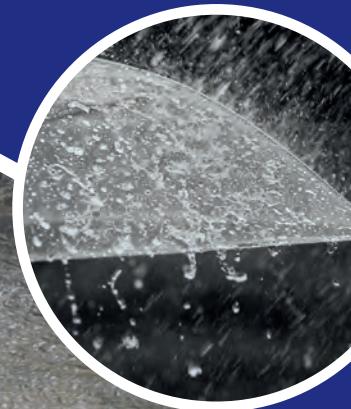


NEERSLAGSTATISTIEKEN VOOR KORTE DUREN



RAPPORT

2018
12

NEERSLAGSTATISTIEKEN VOOR KORTE DUREN
ACTUALISATIE 2018

RAPPORT

2018

12

ISBN 978-90-5773-785-5



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS

Jules Beersma, KNMI
Rudolf Versteeg, HKV
Hans Hakvoort, HKV

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Joost Heijkers, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Jan Jelle Reitsma, Hoogheemraadschap van Rijnland
Marinus van Dijk, Waterschap Vallei en Veluwe
Marijke Visser, Waterschap Zuiderzeeland
Pier Schaper, Wetterskip Fryslân
Jochem Fritz, Hoogheemraadschap van Delfland
Jeroen Hermans, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Peter Hulst, Waterschap Limburg
Jeroen van der Scheer, Waterschap Vechtstromen
Gerben Tromp, Waterschap Drents-Overijsselse Delta
Ilmar Kelderman, Waterschap Rijn en IJssel
Frank van der Bolt, Waterschap Aa en Maas
Paul Fortuin, Rijkswaterstaat WVL
Harry van Lujtelaar, RIONED
Michelle Talsma, STOWA
Kees Peerdeman, Waterschap Brabantse Delta (voorzitter)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2018-12
ISBN 978-90-5773-785-5

COPYRIGHT Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

DISCLAIMER Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

EXTREME BUIEN NEMEN TOE, IN AANTAL EN OMVANG

In opdracht van de STOWA hebben het KNMI en HKVLijn in water neerslagstatistieken voor korte tijdsduren, van 10 minuten tot 12 uur geactualiseerd. De nieuwe statistieken, die tot enkele tientallen procenten hoger uitvallen dan de tot nu toe gehanteerde neerslagstatistieken, vormen belangrijke input voor modelberekeningen waarmee waterbeheerders, gemeenten en projectontwikkelaars kunnen zien in hoeverre de omgeving gevoelig is voor extreme neerslaghoeveelheden. Deze komen door klimaatverandering steeds vaker voor.

De nieuwe neerslagstatistieken geven inzicht in de hoeveelheid neerslag van een bepaalde duur (van 10 minuten tot 12 uur), bij een bepaalde herhalingstijd (bijvoorbeeld eens in de tien of honderd jaar). De statistieken zijn gebaseerd op waarnemingen van de periode 2003 tot en met 2016, van De Bilt en een dertigtal andere weerstations verspreid over Nederland. Hierdoor geven ze een betrouwbaar beeld van de huidige neerslaggebeurtenissen, waarin ook de effecten van al opgetreden klimaatverandering tot uiting komen.

De neerslagstatistieken voor extremen van korte duur zijn vooral van belang voor modelberekeningen in stedelijk gebied. Hier kunnen korte hevige buien zorgen voor problemen vanwege de grote hoeveelheid verhard oppervlak (asfalt, klinkers, daken) en relatief weinig groen. Overtollig hemelwater kan hier nauwelijks in de bodem wegzakken, maar moet via de riolering worden afgevoerd. Die raakt overbelast, waardoor er water op straat kan komen en huizen en wegen blank kunnen komen te staan.

In het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie is vastgelegd dat alle gemeenten, waterschappen en provincies uiterlijk in 2019 de kwetsbaarheid van Nederland voor weersextremen in beeld brengen met stresstesten. Hierbij is het van belang te weten welke extreme hoeveelheden neerslag verwacht kunnen worden. Deze nieuwe neerslagstatistieken geven hier een duidelijke richting aan.

Tot slot: het afleiden van neerslagstatistieken voor kortere duren maakt onderdeel uit van de STOWA-activiteiten om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van te verwachten extremen. Er volgt in dit verband nog een studie naar regionale verschillen in extreme neerslag, naar neerslagpatronen en naar de statistiek van extreme gebiedsneerslag. Ook worden de statistieken voor langdurige neerslag (tot meerdere dagen) uit 2015 nog een keer tegen het licht gehouden.

Joost Buntsma,

Directeur STOWA

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

NEERSLAGSTATISTIEKEN VOOR KORTE DUREN ACTUALISATIE 2018

INHOUD

| | | |
|----------|---|----------|
| | TEN GELEIDE | |
| | DE STOWA IN HET KORT | |
| 1 | INLEIDING | 1 |
| 2 | NEERSLAGSTATISTIEK VOOR KORTE DUREN | 2 |
| 2.1 | Inleiding | 2 |
| 2.2 | Methodiek | 2 |
| 2.3 | Data | 3 |
| 2.4 | Type kansverdeling | 7 |
| 2.5 | Fits per duur | 8 |
| 2.6 | GEV- of GLO verdeling? | 12 |
| 2.7 | Relatie met de dauwpuntstemperatuur/klimaattrend | 13 |
| 2.8 | Regressie model voor de GLO parameters als functie van neerslagduur | 16 |
| 2.9 | Onzekerheidsanalyse (betrouwbaarheidsbanden) | 18 |
| 2.10 | Resultaattabellen en afleiding regenduurlijnen | 21 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3 | WINTERSTATISTIEK VOOR KORTE DUREN | 26 |
| 3.1 | Inleiding | 26 |
| 3.2 | Fits per duur | 26 |
| 3.3 | Regressie model voor de GEV parameters als functie van neerslagduur | 29 |
| 3.4 | Verschillen met STOWA (2015) | 34 |
| 3.5 | Resultaten | 37 |
| 4 | EXTREME HISTORISCHE EVENTS EN REGENDUURLIJNEN VAN DE JAARSTATISTIEK | 38 |
| 5 | DISCUSSIE EN CONCLUSIES | 41 |
| 6 | REFERENTIES | 43 |
| Bijlage A | Afleiding van het volledige GLO model voor korte neerslagduren (10 tot 720 min) | 45 |
| Bijlage B | GEV en GLO verdelingen per neerslagduur | 47 |

1

INLEIDING

De waterbeheerders in Nederland hebben voortdurend de behoefte aan de nieuwste inzichten ten aanzien van de karakteristieken van de neerslag-, de verdamping en de wind, voor zowel het huidige als toekomstige klimaat. Het zijn immers deze karakteristieken die sterk bepalend zijn voor de wijze waarop de Nederlandse watersystemen worden ingericht en beheerd en de daarmee gepaard gaande kosten.

KNMI en HKV hebben in de afgelopen jaren met enige regelmaat in opdracht van Stowa onderzoek uitgevoerd op het gebied van meteo-informatie ten behoeve van het waterbeheer, het meest recent in 2015 met de oplevering van de geactualiseerde neerslagstatistiek.

Vanuit die kennis en ervaring is een Kennisagenda Meteo in het Waterbeheer opgesteld. In deze kennisagenda is weergegeven op welke punten verdere kennisontwikkeling relevant zou kunnen zijn, en waar reeds kennisontwikkeling plaatsvindt. Op grond hiervan heeft STOWA aan HKV en KNMI gevraagd onderzoek te doen naar de volgende onderdelen uit de kennisagenda:

1. Neerslagstatistiek voor korte duren;
2. Statistiek van extreme gebiedsneerslag;
3. Regionale verschillen in extreme neerslag en
4. Neerslagpatronen.

Voorliggend rapport is een technische achtergrondrapportage en beschrijft aanpak, uitgangspunten en resultaten van het eerstgenoemde onderdeel van de kennisagenda: Neerslagstatistiek voor korte duren. De andere onderdelen van de kennisagenda worden beschreven in separate rapporten. Dit rapport is bedoeld voor technisch specialisten, daarnaast zal een samenvattende brochure voor algemeen gebruik en communicatie verschijnen.

Het gehele onderzoek is uitgevoerd door het volgende team:

- Dr. J. Beersma (KNMI)
- Dr. ir. A. Overeem (KNMI)
- Ir. R.P. Versteeg (HKV)
- Ing. R. Jilderda (KNMI)
- Ir. H.A.M. Hakvoort (HKV)

Het onderzoek is namens STOWA begeleid door een begeleidingsgroep onder voorzitterschap van ir. K. Peerdeman.

2

NEERSLAGSTATISTIEK VOOR KORTE DUREN

2.1 INLEIDING

In 2015 (STOWA, 2015) is een nieuwe, voor heel Nederland representatieve, neerslagstatistiek afgeleid voor neerslagduren van 2 uur t/m 20 dagen. In aanvulling hierop wordt in dit rapport een nieuwe neerslagstatistiek gepresenteerd voor neerslagduren van 10 minuten tot en met 2 uur. Deze zogenoemde nieuwe neerslagstatistiek voor korte duren vervangt hiermee de bestaande neerslagstatistiek voor korte duren voor Nederland (Buishand & Wijngaard, 2007).

In dit hoofdstuk behandelen we de afleiding van de jaarstatistiek voor korte duren; hoofdstuk 3 is gewijd aan de winterstatistiek voor korte duren. In hoofdstuk 4 zijn ter illustratie enkele extreme historische events beschreven in relatie tot de regenduurlijnen van de jaarstatistiek. In hoofdstuk 5 volgen een discussie en de conclusies.

2.2 METHODIEK

De methodiek om de neerslagstatistiek te bepalen bestaat uit de volgende stappen:

1. Verzameling geschikte data.
Voor kortere duren is in Buishand & Wijngaard (2007) gebruik gemaakt van pluviograafmetingen van station De Bilt in de periode 1906–1990. Deze kunnen echter niet betrouwbaar worden verlengd tot 2017. In plaats daarvan wordt gebruik gemaakt van het ‘poolen’ van data van de 10-minuten reeksen van ongeveer 31 automatische neerslagstations voor de 14-jarige periode 2003–2016. De argumentatie bij de keuze voor deze data, benodigde validatie en correctie van de data, de geschiktheid van de gepoolde data en een beknopte beschouwing van de data ten opzichte van de data van de Bilt is beschreven in paragraaf 2.3.
2. Op basis van de ‘gepoolde’ jaarmaxima uit 1. is voor verschillende neerslagduren, per duur, een extreme waarden verdeling aan de jaarmaxima behorend bij die duur gefit. Hierbij is gebruik gemaakt van twee typen kansverdelingen: zowel een GEV-verdeling als een GLO-verdeling. De tweede is toegevoegd ten opzichte van STOWA (2015) om de data in het extreme bereik beter te kunnen beschrijven. Gedurende het onderzoek is namelijk gebleken dat de GEV-verdeling de hoogste extremen niet goed kon beschrijven en sterk onderschatte. De GLO-verdeling kan deze extremen beter beschrijven. Bij de fits voor de individuele duren zijn ook duren tot en met 12 uur meegenomen. Enerzijds om een meer uitvoerige vergelijking met de STOWA (2015) statistiek voor duren vanaf 2 uur mogelijk te maken en anderzijds om de regressies van parameters van het extreme waarden model (stap 4) op de neerslagduur zo robuust mogelijk te maken. In paragraaf 2.4 zijn de gebruikte verdelingen beschreven, in paragraaf 2.5 is de werkwijze van fitten en het resultaat van de fits aan de verschillende duren opgenomen.
3. De keuze voor het type kansverdeling – GEV of GLO - en de achterliggende overwegingen zijn beschreven in paragraaf 2.6. Uiteindelijk is gekozen voor de GLO-verdeling omdat deze de

extremen beter beschrijft. Een mogelijke verklaring voor de hoge extremen is een hoge dauwpuntstemperatuur. Om dit te verkennen is aanvullend onderzocht of er een relatie is tussen de extremen in de statistiek en de dauwpuntstemperatuur. Er blijkt een duidelijke relatie te zijn. De resultaten van deze verkenning zijn beschreven in paragraaf 2.7.

4. In deze stap is elke parameter van de GLO-verdeling 'gemodelleerd' als functie van de neerslagduur op basis van een regressie van die parameter. Gebruik makend van die regressies ontstaat dan een 'duur omvattend' extreme waarden model dat resultaten geeft voor een willekeurige duur (in de range van beschouwde uren) en dat eenvoudig gebruikt kan worden om regenduurlijnen te bepalen. De wijze van regressie en de resultaten zijn beschreven in paragraaf 2.8.
5. Om inzicht te geven in de onzekerheid van de statistiek zijn betrouwbaarheidsbanden afgeleid voor neerslagduren van 10-, 30-, 60-, 120-, en 720-min. Deze betrouwbaarheidsintervallen zijn beschreven in paragraaf 2.9.
6. Tenslotte is om tot de uiteindelijke regenduurlijnen te komen nog gecorrigeerd voor de ondervangst van de automatische stations. De uiteindelijke regenduurlijnen zijn beschreven in paragraaf 2.10. Daarin is ook de vergelijking met en de verandering ten opzichte van de eerdere regenduurlijnen van STOWA (2015) en Buishand & Wijngaard (2007) beschreven.

2.3 DATA

In de extreme waarden analyse wordt zoals in eerdere studies gebruik gemaakt van 'Annual Maxima' (AM) waaraan daarvoor geschikte extreme waarden verdelingen gefit worden. Een gangbaar alternatief is een extreme waarden analyse op basis van 'Peaks Over Threshold' (POT), waarbij andere standaard extreme waarden verdelingen aan de pieken gefit worden. POT methoden worden in deze studie verder niet beschouwd¹.

De neerslagstatistiek voor uren vanaf 2 uur (STOWA, 2015) is gebaseerd op door neerslagstation De Bilt gemeten uursommen van de neerslag in de periode 1906 - 2014. Bij de afleiding van de neerslagstatistiek is rekening gehouden met het effect van de klimaatrend in deze historische neerslagreeks. Voor afleiding van de neerslagstatistiek voor kortere uren - van 10 minuten tot 2 uur - zijn deze uursommen niet geschikt, daarvoor zijn metingen nodig op een tijdschaal kleiner dan een uur. In Buishand & Wijngaard (2007) is hiervoor gebruik gemaakt van pluviograafmetingen van station De Bilt in de periode 1906 - 1990. De continue pluviograaf metingen hebben in de periode daarna plaats gemaakt voor automatische regenmeters die op vaste 10 minuten intervallen meten. De pluviograafreeks van De Bilt t/m 1990 laat zich niet zomaar verlengen met de automatische regenmeterreeks vanaf 2003, mede omdat de neerslagdata tussen 1990 en 2003 verre van compleet zijn. Het is daarom ook niet goed mogelijk om, net als voor STOWA (2015), neerslagstatistiek die rekening houdt met de klimaatrend op deze 'gemankeerde reeks' te baseren.

Vanaf 2003 is er een stabiel netwerk met ongeveer 31 automatische regenmeters in Nederland. Een alternatief voor data van de Bilt is om de neerslagstatistiek voor korte uren op alle ongeveer 34 automatische stations samen te baseren. Dit staat ook wel bekend als het 'poolen' van reeksen. Deze gepoolde data is voor het afleiden van de neerslagstatistiek voor korte uren gebruikt. Het betreft de 10-minuten reeksen van ongeveer 31 automatische neerslagstations voor de 14-jarige periode 2003 - 2016.

¹ Er is van AM uitgegaan simpelweg omdat deze methode ook in STOWA (2004) en STOWA (2015) is gebruikt voor herhalingsdagen van 1 jaar en meer. AM is niet beter of slechter dan POT.

VALIDATIE EN CORRECTIE DATA

Bij aanvang van deze studie waren enkel de ruwe en ongecorrigeerde 10-minuten reeksen beschikbaar, die in deze vorm onbruikbaar zijn voor de beoogde extreme waarden analyse door onvolkomenheden in de registraties (ontbrekende waarden, niet-realistische uitschieters etc.). Op basis van de uurreeksen voor dezelfde periode en dezelfde neerslagstations, die wel gevalideerd en gecorrigeerd zijn, konden de ruwe 10-minuten reeksen gecorrigeerd worden, waarmee de kwaliteit van de uiteindelijk in deze studie gebruikte 10-minuten reeksen aanzienlijk verbeterd is. Vele ontbrekende 10-minuten gegevens zijn aangevuld aan de hand van radargegevens, data van alternatieve instrumenten en in voorkomende gevallen omliggende stations door verdeling van de bekende uursommen. Deze aanvulling is handmatig per gebeurtenis uitgevoerd en dus niet voor de gehele reeks. Omwille van de tijd is daarbij een prioritering aangebracht bij de aanvulling van de missende gegevens. Zo is er voor gekozen om de hoge uursommen, die vrijwel zeker een onderdeel van de jaarextremen vormen voor korte duren als eerste te beschouwen. Hierdoor kunnen de uiteindelijk gebruikte 10-minuten reeksen vooral voor duren van meerdere uren nog hiaten bevatten².

POOLING VAN DATA

Voor het fitten van een GEV model (voor een bepaalde duur) worden in principe alleen de jaarmaxima (voor die duur) gebruikt. Het poolen van alle reeksen van ongeveer 31 stations geeft in dit geval 446³ jaarmaxima waarvan er 436 effectief bruikbaar⁴ zijn. In Tabel 1 is een overzicht opgenomen van de gebruikte stations en het aantal jaren dat per station bruikbaar was. Indien deze 436 jaarmaxima voldoende onafhankelijk zijn geeft dit ook een (gepoolde) effectieve reekslengte van 436 jaar. Bij jaarmaxima en duren niet langer dan enkele uren is dit voldoende gegarandeerd vanwege het feit dat de jaarmaxima vrijwel uitsluitend uit de zomermaanden afkomstig zijn en zomerextremen buig en dus kleinschalig van aard zijn. Bij wintermaxima is dit mogelijk niet meer het geval vanwege het grootschaliger karakter van extreme neerslag in de winter. Controle op de datum van de maxima laat zien dat ook in de winter de maxima van de korte duren als onafhankelijk mogen worden beschouwd.

Naast de onafhankelijkheid in de data is ook de vraag of de stations wel in hetzelfde 'neerslagklimaat' (in STOWA (2015) is de term neerslagregimes gebruikt) liggen. Hiermee wordt bedoeld dat verschillende delen van Nederland ook verschillende extreme-waarden statistiek kennen, onder andere het vaak genoemde kusteffect. Als dit het geval is mag de data niet zonder meer worden 'gepooled'. Voor neerslagduren langer of gelijk aan 24 uur is dit inderdaad het geval, maar voor de neerslagduren korter dan 4 uur is in Overeem (2009) op basis van radardata juist geconstateerd dat er geen neerslagregimes kunnen worden onderscheiden. Ook controle van de jaarmaxima laat geen duidelijke verschillen tussen stations in het westen en oosten van Nederland zien.

- 2 De validatie en correctie van de 10-minuten reeksen heeft veel tijd gekost, veel meer dan voorzien. Het verhelpen van de resterende hiaten vergt nog een aanzienlijke inspanning.
- 3 Deze 446 is iets groter dan $31 \times 14 = 434$ omdat het aantal stations niet in alle jaren even groot is en het gemiddelde aantal stations iets groter dan 31 is (daarom ook: ongeveer 31).
- 4 Bij een 'bruikbaar jaarmaximum' mag ten hoogste 10% van de onderliggende neerslagsommen waaruit het jaarmaximum berekend wordt ontbreken.

TABEL 1

OVERZICHT VAN GEBRUIKTE AUTOMATISCHE WEERSTATIONS

| Stationsnr. | Locatie | Aantal jaren |
|-------------|--------------------|--------------|
| 210 | Valkenburg Zh | 12 |
| 215 | Voorschoten | 1 |
| 235 | De Kooy | 14 |
| 240 | Schiphol | 14 |
| 249 | Berkhout | 14 |
| 251 | Hoorn Terschelling | 14 |
| 257 | Wijk aan Zee | 14 |
| 260 | De Bilt | 14 |
| 267 | Stavoren | 14 |
| 269 | Lelystad | 14 |
| 270 | Leeuwarden | 12 |
| 273 | Marknesse | 14 |
| 275 | Deelen | 14 |
| 277 | Lauwersoog | 14 |
| 278 | Heino | 14 |
| 279 | Hoogeveen | 14 |
| 280 | Eelde | 14 |
| 283 | Hupsel | 14 |
| 286 | Nieuw Beerta | 14 |
| 290 | Twenthe | 12 |
| 310 | Vlissingen | 14 |
| 319 | Westdorpe | 14 |
| 323 | Wilhelminadorp | 11 |
| 330 | Hoek van Holland | 14 |
| 344 | Rotterdam | 14 |
| 348 | Cabauw Mast | 14 |
| 350 | Gilze-Rijen | 14 |
| 356 | Herwijnen | 14 |
| 370 | Eindhoven | 12 |
| 375 | Volkel | 12 |
| 377 | Ell | 14 |
| 380 | Maastricht | 14 |
| 391 | Arcen | 14 |

SCHATTING EXTREMEN

Een voordeel van de gepoolde reeks, met effectief 436 jaarmaxima, is dan weer dat de reeks effectief zo lang is dat het mogelijk wordt om met een acceptabele nauwkeurigheid ook de extremen beter te schatten. De reeks heeft immers ook data in het bereik van herhalings-tijden groter dan 100 jaar, in tegenstelling tot de circa 100 jaarmaxima van de Bilt die zijn gebruikt in STOWA (2015).

De extremen worden in de in STOWA (2015) gebruikte extreme-waardenverdeling, de GEV-verdeling, met name bepaald door de waarde van de vormparameter. De vormparameter is in STOWA (2015), net als in STOWA (2004), voorgeschreven en was - in essentie - gebaseerd op relaties tussen de vormparameter en de neerslagduur voor Nederlandse en Belgische neer-

slagstations (Buishand, 1983; Gellens, 2003; STOWA, 2004; STOWA, 2015). Omdat nu een langere ‘gepoolde’ neerslagreeks beschikbaar is kan de vormparameter worden geschat, in plaats van deze vooraf vast te leggen. Dit kan, en dat zal ook blijken, een nieuw licht werpen op de vorm (en dan met name de extremen) van de onderliggende kansverdeling. De resulterende GEV verdelingen, waarbij ook de vormparameter gefit is, geven aanleiding om naast de GEV verdeling ook een kansverdeling met een hogere schatting van de extremen dan de GEV verdeling te beschouwen. Dit is de GLO-verdeling. De verdere uitwerking van deze twee kansverdelingen en de uiteindelijke keuze is beschreven in paragraaf 2.4, 2.5 en 2.6 van dit hoofdstuk.

KLIMAATTREND IN DE DATA

Een ‘nadeel’ van de 14-jarige reeksen per station is, dat ze zo kort zijn dat het vrijwel onmogelijk wordt hierin nog significante trends te detecteren (zelfs als ze er wel zijn). Een GEV model waarbij rekening wordt gehouden met een klimaatrend in de data zoals gebruikt in STOWA (2015) wordt dan ook minder relevant omdat de trend nooit significant zal worden (en als een trend niet significant is, is het te prefereren die niet ‘mee te nemen’ in de statistiek). Tegelijkertijd kan deze 14-jarige periode als voldoende stationair worden beschouwd om een GEV model zonder modellering van de trend toe te passen en daarmee een statistiek af te leiden die, net als de STOWA (2015) statistiek, representatief is voor “2014”.

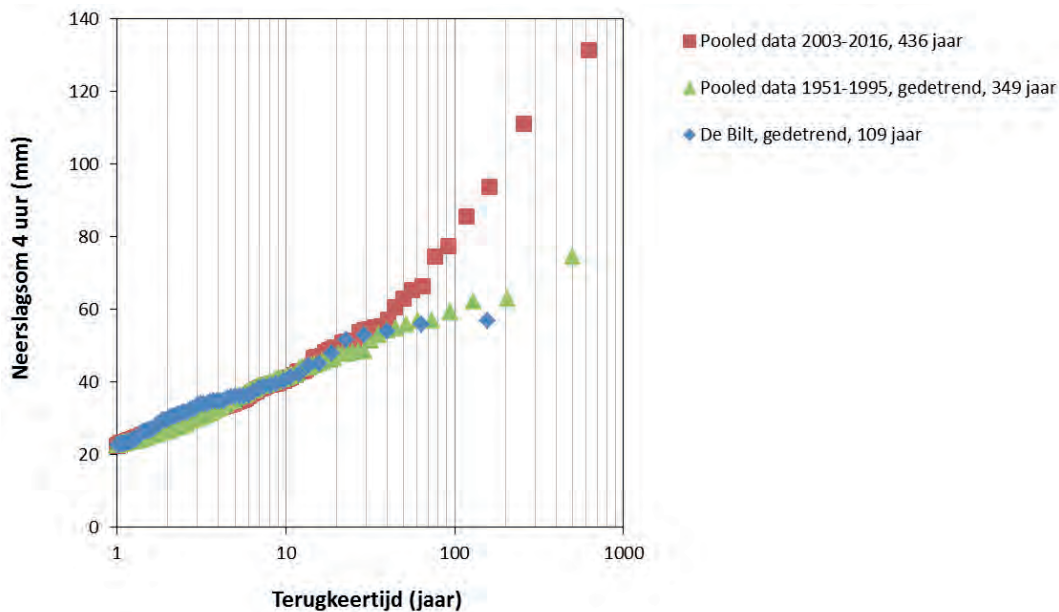
BESCHOUWING DATA

Omdat we een duidelijk andere dataset gebruiken dan in eerder onderzoek dringt zich de vraag op hoe deze data zich verhoudt tot de eerder gebruikte data van de Bilt uit STOWA (2015). Dit is geïllustreerd in Figuur 1 voor neerslagsommen van 4 uur. In de figuur is te zien dat de gepoolde data (de rode vierkantjes) tot een herhalingstijd van ongeveer 50 jaar goed vergelijkbaar zijn met de (gedetrende) data van de Bilt (de blauwe ruitjes). Opvallend hierin is dat de twee grootste waarnemingen van de Bilt duidelijk lager zijn dan mag worden verwacht op basis van de gepoolde data.

De afwijking kan enerzijds te maken hebben met de statistische onzekerheid door de beperkte lengte van de reeks van de Bilt: er is in de Bilt toevallig geen hogere neerslag gevallen. Hierbij merken we op dat ‘maar’ circa 10 waarnemingen het deel van de extremen met een herhalingstijd kleiner dan 50 jaar beschrijft. Uit analyse blijkt dat deze 10 extremen zijn gemeten op 9 verschillende stations. Op de overige circa 20 stations - en ook de Bilt - is nooit een dergelijk extreme neerslag waargenomen.

