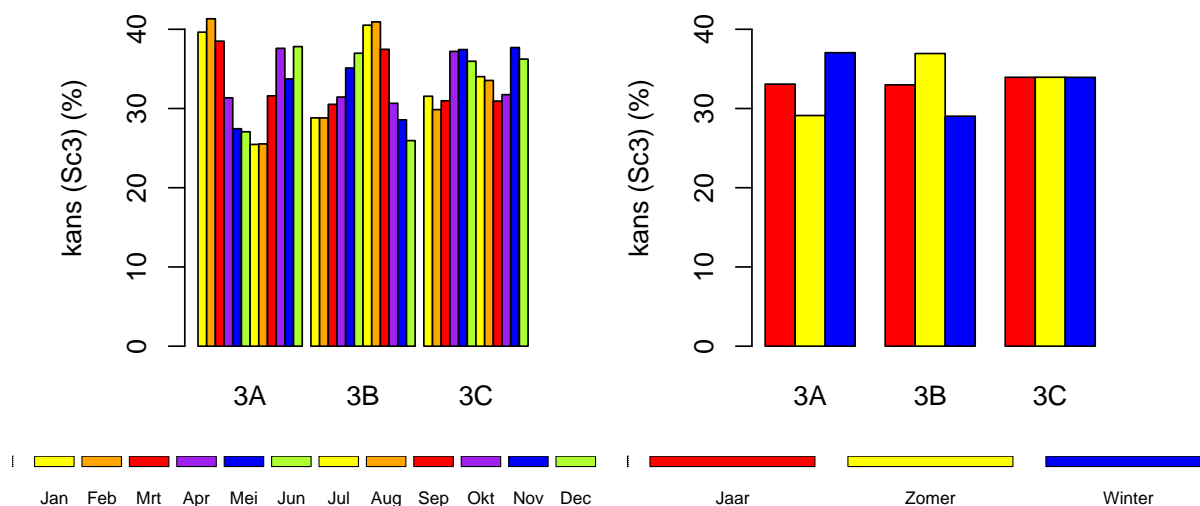
6.4 Score 3

6.4.1 Introductie

Score nummer drie geeft de draaiingsrichting van de lucht aan: de cyclonaliteit (zie tabel 2.5). Een positieve Sc3 geeft aan dat de stroming overwegend cyclonaal is (op het noordelijk halfrond tegen de klok in); bij een negatieve Sc3 is de stroming anticyclonaal (met de klok mee). Anticyclonale stroming duidt op een hogedrukgebied, cyclonale stroming op lagedrukgebieden.

6.4.2 Kans op een bepaalde categorie van score 3

Figuur 6.9 laat zien dat ook Sc3 gelijkmatig is verdeeld over de categorieën en, in tegenstelling tot de andere scores, geen sterk seizoenseffect vertoont. Categorie 3A (anticyclonale stroming) komt iets meer voor in de wintermaanden, 3B iets meer in de zomermaanden. Categorie 3C komt even vaak voor in het zomerhalfjaar als in het winterhalfjaar, maar komt iets vaker voor in april, mei, november en december.

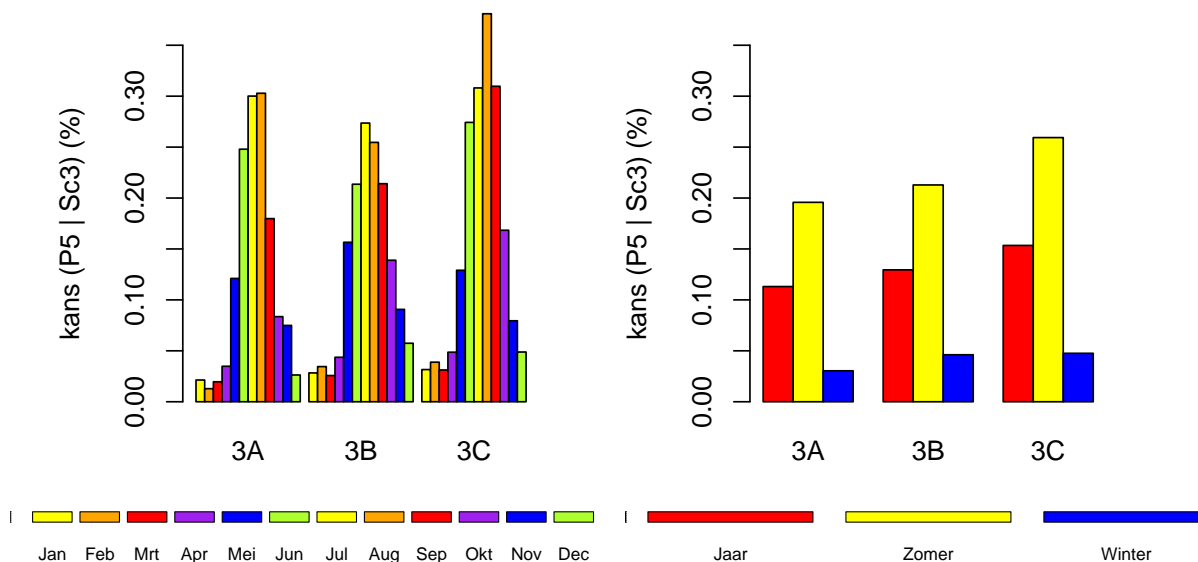


Figuur 6.9: Kans op een bepaalde categorie van Sc3, per maand (links) en per seizoen (rechts). Jaarwaarden staan in bijlage A.8.

6.4.3 Kans op uursom >5 en >10 mm per categorie van score 3

De kans op uursommen groter dan 5 mm neemt iets toe wanneer Sc3 toeneemt (zie figuur 6.10), maar het verschil is niet zo groot als bij score 1 en score 2. De kans op P5 is bij categorie 3C 36 % hoger dan bij categorie 3A. Ook de kans op P10 wordt geleidelijk groter bij een hogere Sc3 (zie figuur 6.11). Bij categorie 3C is de kans op P10 30 % hoger dan bij 3A.

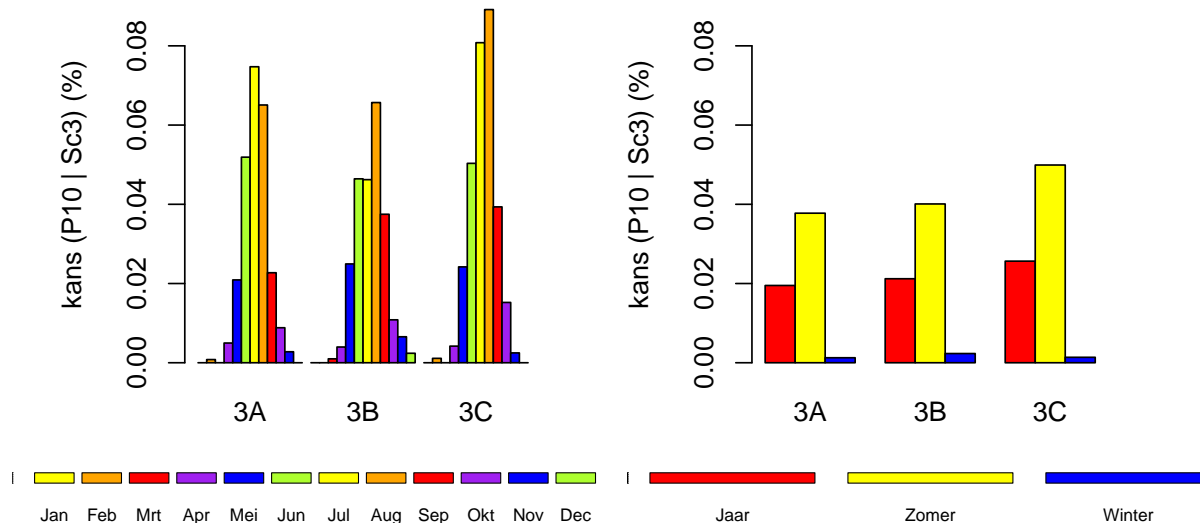
Hieruit kan geconcludeerd worden dat er een verband is tussen de kans op hoge neerslag en de waarde van score 3, maar het verband is niet sterk. Bij een cyclonale stroming (categorie 3C) is de kans op hoge neerslag iets hoger. In de cyclonale stroming rond lagedrukgebieden ontwikkelen zich vaak buien, die weliswaar een lage intensiteit hebben, maar toch meer dan 5 of 10 mm in een uur kunnen genereren.



Figuur 6.10: Kans op P5 per categorie van Sc3, per maand (links) en per seizoen (rechts). Jaarwaarden staan in bijlage A.8.

6.4.4 Concentration factor per categorie van score 3

In figuur 6.12 zijn de waarden van de concentration factor behorende bij Sc3 weergegeven. Ook hier liggen de waarden van de concentration factors dicht bij 0. Bij score 3 is geen duidelijk verband tussen CF en de hoogte van Sc3. Bij categorie 3C is de CF laag, bij 3B juist hoog, categorie 3A zit er tussenin. Wel kan gezegd worden dat de kans op P5 bij 3C



Figuur 6.11: Kans op P10 per categorie van Sc3, per maand (links) en per seizoen (rechts). Jaarwaarden staan in bijlage A.8.

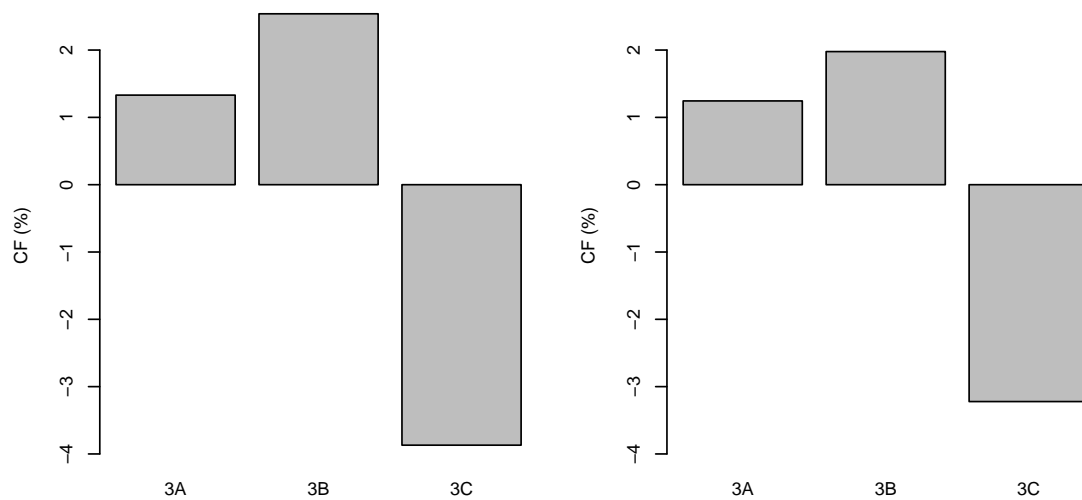
hoog is, terwijl de bijbehorende CF juist laag is. P5 komt dus vaak voor bij deze categorie, maar de neerslaghoeveelheid die dan valt is gemiddeld iets kleiner.

