

# ACTUALISATIE METEOGEGEVENS VOOR WATERBEHEER 2015



RAPPORT

2015  
**10**

ACTUALISATIE METEOGEGEVENS VOOR WATERBEHEER 2015

DEEL 1 NEERSLAG- EN VERDAMPINGSREEKSEN

DEEL 2 STATISTIEK VAN DE EXTREME NEERSLAG

**RAPPORT**

2015

**10**

ISBN 978.90.5773.706.0



Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

## AUTEURS

Jules Beersma, Janette Bessembinder en Theo Brandsma (KNMI)  
Rudolf Versteeg en Hans Hakvoort (HKV<sub>Lijn in water</sub>)

## TOTSTANDKOMING

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van Themagroep Meteorologie van de Adviesgroep watersysteemanalyse van STOWA. De betrokken waterschappen zijn hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, waterschap Noorderzijlvest, waterschap Zuiderzeeland, hoogheemraadschap van Rijnland, hoogheemraadschap van Delfland, waterschap Scheldestromen, waterschap Hollandse Delta, hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard en waterschap Brabantse Delta.

## MEDEWERKING

Chantal Raes, waterschap Scheldestromen; Suzanne Klerk en Mechel van Appeldoorn, hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard; Robin van den Assem en Jochem Fritz, hoogheemraadschap van Delfland; Jelmer Biesma, hoogheemraadschap van Rijnland; Alex de Klerk, waterschap Hollandse Delta; Jan Gooijer, waterschap Noorderzijlvest; Marijke Visser, hoogheemraadschap Zuiderzeeland; Kees Peerdeman, waterschap Brabantse Delta; Harry van Luijtelaar, RIONED; Ronald Hemel, Michelle Talsma STOWA.

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau  
STOWA STOWA 2015-10  
ISBN 978.90.5773.706.0

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

Hoe vaak regent het, hoe hard en hoe lang? Bestaan er regionale verschillen in neerslaghoeveelheden? En hoe veranderen de neerslaghoeveelheden in de toekomst? Deze informatie is van groot belang voor het waterbeheer in Nederland. Hierop baseren waterschappen zich bij het beoordelen, inrichten en beheren van hun watersystemen, zodat wateroverlast binnen de perken blijft.

De informatie over de kans op extreme neerslag zit voor een groot deel vervat in zogenoemde neerslagstatistieken. Deze zijn gebaseerd op langjarige neerslagreeksen, teruggaand tot 1906. Op dat moment begon het KNMI te meten in De Bilt. De statistieken geven inzicht in de hoeveelheid neerslag van een extreme neerslaggebeurtenis van een bepaalde duur (bijv. 24 uur) die eens in de tien, vijftig of honderd jaar voorkomt.

In 2014 heeft het KNMI met het oog op klimaatverandering nieuwe klimaatscenario's gepresenteerd, de zogenoemde KNMI'14-klimaatscenario's. In opdracht van STOWA hebben het KNMI en HKV<sub>Lijn in water</sub> deze scenario's toepasbaar gemaakt voor waterschappen en verwerkt in nieuwe neerslagstatistieken.

De onderzoekers hebben bij het bepalen van de nieuwe neerslagstatistiek de meetreeksen van De Bilt voor zowel neerslag als verdamping gecorrigeerd voor de klimaattrend, die vanaf het begin van de jaren tachtig duidelijk zichtbaar is. Hierdoor geven de nieuwe neerslagstatistieken een beter beeld van het klimaat van nu dan de voorgaande statistieken.

Met de nieuwe neerslagstatistieken hebben waterbeheerders nu de best beschikbare neerslagdata in handen voor het maken van (nieuwe) analyses van hun watersystemen. Op basis van deze analyses kunnen ze beter beoordelen in hoeverre deze systemen bestand zijn tegen extreme neerslaggebeurtenissen in het huidige en toekomstige klimaat.

Waterschappen kunnen met deze informatie beter onderbouwde keuzes maken met betrekking tot het aanpassen van hun watersystemen om in bepaalde delen van hun beheergebied wateroverlast te beperken. Uiteraard is dit een bestuurlijke keuze, waarbij besturen de kosten en baten van de te nemen maatregelen tegen elkaar af zullen afwegen.

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 onderzoekslijnen 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.*

# ACTUALISATIE METEOGEGEVENS VOOR WATERBEHEER 2015

## INHOUD

TEN GELEIDE  
STOWA IN HET KORT

### DEEL 1 NEERSLAG- EN VERDAMPINGSREEKSEN

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
1.1	Aanleiding en context	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Overzicht en leeswijzer	2
<b>2</b>	<b>VERLENGEN REEKSEN</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>HOMOGENISEREN NEERSLAGGREEKS DE BILT</b>	<b>5</b>
3.1	Inleiding	5
3.2	Aanpak	6
3.3	Toepassing van de correctie op de reeks van De Bilt	8
3.4	Discussie	10
<b>4</b>	<b>DETRENDEN NEERSLAGGREEKS</b>	<b>11</b>
4.1	Inleiding	11
4.2	Werkwijze detrenden	12
4.3	Beschouwing basisreeks 2014	15
4.4	Discussie	17
<b>5</b>	<b>REGIONALISEREN BASISNEERSLAGGREEKS 2014</b>	<b>19</b>
5.1	Aanpak	19
5.2	Discussie	21
<b>6</b>	<b>DETRENDEN VERDAMPINGSREEKS</b>	<b>22</b>
6.1	Inleiding	22
6.2	Werkwijze detrending	23
6.3	Beschouwing basisverdampingsreeks 2014	25

7	REEKSEN VOOR KNMI'14 SCENARIO'S	28
7.1	Inleiding	28
7.2	Methode aanpassen reeksen	29
7.2.1	Het transformatieprogramma: algemeen	29
7.2.2	Transformatie van neerslag	30
7.2.3	Transformatie van referentieverdamping volgens Makkink	31
7.3	Gebruik klimaatscenario's	32
7.4	Beschouwing reeksen voor klimaatscenario's	33
7.4.1	Neerslag	33
7.4.2	Referentiegewasverdamping	36
7.5	Discussie	36
8	SAMENVATTING	39
9	REFERENTIES	41
	<b>DEEL 2</b>	
	<b>STATISTIEK VAN DE EXTREME NEERSLAG</b>	
1	INLEIDING	45
1.1	Aanleiding en context	45
1.2	Doelstelling	45
1.3	Overzicht en leeswijzer	46
2	METHODE VOOR HET AFLEIDEN VAN DE NEERSLAGSTATISTIEK	47
2.1	Inleiding	47
2.2	Tijdsafhankelijke extreme waarden model	47
2.3	Resultaten voor het huidige klimaat	50
2.4	Alternatieven en motivatie voor een tijdsafhankelijk extreme waarden model	52
3	STATISTIEK HUIDIGE KLIMAAT	57
3.1	Inleiding	57
3.2	Statistiek De Bilt voor klimaat rond 2014	57
4	STATISTIEK KNMI'14 SCENARIO'S	60
4.1	Inleiding	60
4.2	Statistiek voor de toekomst voor De Bilt	60
5	REGIONALISATIE STATISTIEK	67
6	DISCUSSIE	69
6.1	Gebruik transformatieprogramma	69
6.2	Van dag- naar uurneerslag?	69
6.3	Regionale statistiek	69
7	REFERENTIES	71
	<b>BIJLAGEN</b>	
A	BESCHRIJVING VAN DE STAPPEN BIJ HET AFLEIDEN VAN HET VOLLEDIGE GEV MODEL	73
B	GEMODELLEERDE LOCATIE PARAMETER EN DISPERSIE COËFFICIËNT VOOR ALLE KNMI'14 KLIMAATSCENARIO'S	75

# 1

## INLEIDING

### 1.1 AANLEIDING EN CONTEXT

In mei 2014 zijn de KNMI'14 klimaatscenario's gepubliceerd door het KNMI. De presentatie en uitwerking van deze nieuwe klimaatscenario's is tot stand gekomen in overleg met gebruikersgroepen en met gebruik van de nieuwste methoden en inzichten. De gepubliceerde informatie betreft algemene karakteristieken van de mogelijke ontwikkeling van de klimaatverandering. In vergelijking met de KNMI'06 scenario's zijn de KNMI'14 scenario's een update met de nieuwste inzichten (bijvoorbeeld het bijstellen van de mogelijke afname van neerslag in de zomer), is de tijdshorizon 2030 toegevoegd en is meer detail en karakterisering aangebracht en een bandbreedte voor de verandering van extreme neerslag.

In mei 2014 is tevens in opdracht van STOWA een inventarisatie van hiaten en wensen ten aanzien van neerslagstatistiek gestart. Deze inventarisatie werd uitgevoerd in overleg met de waterschappen. Door STOWA is er voor gekozen een deel van de in de inventarisatie gesignaleerde hiaten en wensen te adresseren. In dit onderzoek is dat deel van de hiaten onderzocht en zijn verbeterde producten afgeleid.

Dit onderzoek betreft daarmee een actualisatie van het onderdeel 'Toetsingsdata voor regionale wateroverlast' van [www.meteobase.nl](http://www.meteobase.nl) en de bijbehorende rapportage. De gegevens zijn wederom beschikbaar gesteld op [www.meteobase.nl](http://www.meteobase.nl). Deze rapportage vormt een achtergronddocument bij de daarin opgenomen neerslag- en verdampingsreeksen en afgeleide neerslagstatistiek.

Deze rapportage bestaat uit twee delen: deel 1 (voorliggend) betreft het onderdeel neerslag- en verdampingsreeksen. Deel 2 beschrijft de afleiding van de extreme-waarden statistiek.

### 1.2 DOELSTELLING

De doelstelling van [www.meteobase.nl](http://www.meteobase.nl) is:

om beschikbare neerslag- en verdampingsgegevens te ontsluiten om deze vervolgens toe te kunnen passen bij modelkalibratie en de toetsing van watersystemen aan de normen voor regionale wateroverlast, daarnaast kunnen deze gegevens ook gebruikt worden voor andere vraagstukken zoals GGOR en zoetwatervoorziening.

De doelstelling van dit onderzoek is het actualiseren van de neerslag- en verdampingsgegevens benodigd voor de toetsing van watersystemen aan de normen voor regionale wateroverlast.



### 1.3 OVERZICHT EN LEESWIJZER

Onderstaande tabel beschrijft het deel van de gegevens betreffende de toetsingsdata zoals opgenomen op [www.meteobase.nl](http://www.meteobase.nl). In de tabel is opgenomen op welke onderdelen de reeksen zijn aangepast en in welk hoofdstuk de betreffende aanpassing is beschreven. Voor achtergronden van de oorspronkelijke gegevens verwijzen we naar Versteeg et al. (2013).

TABEL 1.1 GEGEVENS MET ACTUALISATIE IN WWW.METEOBASE.NL

---

Oorspronkelijk op Meteobase:

Langjarige neerslagreeksen (1906 - 2010), afgeleid voor regio's (L, G, H, H+) voor het huidige klimaat en voor klimaatscenario's rond 2050 (G, G+, W, W+). In totaal 20 reeksen.

Actualisatie:

- Verlenging neerslagreeksen met 2011-2014 (hoofdstuk 2)
- Corrigeren neerslagreeksen voor veranderingen in opstelling (hoofdstuk 3)
- Detrenden neerslagreeksen naar klimaat rond 2014 (hoofdstuk 4)
  - ⇒ De verlengde, gecorrigeerde en gedetrende reeks is de nieuwe 'Basisneerslagreeksen-2014'
- Regionaliseren voor regio's L, G, H en H+ (hoofdstuk 5)
- Klimaatscenario's KNMI'14  $G_L$ ,  $G_H$ ,  $W_L$  en  $W_H$  voor rond 2030, 2050 en 2085 (hoofdstuk 7)
- Bandbreedten verandering neerslagextremen per klimaatscenario's (hoofdstuk 7)

In totaal 112 reeksen.

Oorspronkelijk op Meteobase:

Langjarige verdampingsreeksen (Makkink, 1906 - 2010) voor huidige klimaat en klimaatscenario's voor 2050 (G, G+, W, W+).

In totaal 5 reeksen.

Actualisatie:

- Verlenging verdampingsreeksen met 2011-2014 (hoofdstuk 2)
- Detrenden verdampingsreeksen naar klimaat rond 2014 (hoofdstuk 6)
  - ⇒ De verlengde en gedetrende reeks is de nieuwe 'Basisverdampingsreeksen 2014'
- Klimaatscenario's KNMI'14  $G_L$ ,  $G_H$ ,  $W_L$  en  $W_H$  voor rond 2030, 2050 en 2085 (hoofdstuk 7)

In totaal 10 reeksen.

---

De volgende benaming voor de reeksen is in dit rapport gebruikt:

- Oorspronkelijke reeks:
  - Neerslagreeksen van uurwaarden die gecorrigeerd is voor het verschil tussen het neerslagstation te De Bilt (8-8 UTC) en het Automatische Weer Station te De Bilt.
  - Verdampingsreeksen (Makkink referentiegewasverdamping) zonder correcties.
- Gehomogeniseerde reeks:
  - Neerslagreeksen van uurwaarden voor opstelling gecorrigeerd.
- Basisreeksen 2014:
  - Neerslag- en verdampingsreeksen die gedetrend zijn naar het klimaat rond 2014. Voor de neerslagreeksen is eerst de homogenisatie uitgevoerd.
- Reeksen klimaatscenario's:
  - Neerslag- en verdampingsreeksen voor klimaat rond 2030, 2050, 2085, klimaatscenario's  $G_L$ ,  $G_H$ ,  $W_L$ ,  $W_H$ , voor de neerslag voor 3 subscenario's onder, midden en boven (ook aangeduid met lower, centr en upper).

In Hoofdstuk 8 tenslotte is een samenvatting opgenomen.

# 2

## VERLENGEN REEKSEN

De toetsingsdata betreffen langjarige tijdreeksen van neerslag en verdamping (Makkink) ten behoeve van hydrologische analyses voor de bepaling van de statistiek van hoge waterstanden. Op [www.meteobase.nl](http://www.meteobase.nl) loopt deze reeksen tot en met 2010. Deze reeksen zijn verlengd tot en met 31 december 2014. NB: op [www.meteobase.nl](http://www.meteobase.nl) is ook een verdampingsreeks volgens Penman-Monteith beschikbaar. De reeks valt buiten de scope van dit project.

De volgende gegevens zijn gebruikt voor het verlengen van de neerslagreeks voor De Bilt:

- Reeks van [www.meteobase.nl](http://www.meteobase.nl) voor de periode 1 januari 1906 tot en met 31 december 2010;
- De reeks is aangevuld met uurwaarden van 1 januari 2011 tot en met 31 december 2014. Hiervoor zijn gebruikt:
  - Uurwaarden van De Bilt voor de periode 1 januari 2011 tot en met 31 december 2014, gedownload van de website van het KNMI (station nr. 260).
  - Dagwaarden van De Bilt voor de periode 1 januari 2011 tot en met 31 december 2014, gedownload van de website van het KNMI (station nr. 550). Deze reeks is gebruikt om ook dit deel van de uurreeks te kalibreren aan de handregenmeter.

De wijze van verlenging is exact dezelfde als uitgevoerd in Smits et al. (2004) en bij de vulling van Meteobase in 2011 (zie [www.meteobase.nl](http://www.meteobase.nl)). De volgende bewerkingen zijn voor de verlenging uitgevoerd:

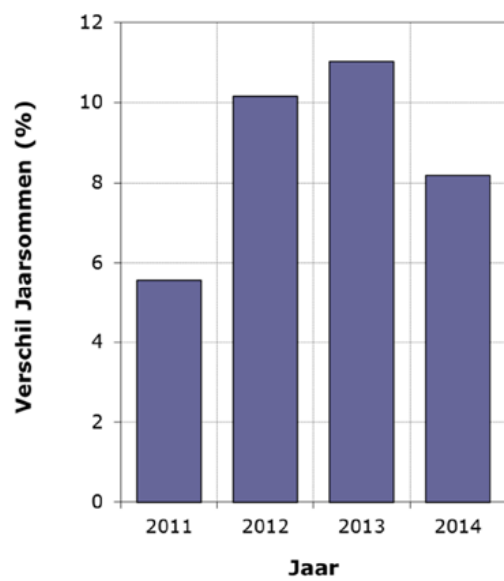
- 1 Constructie basisneerslagreeks:
  - a Kalibratie uurgegevens 2011-2014 op dagwaarden:
 

De uurwaarden hebben we gecorrigeerd met de dagwaarnemingen zodat de gesommeerde uurgegevens (van 08:00 tot 08:00 UTC) overeen komen met de dagwaarneming van de betreffende dag. Ter indicatie van de verschillen is in Figuur 2.1 weergegeven wat de verschillen zijn tussen de jaarsommen van de uurlijkse waarnemingen en de handregenmeter. Gemiddeld zijn de jaarsommen van de handregenmeter ongeveer 9% hoger dan die van de uurlijkse waarnemingen in de periode 2011-2014 voor De Bilt.
  - b Verlengen neerslagreeks:
 

De reeks uurwaarden van De Bilt zoals oorspronkelijk opgenomen in meteobase is aangevuld met de gekalibreerde reeks van 2011-2014.

De verdampingsreeks van De Bilt is verlengd met de dagwaarden van De Bilt voor de periode 1 januari 2011 tot en met 31 december 2014, gedownload van de website van het KNMI. Het betreft de referentiegewasverdamping volgens Makkink. De volledige reeks (oorspronkelijke reeks) loopt nu van 1 januari 1906 tot en met 31 december 2014.

FIGUUR 2.1 VERSCHILLEN IN WAARGENOMEN JAARSOM VAN DE NEERSLAG TUSSEN DE HANDREGENMETER EN VAN HET AUTOMATISCHE WEER STATION VOOR DE BILT



## 3

## HOMOGENISEREN NEERSLAGREEKS DE BILT

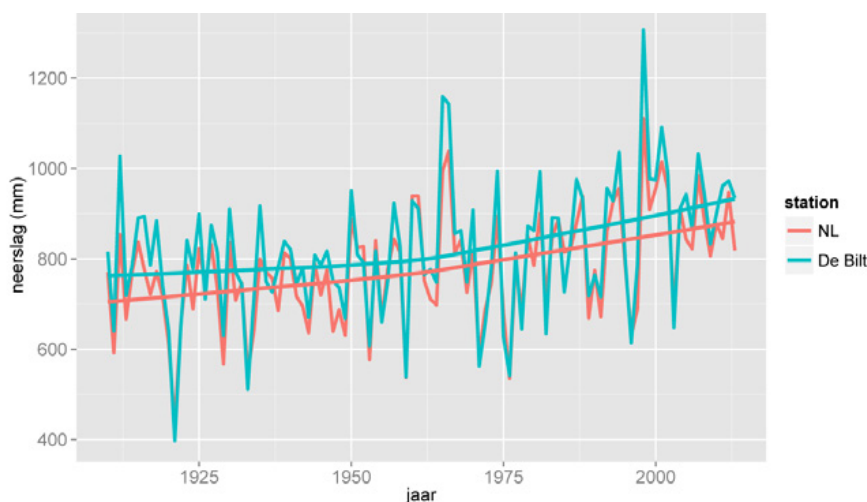
## 3.1 INLEIDING

Neerslagmetingen worden beïnvloed door veranderingen in de opstelling en de omgeving van de regenmeter en door veranderingen in de regenmeters en de meetmethoden. Een neerslagreeks kan daardoor breuken en trends bevatten die niet door het klimaat zelf veroorzaakt zijn. In dat geval noemen we de reeks inhomogeen.

Voor toepassingen in het waterbeheer wordt de reeks van De Bilt vaak gebruikt als zijnde representatief voor de gemiddelde situatie in Nederland. Figuur 3.1 vergelijkt de trend in de reeks van De Bilt (ongecorrigeerd) met die voor Nederland gemiddeld. Hierbij merken we op dat deze figuur begint in 1910 omdat de andere stations niet vanaf 1906 beschikbaar zijn. De reeks voor de Bilt is wel beschikbaar vanaf 1906 en zal ook over de gehele lengte worden gecorrigeerd. De figuur laat zien dat de trends inderdaad vergelijkbaar zijn maar dat de gemiddelde jaarneerslag van De Bilt wel iets hoger is dan die voor Nederland gemiddeld.

Het KNMI heeft in een recente studie alle lange tijdreeksen met dagneerslag in Nederland gehomogeniseerd (Buishand e.a., 2013). Dit is gedaan met een methode die stations paarsgewijs vergelijkt en die voor gedetecteerde breuken een correctie aanbrengt. Voor de reeks van De Bilt werden geen statistisch significante inhomogeniteiten gevonden. De methode garandeert echter niet dat alle inhomogeniteiten gevonden worden. Dat geldt bijvoorbeeld in het geval van (ongeveer) gelijktijdige en netwerk brede veranderingen. In Nederland zijn er in de afgelopen eeuw twee van dat soort veranderingen geweest. De eerste is de verlaging van de standaard handregenmeter van 1,50 m naar 0,40 m boven maaiveld. Voor De Bilt vond die wijziging plaats op 11 januari 1946. De tweede is de aanpassing van het oppervlak van de trechteropening van de handregenmeter van 4 naar 2 dm<sup>2</sup>. Voor De Bilt vond deze aanpassing plaats op 24 augustus 1973.

FIGUUR 3.1 LANGE-TERMIJN TREND IN DE JAARSOMMEN VAN DE NEERSLAG IN DE BILT EN VOOR NEDERLAND GEMIDDELD (102 STATIONS) VOOR DE PERIODE 1910-2013. DE GLADDE CURVES ZIJN HET RESULTAAT VAN EEN LOESS FIT (DEGREE =1, FAMILY=GAUSSIAN, SPAN=0.9)



De effecten van verlaging van de regenmeter zijn onderzocht door Braak (1945). De grootse fout bij neerslagmetingen is meestal het neerslagverlies veroorzaakt door de wind (windfout). Door turbulentie rond de trechtermond komt er bij een hogere windsnelheid minder neerslag in de trechter dan bij een lagere windsnelheid. Omdat de windsnelheid toeneemt met de hoogte, neemt ook de windfout toe met de hoogte. Referentiemetingen worden daarom gedaan met regenmeters ingegraven in de grond met de trechtermond op maaiveldhoogte. De studie van Braak laat zien dat de verlaging van de regenmeter voor Nederland een afname van de windfout van gemiddeld ca. 2,5% tot gevolg had (dus een neerslagtoename van 2,5%). In tegenstelling tot de verlaging van de regenmeter, zijn er voor de wijziging van het trechteroppervlak geen duidelijke indicaties voor een toe- of afname in de neerslag (zie bijvoorbeeld Brandsma, 2014, voetnoot p.15). In dit hoofdstuk beperken we ons daarom tot de correctie van de neerslagreeks van De Bilt voor de verlaging van de regenmeter.

### 3.2 AANPAK

De verlaging van de regenmeter zorgt door de afname van de windsnelheid met de hoogte voor een afname van windfout. Naast de windsnelheid hangt de windfout ook af van de neerslagintensiteit (WMO, 1984). Hoe hoger de neerslagintensiteit, hoe kleiner de windfout. De reden is dat kleine druppels (lage neerslagintensiteit) sterker beïnvloed worden door de wind dan grote druppels (hoge neerslagintensiteit).

Braak (1945) heeft op verschillende locaties in Nederland parallelmetingen verricht waarbij hij handregenmeters vergeleek met de trechterraand op drie hoogten: 1,5 m, 0,4 m en op het maaiveld. De maaiveld opstelling fungeerde daarbij als referentie met verwaarloosbare windfout. Braak leidde relaties af voor de procentuele fouten ten opzichte van de referentie, als functie van de windsnelheid op trechterhoogte voor de vier seizoenen (DJF, MAM, JJA, SON). Door de indeling in seizoenen compenseerde hij indirect voor de effecten van de neerslagintensiteit.

Voor dit onderzoek hebben we de oorspronkelijke waarnemingen van Braak uit het archief gehaald en gedigitaliseerd, zodat we de neerslagintensiteit direct als verklarende variabele mee konden nemen. Deze aanpak verdient de voorkeur omdat ook binnen seizoenen grote verschillen in neerslagintensiteit kunnen optreden. Daarnaast is De Bilt een station waarbij we voor de periode vanaf 1906 uurlijkse neerslag en windsnelheid beschikbaar hebben, zodat we voor iedere dag de gemiddelde windsnelheid en regenintensiteit op regenuren kunnen berekenen.

De correctie brengen we met terugwerkende kracht aan op de neerslagreeks van voor 11 januari 1946 (de datum van de verlaging). Het is daarom van belang dat de windreeks van De Bilt over het tijdvak 1906-1946 zo homogeen mogelijk is. Tot 1960 laat de reeks geen onnatuurlijke trends of sprongen zien. Pas in 1961 is er een grote inhomogeniteit door de overgang van de torenwind naar de wind gemeten op 10 m. Voor het huidige onderzoek speelt deze breuk geen rol.

De gedigitaliseerde waarnemingen voor De Bilt zijn beschikbaar voor de periode 11 april 1943 – 31 december 1945. Windsnelheid werd gemeten boven op de toren op een hoogte van 37,5 m. De uurgemiddelde windsnelheid van De Bilt is gereduceerd naar de regenmeter op 1,5 m met de volgende door Braak (1945) gegeven correctiefactoren:

- 0,33 (december-maart)
- 0,31 (april)
- 0,27 (mei)
- 0,25 (juni-september)
- 0,27 (oktober)
- 0,31 (november).

Braak (1945) liet bij het afleiden van de windfout als functie van windsnelheid en seizoen gevallen met sneeuw, hagel, of sneeuwdrift weg. Deze aanpak is hier ook gevolgd.

Voor iedere dag (8-8 UTC) is de gemiddelde (met de Braak factoren gereduceerde) windsnelheid  $FH$  (m/s) en gemiddelde neerslagintensiteit  $P_{int}$  (mm/h) berekend, beide op natte uren ( $P > 0$ ). Het aantal natte uren is gebaseerd op de uit de pluviograaf afgeleide uurneerslag.

Voor het bepalen van de verschillen tussen de neerslag op 0,4 m en 1,5 m als functie van  $FH$  en  $P_{int}$  zijn  $FH$  en  $P_{int}$  in vijf categorieën ingedeeld (Tabel 3.1). Het maximum van  $FH$  in de periode 11 april 1943 – 31 december 1945 bedraagt 4.3 m/s en het maximum van  $P_{int} = 6.4$  mm/h).

TABEL 3.1

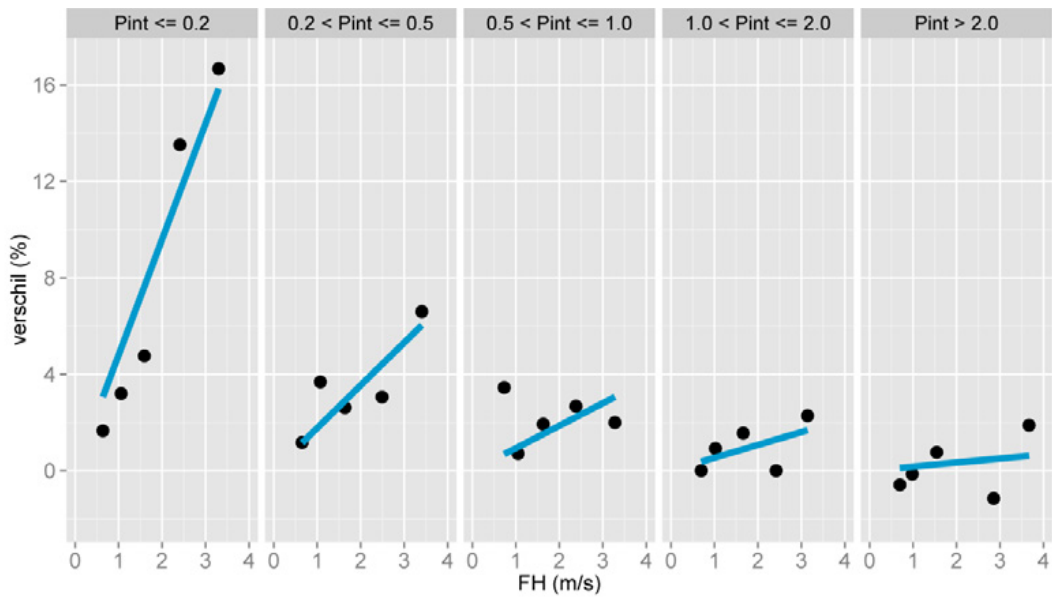
INDELING VAN  $FH$  (WINDSNELHEID) EN  $P_{int}$  (NEERSLAGINTENSITEIT) IN CATEGORIEËN

Categorie	$FH$ (m/s)	$P_{int}$ (mm/h)
1	$FH \leq 0.85$	$P_{int} \leq 0.2$
2	$0.85 < FH \leq 1.3$	$0.2 < P_{int} \leq 0.5$
3	$1.3 < FH \leq 2.0$	$0.5 < P_{int} \leq 1.0$
4	$2.0 < FH \leq 3.0$	$1.0 < P_{int} \leq 2.0$
5	$FH > 3.0$	$P_{int} > 2.0$

Voor elke combinatie van  $FH$  en  $P_{int}$  is het aantal natte dagen berekend, het percentage verschil tussen de neerslag op 0.4 m en 1.5 m, en de gemiddelde  $FH$  en  $P_{int}$  op natte uren. De categorie indeling is proefondervindelijk vastgesteld, rekening houdend met het fysieke bereik van  $FH$  en  $P_{int}$  en het hebben van voldoende natte dagen voor elke combinatie

Figuur 3.2 geeft het percentageverschil tussen de neerslag op 0,4 m en 1,5 m als functie van  $FH$  voor de vijf  $P_{int}$  categorieën. Het is duidelijk te zien dat de verschillen toenemen met  $FH$  en dat de toename het sterkst is voor lage waarden van  $P_{int}$ . Voor dagen met hoge  $P_{int}$  ( $> 2$  mm/h) worden de verschillen tussen beide regenmeters minimaal en is het effect van de  $FH$  verwaarloosbaar.