Anderzijds kan de afwijking bij herhalingstijden hoger dan 50 jaar ook te maken hebben met klimaatverandering en hoogstwaarschijnlijk – vooruitlopend op paragraaf 2.7 – een toename in de dauwpuntstemperatuur ten gevolge van klimaatverandering. Het blijkt dat de gebeurtenissen uit de gepoolde data met herhalingstijden groter dan 50 jaar worden gekenmerkt door een relatief hoge dauwpuntstemperatuur. Dergelijke hoge dauwpuntstemperaturen, en dus ook dergelijk hoge neerslaggebeurtenissen, kwamen in het verleden en in het grootste deel van de reeks van de Bilt (in ieder geval vóór 1995) niet voor. Als we de data van andere beschikbare uurstations poolen en detrenden voor de periode waarin we geen hoge dauwpuntstemperaturen verwachten (de periode vóór 1995) zien we dat de data daarvan (de groene driehoekjes in Figuur 1) vergelijkbaar zijn met de data van de Bilt. Ook deze data wijkt vanaf herhalingstijden van 50 jaar en hoger af van de gepoolde data van 2003-2016. Op basis van de data van de gepoolde reeks van vóór 1995 concluderen we dat de afwijking niet alleen te maken heeft met statistische onzekerheid, maar met effecten van klimaatverandering in het extreme bereik van de kansverdeling, hoogstwaarschijnlijk de hogere dauwpuntstemperatuur zoals beschreven in paragraaf 2.7.

FIGUUR 1 JAARMAXIMA VAN DE IN DIT ONDERZOEK GEPOOLDE DATA (436 JAAR), DATA VAN ENKEL DE BILT EN HISTORISCHE GEPOOLDE DATA



2.4 TYPE KANSVERDELING

In het verdere verloop van dit hoofdstuk worden twee kansverdelingen gebruikt om de data te beschrijven: de GEV (Generalized Extreme Value) verdeling en de GLO (Generalized LOGistic) verdeling. Deze kansverdelingen worden beschreven met onderstaande vergelijkingen.

GEV (GENERALIZED EXTREME VALUE) VERDELING

De GEV verdeling is een kansverdeling met 3 parameters; de locatieparameter (λ), de schaalparameter (β) en de vormparameter (θ)⁵, (voor een goede inleiding zie bijvoorbeeld Coles, 2001). De GEV verdeling kan gedefinieerd worden door zijn cumulatieve verdelingsfunctie $F_{GEV}(x) = \Pr(X \leq x)$, waarbij de notatie in STOWA (2004) en STOWA (2015) wordt aangehouden⁶:

$$F_{GEV}(x) = \exp \left\{ - \left[1 - \theta \left(\frac{x - \lambda}{\beta} \right) \right]^{1/\theta} \right\}, \quad \text{voor } \theta \neq 0$$

$$F_{GEV}(x) = \exp \left\{ - \exp \left[- \left(\frac{x - \lambda}{\beta} \right) \right] \right\}, \quad \text{voor } \theta = 0$$
(1)

De GEV verdeling met $\theta = 0$ staat bekend als de Gumbel verdeling.

- 5 De locatieparameter correspondeert met de neerslaghoeveelheid die gemiddeld ongeveer 1 keer per jaar wordt overschreden, de schaalparameter bepaalt hoe sterk de neerslaghoeveelheid toeneemt met de herhalingstijd (ofwel correspondeert met de helling van de lijnen zoals weergegeven in bijvoorbeeld Figuur 2) en de vormparameter, tenslotte, bepaalt de mate van afbuiging (naar boven of naar beneden van deze lijnen).
- 6 In deze notatie heeft de vormparameter θ het tegenovergestelde teken van Θ zoals algemeen gebruikelijk in de statistische literatuur (bijvoorbeeld Coles, 2001) ook wel aangeduid met de Koutsoyiannis notatie.

GLO (GENERALIZED LOGISTIC) VERDELING

De GLO verdeling is ook een kansverdeling met een locatieparameter (λ), een schaalparameter (β) en een vormparameter (θ). De GLO verdeling is een cumulatieve kansverdeling die als volgt is gedefinieerd:

$$F_{GLO}(x) = \left\{ 1 + \left[1 - \theta \left(\frac{x - \lambda}{\beta} \right)^{1/\theta} \right]^{-1} \right\}^{-1}, \quad \text{voor } \theta \neq 0$$

$$F_{GLO}(x) = \left\{ 1 + \exp \left[- \left(\frac{x - \lambda}{\beta} \right) \right] \right\}^{-1}, \quad \text{voor } \theta = 0$$
(2)

De GLO verdeling met $\theta = 0$ staat bekend als de logistische verdeling. In vergelijking met de GEV verdeling geeft de GLO verdeling hogere extremen, waarmee bedoeld wordt dat de kans op extreme waarden naar verhouding groter is voor de GLO verdeling dan voor de GEV verdeling.

2.5 FITS PER DUUR

Bij duur is tot nu toe uitsluitend over een range van de neerslagduur gesproken; 10 minuten tot 2 uur. De neerslagdata die gebruikt worden zijn 10-minuten (in het vervolg afgekort tot 10-min) sommen van de automatische regenstations die zijn gemeten op vaste tijdstippen, d.w.z. op 10, 20, 30, 40, 50 minuten na het hele uur en vervolgens op het hele uur. Deze 10-min sommen worden ook wel 'kloksommen' genoemd. Bij het afleiden van de neerslagstatistiek voor een bepaalde duur is het gewenst dat die statistiek behorend bij die duur representatief is voor een willekeurig interval van die duur en niet een interval van die duur met een vast begin en einde zoals een 'kloksom' dat is. De grootste neerslaghoeveelheid in een willekeurig 10-min interval is namelijk in het algemeen groter dan in een vast 10-min interval.

Een getallenvoorbeeld om dit te illustreren: Stel dat het op een station om 12:07 u begint te regenen en dat de regen om 12:18 u weer stopt. De automatische regenmeter registreert dan om 12:10 u de eerste 3 minuten van deze bui en om 12:20 u de resterende 8 minuten van deze 11 minuten durende bui. Stel dat we nu in een neerslagduur van 10-min zijn geïnteresseerd. De som gemeten om 12:10 u is feitelijk een 3 minuten som en de som gemeten om 12:20 u een 8 minuten som. Deze 11 minuten bui bevat twee 10-min intervallen: van 12:07 tot 12:17 u en van 12:08 tot 12:18 u. Het zal duidelijk zijn dat deze beide (willekeurige) 10-min sommen groter zijn dan de 10-min sommen gemeten op 12:10 en 12:20 u en daarbij zal één van deze beide willekeurige 10-min sommen de grootste zijn.

De neerslagstatistiek die we willen afleiden voor een duur van bijvoorbeeld 10 minuten moet representatief zijn voor een willekeurig 10-min interval, en dan is het een 'handicap' dat de metingen op vaste 10-min intervallen in het algemeen lager zijn dan de grootste neerslaghoeveelheid in een willekeurig 10-min interval. Dit geldt ook voor de extreme 10-min sommen zoals in de jaarmaxima die gebruikt worden om de verdeling aan te fitten; ook de jaarmaxima van willekeurige 10-min intervallen zullen groter zijn dan de jaarmaxima van vaste 10-min intervallen. Het zelfde geldt ook voor willekeurige 20-min, 30-min, 40-min, etc. jaarmaxima berekend uit vaste 10-min sommen (alleen zal voor langere uren de onderschatting van de jaarmaxima steeds kleiner worden omdat je in de 10-min reeks steeds meer combinaties van aaneengesloten vaste 10-min sommen krijgt om bijvoorbeeld een willekeurig 40-min jaarmaximum te benaderen).

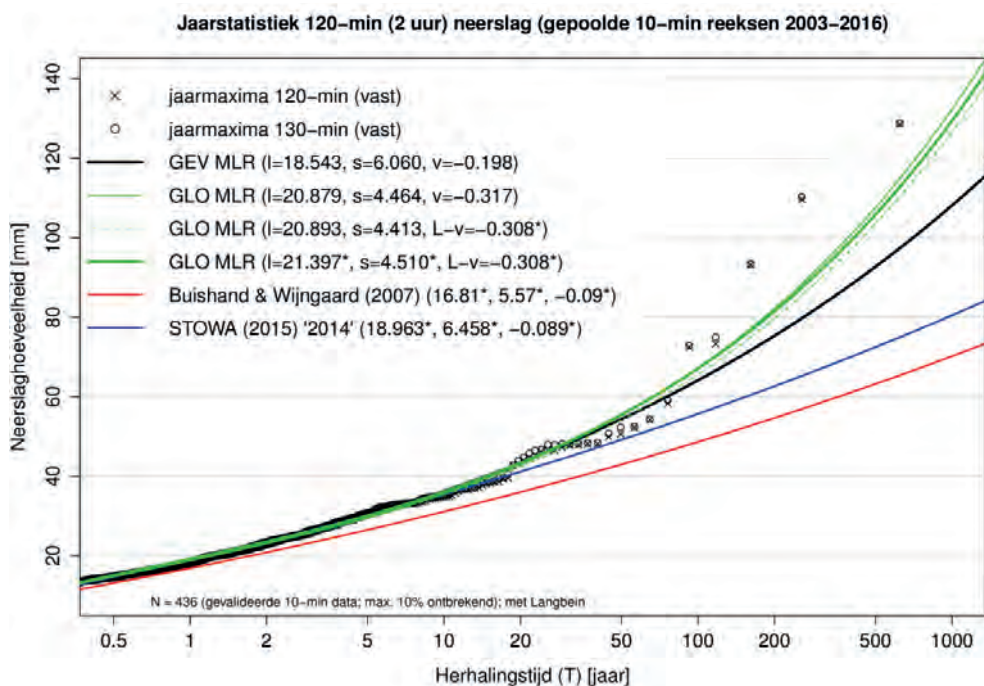
De onderschatting van willekeurige(-interval) jaarmaxima door vaste(-interval) jaarmaxima kan echter bij het fitten van de verdeling vermeden worden. In theorie is een willekeurig 10-min jaarmaximum groter of gelijk aan een vast 10-min jaarmaximum en kleiner dan een

vast 20-min jaarmaximum. Bij het fitten van de kansverdeling voor willekeurige 10-min jaarmaxima worden daarvoor zowel de vaste 10-min jaarmaxima als de vaste 20-min jaarmaxima gebruikt. Voor de ML fitprocedure betekent dit praktisch dat elk jaarmaximum in plaats van door één waarde, door een range wordt voorgesteld, waarbij de ondergrens van die range het vaste 10-min jaarmaximum is en de bovengrens van die range het vaste 20-min jaarmaximum. Deze ML fitprocedure is ontleend aan Van Montfort (1990). Op dezelfde manier wordt de kansverdeling voor een (willekeurige) duur van 20-min gefit op basis van de ranges gegeven door de vaste 20- en 30-min jaarmaxima. Deze ML fitprocedure van Van Montfort wordt gebruikt tot een duur (met een willekeurig interval) van 240-min (waarbij dus de ranges van de vaste 240- en 250-min jaarmaxima worden gebruikt). Voor de 480- en 720-min duren wordt op traditionele wijze gefit waarbij uitsluitend gebruik wordt gemaakt van de vaste (480- en 720-min) jaarmaxima.

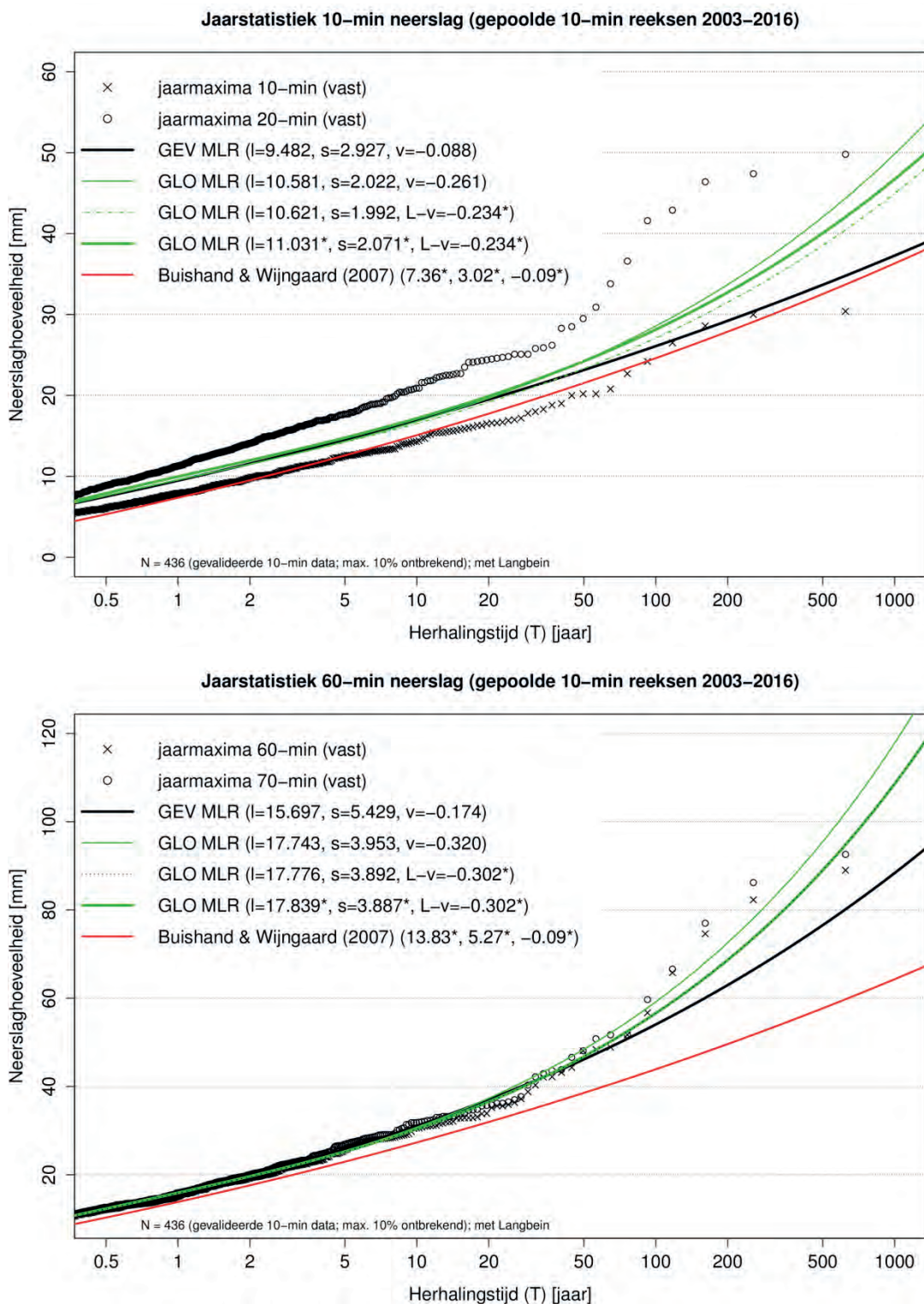
Er zijn 12 duren waarvoor individuele fits zijn gemaakt: 10-, 20-, 30-, 40-, 50-, 60-, 90-, 120-, 180-, 240-, 480- en 720-min. Daarbij is niet alleen de GEV verdeling gefit maar ook de GLO verdeling. Procedureel is er geen verschil tussen de GEV en GLO fits (behalve dat er extra GLO fits zijn gemaakt waarbij de GLO vormparameter op basis van L-momenten is gefit). Bij de ML fits voor beide verdelingen wordt tot en met een duur van 240-min de range van de desbetreffende vaste jaarmaxima gebruikt en vanaf een duur van 480 min uitsluitend de vaste jaarmaxima. Bij de L-moment schattingen van de vormparameter zijn echter uitsluitend de vaste jaarmaxima gebruikt.

Voor 3 duren, 120-, 60- en 10-min, worden de resultaten hieronder getoond. De fits voor de overige 9 duren worden gepresenteerd in Bijlage B.

FIGUUR 2 GEV EN GLO FITS VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 120 MINUTEN, VERGELEKEN MET BUISHAND & WIJNGAARD (2007) EN STOWA (2015). HIERIN 1 GEV FIT WAARBIJ ALLE DRIE DE PARAMETERS MET ML GEFIT ZIJN (GEV MLR; ZWARTE LIJN), EN 3 GLO FITS: I) ALLE DRIE DE PARAMETERS GEFIT MET ML (GLO MLR; DUNNE GROENE LIJN), II) ALS I) MAAR GLO VORMPARAMETER GEFIT OP BASIS VAN L-MOMENTEN (GLO MLR; DUNNE GESTIPPelde GROENE LIJN) EN III) EEN 'MODEL' WAARIN ALLE 3 DE PARAMETERS EEN FUNCTIE ZIJN VAN DE NEERSLAGDUUR (GLO MLR; DIKKE GROENE LIJN). I) IS EEN 'TRADITIONELE FIT', II) IS EEN 'GEDEELTELIJK GEMODELLEERDE FIT' WAARBIJ DE VORMPARAMETER IS GEMODELLEERD O.B.V. DE REGRESSIEVERGELIJKING IN FIGUUR 7, EN III) IS EEN 'VOLLEDIG GEMODELLEERDE FIT' O.B.V. DE REGRESSIEVERGELIJKINGEN VOOR DE VORMPARAMETER, DE LOCATIEPARAMETER EN DE DISPERSIE COËFFICIËNT IN RESP. FIGUUR 7 T/M FIGUUR 9. DEZE REGRESSIE VERGELIJKINGEN VOOR DE PARAMETERS VAN DE GLO VERDELING WORDT BESPROKEN IN PARAGRAAF 2.8



FIGUUR 3 GEV EN GLO FITS VOOR DUREN VAN 10- EN 60-MINUTEN (ZONDER VERGELIJKING MET STOWA (2015) DIE VOOR DEZE DUREN NIET BESTAAT)



Hieronder volgt een beschrijving van de belangrijkste resultaten. Deze resultaten zijn evengoed van toepassing op de tussenliggende duren (20-, 30-, 40-, 50- en 90-min) als op de duren boven de 120-min (180-, 240-, 480- en 720-min) waarvan de figuren in Bijlage B zijn opgenomen.

- De verschillen tussen de 3 GLO fits zijn klein, voor nu zijn deze verschillen ook niet relevant, verderop wordt hier nader op ingegaan.

- De nieuwe fits (van de GEV en GLO verdelingen) geven grotere hoeveelheden dan de Buishand & Wijngaard (2007) statistiek, zoals verwacht omdat in Buishand & Wijngaard de trend in de historische neerslagreeks van De Bilt niet is meegenomen. NB deze vergelijking kan alleen voor duren t/m 120 minuten gemaakt worden.
- Voor een duur van 120 minuten is er tot een herhalingstijd van ongeveer 20 jaar een goede overeenkomst tussen de nieuwe fits en de STOWA (2015) statistiek. Voor hogere herhalings-tijden geven de nieuwe fits grotere hoeveelheden (bij T=1000 jaar) zijn de verschillen aanzienlijk). Dit verschil bij hogere herhalingstijden was niet voorzien. De gepoolde reeksen, met een effectieve reekslengte van ruim 400 jaar, geven een nieuw inzicht in waarde van de vormparameter en daarmee in de vorm van de kansverdeling. De invloed van een sterker van nul verschillende vormparameter wordt pas vanaf hogere herhalingstijden echt merkbaar. In de nieuwe fits is de vormparameter sterker negatief dan in de Buishand & Wijngaard (2007) en STOWA (2015) statistieken waarin de waarde van de vormparameter was gebaseerd op gangbare waarden uit de literatuur. En dit uit zich in de grote verschillen bij hoge herhalingstijden tussen enerzijds de nieuwe fits en anderzijds Buishand & Wijngaard (2007) en STOWA (2015). Het betrouwbaar schatten van een vormparameter blijft een lastige opgave, hiervoor is een grote effectieve reekslengte nodig. Bij gebruik van een reeks van 1 individueel station kan daar zelden aan voldaan worden, vandaar dat vaak teruggevallen wordt op een voorgeschreven vormparameter die op een of andere manier is gebaseerd op lange reeksen van meerdere stations/locaties (zoals in Buishand & Wijngaard, 2007 en STOWA, 2015).

Er zijn aanwijzingen dat de meest extreme buien sterker aan het veranderen zijn dan minder extreme buien (Lenderink e.a., 2017; Lochbihler e.a., 2017 en zie verderop). Dit verwachten we dan ook op enig moment in de vorm van de kansverdelingen (via een meer negatieve vormparameter terug te zien). In een individuele stationsreeks is een verandering (in de tijd) van de vormparameter vrijwel niet te detecteren, omdat er in de eerste plaats al een redelijke reekslengte nodig is om een significant van nul verschillende vormparameter te vinden. Met die (effectief) lange gepoolde stationsreeks hebben we nu voldoende lengte voor een betrouwbare schatting van de vormparameter. Daarnaast betreft die reeks de meest recente jaren en daarmee is die schatting van de vormparameter ook representatief voor de huidige situatie. Eerdere schattingen van de vormparameter (hoe gangbaar tot voorkort ook) zijn uiteindelijk toch een soort 'tijdsgemiddelde' vormparameter voor de gebruikte reeksen en daarmee dus niet representatief voor de meest recente situatie. Dit alles bij elkaar kan een verklaring zijn voor de duidelijk negatievere vormparameters die met deze nieuwe fits gevonden worden. Kijkend naar de datapunten (de geordende historische jaarmaxima) dan is niet langer te verdedigen dat met de vormparameters zoals gebruikt in Buishand & Wijngaard (2007) maar ook recentelijk nog in STOWA (2015) een acceptabele beschrijving van de huidige kans op extreme neerslag mogelijk is.

NB De STOWA (2015) statistiek bestaat uitsluitend voor duren vanaf 120 minuten; een vergelijking tussen de nieuwe fits en STOWA (2015) voor kortere duren is dus niet mogelijk.

- De GLO fits 'eindigen' altijd boven de GEV fit. Dit is ook verwacht vanwege de eerder genoemde hogere extremen van de GLO verdeling ten opzichte van de GEV verdeling. Kijkend naar alle beschouwde duren blijken de hoogste 5 à 10 jaarmaxima nog vrij ver boven de GEV fit te liggen. Met andere woorden de extremen van de jaarmaxima lijken hoger te liggen dan die van de GEV verdeling. Zelfs voor de GLO fits geldt dat nog een klein aantal van de hoogste jaarmaxima boven de fits ligt, maar dit is duidelijk minder prominent als bij de GEV fits. Zo 'op het oog' lijkt er een voorkeur voor de GLO verdeling te

bestaan, maar kan de keuze tussen GLO en GEV ook objectief gemaakt worden? Dit komt in de volgende paragraaf aan bod. Tot slot, in paragraaf 2.3 is de potentiële onafhankelijkheid van de jaarmaxima in de jaarstatistiek al genoemd. Voor elke duur is de top 10 van de jaarmaxima op afhankelijkheid gecheckt en deze blijken inderdaad volledig onafhankelijk (d.w.z. ze zijn allemaal afkomstig van verschillende datums/dagen).

2.6 GEV- OF GLO VERDELING?

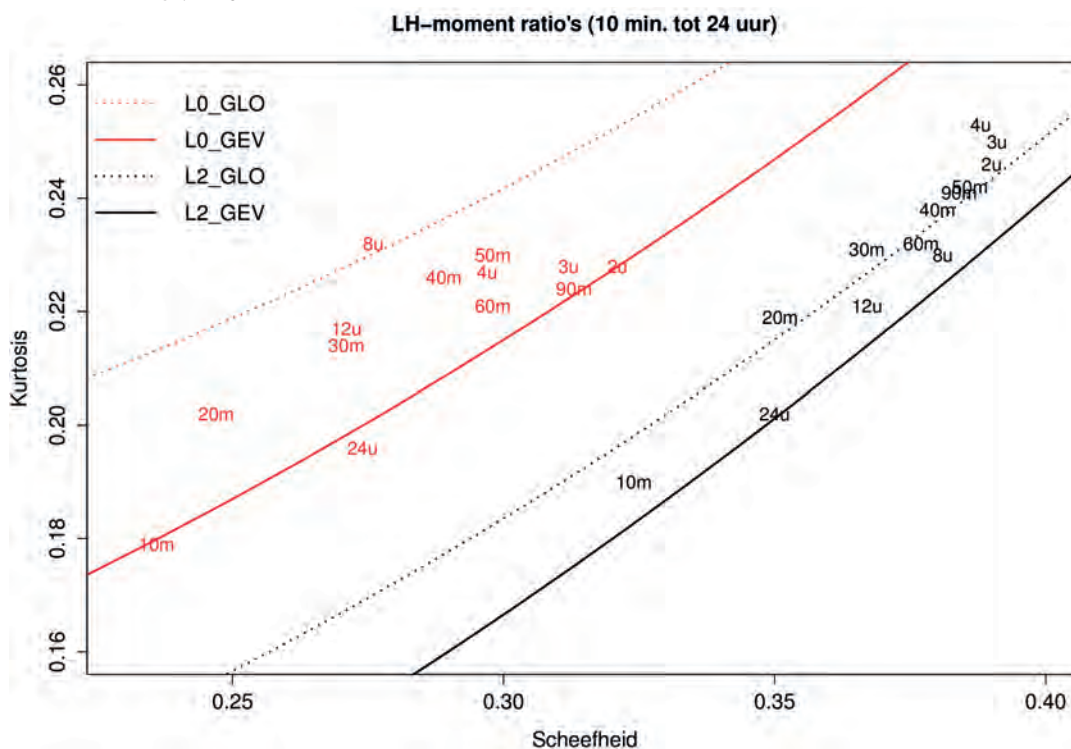
De Anderson-Darling (AD) toets is een gangbare test om te toetsen of een kansverdeling voldoende bij de data past. De toets is gevoelig voor afwijkingen in de extremen van de verdeling. Naast de oorspronkelijke AD-toets bestaat er een gemodificeerde AD-toets, waarbij de nadruk op afwijkingen in de extremen ligt (zie Ahmad e.a., 1988; Zempléni, 2004; Heo e.a., 2013). Beide Ad-toetsen verwerpen de GEV verdeling niet.

