



Koninklijk Nederlands  
Meteorologisch Instituut  
*Ministerie van Infrastructuur en Milieu*

# Regiospecifieke lange neerslagtijdreeksen op uurbasis

R. Jilderda, J. Bessembinder

De Bilt, 2013 | Technical report; TR-322



**Regiospecifieke lange neerslagtijdreeksen op  
uurbasis**

Rapport in kader van project 'regiospecifieke klimaatinformatie  
voor Haaglanden en Regio Rotterdam' (KvK-project  
HSHL04/HSRR05)

Datum        december, 2013  
Status       Definitief

## Colofon

Titel	Regiospecifieke lange neerslagtijdreeksen op uurbasis. Rapport in het kader van project 'regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam' (KvK-project HSHL04/HSRR05)
Project nummer	HSHL05/HSRR04 (Kennis voor Klimaat/Knowledge for Climate project)
Contact persoon	Janette Bessembinder bessembi@knmi.nl KNMI   Climate Services / Klimaatdata en -advies Wilhelminalaan 10   3732 GK De Bilt Postbus 201   3730 AE De Bilt
Auteurs	Rudmer Jilderda Janette Bessembinder

Met dank aan Rob Ammerlaan, Fincent van Woerden en Erik vd Wal (Hoogheemraadschap van Delfland), Erik de Haan (Provincie Zuid-Holland) voor hun feedback op dit rapport. Verder dank aan de KNMI collega's die informatie hebben aangeleverd, en de verschillende concepten hebben gelezen en becommentarieerd.

Dit project (HSHL05/HSRR04) is uitgevoerd in het kader van het Nederlandse Nationale onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat (Knowledge for Climate; [www.kennisvoorklimaat.nl](http://www.kennisvoorklimaat.nl); [www.knowledgeforclimate.org](http://www.knowledgeforclimate.org)). Dit onderzoeksprogramma is medegefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Daarnaast is dit project medegefinancierd door de provincie Zuid-Holland, Gemeentewerken Rotterdam en het Hoogheemraadschap van Delfland.

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b> .....	<b>6</b>
<b>Summary</b> .....	<b>8</b>
<b>1. Achtergrond en onderzoeksvraag</b> .....	<b>11</b>
1.1. Behoeft regiospecifieke klimaatinformatie .....	11
1.2. Huidige praktijk .....	12
1.3. Onderzoeksvraag .....	12
1.4. Opbouw van het rapport .....	12
<b>2. Gevolgde aanpak</b> .....	<b>13</b>
2.1. Stappen in het onderzoek.....	13
2.2. Beschikbare neerslagreeksen in de Regio Haaglanden en de Regio Rotterdam....	13
<b>3. Verschillen in neerslagkarakteristieken tussen De Bilt en Zuid-Holland</b> .....	<b>15</b>
3.1. Gemiddelde neerslag .....	15
3.2. Extreme neerslag.....	17
3.3. Samenvatting regionale verschillen.....	21
<b>4. Trends in neerslagkarakteristieken</b> .....	<b>22</b>
4.1. Gemiddelde neerslag .....	22
4.2. Extreme neerslag.....	26
4.3. Samenvatting trends en regionale verschillen in trends.....	28
<b>5. Methoden voor het genereren van regiospecifieke tijdreeksen</b> .....	<b>30</b>
5.1. Huidige methode voor het genereren van lange tijdreeksen.....	30
5.2. Alternatieve methoden en voor- en nadelen .....	31
5.3. Uitwerking van gekozen methode .....	35
5.4. Samenvatting vergelijking van de methoden .....	39
<b>6. Conclusies en discussie</b> .....	<b>40</b>
<b>Referenties</b> .....	<b>42</b>
<b>Bijlage 1. Uitgebreidere beschrijving van de gebruikte methode</b> .....	<b>44</b>

## Samenvatting

Binnen Haaglanden en Regio Rotterdam, gelegen in de Zuidvleugel van de Randstad, speelt wateroverlast een grote rol. Door het grote percentage verhard oppervlak reageert het watersysteem in Zuid-Holland snel op neerslag. In het Nationaal Bestuursakkoord Water actueel is voor stedelijk gebied een norm vastgelegd van niet vaker dan gemiddeld eens in de 100 jaar wateroverlast. Om de gevolgen van extreme neerslag in het huidige klimaat goed te kunnen inschatten wil men bij de waterschappen regiospecifieke lange neerslagreeksen op uurbasis (100 jaar of meer). Voor Zuid-Holland zijn twee uurneerslagreeksen vanaf begin jaren '70 beschikbaar. Lange dagneerslagreeksen zijn wel voor meer stations beschikbaar.

Binnen het Hoogheemraadschap van Delfland gebruikt men nu de meetreeks van De Bilt (Midden-Nederland) als basis voor impactanalyses met een 10% verhoogde neerslag vanwege het kusteffect. De reeks van De Bilt is de enige meetreeks op uurbasis in Nederland met 100 jaar aan waarnemingen. De voor Zuid-Holland aangepaste meetreeks van De Bilt (+10%) over- of onderschat mogelijk de neerslagextremen in de kustregio door verschillen in het huidige klimaat en verschillen in de trend in de afgelopen 100 jaar. Het is daarom de vraag of hiermee ook niet de kans op wateroverlast in de kustregio wordt over- of onderschat.

Bovenstaande leidde tot de volgende onderzoeksvragen:

- Hoe verschilt de neerslag in Zuid-Holland van de neerslag in De Bilt in het huidige klimaat en is de (extreme) neerslag in Zuid-Holland in de afgelopen 100 jaar anders veranderd dan in de rest van Nederland?
- Met welke methode(n) kan men lange neerslagtijdreeksen op uurbasis maken, bij gebrek aan lange gemeten reeksen, die regionale karakteristieken toch zo goed mogelijk weergeven?

### *Verschillen in het huidige klimaat*

In dit rapport is een kort overzicht te zien van een aantal karakteristieken van neerslag op verschillende plaatsen in Nederland. De gemiddelde jaarneerslag is in het huidige klimaat in Zuid-Holland hoger dan in De Bilt. De jaarlijkse gang verschil ook wat. Er is weinig verschil in het aantal natte dagen (dagen met neerslag > 0,3 mm). Onderzoek van Buishand et al. (2009) en Overeem et al. (2009) geeft aan dat de neerslagextremen op dagbasis significant verschillen tussen De Bilt en het grootste deel van Zuid-Holland. Voor extreme uurneerslag zijn er geen significante verschillen aangetoond tussen De Bilt en Zuid-Holland.

### *Verschillen in trends*

Binnen Zuid-Holland verschilt de trend in jaarneerslag in de afgelopen eeuw. De jaarlijkse gang in de neerslag is in de kustregio ook veranderd. Over de afgelopen eeuw is er voor verscheidene stations in de kustregio een significante opwaartse trend in de hoogste dagneerslag per jaar, maar niet voor De Bilt. Het aantal regendagen is op sommige plaatsen in Zuid-Holland toegenomen, maar niet in De Bilt.

### *Methoden voor het genereren van lange uurneerslagreeksen*

Er zijn verschillende methoden, naast de tot nu toe gebruikte (De Bilt + 10%), om lange, synthetische, tijdreeksen te maken bij afwezigheid van metingen. Deze zijn kwalitatief vergeleken:

1. 'Transformatie' van de reeks van De Bilt: de verschillen in het huidige klimaat tussen De Bilt en Zuid-Holland (gemiddelden en extremen op dagbasis) worden gebruikt om de reeks van De Bilt aan te passen;

2. Disaggregatie van dagwaarden<sup>1</sup> van een lange tijdreeks op dagbasis in Zuid-Holland m.b.v. informatie uit een kortere tijdreeks op uurbasis uit Zuid-Holland;
3. Disaggregatie van dagwaarden van een lange tijdreeks op dagbasis in Zuid-Holland m.b.v. informatie uit de lange tijdreeks op uurbasis van De Bilt;
4. Stochastische neerslaggenerator: een aantal statistische eigenschappen wordt bepaald m.b.v. de kortere urneerslagreeksen in Zuid-Holland om vervolgens lange synthetische reeksen van uurwaarden te genereren die voldoen aan deze statistische eigenschappen.

Elke methode heeft voor- en nadelen m.b.t. de weergave van de regiospecifieke karakteristieken van het neerslagklimaat. In Tabel 5.1 is een kwalitatieve vergelijking gemaakt.

Methode 3 is uitgewerkt (beste binnen beschikbare tijd) en vergeleken met de methode die tot nu toe wordt gebruikt ('De Bilt + 10%'). De reeks die is verkregen met de uitgewerkte methode 3 geeft verschillende klimaatvariabelen voor de regio beter weer (jaarneerslag, jaarlijkse gang, trend, meerdaagse extreme neerslag) en/of leidt tot minder overschatting (extreme urneerslag) dan de tot nu toe gebruikte methode. Alleen de 24-uurs extreme neerslag wordt waarschijnlijk meer onderschat dan in de huidige methode.

Een vergelijkende studie tussen de tot nu toe gebruikte reeks en de hier uitgewerkte methode kan laten zien of de hier uitgewerkte methode ook leidt tot andere conclusies m.b.t. het optreden van wateroverlast dan de tot nu toe gebruikte methode. Het zou interessant zijn daarbij ook tijdreeksen gegenereerd met een neerslaggenerator te betrekken.

Door de aanwezige trend in de tijdreeksen voor Zuid-Holland is de hier gegenereerde reeks niet geheel representatief voor de afgelopen decennia. De methode van disaggregatie van dagneerslagreeksen m.b.v. de urneerslagreeks van De Bilt is in dit project uitgewerkt voor één station. Het lijkt aannemelijk dat de methode voor andere stations vergelijkbare resultaten oplevert, maar dit moet verder onderzocht worden.

---

<sup>1</sup> Disaggregatie is hier het opdelen van de dagneerslagsommen in urneerslagsommen.

## Summary

The urban and rural water systems in the province of Zuid-Holland react fast to precipitation due to the high percentage paved surface. In the National Policy Agreement (NBW actueel) it is agreed that water excess should on average not take place more than once in 100 years in urban areas. To estimate the impacts of heavy rainfall in the current climate in the region Haaglanden and the greater region of Rotterdam in Zuid-Holland, the water boards want long region specific time series for precipitation on hourly basis (100 years or more). In Zuid-Holland, there are a few weather stations that measure precipitation on an hourly basis from the beginning of the seventies. Long precipitation time series on a daily basis are available for more stations.

Until now, the water board of Delfland used the hourly precipitation time series of De Bilt (central Netherlands) increased with 10% for their impact analyses. The 10% increase was used for taking into account the coastal effect on precipitation extremes. The time series of De Bilt is the only precipitation time series on hourly basis in the Netherlands with around 100 years of observations. The above mentioned adapted time series of De Bilt (+10%) for Zuid-Holland possibly overestimates or underestimates the precipitation extremes in the coastal region due to differences between De Bilt and Zuid-Holland in the current climate and in trends in the past 100 years. Therefore, possibly the chance of water excess in the coastal region is also overestimated or underestimated.