FIGUUR 3.2 VERSCHIL (%) IN NEERSLAG OP 0,40 M HOOGTE EN 1,5 M HOOGTE IN DE BILT (APRIL 1943 – DECEMBER 1945) ALS FUNCTIE VAN DE GEMIDDELTE WINDSNELHEID OP REGENUREN (FH OP 1,5 M) VOOR 5 CATEGORIEËN VAN GEMIDDELTE NEERSLAG INTENSITEIT ( $P_{INT}$ ) OP REGENUREN (TOENAME VAN LINKS NAAR RECHTS). DE LIJNEN IN DE FIGUUR ZIJN HET RESULTAAT VAN EEN GEWOGEN LINEAIRE REGRESSIE MET INTERCEPT = 0 EN MET HET AANTAL NATTE DAGEN ALS GEWICHT

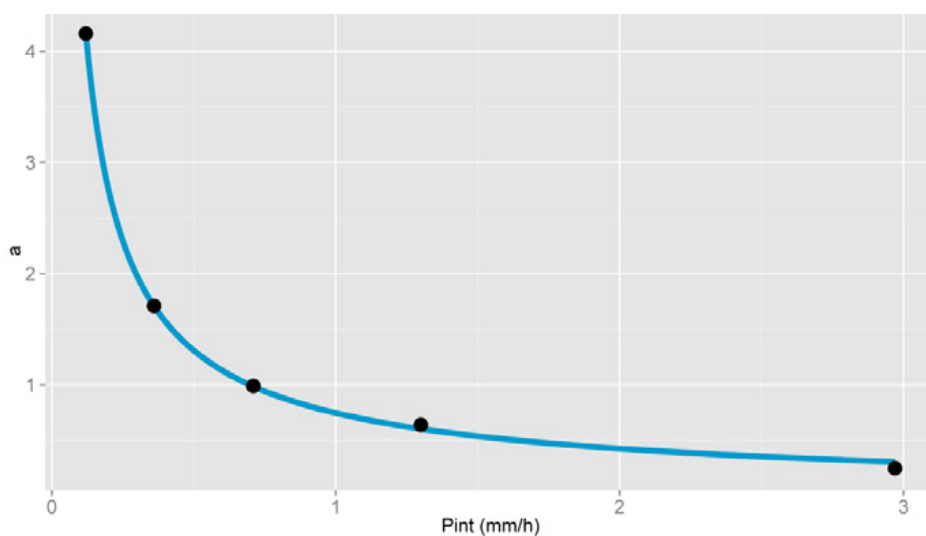


### 3.3 TOEPASSING VAN DE CORRECTIE OP DE REEKS VAN DE BILT

Het verband in Figuur 3.2 is gebruikt om de reeks met dagneerslagsommen van De Bilt te corrigeren voor de verlaging van de regenmeter van 1,5 m naar 0,4 m. Eerst is een verband afgeleid tussen de helling  $a$  van de vijf regressielijnen in Figuur 3.2 en  $P_{INT}$ . Deze relatie kan beschreven worden met de volgende niet-lineaire relatie (zie ook Figuur 3.3):

$$a = 0,747P_{INT}^{-0,810} \tag{1}$$

FIGUUR 3.3 RELATIE TUSSEN DE HELLING  $a$  IN FIGUUR 3.2 EN  $P_{INT}$ . DE ZWARTE BOLLETJES ZIJN DE 5 WAARDEN VAN  $a$  IN DE PANELEN VAN FIGUUR 3.2 EN DE BLAUWE KROMME IS DE IN DE TEKST GEGEVEN NIET LINEAIRE FIT



Als we nu de regenmeter op 1,5 m (het gedeelte tot 11 januari 1946) corrigeren naar de regenmeter op 0,4 m, moeten we de dagneerslag<sup>1</sup> tot 11 januari 1946 ophogen met:

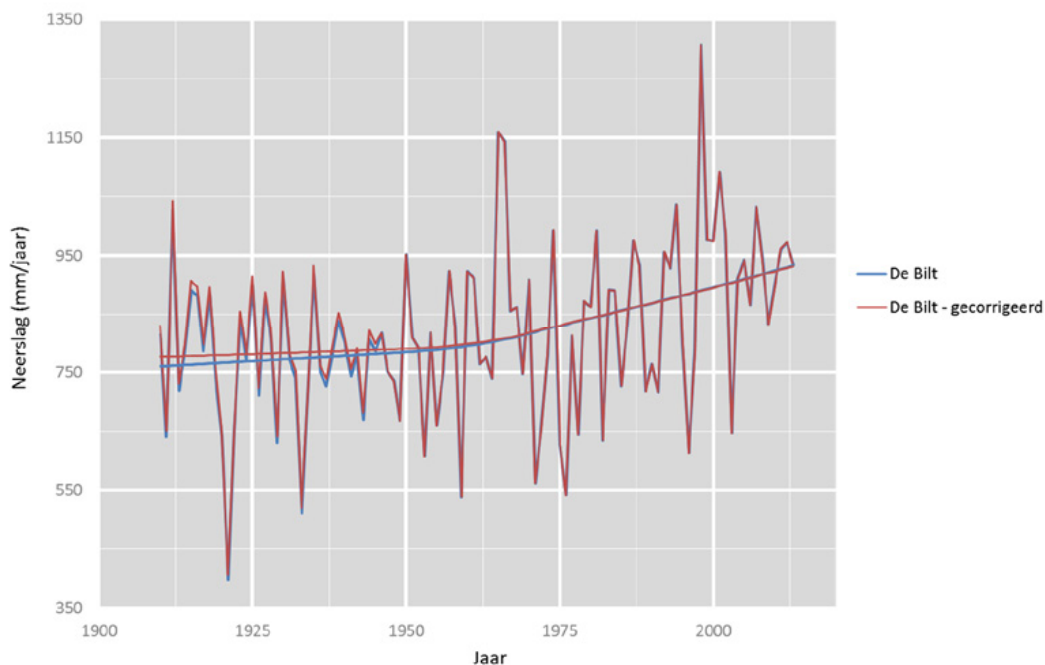
$$\Delta P = 0,01P_{150}FH\alpha = 0,01P_{150}FH 0,747P_{\text{int}}^{-0,810} \quad (2)$$

met  $P_{150}$  de ongecorrigeerde neerslag op 1,5 m in mm en  $\Delta P$  de hoeveelheid neerslag in mm waarmee we  $P_{150}$  moeten vermeerderen om de gecorrigeerde neerslag te krijgen. De correctie heeft alleen betrekking op de periode van 1 januari 1906 t/m 10 januari 1946. Voor die periode is gebruik gemaakt van de windtransformatie van Braak (1945). De voor de hoogte gecorrigeerde dagreeks dient als basis voor de detrending in het volgende hoofdstuk. Pas na correctie en detrending van de dagreeks is de uurreeks aangepast.

De verschillen tussen de gehomogeniseerde en gemeten dagneerslag variëren tussen 0,1 en 24,7%. Het maximale absolute verschil is 0,57 mm. De neerslag in de periode 1 januari 1906 t/m 10 januari 1946 neemt door de homogenisatie in totaal toe met 1,7%. Deze beperkte toename komt doordat enkel de neerslag met lage intensiteiten, zoals motregen, wordt beïnvloed door wind. De hoge neerslagintensiteiten worden niet of nauwelijks beïnvloed door wind. Dit betekent dat de extremen in de reeks niet veranderen door de correctie voor de opstelling.

Op basis van bovenstaande kan worden geconcludeerd dat de trend die zichtbaar lijkt in Figuur 3.1 maar voor een beperkt deel kan worden verklaard met de correctie voor de opstelling. Dit is geïllustreerd in Figuur 3.4 (hierbij merken we op dat deze figuur loopt vanaf 1910 om aan te sluiten bij Figuur 3.1, bij de correctie is de gehele reeks vanaf 1906 gecorrigeerd).

FIGUUR 3.4 LANGE-TERMIJN TREND IN DE JAARSOMMEN VAN DE NEERSLAG IN DE BILT EN VOOR DE VOOR OPSTELLING GECORRIGEERDE NEERSLAG IN DE BILT VOOR DE PERIODE 1910-2013. DE GLADDE CURVES ZIJN HET RESULTAAT VAN EEN LOESS FIT (DEGREE =1, FAMILY=GAUSSIAN, SPAN=0.9)



1 De homogenisatie betreft de dagwaarden. De uurwaarden zijn pas daarna gecorrigeerd zodanig dat ze overeenkomen met de gecorrigeerde dagwaarden.



### 3.4 DISCUSSIE

De neerslagreeks van De Bilt is gecorrigeerd voor de verandering in hoogte van de regenmeter van 1,5 m naar 0,4 m op 11 januari 1946. De op parallelmetingen gebaseerde correcties, afhankelijk van windsnelheid en neerslagintensiteit, zijn het beste wat op dit moment beschikbaar is. Statistische vergelijkingen met omringende stations schieten hier te kort. De correcties zijn lineair afhankelijk van de windsnelheid binnen elke klasse van neerslagintensiteit. De door Braak voorgestelde en hier gebruikte transformatie van de torenwind naar de regenmeter op 1,5 m hoogte is vrij ruw en een fout in de windsnelheid zal ongeveer lineair doorwerken in de correctie. Nader onderzoek naar de transformatie van torenwind naar de wind op 1,5 m in ruw terrein is gewenst.

De correctie van de reeks van De Bilt naar een hoogte van de regenmeter van 0,4 m is een grote stap voorruit. Echter, ook op 0,4 m hebben we nog te maken met een windfout, waardoor de gemeten hoeveelheid een onderschatting geeft van de hoeveelheid die de grond bereikt. Een verdere aanpassing van de reeks van De Bilt naar maaiveldhoogte, en dus een eliminatie van de windfout, is misschien mogelijk maar vergt een gedegen studie van de windsnelheid op de hoogte van de trechter op de verschillende locaties van de regenmeter. Binnen de scope van het huidige onderzoek was dit niet mogelijk.

## 4

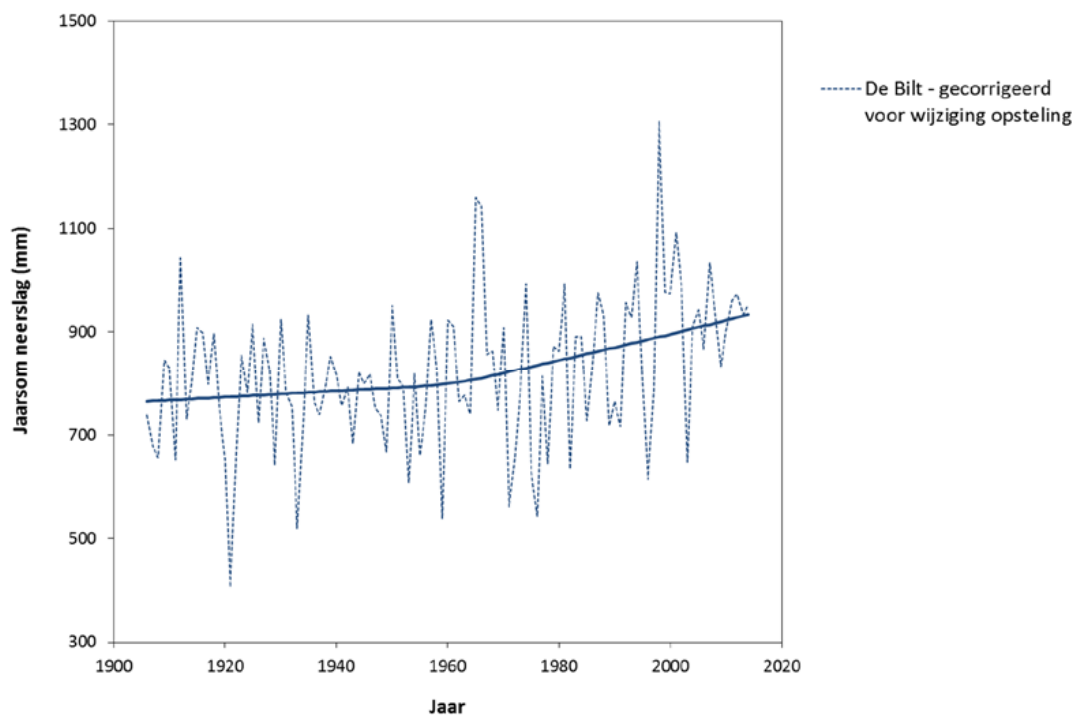
## DETRENDEN NEERSLAGREEKS

## 4.1 INLEIDING

Voor toepassingen in het waterbeheer is het gewenst om over een lange neerslag- en verdampingsreeks van De Bilt te beschikken die representatief is voor het klimaat van nu. Dit betekent dat lange-termijn veranderingen in de periode 1906-2014 eruit gefilterd moeten worden, maar dat tegelijkertijd de natuurlijke variaties aanwezig moeten blijven. In dit hoofdstuk bespreken we het detrenden van de neerslagreeks, in hoofdstuk 6 het detrenden van de verdampingsreeks.

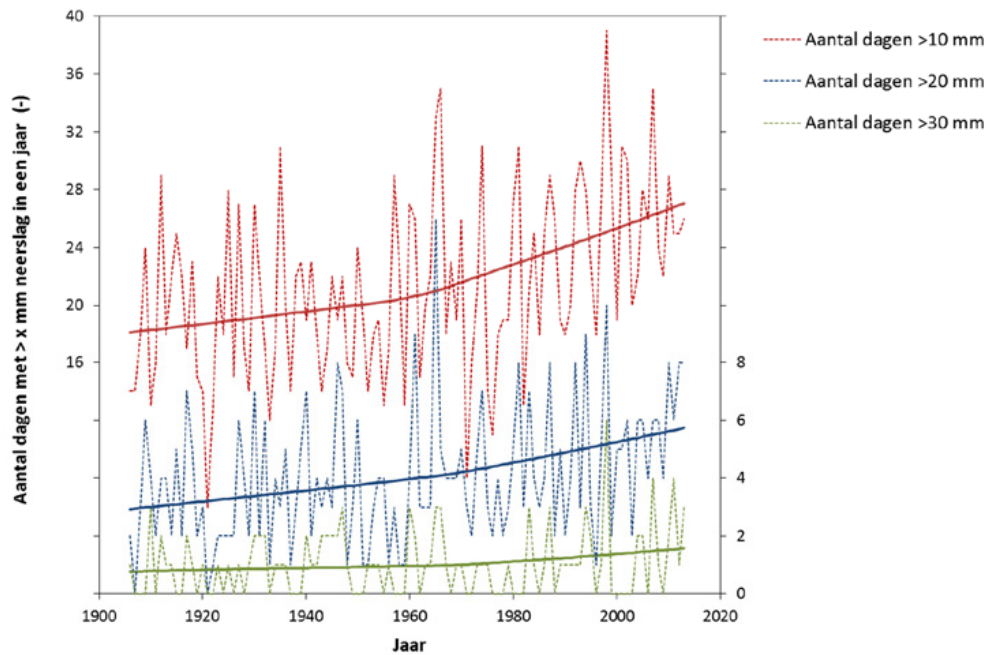
In hoofdstuk 3 is de lange-termijn verandering voor de jaarsommen in de Bilt geïllustreerd (Figuur 3.1). Na de correctie voor de opstelling zoals beschreven in hoofdstuk 3 is nog steeds een trend in de reeks zichtbaar. Dit is geïllustreerd in Figuur 4.1. Ook in de neerslag van de overige stations waarvoor een langjarige reeks (>100 jaar) beschikbaar is zien we een toename (NB: deze langjarige reeksen zijn enkel beschikbaar in dagsommen van de neerslag). In Figuur 3.1 is te zien dat de toename in neerslag over de Nederlandse stations gemiddeld vergelijkbaar is met die van de Bilt. In Buishand et al. (2011) is deze toename en de ruimtelijke spreiding daarvan over Nederland nader beschreven. Een trend in de neerslag is daarmee ook zichtbaar in veel andere stations en daarmee kunnen we veronderstellen dat dit geen artefact is van station de Bilt, maar een daadwekelijke verandering van het klimaat.

FIGUUR 4.1 LANGE-TERMIJN TREND IN DE JAARSOMMEN VAN DE NEERSLAG IN DE BILT VOOR DE PERIODE 1906-2014. DE GLADDE CURVE IS HET RESULTAAT VAN EEN LOESS FIT (DEGREE =1, FAMILY=GAUSSIAN, SPAN=0.9)



We zijn echter ook geïnteresseerd in een eventuele trend in de meer extreme neerslaggebeurtenissen. Om die te analyseren hebben we gekeken of er ook een trend zichtbaar is in het aantal dagen dat een bepaalde neerslagsom wordt overschreden. Het resultaat hiervan is opgenomen in Figuur 4.2. In de figuur is te zien dat er ook een trend zichtbaar is in het aantal dagen met hoge neerslag. In Buishand et al. (2011) is de toename en de ruimtelijke spreiding van het aantal dagen met 20 of 30 mm of meer over Nederland nader beschreven. Daaruit blijkt dat een trend in de extreme neerslag ook zichtbaar is in veel andere stations.

FIGUUR 4.2 LANGE-TERMIJN TREND IN HET AANTAL DAGEN MET EEN BEPAALDE OVERSCHRIJDING VAN DE NEERSLAG IN DE BILT (8-8 UTC) VOOR DE PERIODE 1906-2014. DE GLADDE CURVES ZIJN HET RESULTAAT VAN EEN LOESS FIT (DEGREE =1, FAMILY=GAUSSIAN, SPAN=0.9). LET OP: HET AANTAL DAGEN >10 MM STAAT OP DE LINKER Y-AS, HET AANTAL DAGEN >20 EN >30 MM OP DE RECHTER Y-AS



De waargenomen lange-termijn verandering in de neerslag voor Nederland kan verschillende oorzaken hebben. Het meest voor de hand liggend is het effect van de door de mens veroorzaakte toename in broeikasgassen. De daaraan gekoppelde toename van de temperatuur van de lucht en het zeewater hebben een effect op de neerslag in Nederland. Daarnaast zijn er voor Nederland een aantal specifieke factoren die mogelijk ook een effect hebben gehad op de neerslag zoals inpoldering, verstedelijking, aanleg van bossen, diepe ontwatering, en veranderingen in de luchtkwaliteit. Ook daar zou je voor willen corrigeren. Op dit moment weten we echter niet precies of al deze effecten de neerslag in De Bilt beïnvloed hebben en hoe groot die afzonderlijke effecten dan zijn.

De natuurlijke variaties in de neerslag in het klimaat van nu worden vooral veroorzaakt door variaties in de atmosferische circulatie, waarvoor de NAO-index een belangrijke indicator is. Deze variaties hebben een tijdschaal van circa 5-20 jaar en willen we dus niet wegfilteren.

#### 4.2 WERKWIJZE DETRENDEN

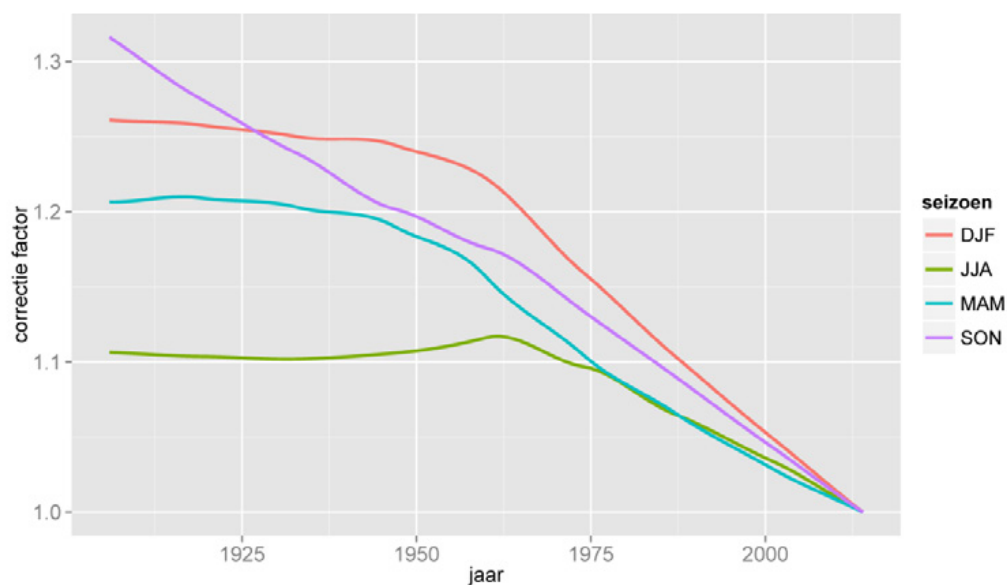
Hieronder beschrijven we een methode die de lange-termijn trend in de data zelf zo goed mogelijk volgt, zonder de natuurlijke variatie eruit te filteren. Daarbij worden dan impliciet alle genoemde oorzaken voor de lang-termijn trend meegenomen.

Voor het beschrijven van de lange-termijn trend in de voor de windfout gecorrigeerde neerslag van De Bilt is gebruik gemaakt van een Loess smoother (Cleveland, 1979). Bij deze aanpak wordt voor elk jaar de neerslag benaderd door een gewogen regressie door dat jaar en een vaste fractie van de totale data. Deze fractie wordt de span genoemd en omvat de punten die zich het dichtst bevinden bij het jaar waarvoor de neerslag benaderd wordt. Het gewicht neemt af met de afstand tot het betreffende jaar. De waarde van de span bepaalt in belangrijke mate de gladheid (smoothness) van de curve en de keuze is voor een belangrijk deel gebaseerd op expert-opinion.

Voordat we de neerslagreeks kunnen corrigeren voor de lange-termijn trend, is het van belang te weten in hoeverre correcties af kunnen hangen van de neerslaghoeveelheid. Hiertoe is met kwantielregressie gekeken hoe de trends per seizoen en per jaar verschillen voor verschillende kwantilen van de dagneerslag (0.5, 0.8, 0.9, 0.95, 0.99) en de gemiddelde dagneerslag. Uit deze vergelijking bleek dat er binnen een seizoen geen systematische verschillen zijn tussen de trend in de gemiddelde neerslag en de trend in de kwantilen en dat er dus geen aanleiding is om te differentiëren naar kwantilen. Wel zijn er verschillen in trends tussen de seizoenen. De correctie is daarom voor elk seizoen afgeleid voor de gemiddelde dagneerslag en vervolgens toegepast op alle dagen in dat seizoen. Daarbij is de reeks van de Bilt gecorrigeerd naar het jaar 2014 (klimaat rond 2014).

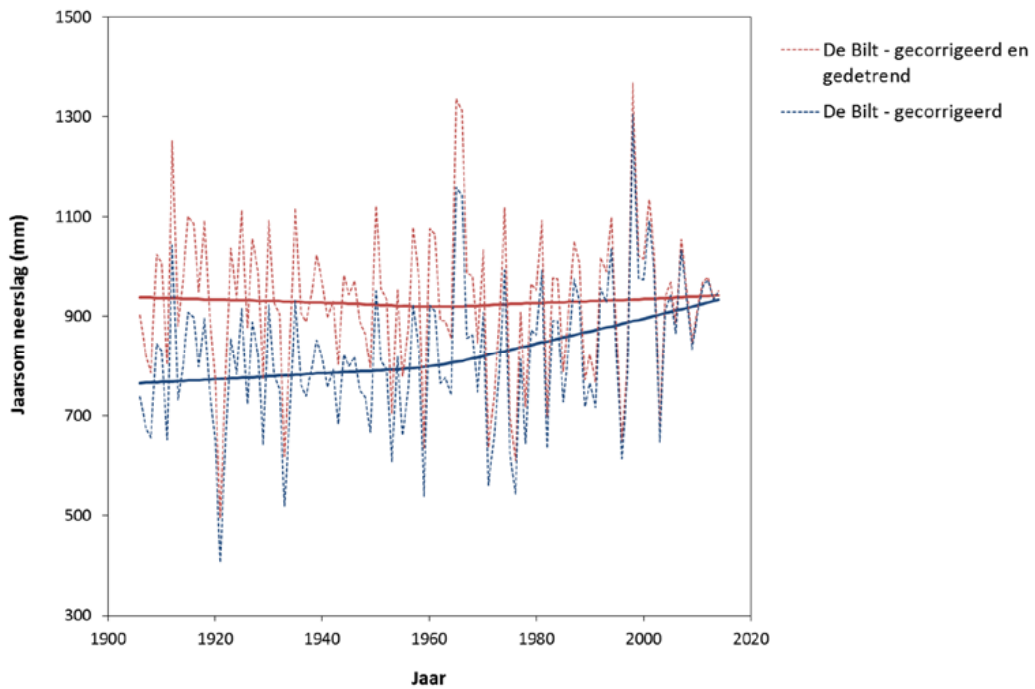
Figuur 4.3 geeft per seizoen de gevonden lange-termijn correcties voor De Bilt. De verschillen tussen de seizoenen zijn duidelijk zichtbaar. De lange-termijn trend in de zomer is het kleinst en begint pas rond 1970. De trend in de herfst is bijna lineair over de hele periode en geeft het grootste totale verschil over de 1906-2014 periode. De trend in de winter en de lente hebben een vergelijkbare vorm waarbij de veranderingen in de winter iets groter zijn dan die in de lente. In beide gevallen zet de trend in rond 1945. De jaarlijkse correctiefactoren per seizoen in Figuur 4.3 zijn gebruikt voor het corrigeren van alle neerslagen.

FIGUUR 4.3 TIJDSAFHANKELIJKE CORRECTIEFACTOREN VOOR DE DETRENDING VAN DE DAGNEERSLAG VAN DE BILT (1906-2014) PER SEIZOEN. DE REFERENTIE VOOR DE CORRECTIE IS "2014" WAARDOOR DE CORRECTIEFACTOREN VOOR 2014 GELIJK ZIJN AAN 1. DE CURVES ZIJN OP BASIS VAN EEN LOESS FIT (DEGREE =1, FAMILY=GAUSSIAN, SPAN=0.9) EN GEVEN DE FACTOREN WAARMEE DE DAGWAARDEN IN DE DE BILT REEKS VERMENIGVULDIGD ZIJN OM DE VOOR DE WINDFOOT GECORRIGEEERDE NEERSLAGREEKS VAN DE BILT TE DETRENDEN

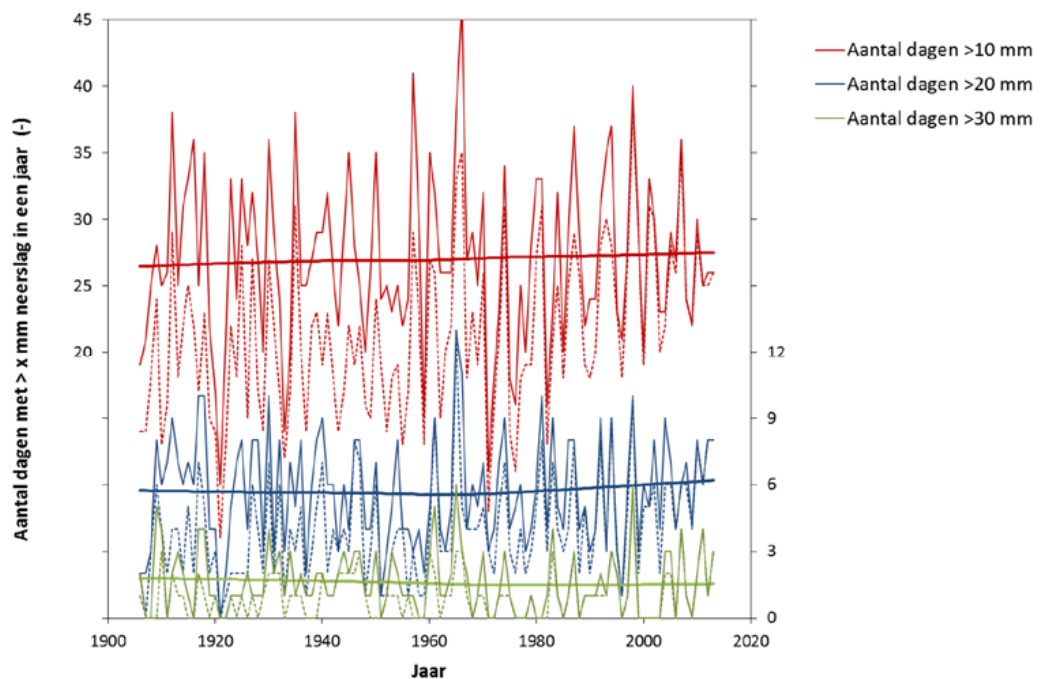


Figuur 4.4 vergelijkt de jaarsommen van de gedetrende gehomogeniseerde reeks met de oorspronkelijke reeks. Het effect van de detrending is duidelijk zichtbaar waarbij de verschillen groter worden naarmate we verder terug gaan in de tijd (zie ook Figuur 4.3). In Figuur 4.5 is het aantal dagen per jaar met hoge neerslag van de oorspronkelijke en gedetrende reeks weer gegeven. Ook hierin is te zien dat de trend uit de data is verwijderd, maar de natuurlijke variatie niet is verdwenen (vergelijk ook met Figuur 4.2).

FIGUUR 4.4 JAARSOMMEN VAN DE NEERSLAG IN DE BILT (1906-2014) VOOR DE GEHOMOGENISEERDE REEKS (GECORRIGEERD) EN DE BASISREEKS 2014 ((GECORRIGEERD EN GEDETREND). DE GLADDE CURVES ZIJN HET RESULTAAT VAN EEN LOESS FIT (DEGREE =1, FAMILY=GAUSSIAN, SPAN=0.9)

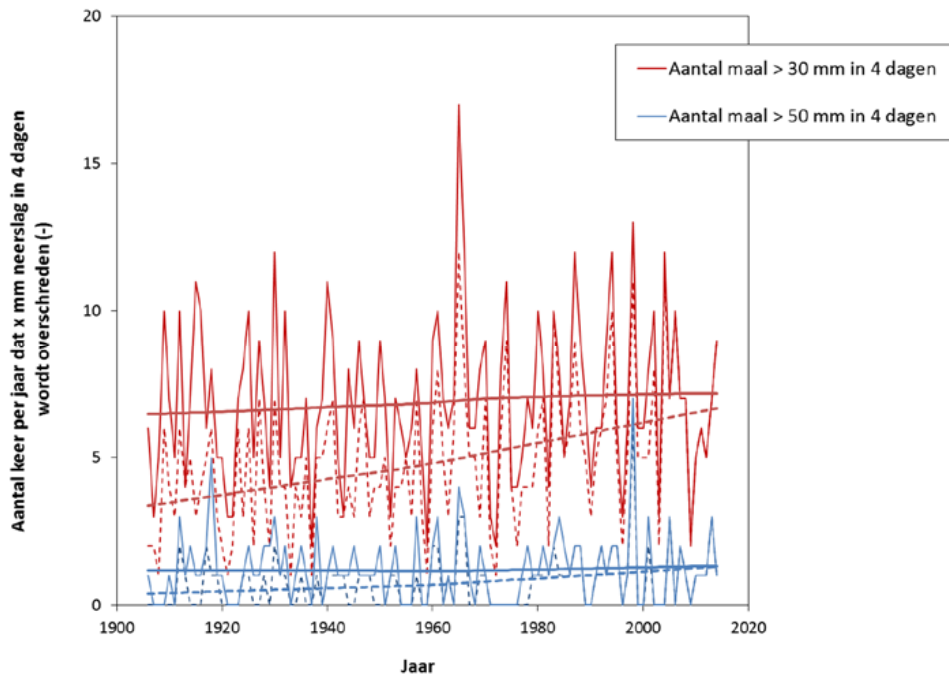


FIGUUR 4.5 HET AANTAL DAGEN MET Overschrijding VAN EEN NEERSLAGSOM IN DE BILT VOOR DE PERIODE 1906-2014. GESTIPPELDE LIJN VOOR DE GEHOMOGENISEERDE REEKS EN DOORGETROKKEN LIJN VOOR DE BASISREEKS 2014. HET AANTAL DAGEN >10 MM STAAT OP DE LINKER Y-AS, HET AANTAL DAGEN >20 EN >30 MM OP DE RECHTER Y-AS. DE GLADDE CURVES ZIJN HET RESULTAAT VAN EEN LOESS FIT (DEGREE =1, FAMILY=GAUSSIAN, SPAN=0.9)



Ter controle hebben we eenzelfde analyse uitgevoerd voor meerdaagse sommen en uursommen. Deze laten eenzelfde beeld zien als de dagsommen: de trend is voor andere duren ook effectief verminderd. Een voorbeeld daarvan voor een duur van 4 dagen is weergegeven in Figuur 4.6.

FIGUUR 4.6 HET AANTAL MAAL PER JAAR MET Overschrijding VAN EEN 4-DAAGSE NEERSLAGSOM IN DE BILT VOOR DE PERIODE 1906-2014. GESTIPPELDE LIJN VOOR DE GEHOMOGENISEERDE REEKS EN DOORGETROKKEN LIJN VOOR DE BASISREEKS 2014. DE GLADDE CURVES ZIJN HET RESULTAAT VAN EEN LOESS FIT (DEGREE =1, FAMILY=GAUSSIAN, SPAN=0.9)



#### 4.3 BESCHOUWING BASISREEKS 2014

Om de veranderingen ten gevolge van de detrending ten opzichte van de oorspronkelijke reeksen te illustreren beschrijven we in deze paragraaf enkele kenmerken van de reeksen en de verandering daarin.

In Tabel 4.1 is de neerslagsom per jaar en per seizoen van de gehomogeniseerde reeks en van de basisreeks 2014 opgenomen. Als de reeks die alleen voor de windfout is gehomogeniseerd wordt gebruikt voor langjarige berekeningen betekent dit dat de gemiddelde neerslag per jaar 13% lager wordt geschat dan in de basisreeks 2014 en daarmee lager dan in het huidige klimaat mag worden verwacht. Aan het begin van de reeks is de verandering groter dan aan het eind van de reeks (zie onder andere Figuur 4.4).

De onderschatting van de neerslagsommen in de niet gedetrende reeks kan bijvoorbeeld betekenen dat de aanvulling van het grondwater door neerslag in het huidige klimaat rond 2014 wordt onderschat. In watersystemen met een lang geheugen – over het algemeen vallen hieronder de grotere beeksystemen in Nederland – betekent dit dat extreme neerslaggebeurtenissen minder vaak tot een hoogwatersituatie leiden en dat de hoogwaters minder extreem zijn bij gebruik van de niet gedetrende reeks. Een deel van de neerslag van die neerslaggebeurtenissen wordt immers in de drogere bodem geborgen. Hoe groot de invloed van de verschillen in neerslagsommen is op statistieken van grondwaterstanden en hoogwaterstanden kan niet op voorhand worden gekwantificeerd omdat deze afhangt van onder andere de kenmerken van het watersysteem en de eventuele verandering in de verdamping (zie hoofdstuk 6).

Aanbevolen wordt om de basisneerslagreeks 2014 te gebruiken voor langjarige hydrologische modelberekeningen waarin het huidige klimaat zo goed mogelijk moet worden gerepresenteerd. Gebruik van de oorspronkelijke reeks, waarin een trend aanwezig is, raden we voor dat gebruik af.

TABEL 4.1 GEMIDDELDE NEERSLAGSOM PER JAAR EN PER SEIZOEN VOOR DE OORSPRONKELIJKE REEKS VAN DE BILT EN VOOR DE BASISREEKS 2014

	Neerslagsom (mm)		Toename (%)
	Oorspronkelijke reeks	Basisreeks 2014	
Jaar	819	929	13
Seizoen:			
Dec-Jan-Feb	201	235	17
Maa-Apr-Mei	162	183	13
Jun-Jul-Aug	230	249	8
Sep-Okt-Nov	225	261	16

Om een indruk te krijgen van de verandering in de extremen geven we in Tabel 4.2 het aantal dagen overschrijding van 10, 20 en 30 mm neerslag per jaar en per seizoen van de gehomogeniseerde reeks en van de basisreeks 2014 opgenomen. Hierin is te zien dat door het detrenden van de data het aantal dagen met veel neerslag relatief sterk toeneemt. Dit betekent dat extreme neerslaggebeurtenissen vaker voor komen en dus mogelijk ook vaker tot hoogwaters kunnen leiden.