Een andere objectieve manier om een keuze tussen de GLO- en GEV verdeling te maken is door een zogenoemde 'LH-moment ratio plot' te maken, zoals in Norbiato e.a. (2007). Een LH-moment ratio plot is gebaseerd op LH-momenten en is een figuur waarin de zogenoemde LH-kurtosis⁷ wordt uitgezet tegen de LH-scheefheid⁸. LH-momenten zijn een generalisatie van L-momenten met als doel de extremen van verdelingen en grote events in de data zwaarder te wegen (Wang, 1997). De verhouding tussen de LH-kurtosis en de LH-scheefheid, de LH-moment ratio, is verschillend voor een GLO en een GEV verdeling. Daarnaast kan, voor elke duur, uit de jaarmaxima ook de LH-moment ratio volgens de data berekend worden. Een vergelijking van de LH-moment ratio van de data met de theoretische LH-moment ratio's voor de GLO en GEV verdelingen geeft dan inzicht of de data meer GLO dan wel meer GEV verdeeld zijn. Deze vergelijking wordt in onderstaande figuur gemaakt. De LH-momenten voor de GEV verdeling worden gegeven door Wang (2007). Voor de GLO verdeling zijn de LH-momenten afgeleid uit de Probability Weighted Moments (PWMs) voor deze verdeling in Hosking (1986). De gestippelde lijnen in Figuur 4 stellen de LH-moment ratio's voor de GLO verdeling voor en de doorgetrokken lijnen die voor de GEV verdeling. De 'punten' (aangeduid met 10m tot 24h) zijn de LH-moment ratio waarden van de jaarmaxima voor een bepaalde duur (tussen 10 minuten en 24 uur). In de figuur worden twee LH-moment ratio's getoond: L0 en L2. De L0-moment ratio betreft de verhouding van de 'standaard' L-kurtosis en L-scheefheid (Hosking & Wallis 1997), en de L2-moment ratio de verhouding van de L2-kurtosis en L2-scheefheid. L2-momenten worden sterker dan L0-momenten beïnvloed door de meest extreme events in de data.

7 In de statistiek is het begrip kurtosis (ook wel aangeduid als welving, gewelfdheid of platheid) een maat voor de 'piekvoormigheid' van een kansverdeling.

8 Het begrip scheefheid is in de statistiek de meest gebruikte maat voor de asymmetrie (van een kansverdeling).

FIGUUR 4 LH-MOMENT RATIO'S VAN DE JAARMAXIMA VOOR DE VERSCHILLENDE DUREN EN DE THEORETISCHE LH-MOMENT RATIO'S VOOR DE GLO EN GEV VERDELINGEN



De 'standaard' L-moment ratio's, d.w.z. de L0-moment ratio's liggen voor een groot deel tussen de theoretische L0-moment ratio's voor de GLO en GEV verdelingen in, waarbij 10-min, 90-min, 2-uur en 24-uur vrijwel op de GEV moment ratio lijn liggen en 8-uur op de GLO moment ratio lijn. Gaan we nog iets 'dieper in de extremen van de verdeling zitten' en kijken we naar de L2-moment ratio, dan ligt alleen nog 24-uur op de GEV moment ratio lijn en alle andere duren rondom de GLO moment ratio lijn.

Dit is misschien nog geen volledig overtuigend argument om de GLO verdeling als onderliggende kansverdeling boven de GEV verdeling te kiezen. Het toont in elk geval wel dat, naar mate we 'dieper in de extremen van de verdeling kijken' deze duidelijk meer met een GLO- dan een GEV verdeling overeenkomt. Op basis hiervan, het inzicht om met de nieuwe neerslagstatistiek niet het risico te willen lopen dat de extreme terugkeerniveaus opnieuw een onderschatting blijken te zijn, en het effect van hoge dauwpuntstemperaturen - die steeds vaker worden waargenomen - op de hoogte van de extremen van de kansverdeling (zie volgende paragraaf), is in overleg met STOWA besloten de neerslagstatistiek voor korte duren te baseren op de GLO verdeling.

2.7 RELATIE MET DE DAUWPUNTSTEMPERATUUR/KLIMAATTREND

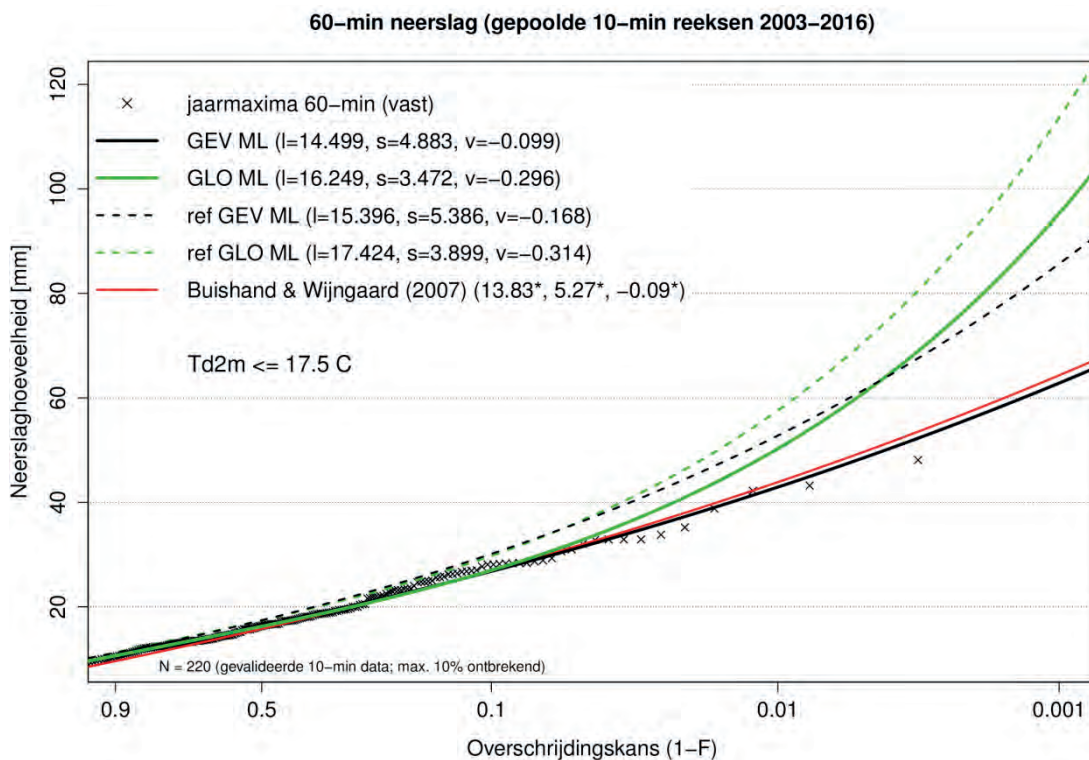
Recent KNMI werk (Lenderink e.a., 2017; Lochbihler e.a., 2017) geeft aan dat er indicaties zijn dat de intensiteit en mogelijk ook de ruimtelijke uitgebreidheid (clustering) van extreme buien afhangt van de zogenoemde dauwpuntstemperatuur, en sterk toeneemt boven 17,5 °C dauwpuntstemperatuur. Dit wordt gevonden in zowel de grootte van een enkele buiencel als de grootte van buienclusters en vormt mogelijk een verklaring voor de sterke toename in de meest extreme neerslaggebeurtenissen. De dauwpunttemperatuur is een maat voor de hoeveelheid vocht in de atmosfeer en correspondeert met de temperatuur tot waar een volume lucht (dat altijd een bepaalde hoeveelheid waterdamp bevat) afgekoeld kan worden tot het

moment dat nog net geen condensatie optreedt (en er dus alleen waterdamp is en er nog geen waterdruppels zijn). Hoe hoger de dauwpuntstemperatuur hoe meer waterdamp (en dus potentiële neerslag) er in dat volume lucht zit.

Om een indruk te krijgen van de invloed van de dauwpuntstemperatuur op de kansverdeling (en dus op de neerslagstatistiek) zijn de jaarmaxima opgesplitst in twee groepen. Eén groep met jaarmaxima met lage dauwpuntstemperaturen en één groep met jaarmaxima met hoge dauwpuntstemperaturen. Vervolgens zijn de GEV- en GLO verdelingen aan de jaarmaxima in elk van deze groepen gefit. Indien een dauwpuntstemperatuurgrens van 17,5 °C wordt gebruikt, blijken er (toevallig) twee vrijwel even grote groepen te ontstaan: in de eerste groep vallen 220 jaarmaxima met lage dauwpunten en in de tweede groep 216 met hoge dauwpunten.

De resultaten van deze splitsing voor een neerslagduur van 60 minuten zijn te vinden in Figuur 5 en Figuur 6. In deze figuren zijn als referentie ook de GEV- en GLO verdelingen gefit⁹ aan alle 436 jaarmaxima (de gestippelde lijnen). De jaarmaxima met lage dauwpunten (Figuur 5) worden het beste beschreven door de GEV verdeling, en deze lijkt vrij sterk op de Buishand & Wijngaard (2007) verdeling. De GLO verdeling (met zijn hogere extremen) is hier niet aan de orde. De hoogste jaarmaxima met lage dauwpunten liggen allemaal duidelijk onder de fits op basis van alle (436) jaarmaxima.

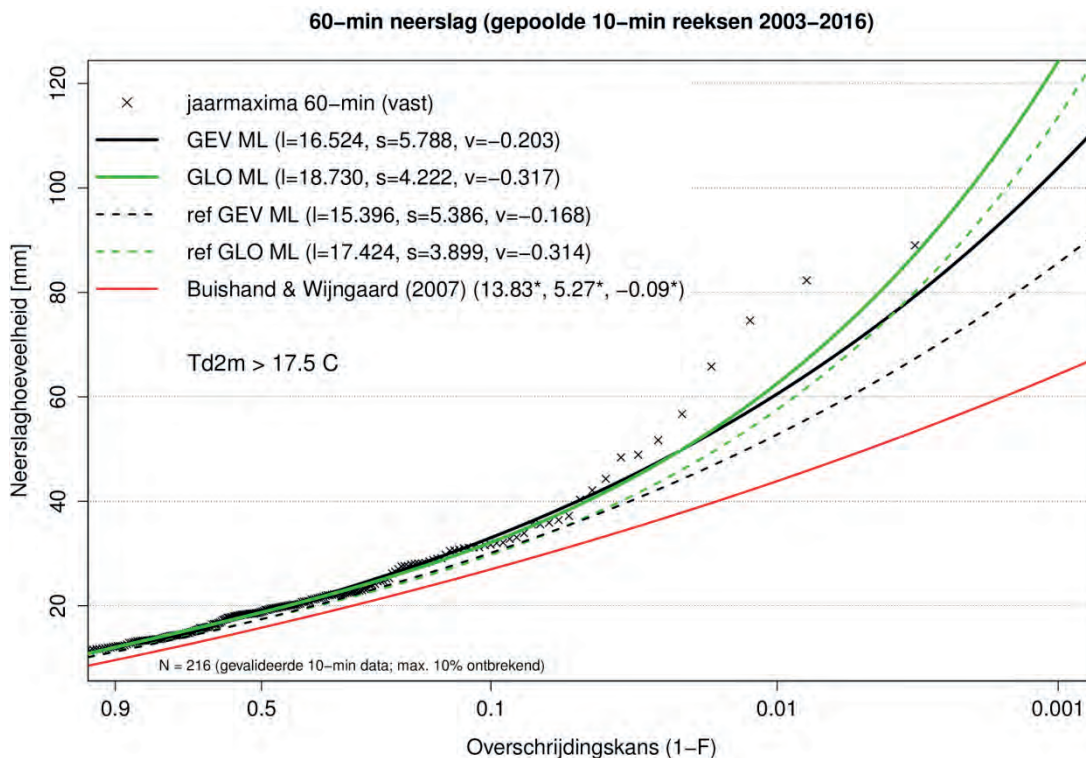
FIGUUR 5 GEV- EN GLO VERDELING VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 60 MINUTEN (VOOR VASTE 60-MIN INTERVALLEN) OP BASIS VAN DE 220 JAARMAXIMA WAARVOOR DE DAUWPUNTSTEMPERATUUR (TD2M) KLEINER OF GELIJK AAN 17,5 °C IS. ALS REFERENTIES DEZELFDE VERDELINGEN MAAR DAN GEFIT AAN ALLE (436) JAARMAXIMA (GESTIPPELDE LIJNEN) EN BUISHAND & WIJNGAARD (2007). OP DE HORIZONTALE AS NU NIET DE HERHALINGSTIJD T, MAAR DE OVERSCHRIJDINGSKANS 1-F OMDAT DE HERHALINGSTIJD VOOR DE DEELREEKSEN NIET ZUIVER GEDEFINIËRD IS



⁹ Het betreft hier fits aan uitsluitend de jaarmaxima uit vaste 60-min intervallen, dit in tegenstelling tot eerdere figuren waarin de fits voor een duur van 60-min (representatief voor een willekeurig 60-min interval) zijn gebaseerd op de jaarmaxima uit vaste 60-min intervallen en de jaarmaxima uit vaste 70-min intervallen.

FIGUUR 6

ALS FIGUUR 5 MAAR DAN OP BASIS VAN DE 216 JAARMAXIMA WAARVOOR DE DAUWPUNTSTEMPERAATUUR (TD2M) GROTER DAN 17,5 °C IS. ALS REFERENTIE OPNIEUW OOK BEIDE VERDELINGEN GEFIT AAN ALLE (436) JAARMAXIMA (GESTIPPELDE LIJNEN) EN BUISHAND & WIJNGAARD (2007)



Alle (60-min) jaarmaxima met een hoeveelheid boven de 50 mm vallen in de groep met de hoge dauwpunten (Figuur 6). En deze jaarmaxima liggen allemaal ruim boven de fits op basis van alle (436) jaarmaxima. De GEV- en GLO fits ontlopen elkaar niet veel tot een herhalingsstijd van ongeveer 50 jaar. Beide fits liggen in de extreme bereik wel duidelijk boven die op basis van alle jaarmaxima en boven die van Buishand & Wijngaard (2007).

Wat leren we hier nu van? Ten eerste, dat de hogere extremen met name veroorzaakt worden door buien bij hoge dauwpuntstemperaturen. Dit is wel iets 'om in de gaten te houden'; het klimaat is aan het opwarmen en de toename van de dauwpuntstemperatuur loopt in de pas met die van de 'gewone' (lucht) temperatuur. Maar de recente jaren met extreme buien en hoge dauwpunten zouden voor een belangrijk deel ook toeval, dat wil zeggen een natuurlijke schommeling in het klimaat, kunnen zijn. Ten tweede, dat 'het neerslagproces' mogelijk niet zo homogeen is als we bij het afleiden van de neerslagstatistiek vanuit gaan. Indien er meerdere processen zouden bestaan die elk een eigen kansverdeling hebben, wat hier ook het geval lijkt te zijn, dan gaat op een gegeven moment de kansverdeling met de hoogste extremen domineren. Het is goed mogelijk dat de GLO verdeling (met zijn relatief hoge extremen) in de praktijk zo'n duaal gedrag beter kan beschrijven dan de GEV verdeling. Idealiter zou je in zo'n geval liever gebruik maken van een zogenoemde 2-componenten extreme waarden verdeling (die bijv. uit een combinatie van 2 verschillende GEV verdelingen bestaat). Maar omdat zo'n verdeling meer parameters heeft is fitten weer lastiger en voordat je hieraan begint zou je eigenlijk meer zekerheid willen hebben of er daadwerkelijk 2 componenten (dat wil zeggen 2 processen) in het spel zijn. Dit is nog niet zo eenvoudig en vraagt om zowel aanvullend statistisch als meer procesgerelateerd onderzoek. Alles overziend lijkt voor nu de GLO verdeling de best passende verdeling.

2.8 REGRESSIE MODEL VOOR DE GLO PARAMETERS ALS FUNCTIE VAN NEERSLAGDUUR

Nu de keuze op de GLO verdeling is gevallen wordt op basis van deze verdeling een ‘volledig GLO model’ afgeleid waarmee bedoeld wordt dat een (extra) model wordt gemaakt waarin de 3 GLO parameters afhankelijk zijn van de neerslagduur. Het voordeel hiervan is dat hiermee dan ook terugkeerniveaus voor tussenliggende duren (bijv. 15 minuten) berekend kunnen worden. Dit vormt de basis voor regenduurlijnen. Een ander voordeel is dat hiermee voorkomen kan worden dat de lijnen met de terugkeerniveaus voor de verschillende duren elkaar bij hoge herhalings tijden gaan snijden of zeer dicht naderen (het zelfde geldt voor uit de terugkeerniveaus afgeleide ‘regenduurlijnen’). Zo’n volledig model (met duurzaamafhankelijke parameters) is in STOWA (2015) ook gemaakt maar dan voor het daarin toegepaste tijdsafhankelijke GEV-model. De stappen voor het afleiden van het volledige GLO model worden sequentieel beschreven in Bijlage A.

Als eerste is een regressiemodel (regressievergelijking) van de GLO vormparameter op de duur afgeleid (zie Figuur 7). Zoals eerder al genoemd is de GLO vormparameter op 2 verschillende manieren geschat; tegelijk met de andere 2 parameters via Maximum Likelihood (ML), en op basis van L-momenten (zie Hosking & Wallis, 1997). De ML schattingen zijn in het algemeen iets meer negatief dan de L-moment schattingen. Voor duren tussen 180 en 720 minuten zijn de L-moment schattingen duidelijk ‘stabiel’ en daarom wordt het regressiemodel voor de vormparameter ook op deze schattingen gebaseerd. De gefitte regressievergelijking is een 2^e graads vergelijking in de logaritme (¹⁰log) van de duur, met de duur (D) in minuten:

$$\theta = -0.0336 - 0.264 \log D + 0.0636 (\log D)^2 \quad (3)$$

Op basis van deze vergelijking worden voor alle duren de locatieparameter (λ) en de schaalparameter (β) opnieuw gefit, λ en β worden hiermee optimaal aangepast aan de voorgeschreven vormparameter (θ). Dit zijn feitelijk de GLO MLR groen gestippelde fits in Figuur 2. Op basis van deze opnieuw gefitte λ en β worden eveneens 2e graads regressievergelijkingen afgeleid voor λ en $\gamma = \beta/\lambda$, respectievelijk:

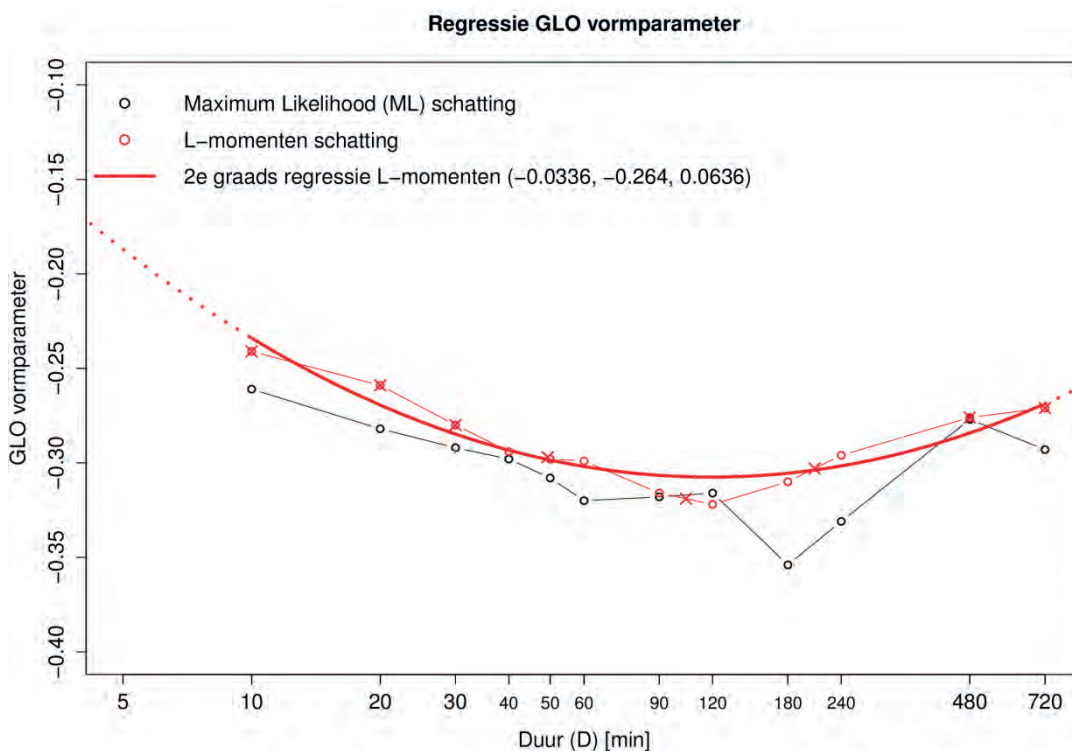
$$\lambda = 7.339 + 0.848 \log D + 2.844 (\log D)^2, \quad (4)$$

en

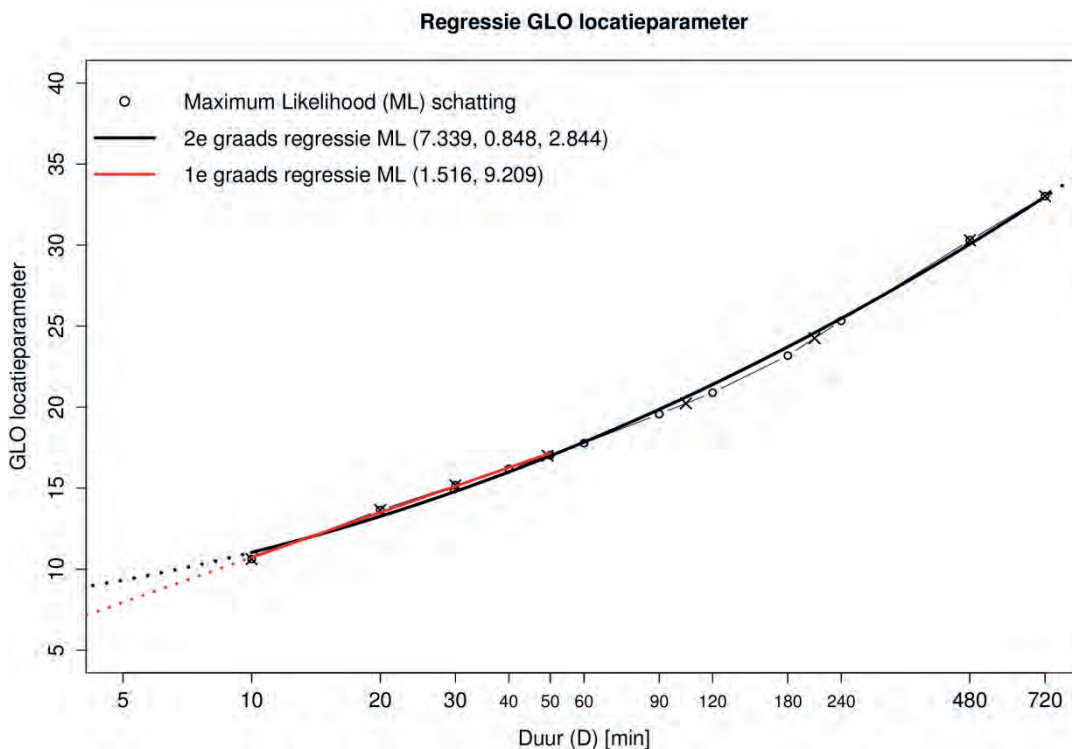
$$\begin{aligned} \gamma = \frac{\beta}{\lambda} &= 0.04704 + 0.1978 \log D - 0.05729 (\log D)^2, \text{ voor } D \leq 104 \text{ min} \\ &= 0.2801 - 0.0333 \log D, \quad \text{voor } D > 104 \text{ min.} \end{aligned} \quad (5)$$

Zie Figuur 8 en Figuur 9. Hiermee is het uiteindelijke en volledige GLO model gedefinieerd. In Figuur 2 zijn dit de GLO MLR dikke groene ‘fits’. En op basis van dit volledige GLO model kunnen dus de terugkeerniveaus voor elke willekeurige duur (tussen 10 en 720 minuten) bepaald worden. In de volgende paragraaf zullen de terugkeerniveaus voor een aantal duren samen in één figuur gepresenteerd worden maar pas nadat in de volgende paragraaf voor deze duren ook een betrouwbaarheidsband is afgeleid.

FIGUUR 7 REGRESSIEMODEL VOOR DE GLO VORMPARAMETER ALS FUNCTIE VAN DE NEERSLAGDUUR. DE ACHT 'x' SYMBOLEN DIE RELATIEF EVENREDIG OVER DE LOG(DUUR) SCHAAL ZIJN VERDEELD ZIJN DE UITEINDELIJKE PUNTEN DIE GEBRUIKT ZIJN VOOR HET FITTEN VAN DE REGRESSIEVERGELIJKING¹⁰

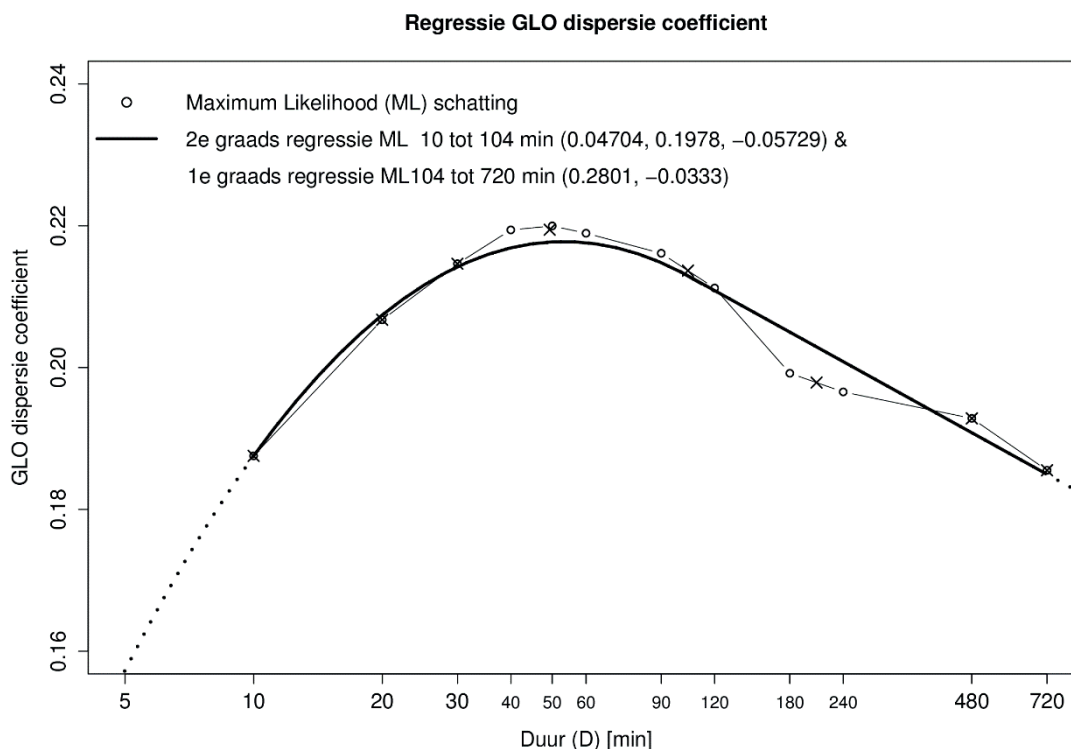


FIGUUR 8 REGRESSIEMODEL VOOR DE GLO LOCATIEPARAMETER ALS FUNCTIE VAN DE NEERSLAGDUUR. DE ACHT 'x' SYMBOLEN DIE RELATIEF EVENREDIG OVER DE LOG(DUUR) SCHAAL ZIJN VERDEELD ZIJN DE UITEINDELIJKE PUNTEN DIE GEBRUIKT ZIJN VOOR HET FITTEN VAN DE REGRESSIEVERGELIJKING¹⁰



10 Hierbij zijn de schattingen voor de drie uren 40-, 50- en 60-min gemiddeld tot 1 punt in de regressievergelijking, evenals de resultaten voor de twee uren 90- en 120-min en voor de twee uren 180- en 240-min (hierdoor is de regressievergelijking effectief gebaseerd op 8 i.p.v. 12 punten/duren).