The above led to the following research questions:

- How does the precipitation in Zuid-Holland differ from the precipitation in De Bilt in the current climate and has the (extreme) precipitation in Zuid-Holland changed more or less in the past 100 years than in the rest of the Netherlands?
- Which methods can be used to generate long precipitation time series on hourly basis that represent regional precipitation characteristics as well as possible, when long measured time series are missing?

### *Spatial differences in the current climate*

This report presents a short overview of a number of precipitation characteristics for several locations in the Netherlands. The average yearly precipitation in the current climate is somewhat higher in Zuid-Holland than in De Bilt. The yearly cycle also differs slightly, but there is hardly any difference in the number of wet days (days with > 0.3 mm of precipitation). Research of Buishand et al. (2009) and Overeem et al. (2009) shows that precipitation extremes on daily basis differ significantly between De Bilt and the main part of Zuid-Holland. For precipitation extremes on hourly basis no significant spatial differences were found between De Bilt and Zuid-Holland.

### *Spatial differences in trends*

Within Zuid-Holland there are differences in trends in the yearly precipitation in the past century. The yearly precipitation cycle in the coastal region has changed. Over the past century, for several locations in the coastal region a significant upward trend in the highest yearly precipitation per day was found, but not for De Bilt. The number of wet days has increased for some locations in Zuid-Holland, but not for De Bilt.

### *Methods to generate long hourly precipitation time series*

Beside the currently used method (De Bilt + 10%), there are various methods to construct long, synthetic precipitation time series on hourly basis, when long observational time series are missing. These were explored qualitatively:

1. 'Transformation' of the time series of De Bilt: the differences in the current climate between De Bilt and Zuid-Holland (averages and extremes on daily basis) can be used to adapt/transform the time series of De Bilt;



2. Disaggregation of a time series at daily basis<sup>2</sup> from Zuid-Holland with the help of a shorter time series on hourly basis from Zuid-Holland;
3. Disaggregation of a time series at daily basis from Zuid-Holland with the help of the long time series of De Bilt on hourly basis;
4. Stochastic weather generator: a number of statistical characteristics of precipitation are determined with the help of a shorter time series at hourly basis from Zuid-Holland. Subsequently, this information is used to generate long synthetical time series at hourly basis that are consistent with these statistical characteristics.

Each method has advantages and disadvantages with relation to the representation of region specific characteristics of precipitation. In Table 5.1 the methods are compared qualitatively.

Method 3 was elaborated (best method, for the available time) and compared with the current method ('De Bilt + 10%'). The time series generated with method 3 represents several region specific precipitation characteristics better (yearly precipitation, yearly cycle, trend, multi-day extreme precipitation) and/or it leads to less overestimation (extreme hourly precipitation) than the currently used method. Only the 24-hour extreme precipitation is probably underestimated more than in the current method.

A comparative study between the time series 'De Bilt + 10%' and the time series generated with method 3, can show whether the time series generated with method 3 will lead to different conclusions about the occurrence of water excess than the time series 'De Bilt + 10%'. It would be interesting to include in the comparative study also time series generated with a weather generator.

Due to the trend in the time series for Zuid-Holland, the generated time series is not the most representative for the past decades. The method in which daily time series are disaggregated with the help of the hourly time series of De Bilt was elaborated for one station in Zuid-Holland. It is expected that similar results will be obtained for other stations, however, this has to be investigated.

---

<sup>2</sup> Disaggregation = dividing the precipitation sum on daily basis into precipitation sums on hourly basis for the same day.



# 1. Achtergrond en onderzoeksvraag

## 1.1. Behoeft regiospecifieke klimaatinformatie

De sterk verstedelijkte gebieden Haaglanden en Regio Rotterdam met een hoge economische activiteit zijn hotspots binnen het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat<sup>3</sup>. Ze liggen beide in de lager gelegen westelijke kustregio van Nederland<sup>4</sup> (de zuidvleugel van de Randstad). Veel economische activiteiten worden op een of andere manier beïnvloed door het weer of het klimaat. Om deze economische activiteiten goed te laten functioneren en te behouden, is het van belang dat het gebied zo is aangepast dat de meeste extremen in het huidige klimaat en in het toekomstige klimaat goed kunnen worden opgevangen zonder grote ontwrichtingen te veroorzaken (= klimaatrobuuste inrichting<sup>5</sup>). Dit betekent o.a. dat extreme neerslag niet voor al te grote problemen mag zorgen.

Binnen de hotspots Haaglanden en regio Rotterdam speelt wateroverlast (en in mindere mate watertekort) een grote rol (Nieuwkerk et al., 2010; Hoogvliet et al., 2011). Het stedelijk watersysteem reageert snel bij neerslag door het grote aandeel verhard oppervlak. Om de impacts van de verandering in neerslag goed te kunnen bepalen, is regiospecifieke klimaatinformatie nodig (bijv. tijdreeksen en statistische data) met een hoge tijdsresolutie (uurlijks of voor nog kortere tijdsperioden) over met name neerslag. De afgelopen jaren is in enkele projecten van het KNMI meer informatie beschikbaar gekomen over regionale verschillen in het huidige neerslagklimaat (Buishand et al., 2009) en over veranderingen in dagextremen en uurextremen van neerslag (Lenderink & van Meijgaard, 2008), maar er zijn geen regionale verschillen in extreme urneerslag aangetoond (Overeem et al., 2009).



*Wateroverlast in Rotterdam (Foto: Hilde Ongering)*

<sup>3</sup> Zie <http://kennisvoorklimaat.klimaatonderzoeknederland.nl/>, <http://kennisvoorklimaat.klimaatonderzoeknederland.nl/hotspots/regio-haaglanden> en <http://kennisvoorklimaat.klimaatonderzoeknederland.nl/hotspots/regio-rotterdam>;

<sup>4</sup> Verderop in het rapport wordt ook gesproken van de kustregio. Het gaat hierbij dan om een strook binnen ongeveer 30 km van de kust;

<sup>5</sup> Streven van de provincie is om 80% van de nieuwbouwpogave in dit gebied binnen bestaand stads- en dorpsgebied anno 2010 op te vangen.

## 1.2. Huidige praktijk

Voor toetsing aan de norm voor wateroverlast gebruikt men nu binnen het Hoogheemraadschap van Delfland de meetreeks van De Bilt als basis<sup>6</sup>, met voor elke uursom een ophoging van 10% vanwege regionale verschillen in neerslagextremen ('kusteffect'<sup>7</sup>).

De reeks van De Bilt is de enige meetreeks op uurbasis in Nederland met 100 jaar data. In het Nationaal Bestuursakkoord Water Actueel is voor stedelijk gebied een norm van maximaal eens in de 100 jaar wateroverlast vastgelegd. De aangepaste tijdreeks van De Bilt over- en onderschat mogelijk de dagneerslagextremen in de kustregio (Buishand et al., 2009), omdat afhankelijk van de locatie in Zuid-Holland de dagextremen hier namelijk 8 tot 14 % hoger zijn. Daarom is het de vraag of hiermee ook niet de kans op wateroverlast in de kustregio wordt over- en onderschat.

## 1.3. Onderzoeksvraag

De volgende onderzoeksvragen worden in dit rapport verder uitgewerkt:

1. Op welke punten verschilt de neerslag in de kustregio van de neerslag in De Bilt in het huidige klimaat (hoogte van de neerslagextremen, aantal extremen, etc.)?
2. Is de extreme neerslag in de kuststrook, waarin Haaglanden en regio Rotterdam liggen, anders veranderd dan in de rest van Nederland?
3. Met welke methode(n) kan men lange tijdreeksen genereren (in afwezigheid van lange gemeten reeksen), die regionale karakteristieken zo goed mogelijk representeren?

Het genereren van tijdreeksen voor de toekomst voor Zuid-Holland wordt niet in dit rapport behandeld. Zie hiervoor Bessembinder (2012).

## 1.4. Opbouw van het rapport

In Hoofdstuk 2 wordt eerst een korte beschrijving gegeven van de gevolgde aanpak. Hoofdstuk 3 analyseert de verschillen in neerslagkarakteristieken binnen Nederland, met speciale aandacht voor de verschillen tussen De Bilt en Zuid-Holland. Hoofdstuk 4 gaat dieper in op verschillen in trends tussen De Bilt en plaatsen in Zuid-Holland. Hoofdstuk 5 bevat een bespreking van een aantal methoden voor het genereren van lange reeksen met uurneerslag, in de afwezigheid van lange reeksen met uurlijkse waarnemingen. Verder worden in Hoofdstuk 5 enkele resultaten geanalyseerd van de uitgewerkte methode. Hoofdstuk 6, ten slotte, bespreekt de resultaten.

---

<sup>6</sup> Dit is de reeks van het Automatische WeerStation (AWS) De Bilt met uurneerslagwaarden. De gebruikte reeks is vanaf januari 1982 niet meer gecorrigeerd voor het verschil tussen het AWS van De Bilt en het KNMI-neerslagstation De Bilt. Het neerslagstation geeft voor De Bilt gemiddeld een 6% hogere jaarneerslag. Het is ons niet exact bekend wat er bij er Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard wordt gebruikt;

<sup>7</sup> De term kusteffect wordt hier gebruikt voor het verschil in (dag)neerslagextremen, maar de overgang van zee naar land heeft ook invloed op de jaarsom en de jaarlijkse gang (wordt ook vaak het 'kust-effect' genoemd).

## 2. Gevolgde aanpak

### 2.1. Stappen in het onderzoek

Voor het verkrijgen van meer regiospecifieke klimaatdata/informatie m.b.t. neerslag(extremen) zijn de volgende stappen gevolgd:

**Stap 1:** Maken van een overzicht van beschikbare informatie over verschillen in neerslagkarakteristieken tussen De Bilt en het gebied van de Regio Haaglanden en de Regio Rotterdam. Deze gegevens zijn aangevuld met extra analyses van de verschillen in neerslagkarakteristieken tussen midden Nederland en het westen van het land (bijv. voor neerslagintensiteit). De extra analyses richten zich vooral op de voor de gebruikers relevante informatie, die uiteindelijk goed in de regiospecifieke tijdreeksen moet zitten:

- Gemiddelde jaarsom (voor o.a. de grondwaterstanden);
- Jaarlijkse gang (voor de timing van wateroverlast);
- Extremen (van uurextremen tot meerdaagse);
- Aantal dagen en uren met neerslag.

Enkele aanvullende analyses zijn uitgevoerd t.o.v. de al bestaande extreme neerslag statistiek (Smits et al., 2004; Buishand & Wijngaard, 2008; Buishand et al., 2009). Dit onderdeel wordt in Hoofdstuk 3 uitgewerkt.

**Stap 2:** Analyse van eventuele verschillen in trends in neerslagkarakteristieken (o.a. gemiddelden, extremen). Verschillen in trends kunnen invloed hebben op de bruikbaarheid van methoden om de reeks van De Bilt meer regiospecifiek te maken voor Zuid-Holland. Bijvoorbeeld, als de trend in gemiddelde en extreme neerslag in De Bilt anders is dan in Zuid-Holland, dan is een tijdreeks van 100 jaar of meer gebaseerd op De Bilt minder representatief voor de afgelopen 100 jaar in Zuid-Holland<sup>8</sup>. Dit onderdeel wordt in Hoofdstuk 4 uitgewerkt.