TABEL 4.2 GEMIDDELDE NEERSLAGSOM PER JAAR EN PER SEIZOEN VOOR DE GEHOMOGENISEERDE REEKS VAN DE BILT EN VOOR DE BASISREEKS 2014

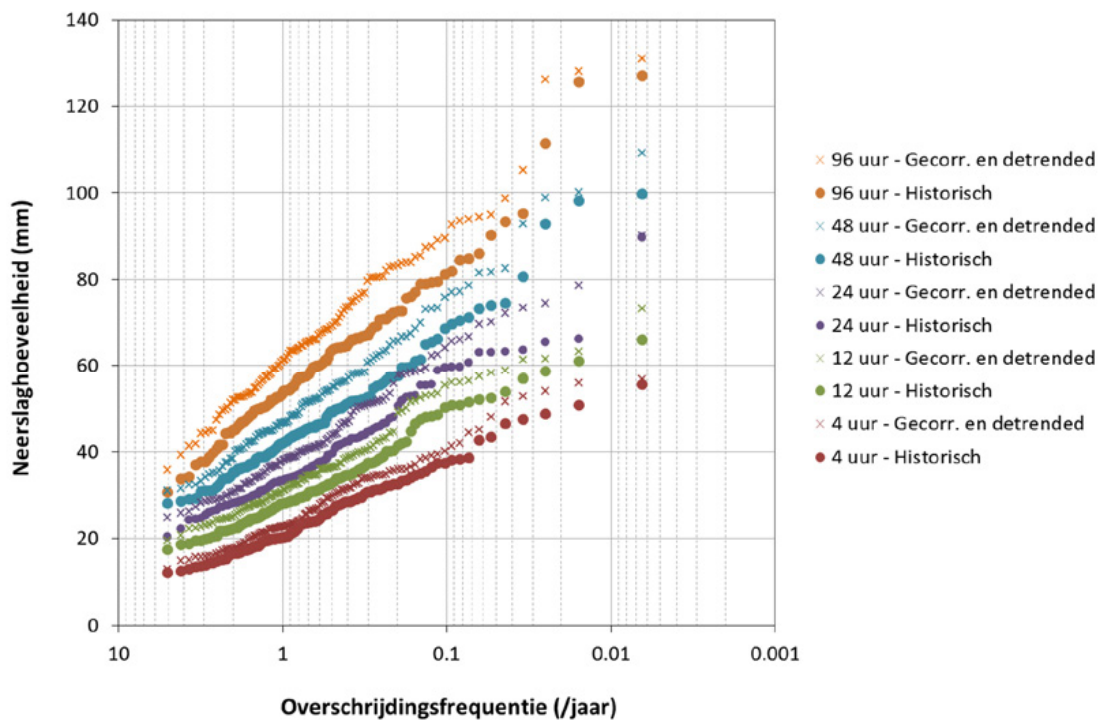
	Gemiddeld aantal dagen (-)		Toename (%)
	Gehomogeniseerde reeks	Basisreeks 2014	
Jaar:			
Aantal dagen > 10 mm	21.4	27.0	26
Aantal dagen > 20 mm	4.1	5.7	39
Aantal dagen > 30 mm	1.0	1.6	54
Seizoen, aantal dagen > 10 mm:			
Dec-Jan-Feb	4.7	6.4	38
Maa-Apr-Mei	3.4	4.6	34
Jun-Jul-Aug	6.8	7.7	13
Sep-Okt-Nov	6.5	8.3	28

Naast bovenstaande hebben we de jaarmaxima geanalyseerd voor enkele kenmerkende duren. In Figuur 4.7 zijn de jaarmaxima geïllustreerd. Jaarmaxima in de basisreeks 2014 zijn ongeveer 10 tot 15 % hoger dan in de oorspronkelijke reeks. Dit is een toename die globaal overeenkomt met een verdubbeling van de overschrijdingsfrequentie. Neerslaggebeurtenissen (of beter gezegd neerslagsommen) die in de oorspronkelijke reeks eens in de 20 jaar voorkwamen – oftewel ongeveer vijf keer in een honderdjarige reeks – komen in de basisreeks 2014 eens in de 10 jaar voor – oftewel ongeveer 10 keer in een honderdjarige reeks.

Ook voor de jaarmaxima geldt dat de oorspronkelijke reeks een onderschatting geeft van de extreme neerslaggebeurtenissen die in het huidige klimaat mogen worden verwacht. Voor uitgebreide informatie over de verandering in de extreme-waardenstatistiek verwijzen we naar deel 2 van deze rapportage.



FIGUUR 4.7 JAARMAXIMA VOOR DE OORSPRONKELIJKE REEKS (BOLLETJES, HISTORISCH) VAN DE BILT EN VOOR DE BASISREEKS 2014 (KRUISJES, GECORR. EN DETRENDED)



#### 4.4 DISCUSSIE

De methode die hier gebruikt is voor het detrenden van de reeks van De Bilt is ruw maar wel robuust. De bedoeling was de lange-termijn variatie er uit te filteren zonder de natuurlijke variatie te beïnvloeden. De smoothing methode lijkt daarin goed geslaagd. Er zijn verschillen tussen de correctiefactoren voor de verschillende seizoenen, waarbij met name de zomermaanden afwijken. Verdere detaillering is misschien mogelijk door per maand te werken en niet per seizoen. Dit zou nader onderzocht moeten worden, met name om te toetsen of de natuurlijke variatie in de seizoensommen niet te groot is om een voldoende betrouwbare smoothing te krijgen.

Bij het vergelijken van trends voor verschillende percentielen is niet gekeken naar extremere percentielen dan 0.99. Het is mogelijk dat trends in extremere percentielen toch afwijken van die in minder extreme percentielen. Door het beperkt aantal waarnemingen in deze extreme percentielen om een trend op te baseren, kunnen we daar echter geen definitieve uitspraken over doen.

Bij de analyses voor het detrenden is alleen gekeken naar trends in percentielen van dagwaarden, niet naar trends in meerdaagse neerslagextremen en uurlijkse extremen. De trends in meerdaagse waarden en uurwaarden kunnen afwijken van die in dagelijkse extremen. Analyse van die extremen (waarvan een voorbeeld opgenomen in Figuur 4.6) laat echter zien dat dat niet het geval is.

Er is opgemerkt dat de lange-termijn trend in de neerslag ook beïnvloed kan zijn door factoren als inpoldering, verstedelijking, aanleg van bossen, diepe ontwatering en veranderingen in de luchtkwaliteit. Op dit moment weten we echter niet precies hoe groot die effecten zijn, maar met modelsimulaties is daar mogelijk wel iets over te zeggen. Het detrenden geeft daarmee het gecombineerde effect van alle mogelijke factoren op de neerslag weer.



Er zijn twee alternatieven bekeken voor de hierboven beschreven aanpak. De eerste is een aanpak waarbij de trend in de neerslag tot ongeveer 1980 verwaarloosbaar gesteld wordt, met daarna een lineaire toename in de neerslag. De aanname daarbij is dat de gevolgen van het broeikaseffect pas zichtbaar worden vanaf 1980. Het nadeel van deze methode is dat een breuk rond 1980 niet direct volgt uit de data zelf. In Figuur 4.3 zagen we al dat het moment van de trendbreuk verschilde per seizoen en dat er voor de herfst een continue trend was voor de hele 1906-2014 periode. De aanpak gaat er ook aan voorbij dat er naast het versterkte broeikaseffect mogelijk ook andere factoren bijdragen aan de lange-termijn trend.

Bij het tweede alternatief is de (gesmoothte) wereldgemiddelde temperatuur gebruikt als verklarende variabele voor de langjarige trend in de neerslag. Deze methode gaat ervan uit dat de verandering in de wereldgemiddelde temperatuur leidend is voor de verandering in de neerslag in Nederland. In eerdere analyses voor de KNMI klimaatscenario's bleek dat de stijging in de wereldgemiddelde temperatuur maar een klein deel van de verandering in de neerslag in Nederland kon verklaren. Regionale verschillen zorgen in dit geval voor grote afwijkingen.

# 5

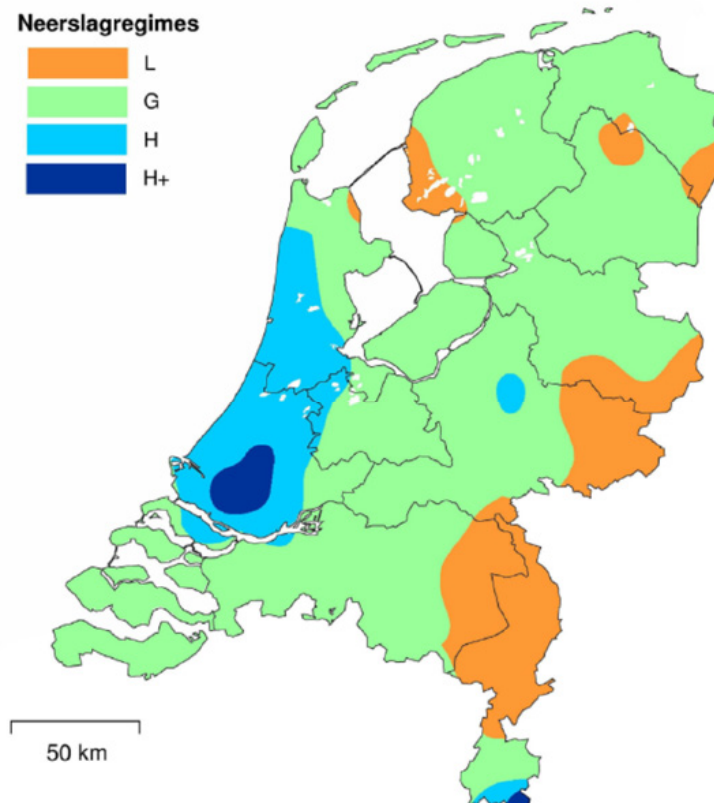
## REGIONALISEREN BASISNEERSLAGREEKS

### 2014

#### 5.1 AANPAK

In Buishand et al. (2009) is beschreven dat de statistiek van extreme neerslag in Nederland in vier neerslagregimes kan worden gekarakteriseerd (zie Figuur 5.1). De neerslagregimes geven de verschillen in extreme waarden statistiek van neerslag over Nederland weer.

FIGUUR 5.1 VIER TE ONDERSCHIEDEN NEERSLAGREGIMES L, G, H EN H+ MET ELK EEN EIGEN EXTREME WAARDEN STATISTIEK (BRON: BUISHAND ET AL., 2009)



Per regime is in Buishand et al. (2009) een factor voor de statistiek gegeven, aangeduid als de relatieve locatieparameter. Deze factoren zijn afgeleid op basis van daggegevens en daarmee niet direct bruikbaar voor duren korter dan één dag. In onderzoek van het KNMI is daarnaast aangetoond dat de statistiek van neerslag voor de korte duren (korter dan orde 12 tot 24 uur) over de regio's in tegenstelling tot de statistiek voor de lange duren niet verschilt (onder andere Overeem (2009)). We regionaliseren dan ook enkel de statistiek en gebeurtenissen in neerslagreeksen voor duren gelijk aan en langer dan 24 uur.

De factoren voor de neerslagregimes L, G, H en H+ zijn weergegeven als 'regimegemiddelde' in Tabel 5.1.

TABEL 5.1 FACTOREN VOOR DE AANPASSING VAN DE NEERSLAG PER REGIME (BRON: BUISHAND ET AL., 2009)

Regime	$\hat{\xi}_{rel}$	regimegemiddelde
L	< 0.95	0.93
G	0.95 ... 1.05	1.00
H	1.05 ... 1.10	1.08
H+	$\geq 1.10$	1.14

Omdat we geïnteresseerd zijn in de extremen hebben we in de basisreeks 2014 enkel de extremen aangepast aan de regionale statistiek. Alleen de neerslag die eens per jaar of minder vaak voorkomt is aangepast. Hiermee voorkomen we dat ook de jaarsommen van de neerslag met eenzelfde factor toenemen. In onderzoek van het KNMI is daarnaast aangetoond dat de statistiek van neerslag voor de korte duren (korter dan 12 tot 24 uur) over de regio's in tegenstelling tot de statistiek voor de lange duren niet verschilt (onder andere Overeem (2009)). We passen de correctie daarom zo aan dat gebeurtenissen met maatgevende hoeveelheden korter dan 24 uur niet worden geregionaliseerd.

De aanpassing aan de basisneerslagreeks 2014 is als volgt uitgevoerd:

- a. We lopen met een venster van 24 uur tot 9 dagen, met stappen van 1 uur, door de neerslagreeks en bepalen voor elke duur of het volume binnen het venster eens per jaar of minder vaak voorkomt volgens de statistiek van extreme neerslag. Voor de statistiek is gebruik gemaakt van de in deel 2 van dit onderzoek beschreven afleiding van de extreme-waarden statistiek.  
Als het volume in een venster eens per jaar of minder vaak voorkomt onthouden we dat al die uren binnen dat venster moeten worden aangepast. Voor elk uur in de reeks is zo bekend of de uurwaarde moet worden aangepast of niet.
- b. Voor de uren die moeten worden aangepast zoals vastgesteld in a. vermenigvuldigen we de neerslag met de betreffende regimefactor. Er ontstaan zo vier reeksen: L, G, H en H+.

Door deze wijze van aanpassen van de extremen verandert ook de jaarneerslag. Controle van de data levert dat de jaarneerslag bij H+ toeneemt met ongeveer 2.5%. Omdat dit veel kleiner is dan de eventuele ruimtelijke verschillen in de jaarneerslag over Nederland achten wij dit verschil toelaatbaar.

## 5.2 DISCUSSIE

### REGIONALISATIE OOK GELDIG VOOR SEIZOENEN?

De in dit hoofdstuk gebruikte factoren zijn afgeleid voor de jaarmaxima. Het is de vraag of deze ook zondermeer voor de seizoensmaxima toegepast kunnen worden. De ruimtelijke verdeling zal naar verwachting met name geldig zijn voor de periode mei tot en met oktober omdat de neerslag in die maanden de statistiek op jaarbasis domineert. Voor het overige deel van het jaar is het de vraag of de factoren representatief zijn.

### “KUSTEFFECT” IN DE REGIONALISATIE?

Daarnaast merken we op dat een deel van het kusteffect is gerepresenteerd in de toename in de extremen (H en H+). Een ander deel van het kusteffect, namelijk een gemiddeld hogere neerslag in het najaar, is niet gerepresenteerd in de reeksen.

### GEEN REGIONALISATIE VOOR DE KORTE NEERSLAGDUREN?

Daarnaast merken we op dat bij het aanpassen van de reeksen weliswaar enkel de gebeurtenissen aangepast worden die een herhalingstijd hebben van minder vaak dan eens per jaar voor een duur gelijk aan of langer dan 24 uur, maar dat wel elk uur binnen die gebeurtenis met de regimefactor wordt vermenigvuldigd. Dit betekent dat ook de kortere uren binnen die gebeurtenissen (en mogelijk ook de extremen in de korte uren) worden aangepast. Uit analyse blijkt dat dit ook daadwerkelijk optreedt. Dit is ook te verwachten, want vaak kennen de meest extreme gebeurtenissen voor bijvoorbeeld 24 uur ook een extreme neerslag binnen 12 uur. Het gevolg hiervan is dat ook voor de kortere uren de extremen toenemen. De toename daarin ligt vooral in het extreme bereik met herhalingstijden van 10 tot 100 jaar. Bij een herhalingstijd van 1 jaar is er nog nauwelijks toename door de regionalisatie. De invloed in de reeksen neemt dus toe bij hogere herhalingstijden.

Dit is niet het exact op voorhand beoogde resultaat en er kunnen ook aanvullende correcties worden uitgevoerd. Uit de genoemde literatuur blijkt echter dat de regionale spreiding gebaseerd is op de (relatieve) locatieparameter van de extreme-waarden verdeling, oftewel op de neerslag die ongeveer eens per jaar wordt overschreden. Deze waarde is wél op een juiste manier verwerkt in de regionalisatie van de reeksen. Uit de literatuur is niet te concluderen of de hogere herhalingstijden bij de kortere uren wel of niet regionale verschillen kennen. Voordat aanvullende correcties op de reeksen worden uitgevoerd – die mogelijk onterecht zijn - adviseren wij daarom eerst te onderzoeken hoe de regionale spreiding moet worden gekwantificeerd over het gehele bereik aan herhalingstijden.

Geadviseerd wordt bovenstaande aspecten te onderzoeken en zo mogelijk te verwerken in de reeksen. Vooral nog zijn de aanpassingen die we nu hebben uitgevoerd een verbetering ten opzichte van de eerdere reeksen in Meteobase. We adviseren daarom de reeksen te gebruiken totdat nieuwe inzichten tot gewenste aanpassingen leiden.

# 6

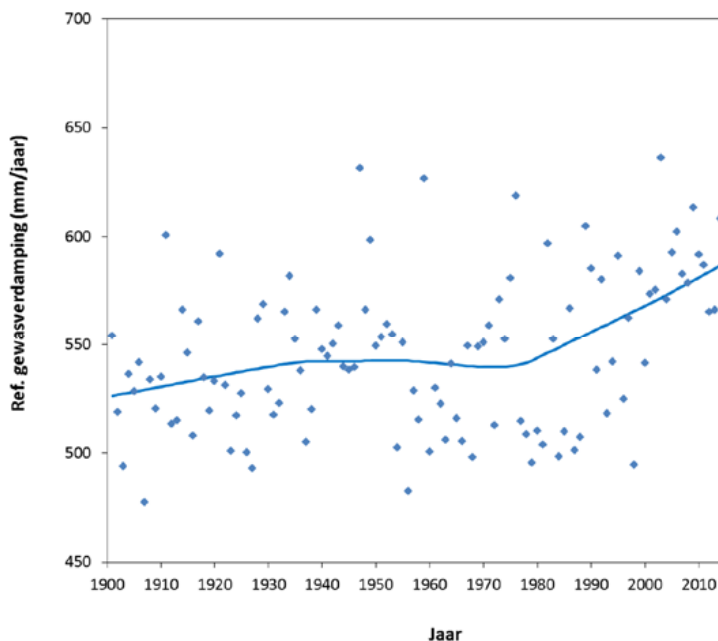
## DE TRENDEN VERDAMPINGSREEKS

### 6.1 INLEIDING

Voor toepassingen in het waterbeheer is het gewenst om naast de lange neerslagreeks van De Bilt (zie hoofdstuk 3 en 4) te beschikken over een verdampingsreeks die representatief is voor het klimaat van nu. Dit betekent dat ook voor de verdamping eventuele lange-termijn veranderingen in de periode 1906-2014 eruit gefilterd zijn maar dat de natuurlijke variaties aanwezig blijven.

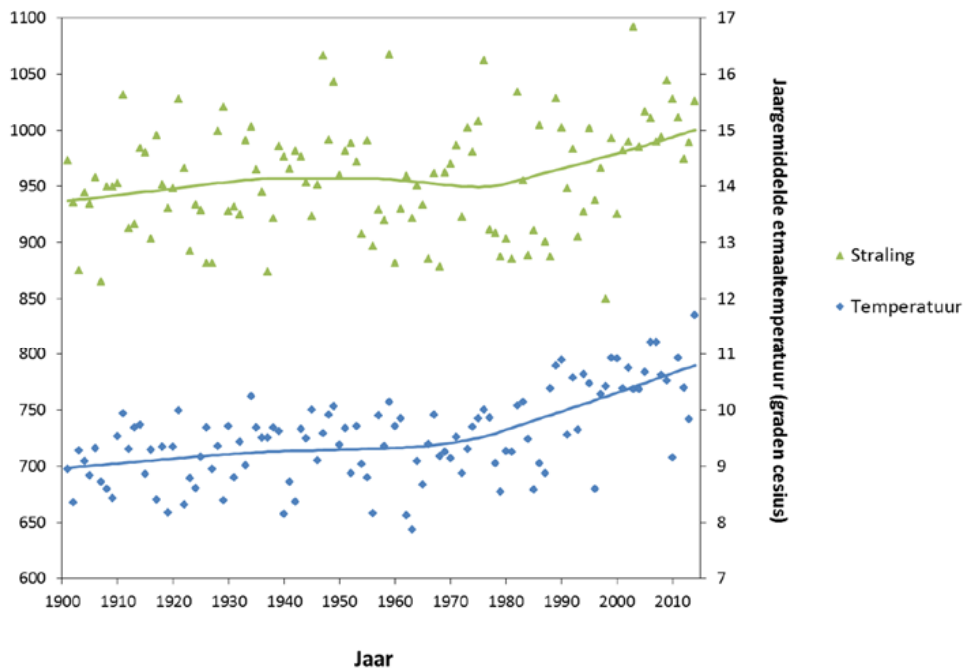
We hebben daartoe gekeken naar de jaarlijkse referentiegewasverdamping (Makkink). Het resultaat van de analyse naar een eventuele trend is geïllustreerd in Figuur 6.1. Er is een trend aanwezig in de verdampingsreeks. Deze trend lijkt als we naar de jaarlijkse sommen kijken een plotselinge verhoging in de verdampingsreeks rond 2000 te zijn in plaats van een geleidelijke verandering zoals de loess-fit laat zien. Van 2000 tot en met 2014 is de referentiegewasverdamping in alle jaren hoger dan 550 mm. In de jaren 1900 tot 2000 komen veelvuldig jaren voor met minder dan 550 mm referentiegewasverdamping (met overigens in 1939 tot 1952 ook een langere periode met systematisch hogere referentiegewasverdamping). Verder valt de knik in de loess-fit rond ongeveer 1975-1980 op. Als we kijken naar de variabelen waaruit de referentieverdamping volgens Makkink wordt berekend - de straling en de gemiddelde etmaaltemperatuur - is er een meer gelijkmatige trend te ontdekken, waarbij ook bij deze variabelen een knik rond 1975-1980 te zien is. Dit is weergegeven in Figuur 6.2. Hierbij merken we op dat er voor de Loess fit een kleinere span is gekozen dan bij de neerslag. Reden hiervoor is de kleinere natuurlijke variatie in temperatuur en straling, waardoor deze al bij een kleinere span wordt weggesmooth.

FIGUUR 6.1 LANGE-TERMIJN TREND IN DE JAARSOMMEN VAN DE REFERENTIEVERDAMPING VOLGENS MAKKINK IN DE BILT VOOR DE PERIODE 1901-2014. DE GLADDE CURVE IS HET RESULTAAT VAN EEN LOESS FIT (DEGREE =1, FAMILY=GAUSSIAN, SPAN=2/3)



FIGUUR 6.2

LANGE-TERMIJN TREND IN DE JAARGEMIDDELLEN VAN DE STRALING EN ETMAALGEMIDDELDE TEMPERATUUR IN DE BILT VOOR DE PERIODE 1901-2014. DE GLADDE CURVE IS HET RESULTAAT VAN EEN LOESS FIT (DEGREE =1, FAMILY=GAUSSIAN, SPAN=2/3)



## 6.2 WERKWIJZE DETRENDING

De werkwijze voor detrending van de verdampingsreeks is eenzelfde als bij de neerslag (zie hoofdstuk 4). De methode volgt de lange-termijn trend in de data zelf zo goed mogelijk, zonder de natuurlijke variatie eruit te filteren. Bij de verdamping wordt echter niet direct de verdamping gedetrend maar de onderliggende data van de Makkink referentiegewasverdamping: de globale straling en de etmaalgemiddelde temperatuur. Bij de aanpak wordt voor elk jaar de globale straling en de etmaalgemiddelde temperatuur benaderd door een Loess smother (zie voor een toelichting paragraaf 4.2).

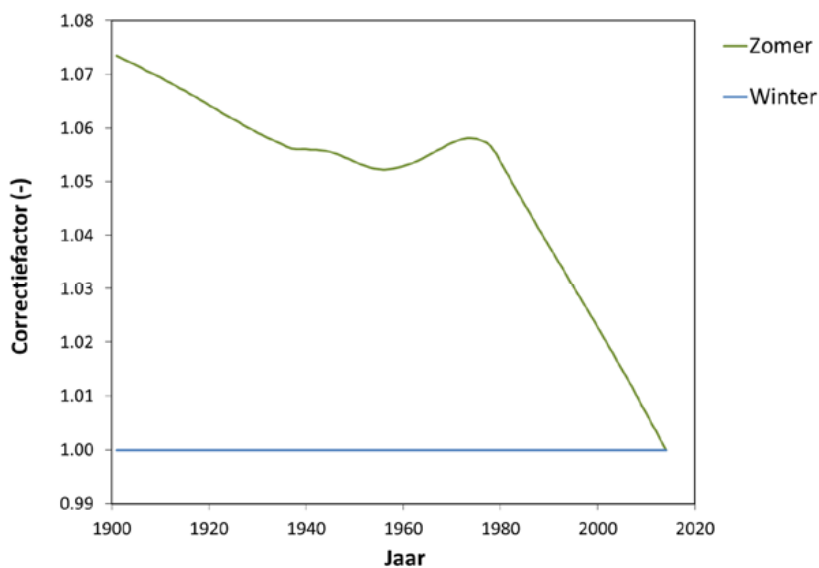
Voordat we de stralingsreeks en temperatuurreeks kunnen corrigeren voor de lange-termijn trend, is het van belang te weten in hoeverre correcties af kunnen hangen van de hoeveelheid straling en de hoogte van de temperatuur. Hiertoe is met kwantielregressie gekeken hoe de trends per seizoen (DJF, MAM, JJA, SON) en per jaar verschillen voor verschillende kwantilen van de straling en temperatuur en het gemiddelde. Omdat we voor de verdamping niet zijn geïnteresseerd in de dagelijkse extremen maar in het gehele bereik hebben we kwantilen over het gehele bereik gekozen, te weten: 0.1, 0.25, 0.5, 0.75 en 0.9. Uit de vergelijking blijkt dat er binnen een seizoen geen systematische verschillen zijn tussen de trend in de gemiddelden en de trend in de kwantilen en dat er dus geen aanleiding is om te differentiëren naar kwantilen. Wel zijn er verschillen in trends tussen de seizoenen.

Uit nadere analyse van de seizoensmatige verschillen kwam naar voren dat de straling enkel in het zomerhalfjaar (april-september) een trend kent. De straling in het winterhalfjaar (oktober-maart) kent geen trend. De trend in de temperatuur laat een beperkt verschil zien tussen de seizoenen. In tegenstelling tot de detrending van de neerslag hebben we er daarom voor gekozen om detrending te bepalen op basis van het winterhalfjaar en zomerhalfjaar in plaats van de vier eerder genoemde seizoenen. Het voordeel hiervan is dat de detrending gebaseerd wordt op een grotere dataset (de seizoenen zijn immers samengenomen, waardoor per jaar tweemaal zoveel data beschikbaar is voor het bepalen van de halfjaargemiddelden). Hierdoor hebben we bij de detrending minder last van de natuurlijke variabiliteit in de data.

De correctie is voor elk halfjaar afgeleid voor de globale straling en etmaalgemiddelde temperatuur en vervolgens toegepast op alle dagen in dat halfjaar. Voor de straling is de trend in het winterhalfjaar op nul gesteld omdat een trend afwezig is. Vervolgens zijn de gedetrende straling en temperatuur weer omgerekend naar referentiegewasverdamping volgens Makkink. Daarmee is de verdampingsreeks van de Bilt gecorrigeerd naar het jaar 2014 (basisverdampingsreeks 2014).

Figuur 6.3 en Figuur 6.4 geven per halfjaar de gevonden lange-termijn correcties voor De Bilt voor respectievelijk de straling en temperatuur. Daarbij merken we op dat de temperatuurverandering is uitgedrukt als absolute waarde. Bij straling versnelt de trend in de zomer sterk vanaf ongeveer 1970, bij temperatuur in de winter is dat vanaf ongeveer 1950-1960, voor temperatuur in de zomer is er over de hele periode een trend zichtbaar met uitzondering van de periode 1940-1970, waar de trend lijkt te stagneren. De trends in temperatuur en straling hebben in de zomer een vergelijkbare vorm, wat op zich logisch lijkt omdat hoge temperaturen en een lange zonneschijnduur gecorreleerd zijn. De correcties per halfjaar in Figuur 6.3 en Figuur 6.4 zijn gebruikt voor het corrigeren van alle stralings- en temperatuurwaarden.

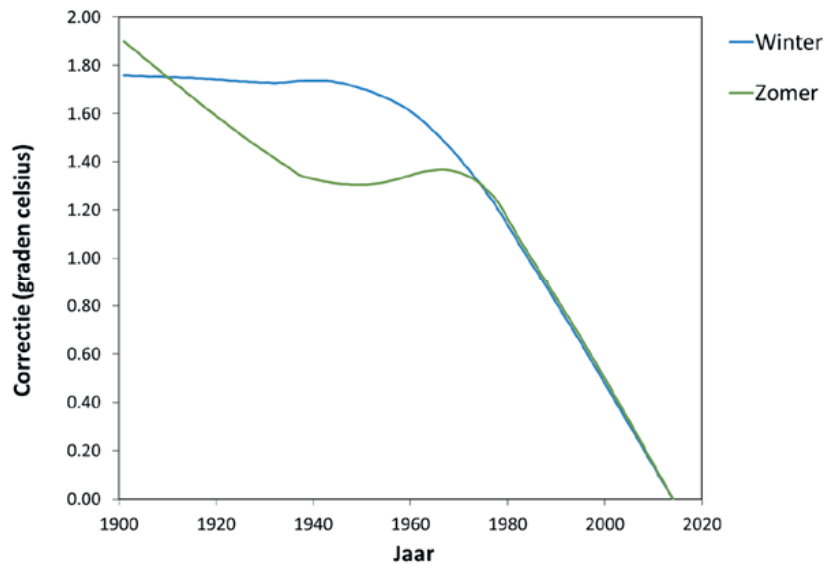
**FIGUUR 6.3** TIJDSAFHANKELIJKE CORRECTIEFACTOR VOOR DE DETRENDING VAN DE STRALING TE DE BILT (1901-2014) PER HALFJAAR (ONDJFM EN AMJJAS). DE REFERENTIE VOOR DE CORRECTIE IS IS "2014" WAARDOOR DE CORRECTIE FACTOR VOOR 2014 GELIJK IS AAN 1. DE CURVES ZIJN OP BASIS VAN EEN LOESS FIT (DEGREE =1, FAMILY=GAUSSIAN, SPAN=2/3) EN GEVEN DE FACTOREN WAARMEE DE DAGWAARDEN IN DE DE BILT REEKS VERMENIGVULDIGD ZIJN OM DE STRALINGSREEKS VAN DE BILT TE DETRENDEN



Voor de straling merken we hier op dat we bij de correctie rekening hebben gehouden met de maximaal mogelijke kortgolvlige straling aan het aardoppervlak op een dag. Als de dagwaarde van de straling na detrending groter wordt dan 0.77 maal de kortgolvlige straling aan de top van de atmosfeer op die dag maximeren we deze op dat maximum. Reden hiervoor is dat anders onrealistisch hoge stralingswaarden in de reeks kunnen voorkomen. Een dergelijke benadering wordt ook gebruikt in de transformatie die wordt toegepast om de straling te vertalen naar de toekomst. In het transformatieprogramma is echter een factor 0.75 gebruikt om de straling aan het aardoppervlak te maximeren. Bij die factor zou in de niet-gedetrende reeks ook een aantal dagen 'gekort' worden op de verdamping, hoewel die globale straling wel degelijk is gemeten. Om te voorkomen dat stralingshoeveelheden die daadwerkelijk in Nederland gemeten zijn worden gereduceerd kiezen we daarom voor een factor 0.77. Hierbij merken we op dat deze factor uiteindelijk maar een beperkte invloed heeft op de uiteindelijke referentiegewasverdamping.

FIGUUR 6.4

TIJDSAFHANKELIJKE TEMPERATUUR CORRECTIE (IN °C) VOOR DE DETRENDING VAN DE GEMIDDELTE ETMAALTEMPERatuur VAN DE BILT (1901-2014) PER HALFJAAR. DE REFERENTIE VOOR DE CORRECTIE IS "2014" WAARDOOR DE TEMPERATUUR CORRECTIE VOOR 2014 GELIJK IS AAN 0 °C. DE CURVES ZIJN OP BASIS VAN EEN LOESS FIT (DEGREE =1, FAMILY=GAUSSIAN, SPAN=2/3) EN GEVEN DE WAARDEN DIE BIJ DE DAGWAARDEN IN DE DE BILT REEKS ZIJN OPGETELD OM DE TEMPERATUURREEKS VAN DE BILT TE DETRENDEN



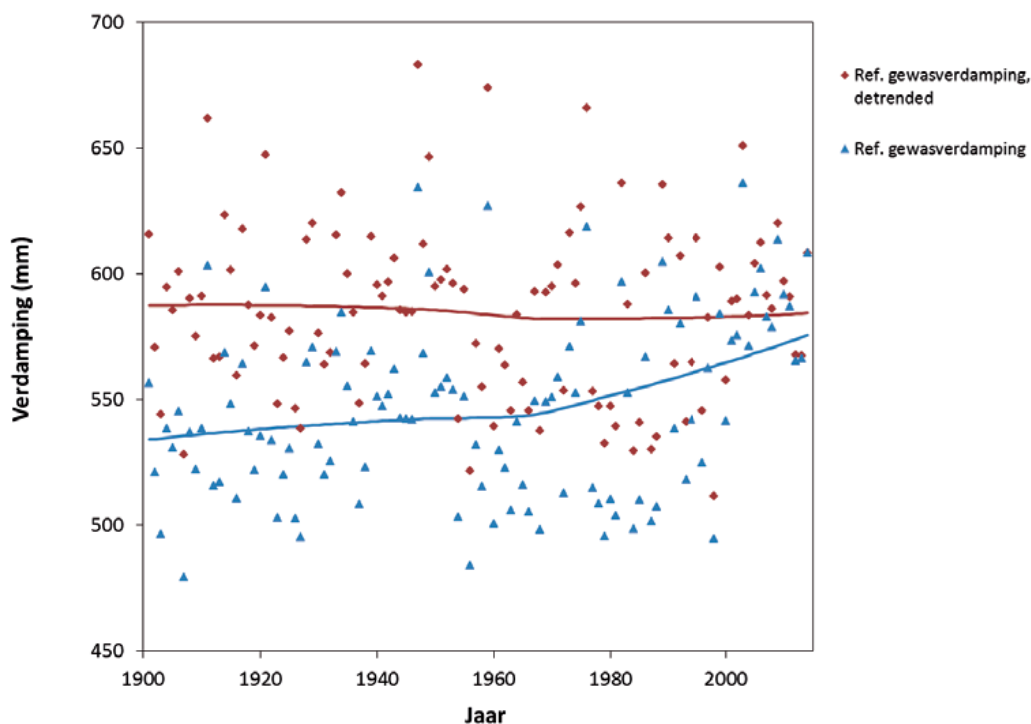
### 6.3 BESCHOUWING BASISVERDAMPINGSREEKS 2014

Om de veranderingen ten gevolge van detrending ten opzichte van de oorspronkelijke reeks te illustreren beschrijven we in deze paragraaf enkele kenmerken van de reeksen en de verandering daarin.