FIGUUR 9 REGRESSIEMODEL VOOR DE GLO DISPERSIE COËFFICIËNT (SCHAALPARAMETER/LOCATIEPARAMETER) ALS FUNCTIE VAN DE NEERSLAGDUUR. DE ACHT 'x' SYMBOLEN DIE RELATIEF EVENREDIG OVER DE LOG(DUUR) SCHAAL ZIJN VERDEELD ZIJN DE UITEINDELIJKE PUNTEN DIE GEBRUIKT ZIJN VOOR HET FITTEN VAN DE REGRESSIEVERGELIJKING¹⁰



2.9 ONZEKERHEIDSANALYSE (BETROUWBAARHEIDSBANDEN)

Door het relatief grote verschil tussen STOWA (2015) en de nieuwe GLO-gebaseerde resultaten voor een duur van 120 min en $T \geq 50$ jaar (zie Figuur 2) maar ook voor duren langer dan 120 min (zie Bijlage B), waarover dit rapport feitelijk geen uitspraken hoeft te doen maar dat toch ook niet onbesproken kan blijven, is er behoefte aan betrouwbaarheidsbanden bij de fits ontstaan. Enerzijds dus om een indruk van (de significantie van) de verschillen tussen de nieuwe resultaten en die in STOWA (2015) te krijgen en anderzijds om een indruk te krijgen van (de significantie van) de verschillen tussen de GEV en GLO fits. Voor een aantal duren zijn 95% betrouwbaarheidsbanden afgeleid voor de terugkeerniveaus op basis van de profiel likelihood methode, een nauwkeurige methode om betrouwbaarheidsintervallen te bepalen (zie bijv. Coles, 2001). Voor de GLO verdeling voor duren van 10-, 30-, 60-, 120-, en 720-min en voor de GEV-verdeling enkel voor 60- en 120-min. De betrouwbaarheidsbanden zijn geconstrueerd uit de '95% betrouwbaarheidsintervallen' voor een aantal geselecteerde herhalingstijden¹¹, waarvan de punten via een lijn verbonden worden.

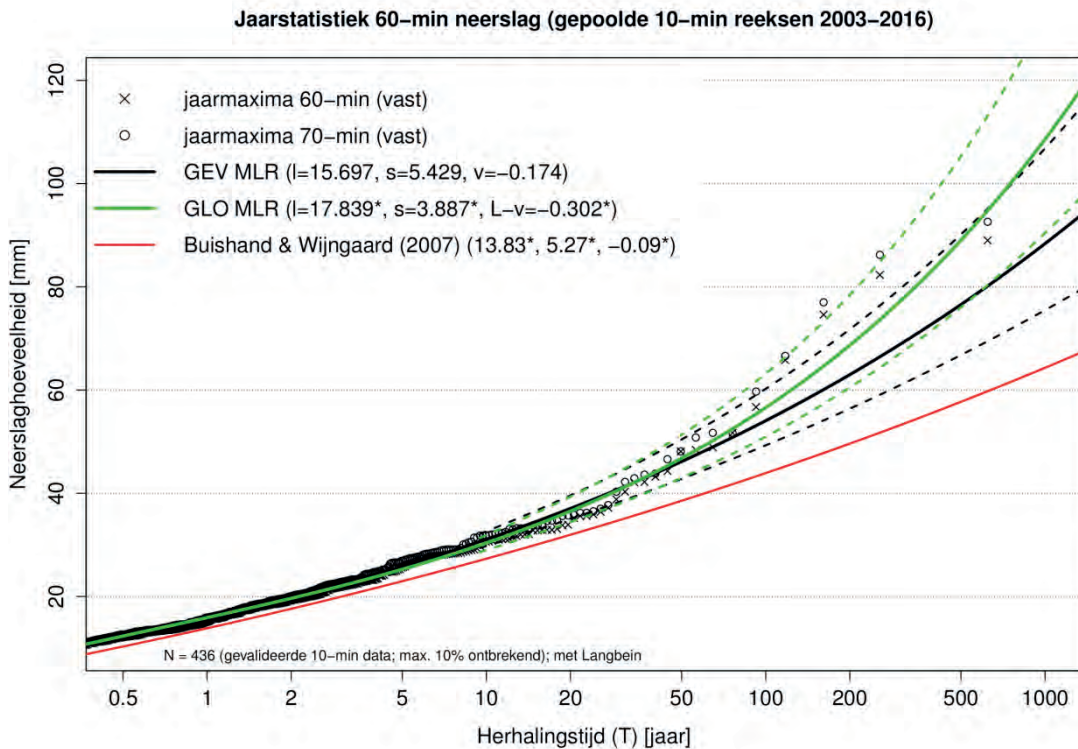
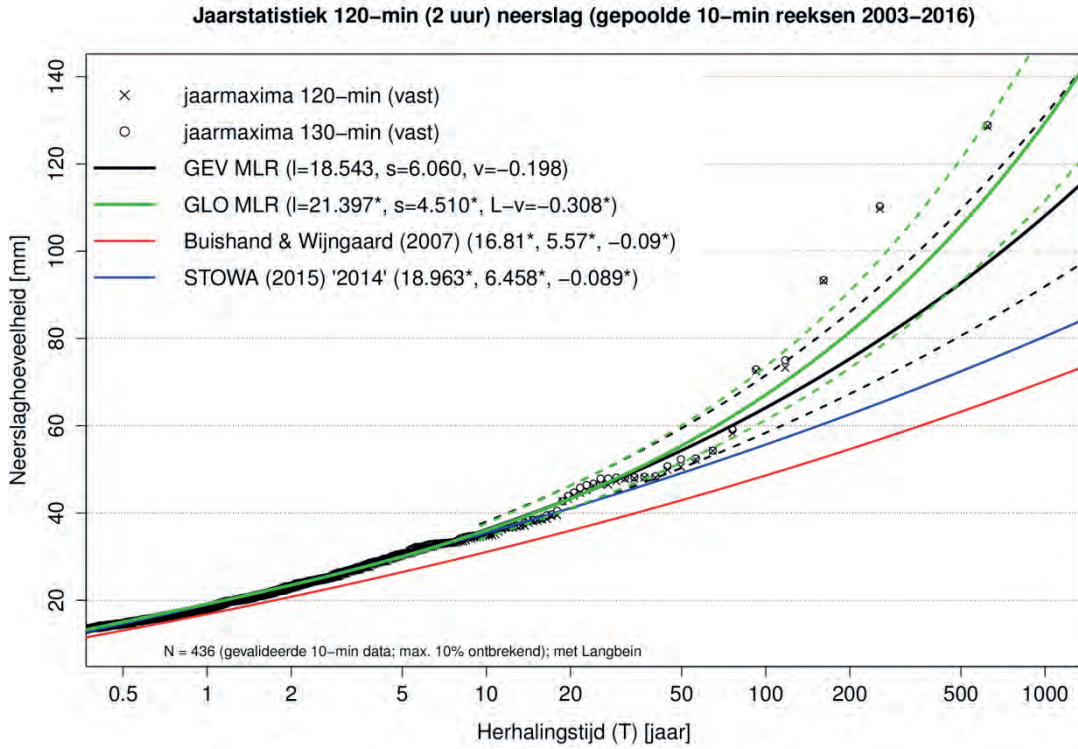
Deze betrouwbaarheidsbanden geven voor elke herhalingstijd het interval weer waarin met 95% zekerheid het terugkeerniveau valt, gegeven de jaarmaxima en het type van de kansverdeling. Deze band reflecteert de onzekerheid in de drie GEV- / GLO parameters en wordt in belangrijke mate bepaald door het aantal jaarmaxima die voor de fits worden gebruikt. Bij de GLO verdeling is geen rekening gehouden met het feit dat de GLO parameters gemodelleerd zijn als functie van de duur, waardoor het werkelijke 95% betrouwbaarheidsinterval enigszins overschat wordt. Merk op dat de 95% betrouwbaarheidsband niets zegt over de kans dat 1 of meerdere van de jaarmaxima buiten deze band liggen. Gevoelsmatig, en kwalitatief, is het

¹¹ De herhalingstijden waarvoor 95% betrouwbaarheidsintervallen voor het terugkeerniveau op basis van de profiel likelihood methode zijn berekend zijn: 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 (en in een aantal gevallen ook nog 2000 en 10.000) jaar.

natuurlijk wel 'gek' wanneer er veel jaarmaxima buiten zo'n betrouwbaarheidsband liggen maar kwantitatief zegt die band hier dus niets over.

Voor 120- en 60-min wordt hieronder nogmaals Figuur 2 getoond maar nu met 95% banden (gestippeld) bij de GEV verdeling en het uiteindelijke GLO model.

FIGUUR 10 ALS FIGUUR 2 EN HET ONDERSTE PANEL VAN FIGUUR 3, MAAR NU INCLUSIEF 95% BETROUWBAARHEIDSBANDEN (GESTIPPelde LIJNEN) OP BASIS VAN DE PROFILE LIKELIHOOD VOOR DE GEV VERDELING EN HET UITEINDELIJKE GLO MODEL (RESP. DIKKE ZWARTE EN GROENE LIJNEN)

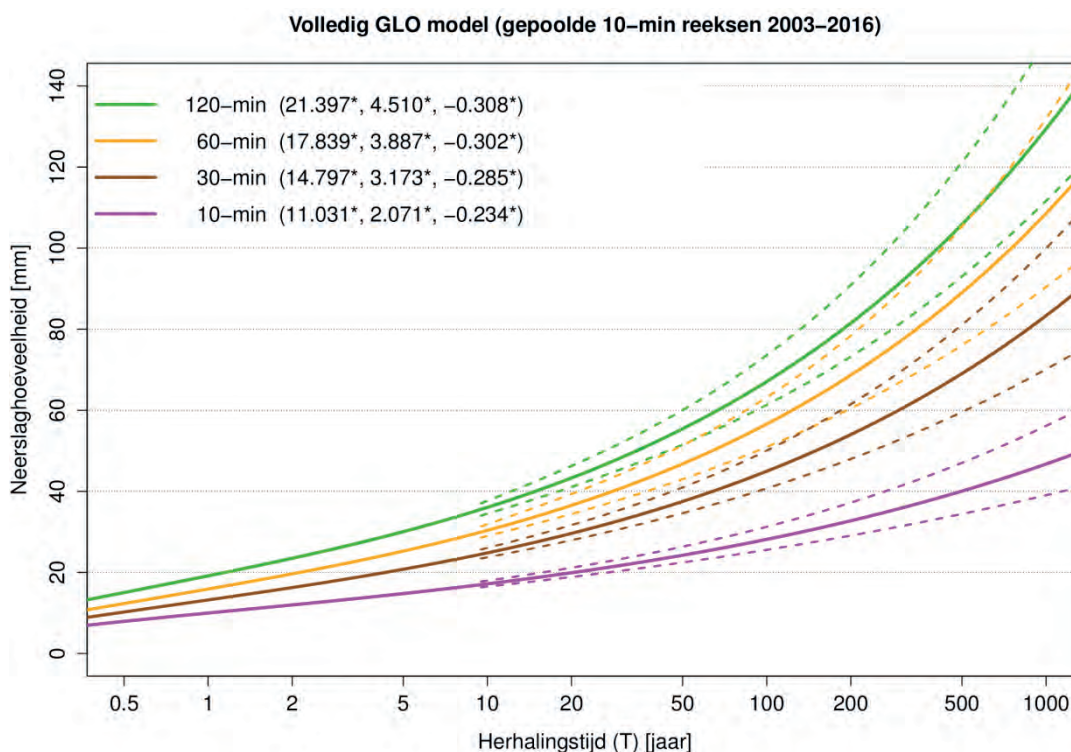


In het panel voor 120-min is ook weer het STOWA (2015) resultaat voor 2-uur weergegeven (blauwe lijn). Het STOWA (2015) resultaat ligt vanaf een herhalingstijd van ongeveer 50 jaar zowel voor de GEV verdeling als het GLO model onder diens 95% betrouwbaarheidsbanden. Met andere woorden, vanaf een herhalingstijd van ongeveer 50 jaar kan gesteld worden dat het STOWA (2015) resultaat significant van de nieuwe resultaten verschilt (feitelijk een significante *onderschatting* van de terugkeerniveaus geeft). Bij een duur van 12 uur blijkt STOWA (2015) al vanaf een herhalingstijd van ongeveer 20 jaar significant van de resultaten voor het volledige GLO model in dit rapport te verschillen (zie figuur voor 720-min in Bijlage B). Dit maakt het aannemelijk dat ook voor tussenliggende duren het verschil significant zal zijn, maar dit dient nog wel nader geanalyseerd te worden.

Verder is te zien dat de GEV en GLO fits, zowel bij een duur van 120-min als een duur van 60-min, bijna volledig binnen elkaars 95% betrouwbaarheidsbanden vallen, d.w.z. de GEV fit valt bij benadering samen met de onderkant van de GLO betrouwbaarheidsband terwijl de GLO fit ruwweg samenvalt met de bovenkant van de GEV betrouwbaarheidsband. Ergo, op basis van deze banden kunnen we stellen dat de GLO en GEV niet statistisch significant van elkaar verschillen (ondanks dat de terugkeerniveaus voor beide verdelingen cijfermatig natuurlijk wel wezenlijk van elkaar verschillen). Dit geeft andermaal aan dat de onzekerheid bij lange herhalingstijden (zeg vanaf 100 jaar) onverminderd groot blijft. Bij toepassingen waarvoor terugkeerniveaus voor herhalingstijden van 100 jaar en meer gebruikt worden, op basis van welke neerslagstatistiek dan ook, dient de gebruiker zich niet alleen maar bewust van deze grote onzekerheid te zijn, maar zou de onzekerheid ook 'in rekening moeten worden gebracht'. Het wordt steeds gebruikelijker in 'de ontwerpwereld' om het effect van de onzekerheid op het ontwerp te kwantificeren. De meest eenvoudige optie om 'aan de veilige kant te blijven' is om met de bovenkant van het 95% betrouwbaarheidsinterval te werken (waarvoor de kans dat terugkeerniveaus onderschat worden slechts 2.5% bedraagt).

Een tweede figuur met betrouwbaarheidsbanden betreft een figuur met daarin de 95% betrouwbaarheidsbanden voor het uiteindelijke en volledige GLO model voor duren van 10-, 30-, 60- en 120-min (voor 60- en 120-min zijn deze identiek aan die in Figuur 10).

FIGUUR 11 HET UITEINDELIJKE GLO MODEL VOOR DUREN VAN 10-, 30-, 60- EN 120-MIN MET BIJBEHORENDE 95% BETROUWBAARHEIDSBANDEN (O.B.V. DE PROFILE LIKELIHOOD METHODE)



2.10 RESULTAATTABELLEN EN AFLEIDING REGENDUURLIJNEN

Bij de tot nu toe gepresenteerde figuren is de afleiding van de neerslagstatistiek als uitgangspunt genomen. In het waterbeheer worden echter vaak zogenoemde regenduurlijnen gebruikt. Bij een regenduurlijn ligt de herhalingsperiode vast en is de neerslaghoeveelheid een functie van de neerslagduur. In de tot nu toe gepresenteerde figuren ligt echter de neerslagduur vast (vanwege het feit dat de jaarmaxima afhankelijk van de duur zijn) en is de neerslaghoeveelheid een functie van de herhalingsperiode T . Een regenduurlijn voor bijv. $T = 100$ jaar wordt dan uit Figuur 11 verkregen door de hoeveelheden voor de verschillende uren bij $T = 100$ middels een (continue) lijn te verbinden. Om een mathematische uitdrukking voor een regenduurlijn te verkrijgen hebben we de inverse van vergelijking (2) nodig:

$$\begin{aligned}
 x(F) &= \lambda + \frac{\beta}{\theta} [1 - \{(1 - F)/F\}^\theta], & \text{voor } \theta \neq 0 \\
 &= \lambda - \beta \ln\{(1 - F)/F\}, & \text{voor } \theta = 0,
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Voor de reeks van jaarmaxima is de herhalingsperiode gedefinieerd als $1/(\text{overschrijdingskans}) = 1/(1-F)$. Deze herhalingsperiode is altijd groter dan 1 jaar, omdat maar 1 extreem per jaar wordt meegenomen. Er kan ook een zogenaamde partiële duurreeks gemaakt worden waarin alle extremen boven een bepaald niveau zijn opgenomen. In dat geval kunnen er meerdere extremen in een jaar voorkomen. Er is een verband tussen de herhalingsperiode in de partiële duurreeks en die van de jaarmaxima. Deze staat bekend als de relatie van Langbein (1949). Gebruik van deze relatie leidt tot , waarin T de herhalingsperiode (in jaren) is in de partiële duurreeks (Buishand & Wijngaard, 2007). Substitutie hiervan in vergelijking (6) geeft dan voor de regenduurlijnen:

$$\begin{aligned}
 x(T) &= \lambda + \frac{\beta}{\theta} \left[1 - \left\{ (1 - \exp[-1/T]) / \exp[-1/T] \right\}^\theta \right], & \text{voor } \theta \neq 0 \\
 &= \lambda - \beta \ln \left\{ (1 - \exp[-1/T]) / \exp[-1/T] \right\}, & \text{voor } \theta = 0,
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

met T de herhalingstijd in jaren en λ , β ($= \gamma\lambda$) en θ de duuraafhankelijke GLO parameters volgens de vergelijkingen (3) t/m (5).

Echter, voordat definitieve regenduurlijnen gemaakt of tabellen van neerslaghoeveelheden als functie van neerslagduur en herhalingstijd gepresenteerd kunnen worden is nog een kleine, maar voor de consistentie noodzakelijke, correctie nodig. Dit betreft de correctie van de ‘ondervangst’ van de automatische regenmeters (waarop de statistiek resultaten in dit rapport tot hier toe gebaseerd zijn) vergeleken met de handregenmeters. Deze laatste zijn al sinds Buishand & Velds (1980) ‘De referentie’ voor alle Nederlandse neerslagstatistieken. De systematische ondervangst van de automatische regenmeters kan voor een deel verklaard worden door het verwarmingselement dat in dit type regenmeters wordt gebruikt en dat sneeuw en hagel doet smelten. Het verschil tussen beide regenmeters is groter bij lage neerslagintensiteiten en bij de jaarsommen dan bij extremen (zoals de jaarmaxima die bij de afleiding van de neerslagstatistiek worden gebruikt). Voor details wordt verwezen naar Brandsma (2014). Hier wordt volstaan met de conclusie dat de benodigde correctie ongeveer +2% bedraagt¹². Voor dit rapport wordt deze correctie op +2% vastgesteld. Deze +2% correctie kan op verschillende manieren worden geïmplementeerd: of door een +2% correctie van de locatieparameter verkregen uit de regressievergelijking tussen GLO locatieparameter en de duur (ofwel een correctie binnen het volledige GLO model) of door een correctie van +2% van alle terugkeerniveaus (hoeveelheden) berekend met het ongecorrigeerde volledige GLO model (ofwel een correctie helemaal aan het eind). Beide methoden zijn in het eindresultaat identiek. De +2% correctie dient ook toegepast te worden op de onder- en bovengrenzen van de 95% betrouwbaarheidsbanden, berekend met de profile likelihood methode.

In de rest van deze paragraaf worden de definitieve resultaten in tabellen gepresenteerd, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de volgende vijf tabellen:

- i. Een hoofdtabel met hoeveelheden als functie van de duur en de herhalingstijd op basis van het in dit rapport gepresenteerde volledige GLO model. Met (vaste) herhalingstijden tussen 0.5 en 1000 jaar. En neerslagduren van 10 minuten tot 120 minuten tot 720 minuten (=12 uur). Dit laatste vanwege het nieuwe inzicht dat ook voor duren langer dan 2 uur de vormparameter kleiner (meer negatief) zou moeten zijn dan in STOWA (2015) aangenomen. NB Die duur van 12 uur is de langste duur die uit de voor dit rapport gebruikte analyse nog meege-nomen kon worden zonder duidelijk ‘meerwerk’, waarmee niet gezegd is dat het bij deze langste duur blijft.
- ii. Een tabel corresponderend met de hoofdtabel met daarin, voor herhalingstijden van 10 jaar en meer, de range van de 95% betrouwbaarheidsband voor de GLO verdeling op basis van de profile likelihood methode.
- iii. Hiervan afgeleid een verschiltabel met de absolute verschillen (in mm) tussen de resultaten in de tabel onder i) en de Buishand & Wijngaard (2007) resultaten (en dus uitsluitend voor duren tussen 10 en 120 minuten) waarvoor de resultaten in de tabel onder i) feitelijk een update zijn van de bestaande neerslagstatistiek voor korte duren. Ofwel de oorspronkelijke motivatie voor deze studie.

12 Deze correctie is ontleend aan Figuur 22 in Brandsma (2014) en blijkt onafhankelijk van de periode van het jaar waarvoor de neerslagstatistiek wordt afgeleid; en deze +2% wordt dus zowel in deze paragraaf over de jaarstatistiek als die voor de winterstatistiek (nov t/m feb) toegepast.

- iv. Een tabel identiek aan de tabel onder iii) maar met relatieve verschillen (in %) in plaats van absolute verschillen.
- v. Een tabel als onder iii) maar nu met de absolute verschillen tussen de resultaten in de tabel onder i) en de STOWA (2015) resultaten (en dus uitsluitend voor duren tussen 120- en 720-min, d.w.z. tussen 2- en 12 uur), ofwel voor de resultaten in de tabel onder i) die van STOWA (2015) afwijken en wat niet vooraf voorzien was.
- vi. Een tabel identiek aan de tabel onder v) maar met relatieve verschillen (in %) in plaats van absolute verschillen.