**Stap 3:** Verkenning van methoden om meer regiospecifieke en lange tijdreeksen (ongeveer 100 jaar) op uurbasis te maken. Er zijn een aantal methoden voor het maken van dergelijke lange reeksen. De voor- en nadelen van deze verschillende methoden zijn kwalitatief vergeleken. Dit onderdeel wordt in Hoofdstuk 5 uitgewerkt.

**Stap 4:** Vervolgens is die methode uitgewerkt, die het beste lijkt om meer regiospecifieke reeksen voor het huidige klimaat te genereren en die bovendien haalbaar was binnen de beschikbare tijd. De regiospecifieke reeks die met deze methode is gegenereerd, is vergeleken met de reeks die tot nu toe is gebruikt. Dit onderdeel wordt ook in Hoofdstuk 5 uitgewerkt.

### 2.2. Beschikbare neerslagreeksen in de Regio Haaglanden en de Regio Rotterdam

In de Tabellen 2.1. en 2.2 wordt een overzicht gegeven van de beschikbare stations met neerslagmetingen in de Regio Haaglanden en de Regio Rotterdam. Onder de tabellen staat ook aangegeven waar de desbetreffende tijdreeksen zijn te downloaden van internet.

---

<sup>8</sup> Aangezien er in veel klimaatvariabelen een trend zit in de afgelopen 100 jaar vanwege het versterkte broeikaseffect, is zo'n reeks van de afgelopen 100 jaar met meetgegevens niet geheel representatief voor het huidige klimaat. Vaak wordt een lange meetreeks of daarop gebaseerde reeksen wel als zodanig gebruikt.

**Tabel 2.1.** Automatische weerstations (AWS)<sup>a</sup> van het KNMI: etmaalgegevens van neerslag (0-24 uur UTC) en urengegevens van neerslag.

Plaats	Code	Gegevens vanaf
Hoek van Holland	330	Aug. 1995
Rotterdam	344	Jan. 1974
Valkenburg	210	Mei 1972

<sup>a</sup> zie voor ligging van deze AWSen en de datareeksen <http://www.knmi.nl/klimatologie/urengegevens/> en <http://www.knmi.nl/klimatologie/dagegegevens/download.html>.

**Tabel 2.2.** KNMI-neerslagstations<sup>a</sup>: etmaalgegevens van neerslag (8-8 uur UTC).

Plaats	Code	Gegevens vanaf	Plaats	Code	Gegevens vanaf
Barendrecht	461	Mei 1937	Nieuw Helvoet	463	Juli 1941
Bergschenhoek	453	Dec. 1908	Numansdorp	450	Juli 1923
Boskoop	442	Okt. 1881	Oostvoorne	456	Feb. 1925
Brielle	464	Okt. 1943	Oud Alblas	465	Juni 1946
Delft	449	Apr. 1924	Poortugaal	467	Apr. 1950
Gouda	443	Feb. 1907	Roelfsarendsveen	439	Sep. 1986
Groot-Ammers	434	Sep. 1866	Rotterdam	476	Jan. 1971- Dec. 1995
Hendrik Ido Ambacht	482	Mei 2004	Rotterdam Waalhaven	473	Jan. 1969
Hoek van Holland	477	Jan. 1961	Scheveningen	440	Jan. 1877
Honselerdijk	480	Mei 2000	Strijen	455	Nov. 1986
IJsselmonde	451	Feb. 1904- apr. 2009	Valkenburg	474	Jan. 1971
Katwijk aan den Rijn	444	Jan. 1953	Voorschoten	481	Mei 2004
Leiden	469	Nov. 1924	Zegveld	470	Aug. 1935
Lisse	454	Okt. 1915	Zoetermeer	426	Feb. 1994
Maasland	479	Mei 2000			

<sup>a</sup> zie voor ligging stations en de datareeksen: <http://www.knmi.nl/klimatologie/monv/reeksen/>. De reeksen kunnen niet homogeen zijn als gevolg van bijv. verplaatsingen van de stations, nieuwe meetapparatuur, veranderingen in de omgeving, etc. waardoor schijnbare veranderingen in het klimaat ontstaan.



*Wateroverlast in Rotterdam (Foto: Hilde Ongerig)*

### 3. Verschillen in neerslagkarakteristieken tussen De Bilt en Zuid-Holland

In Hoofdstuk 1 is aangegeven, dat een vaste verhoging van de individuele uurlijkse hoeveelheden neerslag in de reeks van De Bilt met 10% een weinig subtiële methode is om de regio-specifieke neerslagkarakteristieken voor Zuid-Holland weer te geven. In dit hoofdstuk worden eerst een aantal algemene aspecten van het landelijk neerslagklimaat besproken en wordt een overzicht gegeven van de verschillen in verscheidene relevante klimaatvariabelen tussen Zuid-Holland en De Bilt.

#### 3.1. Gemiddelde neerslag

##### *Gemiddelde jaarneerslag*

De "Bosatlas van het klimaat" (Noordhoff/KNMI, 2011) en de bijbehorende website [www.klimaatatlas.nl](http://www.klimaatatlas.nl) geven een overzicht in kaarten en tabellen van het klimaat in Nederland. De kaarten en tabellen zijn afgeleid uit metingen gedurende de jaren 1981 t/m 2010. Gemiddeld valt er in Nederland 847 mm neerslag per jaar. Plaatselijk loopt deze hoeveelheid uiteen van 723 mm te Echt in het midden van Limburg tot 981 mm in Beekbergen aan de oostkant van de Veluwe. Een tweetal gebieden in de buurt van Rotterdam/Den Haag en Amsterdam vallen op. Naast Beekbergen en Vaals vormen deze gebieden de natste plekken in Nederland. Temperatuurverschillen tussen zeewater en landoppervlak in zomer en winter en een hogere windruwheid door de duinen zijn verantwoordelijk voor een verhoogde buienactiviteit aan de kust, wat deels een verklaring kan zijn voor de hogere hoeveelheden in dit gebied. Daarnaast wordt in "Neerslag en verdamping" (Buishand en Velds, 1980) het stadseffect genoemd. Hierbij wordt gewezen op thermische convectie ten gevolge van de hogere temperaturen in de stad, verhoogde turbulentie vanwege de bebouwing, toevoeging van waterdamp door industrie en verandering in verdamping van verhard oppervlak en productie van condensatie- en vrieskernen als factoren, die in onstabiele weersomstandigheden de buienactiviteit versterken.

##### *Jaarlijkse gang*

De maand april is in vrijwel geheel Nederland de droogste maand, waarin bovendien regionale verschillen in de neerslag gering zijn (Tabel 3.1). In het binnenland zijn juli en augustus meestal de maanden met de meeste neerslag en aan de kust is eind oktober / begin november meestal de periode met de meeste neerslag van het jaar. In het voorjaar en zomer blaast de wind nog over het koude Noordzeewater, waardoor er in de kuststrook weinig wolken ontstaan. Verder landinwaarts warmt de lucht boven het warme aardoppervlak op, waardoor langzamerhand wolken ontstaan, die pas ver landinwaarts het buienstadium bereiken. In het najaar is het Noordzeewater nog relatief warm, het koelt immers langzamer af dan het aardoppervlak. Boven de Noordzee ontstaan daardoor gemakkelijk buien, die met de overheersende westenwind naar de kust drijven en daar tot neerslag komen. Door het relatief koude aardoppervlak wordt de convectie boven land beëindigd, waardoor verder landinwaarts de buienactiviteit afneemt. In de maanden mei-juni regent het daardoor in de kustregio minder dan in het binnenland, in de maanden augustus-november regent het daardoor gemiddeld juist meer in de kustregio dan in het binnenland.

##### *Andere karakteristieken van de neerslag*

Landelijk gemiddeld valt er op 174 dagen<sup>9</sup> in het jaar 0,3 mm neerslag of meer (Noordhoff/KNMI, 2011). Een grens van 0,3 mm wordt hier aangehouden, omdat

---

<sup>9</sup> De getallen in deze alinea zijn gebaseerd op het gemiddelde van de dagaftappingen van de neerslagstations over de periode 1981-2010.



geringere hoeveelheden vooral in het binnenland ook het gevolg kunnen zijn van mist of dauw. Regionale verschillen in dit aantal zijn klein en ook de jaarlijkse gang in het aantal dagen per maand met 0,3 mm is gering. Het aantal dagen met hogere hoeveelheden neerslag is een stuk zeldzamer. Op 137 dagen per jaar valt minstens 1 mm neerslag en op slechts 23 dagen in het jaar valt minstens 10 mm. Deze hoeveelheden kunnen zich gedurende het gehele jaar voordoen, maar de zwaardere buien vallen bij voorkeur in het binnenland in de zomer en aan de kust in het najaar. Ook is er verschil in dagelijkse gang. Boven land stijgt de temperatuur tot in de namiddag, waardoor de onstabiele van de atmosfeer tot laat in de middag oploopt. Vaak eindigt dit in zware buien, die bij voorkeur in de late middag of vroege avond tot ontlading komen. Aan de kust is het relatief warmere zeewater verantwoordelijk voor de buienactiviteit. Als na zonsondergang de lucht in de hogere luchtlagen afkoelt naar temperaturen beneden zeewatertemperatuur neemt de onstabiele van de atmosfeer toe. Tegen het einde van de nacht komt aan de groei van de onstabiele een einde, waardoor de meeste neerslag in de vroege ochtend valt. Het verschil in de gemiddelde neerslaghoeveelheid op verschillende uren van de dag is aan de kust echter gering en minder duidelijk dan in het binnenland.

**Tabel 3.1.** Karakteristieken van de jaarlijkse neerslag (8.00 – 8.00 UTC) voor De Bilt, omgeving Rotterdam en omgeving Den Haag (afgeleid uit gegevens voor de periode 1981-2010).

Locatie	Dagen per jaar			Jaarlijkse hoeveelheid mm	Droogste maand		Natste maand	
	≥ 0,3 mm	≥ 1 mm	≥ 10 mm		Hoeveelheid mm		Hoeveelheid mm	
De Bilt	177	135	25	886,7	apr	44,4	okt	89,3
Rotterdam (Waalhaven)	174	139	27	921,5	apr	44,2	nov	97,6
Bergschenhoek	170	139	27	932,6	apr	45,2	okt	97,3
Poortugaal	177	139	25	887,4	apr	42,6	nov	94,5
<i>Gemiddeld</i>	<i>174</i>	<i>139</i>	<i>26</i>	<i>913,8</i>		<i>44,0</i>		<i>96,5</i>
Scheveningen	171	136	27	913,7	apr	45,0	nov	99,1
Delft	178	141	26	913,2	apr	45,4	nov	96,2
<i>Gemiddeld</i>	<i>175</i>	<i>139</i>	<i>27</i>	<i>913,5</i>		<i>45,2</i>		<i>97,7</i>

**Tabel 3.2.** Karakteristieken van de jaarlijkse neerslag (0.00 – 24.00 UTC) voor De Bilt, omgeving Rotterdam en omgeving Den Haag (afgeleid uit gegevens van de pluviograaf of elektrische regenmeter voor de periode 1981-2010).