Figuur 6.5 vergelijkt de jaarsommen van de basisreeks 2014 met de oorspronkelijke reeks. Het effect van detrending is duidelijk zichtbaar waarbij de verschillen groter worden naarmate we verder terug gaan in de tijd (zie ook Figuur 6.3 en Figuur 6.4). In het begin van de reeks is het verschil ongeveer 50 mm per jaar.

FIGUUR 6.5

JAARSOMMEN VAN DE REFERENTIEGASVERDAMPING IN DE BILT (1906-2014) VOOR DE OORSPRONKELIJKE REEKS EN DE BASISREEKS 2014. DE GLADDE CURVES ZIJN HET RESULTAAT VAN EEN LOESS FIT (DEGREE =1, FAMILY=GAUSSIAN, SPAN=2/3)





In Tabel 6.1 is de totale referentiegewasverdamping per jaar en per halfjaar van de oorspronkelijke reeks en van de basisreeks 2014 opgenomen. Als de oorspronkelijke reeks wordt gebruikt voor langjarige berekeningen betekent dit dat de gemiddelde referentiegewasverdamping per jaar 7% lager wordt geschat dan in het huidige klimaat mag worden verwacht. Aan het begin van de reeks is de onderschatting ongeveer 10%, dat is iets groter dan de gemiddelde onderschatting (zie onder andere Figuur 6.5).

In het zomerhalfjaar is de verandering in de referentiegewasverdamping van circa 35 mm in dezelfde orde van grootte als de verandering in de neerslag (maart-augustus: 40 mm). Dit betekent dat de door detrending geïntroduceerde toename van de neerslag in de zomerperiode gemiddeld genomen teniet wordt gedaan door de toename van de verdamping. Als het klimaat rond of na 2014 in hydrologische berekeningen moet worden gerepresenteerd wordt aangeraden om de basisreeks 2014 te gebruiken. Gebruik van de oorspronkelijke reeks, waarin een trend aanwezig is, raden we dan af.

TABEL 6.1

GEMIDDELTE REFERENTIEGEGEWASVERDAMPINGSOM PER JAAR EN PER SEIZOEN VOOR DE OORSPRONKELIJKE REEKS VAN DE BILT EN VOOR DE BASISREEKS 2014 (DE GEDETRENDE REEKS).

	Verdamping (mm)		Toename (%)
	Oorspronkelijke reeks	Basisreeks 2014	
Jaar	547	585	7
Seizoen:			
Winterhalfjaar	101	105	4
Zomerhalfjaar	445	479	8

Naast bovenstaande hebben we ter illustratie de verandering in het maximale potentiële neerslagtekort per jaar ten gevolge van de detrending beknopt geanalyseerd. Hiertoe hebben we per jaar vanaf 1 april de dagelijkse neerslag minus verdamping gecumuleerd en per jaar het minimum van de cumulatie bepaald (ofwel het maximale neerslagtekort per jaar)<sup>2</sup>. Dit hebben we gedaan voor zowel 1) de oorspronkelijke neerslag- en verdampingsreeks als 2) de basis neerslag- en verdampingsreeks 2014 (gedetrend).

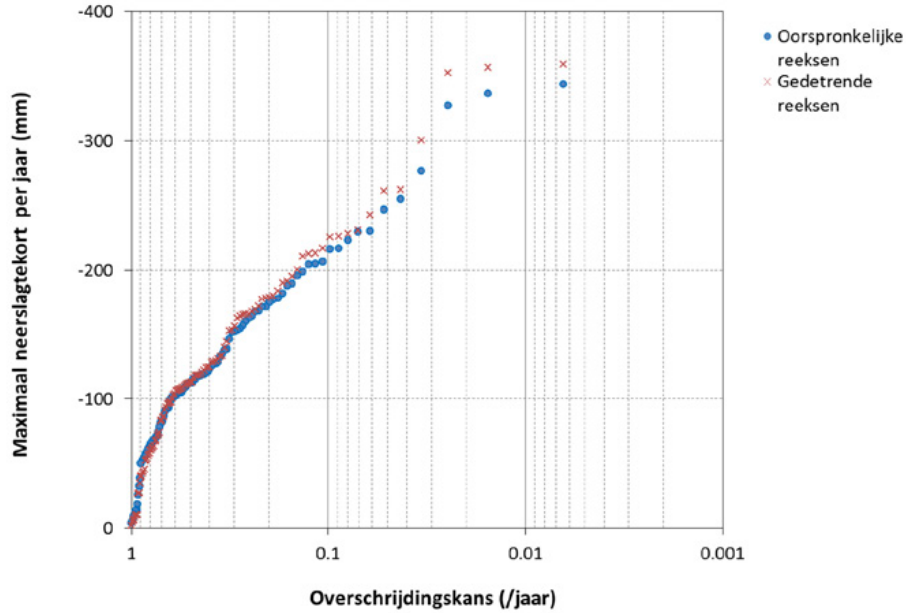
In Figuur 4.7 zijn de jaarlijkse maximale potentiële neerslagtekorten geïllustreerd. Tot eens in de vijf jaar veranderen de maximale neerslagtekorten niet of nauwelijks. Het effect van de detrending is dusdanig dat pas bij meer extreem droge jaren de toename in de verdamping zichtbaar groter is dan de toename in de neerslag. Neerslagtekorten in de zomer zijn in die extremen ongeveer 5% en 20 mm hoger bij de basisreeksen 2014 ten opzichte van de oorspronkelijke reeksen.

Als gekeken wordt naar de gemiddelden van neerslag en verdamping zou kunnen worden beredeneerd dat de tekorten bij de basisreeksen juist kleiner zouden moeten zijn omdat de neerslag in de zomer gemiddeld meer toeneemt (+40 mm) dan de verdamping (+34 mm). In de droge jaren is de verdamping hoger, maar de hoogte van neerslagtekorten in de droge jaren wordt ook bepaald door de beperkte hoeveelheid neerslag. In de droge jaren neemt de neerslag dan ook niet toe met het gemiddelde van 40 mm, maar is de toename ruim minder dan 40 mm (de toename is immers een factor). In bijvoorbeeld het droge jaar 1976 neemt de neerslag maar toe met 14 mm. De verdamping in dat jaar neemt juist iets meer toe dan gemiddeld, namelijk met 39 mm. In de droge jaren neemt het neerslagtekort daarom toe.

2 Hier is een iets andere methode gebruikt dan bij het KNMI neerslagtekort: hier wordt het neerslagtekort niet op nul gezet als deze 'negatief' zou worden.

Hierbij merken we op dat het maximale neerslagtekort alleen een globale indicator is, maar niet alles zegt over de impact op de hydrologie en bijvoorbeeld vochttekorten. Daarvoor is immers ook de timing van de toename in neerslag en de toename in verdamping van belang.

FIGUUR 6.6 JAARLIJKE MAXIMALE POTENTIELE NEERSLAGTEKORTEN VOOR DE OORSPRONKELIJKE REEKS (BOLLETJES) VAN DE BILT EN VOOR DE BASISREEKS 2014 (KRUISJES, GEDETREND)



## 7

## REEKSEN VOOR KNMI'14 SCENARIO'S

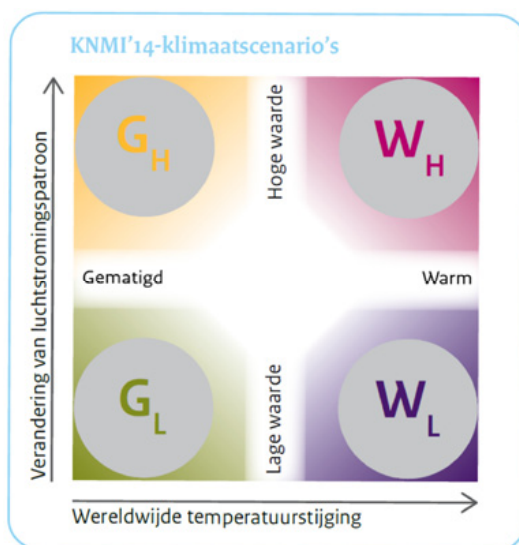
## 7.1 INLEIDING

Voor het genereren van tijdreeksen voor de toekomst is gebruik gemaakt van de KNMI'14 klimaatscenario's (KNMI, 2015<sup>3</sup> en KNMI, 2014) en het bijbehorende transformatieprogramma (Bakker & Bessembinder, 2012; Bakker, 2015). Klimaatscenario's zijn aannemelijke en samenhangende beelden van het toekomstige klimaat, opgesteld om de mogelijke gevolgen van klimaatverandering te onderzoeken (KNMI, 2015 en KNMI, 2014).

De KNMI'14-scenario's zijn de vier combinaties van twee uiteenlopende waarden voor de wereldwijde temperatuurstijging, 'Gematigd' en 'Warm', en twee mogelijke veranderingen van het luchtstromingspatroon, 'Lage waarde' en 'Hoge waarde'. Samen beschrijven ze de hoekpunten waarbinnen de klimaatverandering in Nederland zich, volgens de nieuwste inzichten, waarschijnlijk zal voltrekken. Met deze KNMI'14-scenario's biedt het KNMI een leidraad voor berekeningen van de gevolgen van klimaatverandering en voor het ontwikkelen van mogelijkheden en strategieën voor adaptatie. Ze stellen gebruikers in staat om klimaatverandering te betrekken bij het nemen van besluiten voor een veilig en duurzaam Nederland in de toekomst (KNMI, 2015 en KNMI, 2014).

In de onderstaande figuur is een schematische weergave gegeven van deze KNMI'14 klimaatscenario's. Meer informatie over de KNMI'14 klimaatscenario's is te vinden via [www.klimaat-scenarios.nl](http://www.klimaat-scenarios.nl).

FIGUUR 7.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE KNMI'14 KLIMAATSCENARIO'S MET DE TWEE STUURVARIABLEN: VERANDERING IN MONDIALE TEMPERAATUURSTIJGING EN VERANDERING IN LUCHTSTROMINGSPATRONEN



3 Inclusief de correctie voor W 2085 uit 2015.

Dit document bevat ook meer informatie over de voor- en nadelen van verschillende methoden voor het genereren van tijdreeksen voor de toekomst.

In antwoord op de vraag naar meer informatie over de nabije toekomst is een extra scenario ontwikkeld voor 2030. Voor het klimaat rond 2030 worden echter geen 4 scenario's gegeven. Hoe verder in de toekomst, hoe groter het verschil in berekende wereldwijde temperatuurstijging voor de verschillende IPCC uitstootscenario's. Maar rond 2030 is de opwarming volgens de verschillende uitstootscenario's nog bijna gelijk. De spreiding in de berekeningen voor 2030 is vooral het gevolg van modelonzekerheid en natuurlijke variaties. Een rechtstreekse vergelijking van het 2030-scenario met één van de 2050- of 2085-scenario's is niet voor de hand liggend. Het 2030-scenario kan nog het beste worden vergeleken met het gemiddelde van alle vier de scenario's voor 2050 of 2085.

Veranderingen in neerslagextremen die samenhangen met buien zijn extra onzeker. Bovendien zijn buien nauwelijks afhankelijk van verandering van het luchtstromingspatroon, maar vooral van lokale processen. Daarom wordt bij elk scenario zowel een onder- als een bovenwaarde gegeven voor de verandering van de extreme neerslag (en een centrale waarde). Deze 'laag', 'midden', 'hoog' veranderingen voor extreme neerslag worden als subscenario's meegenomen.

## 7.2 METHODE AANPASSEN REKSEN

### 7.2.1 HET TRANSFORMATIEPROGRAMMA: ALGEMEEN

Met het transformatieprogramma kan een historische neerslag-, temperatuur- of globale stralingsreeks op dagbasis omzet worden in een reeks die past bij het toekomstige klimaat onder één van de vier KNMI'14 klimaatscenario's voor een gekozen tijdshorizon. Met andere woorden: tijdens de transformatie wordt de verandering van de gemiddelden en de variabiliteit, zoals voorgeschreven door het gekozen KNMI'14 scenario voor een bepaalde tijdshorizon toegepast op een gegeven historische reeks van temperatuur, neerslag of globale straling. De getransformeerde tijdreeksen leveren echter géén voorspelling van het weer in de toekomst op een bepaalde dag of in een bepaald jaar!

Het transformatieprogramma KNMI'14 werkt grotendeels zoals het vergelijkbare programma voor de KNMI'06 scenario's. Een uitgebreide beschrijving van het voorgaande programma en bijbehorende achtergronden is te vinden in het technisch rapport 'Time series transformation tool: description of the program to generate time series consistent with the KNMI'06 climate scenarios' van Bakker & Bessembinder (2012).

Bij neerslag worden veranderingen in het aantal natte dagen, in de gemiddelde neerslag op natte dagen en in het 99-percentiel<sup>4</sup> op natte dagen per kalendermaand meegenomen. Er wordt dus rekening mee gehouden dat de gemiddelden niet hetzelfde hoeven te veranderen als de extremen en dat de veranderingen door het jaar heen niet hetzelfde hoeven te zijn<sup>5</sup>. Voor temperatuur (gebruikt om de referentiegewasverdamping voor Makkink te berekenen)

- 4 99-percentiel: 1% van de waarden is hoger, en 99 procent is lager of gelijk. Bij de versie voor de KNMI'14 klimaatscenario's zijn ranges voor de veranderingen in dit 99-percentiel opgenomen: lower, centr en upper. De veranderingen in de gemiddelde neerslag blijven hetzelfde, maar de verdeling over de dagen wordt bij gebruik van verschillende 99-percentielen anders (zie ook de toelichting bij het transformatieprogramma).
- 5 Het transformatieprogramma is in eerste instantie ontwikkeld om veranderingen in neerslaggemiddelden en neerslagextremen goed weer te geven. Evt. veranderingen in de persistentie van droge perioden zijn niet expliciet onderzocht en opgenomen in de KNMI scenario's en deze zijn dus ook niet expliciet in het transformatieprogramma opgenomen. Wel worden bij afname van het aantal natte dagen alleen dagen aan het begin en aan het einde van natte perioden in de historische reeks drooggemaakt.

worden veranderingen in verschillende percentielen per kalendermaand gebruikt, en voor globale staling (ook voor het berekenen van de referentiegewasverdamping voor Makkink) wordt een gemiddelde verandering per kalendermaand gebruikt). De veranderingen die in het KNMI'14 transformatieprogramma zijn aangebracht ten opzichte van het KNMI'06 transformatieprogramma staan beschreven op: [http://www.klimaatscenarios.nl/toekomstig\\_weer/transformatie/Toelichting\\_TP.pdf](http://www.klimaatscenarios.nl/toekomstig_weer/transformatie/Toelichting_TP.pdf).

## 7.2.2 TRANSFORMATIE VAN NEERSLAG

### UUR- EN DAGWAARDEN VOOR NEERSLAG

Het hierboven beschreven transformatieprogramma is bedoeld voor het transformeren van dagneerslagreeksen. In dit project worden echter uurneerslagreeksen gebruikt. Hoewel er in de KNMI'14 klimaatscenario's ook informatie beschikbaar is over veranderingen in extreme uurneerslag, is er geen transformatieprogramma op uurbasis beschikbaar dat reeksen produceert die volledig consistent zijn met de veranderingen op dagbasis<sup>6</sup>. In dit project is daarom de volgende methode toegepast:

- De reeksen op uurbasis, zijn eerst geaggregeerd naar reeksen op dagbasis (8-8 uur UTC<sup>7</sup>).
- Deze reeksen op dagbasis zijn vervolgens gebruikt in het transformatieprogramma, dat neerslagreeksen voor de toekomst op dagbasis genereert.
- Om tijdreeksen op uurbasis voor de toekomst te verkrijgen is vervolgens de procentuele verandering op dagbasis in de reeks ook toegepast op de uurneerslagsommen in de gebruikte historische reeks (vaste factor voor elke dag van 8-8 uur UTC). Bij het toevoegen van natte dagen is de volgende procedure gebruikt om de neerslag over verschillende uren te verdelen. Per kalendermaand worden 7 neerslagklassen onderscheiden (0 tot 1 mm, 1 tot 2 mm, 2 tot 5 mm, 5 tot 10 mm, 10 tot 20 mm, 20 tot 30 mm en meer dan 30 mm). Voor elk van de resulterende 84 kalendermaand-neerslagklassen wordt random 1 historische dag gekozen waarvan de neerslag verdeling over de uurvakken gebruikt wordt. Elke gesimuleerde natte dag wordt volgens deze tabel over de uurvakken verdeeld.

### REFERENTIEPERIODE

De standaard referentieperiode voor het huidige klimaat in het transformatieprogramma is de periode 1981-2010, ofwel het klimaat rond 1995. De veranderingen die in het programma zitten voor rond 2030, 2050 en 2085 zijn ten opzichte van deze referentieperiode 1981-2010. Zoals in hoofdstuk 4 beschreven is er sprake van een trend in de neerslag (in gemiddelden en percentielen). De gedetrende reeks uit hoofdstuk 4 voor het klimaat rond 2014 heeft daarom andere statistische eigenschappen dan een neerslagreeks voor de periode 1981-2010. Als de gedetrende reeks naar 2014 direct gebruikt zou worden als input voor het transformatieprogramma dan zou dit leiden tot een overschatting van de neerslagextremen rond 2030, 2050 en 2085. Om deze overschatting te voorkomen is de voor opstelling gehomogeniseerde neerslagreeks uit hoofdstuk 3 ook gedetrend naar het klimaat rond 1995<sup>8</sup>. Vervolgens is deze naar 1995 gedetrende reeks<sup>9</sup> gebruikt als input voor het transformatieprogramma.

6 Zie paragraaf 7.5 voor mogelijke gevolgen.

7 De neerslag wordt hierbij toegewezen aan de dag waarop de geaccumuleerde neerslag wordt gemeten.

8 Er is ook overwogen om een andere methode toe te passen, nl. het aanpassen van de tijdshorizon in het transformatieprogramma: i.p.v. 2050 zou dan bijv.  $2050 - (2014-1995) = 2031$  als tijdshorizon worden opgegeven. De aanname daarbij zou dan zijn geweest dat de verandering tussen het klimaat rond 1995 en het klimaat rond 2030, rond 1995 en rond 2050 lineair zal verlopen. Dit mag echter niet zomaar worden aangenomen.

9 Deze naar 1995 gedetrende reeks wordt niet via Meteobase beschikbaar gesteld. Ze is alleen gegenereerd om de reeksen voor de toekomst te genereren.

**OVERZICHT TIJDREEKSEN**

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de gegenereerde reeksen voor het “huidige” klimaat (rond 2014) en voor het klimaat in de toekomst. Alle reeksen zijn vervolgens beschikbaar gesteld voor de regio's G, H, L en H+ (zie hoofdstuk 5). Dit is niet opgenomen in de tabel.

TABEL 7.1 NEERSLAGREEKSEN TEN BEHOEVE VAN METEOBASE

	Subscenario neerslag- extremen	“2014”	2030	2050	2085
“Huidig klimaat”		x			
“2030”	Laag		X		
	Midden		X		
	Hoog		X		
GL	Laag			X	X
	Midden			X	X
	Hoog			X	X
GH	Laag			X	X
	Midden			X	X
	Hoog			X	X
WL	Laag			X	X
	Midden			X	X
	Hoog			X	X
WH	Laag			X	X
	Midden			X	X
	Hoog			X	X

**7.2.3 TRANSFORMATIE VAN REFERENTIEVERDAMPING VOLGENS MAKKINK****INDIRECTE TRANSFORMATIE**

De referentiegwasverdamping volgens Makkink wordt berekend uit de gemiddelde etmaaltemperatuur en de globale straling. Binnen het KNMI'14 transformatieprogramma is er geen directe transformatie voor de referentieverdamping volgens Makkink beschikbaar<sup>10</sup>. In plaats daarvan worden globale straling en de gemiddelde etmaaltemperatuur getransformeerd en kan vervolgens de referentiegwasverdamping volgens Makkink worden afgeleid uit deze getransformeerde reeksen. Dit heeft als voordeel dat er meer consistentie op dagbasis is tussen de verschillende klimaatvariabelen.

Om de referentieverdamping volgens Makkink te berekenen worden gegevens over etmaalgemiddelde temperatuur en globale straling voor De Bilt (station nr. 260) gebruikt. Vanwege de indirecte transformatie zijn de reeksen voor de etmaalgemiddelde temperatuur en globale straling ook verlengd tot eind 2014 en vervolgens gedetrend naar 1995 (zie onder het volgende tekstblok 'referentieperiode') en getransformeerd. Uit deze getransformeerde reeksen is vervolgens de referentiegwasverdamping voor de toekomst berekend. De onderliggende reeksen voor temperatuur en straling zijn niet expliciet in Meteobase opgenomen.

10 Bij de KNMI'06 scenario's was dit wel het geval. Daar werd per kalendermaand een gemiddelde procentuele verandering voor de scenario's rond 2050 en rond 2100 gegeven.

## REFERENTIEPERIODE

De standaard referentieperiode voor het huidige klimaat in het transformatieprogramma is de periode 1981-2010, ofwel het klimaat rond 1995. De veranderingen die in het programma zitten voor rond 2030, 2050 en 2085 zijn ten opzichte van deze referentieperiode 1981-2010. Zoals in hoofdstuk 4 is te zien is er sprake van een trend in de referentieverdamping. De gedetrende reeks voor de referentieverdamping uit hoofdstuk 6 voor het klimaat rond 2014 heeft daarom andere statistische eigenschappen dan een reeks voor de referentieverdamping voor de periode 1981-2010. Als de gedetrende reeks naar 2014 direct gebruikt zou worden als input voor het transformatieprogramma dan zou dit leiden tot een overschatting van de referentieverdamping rond 2030, 2050 en 2085. Om deze overschatting te voorkomen zijn de historische reeksen voor gemiddelde temperatuur en globale straling ook gedetrend naar het klimaat rond 1995. Vervolgens zijn deze naar 1995 gedetrende reeksen gebruikt als input voor het transformatieprogramma.

## OVERZICHT TIJDREEKSEN

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de gegenereerde reeksen voor het 'huidige' klimaat (rond 2014) en voor het klimaat in de toekomst. NB: Er zijn ook reeksen '1995' voor gemiddelde etmaaltemperatuur en globale straling gegenereerd om het transformatieprogramma te kunnen gebruiken, deze reeksen wordt niet via meteobase beschikbaar gesteld.

TABEL 7.2

REFERENTIEGEWASVERDAMPINGSREEKSEN TEN BEHOEVE VAN METEOBASE

	'2014'	2030	2050	2085
"Huidig klimaat"	x			
"2030"		x		
GL			x	x
GH			x	x
WL			x	x
WH			x	x

## 7.3 GEBRUIK KLIMAATSCENARIO'S

Zoals hierboven is te zien, is een groot aantal verschillende reeksen voor de toekomst gegenereerd. In de praktijk zal het niet nodig zijn alle mogelijke varianten door te rekenen. Hieronder staan een korte toelichting en een link naar een aantal suggesties voor het gebruik van de klimaatscenario's om een gerichte keuze in het aantal beschikbare reeksen (of statistiek) te maken.

Er bestaan onzekerheden over hoe ons klimaat zich in de toekomst zal ontwikkelen. Een manier om met onzekerheden om te gaan, is gebruik maken van scenario's. De KNMI'14 scenario's zijn net als de KNMI'06 scenario's zodanig gekozen, dat ze een groot deel van de bestaande onzekerheden in beeld brengen<sup>11</sup>. De set van de vier KNMI'14 klimaatscenario's is gemaakt om het eenvoudiger te maken om om te gaan met de onzekerheden over het toekomstig klimaat (dit geldt ook voor de sub-scenario's voor de extreme neerslag). Neem dus geen gemiddelde van de scenario's of neem niet zomaar de centrale waarde voor de verandering in extreme neerslag.

11 Uitkomsten van de modelberekeningen van de toekomstige temperatuurstijging op aarde verschillen onderling. Dit hangt samen met twee typen onzekerheden: 1. Onzekerheid over de toekomstige bevolkingsgroei en de economische, technologische en sociale ontwikkelingen, en de daarmee samenhangende uitstoot van broeikasgassen en stofdeeltjes; 2. Onvolledige kennis van de complexe processen in het klimaatsysteem. Beide typen onzekerheden zijn verwerkt in de range die de KNMI'14 klimaatscenario's opspannen.

De KNMI'14 scenario's zijn stuk voor stuk aannemelijk en het is niet te zeggen welk scenario meer of minder waarschijnlijk is. We kunnen alleen aangeven dat als de uitstoot van broeikasgassen niet sterk verminderd de  $W_L$  en  $W_H$  scenario's op de lange termijn waarschijnlijker zijn. Wat het meest waarschijnlijke klimaatscenario is, is vaak ook niet het meest relevant voor gebruikers. Sommige gebruikers zijn juist in extremen geïnteresseerd, die per definitie weinig voorkomen<sup>12</sup>. Op de volgende website staan een aantal suggesties voor het gebruik van de KNMI'14 klimaatscenario's: <http://www.klimaatscenarios.nl/gebruik/index.html>.

Met name de verandering in extreme neerslag is onzeker. Om uitdrukking aan deze onzekerheid te geven, is voor elk scenario de range aan mogelijke verandering gegeven. In alle gevallen is de gemiddelde verandering in neerslag en de verandering in het aantal natte dagen voor het betreffende klimaatscenario hetzelfde, alleen de verandering in neerslagextremen (99<sup>ste</sup> percentiel) verschilt. De verschillen in veranderingen tussen de subscenario's (lower – centr – upper) per klimaatscenario zijn vaak aanzienlijk groter dan de verschillen in gemiddelde verandering tussen de klimaatscenario's (zie ook deel 2 van dit rapport). "Lower" verwijst naar de onderkant van de mogelijke range aan verandering in neerslagextremen op dagbasis<sup>13</sup>, zoals vermeld op <http://www.klimaatscenarios.nl/kerncijfers/>; "Upper" verwijst naar de bovenkant van die range; "Centr" verwijst naar de centrale waarde binnen die range. Bent u er zeker van dat de verandering in dagelijkse neerslagextremen niet relevant voor u is dan volstaat het "centr" subscenario. In alle andere gevallen wordt aangeraden minimaal 2 van de subscenario's te gebruiken en daarmee een gevoeligheidsanalyse uit te voeren. Daaruit kan dan na de gevoeligheidsanalyse alsnog blijken dat 1 subscenario voor uw probleem/systeem voldoende is.

## 7.4 BESCHOUWING REEKSEN VOOR KLIMAATSCENARIO'S

### 7.4.1 NEERSLAG

In de neerslagreeksen veranderen zowel de extremen als de jaar- en seizoenssommen. Daarbij hebben de subscenario's in elk scenario te maken met de hoge extremen in de neerslag. In de gemiddelde neerslag (de jaar- en seizoenssommen) geven deze subscenario's geen verschillen. In Tabel 7.3 zijn de jaar- en seizoenssommen voor de neerslag weergegeven.

Opvallend is dat de toekomstscenario's lagere neerslagsommen kunnen laten zien dan de basisreeks 2014. Wel laten alle klimaatscenario's hogere jaarneerslagsommen zien dan in de oorspronkelijke gehomogeniseerde reeks, zoals op basis van de KNMI'14 scenario's mag worden verwacht. De gedetrende reeks bevat al een deel van de klimaatverandering en klimaatverandering kan ook niet-lineair verlopen. Daarnaast kan de gebruikte detrending toch ook nog wat natuurlijke variatie bevatten.

<sup>12</sup> Voor meer informatie over het omgaan met onzekerheden zie ook <http://www.knmi.nl/samenw/klimaat/autumn-school2012/index.php>.

<sup>13</sup> De range voor de verandering in extreme uurneerslag is kleiner. Zie paragraaf 7.5 "Beperking van de methode voor het genereren van uurneerslagreeksen voor de toekomst" voor meer informatie hierover.

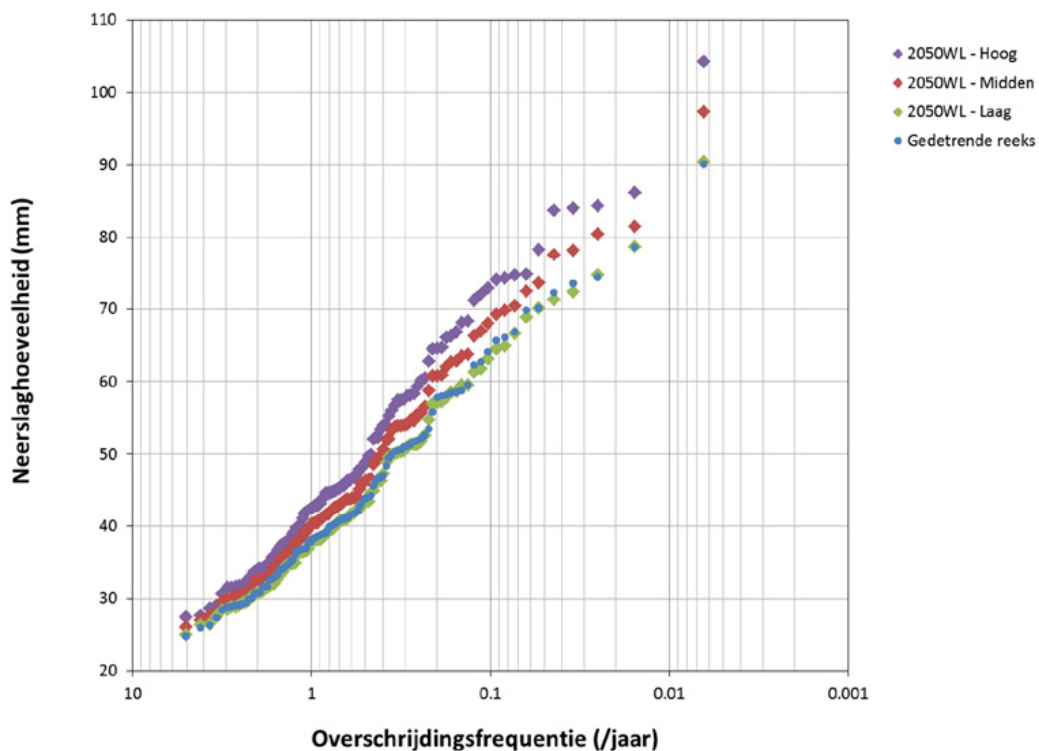


TABEL 7.3 GEMIDDELDE NEERSLAGSOM PER JAAR EN PER SEIZOEN VOOR DE OORSPRONKELIJKE, MAAR WEL GEHOMOGENISEERDE REEKS VAN DE BILT, VOOR DE BASISREEKS 2014 EN VOOR DE KNMI'14 KLIMAATSCENARIO'S

	Neerslagsom (mm)				
	Jaar	Seizoen:			
		Dec-Jan-Feb	Maa-Apr-Mei	Jun-Jul-Aug	Sep-Okt-Nov
Gehomogeniseerde reeks	819	201	162	230	225
Basisreeks 2014	929	235	183	249	261
2030	926	240	186	240	260
2050GL	919	228	184	243	265
2050GH	906	240	180	220	266
2050WL	928	237	195	242	254
2050WH	921	259	191	207	264
2085GL	928	232	189	241	265
2085GH	922	246	188	220	268
2085WL	941	250	202	227	263
2085WH	939	281	196	186	276

Daarnaast kijken we naar de extremen in de reeksen. Hiertoe hebben we voor duren van 1 uur tot 8 dagen de jaarmaxima bepaald. Een voorbeeld van de jaarmaxima voor het hoge, lage en midden subscenario is weergegeven voor het 2050  $W_L$  scenario. Hierin is bijvoorbeeld te zien dat het lage subscenario geen toename laat zien ten opzichte van de basisreeks 2014 (zie ook deel 2 van dit rapport). Daarnaast vermelden we hier dat voor het midden en hoge subscenario de procentuele toename in de echte extremen (eens per 10 jaar en minder vaak) hoger is dan de toename van de extremen van eens per 2 jaar en vaker. Verdere informatie over de statistiek van extremen is opgenomen in deel 2 van dit rapport.