TABEL 2 NEERSLAGHOEVEELHEDEN (IN MM) BIJ VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN VOOR NEERSLAGDUREN TUSSEN 10 MINUTEN EN 12 UUR OP BASIS VAN HET VOLLEDIGE GLO MODEL. T10000 AFGEROND OP 10 MM

| T [jaar] | Neerslagduur | | | | | | | |
|-------------|--------------|--------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|
| | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min | 120 min | 2 uur | 4 uur | 8 uur |
| 0.5 | 8.1 | 8.8 | 10.4 | 12.6 | 15.3 | 18.6 | 22.2 | 24.6 |
| 1 | 10.2 | 11.2 | 13.5 | 16.2 | 19.5 | 23.4 | 27.7 | 30.5 |
| 2 | 12.2 | 13.7 | 16.6 | 20.0 | 24.0 | 28.4 | 33.4 | 36.5 |
| 5 | 15.1 | 17.1 | 21.2 | 25.8 | 30.7 | 35.9 | 41.7 | 45.2 |
| 10 | 17.5 | 20.2 | 25.3 | 31.0 | 36.8 | 42.8 | 49.1 | 52.9 |
| 20 | 20.3 | 23.7 | 30.2 | 37.2 | 44.2 | 51.1 | 58.0 | 61.9 |
| 25 | 21.3 | 24.9 | 32.0 | 39.5 | 46.9 | 54.1 | 61.2 | 65.2 |
| 50 | 24.7 | 29.3 | 38.2 | 47.7 | 56.5 | 64.8 | 72.5 | 76.6 |
| 100 | 28.7 | 34.5 | 45.8 | 57.7 | 68.4 | 78.0 | 86.2 | 90.2 |
| 200 | 33.4 | 40.7 | 55.0 | 70.0 | 83.1 | 94.1 | 102.8 | 106.6 |
| 250 | 35.0 | 43.0 | 58.4 | 74.5 | 88.6 | 100.1 | 108.9 | 112.5 |
| 500 | 40.8 | 50.8 | 70.4 | 90.7 | 108.0 | 121.4 | 130.4 | 133.4 |
| 1000 | 47.6 | 60.2 | 84.9 | 110.6 | 132.1 | 147.6 | 156.7 | 158.6 |
| 10000 | 80 | 110 | 160 | 220 | 260 | 280 | 290 | 290 |

TABEL 3 95% RANGE IN NEERSLAGHOEVEELHEDEN (IN MM EN AFGEROND OP 1 MM) BIJ VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN VOOR NEERSLAGDUREN TUSSEN 10 MINUTEN EN 12 UUR OP BASIS VAN DE GLO VERDELING EN DE PROFILE LIKELIHOOD METHODE. T₁₀₀₀₀ AFGEROND OP 10 MM

| T [jaar] | Neerslagduur | | | | | | | | |
|-------------|--------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min | 120 min | 2 uur | 4 uur | 8 uur | 12 uur |
| 0.5 | nb | nb | nb | nb | nb | nb | nb | nb | nb |
| 1 | nb | nb | nb | nb | nb | nb | nb | nb | nb |
| 2 | nb | nb | nb | nb | nb | nb | nb | nb | nb |
| 5 | nb | nb | nb | nb | nb | nb | nb | nb | nb |
| 10 | 17 - 18 | 19 - 21 | 24 - 27 | 30 - 32 | 35 - 39 | 41 - 45 | 47 - 51 | 51 - 55 | |
| 20 | 19 - 22 | 22 - 25 | 29 - 32 | 35 - 40 | 42 - 47 | 49 - 54 | 55 - 62 | 59 - 66 | |
| 25 | 20 - 23 | 24 - 27 | 30 - 35 | 37 - 43 | 44 - 51 | 52 - 59 | 58 - 66 | 62 - 70 | |
| 50 | 22 - 27 | 26 - 32 | 34 - 42 | 42 - 52 | 51 - 61 | 58 - 71 | 65 - 79 | 68 - 83 | |
| 100 | 26 - 32 | 31 - 39 | 41 - 52 | 52 - 64 | 63 - 76 | 72 - 86 | 79 - 95 | 82 - 100 | |
| 200 | 30 - 38 | 36 - 47 | 49 - 63 | 62 - 79 | 75 - 93 | 85 - 106 | 93 - 116 | 95 - 121 | |
| 250 | 31 - 40 | 38 - 50 | 51 - 67 | 65 - 84 | 79 - 99 | 90 - 113 | 97 - 123 | 99 - 128 | |
| 500 | 35 - 48 | 44 - 61 | 60 - 84 | 78 - 105 | 95 - 125 | 107-141 | 114-152 | 115-156 | |
| 1000 | 40 - 57 | 50 - 74 | 71 - 104 | 93 - 131 | 113-155 | 128-174 | 135-187 | 133-191 | |
| 10000 | 60-100 | 80-150 | 120-220 | 170-280 | 210-330 | 230-370 | 230-380 | 220-380 | |

TABEL 4 ABSOLUTE VERSCHIL IN NEERSLAGHOEVEELHEDEN (IN MM) TUSSEN HET VOLLEDIGE GLO MODEL EN DE BUISHAND & WIJNGAARD (2007) STATISTIEK (VOOR DUREN TUSSEN 10- EN 120 MINUTEN)

| T [jaar] | Neerslagduur | | | | |
|-------------|--------------|--------|--------|--------|---------|
| | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min | 120 min |
| 0.5 | 2.8 | 2.6 | 2.3 | 2.3 | 2.2 |
| 1 | 2.8 | 2.5 | 2.4 | 2.4 | 2.7 |
| 2 | 2.7 | 2.4 | 2.2 | 2.4 | 3.2 |
| 5 | 2.5 | 2.2 | 2.2 | 2.8 | 4.2 |
| 10 | 2.4 | 2.3 | 2.5 | 3.7 | 5.7 |
| 20 | 2.5 | 2.6 | 3.4 | 5.2 | 8.2 |
| 25 | 2.7 | 2.7 | 3.9 | 6.0 | 9.3 |
| 50 | 3.2 | 3.7 | 5.7 | 9.2 | 13.6 |
| 100 | 4.1 | 5.2 | 8.7 | 13.8 | 19.8 |
| 200 | 5.5 | 7.5 | 13.0 | 20.4 | 28.5 |
| 250 | 6.0 | 8.5 | 14.7 | 23.0 | 31.9 |
| 500 | 8.3 | 12.1 | 21.4 | 33.0 | 44.8 |
| 1000 | 11.3 | 16.9 | 30.2 | 46.3 | 61.9 |
| 10000 | nb | nb | nb | nb | nb |

TABEL 5 ALS TABEL 4 MAAR NU ALS RELATIEF VERSCHIL AFGEROND OP 1%. VERSCHILLEN VAN MEER DAN 20% CURSIEF EN VERSCHILLEN VAN MEER DAN 50% VET CURSIEF

| T [jaar] | Neerslagduur | | | | |
|-------------|--------------|--------|--------|--------|---------|
| | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min | 120 min |
| 0.5 | 53 % | 42 % | 28 % | 22 % | 17 % |
| 1 | 38 % | 29 % | 22 % | 17 % | 16 % |
| 2 | 28 % | 21 % | 15 % | 14 % | 15 % |
| 5 | 20 % | 15 % | 12 % | 12 % | 16 % |
| 10 | 16 % | 13 % | 11 % | 14 % | 18 % |
| 20 | 14 % | 12 % | 13 % | 16 % | 23 % |
| 25 | 15 % | 12 % | 14 % | 18 % | 25 % |
| 50 | 15 % | 15 % | 18 % | 24 % | 32 % |
| 100 | 17 % | 18 % | 24 % | 31 % | 41 % |
| 200 | 20 % | 23 % | 31 % | 41 % | 52 % |
| 250 | 21 % | 25 % | 34 % | 45 % | 56 % |
| 500 | 26 % | 31 % | 44 % | 57 % | 71 % |
| 1000 | 31 % | 39 % | 55 % | 72 % | 88 % |
| 10000 | nb | nb | Nb | nb | nb |

De relatieve verschillen in Tabel 5, d.w.z. ten opzichte van Buishand & Wijngaard (2007) waren te verwachten, vanwege het niet meenemen van de historische neerslagtrend in Buishand & Wijngaard. Voor herhalingstijden van ongeveer 5 tot 50 jaar is de toename ten opzichte van Buishand & Wijngaard (2007) 10 tot 20 % en deze range correspondeert redelijk met de toename van de jaarstatistiek, van 8 – 12% in STOWA (2015) ten opzichte van STOWA (2004). Voor langere herhalingstijden worden de relatieve toenames, met name door de ‘krommere vorm van de kansverdeling’ duidelijk groter, met een grootste toename van bijna 90% bij een duur van 120-min en een herhalingstijd van 1000 jaar. Voor herhalingstijden korter dan 5 jaar is er een opmerkelijk verschil bij de kortste duren. De oorzaak hiervan is niet duidelijk.

TABEL 6 ABSOLUTE VERSCHIL IN NEERSLAGHOEVEELHEDEN (IN MM) TUSSEN HET VOLLEDIGE GLO MODEL EN DE STOWA (2015) STATISTIEK (VOOR DUREN TUSSEN 2- EN 12 UUR)

| T [jaar] | Neerslagduur | | | |
|-------------|--------------|-------|-------|--------|
| | 2 uur | 4 uur | 8 uur | 12 uur |
| 0.5 | 0.7 | 1.0 | 0.8 | 0.4 |
| 1 | 0.5 | 1.2 | 1.3 | 1.0 |
| 2 | 0.4 | 1.3 | 1.7 | 1.4 |
| 5 | 0.6 | 1.8 | 2.5 | 2.2 |
| 10 | 1.3 | 3.1 | 3.8 | 3.4 |
| 20 | 3.1 | 5.4 | 6.2 | 5.7 |
| 25 | 3.9 | 6.4 | 7.3 | 6.7 |
| 50 | 7.3 | 10.6 | 11.6 | 10.8 |
| 100 | 12.7 | 16.9 | 17.9 | 16.6 |
| 200 | 20.5 | 25.7 | 26.7 | 24.8 |
| 250 | 23.6 | 29.3 | 30.2 | 28.0 |
| 500 | 35.5 | 42.6 | 43.3 | 40.1 |
| 1000 | 51.6 | 60.4 | 60.6 | 56.0 |
| 10000 | nb | nb | nb | nb |

TABEL 7 ALS TABEL 6 MAAR NU ALS RELATIEF VERSCHIL AFGEROND OP 1%. VERSCHILLEN VAN MEER DAN 20% CURSIEF EN VERSCHILLEN VAN MEER DAN 50% VET CURSIEF

| T [jaar] | Neerslagduur | | | |
|-------------|--------------|-------|-------|--------|
| | 2 uur | 4 uur | 8 uur | 12 uur |
| 0.5 | 5 % | 6 % | 4 % | 2 % |
| 1 | 3 % | 5 % | 5 % | 3 % |
| 2 | 2 % | 5 % | 5 % | 4 % |
| 5 | 2 % | 5 % | 6 % | 5 % |
| 10 | 4 % | 8 % | 8 % | 7 % |
| 20 | 8 % | 12 % | 12 % | 10 % |
| 25 | 9 % | 13 % | 14 % | 12 % |
| 50 | 15 % | 20 % | 19 % | 16 % |
| 100 | 23 % | 28 % | 26 % | 23 % |
| 200 | 33 % | 38 % | 35 % | 30 % |
| 250 | 36 % | 41 % | 38 % | 33 % |
| 500 | 49 % | 54 % | 50 % | 43 % |
| 1000 | 64 % | 69 % | 63 % | 55 % |
| 10000 | nb | nb | nb | nb |

Zoals al eerder opgemerkt, de relatieve verschillen in Tabel 7, d.w.z. de verschillen ten opzichte van STOWA (2015) zijn onvoorzien. Tot $T = 50$ jaar blijft het verschil beperkt tot maximaal +20%. Maar ook hier neemt het verschil, als gevolg van de 'krommere kansverdeling' sterk toe met de herhalingsstijd, met verschillen van meer dan +50% bij $T > 500$ jaar. De grootste relatieve verschillen met STOWA (2015) lijken voor te komen bij duren tussen 4- en 8 uur; bij 12 uur worden de relatieve verschillen al weer iets kleiner, maar de verschillen blijven voor herhalingsstijden van 50 jaar en meer significant. Tabel 7 eindigt weliswaar bij een duur van 12 uur maar ook bij langere duren zal er met het huidige inzicht nog een verschil met STOWA (2015) blijven bestaan. Het relatieve verschil zal bij nog langere duren naar verwachting weer kleiner worden maar om dit verder te kwantificeren is aanvullend onderzoek nodig.

3

WINTERSTATISTIEK VOOR KORTE DUREN

3.1 INLEIDING

Naast de jaarstatistiek is door de STOWA ook de statistiek specifiek voor de winterperiode gevraagd. Deze periode is gedefinieerd als november tot en met februari. We gebruiken hiervoor dezelfde methoden en datareeksen zoals beschreven voor de jaarstatistiek in hoofdstuk 2. Voor details betreffende de methode verwijzen we naar dat hoofdstuk. Voor het bepalen van de statistiek gebruiken we de wintermaxima per aaneengesloten winter (november tot en met februari).

Vooruitlopend op de uitkomsten kunnen we hier al stellen dat de neerslagstatistiek voor korte duren voor het groeiseizoen overeen komt met de jaarstatistiek zoals bepaald in de voorgaande paragrafen. De winterstatistiek voor korte duren valt – zoals op voorhand verwacht – zo laag uit dat deze geen bijdrage levert in de jaarstatistiek en de jaarstatistiek daarmee volledig wordt bepaald door gebeurtenissen uit het groeiseizoen.

3.2 FITS PER DUUR

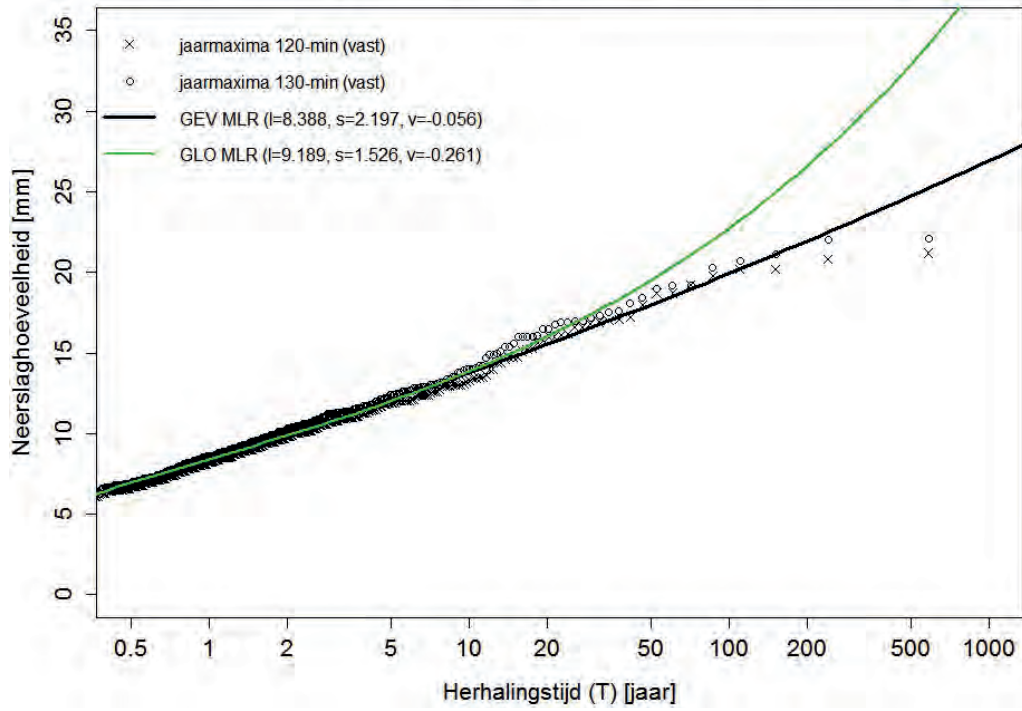
Er zijn 12 duren waarvoor individuele fits zijn gemaakt: 10-, 20-, 30-, 40-, 50-, 60-, 90-, 120-, 180-, 240-, 480- en 720-min. Voor de wintermaxima is gecontroleerd of de data als onafhankelijk kunnen worden beschouwd (oftewel: of de jaarmaxima van de verschillende stations in de buurt van elkaars tijdvak vallen). Tot duren van 720 minuten (12 uur) blijken de data nog als onafhankelijk worden beschouwd. Voor nog langere duren komen dubbelingen van gebeurtenissen voor, maar die hebben enkel invloed op de vaak voorkomende gebeurtenissen met herhalingstijden van 2 jaar of kleiner. Voor de extremere waarden zijn ook die data als onafhankelijk te beschouwen. Bij de individuele fits is net als bij de jaarmaxima niet alleen de GEV verdeling gefit maar ook de GLO verdeling. Bij de ML fits voor beide verdelingen wordt tot en met een duur van 240-min de range van de desbetreffende vaste jaarmaxima gebruikt en vanaf een duur van 480 min uitsluitend de vaste jaarmaxima.

Voor 3 duren, 120-, 60- en 10-min zijn de resultaten hieronder getoond. In de figuren is te zien dat er geen aanleiding is om de GLO-verdeling, die voor de jaarstatistiek nodig was om de relatief hoge extremen te beschrijven, ook voor de winterstatistiek toe te passen. Dit is ook consistent met de waarschijnlijke oorzaak van de noodzaak voor de GLO-verdeling, namelijk het voorkomen van hoge dauwpuntstemperaturen. In de winter komen die niet voor. Voor de winterstatistiek levert de GEV-verdeling goede fits op, betere fits dan de GLO-verdeling. Bij de verdere bepaling van de winterstatistiek wordt daarom de GEV-verdeling gebruikt. Omdat er nog geen statistiek voor korte duren voor de winter beschikbaar was, kan hier geen vergelijking opgenomen worden met bestaande statistiek.

Net als voor de jaarstatistiek zijn de geven herhalingstijden gebaseerd op de partiële duurreeks waarbij gebruik is gemaakt van de relatie van Langbein.

FIGUUR 12

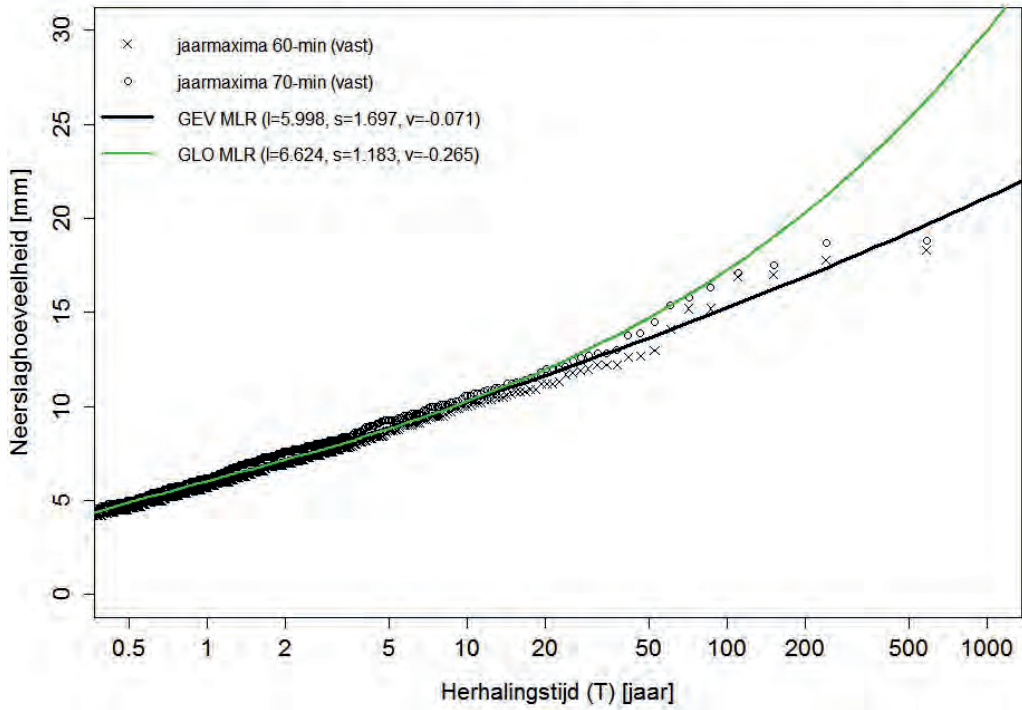
GEV EN GLO FITS VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 120 MINUTEN, ALLE DRIE DE PARAMETERS ZIJN GEFIT MET ML

Winterstatistiek 120-min neerslag (gepoolde 10-min reeksen 2003-2016)

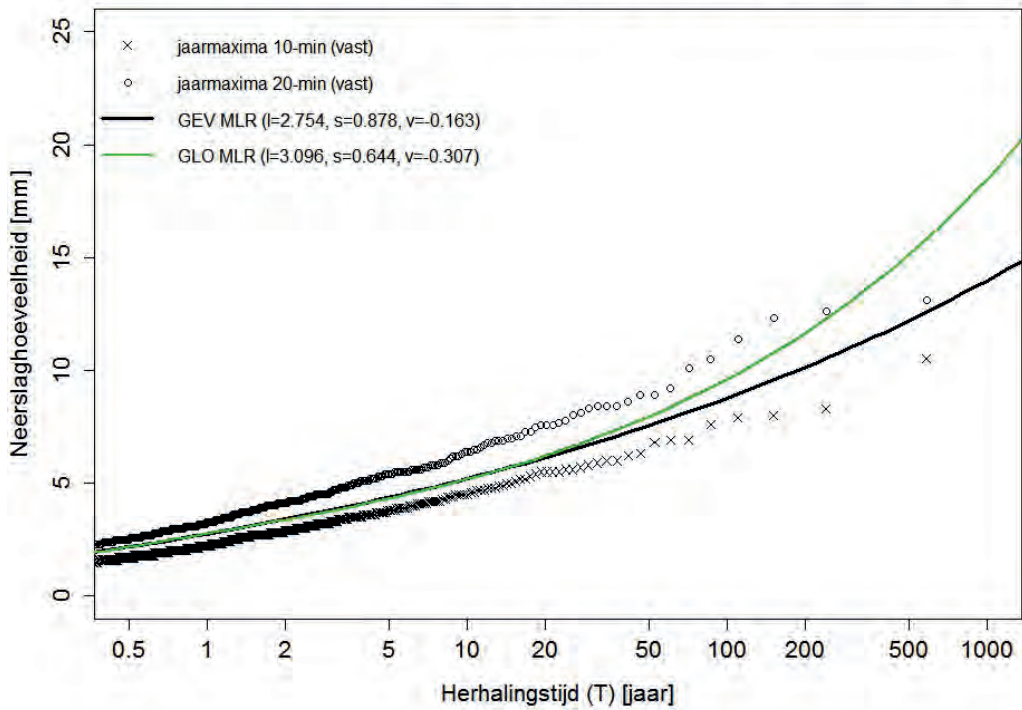
FIGUUR 13

GEV EN GLO FITS VOOR DUREN VAN 60- EN 10-MINUTEN, ALLE DRIE DE PARAMETERS ZIJN GEFIT MET ML

Winterstatistiek 60-min neerslag (gepoolde 10-min reeksen 2003-2016)



Winterstatistiek 10-min neerslag (gepoolde 10-min reeksen 2003-2016)



3.3 REGRESSIE MODEL VOOR DE GEV PARAMETERS ALS FUNCTIE VAN NEERSLAGDUUR

Op basis van de GEV-verdeling leiden we een ‘volledig GEV model’ af, waarmee bedoeld wordt dat een (extra) model wordt gemaakt waarin de 3 GEV parameters afhankelijk zijn van de neerslagduur. Zoals bij de jaarstatistiek beschreven is het voordeel hiervan dat hiermee dan ook terugkeerniveaus voor tussenliggende uren (bijvoorbeeld 15 minuten) berekend kunnen worden. Dit vormt tevens de basis voor regenduurlijnen. Een ander voordeel is dat hiermee voorkomen kan worden dat de lijnen met de terugkeerniveaus voor de verschillende uren elkaar bij lange herhalingstijden gaan snijden of zeer dicht naderen (het zelfde geldt voor uit de terugkeerniveaus afgeleide ‘regenduurlijnen’). Zo’n volledig model (met duurafhankelijke parameters) is in STOWA (2015) ook gemaakt.

Er zijn voor de vormparameter, locatieparameter en dispersiecoëfficiënt van de GEV verdeling regressiemodellen (regressievergelijking) op de duur afgeleid. We gebruiken de ML-schattingen van de parameters voor het afleiden van de regressiemodellen. We kunnen voor de winterstatistiek enkel voor uren langer dan 120 minuten vergelijken met eerdere studies (STOWA, 2015). Voor kortere uren is eerder geen aparte winterstatistiek afgeleid.

Het resultaat van de regressie van de vormparameter (θ) is weergegeven in Figuur 14. De gekozen gefitte regressievergelijking is de 2^e graads vergelijking in de logaritme ($^{10}\log$) van de duur, met de duur (D) in minuten:

$$\theta = -0.294 + 0.1474 \log D - 0.0192 (\log D)^2 \quad (8)$$

De regressie is uitgevoerd voor uren langer dan alleen de korte uren (tot 2 uur) die we in deze studie beschouwen om een aansluiting met de statistiek van langere uren beter te kunnen laten verlopen. In de figuur is daarnaast de vormparameter opgenomen zoals gebruikt in STOWA (2015). Het is duidelijk dat deze afwijkt van de ML-schattingen en de regressie uit deze studie. Hierbij merken we op dat de vormparameter in STOWA (2015) was voorgeschreven en niet expliciet is gemodelleerd (of afgeleid) voor de wintermaxima. Uit deze regressie blijkt dat de vormparameter als functie van de duur zich voor de wintermaxima wezenlijk anders gedraagt dan voor de jaarmaxima. Voor de wintermaxima neemt de vormparameter monotoon toe met de duur (feitelijk wordt hij minder negatief). Dit is kwalitatief een duidelijk verschil met de afhankelijkheid van de duur voor de jaar- en wintermaxima zoals gebruikt in STOWA (2015) en met de afhankelijkheid van de duur van de GLO-vormparameter voor de jaarmaxima in Figuur 7. NB: Laatstgenoemde heeft een duidelijk minimum rond een duur van 120-min wat kwalitatief consistent is met de afhankelijkheid van de duur zoals gebruikt in STOWA (2015).

In Figuur 15 is het resultaat van de regressie van de locatieparameter (λ) weergegeven, inclusief een vergelijking met de locatieparameterregressie en ML-schattingen uit STOWA (2015). De gekozen gefitte regressievergelijking is net als bij de vormparameter een 2^e graads vergelijking in de logaritme ($^{10}\log$) van de duur:

$$\lambda = 4.883 - 5.587 \log D + 3.526 (\log D)^2, \quad (9)$$

Hierbij merken we op dat de bovenbeschreven locatieparameter nog moet worden gecorrigeerd met de onderschatting van de registratie van de automatische regenmeters. Voor de jaarmaxima wordt gesproken over een correctie van 2% op de maxima. Deze correctie is niet voldoende om aansluiting van de locatieparameter (zowel de regressie als de ML-schattingen)

uit STOWA (2015). In STOWA (2015) zijn de uurwaarden niet gecorrigeerd met een vast percentage, maar is gecorrigeerd op basis van de dagsommen van de Bilt. Een deel van de verschillen tussen deze studie en STOWA (2015) kunnen daarmee mogelijk worden verklaard, vooral voor de relatief langere duren. Of dit daadwerkelijk de verschillen verklaart zou nader moeten worden onderzocht.

Pas bij de uiteindelijke statistiektabelen corrigeren we voor de onderschatting van de registratie van de automatische regenmeters. De schaalparameter en vormparameter – die de richting van de verdeling en hoogte van de extremen van de verdeling bepalen - zijn niet gevoelig voor deze correctie.