Locatie	Dagen per jaar			Jaarlijkse hoeveelheid mm	Uurvakken ≥ 0,1 mm	Duur <sup>10</sup>
	≥ 0,3 mm	≥ 1 mm	≥ 10 mm			
De Bilt	163	131	24	832,5	1035	662,6
Rotterdam LH	164	131	25	855,6	1022	679,4
Valkenburg VK	166	132	23	841,2	1027	598,7

#### *Verschillen tussen De Bilt en Rotterdam / Den Haag*

Tabel 3.1 en 3.2 laten een overzicht zien van een aantal karakteristieken van de neerslag voor De Bilt, de omgeving Rotterdam en de omgeving Den Haag. Uit de jaarlijkse hoeveelheden in Tabel 3.1 blijkt direct het stadseffect<sup>11</sup>, veroorzaakt door voornamelijk de agglomeratie Rijnmond/Rotterdam. Ook de jaarlijkse neerslag van De Bilt is hoger dan het landelijk gemiddelde, maar in mindere mate dan de hoeveelheden in Rotterdam en Den Haag. Voor hoeveelheden vanaf 0,3 mm valt er te De Bilt op iets meer dagen neerslag dan te Rotterdam/Den Haag. Voor hogere hoeveelheden is dit andersom. Weliswaar zijn de veranderingen niet significant maar wel in lijn met Buishand & Velds (1980) die vermelden dat het effect van steden op de neerslag meestal groter is bij hevige neerslag. Dit effect is over het algemeen het grootst bij onstabiele weersituaties

<sup>10</sup> Dit is de werkelijke duur van de neerslag, afgerond op tienden van uren;

<sup>11</sup> Het stadseffect is te zien gedurende het hele jaar en dus in de jaarlijkse neerslag, het effect van de nabijheid van de kust is m.n. terug te zien in de jaarlijkse gang.



(buienlijnen<sup>12</sup>, koufronten en luchtmassabuïen). De verschillen in de hoeveelheid neerslag in de droogste maand zijn, overeenkomstig het landelijk beeld, gering. De natste maand voor alle locaties in Tabel 3.1 valt in het najaar. Te Rotterdam/Den Haag valt in deze maand echter beduidend meer dan te De Bilt. De uurvakken geven het gemiddeld aantal klokuren per jaar weer, waarin het enige tijd tot een vol uur regent. Onder duur wordt de gemiddelde tijd per jaar verstaan, waarin het afgerond op tienden van uren feitelijk regent.

Tabel 3.2 geeft in de eerste vier kolommen met neerslaginformatie dezelfde informatie als Tabel 3.1, maar dan gebaseerd op de metingen op de Automatische WeerStations (AWS'en). Uit de tabel is af te leiden, dat de pluviografen of elektrische regenmeters op deze AWS'en 6 à 8% minder neerslag vangen dan de gewone regenmeters. De verschillen in het aantal dagen, waarop een bepaalde hoeveelheid wordt overschreden, nemen af naarmate de te overschrijden hoeveelheid toeneemt. De extra meetfout van de pluviograaf/elektrische regenmeter heeft klaarblijkelijk de grootste invloed op de lage intensiteiten.

### 3.2. Extreme neerslag

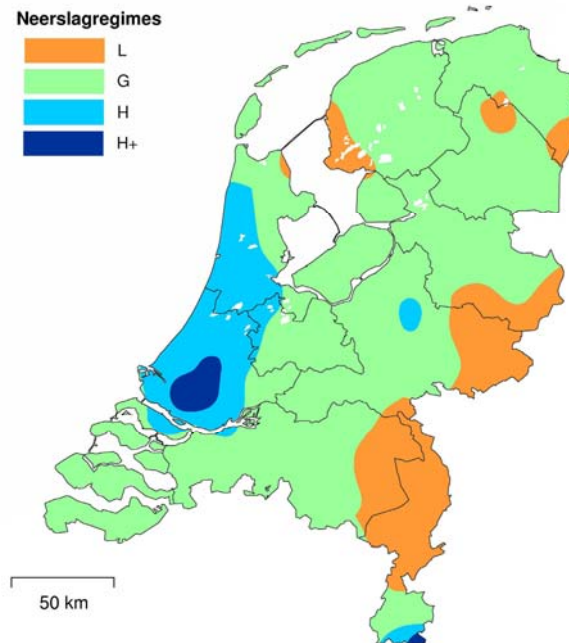
Eind 2004 werd een nieuwe statistiek van extreme neerslaghoeveelheden gepresenteerd voor neerslagduren van vier uur tot negen dagen. Deze statistiek is afgeleid uit de uurwaarden van het KNMI-station De Bilt voor het tijdvak 1906-2003 (Smits et al., 2004). Deze statistiek is in 2007 aangevuld met een statistiek voor duren van 5 tot 120 minuten op basis van pluviograafregistraties van De Bilt (Buishand en Wijngaard, 2007). Daarnaast werden de dagwaarden van tien andere neerslagstations geanalyseerd. Op grond van deze analyse werd geconcludeerd dat voor neerslagduren van 24 uur en langer een schaling van de extreme waarden statistiek van De Bilt op basis van de gemiddelde jaarsom een eerste indicatie geeft van de grootte van regionale verschillen (Smits et al., 2004). Herhaaldelijke wateroverlast in de beheergebieden van een aantal waterschappen langs de kust heeft een discussie op gang gebracht over het al of niet vaker voorkomen van extreme neerslag in de kustzone. Een aantal onderzoekers hebben aangetoond dat voor het beheersgebied van het hoogheemraadschap Delfland, de stad Rotterdam en Valkenburg (Z.H.) een simpele schaling van de extreme waarden statistiek van De Bilt op basis van de verhouding in de gemiddelde jaarsommen onvoldoende soelaas biedt om wateroverlast te vermijden (zie Hoofdstuk 4 in Buishand et al., 2009). Uitvoerig onderzoek heeft in 2009 geleid tot de onderkenning van vier neerslagregimes in Nederland (Buishand et al., 2009), waarvoor de extreme waarden statistiek verkregen kan worden door schaling van de statistiek van De Bilt met een vaste factor. Deze factoren zijn vermeld in Tabel 3.3.

De aanpassing van de statistiek van De Bilt op basis van Figuur 3.1 en de laatste kolom van Tabel 3.3 geldt in principe alleen voor neerslagduren vanaf een dag. Figuur 3.2 geeft de waarden van de locatieparameter van de GEV-verdeling (komt overeen met de neerslaghoeveelheid, die gemiddeld eens per jaar wordt overschreden) voor neerslagduren van 24 uur (linkerplaatje) en 60 minuten (rechterplaatje). Deze afbeelding is gebaseerd op gecorrigeerde radargegevens voor het tijdvak 1998-2008 en is afkomstig uit het promotieonderzoek van Aart Overeem (Overeem et al., 2009). De vrij korte lengte van dit tijdvak brengt een grote onzekerheid met zich mee. Niettemin is in het plaatje van de 24-uurwaarden een duidelijk maximum in Zuid-Holland te onderkennen en is de locatieparameter relatief laag in het noorden van Limburg en het oosten van Noord-Brabant. Deze regionale verschillen zijn in het plaatje van de 60-minuutwaarden verdwenen (significante verschillen konden niet worden aangetoond). Het gebruik van de correctiefactoren uit Figuur 3.1 is daarom voor neerslagduren korter dan één dag af te raden.

---

<sup>12</sup> Zijn vaak gekoppeld aan koufronten.

De betekenis van de neerslagregimes kan met het volgende voorbeeld geïllustreerd worden. Voor het overgrote deel van Nederland geldt, dat een hoeveelheid van 54 mm in 24 uur gemiddeld eens in de tien jaar wordt overschreden. Doordat de omgeving van Rotterdam in regime H+ valt, wordt een dergelijke hoeveelheid aldaar gemiddeld eens per vijf jaar overschreden. Dit betekent twee keer zo vaak als gemiddeld in Nederland.



**Figuur 3.1.** Vier te onderscheiden neerslagregimes met elk een eigen extreme-waarden-statistiek voor het huidige klimaat. De neerslagstatistiek voor deze regimes staat vermeld in Tabel 8 in Buishand et al. (2009).

**Tabel 3.3.** Schalingsfactoren voor de 4 neerslagregimes uit figuur 3.1 (factoren gebaseerd op gegevens over 1951-2005).

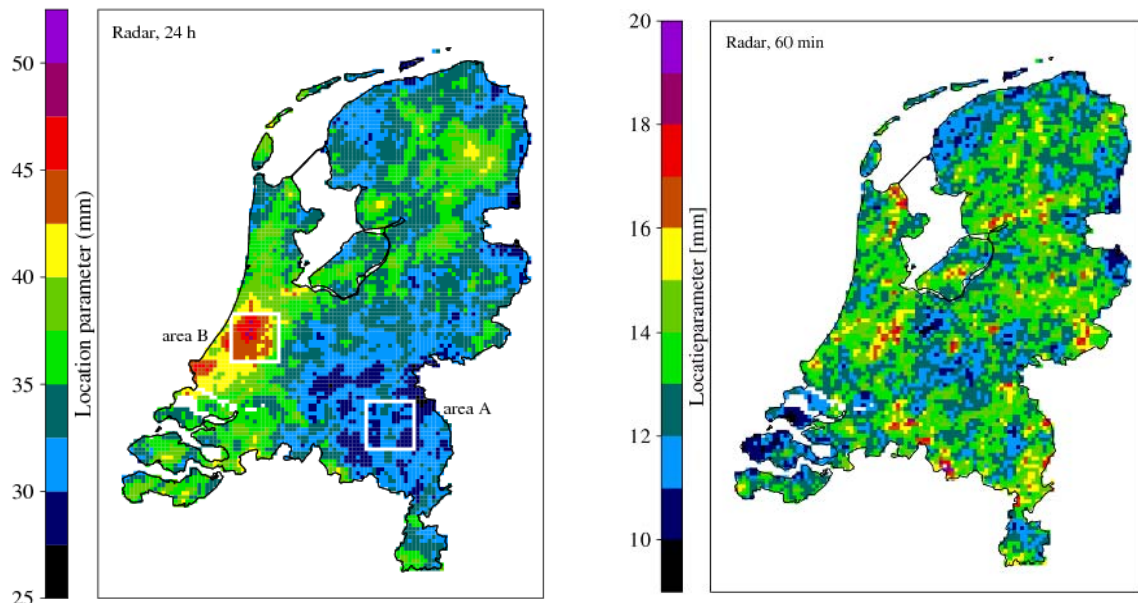
Neerslag regime	Schalingsfactor
L	0,93
G	1,00
H	1,08
H+	1,14

**Tabel 3.4.** Neerslaghoeveelheden (in mm) die gemiddeld eens in de zoveel jaar in een gegeven tijdsduur worden overschreden (Buishand & Wijngaard, 2008).