6.5 Conclusie en discussie

Het verband tussen extreme neerslag en de zonale component (score 1) is duidelijk. Hoe minder westelijk de stroming op 500 hPa, hoe hoger de kans op meer dan 5 of 10 mm. Dit is zowel het geval in de zomer als in de winter. Dit kan verklaard worden door intensieve, convectieve buien die weinig voorkomen bij sterk westelijke stroming.

Het verband tussen de kans op uursommen groter dan 5 en 10 mm en circulatie is het sterkst bij de meridionale component: hoe hoger score 2 (hoe zuidelijker de stroming) hoe groter de kans op extreme neerslag. Dit is zowel voor de kans op meer dan 5 mm als voor de kans op meer dan 10 mm het geval en zowel in de zomer als in de winter.

Het verband tussen de cyclonaliteit en de kans op hoge neerslag is niet zo sterk als bij de zonale component en de meridionale component. Bij cyclonale stroming (hoge score 3) is de kans op P5 en P10 iets hoger, maar de hoeveelheid neerslag die valt bij cyclonale stroming is minder dan gemiddeld. Dit kan verklaard worden door de veel voorkomende, maar weinig intensieve buien bij lagedrukgebieden.



Figuur 6.12: Concentration factor per categorie van Sc3 met P5 (links) en P10 (rechts). Jaarwaarden staan in bijlage A.8.

De p27-scores worden berekend met de hoogten van het 500 hPa-vlak op 36 gridpunten (zie paragraaf 2.3.1). Deze hoogten zijn niet gemeten, maar berekend met verschillende modellen, die niet garanderen dat de berekende hoogten ook de werkelijke hoogten zijn. Ook de werkelijke atmosferische stromingsrichting kan anders zijn dan de berekende.

Hoofdstuk 7

Extreme-waardenstatistiek

7.1 Introductie

In deze paragraaf wordt de statistiek van extreme neerslag berekend, zowel voor een duur van 1 uur als voor langere duren. Om deze statistiek te berekenen worden op de jaar-maxima kansverdelingen gefit, waarbij de parameters worden geschat met de methode van L-momenten. De hier gebruikte extreme-waardeverdeling is de gegeneraliseerde extreme-waardeverdeling (GEV-verdeling).

De GEV-verdeling is van grote betekenis voor waterbeheerders. Wanneer goede kennis bestaat over de frequentie waarmee zeer extreme neerslagsommen voorkomen, kan bijvoorbeeld berekend worden welke pompcapaciteit en afvoercapaciteit van watergangen nodig zijn in een polder die slechts ééns in de 50 of 100 jaar mag overstromen. In dit onderzoek ligt de nadruk op uursommen van de neerslag, die vooral van belang zijn voor verstedelijkte gebieden, maar in dit hoofdstuk worden ook sommen over langere duren meegenomen.

Jaarmaxima worden berekend door uit elk jaar de hoogste neerslagsom voor een bepaalde duur te selecteren. Dit kan als gevolg hebben dat een zeer hoge neerslagsom niet meegenomen wordt omdat er in hetzelfde jaar een nog hogere som is geregistreerd. Andersom kan een niet zo extreme neerslag in een jaar de hoogste waarde zijn, bijvoorbeeld de uursom van 4.6 mm in 1973 in Beek. Bij duren langer dan een uur zijn verschuivende sommen berekend. Zo komt bijvoorbeeld de neerslag van een bepaald uur in vier achtereenvolgende 4-uursommen voor.

Twee voorwaarden voor het schatten van parameters van de GEV-verdeling zijn stationariteit en onafhankelijkheid van de neerslaggebeurtenissen. In paragraaf 3.4.1 is geen trend aangetoond in de neerslagdata, dus aan de voorwaarde van stationariteit lijkt te worden voldaan. Verder kunnen de jaarmaxima onafhankelijk worden verondersteld. In principe is het mogelijk dat een bui op 31 december én op 1 januari een extreme neerslag veroorzaakt, maar extreme uurneerslagen vinden bijna altijd plaats in de zomer (zie paragraaf 4.4).

Bij andere selectiemethoden, bijvoorbeeld de peak-over-thresholdmethode, is het lastiger om aan de voorwaarde van onafhankelijkheid te voldoen. Voor het schatten van parameters zijn jaarmaxima van klokuren gebruikt. Met behulp van een conversiefactor zijn de GEV-parameters omgerekend naar willekeurige uren.

7.2 Theorie extreme-waardenstatistiek

7.2.1 Theorie GEV-verdeling

De hier gebruikte GEV-verdeling is een extreme-waardenverdeling die voor veel verschillende toepassingen wordt gebruikt, bijvoorbeeld bij het schatten van de herhalingstijd van extreme golfhoogten [8]. De kwantielfunctie van de GEV-verdeling wordt gegeven door:

voor $\kappa \neq 0$:

$$x(T) = \mu + \frac{\alpha \{1 - [-\ln(1 - T^{-1})]^\kappa\}}{\kappa} = \mu + \alpha \frac{1 - e^{-\kappa y}}{\kappa} \quad (7.1)$$

voor $\kappa = 0$:

$$x(T) = \mu - \alpha \ln [-\ln(1 - T^{-1})] = \mu + \alpha y \quad (7.2)$$

met:

$$y = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (7.3)$$

$x(T)$	extreme waarde (hier: neerslaghoeveelheid) die eens in de T jaar overschreden wordt (hier: mm)
T	herhalingstijd (jr)
μ	locatieparameter (mm)
α	schaalparameter (mm)
κ	vormparameter (-)
y	Gumbel gestandaardiseerde variabele (Gumbel reduced variate)

De GEV-verdeling is een niet-symmetrische kansverdeling die gefit wordt op neerslagmaxima. Met behulp van drie parameters (μ , α en κ) wordt de GEV-verdeling vormgegeven.

- De locatieparameter μ is het punt met de maximale kansdichtheid, te vergelijken met de piek of de verwachtingswaarde bij een normale verdeling.
- De schaalparameter α geeft de spreiding van de kansverdeling weer. Bij een hoge α komt een extreme waarde vaker voor.
- De vormparameter κ bepaalt de dikte van de rechterstaart. Bij $\kappa=0$ gaat de GEV-verdeling over in de Gumbel-verdeling. Bij $\kappa < 0$ (> 0) is de staart dikker (dunner) dan

bij de Gumbel-verdeling: extreem hoge waarden komen vaker (minder vaak) voor dan bij de Gumbel-verdeling. Wanneer de kwantiefunctie van een GEV-verdeling wordt uitgezet tegen y levert $\kappa = 0$ een rechte lijn op, $\kappa > 0$ een convexe (bolle) lijn met een asymptotische bovengrens en $\kappa < 0$ een concave (holle) lijn zonder bovengrens [1] [4].

7.2.2 Parameterschatting met L-momenten

De parameters van de GEV-verdeling zijn geschat met de methode van L-momenten [9]. Om te beginnen worden van een dataset schatters van de eerste, tweede, derde en vierde orde (probability weighted moments: b_0 , b_1 , b_2 en b_3) uitgerekend:

$$b_0 = n^{-1} \sum_{j=1}^n x_j \quad (7.4)$$

$$b_1 = n^{-1} \sum_{j=2}^n \frac{j-1}{n-1} x_j \quad (7.5)$$

$$b_2 = n^{-1} \sum_{j=3}^n \frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} x_j \quad (7.6)$$

$$b_3 = n^{-1} \sum_{j=4}^n \frac{(j-1)(j-2)(j-3)}{(n-1)(n-2)(n-3)} x_j \quad (7.7)$$

x_j j -de element van de gesorteerde steekproef (ordered sample)
 n lengte van de reeks van jaarmaxima

Vervolgens worden de steekproef L-momenten berekend:

$$\ell_1 = b_0 \quad (7.8)$$

$$\ell_2 = 2b_1 - b_0 \quad (7.9)$$

$$\ell_3 = 6b_2 - 6b_1 + b_0 \quad (7.10)$$

$$\ell_4 = 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0 \quad (7.11)$$

ℓ_1 is het gemiddelde en ℓ_2 een soort standaarddeviatie van de verdeling. De ratio's tussen de L-momenten zeggen iets over de verdeling: t_3 is een maat van scheefheid (skewness) en t is een soort variatiecoëfficiënt (coefficient of variation).

$$t = \ell_2/\ell_1 \quad (7.12)$$

$$t_3 = \ell_3/\ell_2 \quad (7.13)$$

t steekproef L-CV

t_3 steekproef L-skewness

Met de L-momenten en de ratio's tussen de L-momenten worden de GEV-parameters geschat. Het $\hat{}$ accent betekent dat het een schatter is van de grootheid die eronder staat.

$$c = \frac{2}{3 + t_3} - \frac{\ln 2}{\ln 3} \quad (7.14)$$

$$\hat{\kappa} \approx 7.8590 c + 2.9554 c^2 \quad (7.15)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\ell_2 \hat{\kappa}}{(1 - 2^{-\hat{\kappa}}) \Gamma(1 + \hat{\kappa})} \quad (7.16)$$

$$\hat{\mu} = \ell_1 - \hat{\alpha} \frac{1 - \Gamma(1 + \hat{\kappa})}{\hat{\kappa}} \quad (7.17)$$

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt \quad (7.18)$$

Γ Gammafunctie

7.2.3 Standaarddeviatie parameters

De standaarddeviaties van de geschatte GEV-parameters kunnen berekend worden met behulp van de elementen van de asymptotische covariantiematrix van de L-momenten schatters van de GEV-parameters. De waarde van de elementen hangt af van de waarde van κ (zie tabel 7.1) [10].

$$\sigma_{\mu} = \sqrt{\alpha^2 \frac{w_{11}}{n}} \quad (7.19)$$

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\alpha^2 \frac{w_{22}}{n}} \quad (7.20)$$

$$\sigma_\kappa = \sqrt{\frac{w_{33}}{n}} \quad (7.21)$$

n lengte van de reeks
 σ standaarddeviatie
 w_{ij} element in de covariantiematrix

$$n^{-1} \begin{pmatrix} \alpha^2 w_{11} & \alpha^2 w_{12} & \alpha w_{13} \\ \alpha^2 w_{12} & \alpha^2 w_{22} & \alpha w_{23} \\ \alpha w_{13} & \alpha w_{23} & w_{33} \end{pmatrix} \quad (7.22)$$

Tabel 7.1: De hier gebruikte elementen van de asymptotische covariantiematrix van de L-momenten schatters van de GEV-parameters [10].