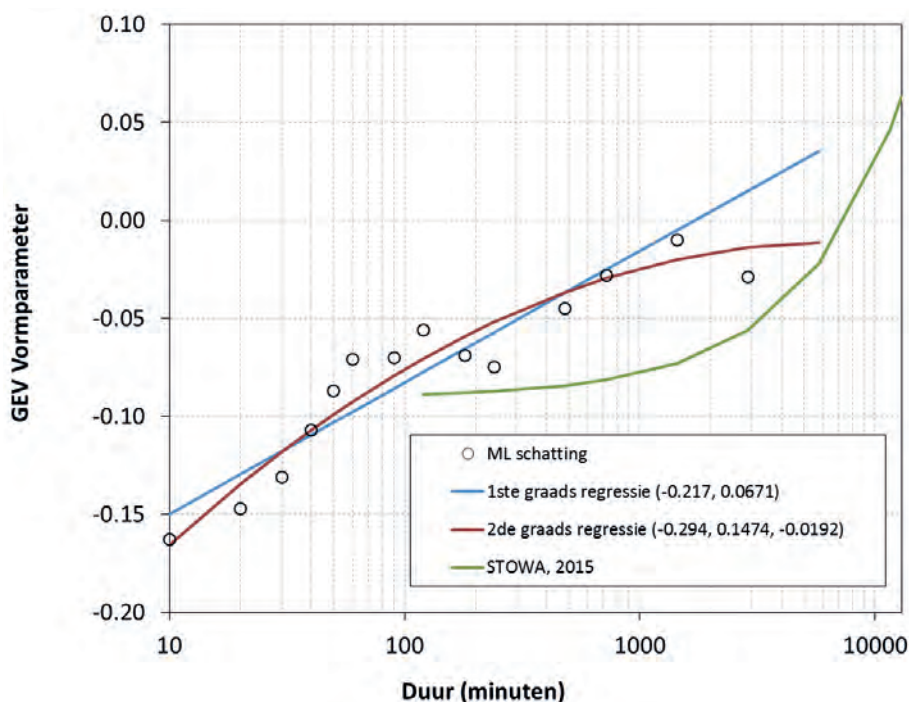
De schaalparameter (β) is indirect gemodelleerd via de dispersiecoëfficiënt (γ), de resultaten van de regressie zijn weergegeven in Figuur 16 en Figuur 17. In deze figuren ook weer de vergelijking met de regressie uit STOWA (2015). De regressie voor de dispersiecoëfficiënt bestaat uit twee delen om aan te sluiten bij de ML-schattingen van de langere duren (langer dan 2 uur). Het 'linkerdeel' is een 1^{ste}-graads regressie van de duren tot en met 90 minuten, het 'rechterdeel' is een constante, zoals ook aangenomen in STOWA (2015). De hoogte van de constante wijkt wel af van die uit STOWA (2015). In Figuur 17 is te zien dat de zo indirect gemodelleerde schaalparameter tot duren van 240 minuten bijna gelijk is aan die uit STOWA(2015).

$$\gamma = \frac{\beta}{\lambda} = 0.41692 - 0.07583 \log D \quad , \text{ voor } D \leq 91 \text{ min} \quad (10)$$

$$= 0.2684 \quad , \quad \text{ voor } D > 91 \text{ min.}$$

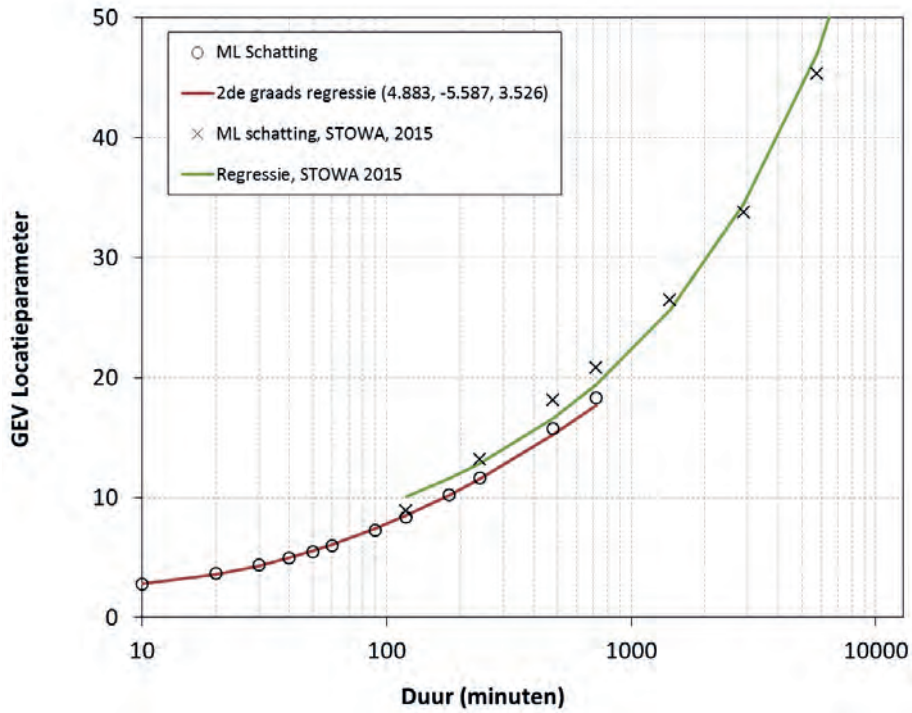
Hiermee is het uiteindelijke en volledige GEV model gedefinieerd. In Figuur 18 tot en met Figuur 22 zijn de resultaten van de regressie vergeleken met de resultaten van de ML-fits voor de individuele duren. In de figuren is te zien dat de regressie maar beperkt afwijkt van de ML-fits en geen onverwachte afwijkingen van de data laat zien.

FIGUUR 14 REGRESSIEMODEL VOOR DE GEV VORMPARAMETER ALS FUNCTIE VAN DE NEERSLAGDUUR. DE 'O' SYMBOLEN TOT EN MET EEN DUUR VAN 720 MINUTEN ZIJN DE UITEINDELIJKE PUNTEN DIE GEBRUIKT ZIJN VOOR HET FITTEN VAN DE REGRESSIEVERGELIJKING



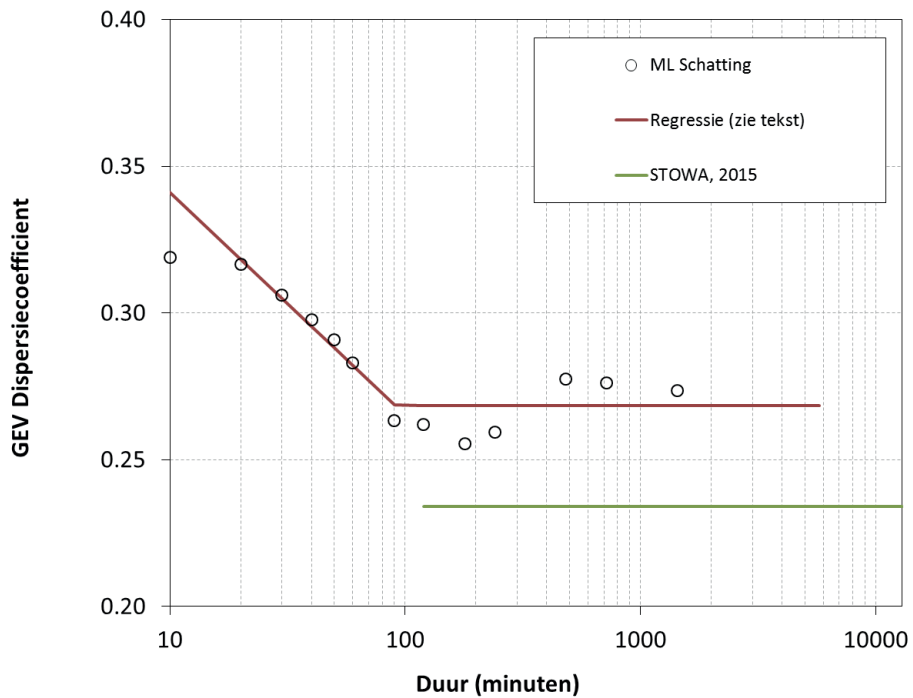
FIGUUR 15

REGRESSIEMODEL VOOR DE GEV LOCATIEPARAMETER ALS FUNCTIE VAN DE NEERSLAGDUUR. DE 'O' SYMBOLEN ZIJN DE UITEINDELIJKE PUNTEN DIE GEBRUIKT ZIJN VOOR HET FITTEN VAN DE REGRESSIEVERGELIJKING



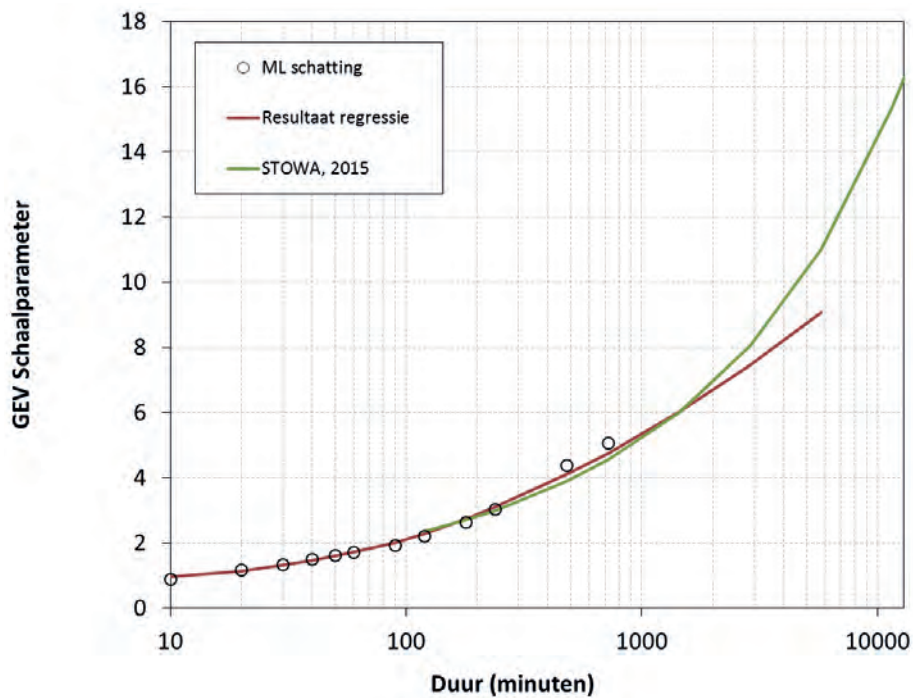
FIGUUR 16

REGRESSIEMODEL VOOR DE GEV DISPERSIE COËFFICIËNT (SCHAALPARAMETER/LOCATIEPARAMETER) ALS FUNCTIE VAN DE NEERSLAGDUUR. DE 'O' SYMBOLEN TOT EN MET 96 UUR ZIJN DE UITEINDELIJKE PUNTEN DIE GEBRUIKT ZIJN VOOR HET FITTEN VAN HET LINKERDEEL VAN DE REGRESSIEVERGELIJKING, HET RECHTERDEEL IS GEFIT OP DE SYMBOLEN LANGER DAN 96 UUR



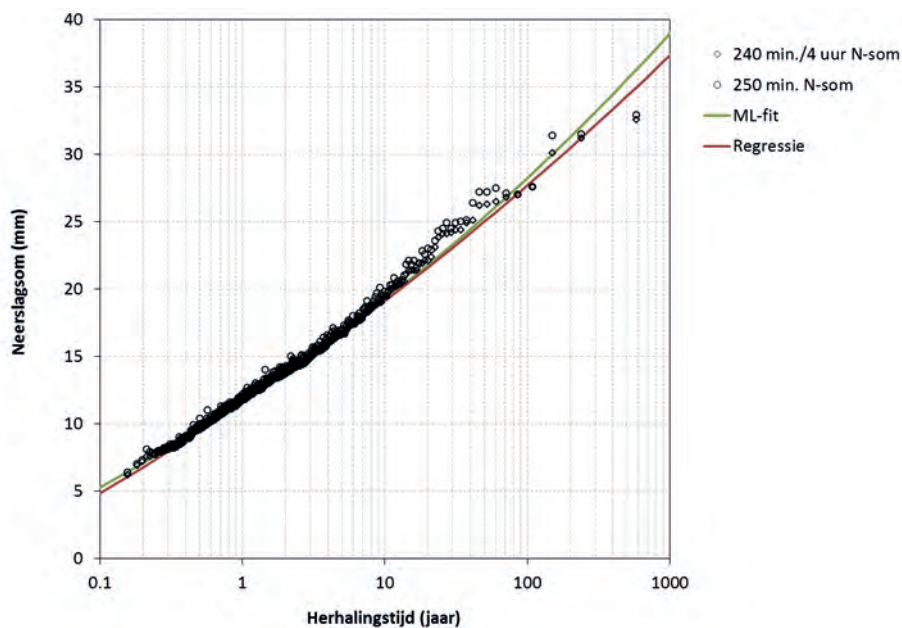
FIGUUR 17

GEMODELLEERDE GEV SCHAALPARAMETER ALS FUNCTIE VAN DE NEERSLAGDUUR OP BASIS VAN DE REGRESSIERELATIES VOOR DE LOCATIEPARAMETER EN DE DISPERSIE COËFFICIËNT. DE 'O' SYMBOLEN ZIJN DE B'S OP BASIS VAN DE ML SCHATTINGEN VAN DE LOCATIEPARAMETER EN DE DISPERSIECOËFFICIËNT



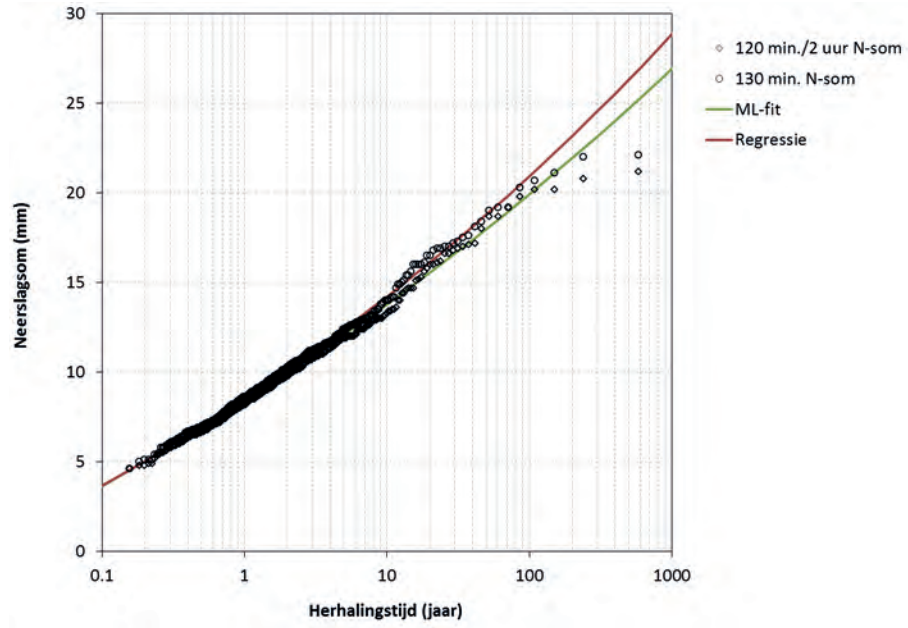
FIGUUR 18

GEV GEFIT MET ML EN GEMODELLEERD VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 240 MINUTEN



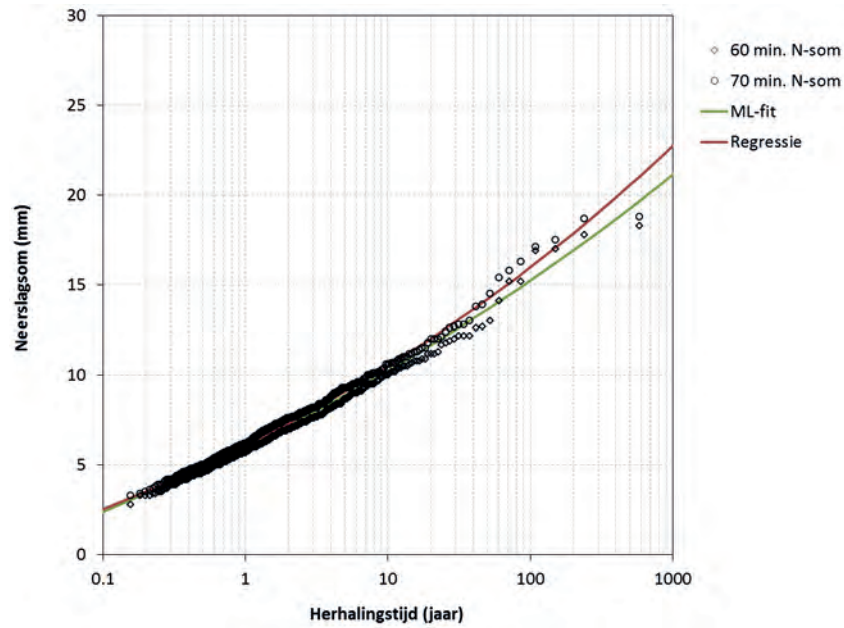
FIGUUR 19

GEV GEFIT MET ML EN GEMODELLEERD VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 120 MINUTEN

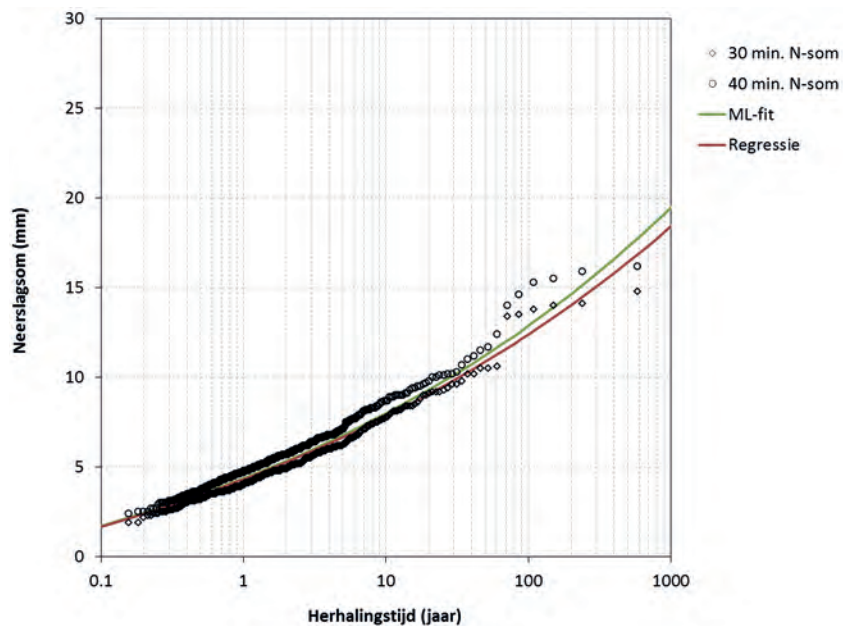


FIGUUR 20

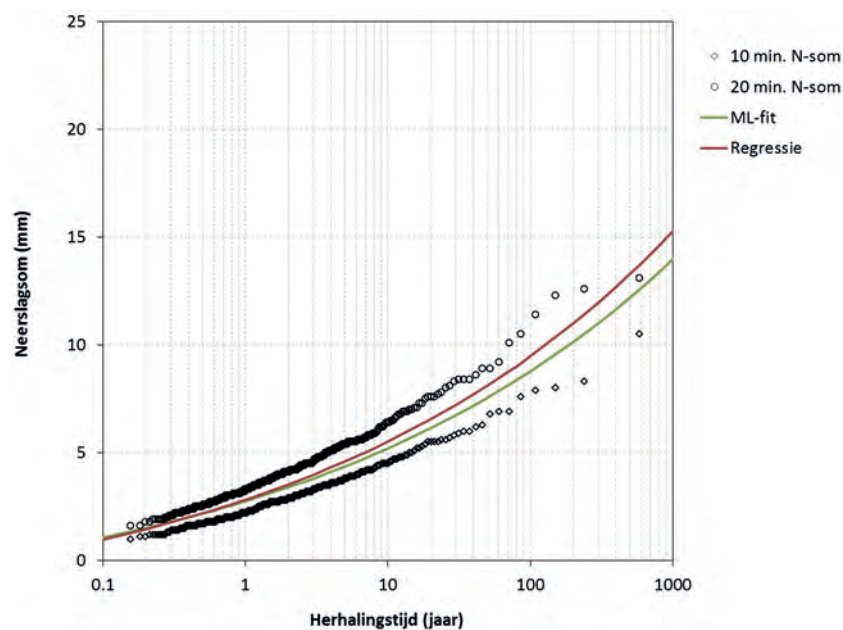
GEV GEFIT MET ML EN GEMODELLEERD VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 60 MINUTEN



FIGUUR 21 GEV GEFIT MET ML EN GEMODELLEERD VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 30 MINUTEN



FIGUUR 22 GEV GEFIT MET ML EN GEMODELLEERD VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 10 MINUTEN



3.4 VERSCHILLEN MET STOWA (2015)

In de bovenbeschreven regressie zijn de verschillen tussen de regressie uit deze studie en de regressie uit STOWA (2015) al beschreven. Vooral het verschil tussen de modellering van de locatieparameter heeft invloed op de verschillen tussen de statistiek uit STOWA (2015) en deze studie. Daarnaast speelt de andere modellering van de vormparameter bij de verschillen voor de hogere herhalingstijden een rol.

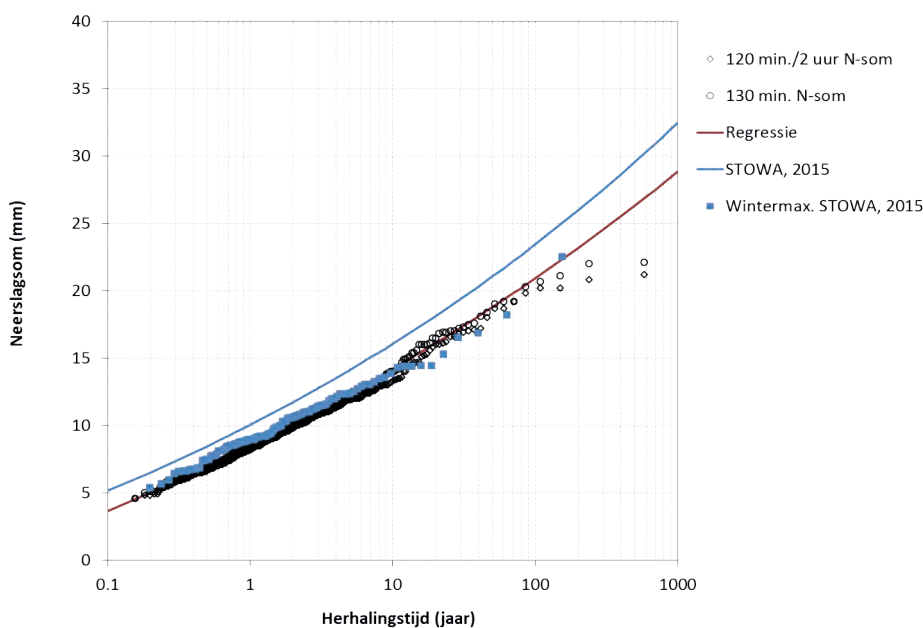
Dit is geïllustreerd in Figuur 23 voor een duur van 120 minuten. In het geval van de duur van 120 minuten wordt het verschil met name verklaard door de grote afwijking van de regressie van de locatieparameter in STOWA (2015) bij de toen onderzochte kortste duur van 120 minu-

ten. In Figuur 15 is te zien dat de regressie van de locatieparameter uit STOWA (2015) voor die kortste duur sterk afwijkt van de wintermaxima. De nu uitgevoerde regressie past wel goed bij zowel de wintermaxima uit STOWA (2015) als de gepoolde wintermaxima.

Daarbij merken we wel op dat de wintermaxima uit STOWA (2015) zijn gebaseerd op klokuren en daardoor per definitie een onderschatting zijn voor de 2-uursommen. Dit is een bekend effect en wordt ook wel de Hersfield factor genoemd. Voor 2 uur maxima is die factor ongeveer 4%. Dit verklaart echter maar een klein deel van het verschil van 25% tussen de 2-uursmaxima en de regressie uit STOWA (2015).

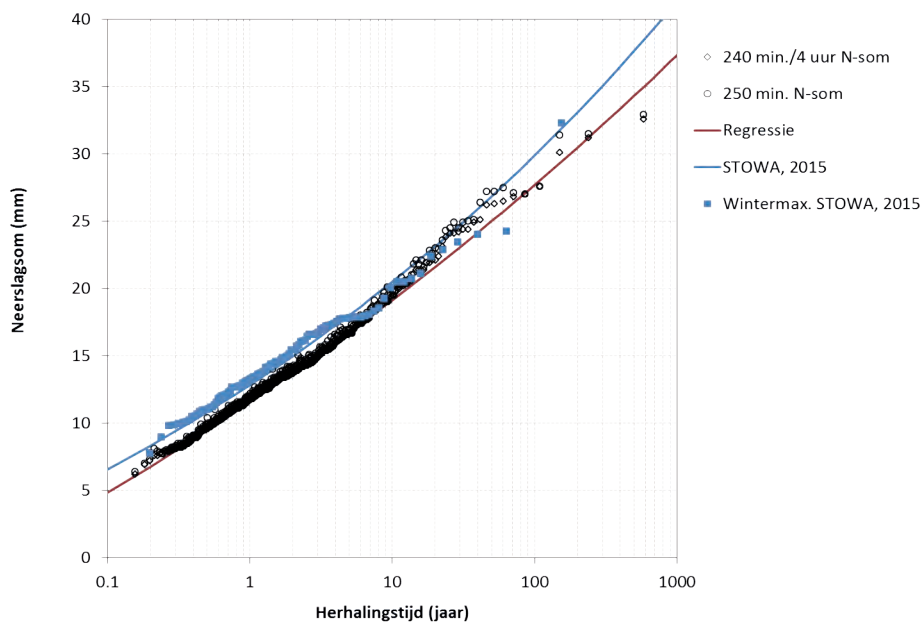
Voor langere duren is juist het verschil in de wintermaxima de oorzaak van de verschillen. Een voorbeeld hiervan is opgenomen in Figuur 24 voor een duur van 240 minuten. De maxima uit STOWA (2015) én de regressie daarvan liggen (behalve in het extreme bereik van T10 en groter) hoger dan de maxima en regressie uit deze studie. Het verschil is ongeveer 9%, beduidend groter dan de correctie van 2% voor de onderschatting van de registratie van de regenmeters. Een mogelijke oorzaak van dit verschil is dat de correctie van wintermaxima van 2% niet voldoende zijn om de werkelijk gevallen neerslag te representeren. Opvallend is wel dat bij een duur van 120 minuten nauwelijks verschil is te zien tussen de gepoolde wintermaxima en de wintermaxima van de Bilt.

FIGUUR 23 VERGELIJKING VAN DE REGRESSIE UIT DEZE STUDIE EN DE RESULTATEN VAN STOWA (2015), INCLUSIEF DE GEDETRENDE WINTERMAXIMA UIT STOWA (2015)



FIGUUR 24

VERGELIJKING VAN DE REGRESSIE UIT DEZE STUDIE EN DE RESULTATEN VAN STOWA (2015), INCLUSIEF DE GEDETRENDE WINTERMAXIMA UIT STOWA (2015)



Daarnaast is geanalyseerd hoe de verschillen tussen de statistiek uit STOWA (2015) en de huidige studie zich verhoudt bij uiteenlopende herhalingstijden. Hiervoor zijn in Tabel 8 de verschillen tussen deze studie en STOWA (2015) uitgezet. Hierbij is de locatieparameter gecorrigeerd met 2% voor een correctie van de onderschatting van de regenmeters. Het verschil bij 2 uur wordt daarbij veroorzaakt door de minder goede regressie in STOWA (2015) en de over alle herhalingstijden gemiddelde verschillen voor de duren van 4, 8 en 12 uur door de hogere wintermaxima in STOWA (2015). Dit laatste kan mogelijk worden verklaard door de grotere onderschatting van de regenmeters dan nu aangenomen. Er is echter nog een verschil te zien, en dat is dat de verschillen bij hogere herhalingstijden toenemen. Dit wordt met name veroorzaakt door de minder negatieve vormparameter dan die in STOWA (2015) voorgeschreven. De vormparameter als functie van de duur voor de wintermaxima is in deze studie voor het eerst ook echt afgeleid uit wintermaxima. Om de statistiek voor korte duren en lange duren beter te laten aansluiten, ook bij de hogere herhalingstijden, zal ook de statistiek voor lange duren moeten worden herzien.