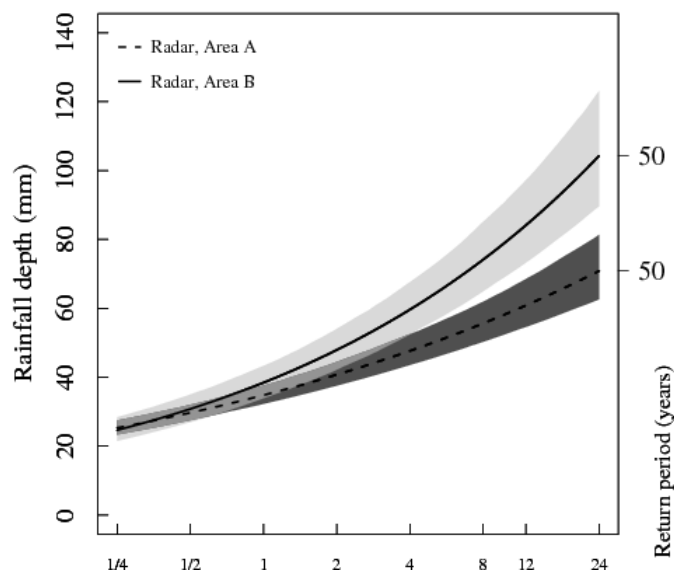
Minuten	Herhalingstijd			
	2 jaar	10 jaar	50 jaar	100 jaar
5	7	11	15	17
10	10	15	21	25
15	11	18	26	29
30	14	23	32	37
60	18	27	38	43
120	21	31	42	48

Tabel 3.4. toont enkele gegevens uit de neerslagstatistiek voor korte durren door Buishand & Wijngaard (2008). Deze statistiek is gebaseerd op jaarmaxima voor 5, 10, 15, 30, 60 en 120 minuten uit het tijdvak 1906-1990 voor De Bilt. Het gegeven dat er in Nederland geen regionale verschillen in extreme neerslag voor de korte durren aangetoond kunnen worden, maar wel voor de durren vanaf 24 uur of langer, rechtvaardigt de conclusie dat de extreme neerslag voor de deze langere durren vooral

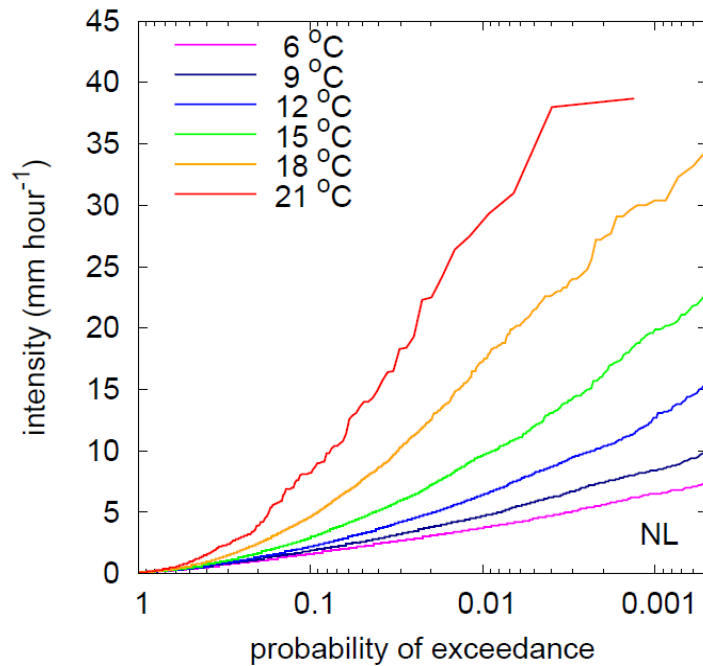
veroorzaakt wordt door een langere duur van de neerslaggebeurtenissen en niet zozeer door toegenomen intensiteiten. Figuur 3.3 geeft de neerslagduurlijnen voor een herhalingsstijd van 50 jaar voor de gebieden A en B in Figuur 3.2. Vanaf een duur van ongeveer 4 uur lijken er significante verschillen tussen de 2 gebieden te gaan optreden.



**Figuur 3.2.** De neerslaghoeveelheid die gemiddeld eens per jaar wordt overschreden voor een periode van 24 uur (links) en voor 60 minuten (rechts) op basis van radardata voor de periode 1998-2007 (Overeem et al., 2009).



**Figuur 3.3.** Neerslaghoeveelheid die gemiddeld eens in de 50 jaar wordt overschreden voor duren van 15 min. tot 24 uur voor de twee regio's aangegeven in Figuur 3.2 (Overeem et al., 2009). De grijze banden rond de lijnen geven de 95% betrouwbaarheidsintervallen weer.



**Figuur 3.4.** Overschrijdingskans ('probability of exceedance') van neerslagintensiteiten ('intensity' in mm per uur met neerslag) bij verschillende daggemiddelde dauwpunttemperaturen op 27 stations in Nederland (Lenderink et al., 2011) in de periode 1995-2010 (0.01 is eens in de 100 uur met neerslag binnen een bepaalde temperatuurbinn, 0.001 is eens in de 1000 uur met neerslag binnen een bepaalde temperatuurbinn, etc.).

Naar aanleiding van de hevige neerslag in augustus 2006 heeft het KNMI onderzoek verricht naar de relatie tussen temperatuur (van het zeewater en de lucht) en extreme neerslag (Lenderink & van Meijgaard, 2008; Lenderink et al., 2009; Romero et al., 2011; Lenderink et al., 2011). Figuur 3.4 laat zien dat de neerslagintensiteit toeneemt met een toenemende dauwpunttemperatuur<sup>13</sup> en dat dit geldt voor intensiteiten die vrij vaak voorkomen, maar ook voor zeer extreme situaties. De dauwpunttemperatuur lijkt een betere relatie te vertonen met extreme neerslag dan de gemiddelde dagtemperatuur, aangezien het optreden van hevige buien afhankelijk is van de hoeveelheid vocht in de lucht. Tot een bepaalde temperatuur volgt de relatie tussen temperatuur en uurneerslagintensiteit de Clausius-Clapeyron relatie, waarbij de verzadigde dampspanning met ongeveer 7% per graad °C temperatuurstijging toeneemt<sup>14</sup>. Bij hogere temperaturen is de toename van de extreme neerslagintensiteit per uur echter sterker (tot ong. 14% per graad °C).

#### *Aantal uren met neerslag op natte dagen*

Voor zover bekend is er voor Nederland geen onderzoek gedaan naar het aantal uren met neerslag op extreem natte dagen. Wel zijn er regionale verschillen gevonden in dagextremen, maar niet in uurextremen (Lenderink & van Meijgaard, 2008; Overeem, 2009). Hieruit kan worden afgeleid dat de duur van hevige neerslag in die gebieden met hogere dagextremen waarschijnlijk langer moet zijn.

<sup>13</sup> Dauwpunttemperatuur = die temperatuur waarnaar de lucht moet afkoelen om de lucht 100% verzadigd te laten zijn met vocht (er vanuit gaande dat de hoeveelheid vocht in de lucht niet verandert);

<sup>14</sup> De verzadigde dampspanning geeft aan hoeveel water er potentieel voor neerslag beschikbaar is, vandaar dat bij een toename van 7% van de verzadigde dampspanning per °C temperatuurstijging ook de intensiteit van extreme neerslag op dagbasis met 7% kan toenemen (Lenderink et al., 2009).

### 3.3. Samenvatting regionale verschillen

Voor een aantal klimaatvariabelen bestaan er duidelijke regionale verschillen. In onderstaande tabel wordt een beknopt overzicht gegeven van wat er in dit hoofdstuk is besproken.

**Tabel 3.5.** Beknopt overzicht regionale verschillen in klimaatvariabelen tussen De Bilt en Zuid-Holland (in het huidige klimaat).

Klimaatvariabelen	Wat bekend over regionale verschillen?
Gemiddelde jaarneerslag	Iets hoger in Zuid-Holland
Jaarlijkse gang	In Zuid-Holland weinig in de lente en vroege zomer, meer in de late zomer en herfst
Aantal dagen met neerslag	Weinig verschil, iets meer in De Bilt (>0,3 mm)
Neerslagduur per jaar	Langer of korter in Zuid-Holland, afhankelijk van de plaats
Extremen op dagbasis	Hoger in Zuid-Holland
Extremen op uurbasis	Geen duidelijk verschil

## 4. Trends in neerslagkarakteristieken

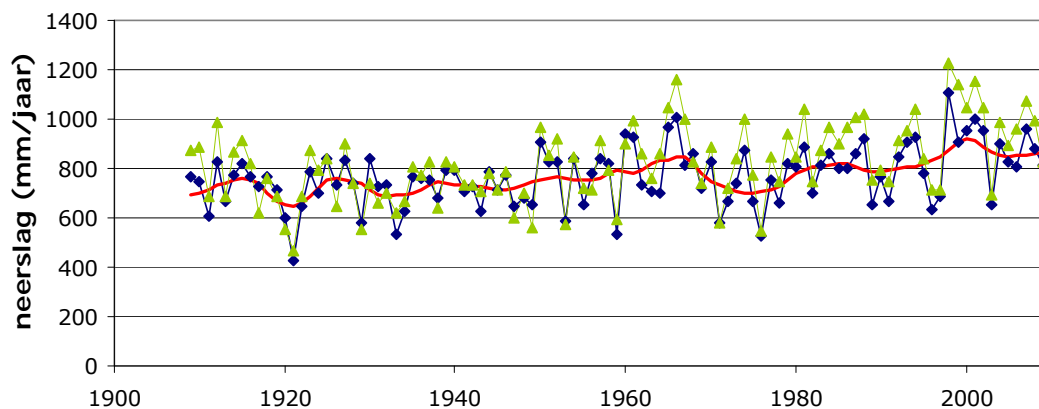
In Hoofdstuk 2 is aangegeven dat de aanwezigheid van trends en eventuele verschillen in trends tussen De Bilt en Zuid-Holland invloed hebben op de representativiteit en de bruikbaarheid van verschillende methoden voor het maken van lange tijdreeksen. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van beschikbare informatie over trends.

Bij de vergelijking van trends is in dit hoofdstuk vooral gekeken naar de periode waarvoor er gegevens voor De Bilt beschikbaar zijn (1910-2009) en een kortere periode (1951-2009) die ook is gebruikt door Buishand et al. (2011). Omdat er voor weinig stations in Zuid-Holland urengegevens beschikbaar zijn, is vooral gekeken naar stations waarvoor daggegevens beschikbaar zijn. Zoals Tabel 2.2 laat zien zijn er verschillende stations in Zuid-Holland waarvoor vrij lange dagneerslagtijdreeksen beschikbaar zijn.

### 4.1. Gemiddelde neerslag

#### *Gemiddelde jaarneerslag*

De jaarlijkse hoeveelheid neerslag is gemiddeld over Nederland gedurende de periode 1910-2009 toegenomen met 25% (Buishand et al., 2011), maar kent een grote variabiliteit van jaar tot jaar (zie ook Figuur 4.1).



**Figuur 4.1.** Jaarlijkse neerslag in Nederland (gemiddelde van 13 neerslagstations<sup>15</sup>; blauw) tussen 1906 en 2010. De rode lijn toont het voortschrijdende gemiddelde van 10 jaar (Bron: KNMI, 2008 en geüpdatet met gegevens voor 2008-2010). Groen: gemiddelde jaarneerslag voor station Bergschenhoek. In Bergschenhoek is de gemiddelde jaarneerslag in de periode 1981-2010 3-4% hoger dan in De Bilt.