FIGUUR 7.2 JAARMAXIMA VOOR DE BASISREEKS 2014 (GEDETRENDE REEKS) VAN DE BILT EN VOOR DE MIDDEN-, HOGE EN LAGE (CENTR, LOWER, UPPER) SCHATTING VAN HET 2050  $W_L$  SCENARIO VOOR EEN DUUR VAN 24 UUR



Om de jaarmaxima in de reeksen samen te vatten hebben we voor de jaarmaxima die eens per 2 jaar en minder vaak worden overschreden per scenario en per subscenario de gemiddelde toename ten opzichte van de basisreeks 2014 bepaald. Deze toename is weergegeven in Figuur 7.3.

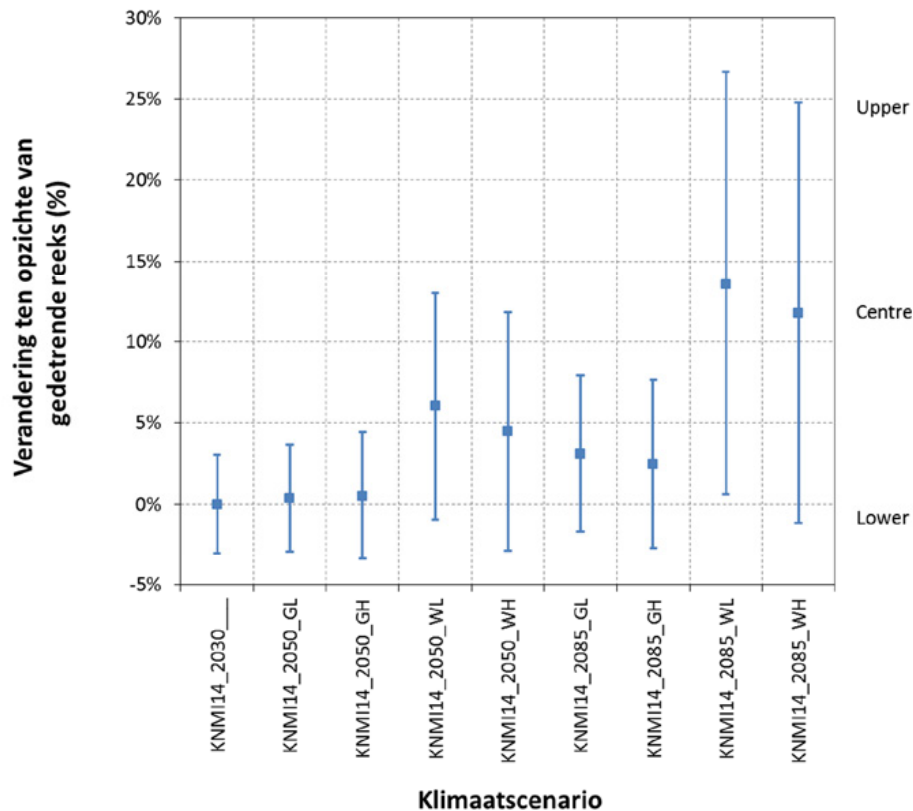
Hierbij merken we op dat we de toename ook hebben gemiddeld over de duren (van 1, 4, 8, 12, 24, 48 en 96 uur) omdat het verschil in verandering over de duren niet onderscheidend bleek voor de meeste scenario's. Uitzondering daarop zijn het midden en hoge subscenario van het 2085W<sub>L</sub> en 2085W<sub>H</sub> scenario. Voor die twee scenario's laten de kortere duren ( $\leq 4$  uur) en langere duren ( $\geq 48$  uur) een kleinere toename zien dan de overige duren. In het hoge subscenario van deze scenario's (2085W<sub>L</sub> en 2085W<sub>H</sub>) is dat verschil in toename ongeveer 10%, in het midden subscenario 5%.

In Figuur 7.3 is onder andere te zien dat het lage subscenario doorgaans niet of nauwelijks toename in de extremen in de reeksen laat zien ten opzichte van de basisreeks 2014. Ook is hier geïllustreerd dat de bandbreedte in de extremen binnen één scenario relatief groot is ten opzichte van de verschillen tussen de centrale schattingen van de scenario's. Het wordt daarom aangeraden ook de impact van het hoge en lage subscenario te verkennen.

Voor verdere beschouwingen met betrekking tot statistieken verwijzen we naar deel 2 van dit rapport. Uit vergelijking van de kenmerken concluderen we dat de verschillen tussen de statistische eigenschappen van de reeksen en de statistiek in deel 2 van dit rapport beperkt zijn.

FIGUUR 7.3

TOENAME VAN DE JAARMAXIMA (GEMIDDELTE OVER HERHALINGSTIJDEN VAN 2 TOT 100 JAAR) VOOR DE DRIE SUBSCENARIO'S BINNEN DE KLIMAATSCENARIO'S VOOR ROND 2030, 2050 EN 2085 TEN OPZICHT VAN DE BASISREEKS 2014. VOOR ELK SCENARIO GEEFT HET VIERKANTJE HET SUBSCENARIO CENTRE, HET BOVENSTE STREEPJE HET SUBSCENARIO UPPER EN HET ONDERSTE STREEPJE HET SUBSCENARIO LOWER WEER



### 7.4.2 REFERENTIEGEWASVERDAMPING

Om de verandering van de referentiegewasverdamping volgens Makkink in de reeksen te illustreren zijn in Tabel 7.4 de totale referentiegewasverdamping per jaar en voor het zomer- en winterhalfjaar weergegeven.

De toename in de som van de referentiegewasverdamping ten opzichte van de basisreeks 2014 is in de meeste scenario's beperkt. In het meest extreme scenario voor 2085, het  $W_H$  scenario, is de gemiddelde jaarlijkse toename 6,1% en in het zomerhalfjaar is de gemiddelde toename 6,8%. Dit is minder dan in de scenariotabellen van de KNMI'14 scenario's is gepresenteerd, omdat in de basisreeks 2014 al een deel van de klimaatverandering is verwerkt.

Ook is opvallend dat verdamping in de 2030, 2050 $G_L$ , 2050 $W_L$  en 2085  $G_L$  reeksen lager is dan in de basisreeks 2014, terwijl een toename mag worden verwacht. Een verklaring hiervoor is dat de basisreeks 2014 al een deel van de klimaatverandering bevat en de klimaatverandering ook niet-lineair kan verlopen. Daarnaast kan de gebruikte detrending toch ook nog wat natuurlijke variatie bevatten. De beperkte toename en soms zelfs afname heeft deels te maken met de keuze van de referentieperiode. In de discussieparagraaf (paragraaf 7.5) gaan we daar nader op in.

TABEL 7.4 GEMIDDELDE REFERENTIEGEWASVERDAMPINGSOM PER JAAR EN PER HALFJAAR VOOR DE HISTORISCHE/OORSPRONKELIJKE REEKS VAN DE BILT, VOOR DE BASISREEKS 2014 EN VOOR DE KLIMAATSCENARIO'S

	Verdamping (mm)		
	Jaar	Winterhalfjaar	Zomerhalfjaar
Oorspronkelijke reeks	547	101	445
Basisreeks 2014	585	105	479
2030	577	106	471
2050 GL	579	106	473
2050 GH	590	106	483
2050 WL	583	108	475
2050 WH	601	107	494
2085 GL	577	106	471
2085 GH	592	106	486
2085 WL	600	109	491
2085 WH	620	108	512

## 7.5 DISCUSSIE

### GEVOLG DETRENDEN VAN DE NEERSLAG- EN REFERENTIEGEWASVERDAMPINGSREEKS

In het verleden is (bijna) nooit gedetrend om trends in het klimaat uit een reeks te filteren. Inmiddels is duidelijk dat in de neerslag-, stralings- en temperatuurreeksen een trend kan worden teruggevonden. Bij het gebruik van lange neerslagreeksen in het transformatieprogramma leidde dit tot een onderschatting<sup>14</sup> van de kans op neerslagextremen in de toekomst. Met de hier toegepaste methode wordt het huidige klimaat en het klimaat in de toekomst inclusief de kans op extremen beter beschreven.

Doordat als input voor het transformatieprogramma een gedetrende reeks naar het klimaat

<sup>14</sup> In al die gevallen is een reeks gebruikt die verder terug ging in de tijd. En aangezien er een toename van de kans op extremen in de reeks zit (zie hoofdstuk 4), leidde dit in alle gevallen tot een onderschatting van de extremen in het huidige en toekomstige klimaat.

rond 1995 is gebruikt en niet de gedetrende reeks naar het klimaat rond 2014 kan de verandering in de neerslag extremen in vooral de 'lower' subscenario's minder zijn dan in de reeks voor het klimaat rond 2014. In de scenario's zit een geprojecteerde trend tussen '1995' en 2030, 2050 en 2085. De historische/waargenomen trend tussen 1995 en 2014 zit daar niet exact in. We weten echter ook niet of de trend tussen 1995 en 2014 blijvend is, het klimaat is van nature variabel en de trend over zo'n korte periode kent ook een relatief grote onzekerheid. In de 'lower' subscenario's, waarin de geprojecteerde trends per definitie klein zijn, kan hierdoor de trend tussen '1995' en 2030, 2050 en 2085 kleiner zijn dan de historische trend tussen 1995 en 2014, met als gevolg lagere extreme neerslaghoeveelheden in die scenario's dan in 2014.

Opvallend bij de beschouwing van de reeksen voor de klimaatscenario's is dat een deel van de subscenario's al kenmerken heeft die passen bij de basisreeks 2014. Hieruit zou kunnen worden geconcludeerd dat enkele subscenario's al zijn achterhaald, of dat de trend tussen 1995 en 2014 voor een deel toeval is en het klimaat van 2030/2050/2085 al veel lijkt op dat van nu (rond 2014). Daarbij merken we op dat de range tussen het upper en lower subscenario ook aangeeft dat de onzekerheid over de klimaatverandering groot is en dat het tot de mogelijkheden behoort dat het neerslagklimaat van de toekomst niet veel anders is dan het neerslagklimaat rond 2014. Daarmee is het natuurlijk nog wel verschillend van het neerslagklimaat rond 1995.

In deel 2 van dit rapport gaan we uitgebreider in op de consequenties over de neerslagstatistiek.

#### **METHODEN VOOR HET GENEREREN VAN TIJDREKSEN VOOR DE TOEKOMST**

Het transformatieprogramma is maar één van de manieren om tijdreeksen voor de toekomst te genereren. De hoofdgroepen van methoden ("Delta-methoden" zoals het transformatieprogramma, "directe methoden" waarbij output van klimaatmodellen wordt gecorrigeerd voor bias, en stochastische weergeneratoren) en de belangrijkste voor- en nadelen worden beschreven in Bakker & Bessembinder (2012).

Elke methode zal ondanks dezelfde veranderingen in het aantal natte dagen, in gemiddelde neerslag en in neerslagextremen toch resulteren in enigszins verschillende reeksen en daardoor ook in enigszins verschillende neerslagstatistiek. In Nederland wordt het transformatieprogramma tot op heden het meest gebruikt in allerlei sectoren.

#### **BEPERKING VAN HET TRANSFORMATIEPROGRAMMA**

Met behulp van het transformatieprogramma zijn verschillen in veranderingen in de gemiddelden en extremen goed mee te nemen. Echter, er is wel informatie nodig over de veranderingen in de extremen om die ook inderdaad door te kunnen voeren. Het meest extreme percentiel waarvoor nu een verandering wordt opgegeven per kalendermaand is het 99-percentiel van de natte dagen. Dit heeft een geschatte herhalingstijd van ongeveer 6-7 jaar in het huidige klimaat. Voor alle extremere percentielen wordt eenzelfde procentuele verandering in het transformatieprogramma opgelegd<sup>15</sup>. Wellicht dat de extremere percentielen nog meer kunnen veranderen of juist minder. In die gevallen zou met de huidige methode een onderschatting of juist een overschatting van die extreme percentielen worden gemaakt.

15 Deze beperking is indertijd opgelegd omdat anders bij het extrapoleren van de exponentiele functie extreem hoge dag-neerslagsommen in uitzonderlijke situaties verkregen werden (zie Bakker & Bessembinder, 2012)

Bij het gebruik van het transformatieprogramma wordt de sequentie van neerslaggebeurtenissen in het verleden niet of nauwelijks aangepast (behalve enigszins als het aantal natte dagen wordt aangepast). Informatie over de verandering in meerdaagse neerslagextremen en de lengte van droge perioden wordt niet expliciet meegenomen tijdens de transformatie (en is ook niet expliciet onderzocht voor de KNMI'14 scenario's). Verder onderzoek kan meer informatie opleveren over de mogelijke veranderingen in meerdaagse neerslagextremen en in de lengte van droge perioden. Met die informatie kan dan mogelijk in de toekomst ook het transformatieprogramma worden aangepast.

Men moet daarom voorzichtiger zijn met het trekken van conclusies over meerdaagse extremen en over de lengte van droge perioden.

#### **BEPERKING VAN DE METHODE VOOR HET GENEREREN VAN URNEERSLAGREEKSEN VOOR DE TOEKOMST**

In de hier gebruikte methode is de verandering op dagbasis toegepast op alle uursommen gedurende die zelfde dag. We weten echter dat de extreme uurneerslag anders kan veranderen dan de extreme dagneerslag. Hoewel er wel een verband is tussen het optreden van extreme dagneerslag en extreme uurneerslag, is het niet zo dat de meest extreme uurneerslag ook altijd optreedt op die dagen met de meest extreme dagneerslag. Door de hier gebruikte methode kan de meest extreme uurneerslag in de toekomst daarom iets onderschat worden.

De bovenkant van de range voor extreme dagneerslag komt redelijk overeen met de bovenkant van de range voor de extreme uurneerslag<sup>16</sup>. Echter, de onderkant van de range voor extreme uurneerslag komt redelijk overeen met de middenwaarde van de range voor extreme dagneerslag. Dit betekent dat bij het gebruik van het sub-scenario 'lower' uit de hier gepresenteerde set tijdreeksen de mogelijke verandering in extreme uurneerslag onderschat wordt. Als de hier gepresenteerde reeksen gebruikt worden in situaties waarbij het systeem alleen sterk reageert op uurextremen (of neerslagduren aanzienlijk korter dan 24 uur), dan moet met het bovenstaande rekening worden gehouden bij de interpretatie van de gevolgen van klimaatverandering.

<sup>16</sup> Zie [www.klimaatsscenarios.nl/kerncijfers/](http://www.klimaatsscenarios.nl/kerncijfers/)

## 8

## SAMENVATTING

In dit onderzoek is aangetoond dat de neerslag- en verdampingsreeks van De Bilt zoals vaak gebruikt voor hydrologische analyses een trend kent. In de afgelopen honderd jaar is zowel de neerslag als de straling en temperatuur (en daarmee ook de referentiegewasverdamping) toegenomen.

**HOMOGENISEREN**

Om deze trend te onderzoeken hebben we allereerst geanalyseerd of de trend wordt veroorzaakt door verandering in de opstelling van de regenmeter. We hebben de neerslagreeks voor verandering in de opstelling gecorrigeerd (gehomogeniseerd) zodat een homogene reeks ontstaat.

De procentuele verschillen tussen de gehomogeniseerde en gemeten dagneerslag variëren tussen 0,1 en 24,7%. Het maximale absolute verschil is beperkt en maar 0,57 mm. De neerslag in de periode voor verandering van de meetopstelling (van 1 januari 1906 t/m 10 januari 1946) neemt door de homogenisatie in totaal toe met 1,7%. De trend die zichtbaar is in de neerslagreeks is beduidend groter en kan daarmee maar voor een beperkt deel worden verklaard door verandering van de opstelling.

**DE TRENDEN NEERSLAGREEKS**

Er is daarop besloten om de reeks te detrenden zodat deze een betere representatie geeft van het huidige klimaat (het klimaat rond 2014). Bij de analyse ten behoeve van de detrending bleek dat er verschillen in trends zijn tussen de seizoenen. De neerslagreeks is vervolgens gecorrigeerd met voor elk seizoen afzonderlijk afgeleide trends. De reeks van de Bilt is gecorrigeerd naar het klimaat rond 2014. Deze reeks noemen we de 'basisneerslagreeks 2014'.

De gemiddelde neerslag per jaar in de basisreeks 2014 is 13% (110 mm) hoger dan in de gehomogeniseerde reeks. Aan het begin van de reeks (1906) is de gemiddelde neerslag per jaar in de basisreeks ongeveer 150 mm hoger dan in de gehomogeniseerde reeks.

Omdat de detrending gebaseerd is op de gemiddelden van de neerslag hebben we ook beperkt gecontroleerd of de trend in de extremen is gecorrigeerd. Uit deze controle is gebleken dat na het detrenden ook het aantal dagen per jaar dat een bepaalde extreme neerslag wordt overschreden niet of nauwelijks nog een trend laat zien (die in de gehomogeniseerde reeks nog wel duidelijk zichtbaar is). Dit geldt zowel voor de korte neerslagduren als de langere neerslagduren. De jaarmaxima in de gedetrende reeks zijn ongeveer 10 tot 15 % hoger dan in de oorspronkelijke reeks. Dit komt overeen met de in deel 2 van dit rapport gepresenteerde statistieken.

Aanbevolen wordt om deze gedetrende neerslagreeks (de basisneerslagreeks 2014) te gebruiken voor langjarige hydrologische modelberekeningen waarin het huidige klimaat zo goed mogelijk moet worden gerepresenteerd. Gebruik van de oorspronkelijke reeks, waarin een trend aanwezig is, raden we voor dat gebruik af.

### DETRENDING VERDAMPINGSREEKS

Ook in de verdampingsreeks (referentiegewasverdamping volgens Makkink) is een trend zichtbaar. Deze trend wordt veroorzaakt door een trend in de straling en de temperatuur. De straling en temperatuur zijn gedetrend op een vergelijkbare wijze als de neerslag. Op basis van die gedetrende reeksen is de referentiegewasverdamping berekend. Deze gedetrende reeks noemen we de 'basisverdampingsreeks 2014'.

De gemiddelde referentiegewasverdamping per jaar in de gedetrende reeks is 7% (38 mm) hoger dan in de oorspronkelijke reeks. In het begin van de reeks is het verschil hoger, namelijk ongeveer 50 mm per jaar.

In het zomerhalfjaar is de verandering in de referentiegewasverdamping van circa 35 mm in dezelfde orde van grootte als de verandering in de neerslag (maart-augustus: 40 mm). Dit betekent dat de door detrending geïntroduceerde toename van de neerslag in de zomerperiode gemiddeld genomen teniet wordt gedaan door de toename van de verdamping.

Aanbevolen wordt om deze gedetrende reeks (de basisverdampingsreeks 2014) te gebruiken voor langjarige hydrologische modelberekeningen waarin het huidige klimaat zo goed mogelijk moet worden gerepresenteerd. Gebruik van de oorspronkelijke reeks, waarin een trend aanwezig is, raden we voor dat gebruik af.

### KLIMAATSCENARIO'S VOOR 2030, 2050 EN 2085

De transformatie van de neerslagreeks en de stralings- en temperatuurreeks (ten behoeve van de bepaling van de referentiegewasverdamping) naar het klimaat van 2030, 2050 en 2085 levert reeksen op die het mogelijke toekomstige klimaat beschrijven. Hiervoor is het transformatieprogramma van het KNMI gebruikt. Voor de KNMI'14 klimaatscenario's zijn daarvoor neerslag subscenari'o's (lower, centr, en upper) aan toegevoegd, die de mogelijke range aan veranderingen in de extreme neerslag binnen een scenario beschrijven.

Bij gebruik van de niet gedetrende reeks voor 1906-2014 als input voor het transformatieprogramma worden de veranderingen in de toekomst onderschat. Door als input voor deze transformatie een gedetrende reeks te gebruiken wordt het klimaat in de toekomst rond 2030, 2050 en 2085 inclusief de kans op extremen beter beschreven.

Bij beschouwing van de reeksen voor de klimaatscenario's blijkt dat een deel van de subscenari'o's al kenmerken heeft die passen bij de basisreeks 2014. Hieruit zou kunnen worden geconcludeerd dat enkele subscenari'o's al zijn achterhaald, of dat de trend tussen 1995 (de KNMI'14 scenario's gebruiken het klimaat rond 1995 als referentie) en 2014 voor een deel toeval is en het klimaat van 2030/2050/2085 al veel lijkt op dat van nu (het klimaat rond 2014). Daarbij merken we op dat de range tussen het upper en lower subscenari'o ook aangeeft dat de onzekerheid over de klimaatverandering groot is en dat het tot de mogelijkheden behoort dat het neerslagklimaat van de toekomst niet veel anders is dan het neerslagklimaat van 2014. Daarmee is het natuurlijk nog wel verschillend van het neerslagklimaat dat als referentie voor de KNMI'14 scenario's is gebruikt.

In deel 2 van dit rapport gaan we uitgebreider in op de consequenties voor de neerslagstatistiek.

## 9

## REFERENTIES

Bakker, J. Bessembinder, 2012. *Time series transformation tool: description of the program to generate time series consistent with the KNMI '06 climate scenarios*. De Bilt, 2012 | Technical Report; TR-326. 75 pp.

Bakker, 2015. *Time series transformation tool version 3.1 Description of the program to generate time series consistent with the KNMI'14 climate scenarios*. De Bilt, 2015 | Technical Report ; TR-349. 39pp.

Braak, C., 1945. *Invloed van den wind op regenwaarnemingen*, KNMI, De Bilt, Mededelingen en Verhandelingen 48.

Brandsma, T., 2014. *Comparison of automatic and manual precipitation networks in the Netherlands*, KNMI, De Bilt, Technical rapport, TR-347.

Buishand, T. A., R. Jilderda en J.B. Wijngaard, 2009. *Regionale verschillen in extreme neerslag*; KNMI scientific report - wetenschappelijk rapport WR 2009-01, De Bilt.

Buishand, T. A., Th. Brandsma, G. de Martino, H. Spreeuw, 2011. *Ruimtelijke verdeling van neerslag-trends in Nederland in de afgelopen 100 jaar*. H20.

Buishand, T.A., G. De Martino, J.N. Spreeuw and T. Brandsma, 2013. *Homogeneity of precipitation series in the Netherlands and their trends in the past century*, Int. J. Climatology, 33, 4, 815-833.

Cleveland, W.S., 1979. *Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots*, J. Am. Stat. Ass. 74: 829-836.

KNMI, 2014. *KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland, Leidraad voor professionals in klimaat-adaptatie*; KNMI, De Bilt, mei 2014.

KNMI, 2015. *KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland*; herziene versie 2015.

Overeem, A., 2009. *Climatology of extreme rainfall from rain gauges and weather radar*; Thesis Wageningen University, Wageningen 2009.

Overeem, A. en T.A. Buishand, 2012. *Statistiek van extreme gebiedsneerslag in Nederland*; KNMI rapport, De Bilt.

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

Versteeg, Rudolf, Hans Hakvoort, Siebe Bosch en Maarten-Jan Kallen, 2013. *METEODATABASE*, online archief van neerslag- en verdampingsgegevens voor het waterbeheer. STOWA rapport 2013-02.

WMO (World Meteorological Organization), 1984. *International Comparison of National Precipitation Gauges with a Reference Pit Gauge* (B. Sevruk and W.R. Hamon). Instruments and Observing Methods Report No. 17, WMO/TDNo. 38, Geneva.





# ACTUALISATIE METEOGEGEVENS VOOR WATERBEHEER 2015

## DEEL 2 STATISTIEK VAN DE EXTREME NEERSLAG

1	INLEIDING	45
1.1	Aanleiding en context	45
1.2	Doelstelling	45
1.3	Overzicht en leeswijzer	46
2	METHODE VOOR HET AFLEIDEN VAN DE NEERSLAGSTATISTIEK	47
2.1	Inleiding	47
2.2	Tijdsafhankelijke extreme waarden model	47
2.3	Resultaten voor het huidige klimaat	50
2.4	Alternatieven en motivatie voor een tijdsafhankelijk extreme waarden model	52
3	STATISTIEK HUIDIGE KLIMAAT	57
3.1	Inleiding	57
3.2	Statistiek De Bilt voor klimaat rond 2014	57
4	STATISTIEK KNMI'14 SCENARIO'S	60
4.1	Inleiding	60
4.2	Statistiek voor de toekomst voor De Bilt	60
5	REGIONALISATIE STATISTIEK	67
6	DISCUSSIE	69
6.1	Gebruik transformatieprogramma	69
6.2	Van dag- naar uurneerslag?	69
6.3	Regionale statistiek	69
7	REFERENTIES	71
	BIJLAGEN	
A	BESCHRIJVING VAN DE STAPPEN BIJ HET AFLEIDEN VAN HET VOLLEDIGE GEV MODEL	73
B	GEMODELLEERDE LOCATIE PARAMETER EN DISPERSIE COËFFICIËNT VOOR ALLE KNMI'14 KLIMAATSCENARIO'S	75



# 1

## INLEIDING

### 1.1 AANLEIDING EN CONTEXT

In mei 2014 zijn de KNMI'14 klimaatscenario's gepubliceerd door het KNMI (KNMI, 2014, 2015). De presentatie en uitwerking van deze nieuwe klimaatscenario's is tot stand gekomen in overleg met gebruikersgroepen en met gebruik van de nieuwste methoden en inzichten. De gepubliceerde informatie betreft algemene karakteristieken van de mogelijke ontwikkeling van de klimaatverandering. In vergelijking met de KNMI'06 scenario's zijn de KNMI'14 scenario's een update met de nieuwste inzichten (bijvoorbeeld het bijstellen van de mogelijke afname van neerslag in de zomer), is de tijdshorizon 2030 toegevoegd en is meer detail en bandbreedte in de karakterisering aangebracht.

In mei 2014 is tevens in opdracht van STOWA een inventarisatie van hiaten en wensen ten aanzien van neerslagstatistiek gestart. Deze inventarisatie werd uitgevoerd in overleg met de waterschappen. Door STOWA is er voor gekozen een deel van de in de inventarisatie gesignaleerde hiaten en wensen te adresseren. In dit onderzoek is dat deel van de hiaten onderzocht en zijn verbeterde producten afgeleid.

Dit onderzoek betreft daarmee een actualisatie van het onderdeel 'Toetsingsdata voor regionale wateroverlast' van [www.meteobase.nl](http://www.meteobase.nl) en de bijbehorende rapportage. De gegevens zijn wederom beschikbaar gesteld op [www.meteobase.nl](http://www.meteobase.nl). Deze rapportage vormt een rapportage bij de daarin opgenomen reeksen en afgeleide statistiek.

Deze rapportage bestaat uit twee delen: deel 2 (voorliggend) beschrijft de afleiding van de extreme-waarden statistiek. Deel 1 betreft het onderdeel neerslag- en verdampingsreeksen.

### 1.2 DOELSTELLING

De doelstelling van [www.meteobase.nl](http://www.meteobase.nl) is:

om beschikbare neerslag- en verdampingsgegevens te ontsluiten om deze vervolgens toe te kunnen passen bij modelkalibratie en de toetsing van watersystemen aan de normen voor regionale wateroverlast, daarnaast kunnen deze gegevens ook gebruikt worden voor andere vraagstukken zoals GGOR en zoetwatervoorziening.

De doelstelling van dit onderzoek is het actualiseren van de neerslag- en verdampingsgegevens en -statistiek benodigd voor de toetsing van watersystemen aan de normen voor regionale wateroverlast.

### 1.3 OVERZICHT EN LEESWIJZER

Onderstaande tabel beschrijft het deel van de gegevens betreffende de toetsingsdata zoals opgenomen op [www.meteobase.nl](http://www.meteobase.nl). In de tabel is opgenomen op welke onderdelen de statistiek is aangepast en in welk hoofdstuk de betreffende aanpassing is beschreven. Voor achtergronden van de oorspronkelijke gegevens verwijzen we naar Versteeg et. al. (2013).

**TABEL 1.1** GEGEVENS MET ACTUALISATIE IN WWW.METEOBASE.N

---

Oorspronkelijk op Meteobase:

Neerslagstatistiek in tabellen voor regio's (L, G, H, H+), het huidig klimaat (H) en klimaatscenario's (G, G+, W, W+) en seizoenen voor rond 2050 en 2100. In totaal 80 tabellen.

Actualisatie:

Algemene beschrijving van methoden (hoofdstuk 2)

- Gedetrende jaar- en seizoensstatistiek naar klimaat rond 2014 (hoofdstuk 3)
- Statistiek voor de klimaatscenario's KNMI'14  $G_L$ ,  $G_H$ ,  $W_L$  en  $W_H$  voor rond 2030, 2050 en 2085 (hoofdstuk 4), inclusief de bandbreedte in de verandering voor de extreme neerslag
- Regionaliseren voor regio's L, G, H en H+ (Hoofdstuk 5)

In totaal 336 tabellen.

---

# 2

## METHODE VOOR HET AFLEIDEN VAN DE NEERSLAGSTATISTIEK

### 2.1 INLEIDING

We weten dat er trends in de historische neerslagreeksen zitten. In deel 1 van dit rapport hebben we de neerslagreeks op basis van de trends in het gemiddelde vertaald naar het klimaat rond 2014. Voor een betrouwbare afleiding van de neerslaghoeveelheden bij verschillende herhalingstijden tot en met een kans van eens per 1000 jaar is het vooral belangrijk zo goed mogelijk de trends in de neerslagextremen te verdisconteren. Dit kan op basis van een GEV verdeling (Generalized Extreme Value verdeling; extreme waarden analyse) met tijdsafhankelijke parameters. Bij het fitten van de GEV-parameters wordt dan ‘automatisch’ rekening gehouden met het feit dat er trends in de neerslagextremen zitten.

Een voor de hand liggend alternatief zou zijn om een ‘standaard’ GEV verdeling, met stationaire parameters, te fitten aan de jaarmaxima uit de gedetrende reeks zoals beschreven in deel 1 van dit rapport en aangeduid met de ‘basisneerslagreeks 2014’. Een nadeel van deze laatste methode is dat het niet bij voorbaat zeker is dat de trends in het gemiddelde, waarvoor gecorrigeerd is, ook corresponderen met de trends in de extremen. In deel 1 van dit rapport (paragraaf 4.2) is wel gekeken of de trends in bepaalde extremere kwantielen van de dagneerslag verschillen van die in het gemiddelde en dat bleek niet zo te zijn. Dat was ook de motivatie om de detrending van de reeksen louter op de trends in de gemiddelde neerslag te baseren. Echter, dit zegt nog niet alles over de trend in de extremen (de jaarmaxima) bij verschillende neerslagduren die relevant zijn voor de extreme waarden analyse waarop de neerslaghoeveelheden bij herhalingstijden tot en met 1000 jaar worden gebaseerd.

Er is daarom gekozen voor een tijdsafhankelijke GEV verdeling op basis van de niet-gedetrende neerslagreeks<sup>1</sup>). In paragraaf 2.2 wordt eerst het toegepaste tijdsafhankelijke GEV-model beschreven en in paragraaf 2.3 de resultaten daarvan. In paragraaf 2.4 gaan we nader in op de keuze van het specifieke tijdsafhankelijke GEV model en wordt ook de vergelijking met het genoemde alternatief gemaakt.

### 2.2 TIJDSAFHANKELIJKE EXTREME WAARDEN MODEL

Een van de eerste toepassingen van een niet-stationair extreme waarden model is die van Smith (1986). Echter pas vanaf ongeveer 2005 raken niet-stationaire modellen meer in gebruik.

1 Dit is de reeks die wel gecorrigeerd is voor veranderingen in de meetopstelling, dat wil zeggen wel gehomogeniseerd, maar niet gecorrigeerd voor de trends in het gemiddelde, dat wil zeggen niet gedetrend.

### HET TIJDSAFHANKELIJKE GEV MODEL

In het tijdsafhankelijke GEV model worden de trend(s) in de historische extreme neerslag in rekening gebracht middels tijdsafhankelijke parameters van de GEV verdeling. Hiermee kan dan de statistiek voor een willekeurig referentiejaar (in dit project tussen 1906 en 2014) worden afgeleid. Voor de statistiek voor het huidige klimaat is als referentiejaar 2014 gekozen (het laatste volledige jaar in de historische tijdreeks).