TABEL 8 VERSCHIL IN NEERSLAGHOEVELHEDEN (IN MM EN %) TUSSEN STOWA (2015) EN DE HUIDIGE STUDIE BIJ VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN VOOR NEERSLAGDUREN TUSSEN 2 UUR EN 12 UUR. VERSCHILLEN INCLUSIEF CORRECTIE VOOR DE ONDERSCHATTING VAN DE REGENMETERS MET 2%

| T [jaar] | Neerslagduur | | | | | | | |
|-------------|------------------------|-------|-------|--------|----------------------|-------|-------|--------|
| | Absoluut verschil (mm) | | | | Procentueel verschil | | | |
| | 120 min 2 uur | 4 uur | 8 uur | 12 uur | 120 min 2 uur | 4 uur | 8 uur | 12 uur |
| 0.5 | 1.4 | 1.2 | 1.3 | 1.6 | -16 % | -11 % | -9 % | -10 % |
| 1 | 1.4 | 1.1 | 1.0 | 1.4 | -14 % | -8 % | -6 % | -7 % |
| 2 | 1.4 | 1.0 | 0.9 | 1.2 | -12 % | -6 % | -5 % | -5 % |
| 5 | 1.5 | 0.9 | 0.8 | 1.2 | -10 % | -5 % | -4 % | -4 % |
| 10 | 1.6 | 1.0 | 0.9 | 1.3 | -10 % | -5 % | -3 % | -4 % |
| 20 | 1.7 | 1.1 | 1.1 | 1.6 | -9 % | -5 % | -4 % | -5 % |
| 25 | 1.7 | 1.1 | 1.2 | 1.7 | -9 % | -5 % | -4 % | -5 % |
| 50 | 1.9 | 1.3 | 1.5 | 2.2 | -9 % | -5 % | -4 % | -5 % |
| 100 | 2.1 | 1.6 | 2.0 | 2.8 | -9 % | -5 % | -5 % | -6 % |
| 200 | 2.3 | 2.0 | 2.6 | 3.7 | -9 % | -6 % | -6 % | -7 % |
| 250 | 2.4 | 2.1 | 2.8 | 4.0 | -9 % | -6 % | -6 % | -8 % |
| 500 | 2.7 | 2.6 | 3.6 | 5.0 | -9 % | -7 % | -8 % | -9 % |
| 1000 | 3.1 | 3.2 | 4.6 | 6.3 | -9 % | -8 % | -9 % | -10 % |

3.5 RESULTATEN

In Tabel 9 zijn de neerslaghoeveelheden bij een set van herhalings tijden weergegeven voor duren van 10 minuten tot 12 uur. Voor duren tot en met 2 uur is de statistiek opnieuw afgeleid, inclusief correctie voor de onderschatting van de regenmeters met 2%. Voor duren van 4 tot 12 uur kan de statistiek pas definitief worden gemaakt als 1) de verschillen in de wintermaxima met STOWA (2015) zijn verklaard en gecorrigeerd en 2) de vormparameter (en regressie) voor de langere duren beter is gemodelleerd.

TABEL 9 NEERSLAGHOEVELHEDEN (IN MM) BIJ VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN VOOR NEERSLAGDUREN TUSSEN 10 MINUTEN EN 12 UUR OP BASIS VAN HET VOLLEDIGE GEV-MODEL, INCLUSIEF CORRECTIE VAN 2%

| T [jaar] | Neerslagduur | | | | | | | |
|-------------|--------------|--------|--------|--------|------------------|-------|-------|--------|
| | 10 min | 15 min | 30 min | 60 min | 120 min 2 uur | 4 uur | 8 uur | 12 uur |
| 0.5 | 2.2 | 2.6 | 3.5 | 5.0 | 7.1 | 9.6 | 12.7 | 14.7 |
| 1 | 2.9 | 3.3 | 4.4 | 6.2 | 8.7 | 11.8 | 15.6 | 18.1 |
| 2 | 3.6 | 4.0 | 5.4 | 7.5 | 10.3 | 14.0 | 18.5 | 21.5 |
| 5 | 4.7 | 5.2 | 6.8 | 9.3 | 12.6 | 17.1 | 22.5 | 26.1 |
| 10 | 5.6 | 6.2 | 8.0 | 10.7 | 14.5 | 19.5 | 25.6 | 29.6 |
| 20 | 6.7 | 7.3 | 9.2 | 12.3 | 16.5 | 22.1 | 28.8 | 33.2 |
| 25 | 7.1 | 7.6 | 9.7 | 12.8 | 17.1 | 22.9 | 29.8 | 34.4 |
| 50 | 8.3 | 8.9 | 11.1 | 14.5 | 19.2 | 25.5 | 33.1 | 38.2 |
| 100 | 9.7 | 10.3 | 12.6 | 16.3 | 21.4 | 28.3 | 36.5 | 42.0 |
| 200 | 11.2 | 11.8 | 14.3 | 18.2 | 23.6 | 31.1 | 40.0 | 45.9 |
| 250 | 11.7 | 12.3 | 14.9 | 18.9 | 24.4 | 32.0 | 41.1 | 47.1 |
| 500 | 13.6 | 14.1 | 16.7 | 21.0 | 26.8 | 35.0 | 44.7 | 51.1 |
| 1000 | 15.6 | 16.0 | 18.8 | 23.2 | 29.4 | 38.1 | 48.4 | 55.2 |

4

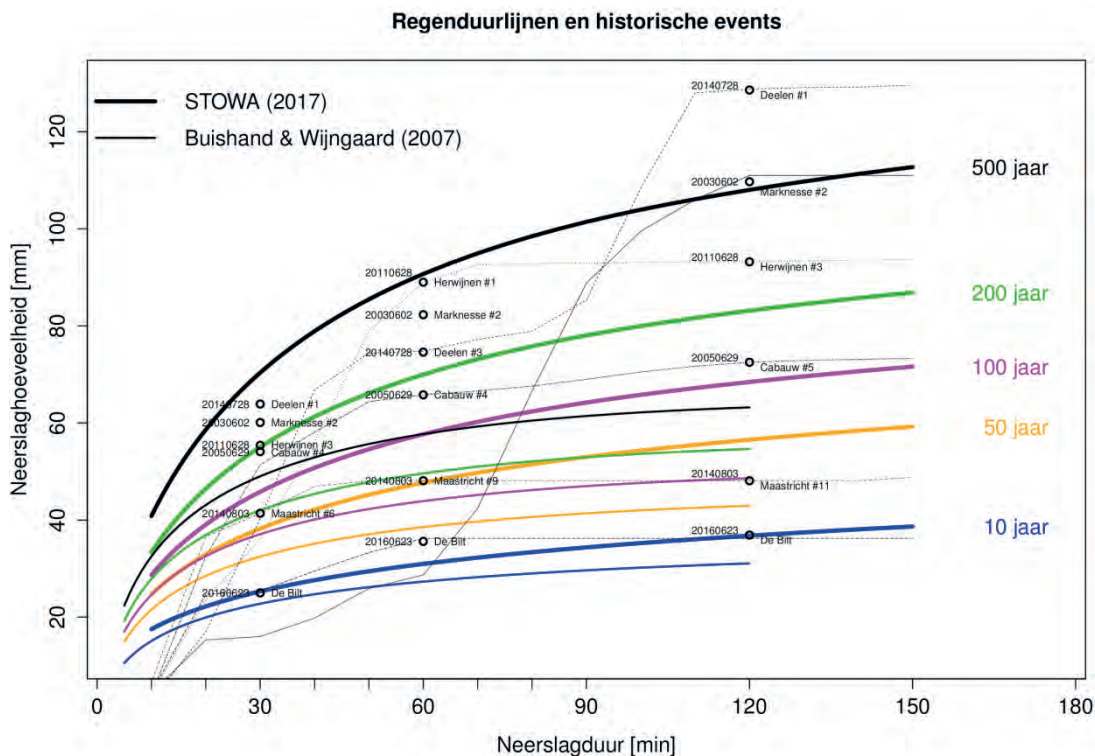
EXTREME HISTORISCHE EVENTS EN REGENDUURLIJNEN VAN DE JAARSTATISTIEK

Het doel van dit hoofdstuk is om de nieuwe statistiek in relatie te brengen met (bekende) extreme historische neerslagevents in Nederland en daarmee om de neerslagstatistiek meer tot de verbeelding te laten spreken. Hiervoor wordt de nieuwe jaarstatistiek gepresenteerd in de vorm van regenduurlijnen zoals genoemd in paragraaf 2.10. We beperken ons tot de regenduurlijnen voor herhalingstijden van 10, 50, 100, 200 en 500 jaar. Deze regenduurlijnen worden om te beginnen vergeleken met de regenduurlijnen die ze gaan vervangen, namelijk die van Buishand en Wijngaard (2007). Daarnaast vergelijken we de neerslaghoeveelheden volgens deze regenduurlijnen met 6 verschillende historische neerslagevents in Nederland. Deze 6 events bestaan uit: de top 3 van events met een neerslagduur van tussen de 30 en 120 minuten in de periode 2003 – 2016 (en ~31 stations). Deze buien top 3 bestaat uit: Deelen (28 juli 2014), Herwijnen (28 juni 2011) en Marknesse (2 juni 2003). Volgens de nieuwe regenduurlijnen hebben deze 3 buien een herhalingstijd van bij benadering tussen de 200 en 500 jaar. De buien top 3 is aangevuld met 3 buien die corresponderen met herhalingstijden van bij benadering 100, 50 en 10 jaar en dit zijn respectievelijk: Cabauw (29 juni 2005), Maastricht (3 augustus 2014) en De Bilt (23 juni 2016).

De nieuwe en oude regenduurlijnen zijn samen met deze 6 historische events gepresenteerd in Figuur 25. De nieuwe regenduurlijnen liggen, zoals verwacht op basis van de resultaten in hoofdstuk 2, met name voor de lange herhalingstijden aanzienlijk hoger dan de oude. De oude regenduurlijn voor $T = 500$ jaar (dunne zwarte lijn) correspondeert ruwweg met de nieuwe regenduurlijn voor $T = 100$ jaar (dikke paarse lijn). De neerslag per 10 minuten en de geaccumuleerde neerslag vanaf de aanvang van de bui voor deze 6 buien is gegeven in Tabel 10.

FIGUUR 25

REGENDUURLIJNEN JAARSTATISTIEK EN DIE VAN BUIHAND EN WIJNGAARD (2007), RESPECTIEVELIJK DE DИКE EN DUNNE GEKLEURDE LIJNEN, VOOR 6 GESELECTEERDE HISTORISCHE BUIEN (ZIE TEKST) DE NEERSLAGHOEVEELHEDEN VOOR NEERSLAGDUREN VAN 30, 60 EN 120 MINUTEN (DE ZWARTE RONDJES). DE DUNNE ZWARTE LIJNEN GEVEN PER BUI HET VERLOOP VAN DE GEACCUMULEERDE NEERSLAG IN DE TIJD (VANAF DE AANVANG VAN DE BUI)



TABEL 10

ONTWIKKELING IN DE TIJD SINDE AANVANG BUI (MIN) VAN 6 HISTORISCHE BUIEN, DE LINKER KOLOM BEVAT DE NEERSLAG PER 10 MINUTEN INTERVAL (MM) EN DE RECHTER KOLOM BEVAT DE GEACCUMULEERDE NEERSLAG (MM)

| Tijd vanaf aanvang bui [min] | Deelen 20140728 | | Marknesse 20030602 | | Herwijnen 20110628 | | Cabauw 20050629 | | Maastricht 20140803 | | De Bilt 20160623 | |
|------------------------------------|--------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|------|--------------------|------|------------------------|------|---------------------|------|
| -10 | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 0.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0.1 | 0.2 | 0.6 | 1.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.6 | 0.6 |
| 10 | 2.7 | 2.9 | 3.1 | 4.4 | 4.1 | 4.1 | 4.0 | 4.0 | 6.6 | 6.6 | 3.9 | 4.5 |
| 20 | 14.1 | 17.0 | 10.9 | 15.3 | 19.5 | 23.6 | 28.6 | 32.6 | 30.0 | 36.6 | 20.2 | 24.7 |
| 30 | 23.3 | 40.3 | 0.7 | 16.0 | 12.5 | 36.1 | 18.8 | 51.4 | 4.8 | 41.4 | 0.7 | 25.4 |
| 40 | 26.5 | 66.8 | 3.8 | 19.8 | 20.2 | 56.3 | 6.7 | 58.1 | 5.5 | 46.9 | 4.1 | 29.5 |
| 50 | 7.6 | 74.4 | 6.1 | 25.9 | 22.7 | 79.0 | 6.3 | 64.4 | 1.2 | 48.1 | 3.8 | 33.3 |
| 60 | 0.4 | 74.8 | 2.8 | 28.7 | 10.0 | 89.0 | 1.4 | 65.8 | 0 | 48.1 | 2.9 | 36.2 |
| 70 | 2.4 | 77.2 | 13.7 | 42.4 | 3.6 | 92.6 | 0.8 | 66.6 | 0 | 48.1 | 0 | 36.2 |
| 80 | 1.7 | 78.9 | 24.2 | 66.6 | 0.2 | 92.8 | 1.0 | 67.6 | 0 | 48.1 | 0 | 36.2 |
| 90 | 6.4 | 85.3 | 22.2 | 88.8 | 0.1 | 92.9 | 1.4 | 69.0 | 0 | 48.1 | 0 | 36.2 |
| 100 | 23.1 | 108.4 | 10.7 | 99.5 | 0.2 | 93.1 | 1.5 | 70.5 | 0 | 48.1 | 0 | 36.2 |
| 110 | 19.6 | 128.0 | 6.5 | 106.0 | 0.1 | 93.2 | 1.2 | 71.7 | 0 | 48.1 | 0 | 36.2 |
| 120 | 0.8 | 128.8 | 5.0 | 111.0 | 0 | 93.2 | 0.8 | 72.5 | 0 | 48.1 | 0 | 36.2 |
| 130 | 0.3 | 129.1 | 0 | 111.0 | 0.2 | 93.4 | 0.4 | 72.9 | 0 | 48.1 | 0 | 36.2 |
| 140 | 0.1 | 129.2 | 0 | 111.0 | 0.1 | 93.5 | 0.2 | 73.1 | 0 | 48.1 | 0 | 36.2 |
| 150 | 0.4 | 129.6 | 0 | 111.0 | 0.1 | 93.6 | 0.2 | 73.3 | 0.7 | 48.8 | 0 | 36.2 |

Het getal na de '#' bij de historische events in Figuur 25 correspondeert met de rangorde van de betreffende bui en de bijbehorende neerslagduur¹³. '#1' is dus de hoogste waarde en '#3' de op-twee-na-hoogste waarde. De rangorde voor een bui is afhankelijk van de neerslagduur; voor neerslagduren van 30 en 120 minuten is Deelen de zwaarste bui uit de reeks (#1) maar voor een neerslagduur van 60 minuten is diezelfde Deelen bui de op-twee-na-zwaarste (#3).

Regenduurlijnen kunnen gebruikt worden om voor een bui, en bij een bepaalde neerslagduur, de bijbehorende herhalingstijd te bepalen. De dunne zwarte lijntjes in de figuur geven de ontwikkeling van de buien in de tijd weer (in stapjes van 10 minuten, zoals waargenomen). Dit is zodanig gedaan dat de aanvang van een bui zo goed mogelijk met een neerslagduur van 0 minuten correspondeert (zie ook Tabel 2). Merk hierbij op dat de horizontale as in de figuur (de neerslagduur-as) nu ook als tijd-as (in minuten sinds de aanvang van de bui) wordt gebruikt. Ondanks dat een regenduurlijn per definitie niet de ontwikkeling van een bui in de tijd weergeeft wordt er soms wel op die manier naar regenduurlijnen gekeken. In een regenduurlijn is de neerslagintensiteit (in mm/min) per definitie het grootste voor de kortste duren. Dit uit zich in het feit dat een regenduurlijn steeds vlakker gaat lopen naarmate de neerslagduur langer wordt. Buien gedragen zich veel grilliger; vaak vallen de grootste intensiteiten wel kort na het begin van de bui en meestal ook wel voor 1/3 van de totale duur van een bui, maar dit is zeker geen wetmatigheid. Dit zie je ook terug bij de 6 extreme historische buien in de figuur. Voor 5 van die 6 buien treden de grootste intensiteiten (waar de dunne zwarte lijntjes het steilst lopen) op tussen de 10 en 20 minuten na aanvang van de bui. Een uitzondering hierop is de Marknesse bui die pas ongeveer 90 minuten na aanvang de grootste intensiteit bereikt. Hierdoor liggen de regenduurhoeveelheden voor de Marknesse bui (de zwarte rondjes) voor regenduren van 30 en 60 minuten veel hoger dan uit de ontwikkeling van de Marknesse bui (de corresponderende dunne zwarte lijn) blijkt. Dit heeft met het bovengenoemde te maken, dat wil zeggen dat de duur-as in de regenduurlijn geen tijd-as is. De hoge regenduurhoeveelheden voor Marknesse voor regenduren van 30 en 60 minuten corresponderen met de hoeveelheden voor deze duren die rond 90 minuten na aanvang van deze bui zijn gevallen. Dit laat zien dat de ontwikkeling van een bui in een regenduurlijfiguur wel ter illustratie kan dienen maar dat men voorzichtig met de interpretatie dient te zijn.

13 De rangeorde is niet gegeven voor de De Bilt bui. De herhalingstijd voor deze bui ligt voor elk van de 3 duren rond de 10 jaar en er zijn in totaal voor elke duur 436 jaarmaxima beschikbaar, de rangorde voor de De Bilt bui zal daarom voor elk van deze 3 duren rond de 44 liggen.

5

DISCUSSIE EN CONCLUSIES

De extreme waarden analyse gebaseerd op een gepoolde reeks van Nederlandse stations, beschreven in dit hoofdstuk, heeft geleid tot nieuwe inzichten. Voor de hele neerslagduur range die hier beschouwd wordt (10-min tot 12-uur) zien we kansverdelingen met duidelijk hogere extremen dan voorheen (STOWA, 2004; Buishand & Wijngaard, 2007; STOWA, 2015), met name bij herhalingstijden hoger dan 50 jaar.

Hierdoor zijn we voor de keuze gesteld, stappen we over van de gebruikelijke standaard GEV verdeling op een GLO verdeling met hogere extremen of volstaat het een GEV verdeling met een meer negatieve vormparameter te gebruiken?

Op basis van: i) de ligging, 'op het oog' van de hoogste jaarmaxima duidelijk boven de gefitte GEV verdeling (zelfs met een gefitte, en dus al negatievere vormparameter dan voorheen), systematisch voor alle relevante duren (10-min tot 12-uur), ii) de LH-moment ratio resultaten (in Figuur 4) en iii) de relatie tussen de hoge extremen van de verdeling en hoge dauwpuntstemperaturen (Figuur 6) is in overleg met STOWA besloten¹⁴ om de nieuwe (de 2017) jaarstatistiek voor korte neerslagduren op de GLO verdeling te baseren.

Vanwege de relatief grote toenames van de terugkeerniveaus voor duren tot 120-min bij lange herhalingstijden tot bijna 90% ten opzichte van Buishand & Wijngaard (2007) en vooral ook vanwege de grote verschillen ten opzichte van STOWA (2015) in de terugkeerniveaus voor duren van 2- tot 12-uur bij lange herhalingstijden tot bijna 70% (en die lijkt te 'pieken' bij een duur rond de 4-uur) is voor een aantal relevante duren ook de onzekerheid in de terugkeerniveaus gekwantificeerd. Dit is, middels 95% betrouwbaarheidsbanden, gedaan voor het uiteindelijke GLO model voor de duren 10-, 30-, 60-, 120-, en 720-min, en voor de GEV verdeling voor 60- en 120-min. Samenvattend kunnen we stellen dat ook voor de hoogste herhalingstijden (tot 1000 jaar) de gefitte GLO en GEV verdelingen nog net binnen elkaars betrouwbaarheidsbanden vallen (weliswaar bij benadering), maar dat bij duren van 2- en 12-uur en bij herhalingstijden vanaf 50 jaar (bij 12-uur al vanaf 20 jaar, zie figuur voor 720-min in Bijlage B) de nieuwe resultaten significant verschillen van die in STOWA (2015). Het ligt dan voor de hand dat ook voor de tussenliggende duren het verschil met STOWA (2015) voor herhalingstijden van 50 jaar en meer significant zal zijn. Dit dient echter nog wel door een nadere analyse bevestigd te worden. De grootte van het verschil lijkt te pieken rond een duur van 4 uur, en daarna geleidelijk af te nemen. Ook voor duren langer dan 12 uur kunnen we nu al stellen dat er bij herhalingstijden hoger dan 50 jaar (vergelijkbaar) verschillen met STOWA (2015) zullen zijn. Deze verschillen kunnen echter niet worden gekwantificeerd omdat 12 uur de langste

¹⁴ Dit is besproken en opgenomen als beslispunt tijdens het overleg met de STOWA begeleidingsgroep op 9 september 2017 bij STOWA te Amersfoort. Op 21 september 2017 is, middels een email van Kees Peerdeman, door STOWA ingestemd met het toepassen van de GLO verdeling voor het afleiden van de 2017 neerslagstatistiek voor korte duren op voorspraak van het KNMI.

duur is die in het kader van deze studie is geanalyseerd¹⁵. Een allereerste analyse, waarvan we, mede daarom, geen resultaten in dit rapport presenteren duidt erop dat: i) vanaf een duur van 24 uur de GLO verdeling niet meer de 'voorkeursverdeling' is maar dat met een GEV verdeling, weliswaar met een grotere vormparameter dan in STOWA (2004, 2015), volstaan kan worden¹⁶, en ii) het relatieve verschil met STOWA (2015) weliswaar geleidelijk kleiner wordt maar statistisch significant blijft bij herhalingstijden van 50 jaar en meer. Er is aanvullend onderzoek nodig om de verschillen met STOWA (2015) voor uren tussen 12 uur en 10 dagen te kwantificeren.

Verder wordt nog opgemerkt dat als gevolg van de verschillen met STOWA (2015), ook de KNMI'14 klimaatscenario in STOWA (2015) aanpassing behoeven. In het algemeen en in het kort kan gesteld worden dat voor die uren en herhalingstijden waarvoor de verschillen tussen de resultaten in dit rapport en die in STOWA (2015) significant zijn ook de klimaatscenario-resultaten in STOWA (2015) aanpassing behoeven. Voor diegenen die op dit moment met de betreffende getallen uit STOWA (2015) werken is er tot uren van 12 uur op basis van de resultaten in dit rapport wel een eerste orde schatting voor de aanpassing van de klimaatscenario in STOWA (2015) te maken. Dit kan gedaan worden door simpelweg de verschillen tussen de resultaten in dit rapport en die in STOWA (2015), en zoals opgenomen in Tabel 4, op te tellen bij de betreffende klimaatscenario resultaten in STOWA (2015). NB Dit kan, wederom in 1^e orde, naast de 'jaarstatistiek' ook gedaan worden voor de zomerstatistiek (mrt t/m okt) in STOWA (2015) vanwege het feit dat de jaarstatistiek gedomineerd wordt door zomergerbeurtenissen (en daardoor de zomer- en jaarstatistiek bij benadering hetzelfde zijn). Bij de winterstatistiek (besproken in hoofdstuk 3) speelt dit allemaal minder omdat daarvoor maar een beperkte discrepantie met de STOWA (2015) resultaten is gevonden. Dit alles geeft ook aanleiding tot aanpassing (en tot dan terughoudendheid bij het gebruik) van de lange uurwaardenreeks van station De Bilt die in STOWA (2015) is geconstrueerd. Daarbij merken we wel op dat de statistiek pas significant gaat afwijken bij herhalingstijden van 30 jaar en meer. Omdat de De Bilt reeks 'maar' 100 jaar beslaat zullen pas bij gebeurtenissen die 3 maal of minder vaak voorkomen (eens per ongeveer 30 jaar) afwijkingen van de statistiek optreden. In principe kan de uurreeks van De Bilt wel voor deze afwijkingen gecorrigeerd worden, maar dat zal niet tot $T = 500$ jaar, of nog zeldzamere, events in de reeks leiden.

Zoals boven vermeld zijn de afwijkingen tussen de winterstatistiek uit STOWA (2015) en deze studie beduidend kleiner. Wel hebben we gezien dat de in deze studie specifiek voor de wintermaxima afgeleide vormparameter afwijkt van de voorgeschreven vormparameter uit STOWA(2015), die was gebaseerd op jaarmaxima. Het lijkt er op dat de vormparameter ook voor de langere uren niet onverkort kan worden toegepast op de wintermaxima. Voor een goede aansluiting van de korte en lange uren bij hoge herhalingstijden zal de vormparameter ook voor de langere uren moeten worden herzien. Daarnaast zijn de verschillen tussen de jaarmaxima uit STOWA (2015) en de hier gebruikte gepoolde jaarmaxima groter dan de in dit rapport genoemde correctie van 2%. Dit heeft invloed op de locatieparameter. Met een virtuele correctie van 7% zou het verschil tussen de statistiek voor lange uren uit STOWA (2015) en de hier bepaalde statistiek voor korte uren nihil zijn (na aanpassing van de vormparameter).

15 De opdracht van STOWA beperkte zich feitelijk tot een duur van 2 uur, en misschien iets langer om een goede aansluiting met de 2-uur statistiek in STOWA (2015) te bewerkstelligen, maar ergens moest een grens worden getrokken en die grens is uiteindelijk bij 12 uur gelegd.

16 Een (kleine) aanwijzing hiervoor in dit rapport is de L2-moment ratio (maar ook de L0-ratio) voor 24 uur (de punten 24u in Figuur 4 die op (of vlak onder, in het geval van L0) de LH-moment ratio lijn voor de GEV verdeling liggen).