κ	w_{11}	w_{22}	w_{33}
-0.2	1.3322	1.0013	0.9139
-0.1	1.2915	0.8440	0.6815
0	1.2686	0.7390	0.5633

7.2.4 Theorie regenduurlijnen

Wanneer de parameters μ , α en κ van de GEV-verdeling voor verschillende duren geschat zijn en vervolgens zijn beschreven als functie van de duur, kunnen regenduurlijnen worden afgeleid. In plaats van α wordt $\gamma (= \alpha/\mu)$ gebruikt om de relatie met de duur te beschrijven. Een verband tussen de parameters en de duur (D) kan worden beschreven met een lineair regressiemodel met kleinste kwadraten criterium. Er blijkt een lineair verband te bestaan tussen $\ln \mu$ en $\ln D$ en tussen γ en $\ln D$. Voor κ is een gemiddelde waarde aangenomen omdat κ geen verband lijkt te hebben met D . Overeem et al. [22] vonden gelijksoortige verbanden tussen de GEV-parameters (μ , γ en κ) en de duur.

$$\hat{\gamma} = \hat{\alpha}/\hat{\mu} \quad (7.23)$$

$$\ln(\mu) = a_\mu + b_\mu \ln(D) \quad (7.24)$$

$$\gamma = a_\gamma + b_\gamma \ln(D) \quad (7.25)$$

$$\kappa = \kappa_{gem} \quad (7.26)$$

D	duur (uur)
a	intercept
b	richtingscoëfficiënt
κ_{gem}	gemiddelde waarde van κ over alle duren

7.2.5 Omrekening van klokuur naar willekeurig uur

De kans op een extreme waarde in een willekeurige periode van zestig minuten is groter dan in een klokuur (bijvoorbeeld van 11.00 tot 12.00 uur). Bij 2-uursommen is dit verschil kleiner en bij 4-uursommen is het te verwaarlozen. Om de kans op extreme neerslagsommen van 1- en 2-uursommen niet te onderschatten, worden de GEV-parameters μ en γ met een factor vermenigvuldigd. Deze factor is te vergelijken met de Hershfieldfactor [7].

Overeem et al. [22] berekenen deze conversiefactor aan de hand van 84 jaar neerslaggegevens van De Bilt. Doordat de neerslag door pluviografen is gemeten, zijn neerslagsommen van elke willekeurige 60 minuten bekend. De conversiefactor is de verhouding tussen de GEV-parameter behorende bij de neerslagsom van een willekeurige 60 minuten en de GEV-parameter behorende bij de klokuursom.

De conversiefactor verschilt per duur, per parameter en per station. In dit onderzoek is geen rekening gehouden met de verschillen tussen de stations en één waarde (die van station De Bilt) aangenomen voor alle stations. In tabel 7.2 zijn de gebruikte conversiefactoren weergegeven. Bij alle GEV-verdelingen van 1- en 2-uursommen is deze correctie toegepast, met uitzondering van figuur 7.2.

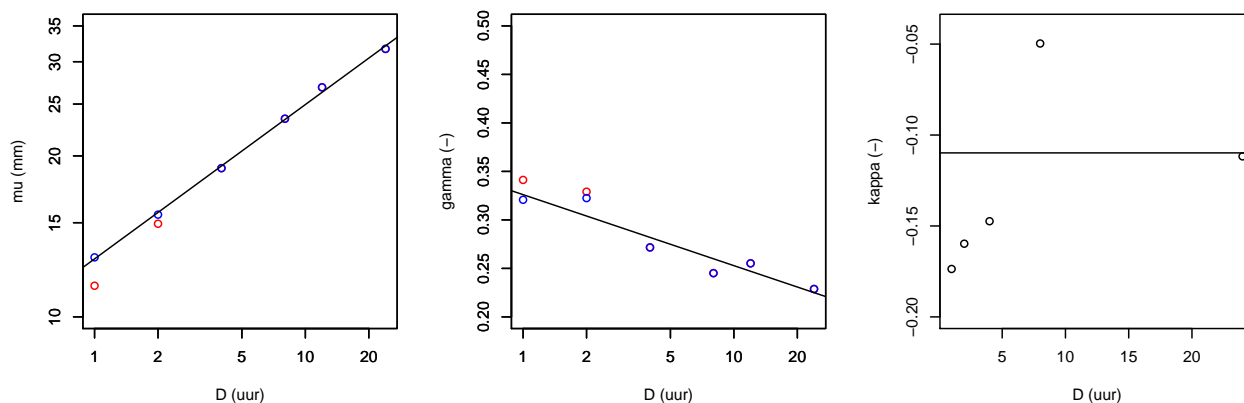
Tabel 7.2: Conversiefactor voor het omrekenen van de GEV-parameters μ en γ van klokuursommen naar willekeurige uursommen [22]

D	μ	γ
1 uur	1.13	0.94
2 uur	1.04	0.98

7.3 GEV-verdelingen: vooronderzoek

Voor het opstellen van regenduurlijnen zijn de GEV-parameters bij een duur van 1, 2, 4, 8, 12 en 24 uur gebruikt. In figuur 7.1 staat een typische fit van de GEV-parameters (alle fits zijn ongeveer even goed als in figuur 7.1). De punten geven de GEV-parameters bij verschillende duren weer en de lijn is het door lineaire regressie berekende verband tussen

de parameters en de duur die voor de berekening van regenduurlijnen gebruikt is. Hier zijn de waarden van $\ln(\mu)$, γ en κ weergegeven als functie van de duur. De lineaire regressie is goed voor μ , minder goed voor γ en κ varieert sterk.



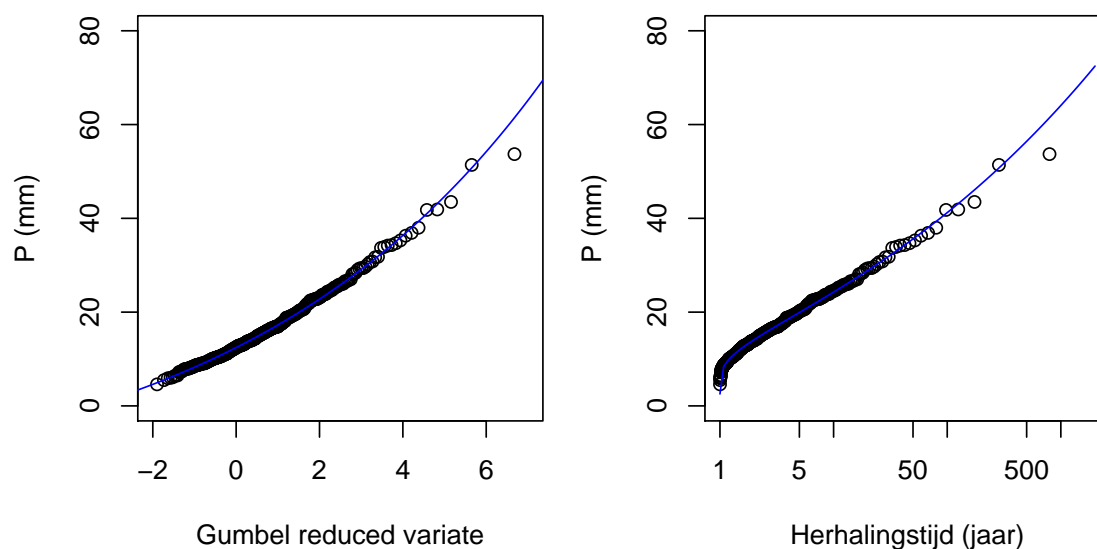
Figuur 7.1: Typische fit van μ (links), γ (midden) en κ (rechts), in dit geval van de helft van de jaarmaxima met een lage score 1. De punten geven de waarden van de GEV-parameters bij een bepaalde duur weer; de rode punten zijn nog niet omgerekend van klokuursommen naar willekeurige uursommen. De lijn geeft de lineaire regressie (bij μ en γ) en het gemiddelde (bij κ) weer die gebruikt zijn bij de berekening van regenduurlijnen. Er is een (natuurlijk) logaritmische as gebruikt voor D in de figuren van μ (links) en γ (midden).

Kwantielfuncties van GEV-verdelingen kunnen op verschillende manieren worden weergegeven. In figuur 7.2 is de neerslaghoeveelheid uitgezet tegen de Gumbel gestandaardiseerde variabele, waarbij ook het verloop van de curve bij lage neerslaghoeveelheden goed te zien is. Bij de rechterfiguur van 7.2 is dit minder duidelijk te zien. Hier is de neerslaghoeveelheid weergegeven als functie van de herhalingstijd. Het voordeel van het uitzetten tegen de herhalingstijd is dat deze gemakkelijker te interpreteren is. In het vervolg zullen alle kwantielfuncties op deze manier worden weergegeven.

In de tabellen A.10 en A.11 staan de GEV-parameters met bijbehorende standaarddeviaties van alle kwantielfuncties die in dit hoofdstuk afgebeeld zijn. De waarden van μ en α in de tabel zijn de waarden van klokuursommen en nog niet omgerekend met de conversiefactor voor willekeurige uursommen. De standaarddeviaties van alle parameters zijn voldoende klein om te kunnen zeggen dat de fit goed is.

7.4 GEV-verdelingen van alle jaarmaxima ($D=1$ uur)

Er zijn van twee datasets jaarmaxima berekend: van de jaren waarvan P en p27 gelijktijdig beschikbaar zijn (445 jaar) en van de jaren waarvan P en W gegevens zijn (421 jaar). In



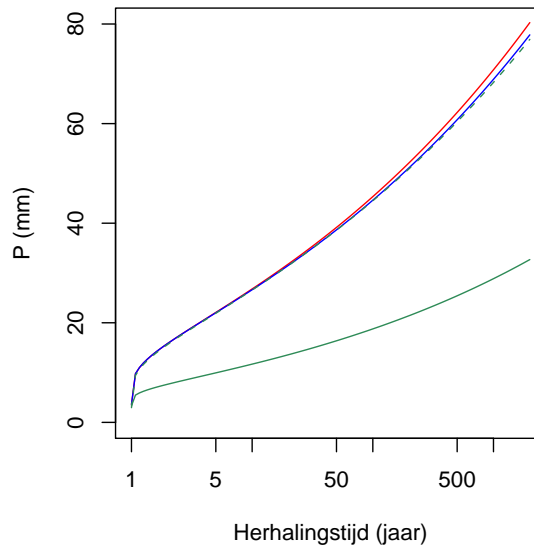
Figuur 7.2: GEV-verdeling van de reeks waarvan zowel neerslag- als p27-gegevens beschikbaar zijn. $D=1$ uur. De punten stellen de jaarmaxima voor waarop de GEV-verdeling is gefit. De GEV-parameters zijn niet omgerekend van klokuursommen naar willekeurige uursommen omdat de fit dan niet vergeleken kan worden met de jaarmaxima.

figuur 7.3 staan de kwantiefuncties behorende bij deze datasets. Te zien is dat de curves bijna op elkaar liggen. Het verschil in lengte van de reeksen heeft dus nauwelijks invloed op de schatting van de parameters van de GEV-verdeling. Naast jaarmaxima zijn er ook seizoensmaxima berekend (van de reeks waarvan zowel P- als p27-gegevens beschikbaar waren).

De hier gebruikte zomer loopt van 1 mei tot 1 november, de winter van 1 november tot 1 mei. Een wintermaximum van bijvoorbeeld 1980 is berekend over alle wintermaanden van 1980 (januari, februari, maart, april, november, december) en niet van november 1979 tot en met april 1980 of van november 1980 tot en met april 1981.