De GEV verdeling is een kansverdeling met 3 parameters; de locatieparameter ( $\lambda$ ), de schaalparameter ( $\beta$ ) en de vormparameter ( $\Theta$ )<sup>2</sup>, (voor een goede inleiding zie bijvoorbeeld Coles, 2001). De GEV verdeling is een cumulatieve kansverdeling die als volgt is gedefinieerd, waarbij de notatie in Smits et al. (2004) wordt aangehouden<sup>3</sup>:

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

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

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

In het toegepaste tijdsafhankelijke GEV model zijn de parameters  $\lambda$  en  $\beta$  tijdsafhankelijk en is de vormparameter  $\Theta$  constant. In het kort:

$$GEV = GEV(\lambda(t), \beta(t), \Theta) \quad (2)$$

Een alternatief, dat vaak wordt gebruikt bij het modelleren van extreme neerslag (zie bijvoorbeeld Hanel et al. 2009 en Roth et al. 2012), en dat hier ook wordt gebruikt is om in plaats van met de schaalparameter  $\beta$  met de dispersiecoëfficiënt  $\Upsilon$  te werken waarbij de dispersiecoëfficiënt gelijk is aan de schaalparameter gedeeld door de locatieparameter,  $\Upsilon = \beta/\lambda$ . Het GEV-model dat we gebruiken heeft een constante (tijdsafhankelijke) dispersiecoëfficiënt en daarmee dus ook een tijdsafhankelijke schaalparameter. In het kort, het GEV-model op basis van een tijdsafhankelijke dispersiecoëfficiënt:

$$GEV = GEV(\lambda(t), \Upsilon, \Theta) \quad (3)$$

met:

$$\lambda(t) = a + bt, \quad (4)$$

$$\Upsilon = c$$

$$\Theta = -0.090 + 0.017D/24, \quad D = 2 \text{ tot } 240 \text{ uren} \quad (5)$$

$$= -0.090 + 0.683 \ln(D/24), \quad D > 240 \text{ uren tot } 480 \text{ uren (10 tot 20 dagen)}. \quad (6)$$

- 2 De locatieparameter correspondeert met de neerslaghoeveelheid die bij een herhalingsstijd van ongeveer 1 jaar hoort, de schaalparameter bepaalt hoe sterk de neerslaghoeveelheid toeneemt met de herhalingsstijd (ofwel correspondeert met de helling van de lijnen zoals weergegeven in bijvoorbeeld Figuur 2.1) en de vormparameter, tenslotte, bepaalt de mate van afbuiging (naar boven of naar beneden van deze lijnen).
- 3 In deze notatie heeft de vormparameter  $\theta$  het tegenovergestelde teken van  $\Theta$  zoals algemeen gebruikelijk in de statistische literatuur (bijvoorbeeld Coles, 2001) ook wel aangeduid met de Koutsoyiannis notatie.

Dit GEV-model komt neer op een GEV verdeling waarin ook de schaalparameter  $\beta$  lineair van de tijd afhangt, want  $\beta = Y(a + bt)$ . De (vaste) relatie tussen  $\Theta$  en  $D$ , voor  $D$  tussen 2 en 240 uren, is een relatie die voor neerslag in Nederland veelvuldig wordt gebruikt en ook in Smits et al. (2004) is gebruikt. De relatie  $\Theta = -0.090 + 0.017D/24$ , voor  $D$  tussen 2 en 240 uren, is feitelijk een aanpassing van  $\Theta = -0.090 + 0.683 \ln(D/24)$  zoals geïntroduceerd in Buishand (1983) voor duren van 1 tot 10 dagen, om ook duren korter dan 1 dag te kunnen modelleren (Gellens, 2003; Smits et al., 2004). Voor duren tussen 1 en 10 dagen geven beide relaties vrijwel dezelfde resultaten, echter voor duren groter dan 10 dagen geeft de aangepaste relatie een overschatting van  $\Theta$  en wordt teruggevallen op de oorspronkelijke relatie van Buishand (1983). Met aanvulling van 11 Belgische stations laat Buishand (1991) zien dat de oorspronkelijke relatie zelfs geldig is voor duren tot 30 dagen. Voor neerslagduren van meer dan 5 dagen geeft de relatie tussen  $\Theta$  en  $D$  een GEV verdeling die ‘aan de bovenkant begrensd is’ en voor neerslagduren korter dan 5 dagen een GEV verdeling die ‘aan de onderkant begrensd is’. Een gevolg hiervan is dat de verdelingsfuncties voor verschillende duren elkaar altijd zullen snijden. Met het gebruik van een gladde relatie tussen  $\Theta$  en  $D$ , zoals hier gebruikt, in plaats van het schatten van de (onzekere)  $\Theta$  uit de data per duur afzonderlijk, wordt voorkomen dat het snijden van de verdelingsfuncties voor verschillende duren al bij relatief korte herhalings tijden ( $\sim 1000$  jaar) kan optreden.

Om een ‘compleet en consistent GEV-model voor alle neerslagduren’ af te leiden zijn vervolgens relaties tussen  $\lambda(t = \text{”2014”})$  en  $D$  en tussen  $Y$  en  $D$  afgeleid:

$$\lambda(t = \text{”2014”}) = a + b109 = [a_\lambda + b_\lambda \ln(D)]^{1/c_\lambda} \quad (7)$$

$$Y = c = a_Y + b_Y \ln(D) + c_Y \ln(D)^2 \quad (8)$$

In Smits et al. (2004) is het type van vergelijking (7) gebruikt om de schaalparameter  $\beta$  als functie van de neerslagduur te modelleren en zo de gewenste consistentie tussen de duren te bereiken. Hier werken we echter met de dispersiecoëfficiënt  $Y$  in plaats van de schaalparameter  $\beta$ . Het type kwadratische vergelijking om de dispersiecoëfficiënt  $Y$  als functie van de duur te modelleren is eerder door Buishand en Wijngaard (2007) gebruikt om de relatie tussen de dispersie en de duur voor duren tussen 5 en 120 minuten te modelleren. In Smits et al. (2004) werd het verloop tussen de gefitte locatieparameter  $\lambda$  en de duur voldoende ‘glad’ gevonden en is deze relatie niet gemodelleerd, hier doen we dat vanwege de grotere flexibiliteit wel en gebruiken we daarvoor het type relatie dat in Smits et al. (2004) is gebruikt voor het modelleren van de relatie tussen de schaalparameter  $\beta$  en de duur.

De vergelijkingen (7) en (8) samen met de vergelijking voor  $\Theta$  als functie van  $D$  maken het mogelijk om (voor een gegeven seizoen en ‘klimaat’) de herhalings tijd voor elke willekeurige neerslagduur tussen 2 uur en 20 dagen op eenvoudige wijze te berekenen (of omgekeerd de herhalings tijd bij een bepaalde neerslaghoeveelheid). Met de gefitte 6 parameters in vergelijkingen (7) en (8) kunnen we dus de statistiek voor een bepaalde periode/seizoen en klimaat volledig beschrijven. Alle stappen die nodig zijn om alle parameters van het volledige GEV model voor een bepaald klimaat en periode af te leiden worden in detail beschreven in Bijlage A.



### RELATIE TUSSEN NEERSLAGHOEVELHOED EN HERHALINGSTIJD

De neerslaghoeveelheden (in mm) zijn uit de afgeleide GEV verdelingen bepaald, en de bijbehorende herhalingsstijden zijn herleid met de relatie van Langbein (1949) zoals in Smits et al. (2004) en in Buishand en Wijngaard (2007).

### BASISREEKSEN VOOR HET TIJDSAFHANKELIJKE EXTREME WAARDEN MODEL VOOR HET HUIDIGE KLIMAAT

De basis voor de extreme waarden analyse voor het huidige klimaat is de niet-gedetrende uurreeks van neerslag van De Bilt voor de periode 1906 – 2014 (dus de *wel* gehomogeniseerde maar *niet* gedetrende uurreeks, in tegenstelling tot de gehomogeniseerde *en* gedetrende reeks zoals beschreven in deel 1 van dit rapport). De motivatie hiervoor is gegeven in paragraaf 2.1. Uit deze reeks zijn per neerslagduur (voor 11 uren tussen 2 uur en 20 dagen) en per seizoen de 109 jaarmaxima bepaald die als basis dienen voor het fitten van de tijdsafhankelijke GEV verdelingen. Bij het bepalen van de jaarmaxima per duur is van “schuivende tijdsvensters” gebruik gemaakt, dat wil zeggen dat bij een bepaalde duur het tijdsvenster voor die duur steeds 1 uur wordt opgeschoven zodat ook werkelijk het grootste maximum bij die duur gevonden wordt.

### BASISREEKSEN VOOR HET TIJDSAFHANKELIJKE EXTREME WAARDEN MODEL VOOR DE TOEKOMST

Voor het genereren van tijdreeksen voor de toekomst wordt het KNMI transformatieprogramma voor dagwaarden van de neerslag gebruikt (Bakker, 2015). Dit programma gaat er impliciet vanuit dat als input het klimaat rond 1995 wordt gebruikt (vaak wordt hier dan de periode 1981-2010 voor gebruikt). De Basisneerslagreeks 2014 beschrijft het klimaat rond 2014 en kan daarom niet als input voor de transformatie gebruikt worden (zou leiden tot overschatting van de neerslaghoeveelheden bij de verschillende herhalingsstijden in de toekomst).

De *uurreeksen* die de basis vormen voor de extreme waarden analyse voor het toekomstige klimaat zijn geconstrueerd door eerst de gehomogeniseerde *dagwaarden* reeks voor De Bilt (8-8 UTC) te transformeren naar de toekomst volgens elk van de KNMI'14 klimaatscenario's op basis van het transformatieprogramma neerslag. De relatieve verandering per dag (8-8 UTC) is vervolgens toegepast op de corresponderende uursommen van de gehomogeniseerde *uurreeks*.

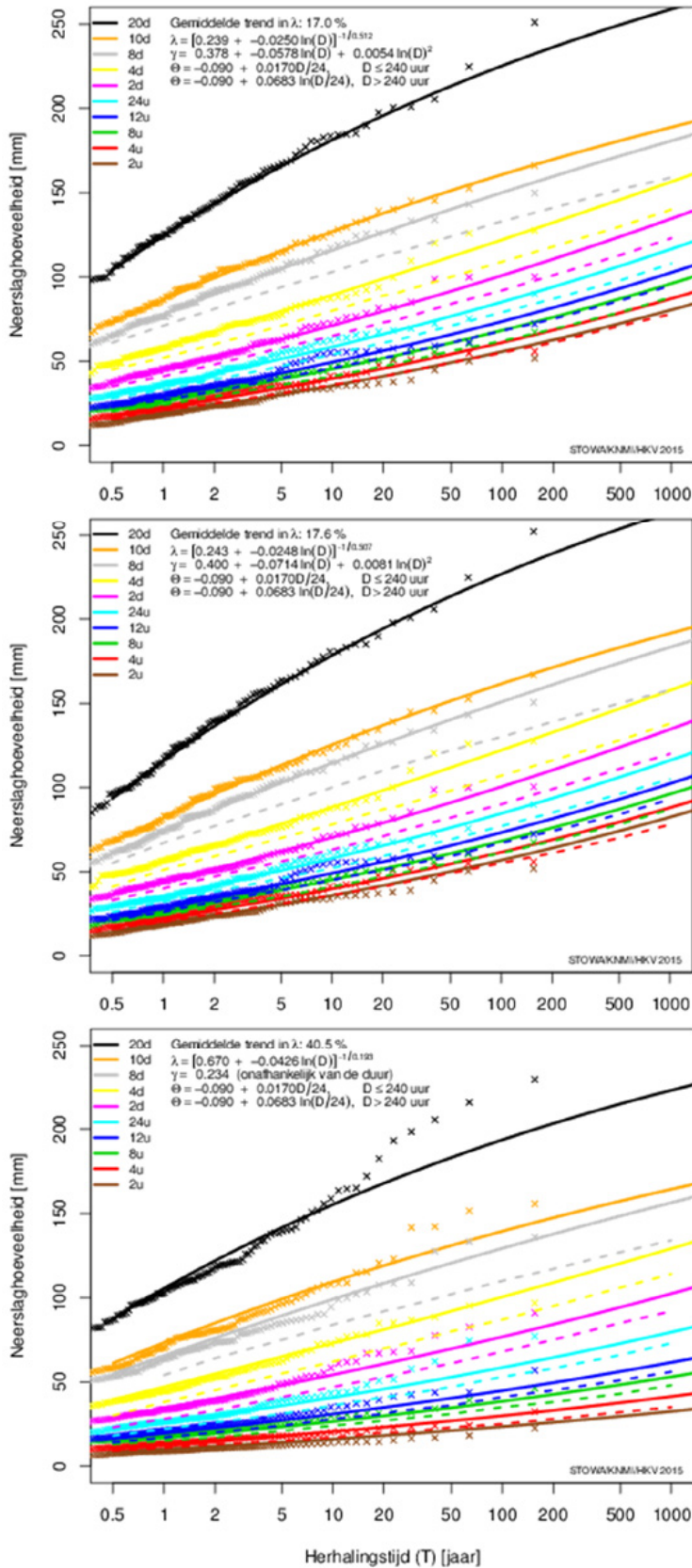
De 109 jaarmaxima behorend bij de klimaatscenario's zijn verder op dezelfde manier afgeleid als voor de gehomogeniseerde historische *uurreeks*. De details van de getransformeerde *uurreeksen* worden gegeven in deel 1 van dit rapport. De extreme waarden analyse is vervolgens voor elk van de klimaatscenario's ook op exact dezelfde wijze uitgevoerd als voor het huidige klimaat (rond 2014).

## 2.3 RESULTATEN VOOR HET HUIDIGE KLIMAAT

In deze paragraaf worden voor het huidige klimaat met als referentiejaar 2014 en voor de 3 periodes (op jaarbasis, voor de seizoenen maart t/m oktober en voor november t/m februari) de resultaten voor het volledige tijdsafhankelijke GEV-model gepresenteerd als figuren van de neerslaghoeveelheden als functie van de herhalingsstijd. Tabellen van de neerslagstatistiek voor het huidige klimaat voor de neerslagduren zoals die ook zijn opgenomen in Meteobase worden gepresenteerd in Hoofdstuk 3 en die voor het toekomstige klimaat, op basis van de KNMI14 klimaatscenario's, in Hoofdstuk 4.

FIGUUR 2.1

NEERSLAGHOEVELHOEDEN VOOR VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN VAN DE NEERSLAG TE DE BILT VOOR HET KLIMAAT ROND 2014 VOOR NEERSLAGDUREN TUSSEN 2 UUR EN 20 DAGEN OP JAARBASIS (BOVEN), VOOR MAART T/M OKTOBER (MIDDEN) EN VOOR NOVEMBER T/M FEBRUARI (ONDER). GEKLEURDE KRUISJES ZIJN DE 109 'JAARMAXIMA' UIT DE NIET-GEDETRENDE REEKS VOOR DE JAREN 1906 – 2014, GECORRIGEERD VOOR DE GEMODELLEERDE TREND IN DE LOCATIE PARAMETER  $\lambda$ . DE STIPPELLIJNEN ZIJN DE NEERSLAGHOEVELHOEDEN AFGELEID IN 2004 (SMITS ET AL., 2004)



In Figuur 2.1 zijn ook de neerslaghoeveelheden behorende bij de verschillende herhalings-tijden uit Smits et al. (2004) opgenomen voor de duren 4 uur tot en met 8 dagen (de gekleurde stippellijnen). Deze zijn ook opgenomen in Meteobase. De neerslaghoeveelheden die we nu hebben afgeleid zijn systematisch hoger dan die in Smits et al. (2004). Gemiddeld over de 7 duren tussen 4 uur en 8 dagen en de 11 herhalings-tijden gebruikt als labels bij de horizontale as in de figuren, zijn de neerslaghoeveelheden vergeleken met Smits et al. (2004) op jaar-basis, voor maart t/m oktober en voor november t/m februari respectievelijk: 9.9, 11.4 en 15.2% hoger(zie ook Tabellen 3.4 t/m 3.6). De verschillen tussen de nieuwe en oude statistiek worden voor het grootste deel veroorzaakt door rekening te houden met de historische trend in de neerslag en voor een klein deel door het verlengen van de basisreeks met 11 jaar en het corrigeren voor veranderingen in de opstelling van de regenmeters<sup>4</sup>.

#### MODELLEREN VAN DE LOCATIEPARAMETER EN DISPERSIE COËFFICIËNT ALS FUNCTIE VAN DE DUUR

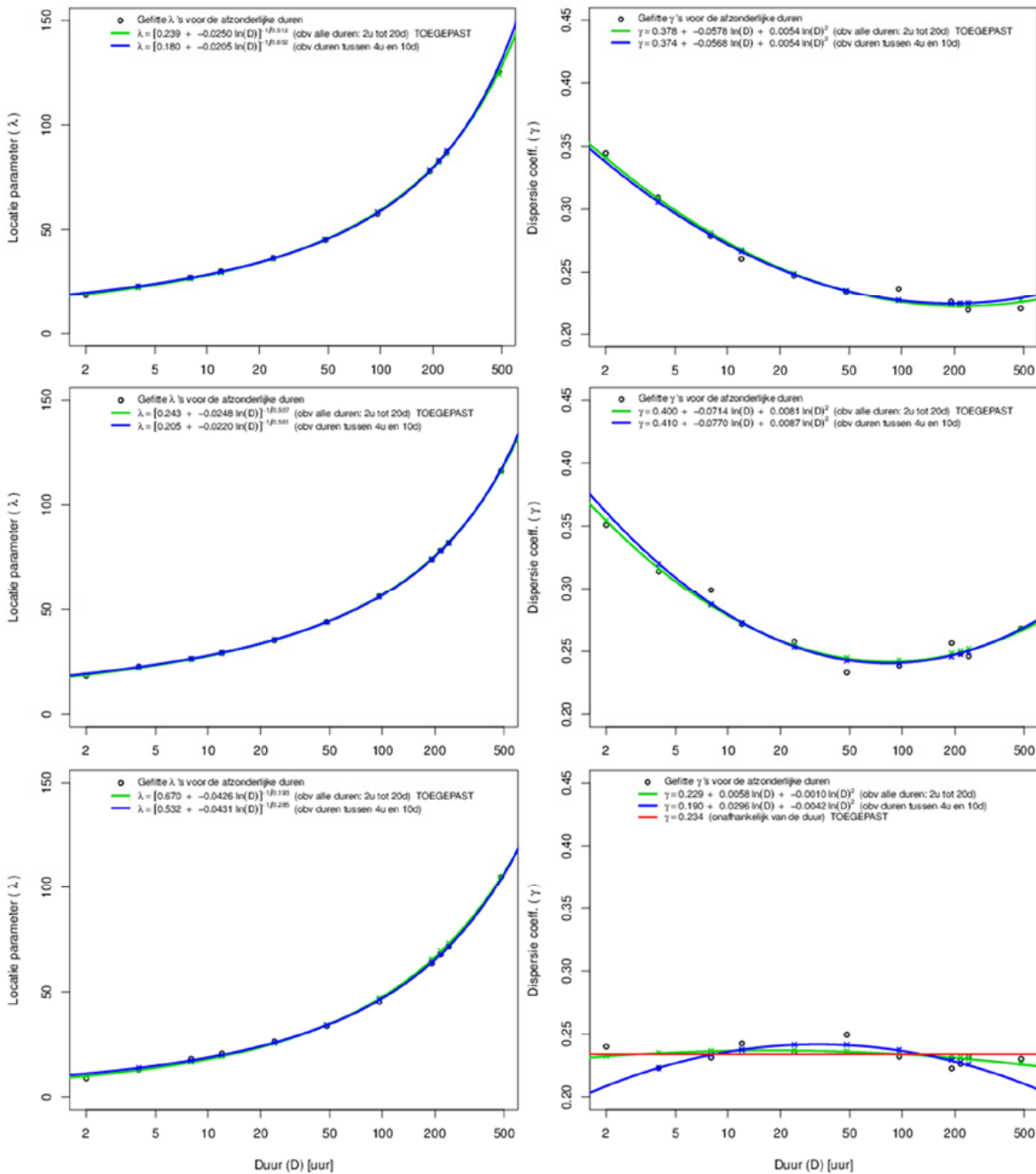
Figuur 2.2 toont de relaties tussen locatieparameter en de neerslagduur (links) en de dispersiecoëfficiënt en de neerslagduur (rechts). De figuren laten zien dat de machtsfunctie voor de locatieparameter en de kwadratische functie voor de dispersie coëfficiënt deze relaties goed beschrijven. Voor de periode november t/m februari is de dispersie coëfficiënt onafhankelijk van de duur; de gemiddelde waarde van 0.234 is voor alle duren gebruikt. De uiteindelijk toegepaste fits zijn die waarbij ook de duren 2 uur en 20 dagen in de fit zijn meegenomen. Met deze fits is het volledige tijdsafhankelijke GEV model bruikbaar voor willekeurige duren tussen 2 uur en 20 dagen, en kunnen dus ook duren, hoeveelheden of herhalings-tijden die niet expliciet in Meteobase zijn opgenomen op eenvoudige wijze afgeleid worden.

#### 2.4 ALTERNATIEVEN EN MOTIVATIE VOOR EEN TIJDSAFHANKELIJK EXTREME WAARDEN MODEL

Naast de hoofdkeuze: een tijdsafhankelijk GEV-model op basis van de niet-gedetrende neerslagreeks of een standaard stationair GEV-model op basis van de gedetrende neerslagreeks, zijn er bij een tijdsafhankelijk GEV-model nog variaties mogelijk met betrekking tot hoe precies de tijdsafhankelijkheid in de GEV parameters mee wordt genomen. Meer specifiek, welke parameters worden tijdsafhankelijk gemaakt, en op welke manier. In het toegepaste tijdsafhankelijke GEV-model met een lineaire trend in de locatieparameter  $\lambda$  en een constante dispersiecoëfficiënt  $Y$  (ofwel een gekoppelde trend in de locatie- en schaalparameter) is de relatieve trend voor alle kwantielen gelijk. Met andere woorden, stel dat de relatieve trend 10% bedraagt dan veranderen zowel de eens per jaar, eens per 10 jaar, eens per 100 jaar en eens per 1000 jaar neerslaghoeveelheid met 10%. In een recente studie van Roth et al. (2012) waarin Peak Over Threshold (POT) modellen worden toegepast op historische winter maxima in Nederland komt het model met een lineair in de tijd verlopende drempel en een stationaire dispersiecoëfficiënt en vormparameter als beste naar voren. Bij een POT model is een lineair van de tijd afhankelijke drempel equivalent aan een lineair in de tijd afhankelijke locatieparameter bij een GEV model.

<sup>4</sup> De verschillen tussen de nieuwe en oude statistiek zijn ook consistent met de trends in de locatieparameter  $\lambda$  van 17.0, 17.6 en 40.5% voor respectievelijk jaarbasis, maart t/m oktober en november t/m februari. De 'oude' statistiek waarin geen rekening werd gehouden met de trend in de locatieparameter is (uitgaande van een lineaire trend) min of meer representatief voor het midden van de reeks die als basis is gebruikt, d.w.z. rond 1955. De hierboven genoemde trends in de locatieparameter zijn de trends over de volledige periode 1906 - 2014. Het verschil tussen de oude statistiek (representatief voor 1955) en de nieuwe (representatief voor 2014) is dan naar verwachting ongeveer de helft van de trend over 1906 - 2014. Dat dit niet precies zo is heeft te maken met het verlengen van de reeks en het corrigeren voor veranderingen in de opstelling van de regenmeters.

FIGUUR 2.2 LOCATIE-DUUR (LINKS) EN DISPERSIE-DUUR (RECHTS) RELATIES VOOR NEERSLAGDUREN TUSSEN 2 UUR EN 20 DAGEN OP JAARBASIS (BOVEN), VOOR MAART T/M OKTOBER (MIDDEN) EN VOOR NOVEMBER T/M FEBRUARI (ONDER) VOOR DE BILT. RONDJES ZIJN DE INDIVIDUEEL PER DUUR GEFITTE WAARDEN



De lineariteitsaanname wordt nu eerst verder besproken. Uit deel 1 van dit rapport weten we dat de trend in de gemiddelde neerslag niet voor alle seizoenen lineair verloopt, met name niet in de zomer (juli t/m augustus). Lenderink en Attema (2015) laten zien dat de positieve trend sinds 1906 in extreme uurlijkse neerslag in De Bilt in de ‘zomer’ (mei t/m oktober) zich vooral voordoet sinds ~1980 en dat de trend op jaarbasis (januari t/m december) veel meer lineair is. Dit betekent dat de resultaten voor de zomer waarschijnlijk wat gevoeliger zijn voor de lineariteitsaanname dan voor de andere seizoenen en op jaarbasis. De hier gedefinieerde ‘zomer’ (maart t/m oktober) is een extra lange zomer wat de niet-lineariteit waarschijnlijk reduceert. Verder, doordat de niet-lineariteit in de zomer (en de andere seizoenen die een niet-lineariteit in het gemiddelde laten zien) vooral in de eerste helft van de historische reeks zit,

zal de schatting van de locatieparameter voor 2014 (het einde van de reeks) weinig verschillen voor een locatieparameter met een lineaire trend en een locatieparameter met een niet-lineaire trend. Daarom wordt zowel op jaarbasis als voor maart t/m oktober en november t/m februari voor een locatieparameter met een lineaire trend in de tijd gekozen, equivalent aan het eerder genoemde model van Roth et al. (2012) voor de winter.

Een andere mogelijkheid die voor de hand ligt is om, naast de locatieparameter, ook andere GEV parameters tijdsafhankelijk te maken. Vaak echter wordt de vormparameter stationair verondersteld en daar wordt in deze studie ook aan vastgehouden, mede omdat de vormparameter al als functie van de neerslagduur wordt gemodelleerd (op basis van de literatuur, zie paragraaf 2.2). In Hanel et al. (2009), Hanel and Buishand (2010, 2011, 2012) en Roth et al. (2012) worden modellen toegepast waarin de dispersiecoëfficiënt van de tijd afhangt en waarin de relatieve trends in de schaal- en locatie parameter dus niet meer per definitie identiek zijn. In zo'n model zal de trend in de tijd per kwantiel verschillend zijn. Als alternatief voor het GEV model met lineaire trend in de locatieparameter en stationaire dispersie coëfficiënt is ook een model beschouwd met een lineaire trend in de locatieparameter *en*, Hanel et al. (2009), Hanel and Buishand (2010, 2011, 2012) volgend, een exponentiele trend in de dispersiecoëfficiënt ( $Y = \exp[c + dt]$ ). Wederom kunnen we veronderstellen dat, omdat we uiteindelijk geïnteresseerd zijn in de dispersie coëfficiënt representatief voor het einde van de reeks (2014), het niet veel zal uitmaken of we de dispersiecoëfficiënt lineair of niet-lineair (exponentieel)<sup>5</sup> van de tijd af laten hangen.

Hanel et al. (2009) en Hanel and Buishand (2011) vonden in 'transient' simulaties voor de toekomst met regionale klimaatmodellen significant positieve trends in de dispersiecoëfficiënt in de zomer. Voor extreme neerslag in De Bilt in de jaren 1906-2014 geeft het model met trends in zowel de locatieparameter als de dispersiecoëfficiënt ten opzichte van het model met alleen een trend in de locatieparameter slechts een verbetering voor 2 neerslagduren (48 en 96 uur) in de periode november t/m maart. In deze beide gevallen gaat de sterk *positieve* trend in de locatieparameter van ongeveer 40% (die we ook in het model met alleen een tijdsafhankelijke locatieparameter zien) gepaard met een ongeveer even grote *negatieve* trend in de dispersiecoëfficiënt. Dit zijn ook de enige 2 gevallen waarvoor de (negatieve) trend in de dispersiecoëfficiënt statistisch significant is (op het 5% niveau) en (tegelijkertijd) ook de waarde van het Akaike Information Criterion (AIC)<sup>6</sup> lager is dan voor het model met alleen een trend in de locatieparameter. Gezien de zeer geringe meerwaarde van dit type model, en vanwege de gewenste consistentie tussen de neerslagduren wordt dit model ongeschikt geacht voor de hier gewenste toepassing.

Vanwege het gebruik van de gedetrende tijdreeksen (uit deel 1 van dit rapport) in verschillende toepassingen zijn ook de neerslaghoeveelheden bij verschillende herhalingstijden afgeleid uit een standaard stationair GEV-model op basis van de gedetrende reeks (het zelfde GEV model als Smits et al (2004) maar op basis van een langere en gedetrende reeks in plaats van op de originele historische reeks). De op deze wijze verkregen neerslaghoeveelheden wijken gemiddeld op jaarbasis, voor maart t/m oktober en voor november t/m februari resp. 13.3,

5 Het veelvuldig gebruik van een exponentiele tijdsafhankelijkheid van de dispersie coëfficiënt in de literatuur is ook ingegeven door het feit dat hiermee voorkomen wordt dat de dispersie coëfficiënt op enig moment negatief kan worden en het GEV model dan niet meer gedefinieerd is.

6 Het AIC is een veel gebruikt criterium om te discrimineren tussen modelvarianten (zie bijvoorbeeld Roth et al., 2012). De basis is het minimaliseren van de residuele variantie waarbij een 'penalty' voor het aantal gemodelleerde parameters wordt opgeteld.

14.2 en 14.4% af van de neerslaghoeveelheden uit 2004 (in plaats van resp. 9.9, 11.4 en 15.2% voor de in paragraaf 2.3 gepresenteerde neerslaghoeveelheden). We kunnen hieruit concluderen dat de neerslaghoeveelheden bij verschillende herhalingstijden uit een stationair GEV-model op basis van de gedetrende reeks op jaarbasis en voor maart t/m oktober gemiddeld ongeveer 3% hoger zijn dan die op basis van het tijdsafhankelijke GEV model en voor november t/m februari ongeveer 1% lager. Deze verschillen vallen binnen de typische (statistische/model) onzekerheid die hoort bij het schatten/modelleren van de neerslaghoeveelheden, zeker voor die behorende bij hoge herhalingstijden. Interessanter dan deze verschillen zijn voor de gebruiker misschien de verschillen tussen de 'jaarmaxima' die horen bij het tijdsafhankelijke GEV-model en de 'jaarmaxima' in de gedetrende reeks. In Figuur 2.3 (op basis van Figuur 2.1) zijn deze samen geplot.

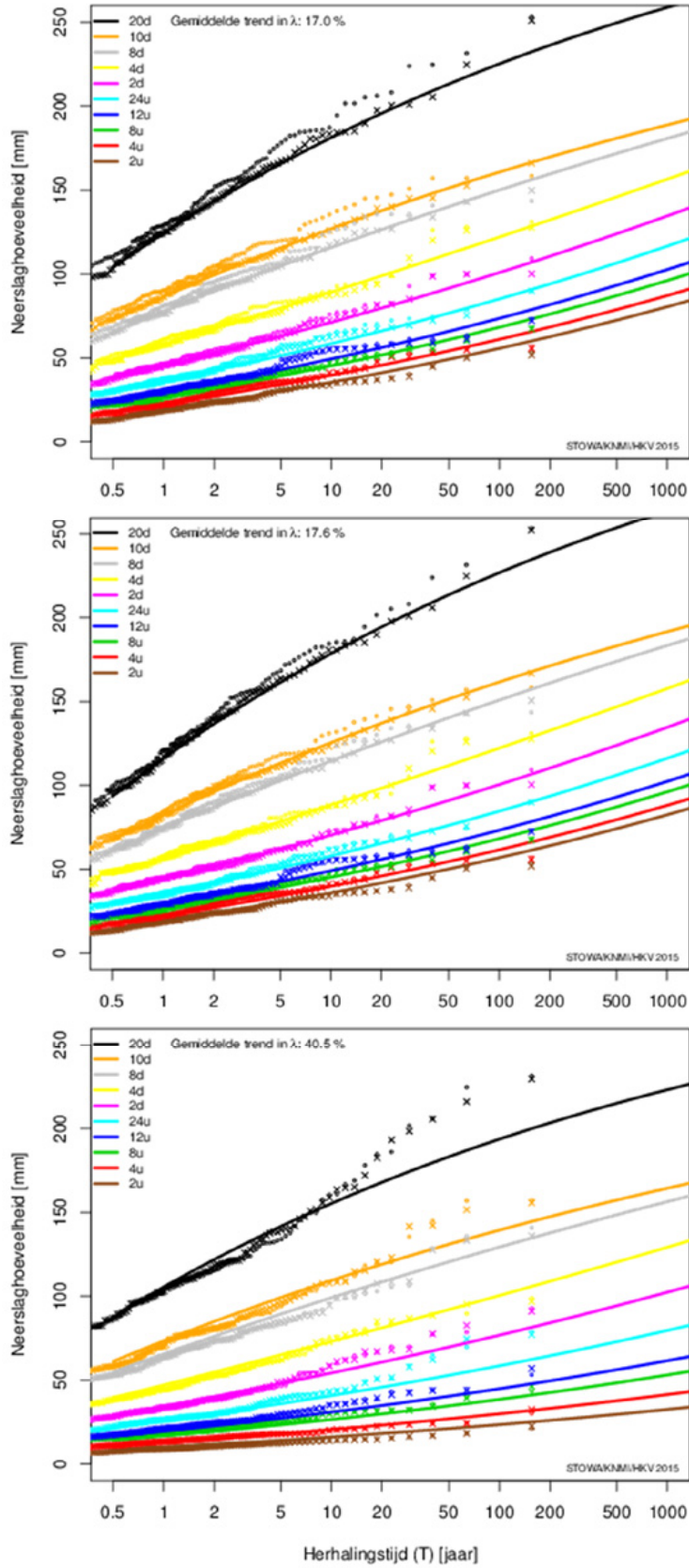
De verschillen tussen beide typen 'jaarmaxima' zijn niet heel groot. Op jaarbasis en voor maart t/m oktober en dan met name voor de wat langere duren zijn ze het grootst. De jaarmaxima in de gedetrende reeks passen in goede benadering dus ook bij de afgeleide neerslaghoeveelheden (op basis van het tijdsafhankelijke GEV-model). En omgekeerd, de afgeleide neerslaghoeveelheden passen in benadering ook goed bij de (jaarmaxima in de) gedetrende reeks.