6

REFERENTIES

- Ahmad, M.I., C.D. Sinclair & B.D. Spurr, 1988. Assessment of Flood Frequency Models Using Empirical Distribution Function Statistics. *Water Resour. Res.*, **24**, 1323-1328.
- Brandsma, T., 2014. Comparison of automatic and manual precipitation networks in the Netherlands, KNMI Technisch Report, TR-347, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt, pp. 44.
- Buishand, T.A., 1983. Uitzonderlijk hoge neerslaghoeveelheden en de theorie van de extreme waarden. *Cultuurtechnisch tijdschrift* 23 (1), 9-20. Corrigendum 23 (2), 81.
- Buishand, T.A., & C.A. Velds, 1980. *Klimaat van Nederland 1: Neerslag en Verdamping*. KNMI, De Bilt
- Buishand, T.A. & J.B. Wijngaard, 2007. Statistiek van extreme neerslag voor korte neerslagduren. KNMI Technisch Report, TR-295, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt, pp. 19.
- Coles, S., 2001. *An introduction to statistical modeling of extreme values*. 208 pp. Springer-Verlag London, pp. 208.
- Gellens, D., 2003. *Etude des précipitations extrêmes: Etablissement des fractiles et des périodes de retour d'événements pluviométriques*. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles.
- Heo, J.-H., H. Shin, W. Nam, J. Om & C. Jeong, 2013. Approximation of modified Anderson-Darling test statistics for extreme value distributions with unknown shape parameter. *J. Hydrol.*, 499, 41-49. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.06.008
- Hosking, J.R.M., 1986. The theory of probability weighted moments. *Research Report RC12210*, IBM Research Division, Yorktown Heights, N.Y., pp. 160.
- Hosking, J.R.M., 1990. *L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics*. *J. R. Stat. Soc., Ser. B*, **52**(2), 105-124.
- Hosking, J.R.M. & J.R. Wallis, 1997. *Regional Frequency Analysis – An approach based on L-moments*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 224.
- Langbein, W.B., 1949. Annual floods and the partial-duration flood series. *Transactions American Geophysical Union*, **30**, 870-881.
- Lenderink, G., R. Barbero, J.M. Loriaux & H.J. Fowler, 2017. Super Clausius-Clapeyron scaling of extreme hourly convective precipitation and its relation to large-scale atmospheric conditions. *J. Clim.* JCLI-D-16-0808.1. doi:10.1175/JCLI-D-16-0808.1
- Lochbihler, K., G. Lenderink & A.P. Siebesma, 2017. The spatial extent of rainfall events and its relation to precipitation scaling. *Geophys. Res. Lett.* 1–8. doi:10.1002/2017GL074857
- Norbiato, D., M. Borga, M. Sangati & F. Zanone, 2007. Regional frequency analysis of extreme

precipitation in the eastern Italian Alps and the August 29, 2003 flash flood. *J. Hydrol.*, 345, 149-166.

Overeem, A., 2009. Climatology of extreme rainfall from rain gauges and weather radar. Proefschrift: Wageningen University, Wageningen.

STOWA, 2004 (Smits, I., J.B. Wijngaard, R. Versteeg & M. Kok, 2004). Statistiek van extreme neerslag in Nederland. Rapport nr. 26, STOWA, Amersfoort.

STOWA, 2015 (Beersma, J., J. Bessembinder, T. Brandsma, R. Versteeg & H. Hakvoort, 2015). Actualisatie meteogegevens voor waterbeheer 2015. Rapport nr. 2015-10, STOWA, Amersfoort, pp. 78.

Van Montfort, M.A.J., 1990. Sliding maxima. *J. Hydrol.*, 118, 77-85.

Wang, Q.J., 1997. LH moments for statistical analysis of extreme events. *Water Resour. Res.*, 33, 2841-2848.

Zempléni, A., 2004. Goodness-of-fit test in extreme value applications. Discussion paper No. 383, Institut für Statistik, Sonderforschungsbereich 386, Ludwig Maximilians Universität München, pp. 12.

BIJLAGE A

AFLEIDING VAN HET VOLLEDIGE GLO MODEL VOOR KORTE NEERSLAGDUREN (10 TOT 720 MIN)

Hieronder worden alle stappen beschreven die tot de uiteindelijke neerslagstatistiek voor korte duren leiden. De basis reeks is een gevalideerde gepoolde reeks van 10 minuten waarden van ongeveer 31 automatische regenmeters in de 14-jarige periode 2003 – 2016. Deze periode is zo recent dat ze representatief voor het huidige klimaat (in STOWA, 2015 het “2014” klimaat genoemd) wordt geacht en zo kort dat er geen trend van betekenis in zit (en voor zover er wel een trend is zal deze door de korte periode nooit als significant kunnen worden aangemerkt en is het dus ook onlogisch zo’n eventuele trend te ‘modellieren’. De gepoolde reeks van ongeveer 31 stations levert voor het tijdvak 2003 – 2016 436 bruikbare jaarmaxima voor duren van 10 t/m 720 minuten (12 uur). Er is met 12 duren gewerkt: 10-, 20-, 30-, 40-, 50-, 60-, 90-, 120-, 180-, 240-, 480- en 720 minuten. Voor de duren t/m 240 min, zijn behalve de jaarmaxima voor de duur zelf ook de jaarmaxima van de 10 minuten langere periode gebruikt; dwz voor een duur van 10 min zijn zowel de 10-min als 20-min maxima gebruikt, voor een duur van 20 min, zowel de 20-min als 30-min maxima en zo verder tot een duur van 240 min waarvoor zowel de 240 min als de 250 min maxima zijn gebruikt. Voor duren van 480 en 720 min zijn alleen de 480- en 720-min maxima gebruikt omdat het verschil met de 490- en 730-min maxima nihil is. De reden hiervoor is als volgt; de 10 minuten waarnemingen van de automatische regenmeters worden op vaste tijdstippen gedaan, resp om 10, 20, 30, 40, 50 minuten na het hele uur en op het hele uur (en betreft een neerslagaccumulatie over de voorgaande 10 minuten). De af te leiden neerslagstatistiek dient representatief te zijn voor willekeurige (i.p.v. vaste) 10 minuten intervallen. Indien de statistiek zou worden gebaseerd op jaarmaxima van vaste 10 minuut intervallen, die per definitie kleiner of gelijk zijn aan jaarmaxima van variabele 10 minuut intervallen, dan zou die statistiek de terugkeerniveaus (de neerslaghoeveelheid bij een bepaalde herhalingstijd) onderschatten. Om die onderschatting te vermijden worden voor een duur van bijv. 10 minuten zowel de 10-min maxima als de 20-min maxima gebruikt. Dit omdat in theorie een willekeurig 10-min maximum groter of gelijk is aan een vast 10-min maximum en tegelijkertijd kleiner is dan een vast 20-min maximum. Willekeurige 10-min maxima liggen dus tussen vaste 10- en 20-min maxima in en hier maken we bij het fitten van de extreme waarden verdelingen handig gebruik van. Het fitten van de verdelingen gebeurt in alle gevallen op basis van Maximum Likelihood (ML) tenzij anders aangeven. Er zijn twee typen extreme waarden verdelingen toegepast: de Generalized Extreme Value (GEV) verdeling en de Generalized LOGistic (GLO) verdeling. De GLO verdeling is een verdeling met hogere extremen dan de GEV verdeling, wat in de praktijk wil zeggen dat bij lange herhalingstijden de GLO verdeling hogere neerslaghoeveelheden geeft dan de GEV verdeling. Beide verdelingen hebben 3 parameters (een locatieparameter, een schaalparameter en een vormparameter). Voor de GEV verdeling is alleen de 1e stap uitgevoerd, en voor de GLO verdeling zijn alle stappen hieronder uitgevoerd:

1. Voor elke duur wordt de GLO/GEV verdeling aan de data gefit (alle 3 de parameters zijn nog vrij, er wordt in deze stap dus geen enkele parameter voorgeschreven). Daarnaast wordt in deze stap de GLO vormparameter ook op een alternatieve wijze geschat nl op basis van L-momenten. Bij vergelijking van de L-moment en ML schattingen van de GLO vormparameter blijken de L-moment schattingen zich stabielier over de neerslagduren te gedragen. De GLO parameters worden daarom op basis van verschillende schattingsmethoden geschat; L-momenten voor de vormparameter en ML voor de overige 2 parameters.
2. De GLO verdeling wordt voor elke duur opnieuw gefit maar nu met voorgeschreven vormparameter volgens de L-moment schatting (uit stap 1.) De locatie- en schaalparameter worden wederom obv ML gefit.
3. De L-moment vormparameter (θ_L) schattingen voor de 12 duren worden gebruikt om een regressie model tussen de θ_L en de neerslagduur (D [in min]) af te leiden.

$$[\theta_L = -0.0336 - 0.264 \log D + 0.0636 (\log D)^2]$$
4. De GLO verdeling wordt voor elke duur opnieuw gefit maar nu met een voorgeschreven L-moment vormparameter volgens de regressievergelijking voor θ_L uit stap 3. De locatie- en schaalparameter worden wederom o.b.v. ML gefit (eigenlijk opnieuw gefit onder de voorwaarde van de onder stap 3 gemodelleerde vormparameter).
5. De locatieparameter (λ) schattingen voor de 12 duren uit stap 4 worden gebruikt om een regressie model tussen λ en de neerslagduur (D) af te leiden.

$$[\lambda = 7.339 + 0.848 \log D + 2.844 (\log D)^2]$$
6. De schaal- en de vormparameter schattingen voor de 12 duren uit stap 4 worden gebruikt om een regressie model tussen de dispersie coëfficiënt ($\gamma = \beta/\lambda$) en de neerslagduur (D) af te leiden.

$$[\gamma = 0.04704 + 0.1978 \log D - 0.05729 (\log D)^2, \quad \text{voor } 10 \leq D \leq 104 \text{ min}$$

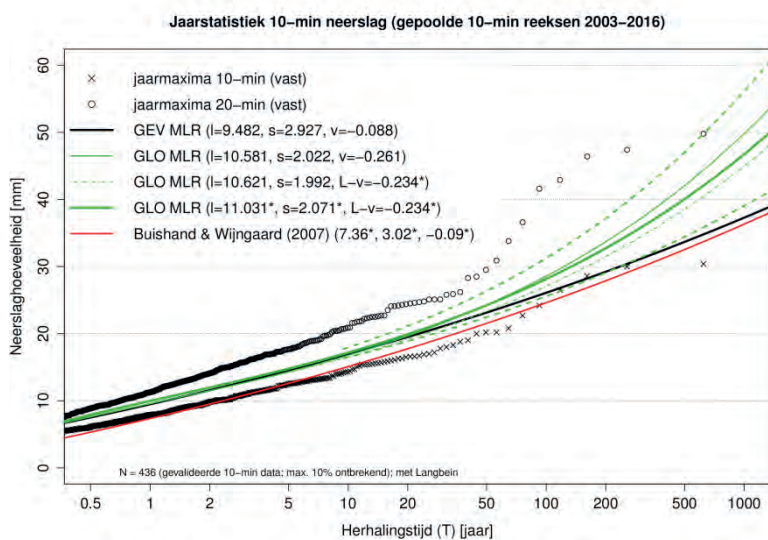
$$= 0.2801 - 0.03330 \log D, \quad \text{voor } 104 < D \leq 720 \text{ min}]$$
7. Om de 'ondervangst' van de automatische regenmeters ten opzichte van de handregenmeters te compenseren (de handregenmeters zijn tot nu toe altijd normatief geweest bij het afleiden van neerslagstatistieken) worden de extreme neerslaghoeveelheden (de jaarmaxima gemeten met de automatische regenmeters) die de basis voor deze neerslagstatistiek vormen met +2% gecorrigeerd. Dit is equivalent aan een correctie van +2% van de locatieparameter van de GLO (of GEV) verdeling, of aan een correctie van alle kwantielen/terugkeerniveaus met +2% bij de gemodelleerde locatie parameter (uit stap 5).
8. Voor een beperkt aantal duren (10-, 30-, 60-, 120- en 720-min) is op basis van de profile likelihood methode een 95% betrouwbaarheidsinterval voor de GLO fit afgeleid (voor $T \geq 10$ jaar). En voor duren van 60- en 120-min eveneens voor de GEV fit (uit stap 1).
9. Tot slot wordt hier nog opgemerkt dat de herhalingsstijd T zoals gebruikt in dit rapport is gebaseerd op de zogenaamde partiële duurreeks. Om deze uit de reeks van jaarmaxima te berekenen is gebruik gemaakt van de relatie van Langbein (1949) conform STOWA (2004), Buishand & Wijngaard (2007) en STOWA (2015). Voor details zie paragraaf 2.10.

BIJLAGE B

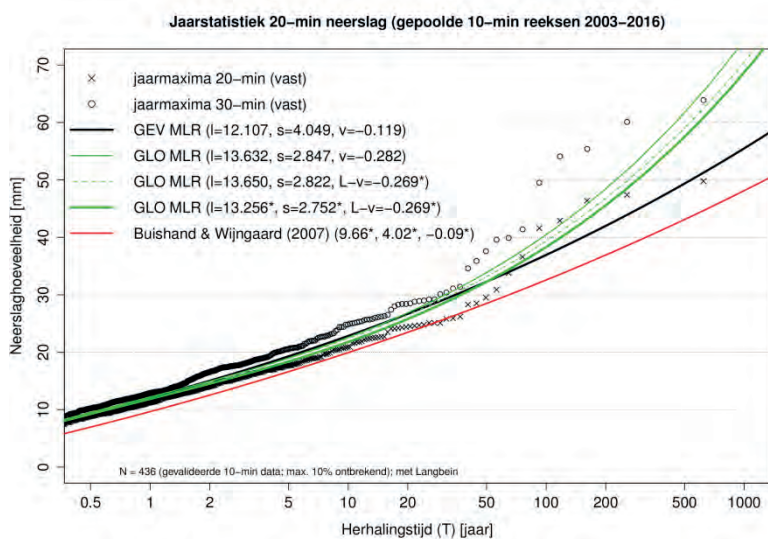
GEV EN GLO VERDELINGEN PER NEERSLAGDUUR

Voor elk van de 12 geanalyseerde neerslagduren zijn hier de figuren opgenomen met: de GEV fit, de 3 GLO fits, voor zover bestaand de Buishand & Wijngaard (2007) en de STOWA (2015) resultaten en voor zover voor dit rapport berekend de 95% betrouwbaarheidsbanden (gestipeld) bij de GEV verdeling en bij het volledige GLO model.

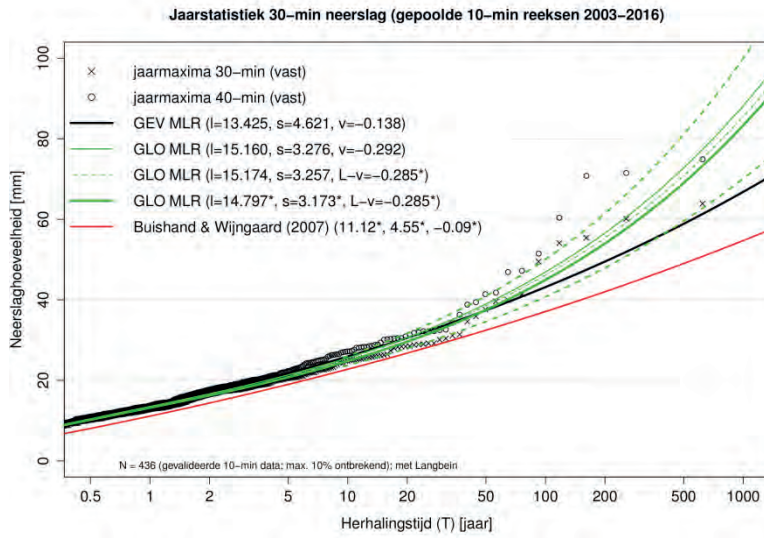
FIGUUR B1 GEV EN GLO FITS VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 10 MINUTEN



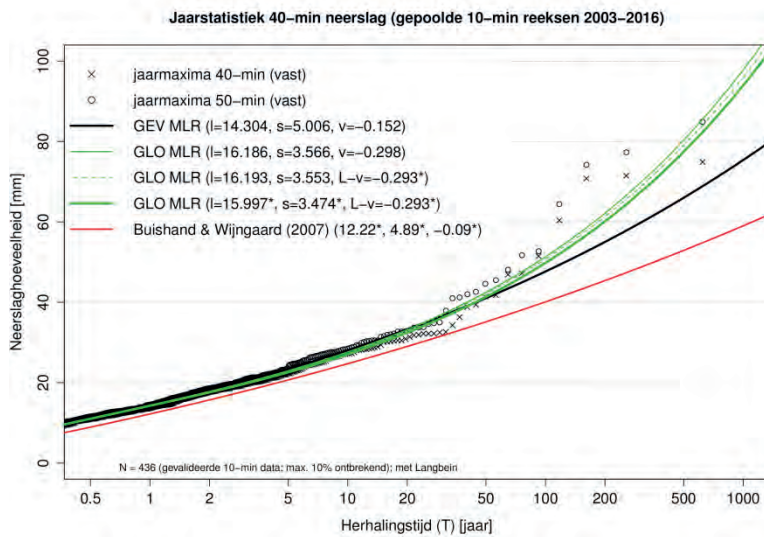
FIGUUR B2 GEV EN GLO FITS VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 20 MINUTEN



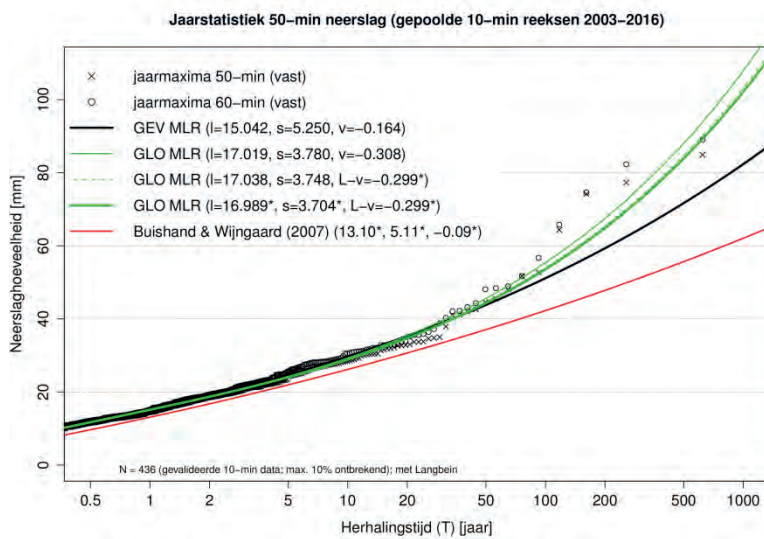
FIGUUR B3 GEV EN GLO FITS VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 30 MINUTEN



FIGUUR B4 GEV EN GLO FITS VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 40 MINUTEN

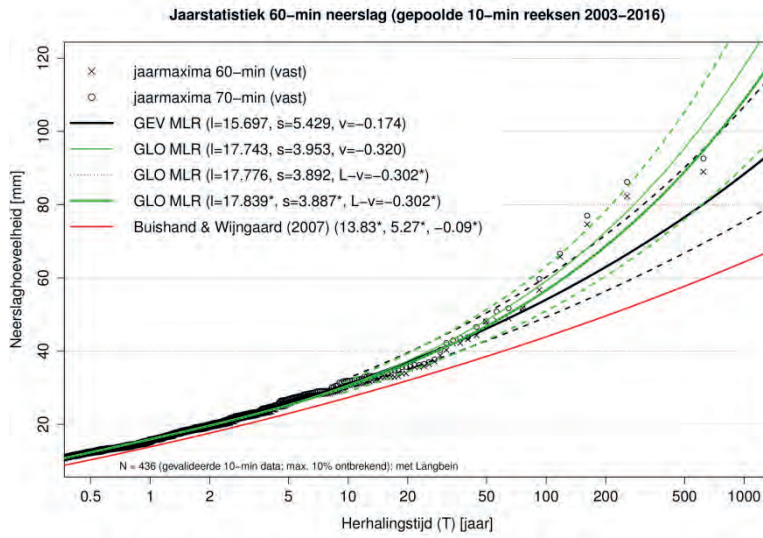


FIGUUR B5 GEV EN GLO FITS VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 50 MINUTEN



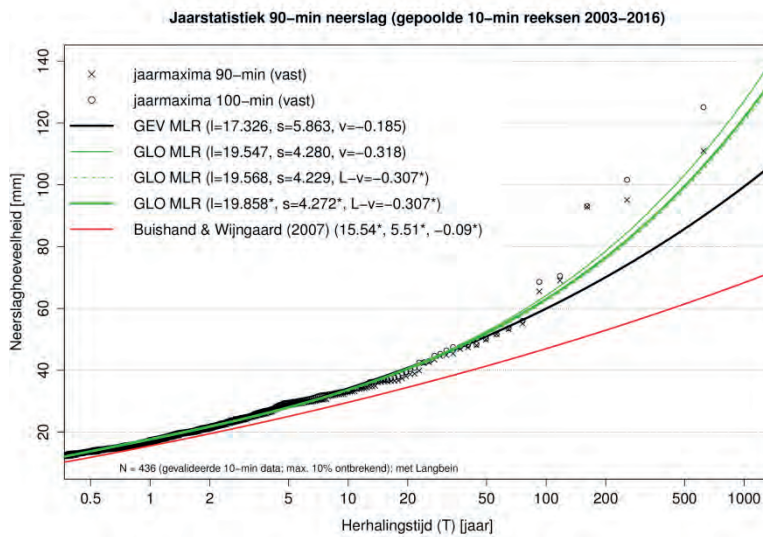
FIGUUR B6

GEV EN GLO FITS VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 60 MINUTEN



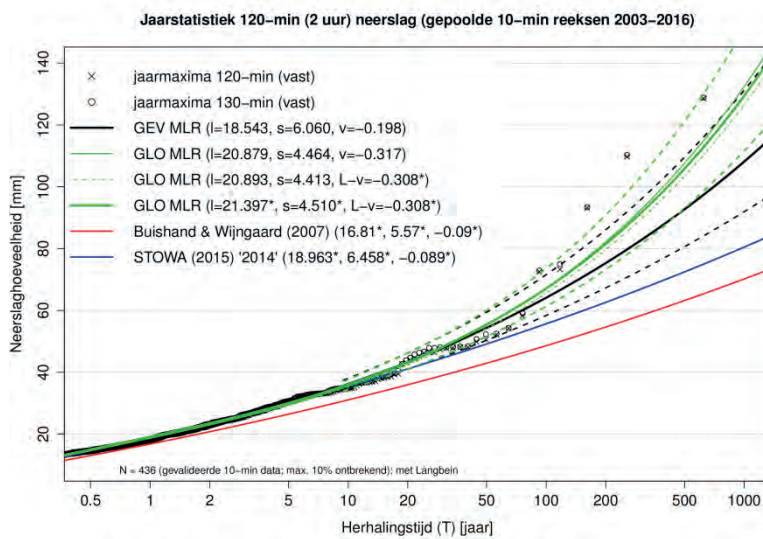
FIGUUR B7

GEV EN GLO FITS VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 90 MINUTEN

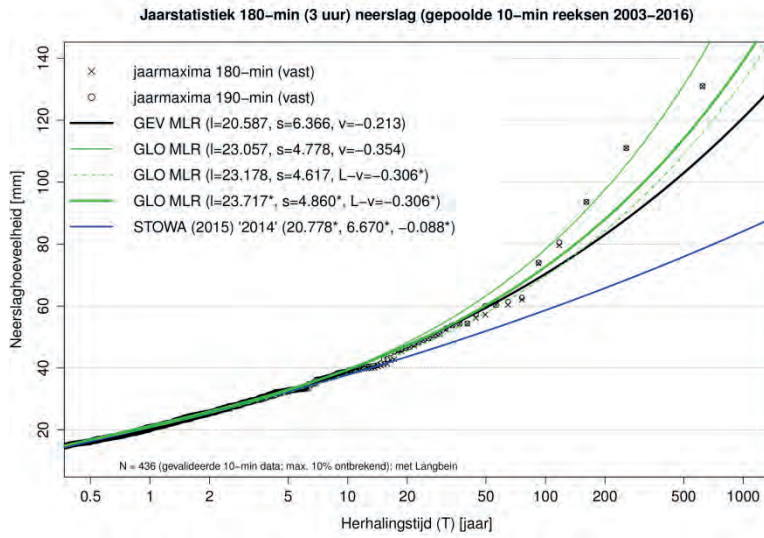


FIGUUR B8

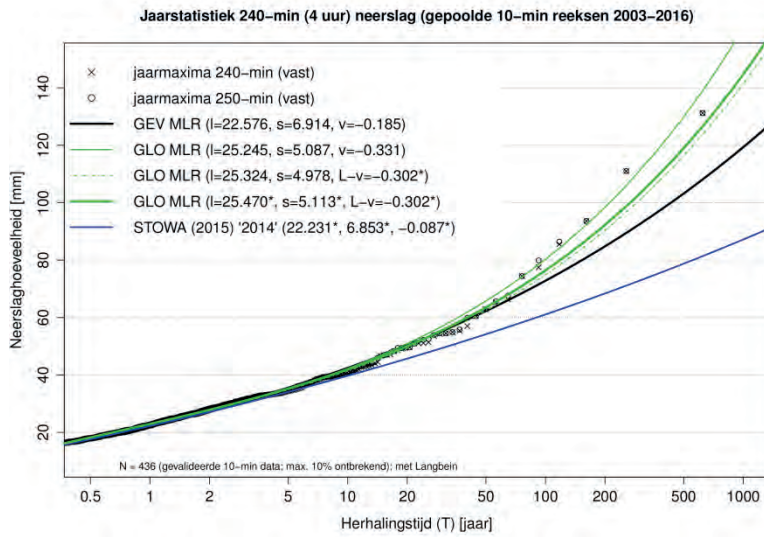
GEV EN GLO FITS VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 120 MINUTEN (2 UUR)



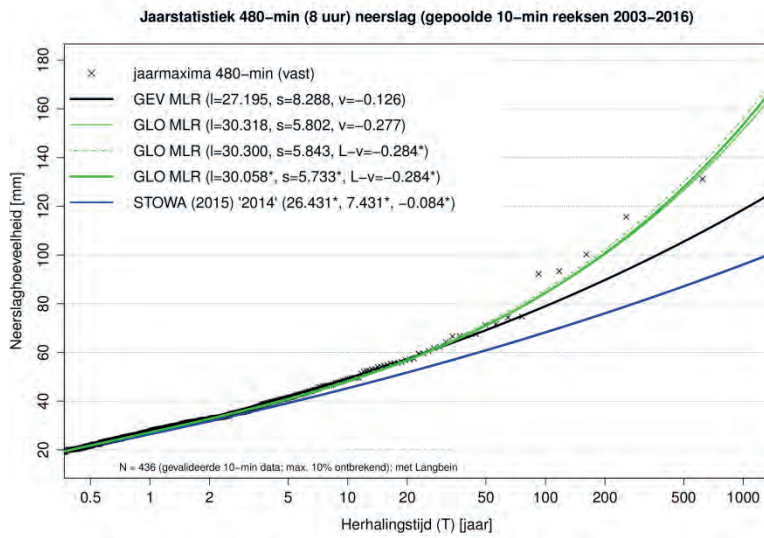
FIGUUR B9 GEV EN GLO FITS VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 180 MINUTEN (3 UUR)



FIGUUR B10 GEV EN GLO FITS VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 240 MINUTEN (4 UUR)



FIGUUR B11 GEV EN GLO FITS VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 480 MINUTEN (8 UUR)



FIGUUR B12 GEV EN GLO FITS VOOR EEN NEERSLAGDUUR VAN 720 MINUTEN (12 UUR)