Van de jaren waarvan zowel neerslag als p27-gegevens beschikbaar zijn, zijn drie maxima berekend: een jaarmaximum, een zomermaximum en een wintermaximum ($D=1$ uur). Er zijn dus evenveel getallen gebruikt voor het schatten van de parameters van de winter-GEV-verdeling als voor de zomer-GEV-verdeling. In figuur 7.3 staan ook de GEV-verdelingen van de zomer- en wintermaxima weergegeven. De kwantiefuncties van de zomer- en winter-GEV-verdeling geven aan welke neerslag gemiddeld eens in de T jaar overschreden wordt in dat seizoen. De kwantiefunctie behorende bij de zomer is bijna gelijk aan de jaar-GEV-verdeling doordat de meeste jaarmaxima in de zomer plaatsvinden. De curve gebaseerd

op wintermaxima ligt veel lager dan die van de jaar- en zomermaxima. Dit is in overeenstemming met de bevinding van paragraaf 4.4, dat extreme neerslag vooral in de zomer voorkomt.



Figuur 7.3: GEV-verdeling $D=1$ uur. De rode lijn is de GEV-verdeling van maxima van de jaren waarvan zowel neerslag- als windgegevens beschikbaar zijn. De blauwe en groene lijnen zijn de GEV-verdelingen van maxima van de jaren waarvan zowel neerslag- als p27-gegevens beschikbaar zijn; de blauwe lijn is gebaseerd op jaarmaxima, de groene doorgetrokken lijn op wintermaxima en de groene gestippelde lijn op zomermaxima. De herhalingstijd wil bij de zomer- en winter-GEV-verdeling zeggen dat een bepaalde hoeveelheid neerslag eens in de x jaar overschreden wordt in een zomer- of wintermaand.

7.5 GEV-verdelingen met $D=1$ uur, onderverdeeld naar windrichting, windsnelheid of p27-score

De jaarmaxima zijn vervolgens opgesplitst in twee delen van gelijke lengte: de jaarmaxima behorende bij de laagste Sc1 van de p27-index in één dataset en de jaarmaxima behorende bij de hoogste scores 1 in een andere dataset. Van deze datasets zijn afzonderlijk opnieuw de GEV-parameters geschat. Hetzelfde is gedaan voor Sc2, Sc3 en WS. Voor WR is bepaald welke windrichting het meest voorkwam in de jaarmaxima. Vervolgens zijn de jaarmaxima behorende bij windrichtingen in de buurt van de meest voorkomende windrichting gebruikt om de eerste set GEV-parameters te schatten. Deze veel voorkomende windrichtingen komen ongeveer overeen met de zuidwestelijke en westelijke sector van de windroos en zullen

in het vervolg de ZW-W-sector genoemd worden. De overige jaarmaxima zijn gebruikt voor de schatting van een tweede set GEV-parameters (de overige windrichtingen). De jaarmaxima die voorkwamen op het moment dat er een variabele WR of geen wind was, zijn buiten beschouwing gelaten. In tabel A.9 staat vermeld op welk punt de jaarmaxima gesplitst zijn.

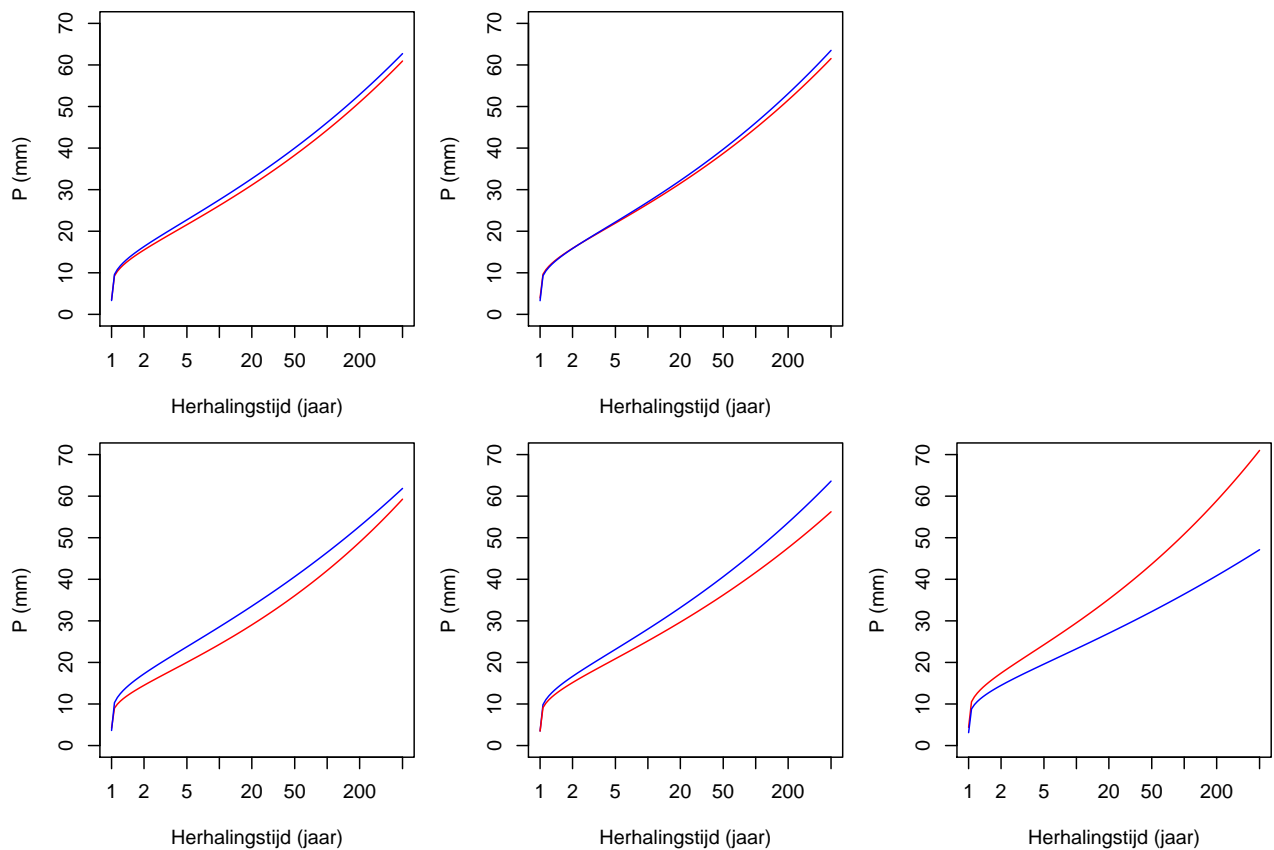
In figuur 7.4 staan de GEV-verdelingen behorende bij de opgesplitste datareeksen van de jaarmaxima. De kwantielfuncties van de jaarmaxima met windrichtingen uit de ZW-W-sector en overige windrichtingen zijn bijna identiek. Ook van de windsnelheid lijken de curves op elkaar. Bij Score 1 ligt de curve van de hoge Sc1 (zwak oostelijke stroming) hoger dan de curve van een laag Sc1, maar het verschil in neerslaghoeveelheid tussen de curves is klein.

De grootste verschillen zijn te zien bij Sc2 en Sc3. Bij een hoge Sc2 (zuidelijke stroming) komen hogere sommen vaker voor. Het verschil wordt groter naarmate de herhalingstijd toeneemt. Bij Sc3 zorgt juist een lage waarde voor hogere sommen. Een lage Score 3 duidt op anticyclonale stroming, die vaak voorkomt rond hogedrukgebieden. Dit is opvallend omdat in paragraaf 6.4.3 de kans op extreme neerslag juist iets hoger was bij cyclonale stroming.

7.6 GEV-verdelingen met $D=24$ uur, onderverdeeld naar windrichting

Het verband tussen extreme neerslag en circulatie kan anders zijn voor neerslagsommen langer dan een uur. De GEV-verdelingen van de verschillende windrichtingen voor $D=1$ uur toonden nauwelijks verschillen tussen de windrichtingen. Voor 24-uursommen zijn ook twee GEV-verdelingen berekend en weergegeven in figuur 7.5. Te zien is dat het verschil tussen ZW-W-sector en overige windrichtingen groter is dan bij $D=1$ uur. Bij overige richtingen komen er hogere extremen voor dan bij de ZW-W-sector. Het verschil wordt groter naarmate de herhalingstijd toeneemt.

Het is opvallend dat de kwantielfunctie van de windrichtingen uit de ZW-W-sector onder de curve van de overige windrichtingen ligt. In paragraaf 5.2.2 is vermeld dat, vergeleken met de andere windrichtingen, de kans op P5 hoog is bij westenwind, maar dat de kans op P10 minder hoog is. Het is mogelijk dat de kans op nog extremere neerslag in verhouding met andere windrichtingen nog lager is bij westenwind.

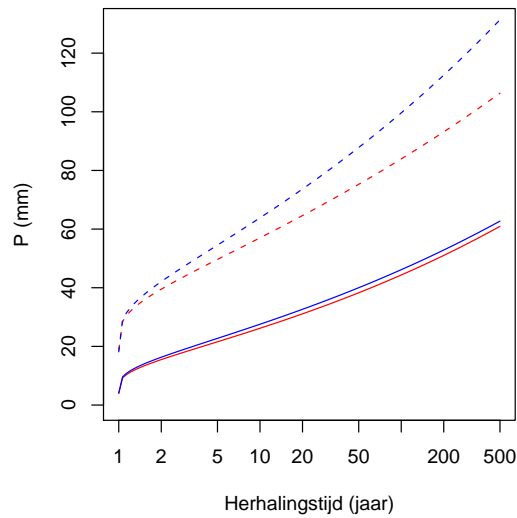


Figuur 7.4: GEV-verdelingen voor $D=1$ uur. Linksboven: jaarmaxima gesplitst op WR (rood = ZW-W-sector; blauw = overige WR). Midden boven: jaarmaxima gesplitst op WS (rood = laag; blauw = hoog). Linksonder: jaarmaxima gesplitst op Sc1 (rood = laag, sterk W; blauw = hoog, zwak O). Midden onder: jaarmaxima gesplitst op Sc2 (rood = laag, N ; blauw = hoog, Z). Rechtsonder: jaarmaxima gesplitst op Sc3 (rood = laag, anticyclonaal ; blauw = hoog, cyclonaal).

7.7 GEV-verdelingen met $D \geq 1$ uur, onderverdeeld naar p27-score

De GEV-verdelingen voor verschillende scores, berekend aan de hand van de jaarmaxima van 1-, 2-, 4-, 8-, 12- en 24-uursommen, staan in figuren 7.6, 7.7 en 7.8. Ook bij deze kwantielfuncties zijn de GEV-parameters apart geschat voor de jaarmaxima met de hoogste scores en de laagste. Opvallend is dat bij 24-uursommen de verschillen tussen de lijnen kleiner zijn dan bij de andere tijdsduren. De curven van Sc1 liggen bij de korte duren (1,2 en 4 uur) dicht bij elkaar, maar bij 8-, 12- en 24-uursommen heeft een hoge Sc1 (zwak oostelijk) hogere extremen.

Bij korte tijdsduren is de kans op extreme neerslag bij een hoge Sc2 (zuidelijke stroming)



Figuur 7.5: GEV-verdeling $D=1$ en $D=24$ uur jaarmaxima gesplitst op WR. Rood : ZW-W-sector. Blauw : overige WR. Doorgetrokken : $D=1$ uur. Gestippeld : $D=24$ uur).