Ten slotte wordt, voor de volledigheid, ook nog de mogelijkheid om beide methodes te combineren genoemd. Een GEV-model met tijdsafhankelijke parameters toegepast op de gedetrende reeks is ook denkbaar. De tijdsafhankelijke parameters nemen dan de eventuele 'rest-trend' in de extremen voor hun rekening die is 'blijven zitten' door het detrenden van de reeks op basis van de trends in het gemiddelde. Zo'n model is echter minder aantrekkelijk omdat er 2 keer een onzekerheid geïntroduceerd wordt; 1 keer door het verwijderen van de (onzekere) trend in het gemiddelde, en 1 keer door de (onzekere) trend in de locatieparameter van de GEV verdeling. Bij een test met dit type model voor november t/m februari bleek die laatste onzekerheid vrij groot, dat wil zeggen bijna net zo groot als de rest-trend zelf (waarmee significantie van de rest-trend uitgesloten is).



FIGUUR 2.3

ALS FIGUUR 2.1, ZONDER DE STOWA 2004 NEERSLAGHOEVELHOEDEN BIJ VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN MAAR MET DE 109 'JAARMAXIMA' UIT DE GEDETRENDE 1906 - 2014 REEKS (DEEL 1 VAN DIT RAPPORT) ALS KLEINE OPEN RONDJES. BOVEN: OP JAARBASIS, MIDDEN: MAART T/M OKTOBER EN ONDER: NOVEMBER T/M FEBRUARI



# 3

## STATISTIEK HUIDIGE KLIMAAT

### 3.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt de nieuwe statistiek voor het klimaat rond 2014 gepresenteerd en besproken. Dit betekent niet dat alle getallen worden gepresenteerd, maar een aantal karakteristieken zal worden geïllustreerd met tabellen en grafieken. Alle gegenereerde gegevens zijn te vinden in Meteobase<sup>7</sup>.

### 3.2 STATISTIEK DE BILT VOOR KLIMAAT ROND 2014

In de tabellen 3.1 tot en met 3.3 staat de jaar- en seizoensstatistiek voor De Bilt in het klimaat rond 2014, zoals gegenereerd in dit project. In de tabellen 3.4 t/m 3.6 staan de relatieve verschillen ten opzichte van de STOWA neerslagstatistiek uit 2004 voor de duren van 4 uur t/m 8 dagen (Smits et al., 2004).

#### VERANDERINGEN T.O.V. DE STATISTIEK IN METEOBASE (2012)

Door het corrigeren voor de trend in de reeks van 1906-2014 zijn de neerslaghoeveelheden bij de gepresenteerde herhalingstijden aanzienlijk gestegen: voor de jaarstatistiek van 8-12%, voor het seizoen maart t/m oktober 10-14% en voor het seizoen november t/m februari 11-18%. De oorzaken van deze toename zijn besproken in paragraaf 2.4.

#### VERSCHILLEN IN VERANDERINGEN TUSSEN NEERSLAGDUREN EN HERHALINGSTIJDEN

De relatieve veranderingen ten opzichte van de statistiek uit 2004 lijken niet systematisch veel groter/kleiner voor bepaalde neerslagduren, hoewel de relatieve verandering voor een neerslagduur van 8 uur meestal aan de onderkant van de range zit en de relatieve verandering voor de neerslagduren 4 en 8 dagen meestal aan de bovenkant van de range. De verschillen in relatieve veranderingen tussen herhalingstijden zijn voor de jaarstatistiek en voor het seizoen maart-oktober niet al te groot. Wel is te zien dat de relatieve verandering over het algemeen iets groter is voor de lange herhalingstijden. Bij het seizoen november t/m februari zijn de verschillen in relatieve veranderingen wel groot tussen herhalingstijden, en zijn de veranderingen het grootst voor de korte herhalingstijden (zie ook paragraaf 2.4).

#### CONSISTENTIE TUSSEN JAAR- EN SEIZOENSSTATISTIEK

Verder valt op dat de neerslaghoeveelheden behorend bij de verschillende herhalingstijden het hoogst zijn voor de statistiek op jaarbasis en de statistiek voor het seizoen maart t/m oktober. De waarden voor beide liggen over het algemeen vrij dicht bij elkaar. Dit is ook te verwachten, aangezien de jaarstatistiek wordt gedomineerd door maxima die in het zomerhalfjaar optreden. Bij de langere herhalingstijden is de neerslaghoeveelheid voor het seizoen maart/oktober vaak net iets hoger dan voor de jaarstatistiek. Dit is het gevolg van de inherente onzekerheid in de gefitte (en uiteindelijk gemodelleerde) GEV parameters. Evenals in de neerslagstatistiek voor STOWA afgeleid in 2004 (Smits et al., 2004), en in tegenstelling tot

<sup>7</sup> Met uitzondering van de gegevens voor neerslagduren van 10 en 20 dagen, die wel in de figuren staan.



de consistentie tussen de neerslagduren, zijn geen pogingen ondernomen om deze (kleine) inconsistentie te vermijden.

**TABEL 3.1** NEERSLAGHOEVEELHEDEN BIJ VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN VAN DE NEERSLAG TE DE BILT (IN MM) OP JAARBASIS VOOR HET KLIMAAT ROND 2014 VOOR NEERSLAGDUREN TUSSEN 2 UUR EN 8 DAGEN

Herhalingstijd (jaar)	Neerslagduur							
	2 uur	4 uur	8 uur	12 uur	24 uur	2 dagen	4 dagen	8 dagen
0.5	14.6	17.6	21.4	24.2	30.0	37.9	49.1	65.6
1	19.0	22.2	26.4	29.5	36.0	45.1	58.2	77.9
2	23.6	27.1	31.7	35.1	42.4	52.6	67.4	89.7
5	30.1	34.1	39.2	43.0	51.4	63.0	79.8	104.8
10	35.5	39.7	45.3	49.5	58.5	71.2	89.3	115.9
20	41.1	45.7	51.8	56.2	66.1	79.7	99.0	126.5
25	43.0	47.7	53.9	58.5	68.6	82.5	102.1	129.9
50	49.2	54.2	60.9	65.8	76.7	91.5	112.0	140.1
100	55.7	61.1	68.3	73.6	85.1	100.9	122.0	150.0
200	62.6	68.4	76.1	81.8	94.1	110.6	132.2	159.6
500	72.5	78.8	87.1	93.3	106.6	124.0	145.9	171.9
1000	80.5	87.2	96.1	102.6	116.6	134.6	156.5	180.8

**TABEL 3.2** ALS TABEL 3-1 MAAR VOOR DE PERIODE MAART T/M OKTOBER

Herhalingstijd (jaar)	Neerslagduur							
	2 uur	4 uur	8 uur	12 uur	24 uur	2 dagen	4 dagen	8 dagen
0.5	14.3	17.3	21.0	23.7	29.2	36.6	46.7	61.2
1	18.8	22.0	26.1	29.0	35.3	43.9	56.1	74.2
2	23.6	27.0	31.4	34.6	41.7	51.5	65.6	86.8
5	30.4	34.0	38.9	42.6	50.7	62.0	78.4	102.9
10	35.9	39.8	45.1	49.0	57.8	70.3	88.3	114.5
20	41.7	45.9	51.5	55.8	65.4	79.0	98.3	125.9
25	43.7	47.9	53.7	58.1	67.9	81.8	101.5	129.4
50	50.0	54.5	60.7	65.4	76.0	90.9	111.8	140.3
100	56.8	61.5	68.1	73.2	84.5	100.4	122.1	150.8
200	63.9	68.9	76.0	81.4	93.5	110.2	132.7	161.0
500	74.1	79.5	87.1	93.0	106.0	123.8	146.8	174.0
1000	82.4	88.0	96.1	102.3	116.1	134.6	157.7	183.4

**TABEL 3.3** ALS TABEL 3-1 MAAR VOOR DE PERIODE NOVEMBER T/M MAART

Herhalingstijd (jaar)	Neerslagduur							
	2 uur	4 uur	8 uur	12 uur	24 uur	2 dagen	4 dagen	8 dagen
0.5	8.5	10.8	14.0	16.4	21.6	29.0	39.5	54.8
1	10.1	12.8	16.6	19.4	25.7	34.4	47.0	65.6
2	11.7	15.0	19.4	22.7	29.9	40.1	54.7	76.0
5	14.1	18.0	23.3	27.2	35.9	48.0	65.1	89.4
10	16.1	20.5	26.5	30.9	40.7	54.2	73.0	99.1
20	18.1	23.1	29.9	34.8	45.8	60.7	81.1	108.5
25	18.8	24.0	31.0	36.1	47.4	62.9	83.8	111.5
50	21.1	26.9	34.6	40.3	52.8	69.7	92.0	120.5
100	23.4	29.9	38.5	44.8	58.5	76.8	100.4	129.3
200	26.0	33.1	42.6	49.5	64.5	84.1	108.9	137.7
500	29.6	37.6	48.4	56.2	72.9	94.3	120.4	148.5
1000	32.5	41.3	53.0	61.6	79.6	102.4	129.2	156.4

**TABEL 3.4** RELATIEVE VERSCHILLEN (IN %) TUSSEN DE NEERSLAGHOEVEELHEDEN BIJ VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN VAN DE NEERSLAG TE DE BILT OP JAARBASIS VOOR HET KLIMAAT ROND 2014 EN DE NEERSLAGHOEVEELHEDEN AFGELEID IN 2004 (SMITS ET AL., 2004) VOOR NEERSLAGDUREN TUSSEN 2 UUR EN 8 DAGEN

Herhalingstijd (jaar)	Neerslagduur							
	2 uur	4 uur	8 uur	12 uur	24 uur	2 dagen	4 dagen	8 dagen
0.5	11.9 <sup>1</sup>	10.0	7.0	5.2	7.1	8.3	9.1	7.5
1	12.8	5.7	10.0	9.3	9.1	10.0	11.9	9.7
2	13.4	8.4	9.3	9.7	8.7	9.6	12.3	10.7
5	14.0	10.0	8.9	7.5	9.4	8.6	12.4	11.5
10	14.4	10.3	10.5	7.6	8.3	9.5	11.6	12.5
20	14.7	11.5	10.2	8.1	8.4	9.2	11.2	11.9
25	14.8	10.9	10.0	8.3	8.9	10.0	12.2	13.0
50	15.0	10.6	8.7	7.9	8.0	8.9	12.0	13.0
100	15.3	11.1	10.2	8.2	7.7	9.7	11.9	12.8
200	15.5	12.1	10.3	9.1	8.2	9.5	12.0	13.2
500	15.8	11.0	10.3	8.5	8.8	9.7	12.2	13.1
1000	16.0	11.8	9.2	8.0	8.0	9.4	11.8	13.7
Gem. verschil	14.5	10.3	9.6	8.1	8.4	9.4	11.7	11.9

**TABEL 3.5** ALS TABEL 3-4 MAAR VOOR DE PERIODE MAART T/M OKTOBER

Herhalingstijd (jaar)	Neerslagduur							
	2 uur	4 uur	8 uur	12 uur	24 uur	2 dagen	4 dagen	8 dagen
0.5	NB <sup>8</sup>	8.1	5.0	12.9	12.3	10.9	13.9	11.3
1	NB	10.0	8.8	11.5	10.3	9.7	10.0	10.7
2	NB	8.0	8.3	8.1	9.7	9.6	11.2	12.7
5	NB	9.7	11.1	9.2	10.2	10.7	12.0	14.3
10	NB	10.6	10.0	8.9	11.2	11.6	13.2	14.5
20	NB	12.0	9.6	9.4	10.8	11.3	13.0	14.5
25	NB	11.4	9.6	9.6	9.5	10.5	14.0	14.5
50	NB	11.2	10.4	10.8	10.1	10.9	14.1	15.0
100	NB	11.8	11.6	9.3	9.7	11.6	14.1	16.0
200	NB	13.0	11.8	10.0	10.0	11.3	14.4	15.8
500	NB	13.6	11.7	10.7	10.4	11.5	14.7	16.0
1000	NB	12.8	10.5	10.0	10.6	12.2	14.3	16.1
Gem. verschil	NB	11.0	9.9	10.0	10.4	11.0	13.2	14.3

**TABEL 3.6** ALS TABEL 3-4 MAAR VOOR DE PERIODE NOVEMBER T/M FEBRUARI

Herhalingstijd (jaar)	Neerslagduur							
	2 uur	4 uur	8 uur	12 uur	24 uur	2 dagen	4 dagen	8 dagen
0.5	NB <sup>8</sup>	20.0	7.7	17.1	20.0	26.1	31.7	NB
1	NB	16.4	10.7	14.1	16.8	22.9	23.7	21.5
2	NB	15.4	14.1	13.5	15.0	21.5	21.6	18.8
5	NB	20.0	11.0	13.3	15.8	17.1	18.4	19.2
10	NB	20.6	10.4	10.4	13.1	15.3	17.7	18.0
20	NB	15.5	10.7	12.3	11.7	14.5	15.9	17.9
25	NB	20.0	10.7	9.4	12.9	14.4	16.4	18.6
50	NB	17.0	11.6	11.9	12.3	14.3	15.0	18.1
100	NB	19.6	10.0	9.3	10.4	12.9	15.4	17.5
200	NB	18.2	12.1	10.0	11.2	12.1	14.6	17.7
500	NB	17.5	12.6	10.2	10.5	10.9	13.6	16.9
1000	NB	18.0	10.4	10.0	9.0	11.3	13.3	16.7
Gem. verschil	NB	18.2	11.0	11.8	13.2	16.1	18.1	18.3

<sup>8</sup> Vergelijking met de 2-uurwaarden voor de statistiek op jaarbasis is gebaseerd op de getallen in Meteobase. In Smits et al., 2004 was de kortste duur waarvoor statistiek is afgeleid 4 uur en daaruit dus niet beschikbaar. Voor de statistiek voor seizoenen zijn ook in Meteobase geen vergelijkbare gegevens beschikbaar.

# 4

## STATISTIEK KNMI'14 SCENARIO'S

### 4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt de jaar- en seizoensstatistiek zoals gegenereerd in dit project voor de toekomstscenario's gepresenteerd en besproken. Een aantal tabellen en figuren worden gepresenteerd om een aantal karakteristieken te bespreken, maar een volledig overzicht van de neerslaghoeveelheden behorend bij de verschillende neerslagduren, herhalingstijden, tijdshorizonten en regio's is te vinden in Meteobase. Voor de volledigheid worden in Bijlage B voor alle klimaatscenario's de relevante parameters (zoals gedefinieerd in paragraaf 2.2) voor de bijbehorende GEV modellen gegeven. Op basis hiervan kunnen, indien gewenst, ook duren of herhalingstijden berekend worden die niet expliciet in Meteobase zijn opgenomen.

### 4.2 STATISTIEK VOOR DE TOEKOMST VOOR DE BILT

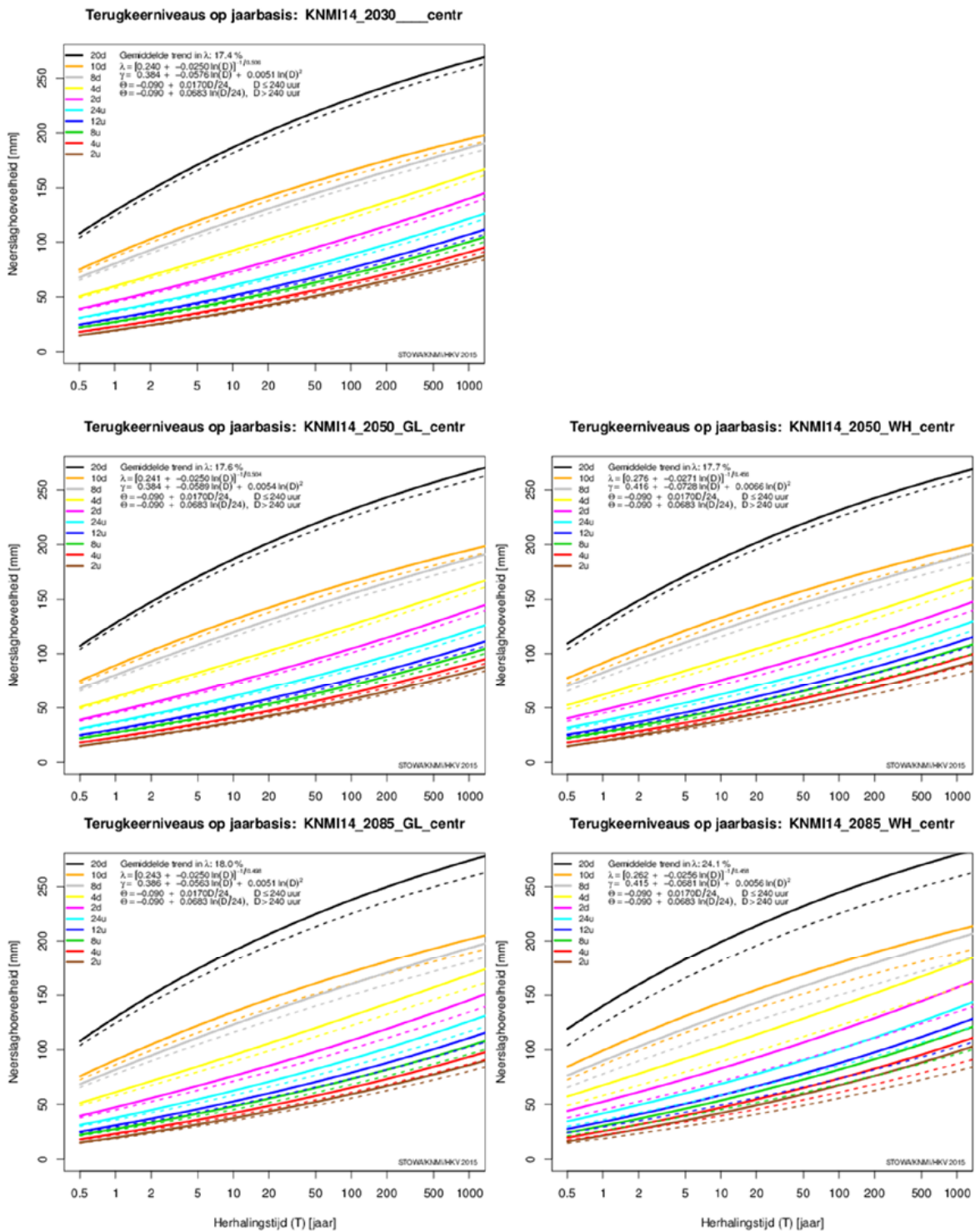
#### VERSCHIL TUSSEN HET KLIMAATSCENARIO VOOR ROND 2030 EN DE KLIMAATSCENARIO'S VOOR ROND 2050 EN 2085

Het "2030" scenario is op een andere manier gemaakt dan de scenario's voor rond 2050 en 2085. Een rechtstreekse vergelijking is daarom niet aan te raden (zie ook deel 1 van dit rapport). Dit is ook terug te zien in de informatie die wordt gepresenteerd voor deze scenario's: voor 2030 wordt geen gebruik gemaakt van de scenario's  $G_L$ ,  $G_H$ ,  $W_L$  en  $W_H$ . Wel wordt er onderscheid gemaakt tussen de subscenario's "lower", "centr" en "upper", die respectievelijk de onderkant, het midden en de bovenkant van de range aan mogelijke veranderingen in de extreme neerslag weergeven.

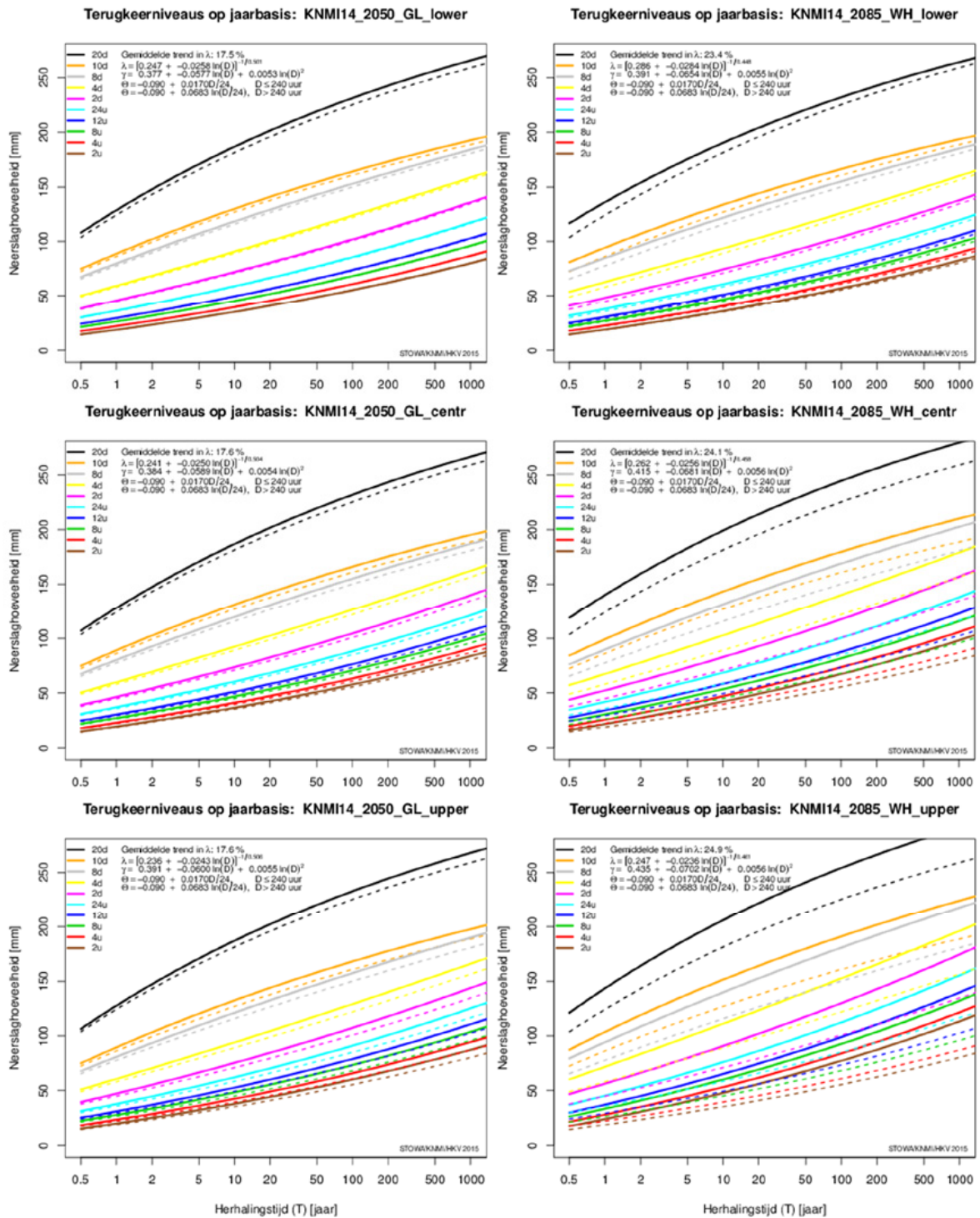
#### VERSCHIL TUSSEN SUBSCENARIO'S VAAK GROTER DAN TUSSEN SCENARIO'S

In tabel 4.1 staan de neerslaghoeveelheden voor verschillende herhalingstijden voor een neerslagduur van 24 uur (op jaarbasis). De verschillen tussen de subscenario's binnen 1 klimaatscenario zijn vooral voor de langere herhalingstijden vaak groter dan de verschillen tussen eenzelfde subscenario voor verschillende klimaatscenario's. In het geval men een indruk wil krijgen van de range van mogelijke gevolgen van klimaatverandering is het daarom niet voldoende om alleen de subscenario's "centr" van de vier klimaatscenario's mee te nemen. De range wordt vaak vollediger opgespannen door  $G_L$ -"lower" en  $W_H$ -"upper" te gebruiken (zie Figuren 4.1 en 4.2, en Tabel 4.2).

FIGUUR 4.1 NEERSLAGHOEVELHOEDEN BIJ VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN OP JAARBASIS VOOR VIJF GESELECTEERDE SCENARIO'S: 2030, 2050\_G<sub>L</sub>, 2050\_W<sub>H</sub>, 2085\_G<sub>L</sub> EN 2085\_W<sub>H</sub> MET ALS SUB-SCENARIO "CENTR" VOOR NEERSLAGDUREN TUSSEN 2 UUR (2U) EN 20 DAGEN (20D). DE GESTIPPTELDE LIJNEN ZIJN DE NEERSLAGHOEVELHOEDEN VOOR HET HUIDIGE KLIMAAT MET ALS REFERENTIEJAAR 2014 (DEZE ZIJN GELIJK VOOR ALLE PANELS EN GELIJK AAN DE DOORGETROKKEN LIJNEN IN HET BOVENSTE PANEL VAN FIGUUR 2.1).



FIGUUR 4.2 NEERSLAGHOEVELHOEDEN BIJ VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN OP JAARBASIS VOOR TWEE GESELECTEERDE SCENARIO'S: 2050\_G<sub>L</sub> (LINKS) EN 2085\_W<sub>H</sub> (RECHTS) VOOR DE SUB-SCENARIO'S "LOWER" (BOVEN), "CENTR" (MIDDEN) EN "UPPER" (ONDER) VOOR NEERSLAGDUREN TUSSEN 2 UUR (2U) EN 20 DAGEN (20D). DE GESTIPPelde LIJNEN ZIJN DE NEERSLAGHOEVELHOEDEN VOOR HET HUIDIGE KLIMAAT MET ALS REFERENTIEJAAR 2014 (DEZE ZIJN GELIJK VOOR ALLE PANELS EN GELIJK AAN DE DOORGETROKKEN LIJNEN IN HET BOVENSTE PANEL VAN FIGUUR 2.1)



TABEL 4.1 NEERSLAGHOEVEELHEDEN BIJ VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN VAN DE 24-UUR NEERSLAG TE DE BILT (IN MM) OP JAARBASIS VOOR DE 4 KNMI'14 KLIMAATSCENARIO'S VOOR HET KLIMAAT ROND 2050

Herhalingstijd (jaar)	klimaatscenario											
	G <sub>L</sub>			G <sub>H</sub>			W <sub>L</sub>			W <sub>H</sub>		
	lower	centr	upper	lower	centr	upper	lower	centr	upper	lower	centr	upper
0.5	30.4	30.9	31.4	30.1	31.1	31.9	30.5	32.4	33.6	30.4	31.7	33.2
1	36.5	37.2	38.0	36.2	37.4	38.6	36.7	39.1	40.9	36.4	38.2	40.3
2	42.9	43.9	44.9	42.5	44.1	45.6	43.1	46.2	48.5	42.6	45.1	47.8
5	51.9	53.2	54.6	51.4	53.5	55.5	52.2	56.1	59.2	51.4	54.6	58.3
10	59.1	60.7	62.3	58.5	61.0	63.4	59.4	64.1	67.8	58.5	62.3	66.7
20	66.6	68.6	70.5	66.0	68.9	71.7	67.1	72.5	76.9	65.9	70.4	75.6
25	69.2	71.2	73.2	68.5	71.5	74.5	69.6	75.3	79.9	68.4	73.1	78.6
50	77.3	79.6	82.0	76.5	79.9	83.4	77.8	84.2	89.5	76.3	81.7	88.0
100	85.8	88.4	91.2	85.0	88.8	92.7	86.4	93.7	99.7	84.7	90.8	98.0
200	94.8	97.7	100.8	93.8	98.2	102.6	95.4	103.6	110.4	93.4	100.4	108.5
500	107.3	110.8	114.4	106.3	111.3	116.4	108.0	117.5	125.4	105.8	113.8	123.2
1000	117.4	121.3	125.3	116.3	121.8	127.5	118.2	128.6	137.4	115.6	124.5	135.0

TABEL 4.2 GEMIDDELDE RELatieve VERANDERING (IN %) VAN DE NEERSLAGHOEVEELHEDEN TE DE BILT OP JAARBASIS VOOR DE NEERSLAGDUREN 4 TOT 24 UUR TEN OPZICHTE VAN DIE VOOR HET KLIMAAT ROND 2014 PER KNMI'14 (SUB)SCENARIO. DE VERANDERING IN DE NEERSLAGHOEVEELHEDEN IS GEMIDDELD OVER DE HERHALINGSTIJDEN GEPRÉSENTEERD IN TABEL 4.1

Klimaatscenario	Neerslagduur												
	4 uur			8 uur			12 uur			24 uur			
	lower	centr	upper	lower	centr	upper	lower	centr	upper	lower	centr	upper	
2030		-0.2	3.5	6.4	0.1	3.7	6.2	0.1	3.6	5.9	0.4	3.7	5.6
2050	GL	0.1	3.7	7.3	0.4	3.7	7.1	0.5	3.7	6.8	0.9	3.7	6.5
	GH	-1.7	3.2	8.2	-0.9	3.7	8.4	-0.6	3.9	8.3	0.0	4.2	8.3
	WL	0.3	9.2	17.0	0.9	9.5	16.7	1.1	9.5	16.4	1.5	9.5	15.9
	WH	-1.1	7.1	16.2	-0.7	7.0	15.4	-0.5	6.7	14.9	-0.1	6.5	14.0
2085	GL	0.5	6.3	12.5	1.0	6.6	12.6	1.3	6.7	12.6	1.8	6.8	12.5
	GH	0.1	6.9	13.4	0.9	7.4	13.6	1.2	7.6	13.5	1.6	7.7	13.2
	WL	2.0	17.8	34.2	2.7	17.6	33.1	3.0	17.4	32.2	3.7	16.9	30.5
	WH	2.7	18.8	34.2	3.3	18.5	33.0	3.6	18.2	32.1	4.1	17.5	30.2

#### DE NEERSLAGHOEVEELHEDEN BIJ KORTE HERHALINGSTIJDEN VERANDEREN ANDERS DAN DE NEERSLAGHOEVEELHEDEN BIJ LANGE HERHALINGSTIJDEN

Zoals is te zien in Tabellen 4.3a en b veranderen de neerslaghoeveelheden behorende bij verschillende herhalingstijden niet altijd even veel. Dit is voor alle tijdshorizonten, klimaatscenario's en subscenario's te zien. Voor subscenario's 'centr' en 'upper' veranderen de neerslaghoeveelheden bij langere herhalingstijden meestal meer dan bij de kortere. Voor subscenario 'lower' is regelmatig het omgekeerde te zien. Dit komt overeen met de veranderingen in de KNMI'14 klimaatscenario's die ook door het transformatieprogramma worden opgelegd. Bij subscenario's 'centr' en 'upper' is de verandering in gemiddelde neerslag vaak lager dan de verandering in de extremen, vooral in het zomerhalfjaar. Voor subscenario 'lower' is regelmatig het omgekeerde het geval.