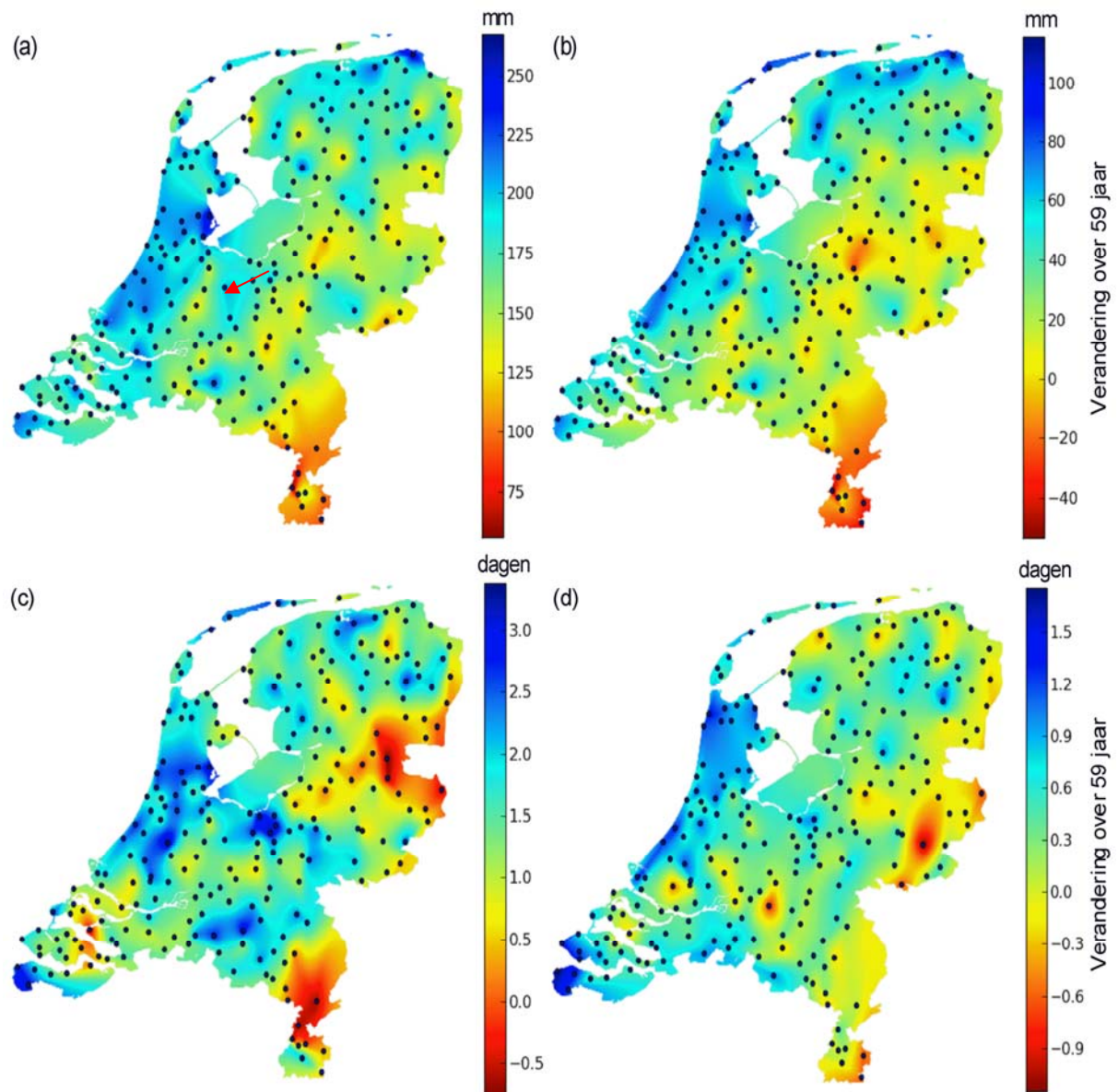
Figuren 4.2 en 4.3 laten de ruimtelijke spreiding in trends over verschillende perioden (1951-2009 en 1910-2009) zien voor verschillende neerslagvariabelen. In beide perioden is op veel stations een duidelijke toename van de gemiddelde jaarneerslag te zien. De trend in gemiddelde jaarneerslag in De Bilt is kleiner dan de gemiddelde trend in Zuid-Holland. Wel is er variatie in trends in gemiddelde jaarneerslag (en in gemiddelde zomerneerslag) tussen stations in Zuid-Holland. Verdere analyse van individuele stations in Zuid-Holland laat zien dat de meeste stations met dagwaarden in het begin van de 20<sup>e</sup> eeuw een gemiddelde jaarneerslag hebben van 700-750 mm, vergelijkbaar met De Bilt rond die tijd. In het huidige klimaat (1981-2010) is de gemiddelde jaarneerslag in De Bilt 887 mm<sup>16</sup>, terwijl de meeste stations in Zuid-Holland met een reeks die begint voor 1925

<sup>15</sup> Zie voor stations Bakker & Bessembinder (2012; p. 21);

<sup>16</sup> Dit is de gemiddelde jaarneerslag op het neerslagstation De Bilt, gemeten met de handregenmeter. Deze is hoger dan de jaargemiddelde neerslag, gemeten met de elektrische regenmeter, op het AWS-station De Bilt (Tabel 3.1). Dit verschil wordt verklaard door meetverliezen, die voor een elektrische regenmeter hoger zijn dan voor een handregenmeter.

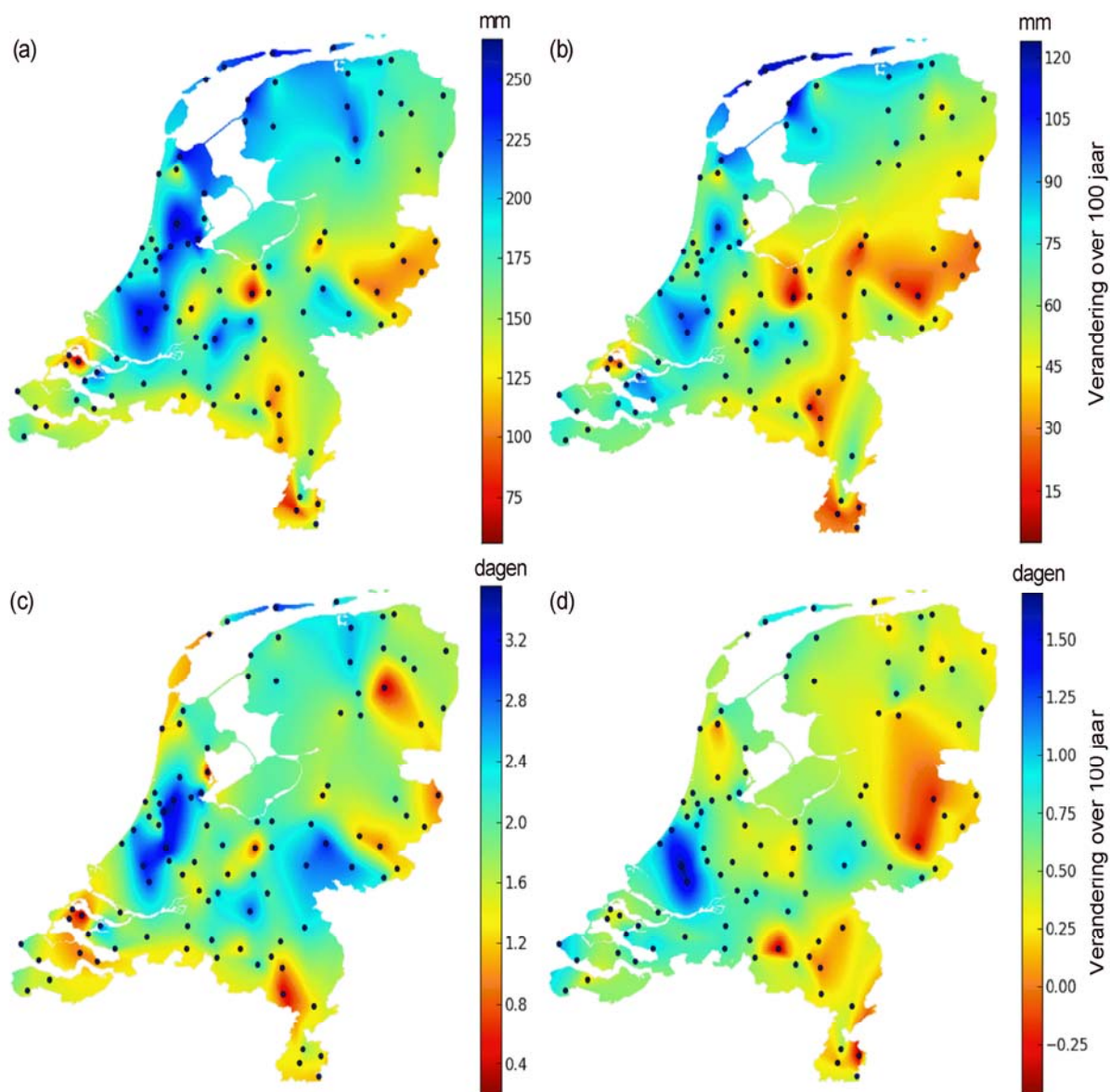


een gemiddelde jaarneerslag in de periode 1981-2010 hebben die iets hoger<sup>17</sup> ligt ([www.klimaatatlas.nl](http://www.klimaatatlas.nl)).



**Figuur 4.2.** Veranderingen in vier neerslagkarakteristieken gedurende de periode 1951-2009: a. jaarneerslag (mm); b. neerslag in het zomerhalfjaar (mm); c. aantal dagen per jaar met meer dan 20 mm neerslag; d. aantal dagen per jaar met meer dan 30 mm neerslag. De 240 neerslagstations zijn aangegeven door zwarte punten (Bron: Buishand et al., 2011). De locatie van De Bilt is in Figuur 4.2a met een rode pijl aangegeven.

<sup>17</sup> Het relatieve verschil in gemiddelde jaarneerslag tussen De Bilt en Zuid-Holland is kleiner dan het verschil in extreme neerslag op dagbasis.



**Figuur 4.3.** Veranderingen in vier neerslagkarakteristieken gedurende de periode 1910-2009: a. jaarneerslag (mm); b. neerslag in het zomerhalfjaar (mm); c. aantal dagen per jaar met meer dan 20 mm neerslag; d. aantal dagen per jaar met meer dan 30 mm neerslag. De 102 neerslagstations zijn aangegeven door zwarte punten (Bron: Buishand et al., 2011). De locatie van De Bilt is in Figuur 4.2a met een rode pijl aangegeven.

#### *Jaarlijkse gang*

Het verschil in neerslag tussen kust en binnenland vertoont een duidelijke jaarlijkse gang (Figuur 4.4) met omslagpunten in juni en oktober. Vanaf juni neemt het gemiddelde verschil in de jaren 1951 t/m 2006 tussen kust en binnenland toe en vanaf oktober neemt deze af. Uit dezelfde figuur valt verder af te leiden, dat vanaf eind juli de kust gemiddeld natter is dan het binnenland en dat in de eerste maanden tot eind juli dit andersom is. Opvallend is ook het natter (7 – 10 mm/maand of 10 – 15%) worden van de kuststrook ten opzichte van het binnenland in de zomermaanden. In deze trend speelt waarschijnlijk de stijging van de temperatuur van het Noordzeewater een belangrijke rol (Lenderink et al., 2009). In Figuur 4.4 is de kust gedefinieerd als een 30 km brede strook evenwijdig lopend aan de kustlijn. Volgens deze definitie behoort De Bilt tot het binnenland en de omgeving van Rotterdam en Den Haag tot de kust.