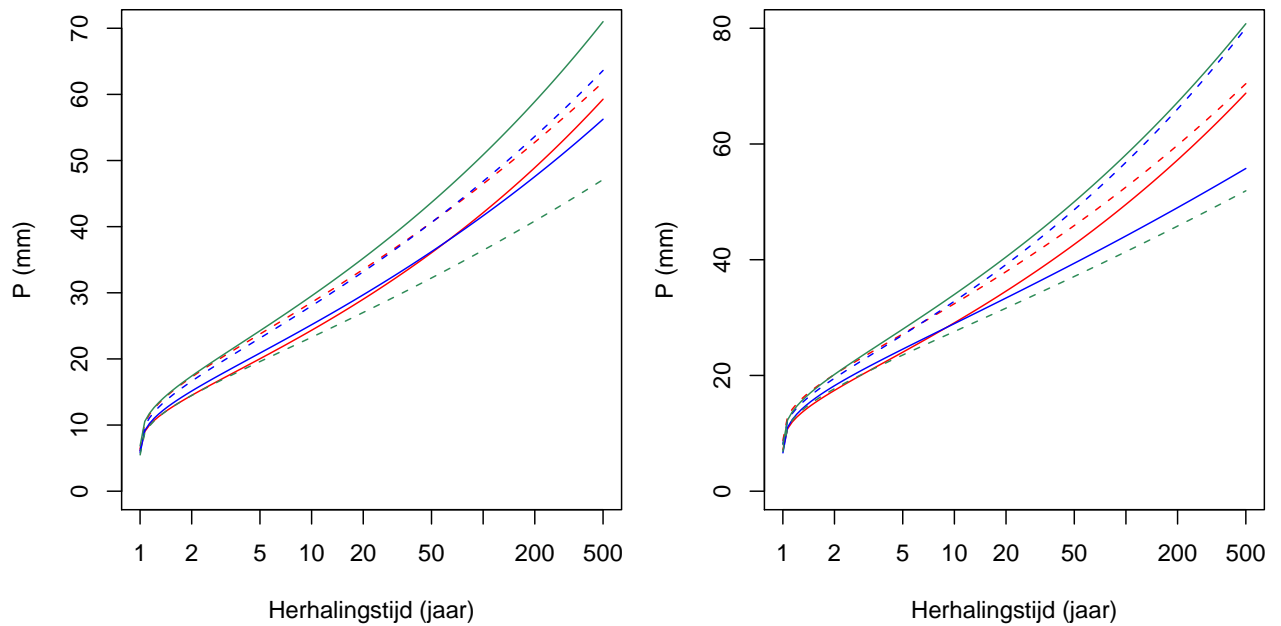
hoger. Bij $D=12$ uur kruisen de curven elkaar, waardoor bij grote herhalingstijden de kans op een hoge neerslag bij een lage Sc2 (noordelijke stroming) hoger is. Bij $D=24$ uur en $D=8$ uur zijn er bijna geen verschillen.

Bij alle tijdsduren geeft een lage Sc3 (anticyclonale stroming) meer neerslag. Alleen bij $D=24$ is er nauwelijks verschil tussen een hoge en een lage Sc3. Dit is opmerkelijk omdat in paragraaf 6.4.3 is gevonden dat bij anticyclonale stroming (categorie 3A) de kans op P5 en P10 iets lager is dan bij meer cyclonale stroming (categorieën 3B en 3C). Een verklaring hiervoor is dat bij GEV-verdelingen naar extreme neerslag met een herhalingstijd van meer dan een jaar wordt gekeken die wellicht een ander verband heeft met de cyclonaliteit.

7.8 Regenduurlijnen, onderverdeeld naar p27-score

Met lineaire regressie zijn de GEV-parameters μ , γ en κ berekend als functie van de duur. De gevonden verbanden staan in tabel A.12. In figuur 7.9 zijn regenduurlijnen weergegeven, behorende bij verschillende herhalingstijden, hoge en lage Sc1, Sc2 en Sc3. Voor Sc1 is te zien dat bij alle duren en alle herhalingstijden een hoge Sc1 (zwak oostelijke stroming) hogere extremen geeft. Bij Sc2 is hetzelfde te zien: hogere extremen bij hoge Sc2 (zuidelijke stroming). Zowel bij Sc1 als bij Sc2 neemt het verschil toe wanneer de herhalingstijd en de duur toenemen.

Bij Sc3 worden hogere extremen bereikt bij een lage Sc3 (anticyclonale stroming). Het verschil wordt kleiner wanneer de duur toeneemt en groter wanneer de herhalingstijd toe-



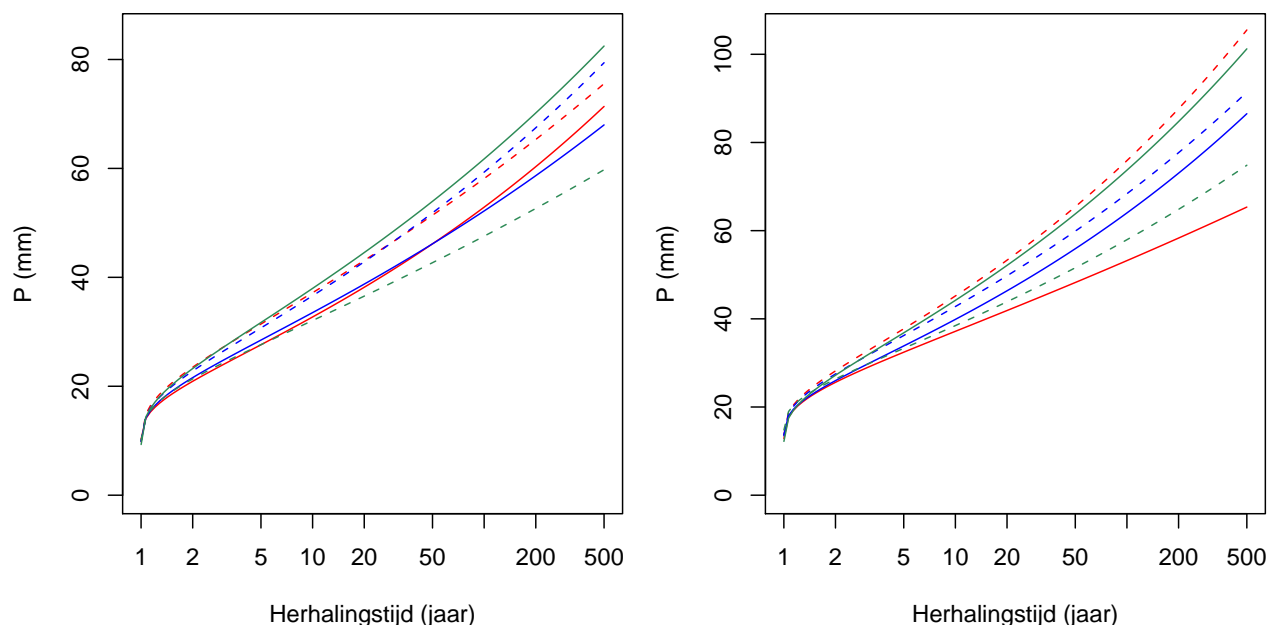
Figuur 7.6: GEV-verdelingen voor $D=1$ uur (links), $D=2$ uur (rechts). Rood: jaarmaxima gesplitst op Sc1 (doorgetrokken = laag, sterk W; gestippeld = hoog, zwak O). Blauw: jaarmaxima gesplitst op Sc2 (doorgetrokken = laag, N; gestippeld = hoog, Z). Groen: jaarmaxima gesplitst op Sc3 (doorgetrokken = laag, anticyclonaal; gestippeld = hoog, cyclonaal).

neemt. Bij $T=10$ jr kruisen de curves elkaar bij een duur van ongeveer 22 uur. Bij een duur van meer dan 22 uur komen bij cyclonale stroming hogere extremen voor.

7.9 Discussie

Zoals in paragraaf 7.7 is vermeld, worden de GEV-parameters apart geschat voor de jaarmaxima met de hoogste en de laagste scores. Hiervoor zijn de scores gebruikt die horen bij de eerste dag waarop de som is begonnen. In sommige gevallen (en bij $D=24$ uur in bijna alle gevallen) loopt een som door gedurende de volgende dag. Het is mogelijk dat hierdoor jaarmaxima bijvoorbeeld onterecht in de helft met lage scores terecht komen doordat de eerste dag een lage score 1 heeft, terwijl de tweede dag een hoge score 1 heeft.

De GEV-parameters van de jaarmaxima die gesplitst zijn op p27-scores, zijn geschat met 222 of 223 (50 % van 445) jaarmaxima, waardoor alle schatters een even grote onzekerheid hebben. Het nadeel van deze methode is dat de grenzen die hiervoor genomen zijn, niet voor alle dieren gelijk zijn. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat een extreme bui zowel een 1-uurjaarmaximum als een 2-uurjaarmaximum veroorzaakt. Als op het moment van deze bui de waarde van score 1 -0.730 bedraagt, dan zal het 1-uurjaarmaximum bij de lage scores



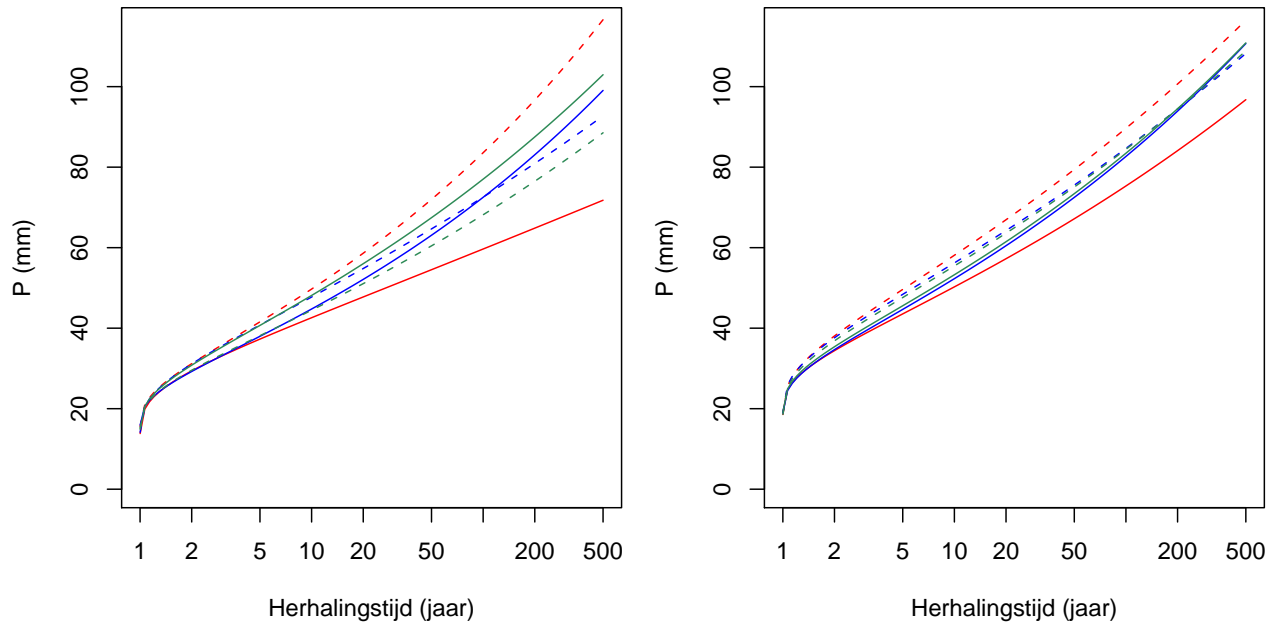
Figuur 7.7: GEV-verdelingen voor $D=4$ uur (links) en $D=8$ uur (rechts). Rood: jaarmaxima gesplitst op Sc1 (doorgetrokken = laag, sterk W; gestippeld = hoog, zwak O). Blauw: jaarmaxima gesplitst op Sc2 (doorgetrokken = laag, N; gestippeld = hoog, Z). Groen: jaarmaxima gesplitst op Sc3 (doorgetrokken = laag, anticyclonaal; gestippeld = hoog, cyclonaal).