**TABEL 4.3A** RELATIEVE VERANDERING (IN %) IN DE NEERSLAGHOEVELHOEDEN BIJ VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN VAN DE NEERSLAG TE DE BILT OP JAARBASIS VOOR HET W<sub>L</sub> SCENARIO VOOR HET KLIMAAT ROND 2085 TEN OPZICHTE VAN HET KLIMAAT ROND 2014, VOOR VIER NEERSLAGDUREN VAN 2 TOT 12 UUR

Herhalingstijd (jaar)	Neerslagduur											
	2 uur			4 uur			8 uur			12 uur		
	lower	centr	upper	lower	centr	upper	lower	centr	upper	lower	centr	upper
0.5	2.1	13.7	24	3.4	14.2	24.4	4.2	14.0	24.3	4.1	14.0	23.6
1	1.6	14.7	28.4	2.7	15.3	28.4	3.4	15.5	27.7	3.7	15.3	26.8
2	1.7	16.1	31.4	2.6	16.6	30.6	3.2	16.4	30.0	3.4	16.2	29.1
5	1.3	17.6	34.2	2.1	17.3	32.8	3.1	17.3	32.1	3.3	17.0	31.2
10	1.1	17.7	35.2	2.0	17.9	34.5	2.6	17.7	33.1	3.0	17.4	32.1
20	1.2	18.5	36.7	1.8	18.4	35.4	2.5	18.0	34.0	3.0	17.8	33.3
25	1.2	18.6	37.0	1.9	18.4	35.8	2.6	18.2	34.5	2.9	17.9	33.5
50	1.0	18.7	37.6	1.7	18.6	36.5	2.3	18.4	35.1	2.7	18.2	34.3
100	0.9	19.2	38.4	1.6	19.0	37.2	2.2	18.6	35.7	2.6	18.3	34.8
200	1.0	19.5	39.0	1.6	19.2	37.9	2.2	18.9	36.4	2.4	18.6	35.3
500	0.8	19.6	39.6	1.5	19.4	38.3	2.2	19.2	37.1	2.5	18.9	36.0
1000	0.9	19.8	40.0	1.5	19.6	38.8	2.1	19.4	37.5	2.4	19.1	36.5
Gemiddeld	1	18	35	2	18	34	3	18	33	3	17	32

**TABEL 4.3B** ALS TABEL 4.3A, MAAR VOOR VIER NEERSLAGDUREN VAN 24 UUR TOT 8 DAGEN

Herhalingstijd (jaar)	Neerslagduur											
	24 uur			2 dagen			4 dagen			8 dagen		
	lower	centr	upper	lower	centr	upper	lower	centr	upper	lower	centr	upper
0.5	5.0	14.0	23.0	5.8	13.7	21.9	6.5	13.0	20.0	6.9	11.6	17.2
1	4.7	15.3	25.8	5.3	14.6	24.2	5.7	13.6	21.8	6.0	11.9	18.9
2	4.2	15.8	27.6	4.9	15.2	25.9	5.3	13.9	23.3	5.6	12.4	20.2
5	3.9	16.3	29.4	4.4	15.7	27.3	4.8	14.4	24.7	5.1	12.7	21.3
10	3.8	16.9	30.6	4.2	16.0	28.4	4.6	14.7	25.5	4.7	12.9	21.9
20	3.5	17.1	31.3	4.0	16.3	29.2	4.3	14.9	26.2	4.6	13.0	22.5
25	3.5	17.2	31.6	4.0	16.4	29.5	4.3	15.0	26.4	4.5	13.0	22.6
50	3.3	17.5	32.3	3.8	16.6	30.1	4.2	15.2	27.0	4.4	13.1	23.0
100	3.3	17.9	33.0	3.7	16.7	30.4	4.0	15.3	27.5	4.2	13.3	23.3
200	3.1	17.9	33.4	3.5	16.9	30.9	3.9	15.4	27.8	4.1	13.3	23.6
500	3.0	18.1	34.0	3.4	17.1	31.5	3.8	15.6	28.2	3.9	13.4	23.9
1000	2.9	18.4	34.4	3.3	17.2	31.8	3.6	15.7	28.5	3.8	13.4	24.1
Gemiddeld	4	17	31	4	16	28	5	15	26	5	13	22

#### VERANDERINGEN VOOR DE LANGERE HERHALINGSTIJDEN VERSCHILLEN NIET VEEL

De verandering die in het transformatieprogramma wordt opgelegd is boven het 99-percentiel voor de natte dagen per kalendermaand constant gehouden. Hierdoor verschillen de veranderingen voor de langere herhalingstijden meestal niet veel van elkaar (Tabellen 4.3 en 4.4). Aangezien het transformatieprogramma niet of nauwelijks iets verandert aan de volgorde van neerslaggebeurtenissen<sup>9</sup> geldt ook voor de langer neerslagduren dat de verande-

<sup>9</sup> Afgezien van het verwijderen of toevoegen van natte dagen.



ring voor de langere herhalingstijden niet veel van elkaar verschilt. In de KNMI'14 scenario's is geen expliciete informatie opgenomen over mogelijke veranderingen in de duur van natte en droge perioden. Er is alleen informatie opgenomen over het aantal natte/droge dagen per kalendermaand. In het transformatieprogramma worden natte dagen aan het begin of einde van een aantal opeenvolgende natte dagen in de historische reeks verwijderd. Verwijdering van natte dagen vindt vooral plaats in het zomerhalfjaar en in de H-scenario's. De verandering in het aantal natte dagen is het grootst bij de verste tijdshorizon. Het gevolg is dat bij de H-scenario's de relatieve toename voor de langste herhalingstijden nauwelijks anders is dan bij de korte herhalingstijden (bij de 'upper' subscenario's, Tabel 4.4) of zelfs lager is (bij de 'lower' subscenario's, Tabel 4.4). Dit effect treedt alleen op bij neerslagduren langer dan 1 dag. Als de droge/natte perioden in de toekomst toch meer veranderen<sup>10</sup> dan verwerkt in het transformatieprogramma, dan kan dit leiden tot over- of onderschatting van de neerslag-extremen met lange duren.

TABEL 4.4 RELATIEVE VERANDERING (IN %) IN DE NEERSLAGHOEVEELHEDEN BIJ VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN VAN DE NEERSLAG TE DE BILT OP JAARBASIS VOOR DE  $W_L$  EN  $W_H$  SCENARIO'S VOOR HET KLIMAAT ROND 2085 TEN OPZICHTE VAN HET KLIMAAT ROND 2014, VOOR DE NEERSLAGDUREN VAN 4 EN 8 DAGEN

Herhalingstijd (jaar)	$W_L$						$W_H$					
	4 dagen			8 dagen			4 dagen			8 dagen		
	lower	centr	upper	lower	centr	upper	lower	centr	upper	lower	centr	upper
0.5	6.5	13	20	6.9	11.6	17.2	10	16.7	23.2	11.3	16.6	21.5
1	5.7	13.6	21.8	6	11.9	18.9	8.1	16.2	23.7	9.1	15.4	21.2
2	5.3	13.9	23.3	5.6	12.4	20.2	6.8	15.9	24	7.6	14.7	21.1
5	4.8	14.4	24.7	5.1	12.7	21.3	5.6	15.4	24.3	6.1	13.9	20.9
10	4.6	14.7	25.5	4.7	12.9	21.9	4.9	15.2	24.6	5.2	13.5	20.7
20	4.3	14.9	26.2	4.6	13	22.5	4.3	15.1	24.7	4.6	13.2	20.6
25	4.3	15	26.4	4.5	13	22.6	4.2	15	24.9	4.4	13	20.6
50	4.2	15.2	27	4.4	13.1	23	3.7	14.8	24.9	3.9	12.8	20.6
100	4	15.3	27.5	4.2	13.3	23.3	3.4	14.8	25.1	3.5	12.6	20.5
200	3.9	15.4	27.8	4.1	13.3	23.6	3	14.6	25.2	3.1	12.4	20.5
500	3.8	15.6	28.2	3.9	13.4	23.9	2.6	14.5	25.3	2.6	12.2	20.4
1000	3.6	15.7	28.5	3.8	13.4	24.1	2.3	14.4	25.3	2.4	12	20.4
Gemiddeld	5	15	26	5	13	22	5	15	25	5	14	21

#### SOMS LAGERE NEERSLAGHOEVEELHEDEN VOOR DE TOEKOMST DAN VOOR HET KLIMAAT ROND 2014

Bij de subscenario's "lower" voor de tijdshorizonten 2030 en 2050 en zelfs voor 2085 voor de scenario's GL en GH komt het voor dat de neerslaghoeveelheden behorend bij deze (subscenario's) lager zijn dan in de neerslagstatistiek voor het klimaat rond 2014. Dit komt vaker voor bij tijdshorizonten die dichterbij liggen en bij de scenario's met relatief kleine veranderingen (GL en GH). In deze gevallen is de verandering volgens de KNMI'14 klimaatscenario's volgens het subscenario "lower" kleiner dan de meegenomen trend bij de GEV-analyse. Bovendien komt dit effect vooral voor bij de neerslagduren korter dan 24 uur. De transformatie voor het verkrijgen van tijdreeksen voor de toekomst is uitgevoerd op dagbasis, en de veranderingen op dagbasis zijn vervolgens ook toegepast op alle uren van die dag. Uit onderzoek weten we dat de extreme neerslag op uurbasis sneller kan toenemen dan de extreme neerslag op dag-

<sup>10</sup> Bijv. door meer persistentie van natte of droge perioden.



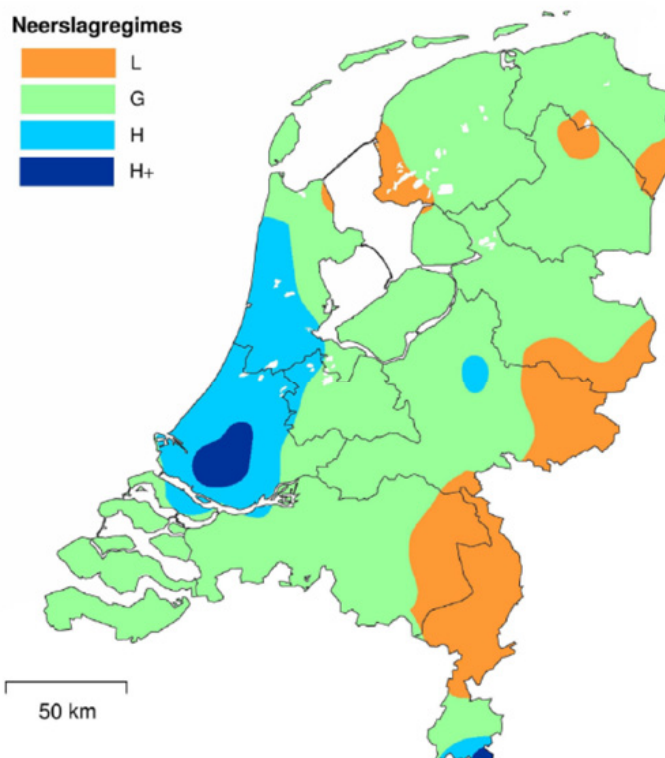
basis (Lenderink et al., 2011; Lenderink & van Meijgaard, 2008). De ondergrens voor de verandering op uurbasis ligt vaak in de buurt van de verandering volgens 'centr' op dagbasis, de bovengrens voor de verandering op uurbasis komt wel redelijk overeen met de bovengrens voor de veranderingen op dagbasis. Dit kan (deels) het bovenstaande effect verklaren. Daarom wordt geadviseerd om het sub-scenario "lower" niet te gebruiken voor de neerslagduren van 2 t/m 12 uur, omdat de toegepaste verandering voor dagwaarden een onderschatting geeft voor de sub-dagelijkse neerslagextremen.

## 5

## REGIONALISATIE STATISTIEK

In Buishand et al. (2009) is beschreven dat de statistiek van extreme neerslag in Nederland in vier neerslagregimes kan worden gekarakteriseerd (zie Figuur 5.1).

FIGUUR 5.1 VIER TE ONDERSCHIEDEN NEERSLAGREGIMES L, G, H EN H+ MET ELK EEN EIGEN EXTREME WAARDEN STATISTIEK (BRON: BUISHAND ET AL., 2009)



Per regime is in Buishand et al. (2009) een factor voor de statistiek gegeven, aangeduid als de relatieve locatieparameter. Deze factoren zijn afgeleid op basis van daggegevens en daarmee niet direct bruikbaar voor duren korter dan één dag. In onderzoek van het KNMI is daarnaast aangetoond dat de statistiek van neerslag voor de korte duren (korter dan orde 12 tot 24 uur) over de regio's in tegenstelling tot de statistiek voor de lange duren niet verschilt (onder andere Overeem (2009)). We regionaliseren dan ook enkel de statistiek en gebeurtenissen in neerslagreeksen voor duren gelijk aan en langer dan 24 uur.

De factoren voor de neerslagregimes L, G, H en H+ zijn weergegeven als 'regimegemiddelde' in Tabel 51.

TABEL 5.1

FACTOREN VOOR DE AANPASSING VAN DE NEERSLAG PER REGIME (BRON: BUISHAND ET AL., 2009)

Regime	$\hat{\zeta}_{rel}$	regimegemiddelde
L	< 0.95	0.93
G	0.95 ... 1.05	1.00
H	1.05 ... 1.10	1.08
H+	$\geq 1.10$	1.14

De aanpassing van de statistiek is als volgt uitgevoerd:

- Voor alle duren gelijk aan en langer dan 24 vermenigvuldigen we de neerslaghoeveelheden met de regimegemiddelde factor.
- Voor alle duren gelijk aan en korter dan 12 uur veranderen de neerslaghoeveelheden niet.
- Voor de duren tussen 12 uur en 24 uur vermenigvuldigen we de neerslaghoeveelheden met een factor die lineair afhankelijk is van de duur en bij 12 uur 1 is en bij 24 uur gelijk aan de regimegemiddelde factor. Op deze manier ontstaat er een geleidelijk verloop van 12 tot 24 uur.

Dit wordt zowel toegepast op de neerslaghoeveelheden voor het huidige klimaat als de neerslaghoeveelheden voor de klimaatscenario's.

# 6

## DISCUSSIE

### 6.1 GEBRUIK TRANSFORMATIEPROGRAMMA

Wat betreft het gebruik van het transformatieprogramma in relatie tot neerslagextremen merken we het volgende op:

- 1 In het transformatieprogramma wordt aangenomen dat de extremen boven het 99-percentiel allemaal evenveel veranderen (Bakker & Bessembinder, 2012; Bakker, 2015)). Door de beperkte informatie over extremen met lange herhalingscycli uit klimaatmodellen, is niet aan te geven of deze aanname helemaal terecht is. Voor de winter zien we dat in de klimaatmodellen de gemiddelden ongeveer even veel veranderen als de extremen. Het lijkt daarom aannemelijk dat de aanname in het transformatieprogramma daarom voor de winter redelijk terecht is. Voor de zomer zien we dat de gemiddelde neerslag veel minder/heel anders veranderd dan de extremen (eens in de tien jaar dagextreem).
- 2 Het transformatieprogramma verandert in principe niet veel aan de sequentie van neerslaggebeurtenissen (behalve waar natte dagen worden verwijderd of droge nat worden gemaakt). De klimaatmodellen die zijn gebruikt als basis voor de KNMI'14 scenario's zijn niet expliciet geanalyseerd op de weergave en verandering van meerdaagse neerslagextremen (behalve voor de 10-daagse 1/10 jaar extreem in de winter) en deze mogelijke veranderingen zijn dus ook niet expliciet meegenomen/opgelegd in het transformatieprogramma. Verder onderzoek naar mogelijke veranderingen in meerdaagse neerslagextremen zou interessant zijn.

### 6.2 VAN DAG- NAAR URNEERSLAG?

De range van mogelijke verandering in de extreme urneerslag (of voor uren korter dan 24 uur) is niet expliciet meegenomen bij het genereren van tijdreeksen voor de toekomst. De range voor de verandering van extreme urneerslag is kleiner dan die voor extreme dagneerslag. Dit kan als gevolg hebben dat met subscenario "lower" de extremenstatistiek voor de toekomst kan worden onderschat. Daarom wordt geadviseerd om het sub-scenario "lower" niet te gebruiken voor de neerslagduren van 2 t/m 12 uur, omdat de toegepaste verandering voor dagwaarden een onderschatting geeft voor de sub-dagelijkse neerslagextremen.

### 6.3 REGIONALE STATISTIEK

Bij de regionalisatie van de statistiek merken we het volgende op:

- 1 De factoren die worden gebruikt voor het regionaliseren van de neerslagstatistiek zijn gebaseerd op reeksen vanaf 1951. Deze reeksen zijn indertijd niet gecorrigeerd voor trends en het onderzoek van Buishand et al. (2009) laat zien dat de trends niet overal in Nederland hetzelfde zijn. Het is daarom de vraag of de regionale verschillen in de toekomst gelijk zullen blijven.
- 2 De regionalisatie is afgeleid op jaarbasis en niet voor de afzonderlijke seizoenen. Aangezien de statistiek voor de periode maart t/m oktober vergelijkbaar is met die op jaarbasis, is de verwachting dat de regionalisatie ook op de periode maart t/m oktober toegepast kan worden.

Voor de periode november t/m februari wijkt de statistiek duidelijk af en is het minder duidelijk of deze regionalisatie toegepast kan worden.

- 3 We hebben de aanname gemaakt dat de statistiek van duren korter dan en gelijk aan 12 uur geen regionale spreiding kent en vanaf 12 tot 24 uur lineair toeneemt tot aan de regimegemiddelde factor. Dit is gebaseerd op verschillende bronnen die op hun beurt weer gebaseerd zijn op verschillende basisgegevens (radargegevens versus grondstations). Geadviseerd wordt om dit op een meer eenduidige manier te onderzoeken zodat dit ook beter per duur kan worden gekwantificeerd.
- 4 Daarnaast speelt het kusteffect een rol. Met kusteffect worden hogere neerslagextremen bedoeld, die gerelateerd zijn aan meteorologische effecten die zich voordoen op de overgang van de (warme) zee en het aangrenzende land en daardoor vooral in de kustregio voorkomen. Een deel van het kusteffect is gerepresenteerd in de hogere extremen in H en H+, maar een ander deel van het kusteffect, namelijk een iets andere verdeling van de neerslag over het jaar, is niet gerepresenteerd in de reeksen.

Aanbevolen wordt om de variabiliteit in de regionale statistiek beter te onderzoeken en onderbouwen.

## 7

## REFERENTIES

- Bakker, 2015. Time series transformation tool version 3.1 Description of the program to generate time series consistent with the KNMI'14 climate scenarios. De Bilt, 2015 | Technical Report ; TR-349. 39 pp.
- 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., 1991. Extreme rainfall estimation by combining data from several sites. *Hydrological Sciences Journal*, 36, 4, 345-365.
- Buishand, T.A. and J.B. Wijngaard, 2007. Statistiek van extreme neerslag voor korte neerslagduren KNMI publication: TR-295, 1/8/2007, pp. 19.
- Buishand, T.A., R. Jilderda & J.B. Wijngaard, 2009. Regionale verschillen in extreme neerslag. KNMI-publicatie: WR-2009-01, 3/3/2009, pp. 47.
- Buishand, A., Th. Brandsma, G. de Martino & H. Spreeuw, 2011. Ruimtelijke verdeling van neerslagtrends in Nederland in de afgelopen 100 jaar. H20.
- Coles, S., 2001. *An introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. 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.
- Hanel, M., T.A. Buishand & C.A.T. Ferro, 2009. A nonstationary index flood model for precipitation extremes in transient regional climate model. *J. Geophys. Res.*, 114, D15107, doi:10.1029/2009JD011712.
- Hanel, M. & T.A. Buishand, 2012. Multi-model analysis of RCM simulated 1-day to 30-day seasonal precipitation extremes in the Czech Republic. *J. Hydrol.*, 412, 141-150, doi:10.1016/j.jhydrol.2011.02.007.
- Hanel, M. & T.A. Buishand, 2011. Analysis of precipitation extremes in an ensemble of transient regional climate model simulations for the Rhine basin. *Clim. Dyn.*, 36, 1135-1153, doi:10.1007/s00382-010-0822-2.
- Hanel, M. & T.A. Buishand, 2010. On the value of hourly precipitation extremes in regional climate model simulations. *J. Hydrol.*, 393, 265-273, doi:10.1016/j.jhydrol.2010.08.024.
- Langbein, W.B., 1949. Annual floods and the partial-duration flood series. *Transactions American Geophysical Union*, 30, 870-881.
- Lenderink, G. & E. van Meijgaard, 2008. Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. *Nature Geoscience* 1, 8, pp. 511-514, doi:10.1038/ngeo262.
- Lenderink, G., H. Y. Mok, T. C. Lee & G. J. van Oldenborgh, 2011. Scaling and trends of hourly precipitation extremes in two different climate zones – Hong Kong and the Netherlands. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 8, 4701–4719.

Lenderink, G. & J. Attema, 2015. A simple scaling approach to produce climate scenarios of local precipitation extremes for the Netherlands. *Environ. Res. Lett.*, 10, 085001, doi:10.1088/1748-9326/10/8/085001.

Overeem, A., 2009. Climatology of extreme rainfall from rain gauges and weather radar. Proefschrift: Wageningen University, Wageningen, 144p.

Roth, M., T.A. Buishand, G. Jongbloed, A.M.G. Klein Tank, & J.H. van Zanten, 2012. A regional peaks-over-threshold model in nonstationary climate. *Water Resour. Res.*, 48, W11533, doi:10.1029/2012WR012214.

Smith, R.L., 1986. Extreme value theory based on the  $r$  largest annual events. *J. Hydrol.* 86(1-2), 27-43, doi:10.1016/0022-1694(86)90004-1.

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

Versteeg, R., H. Hakvoort, S. Bosch en M.-J. Kallen, 2013. METE0BASE, online archief van neerslag- en verdampingsgegevens voor het waterbeheer. STOWA rapport 2013-02.

## BIJLAGE A

# BESCHRIJVING VAN DE STAPPEN BIJ HET AFLEIDEN VAN HET VOLLEDIGE GEV MODEL

Hieronder worden alle stappen beschreven bij het afleiden van 'de statistiek' op basis van het paragraaf 2.2 beschreven tijdsafhankelijke GEV model. Dit zijn de stappen die gevolgd worden bij het afleiden van de statistiek voor 1 bepaald seizoen van ofwel het huidige klimaat ofwel een toekomstig klimaat corresponderend met 1 van de KNMI'14 klimaatscenario's. Per seizoen en per 'klimaat' (huidig=2014 dan wel toekomst=klimaatscenario) leiden deze stappen tot een 'compleet en consistent GEV model voor alle neerslagduren tussen 2 uur en 20 dagen'.

1. Per neerslagduur (11 uren) de 3 vrije parameters (a, b en c) van het tijdsafhankelijke GEV model fitten.
2. De parameters,  $a_\gamma$ ,  $b_\gamma$  en  $c_\gamma$ , van de vergelijking tussen de dispersiecoëfficiënt  $\gamma$  en de neerslagduur D (zie vgl. (8)) fitten voor de 11 dispersiecoëfficiënten uit stap 1).
3. Per neerslagduur de overgebleven vrije parameters (a en b) van het tijdsafhankelijke GEV model opnieuw fitten met de 'gemodelleerde' dispersiecoëfficiënt  $\Upsilon$  (op basis van vgl. (8)) uit stap 2.
4. Per neerslagduur met de gefitte a en b (uit stap 3) de relatieve trend in de locatieparameter  $\lambda$  over de hele 109 jarige periode berekenen. Deze relatieve trends middelen over 9 neerslagduren (de 11 uren met uitzondering van 2 uur en 20 dagen, en waarbij de uren 8-, 9- en 10 dagen eerst zelf gemiddeld worden, zodat de duur rondom 9 dagen niet een te groot gewicht krijgt in het model). Vervolgens per duur de parameters a en b herberekenen zodanig dat voor elke duur de relatieve trend in de locatie parameter  $\lambda$  correspondeert met de gemiddelde relatieve trend (over de uren tussen 4 uur en 10 dagen). NB Met deze gemeenschappelijke trend voor alle uren wordt een belangrijk deel van de consistente tussen de uren bereikt en wordt voorkomen dat de herhalingstijden (kwantielen) voor de verschillende uren hoge herhalingstijden kunnen gaan 'kruisen'. Bijvoorbeeld als de trend bij een kortere duur wat groter is dan bij een iets langere duur kunnen de extreme kwantielen voor de kortere duur hoger worden dan voor de iets langere duur. Dit is fysisch niet plausibel en kunnen we hiermee voorkomen.
5. Met de herberekende a's en b's, uit stap 4), wordt per duur de locatieparameter  $\lambda$  voor het gewenste referentiejaar berekend. Voor het huidige klimaat is dat  $\lambda(t = "2014")$  en voor de klimaatscenario's is dat  $\lambda(t = "1995")$ . NB bij de klimaatscenario's wordt "1995" als referentiejaar voor de locatieparameter gebruikt omdat de periode 1981 - 2010, ofwel het klimaat rond 1995, als referentie voor de KNMI'14 klimaatscenario's wordt gebruikt en zodat de GEV modellen voor de klimaatscenario's ook daadwerkelijk corresponderen met resp. 2030, 2050 of 2085.
6. Tot slot worden, analoog aan stap 2, de parameters,  $a_\lambda$ ,  $b_\lambda$  en  $c_\lambda$ , van de vergelijking tussen de locatieparameter  $\lambda(t = "2014")$ , of  $\lambda(t = "1995")$ , en de neerslagduur D (zie vgl. (7)) gefit voor de 11 locatieparameters uit stap 5).

Opm. bij stap 2: Voor de periode november t/m februari bleek de afhankelijkheid tussen de dispersiecoëfficiënt  $\Upsilon$  en de neerslagduur D zeer gering te zijn. Voor de periode november t/m februari is daarom vergelijking ((7)) niet gebruikt en is de dispersiecoëfficiënt gemiddeld over alle 11 uren en is voor alle 11 uren deze gemiddelde dispersiecoëfficiënt toegepast.

De GEV parameters zijn steeds gefit op basis van Maximum Likelihood.





## BIJLAGE B

# GEMODELLEERDE LOCATIE PARAMETER EN DISPERSIE COËFFICIËNT VOOR ALLE KNMI'14 KLIMAATSCENARIO'S

TABEL B1 COËFFICIËNTEN VAN DE RELATIES TUSSEN DE LOCATIE PARAMETER  $\lambda$  EN DE DUUR  $D$  (VGL. 7) EN DE DISPERSIE COËFFICIËNT  $\lambda$  EN  $D$  (VGL. 8) VOOR ALLE KNMI'14 KLIMAATSCENARIO'S VOOR HET GEV MODEL OP JAARBASIS (ZIE PARAGRAAF 2.2)

Scenario	Locatie parameter – duur rel.			Dispersie coëfficiënt – duur rel.		
	$a_\lambda$	$b_\lambda$	$c_\lambda$	$a_\gamma$	$b_\gamma$	$c_\gamma$
"2014"	0.239	-0.0250	-0.512	0.378	-0.0578	0.0054
2030____lower	0.246	-0.0257	-0.503	0.377	-0.0565	0.0050
2030____centr	0.240	-0.0250	-0.506	0.384	-0.0576	0.0051
2030____upper	0.235	-0.0243	-0.509	0.390	-0.0587	0.0052
2050_G_L_lower	0.247	-0.0258	-0.501	0.377	-0.0577	0.0053
2050_G_L_centr	0.241	-0.0250	-0.504	0.384	-0.0589	0.0054
2050_G_L_upper	0.236	-0.0243	-0.506	0.391	-0.0600	0.0055
2050_G_H_lower	0.269	-0.0272	-0.474	0.374	-0.0563	0.0051
2050_G_H_centr	0.260	-0.0263	-0.479	0.382	-0.0574	0.0051
2050_G_H_upper	0.252	-0.0254	-0.483	0.390	-0.0586	0.0052
2050_W_L_lower	0.262	-0.0266	-0.480	0.375	-0.0557	0.0049
2050_W_L_centr	0.249	-0.0252	-0.485	0.386	-0.0572	0.0050
2050_W_L_upper	0.241	-0.0240	-0.486	0.398	-0.0591	0.0052
2050_W_H_lower	0.289	-0.0287	-0.451	0.400	-0.0698	0.0064
2050_W_H_centr	0.276	-0.0271	-0.456	0.416	-0.0728	0.0066
2050_W_H_upper	0.265	-0.0257	-0.459	0.432	-0.0755	0.0069
2085_G_L_lower	0.252	-0.0261	-0.494	0.377	-0.0553	0.0050
2085_G_L_centr	0.243	-0.0250	-0.498	0.386	-0.0563	0.0051
2085_G_L_upper	0.235	-0.0241	-0.501	0.394	-0.0572	0.0052
2085_G_H_lower	0.271	-0.0274	-0.471	0.384	-0.0559	0.0046
2085_G_H_centr	0.260	-0.0262	-0.476	0.395	-0.0572	0.0047
2085_G_H_upper	0.250	-0.0251	-0.481	0.405	-0.0584	0.0047
2085_W_L_lower	0.272	-0.0272	-0.464	0.374	-0.0581	0.0053
2085_W_L_centr	0.248	-0.0244	-0.475	0.398	-0.0612	0.0055
2085_W_L_upper	0.230	-0.0223	-0.482	0.423	-0.0657	0.0059
2085_W_H_lower	0.286	-0.0284	-0.448	0.391	-0.0654	0.0055
2085_W_H_centr	0.262	-0.0256	-0.458	0.415	-0.0681	0.0056
2085_W_H_upper	0.247	-0.0236	-0.461	0.435	-0.0702	0.0056

TABEL B2 ALS TABEL B1 MAAR DAN VOOR HET GEV MODEL VOOR DE PERIODE MAART T/M OKTOBER

Scenario	Locatie parameter – duur rel.			Dispersie coëfficiënt – duur rel.		
	$a_{\lambda}$	$b_{\lambda}$	$c_{\lambda}$	$a_{\gamma}$	$b_{\gamma}$	$c_{\gamma}$
"2014"	0.243	-0.0248	-0.507	0.400	-0.0714	0.0081
2030_lower	0.249	-0.0253	-0.501	0.399	-0.0704	0.0079
2030_centra	0.245	-0.0247	-0.501	0.405	-0.0710	0.0079
2030_upper	0.241	-0.0242	-0.501	0.411	-0.0717	0.0080
2050_G_lower	0.243	-0.0251	-0.508	0.397	-0.0703	0.0078
2050_G_centra	0.240	-0.0245	-0.507	0.404	-0.0710	0.0079
2050_G_upper	0.235	-0.0238	-0.508	0.410	-0.0716	0.0079
2050_GH_lower	0.248	-0.0253	-0.502	0.386	-0.0607	0.0068
2050_GH_centra	0.242	-0.0245	-0.503	0.393	-0.0613	0.0068
2050_GH_upper	0.238	-0.0238	-0.503	0.401	-0.0619	0.0068
2050_W_lower	0.264	-0.0262	-0.479	0.398	-0.0696	0.0077
2050_W_centra	0.256	-0.0250	-0.477	0.409	-0.0701	0.0077
2050_W_upper	0.250	-0.0239	-0.474	0.419	-0.0707	0.0077
2050_WH_lower	0.278	-0.0272	-0.466	0.408	-0.0674	0.0072
2050_WH_centra	0.268	-0.0258	-0.467	0.423	-0.0691	0.0072
2050_WH_upper	0.260	-0.0246	-0.465	0.437	-0.0702	0.0072
2085_G_lower	0.252	-0.0256	-0.495	0.399	-0.0680	0.0076
2085_G_centra	0.244	-0.0246	-0.497	0.405	-0.0672	0.0074
2085_G_upper	0.239	-0.0238	-0.497	0.413	-0.0675	0.0074
2085_GH_lower	0.262	-0.0262	-0.484	0.398	-0.0586	0.0059
2085_GH_centra	0.255	-0.0252	-0.484	0.409	-0.0602	0.0060
2085_GH_upper	0.248	-0.0243	-0.485	0.420	-0.0619	0.0061
2085_W_lower	0.258	-0.0257	-0.483	0.392	-0.0643	0.0070
2085_W_centra	0.245	-0.0236	-0.480	0.413	-0.0634	0.0066
2085_W_upper	0.235	-0.0219	-0.476	0.434	-0.0636	0.0063
2085_WH_lower	0.264	-0.0262	-0.479	0.401	-0.0518	0.0045
2085_WH_centra	0.248	-0.0239	-0.479	0.423	-0.0518	0.0043
2085_WH_upper	0.242	-0.0223	-0.469	0.443	-0.0533	0.0043

TABEL B3 ALS TABEL B1 MAAR DAN VOOR HET GEV MODEL VOOR DE PERIODE NOVEMBER T/M FEBRUARI

Scenario	Locatie parameter – duur rel.			Dispersie coëfficiënt – duur rel.		
	$a_\lambda$	$b_\lambda$	$c_\lambda$	$a_\gamma$	$b_\gamma$	$c_\gamma$
"2014"	0.670	-0.0426	-0.190	0.234	nvt	nvt
2030___lower	0.667	-0.0435	-0.197	0.230	nvt	nvt
2030___centr	0.665	-0.0430	-0.196	0.233	nvt	nvt
2030___upper	0.666	-0.0425	-0.194	0.236	nvt	nvt
2050_G_L_lower	0.668	-0.0431	-0.196	0.234	nvt	nvt
2050_G_L_centra	0.668	-0.0426	-0.194	0.236	nvt	nvt
2050_G_L_upper	0.667	-0.0422	-0.193	0.239	nvt	nvt
2050_G_H_lower	0.661	-0.0437	-0.200	0.232	nvt	nvt
2050_G_H_centra	0.661	-0.0432	-0.198	0.235	nvt	nvt
2050_G_H_upper	0.660	-0.0426	-0.196	0.237	nvt	nvt
2050_W_L_lower	0.671	-0.0421	-0.190	0.235	nvt	nvt
2050_W_L_centra	0.672	-0.0411	-0.186	0.241	nvt	nvt
2050_W_L_upper	0.671	-0.0402	-0.183	0.247	nvt	nvt
2050_W_H_lower	0.662	-0.0431	-0.196	0.227	nvt	nvt
2050_W_H_centra	0.660	-0.0422	-0.193	0.233	nvt	nvt
2050_W_H_upper	0.661	-0.0412	-0.189	0.239	nvt	nvt
2085_G_L_lower	0.667	-0.0429	-0.195	0.229	nvt	nvt
2085_G_L_centra	0.666	-0.0423	-0.193	0.233	nvt	nvt
2085_G_L_upper	0.667	-0.0416	-0.190	0.237	nvt	nvt
2085_G_H_lower	0.651	-0.0437	-0.205	0.228	nvt	nvt
2085_G_H_centra	0.651	-0.0430	-0.202	0.232	nvt	nvt
2085_G_H_upper	0.650	-0.0423	-0.200	0.236	nvt	nvt
2085_W_L_lower	0.675	-0.0417	-0.185	0.236	nvt	nvt
2085_W_L_centra	0.674	-0.0403	-0.180	0.246	nvt	nvt
2085_W_L_upper	0.675	-0.0389	-0.175	0.255	nvt	nvt
2085_W_H_lower	0.653	-0.0430	-0.198	0.226	nvt	nvt
2085_W_H_centra	0.651	-0.0415	-0.193	0.236	nvt	nvt
2085_W_H_upper	0.647	-0.0402	-0.190	0.245	nvt	nvt