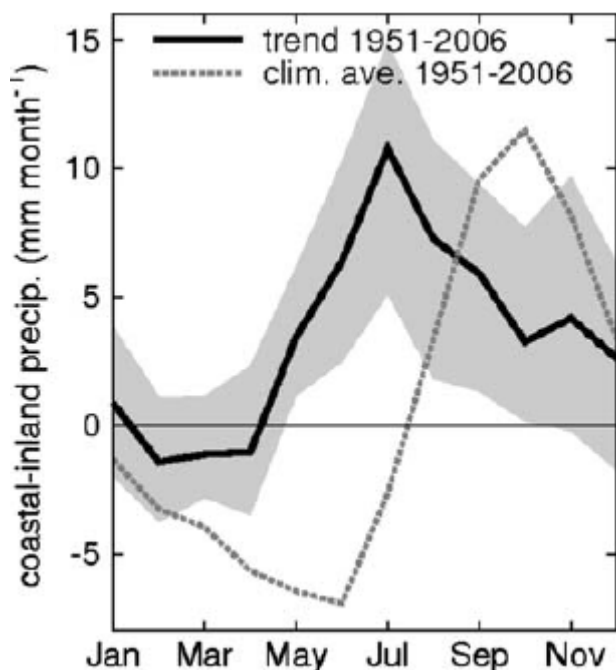
In het zomerhalfjaar lijkt er zowel in de periode 1910-2009 als in 1951-2009 gemiddeld in Zuid-Holland een sterkere trend in de zomerneerslag dan in De Bilt (Figuren 4.2 en



4.3). In het winterhalfjaar is de toename gemiddeld over Nederland echter aanzienlijk groter dan in het zomerhalfjaar voor beide perioden (Tabel 4.1). De trend in de periode 1910-2009 is deels toe te schrijven aan de verlaging van de hoogte van de rand van de opvangtrechter van de regenmeter van 1,50 m tot 0,40 m boven maaiveld. Deze verlaging vond voornamelijk plaats in de periode 1946-1948. Uit onderzoek van Braak (1945) blijkt, dat door deze verlaging de vangstvermindering veroorzaakt door toegenomen windturbulentie in de buurt van de trechter (windfout) gehalveerd wordt.

**Tabel 4.1.** Veranderingen in vijf neerslagkarakteristieken, gemiddeld over Nederland.  $N_s$  geeft het percentage van de neerslagreeksen waarvoor de verandering significant is op het 5% niveau (Bron: Buishand et al., 2011).

	1951-2009			1910-2009		
	absoluut	rel. (%)	$N_s$ (%)	absoluut	rel. (%)	$N_s$ (%)
<b>neerslag (mm)</b>						
Jaar	118	16	51	172	25	97
winter (okt-mrt)	88	26	74	108	35	98
zomer (apr-sep)	33	8	2	61	16	46
<b>dagen per jaar</b>						
> 20 mm	1,4	44	27	1,9	67	73
> 30 mm	0,4	53	13	0,5	85	27



**Figuur 4.4.** Verschil in neerslag tussen de kustzone (= coastal-inland precip; tot 30 km van de kustlijn; verticale as) en het binnenland per kalendermaand (horizontale as). De gestippelde lijn geeft het gemiddelde over de periode 1951-2006 en de zwarte lijn geeft de trend (in mm per maand over de periode van 56 jaar). De grijze band geeft het 10-90% onzekerheidsinterval. De maandelijkse waarden zijn gebaseerd op driemaandelijke overlappende perioden (bijv. de waarde van juli is berekend uit de gegevens van de maanden juni, juli en augustus) (Lenderink et al., 2009).

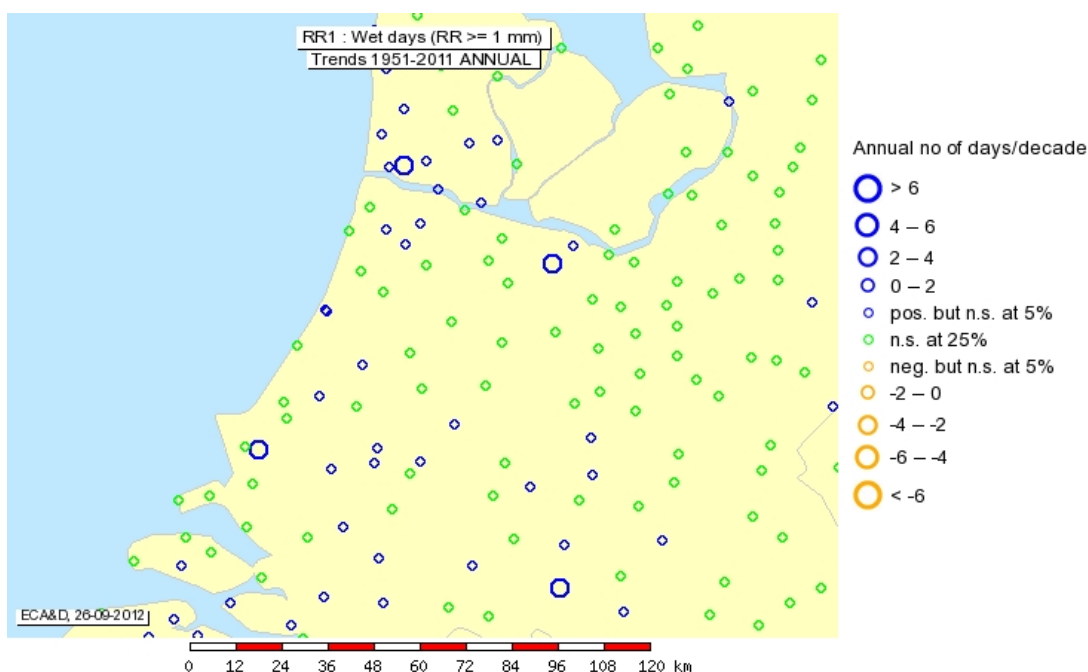
**Tabel 4.2.** Verandering in het jaarlijks aantal natte dagen ( $\geq 1,0$  mm) te Bergschenhoek (stationsnr. 453) en De Bilt (stationsnr. 550) voor drie verschillende tijdvakken. Tussen haakjes is de significantie vermeld.

Tijdvak	Verandering in aantal dagen per decennium	
	Bergschenhoek	De Bilt
1909 – 1950	-3,5 (9%)	-2,5 (21%)
1951 – 2010	0,6 (61%)	0,5 (71%)
1909 – 2010	0,8 (12%)	0,3 (62%)

#### *Aantal dagen (en uren) met neerslag*

Via de website [ecad.knmi.nl](http://ecad.knmi.nl) kunnen op een eenvoudige manier KNMI neerslaggegevensreeksen geanalyseerd worden. Een van de mogelijkheden is het samenstellen van een themakaart met daarin de trend in het aantal natte dagen (neerslaghoeveelheid  $\geq 1,0$  mm) voor verschillende tijdvakken. In het tijdvak 1951 – 2011 blijkt in de provincies Zuid-Holland en Utrecht – op een enkel station na – geen significante trend (significantieniveau 5%) in het aantal natte dagen aantoonbaar (Figuur 4.5). Narekening voor de locaties Bergschenhoek en De Bilt voor drie verschillende tijdvakken (Tabel 4.2) laat eenzelfde resultaat zien.

Sinds 1975 wordt op een beperkt aantal locaties (15) de duur van de neerslag systematisch gemeten. Sinds 1990 is het aantal locaties uitgebreid naar de huidige 32. Zowel de duur als het aantal stations is nog te beperkt om met voldoende zekerheid landelijke patronen in de trend van de neerslagduur te onderkennen.

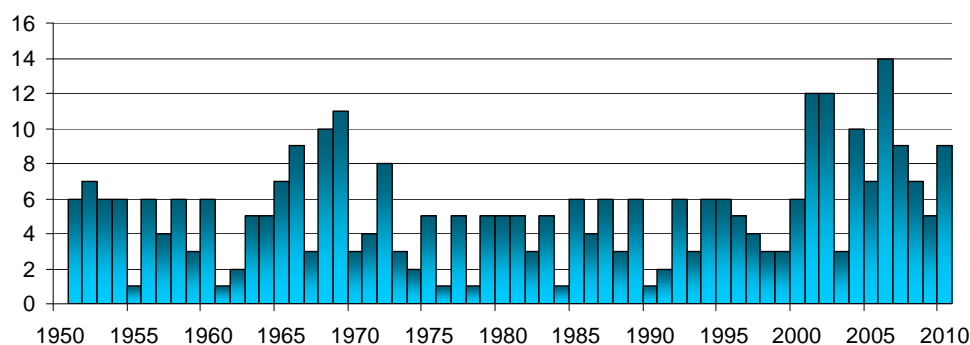


**Figuur 4.5** Verandering in het jaarlijks aantal natte dagen ( $\geq 1,0$  mm; in jaarlijks aantal dagen per decennium) in de provincies Utrecht en Zuid-Holland gedurende de jaren 1951 – 2011 (pos. but n.s at 5% = positief maar niet significant op 5% niveau, etc.).

## 4.2. Extreme neerslag

### *Neerslagextremen op dagbasis*

De laatste jaren lijkt het aantal dagen per jaar met hoge hoeveelheden neerslag ( $\geq 50$  mm) toe te nemen (Figuur 4.6). De jaar op jaar verschillen zijn echter dermate groot, dat een significante trend in deze parameter niet aantoonbaar is.



**Figuur 4.6.** Aantal dagen met minimaal 50 mm neerslag op minstens 1 KNMI-station in de zomer in Nederland.

Figuren 4.2 en 4.3 tonen de trends in het aantal dagen per jaar met meer dan 20 en 30 mm. In alle gevallen is er een positieve trend, maar deze is voor de meeste plaatsen in Zuid-Holland sterker dan voor De Bilt. Tabel 4.1 laat ook zien dat gemiddeld over Nederland de toename in aantal dagen met veel neerslag (meer dan 20 of 30 mm) groter is dan de toename in jaargemiddelde neerslag.

**Tabel 4.3.** Vergelijking van de GEV-locatieparameter (mm; hoeveelheid die gemiddeld ongeveer eens per jaar wordt overschreden) voor 1-, 4- en 9-daagse neerslagsommen voor verschillende historische tijdvakken voor Bergschenhoek en De Bilt.

	1 dag	4 dagen	9 dagen
<b>1909-2009</b>			
Bergschenhoek	29,4	54,8	80,9
De Bilt	29,6	50,4	74,1
<b>1974-2009<sup>a</sup></b>			
Bergschenhoek	32,8	59,6	86,3
De Bilt	28,5	51,9	77,2

<sup>a</sup> Er is gerekend met gegevens vanaf 1974, omdat er vanaf dat jaar voor 2 stations in Zuid-Holland uurgegevens beschikbaar zijn.