1 worden ingedeeld, terwijl het bij het 2-uurjaarmaximum bij de hoge scores 1 ingedeeld wordt (zie tabel A.9). De GEV-verdelingen van verschillende uren zijn hierdoor niet direct te vergelijken en het is niet geheel correct wanneer met deze gegevens regenduurlijnen worden berekend.

In tabel 7.3 staat hoeveel procent van de jaarmaxima bij de splitsing van een score tussen het laagste splitsingspunt en het hoogste splitsingspunt van de 6 uren in zitten. Bij Sc1 bijvoorbeeld is 2 % van de 4-uurjaarmaxima in de helft met hoge Sc1 ingedeeld, terwijl die volgens de grens van de 1-uurmaxima (de hoogste splitsingsgrens) bij de lage Sc1 ingedeeld zou zijn.

De regenduurlijnen van $T=500$ jaar uit paragraaf 7.8 zijn niet op alle punten in overeenstemming met de GEV-verdelingen uit paragraaf 7.7. De GEV-parameters van de kwantiel-functies zijn gemodelleerd als functie van de duur. Verschillen tussen deze gemodelleerde GEV-parameters met die van de kwantiel-functies zorgen voor verschillen tussen kwantiel-functie en regenduurlijn. Er zijn drie gevallen waarbij het verschil tussen de kwantiel-functie en regenduurlijn opvalt.

Ten eerste zijn de regenduurlijnen behorende bij de hoge Sc1 (gestippelde rode lijn) altijd hoger dan bij de lage Sc2 (doorgetrokken rode lijn). In de waarschijnlijkheidsplotjes van

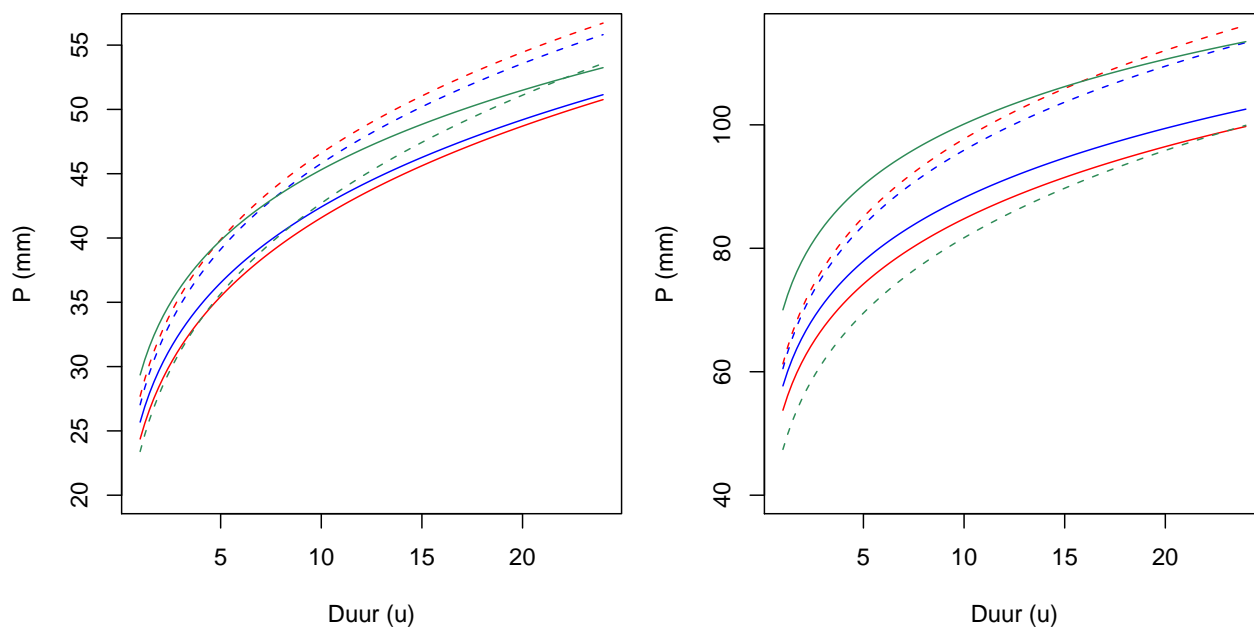


Figuur 7.8: GEV-verdelingen voor $D=12$ uur (links) en $D=24$ uur (rechts). Rood: jaarmaxima gesplitst op Sc1 (doorgetrokken = laag, sterk W; gestippeld = hoog, zwak O). Blauw: jaarmaxima gesplitst op Sc2 (doorgetrokken = laag, N; gestippeld = hoog, Z). Groen: jaarmaxima gesplitst op Sc3 (doorgetrokken = laag, anticyclonaal; gestippeld = hoog, cyclonaal).

$D=1$ uur, $D=2$ uur en $D=4$ uur is er geen groot verschil tussen de curves, terwijl bij $D=8$ uur en $D=12$ uur het verschil wel groot is. Dit is te verklaren door de waarde van κ . Bij het deel met de lage waarden van Sc1 is κ bij een duur van 1, 2 en 4 uur laag en bij 8 en 12 uur hoog. Bij het deel met de hoge waarden van κ is het tegenovergestelde het geval. Bij een lage κ is de kromming van de kwantielfunctie sterker en worden de neerslagsommen die bij een bepaalde herhalingstijd verwacht worden, hoger. Omdat bij $D=8$ uur en $D=12$ uur tegelijkertijd de kromming voor een hoge Sc1 groter wordt en de kromming voor een lage Sc1 kleiner wordt, is het verschil tussen de curves bij deze duren wel duidelijk te zien.

Ten tweede ligt de regenduurlijn bij een lage Sc2 (doorgetrokken blauwe lijn) bij $D=24$ uur en $T=500$ jaar lager dan de kwantielfunctie op hetzelfde punt. De waarde van κ is bij de regenduurlijn hoger dan bij de kwantielfunctie, waardoor de GEV-verdeling bij de regenduurlijn minder krom is. De waarde van γ is bij de regenduurlijn juist lager dan bij de kwantielfunctie, wat zorgt voor een minder steile GEV-verdeling bij de regenduurlijn. Doordat de regenduurlijn minder krom en minder steil is, worden er minder hoge neerslagsommen verwacht dan bij de kwantielfunctie bij dezelfde herhalingstijd.

Ten derde is er groot verschil tussen de GEV-parameters van regenduurlijn aan de ene kant en de GEV-parameters van de kwantielfunctie aan de andere kant. Het gaat hierbij om de waarden van κ en γ van het cyclonale deel (groen gestippeld) bij $D=8$ uur en $T=500$ jaar.



Figuur 7.9: Regenduurlijnen $T=10$ jaar (boven) en $T=500$ jaar (onder). Rood: jaarmaxima gesplitst op Sc1 (doorgetrokken = laag, sterk W; gestippeld = hoog, zwak O). Blauw: jaarmaxima gesplitst op Sc2 (doorgetrokken = laag, N; gestippeld = hoog, Z). Groen: jaarmaxima gesplitst op Sc3 (doorgetrokken = laag, anticyclonaal; gestippeld = hoog, cyclonaal).

Zowel de waarde van κ als die van γ is bij de regenduurlijn hoger dan bij de kwantielfunctie. Hierdoor is de GEV verdeling bij de regenduurlijn minder krom door de hoge κ maar steiler door de hoge γ . Deze twee werken elkaar tegen, waardoor de kwantielfunctie nu wel in overeenstemming is met de regenduurlijn.

Tabel 7.3: Percentage van de jaarmaxima dat tussen het laagste (en hoogste) splitsingspunt en het splitsingspunt van de betreffende duur ligt. Deze waarden geven aan dat x procent van de jaarmaxima van een bepaalde duur ingedeeld wordt bij een lage (hoge) score terwijl ze bij een andere duur bij een hoge (lage) score ingedeeld zouden worden.

$D(\text{uur})$	Sc1		Sc2		Sc3	
	laagste	hoogste	laagste	hoogste	laagste	hoogste
1	21	0	14	0	0	17
2	18	1	9	4	3	14
4	17	2	6	8	7	8
8	11	9	3	10	12	2
12	9	9	1	10	12	0
24	0	16	0	11	13	6

Hoofdstuk 8

Conclusie en aanbevelingen

8.1 Conclusie

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van de uursommen van de neerslag gemeten door 12 regenmeters in Nederland. Omdat voor de extreme-waardenstatistiek stationairiteit van de jaarmaxima van de neerslag aangenomen wordt, is onderzocht of hierin trends aanwezig zijn. Er is in slechts 14 % van de reeksen van neerslagjaarmaxima een positieve trend gevonden, waardoor deze voldoende stationair kunnen worden beschouwd voor het berekenen van extreme-waardenstatistiek. In alle neerslagreeksen samen is in 10 % van alle reeksen een trend aangetoond. In de reeksen van windsnelheid is in 14 % van de reeksen een trend aangetoond, in p27-score 1 8 %, in p27-score 2 14 % en in p27-score 3 22 %.

In de neerslaggegevens is een sterke seizoensvariatie te zien. Hoge neerslagsommen komen veel vaker voor in de zomermaanden dan in de wintermaanden.

De kans op een uurlijkse neerslagsom van meer dan 5 en 10 mm is het grootst bij (noord-)westenwinden en hoge windsnelheden. Bij zwak oostelijke stroming is gedurende het hele jaar de kans op meer dan 5 of 10 mm in een uur groter dan bij sterk westelijke stroming. Bij zuidelijke stroming (lage score 2) is er zowel in de zomer als in de winter een hogere kans op uursommen hoger dan 5 en 10 mm. Bij cyclonale stroming (hoge score 3) is er een iets hogere kans op een neerslagsom van meer dan 5 en 10 mm, maar dit verband is niet sterk.

Er zijn parameters van de GEV-verdeling geschat op jaarmaxima van 1-, 2-, 4-, 8-, 12- en 24-uursommen. De jaarmaxima zijn onderverdeeld in twee datasets: de jaarmaxima van de neerslag die horen bij een hoge windsnelheid of p27-score en de jaarmaxima die horen bij een lage windsnelheid of p27-score. Voor windrichtingen is een onderverdeling gemaakt tussen veel voorkomende winden uit de Z-ZW-sector en winden uit overige richtingen.

Bij de GEV-verdelingen van 1-uursommen is er geen verschil tussen de jaarmaxima die

gesplitst zijn in windrichtingen uit de zuidwest-west-sector van de windroos en de overige windrichtingen. Bij 24-uursommen komen er lagere neerslagsommen voor bij de Z-ZW-sector. Bij de 1-uurjaarmaxima die gesplitst zijn op hoge en lage windsnelheid is geen verschil te zien in de gefitte GEV-verdelingen.

De GEV-verdelingen zijn ook gefit op 1-uurjaarmaxima die gesplitst zijn op hoge en lage p27-scores. Deze laten zien dat neerslagsommen hoger zijn bij anticyclonale stroming (lage score 3) en zuidelijke stroming (hoge score 2). De zonaliteit lijkt niet van invloed op de GEV-verdeling. Bij langere duren zijn de sommen van zwak oostelijke stroming hoger en worden de verschillen tussen lage en hoge score 2 en score 3 kleiner.

Aan de hand van de GEV-verdelingen zijn regenduurlijnen opgesteld. Deze geven dezelfde verbanden weer als de kwantiefuncties. De neerslag is hoger bij zwak oostelijke stroming (hoge score 1, bij sommige duren), zuidelijke stroming (hoge score 2) en anticyclonale stroming (lage score 3). Het verschil tussen cyclonale en anticyclonale stroming neemt af met de duur.

In het begin van het onderzoek zijn een hoofdvraag en een aantal deelvragen gesteld. Op de deelvragen zijn een aantal antwoorden gevonden:

- *Wat is de kans op extreme neerslag bij een bepaalde windrichting of windsnelheid?* Het verband tussen windrichting en hoge uursommen van de neerslag (meer dan 5 mm of meer dan 10 mm) is anders dan het verband tussen windrichting en zeer extreme neerslag. Hoe hoger de herhalingstijd, hoe kleiner de kans op extreme neerslag bij winden uit de zuidwest-west-sector van de windroos en hoe groter de kans op extreme neerslag bij de meer noordelijke windrichtingen. De kans op meer dan 5 en 10 mm is hoger naarmate de windsnelheid toeneemt.
- *Wat is de kans op extreme neerslag bij een bepaalde circulatie-index?* Als circulatie-index is de p27-index gebruikt. Door de duidelijke betekenis van de p27-scores en de objectiviteit van deze index is de p27-index een goede circulatie-index voor dit onderzoek. Wanneer de stroming op 500 hPa een sterke zuidelijke component heeft (hoge p27-score 2), of een zwak oostelijke component heeft (hoge score 1) is de kans op extreme uurneerslag het hoogst.
Het verband tussen extreme neerslag en de cyclonaliteit van de stroming op 500 hPa hangt af van de herhalingstijd. De kans op een uursom van meer dan 5 en 10 mm is iets hoger bij cyclonale stroming (hoge score 3) en de kans op nog hogere uursommen is hoger bij anticyclonale stroming (lage score 3).
- *Varieert het type circulatie dat de meeste neerslag veroorzaakt per seizoen?* In de zomer is de kans op extreme neerslag bij alle circulatietypen veel hoger dan in de winter, maar er is weinig verschil gevonden tussen de kans op hoge neerslag bij verschillende windrichtingen, windsnelheden of p27-scores.
- *Vertonen extreme neerslag, wind en p27-index een trend in de tijd?* In 8 tot 16

% van de reeksen van extreme neerslag, windsnelheid en p27-score 1 en 2 is een trend aangetoond. Bij de neerslag zijn bijna alle aangetoonde trends positief, bij de windsnelheid zijn alle trends negatief, bij score 3 negatief en bij score 1 en score 2 zijn beide soorten trends aangetoond.

8.2 Aanbevelingen

In hoofdstuk 3 is onderzocht of er trends aanwezig zijn in de reeksen, maar de afwezigheid van trends wil niet direct zeggen dat de reeksen homogeen zijn. Door het veranderen van meetmethoden, -instrumenten en -locaties worden de waarnemingen beïnvloed. Deze inhomogeniteiten zijn in dit onderzoek niet meegenomen.

Als extreme-waardenverdeling is in dit onderzoek gekozen voor de gegeneraliseerde extreme-waardenverdeling, die veel gebruikt wordt bij onderzoek naar neerslagmaxima. Er zijn echter ook andere extreme-waardenverdelingen die wellicht beter de werkelijkheid benaderen.

De onzekerheid van de geschatte GEV-parameters zorgt ook voor een onzekerheid in de regenduurlijnen. Het is aan te bevelen om de onzekerheid van de parameters te berekenen en weer te geven in waarschijnlijkheidsplotten en regenduurlijnen [22].

In 16 % van de p27-score 3 is een negatieve trend aangetoond. Dit betekent dat score 3 met de tijd afneemt en de stroming anticyclonaler wordt. In ander onderzoek is aangetoond dat de Noord Atlantische Oscillatie (NAO) de laatste jaren in een extreem positieve fase verkeert [12] [26]. De NAO-index geeft een beeld van de locatie van lage- en hogedrukgebieden. Bij een extreem positieve fase liggen er over Nederland vaker lagedrukgebieden, die zorgen voor cyclonale stroming bij een druk van 500 hPa. Dit lijkt elkaar tegen te spreken. Hoe deze twee indices - de NAO-index en p27-score 3 - met elkaar verbonden zijn kan nog worden onderzocht.

Bibliografie

- [1] T. Buishand. Uitzonderlijk hoge neerslaghoeveelheden en de theorie van de extreme waarden. *Cultuurtechnisch tijdschrift*, 23:9–20, 1983.
- [2] T.A. Buishand. Correctie pluviograafwaarnemingen, 1988. KNMI Memorandum, FM-88-28, KNMI, De Bilt.
- [3] T.A. Buishand and T. Brandsma. Comparison of circulation classification schemes for predicting temperature and precipitation in the Netherlands. *International Journal of Climatology*, 17:875–889, 1997.
- [4] S. Coles. *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer, London, 2001.
- [5] M.C. Gallego, J.A. García, and J.M. Vaquero. The NAO signal in daily rainfall series over the Iberian Peninsula. *Climate Research*, 29:103–109, 2005.
- [6] F.W. Gerstengarbe and P.C. Werner. Katalog der Grosswetterlagen Europas nach Paul Hess und Helmut Brezowski 1981-1992. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, 113:249 pp., 1993.
- [7] D.M. Hershfield. *Rainfall frequency atlas of the United States: For durations from 30 minutes to 24 hours and return periods from 1 to 100 years*. Number 40 in Technical Paper. U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, Washington D.C., 1961.
- [8] L.H. Holthuijsen. *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge University Press, Cambridge, 2005.
- [9] J.R.M. Hosking and J.R. Wallis. *Regional Frequency Analysis: an Approach Based on L-moments*. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- [10] J.R.M. Hosking, J.R. Wallis, and E.F. Wood. Estimation of the Generalized Extreme-Value distribution by the method of probability-weighted moments. *Technometrics*, 27(3):251–261, 1985.
- [11] Y. Hundecha and A. Bárdossy. Trends in precipitation and temperature extremes across Western Germany in the second half of the 20th century. *International Journal of Climatology*, 25:1189–1202, 2005.

- [12] J.W. Hurrell. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, 269:676–679, 1995.
- [13] R. Huth. Properties of the circulation classification scheme based on the rotated PCA. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 59:217–233, 1996.
- [14] M.G. Kendall and A. Stuart. *The Advanced Theory of Statistics*. Griffin, London, 1989.
- [15] W. Kirchhofer. Classification of European 500 mbar patterns. *Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt*, 43:9, 1974.
- [16] KNMI. *Handbook for the Meteorological Observation*, chapter 6, pages 91–110. KNMI, 2000. beschikbaar via <http://www.knmi.nl/samenw/hawa/>.
- [17] S. Kruizinga. Objectieve classificatie van 500 mbar patronen, 1978. Wetenschappelijk Rapport 78-8, KNMI, De Bilt.
- [18] S. Kruizinga. Objective classification of daily 500 mbar patterns. In *Sixth Conference on Probability and Statistics in Atmospheric Sciences, Banff, Alberta, Canada*, pages 126–129. American Meteorological Society, Boston, 1979.
- [19] H.H. Lamb. British Isles weather types and a register of the daily sequence of circulation patterns, 1861-1971. *Synoptic Climatology Branche Memorandum*, 116:85 pp., 1964.
- [20] I.A. Lund. Map-pattern classification by statistical methods. *Journal of Applied Meteorology*, 2:56–65, 1963.
- [21] R.M. Mitchell and I.D. Phillips. Warm season extreme precipitation events at Sunderland 1940-2000. *Weather*, 61:227–232, 2006.
- [22] A. Overeem, T.A. Buishand, and I. Holleman. Rainfall depth-duration-frequency curves and their uncertainties. Submitted, *Journal of Hydrology*, dec 2006.
- [23] I.D. Phillips and G.R. McGregor. The relationship between synoptic scale airflow and daily rainfall: a methodology applied to Devon and Cornwall, South West England. *Theoretical and Applied Climatology*, 69:179–198, 2001.
- [24] A. Smits, J.B. Wijngaard, R.P. Versteeg, and M. Kok. Statistiek van Extreme Neerslag in Nederland, 2004. Rapport 2004-26, STOWA, Utrecht.
- [25] R.M. Trigo and C.C. DaCamara. Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal. *International Journal of Climatology*, 20:1559–1581, 2000.

- [26] R.M. Trigo, T.J. Osborn, and J.M. Corte-Real. The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms. *Climate Research*, 20:9–17, 2002.
- [27] R. Twardosz and T. Niedźwiedź. Influence of synoptic situations on the precipitation in Krakow (Poland). *International Journal of Climatology*, 21:467–481, 2001.
- [28] Z. Urstnul and D. Czekierda. Circulation background of the atmospheric precipitation in Central Europe (based on Polish example). *Meteorologische Zeitschrift*, 10:103–111, 2000.
- [29] R. Vautard, P. Yiou, and M. Ghil. Singular-spectrum analysis: a toolkit for short, noisy, chaotic signals. *Physica*, D58:95–126, 1992.
- [30] J. Wibig. Precipitation in Europe in relation to circulation patterns at the 500 hpa level. *International Journal of Climatology*, 19:253–269, 1999.

Bijlage A

Overige figuren en tabellen

Tabel A.1: In dit verslag gebruikte afkortingen.

	Afkorting
Neerslag	P
P>5 mm	P5
P>10 mm	P10
Wind	W
Windrichting	WR
Windsnelheid	WS
p27 score 1	Sc1
p27 score 2	Sc2
p27 score 3	Sc3
Concentration Factor	CF
Gegeneraliseerde extreme waarde verdeling	GEV-verdeling
Duur	D
Herhalingstijd	T

Tabel A.2: Indeling p27-klassen.

Sc1	Sc2	Sc3	klasse
A	A	A	1
		B	2
		C	3
	B	A	4
		B	5
		C	6
	C	A	7
		B	8
		C	9
B	A	A	10
		B	11
		C	12
	B	A	13
		B	14
		C	15
	C	A	16
		B	17
		C	18
C	A	A	19
		B	20
		C	21
	B	A	22
		B	23
		C	24
	C	A	25
		B	26
		C	27

Tabel A.3: Aantal overschrijdingen uurneerslagsommen van drempels per maand van alle stations. Alle stations zijn bij elkaar gevoegd. Dit leverde een dataset op van 4223256 uur (482 jaar).

drempel	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
P>5mm	101	90	90	157	513	869	1122	1193	856	471	282	164
P>10mm	1	2	1	16	92	181	255	279	119	45	12	5
P>15mm	0	0	1	3	24	60	100	97	23	5	0	1
P>20mm	0	0	1	0	9	25	42	36	6	2	0	0
P>25mm	0	0	0	0	5	12	20	13	3	0	0	0
P>30mm	0	0	0	0	2	5	9	7	0	0	0	0

Tabel A.4: Jaarlijkse kans op een bepaalde WR, kans op P5 en P10 bij een bepaalde WR en concentration factors bij een bepaalde WR. Getallen behoren bij figuren in hoofdstuk 5.

	Kans (WR) (%)	Kans (P5 WR) (%)	Kans (P10 WR) (%)	CF WR-P5 (%)	CF WR-P10 (%)
Figuur	5.1	5.2	5.3	5.4	5.4
N	8.7	0.14	0.025	0.46	0.19
NO	9.6	0.08	0.018	0.37	0.19
O	10.6	0.07	0.011	-0.17	-0.15
ZO	6.8	0.10	0.017	0.09	0.34
Z	16.3	0.11	0.017	-0.12	0.06
ZW	20.1	0.16	0.024	-0.96	-1.26
W	16.1	0.19	0.027	-0.28	0.40
NW	8.1	0.17	0.029	0.36	0.40
X	3.7	0.14	0.031	0.26	-0.17

Tabel A.5: Jaarlijkse kans op een bepaalde klasse van WS, kans op P5 bij een bepaalde categorie van WS en kans op P10 bij een bepaalde categorie van WS. Getallen behoren bij figuren in hoofdstuk 5.

	Kans (WS) (%)	Kans (P5 WS) (%)	Kans (P10 WS) (%)
Figuur	5.5	5.6	5.7
1	12.3	0.04	0.006
2	12.6	0.09	0.004
3	11.4	0.12	0.024
4	13.5	0.13	0.022
5	11.7	0.14	0.028
6	13.1	0.16	0.032
7	12.7	0.17	0.027
8	12.7	0.24	0.035

Tabel A.6: Jaarlijkse kans op een bepaalde Sc1, kans op P5 en P10 bij een bepaalde categorie van Sc1 en concentration factors bij een bepaalde categorie van Sc1. Getallen behoren bij figuren in hoofdstuk 6.

	Kans (Sc1) (%)	Kans (P5 Sc1) (%)	Kans (P10 Sc1) (%)	CF Sc1-P5 (%)	CF Sc1-P10 (%)
Figuur	6.1	6.2	6.3	6.4	6.4
1A	32	0.07	0.013	-3.94	-1.35
1B	34	0.14	0.022	0.93	-0.08
1C	34	0.18	0.029	3.02	1.43

Tabel A.7: Jaarlijkse kans op een bepaalde Sc2, kans op P5 en P10 bij een bepaalde categorie van Sc2 en concentration factors bij een bepaalde categorie van Sc2. Getallen behoren bij figuren in hoofdstuk 6.

	Kans (Sc2) (%)	Kans (P5 Sc2) (%)	Kans (P10 Sc2) (%)	CF Sc2-P5 (%)	CF Sc2-P10 (%)
Figuur	6.5	6.6	6.7	6.8	6.8
2A	34	0.04	0.008	-1.58	-0.34
2B	33	0.14	0.022	-0.09	-0.55
2C	33	0.20	0.033	1.68	0.90

Tabel A.8: Jaarlijkse kans op een bepaalde Sc3, kans op P5 en P10 bij een bepaalde categorie van Sc3 en concentration factors bij een bepaalde categorie van Sc3. Getallen behoren bij figuren in hoofdstuk 6.

	Kans (Sc3) (%)	Kans (P5 Sc3) (%)	Kans (P10 Sc3) (%)	CF Sc3-P5 (%)	CF Sc3-P10 (%)
Figuur	6.9	6.10	6.11	6.12	6.12
3A	33	0.1	0.020	1.33	1.24
3B	33	0.13	0.021	2.54	1.98
3C	34	0.15	0.026	-3.87	-3.22

Tabel A.9: Punten waarop de jaarmaxima gesplitst zijn voor de berekening van de verschillende GEV-verdelingen.

grootheid	D(u)					
	1	2	4	8	12	24
Sc1	-0.723	-0.732	-0.750	-0.818	-0.834	-0.953
Sc2	0.535	0.472	0.410	0.365	0.336	0.317
Sc3	0.158	0.215	0.345	0.463	0.488	0.405
WR	205-305	-	-	-	-	205-305
WS	5.1	-	-	-	-	-

Tabel A.10: GEV-parameters met standaarddeviaties voor $D=1$ uur, behorende bij de figuren in hoofdstuk 7. De parameters α en μ uit deze tabel zijn nog niet omgerekend met de conversiefactor, maar de curves in de figuren wel (met uitzondering van figuur 7.2).

D (uur)	Deel	Figuur	Aantal jaar	μ (mm)	α (mm)	κ (-)	σ_μ (mm)	σ_α (mm)	σ_κ (-)
1	alle wind	7.3	421	12.44	4.51	-0.14	0.25	0.21	0.04
1	alle p27	7.2,7.3	445	12.45	4.49	-0.14	0.24	0.20	0.04
1	alle p27 zomer	7.3	445	12.24	4.60	-0.13	0.25	0.21	0.04
1	alle p27 winter	7.3	445	6.21	1.63	-0.16	0.09	0.07	0.04
1	Sc1 laag	7.4,7.6	222	11.44	3.90	-0.17	0.30	0.26	0.06
1	Sc1 hoog	7.4,7.6	223	13.57	4.85	-0.11	0.37	0.30	0.06
1	Sc2 laag	7.4,7.6	222	11.91	4.22	-0.13	0.32	0.27	0.06
1	Sc2 hoog	7.4,7.6	223	13.04	4.77	-0.13	0.37	0.30	0.06
1	Sc3 laag	7.4,7.6	222	13.68	4.88	-0.16	0.38	0.32	0.06
1	Sc3 hoog	7.4,7.6	223	11.44	3.93	-0.09	0.30	0.24	0.05
1	WR piek	7.4	201	12.16	4.40	-0.15	0.36	0.30	0.06
1	WR dal	7.4	191	12.77	4.71	-0.13	0.39	0.32	0.06
1	WS laag	7.4	208	12.49	4.39	-0.15	0.35	0.29	0.06
1	WS hoog	7.4	213	12.38	4.61	-0.15	0.36	0.30	0.06

Tabel A.11: GEV-parameters met standaarddeviaties voor $D > 1$ uur, behorende bij de figuren in hoofdstuk 7. De parameters α en μ voor $D=2$ uur uit deze tabel zijn nog niet omgerekend met de conversiefactor, maar de curves in de figuren wel.

D (uur)	Deel	Figuur	Aantal jaar	μ (mm)	α (mm)	κ (-)	σ_μ (mm)	σ_α (mm)	σ_κ (-)
2	Sc1 laag	7.6	222	14.93	4.91	-0.16	0.38	0.32	0.06
2	Sc1 hoog	7.6	223	17.42	5.36	-0.13	0.41	0.34	0.06
2	Sc2 laag	7.6	222	15.65	5.18	-0.06	0.39	0.31	0.05
2	Sc2 hoog	7.6	223	16.74	5.49	-0.17	0.42	0.36	0.06
2	Sc3 laag	7.6	222	17.25	5.83	-0.16	0.45	0.38	0.06
2	Sc3 hoog	7.6	223	15.28	4.80	-0.05	0.36	0.29	0.05
4	Sc1 laag	7.7	222	18.97	5.15	-0.15	0.40	0.33	0.06
4	Sc1 hoog	7.7	223	21.11	6.39	-0.10	0.49	0.39	0.05
4	Sc2 laag	7.7	222	19.53	5.51	-0.11	0.42	0.34	0.06
4	Sc2 hoog	7.7	223	20.48	6.18	-0.13	0.47	0.39	0.06
4	Sc3 laag	7.7	222	20.76	6.65	-0.12	0.51	0.42	0.06
4	Sc3 hoog	7.7	223	19.42	5.19	-0.07	0.39	0.31	0.05
8	Sc1 laag	7.7	222	23.47	5.75	-0.05	0.44	0.34	0.05
8	Sc1 hoog	7.7	223	25.48	7.16	-0.17	0.55	0.47	0.06
8	Sc2 laag	7.7	222	23.72	5.99	-0.16	0.46	0.39	0.06
8	Sc2 hoog	7.7	223	24.95	6.76	-0.14	0.52	0.43	0.06
8	Sc3 laag	7.7	222	24.44	7.33	-0.16	0.56	0.47	0.06
8	Sc3 hoog	7.7	223	24.29	5.50	-0.12	0.42	0.34	0.06
12	Sc1 laag	7.8	222	26.87	6.86	-0.02	0.52	0.40	0.05
12	Sc1 hoog	7.8	223	28.24	7.75	-0.18	0.60	0.51	0.06
12	Sc2 laag	7.8	222	26.76	6.57	-0.17	0.51	0.43	0.06
12	Sc2 hoog	7.8	223	28.18	7.88	-0.09	0.60	0.48	0.05
12	Sc3 laag	7.8	222	27.92	7.67	-0.14	0.59	0.49	0.06
12	Sc3 hoog	7.8	223	27.00	6.81	-0.11	0.52	0.42	0.06
24	Sc1 laag	7.8	222	31.70	7.25	-0.11	0.55	0.45	0.06
24	Sc1 hoog	7.8	223	34.61	9.22	-0.11	0.70	0.57	0.06
24	Sc2 laag	7.8	222	31.78	7.66	-0.15	0.59	0.49	0.06
24	Sc2 hoog	7.8	223	34.37	8.70	-0.10	0.66	0.53	0.05
24	Sc3 laag	7.8	222	32.43	7.86	-0.14	0.60	0.50	0.06
24	Sc3 hoog	7.8	223	33.64	8.60	-0.10	0.65	0.53	0.06
24	WR piek	7.5	207	32.34	7.50	-0.09	0.60	0.48	0.05
24	WR dal	7.5	199	33.95	9.33	-0.13	0.74	0.61	0.06

Tabel A.12: Regressiecoëfficiënten van de verbanden tussen de GEV-parameters en de duur. De verbanden tussen de GEV-parameters en de duur zijn: $\ln(\mu) = a_\mu + b_\mu \ln(D)$, $\gamma = a_\gamma + b_\gamma \ln(D)$ en $\kappa = \kappa_{gem}$

	a_μ	b_μ	a_γ	b_γ	κ_{gem}
Sc1 laag	2.57	0.28	0.33	-0.03	-0.13
Sc1 hoog	2.70	0.26	0.33	-0.02	-0.13
Sc2 laag	2.62	0.27	0.34	-0.03	-0.13
Sc2 hoog	2.66	0.27	0.34	-0.03	-0.13
Sc3 laag	2.71	0.24	0.35	-0.03	-0.15
Sc3 hoog	2.57	0.30	0.32	-0.03	-0.09