Tabellen 4.3 en 4.4 laten verschillen in de GEV<sup>18</sup>-locatieparameter (een van de parameters van de kansverdeling voor de beschrijving van de frequenties van extreme waarden) zien tussen De Bilt en Bergschenhoek, op basis van verschillende perioden. De GEV-locatieparameter in beide tabellen geeft de hoeveelheid neerslag weer die ongeveer eens per jaar wordt overschreden. Voor de analyse is gekozen voor Bergschenhoek omdat dit station vrij centraal ligt in het studiegebied, een lange tijdreeks met dagwaarden heeft, dicht ligt bij het gebied met hoge neerslagextremen uit Figuur 3.1 ligt, en omdat het ligt naast station Rotterdam (station nr. 344; op vliegveld Zestienhoven), waarvoor vanaf 1974 uurgegevens beschikbaar zijn. Bovendien is de reeks van Bergschenhoek ook gebruikt in het onderzoek naar regionale verschillen in neerslag uit 2009 (Buishand et al., 2009). In De Bilt blijkt het verschil in de locatieparameter voor drie verschillende herhalingstijden tussen beide perioden gering, maar in Bergschenhoek zijn de verschillen beduidend hoger.

De extreme urneerslag die gemiddeld eens per jaar wordt overschreden verschilt enigszins tussen plaatsen in Zuid-Holland (Tabel 4.4). Het werk van Overeem (2009) laat zien dat er geen duidelijke regionale verschillen zijn in de urneerslag die gemiddeld eens per jaar wordt overschreden. De verschillen worden groter voor langere dueren, zoals ook te zien is in Figuur 3.3.

<sup>18</sup> GEV = Generalized Extreme Value.

**Tabel 4.4.** Vergelijking van de GEV-locatieparameter (mm; hoeveelheid die gemiddeld ongeveer eens per jaar wordt overschreden) voor tijdsduren van 1 uur tot 96 uren voor enkele plaatsen in Zuid-Holland en voor het binnenland voor de periode 1974-2009 (lopende 1, 6, 24 of 96 uursneerslagsom).

	1 uur <sup>b</sup>	6 uren	24 uren <sup>c</sup>	96 uren
Valkenburg	12,8	24,2	36,1	58,1
Rotterdam	13,5	25,2	38,4	61,7
Binnenland <sup>a</sup>	13,1	22,3	32,4	52,3
De Bilt (1909-2009)	12,8	23,6	33,3	52,4

<sup>a</sup> Gemiddelde Eelde, De Bilt en Maastricht;

<sup>b</sup> Bepaald uit het neerslagverloop over tijdstappen korter dan 1 uur (5 minuten of kwartieren). Als de waarden worden bepaald uit uursommen voor de opeenvolgende klokuren (dus van 0 tot 1 uur, 1 tot 2 uur, enz.), dan zijn deze 13-15% lager (Overeem et al., 2008). Voor neerslagextremen per 2 uur is dit verschil ong. 4%;

<sup>c</sup> Bepaald uit uursommen voor neerslag (schuivend window van 24 uur). Als de waarden worden bepaald uit dagsommen dan zijn deze ongeveer 11% lager (Overeem et al., 2008). Dit verklaart samen met de verschillen in gebruikte periode de verschillen tussen Tabel 4.3. en 4.4.

#### *Verandering neerslagextremen bij een veranderd temperatuurregime*

Het vochtgehalte van de atmosfeer neemt toe bij toenemende temperatuur en minimaal gelijkblijvende relatieve luchtvochtigheid. In het huidige temperatuurregime en bij gelijkblijvende relatieve luchtvochtigheid neemt het vochtgehalte aan de grond met ongeveer 7% toe voor iedere °C temperatuurstijging (Clausius-Clapeyron relatie). Na condensatie in de hogere luchtlagen is er dan meer water beschikbaar en kan de intensiteit van de regenval toenemen. Onderzoek van de uurlijkse neerslag en temperatuur te De Bilt uit de jaren 1906 – 2004 toont aan dat voor extreme dagelijkse hoeveelheden (25% tot 0,1% overschrijdingskans) de intensiteit met ca. 7% (overeenkomstig Clausius-Clapeyron relatie) toeneemt voor iedere °C temperatuurstijging. Voor extreme uurlijkse hoeveelheden (1,0 en 0,1% overschrijdingskans) blijkt de intensiteit bij temperaturen boven 10 °C zelfs met 14% per °C temperatuurstijging toe te nemen. Ook bij minder extreme neerslaghoeveelheden blijkt een tendens naar sterkere toename van de intensiteit, maar deze treedt pas op vanaf 14 °C (Lenderink & van Meijgaard, 2008; Lenderink et al., 2009; Lenderink & van Meijgaard, 2010). De variatie en verandering in extreme percentielen van de urneerslag in De Bilt in de zomermaanden in de afgelopen eeuw is vrij goed te verklaren m.b.v. variatie en veranderingen in de extreme dauwpuntstemperatuur (Lenderink et al., 2011). Het vochtgehalte in de atmosfeer is afhankelijk van relatieve luchtvochtigheid en temperatuur. De afhankelijkheid van de relatieve luchtvochtigheid wordt vermeden door gebruik te maken van de dauwpuntstemperatuur als maat voor het vochtgehalte van de atmosfeer.

### 4.3. Samenvatting trends en regionale verschillen in trends

Voor een aantal klimaatvariabelen bestaan er duidelijke regionale verschillen in trends. In onderstaande tabel wordt een beknopt overzicht gegeven van wat er in dit hoofdstuk is besproken.

**Tabel 4.5.** Beknopt overzicht van de gevonden regionale verschillen in trends in klimaatvariabelen tussen De Bilt en Zuid-Holland.

Klimaatvariabelen	Wat bekend over regionale verschillen in trends?
Gemiddelde jaarneerslag	Verschilt binnen Zuid-Holland, maar meestal sterker dan in De Bilt
Jaarlijkse gang	Verschuiving in kustregio
Aantal dagen met neerslag	Stijging in Zuid-Holland in afgelopen 100 jaar op sommige plaatsen, geen stijging in De Bilt
Neerslagduur per jaar (in uren)	Geen gegevens hierover
Extremen op dagbasis	Stijging in Zuid-Holland in afgelopen 100 jaar, geen duidelijke stijging in De Bilt
Extremen op urbasis	Geen gegevens hierover



*Neerslag in Rotterdam (Foto: Hilde Ongering)*

## 5. Methoden voor het genereren van regiospecifieke tijdreeksen

Er zijn verschillende methoden voor het genereren van lange tijdreeksen denkbaar al dan niet gebaseerd op metingen. Deze methoden worden in dit hoofdstuk kwalitatief met elkaar vergeleken op de mogelijkheid om regionale karakteristieken van het klimaat in Zuid-Holland weer te geven. Voor stedelijk gebied en gebieden met veel glastuinbouw is een hoge tijdresolutie belangrijker dan voor gebieden met vooral grasland, waarvoor een juiste weergave van langer durende buien voldoende is. Bij deze vergelijking is ook informatie uit de voorgaande hoofdstukken gebruikt.

Na de vergelijking (Tabel 5.1) is een methode verder uitgewerkt (beste die binnen de beschikbare tijd uitgewerkt kon worden; Paragraaf 5.3). In dit hoofdstuk wordt deze nieuwe methode vergeleken met de methode die tot nu toe is gebruikt door HH Delftland.

### 5.1. Huidige methode voor het genereren van lange tijdreeksen

De huidige methode voor het genereren van regiospecifieke urneerslagreeksen, zoals die door sommige waterschappen wordt gebruikt, gaat uit van de meetreeks 1906 – 2003 van De Bilt. Het Hoogheemraadschap van Delfland<sup>19</sup> gebruikt door HKV opgestelde tijdreeksen, waarbij alle urneerslagwaarden van de reeks van De Bilt zijn verhoogd met 10%<sup>20</sup>. Dit betekent, dat de hoeveelheid neerslag in langere perioden (dag, dekade, maand, seizoen en jaar) ook 10% hoger worden.

Wat wordt goed/redelijk weergegeven met deze bovenstaande methode:

- Aantal natte dagen ( $\geq 1,0$  mm): hierin bestaat weinig verschil tussen De Bilt en Zuid-Holland (Tabel 3.1). Er is op de meeste stations in de regio Rotterdam en Haaglanden, net als in De Bilt geen sprake van een significante trend (5%-niveau) in het aantal natte dagen;
- De gebiedsgemiddelde jaarneerslag in district 7 van het MONV<sup>21</sup> (grotendeels Zuid-Holland) over de periode 1981-2010 komt vrijwel overeen met de jaargemiddelde neerslag in dezelfde periode te De Bilt. In de nabijheid van Rotterdam is de jaargemiddelde neerslag ongeveer 5 à 8% hoger. Een verhoging van 10% compenseert de verschillen met De Bilt voor de niet-extreme neerslag daardoor ruim tot zeer ruim. Door de verschillen in trends groeide de hoeveelheid neerslag in Zuid-Holland sneller dan in De Bilt. Teruggaand in de tijd betekent dit, dat in de eerste helft van de 20<sup>e</sup> eeuw de jaargemiddelde neerslag in Zuid-Holland belangrijk minder was dan in De Bilt, waardoor de aangepaste meetreeks van De Bilt voor deze tijd de hoeveelheid neerslag in zeer hoge mate de feitelijkheid overschat;
- Voor neerslagduren van een dag en langer is de extreme neerslag voor het overgrote gedeelte van Zuid-Holland 8% hoger dan in De Bilt en in de omgeving van Rotterdam 14%. Een verhoging van 10% betekent een geringe overschatting

---

<sup>19</sup> Dit is het waterschap dat het grootste deel van het gebied van de hotspots Haaglanden en Regio Rotterdam omvat. Het Waterschap Schieland en Krimpenerwaard beslaat ook een deel van de Regio Rotterdam;

<sup>20</sup> Deze aangepaste reeks wordt ook gebruikt als basis voor het genereren van tijdreeksen voor de toekomst. Hiervoor werd tot nu toe uitgegaan van het WB21 midden scenario, en werden alle urneerslagwaarden voor De Bilt + 10% nogmaals met 10% verhoogd. Voor het huidige klimaat is de reeks van De Bilt voor de periode vanaf januari 1982 niet gecorrigeerd voor het verschil in neerslag tussen de AWSen en de neerslagstations. Daardoor wordt voor De Bilt een ongeveer 6% te lage jaargemiddelde neerslag vanaf 1982 gebruikt. Deze ongecorrigeerde reeks voor de Bilt is gebruikt als basis voor de tijdreeks die tot nu toe door HH Delfland wordt gebruikt. Vooral in de lagere neerslaghoeveelheden wordt de grootste fout gemaakt door niet te corrigeren voor het verschil in neerslaghoeveelheden tussen AWSen en neerslagstations;

<sup>21</sup> Maandoverzicht van Neerslag en Verdamping in Nederland.

voor het grootste gedeelte van Zuid-Holland tot een onderschatting voor de omgeving van Rotterdam.

Wat wordt waarschijnlijk niet goed weergegeven:

- De jaarlijkse gang van de neerslag in de toegepaste reeks is niet representatief voor de kust, waardoor knelpunten in de ont- en afwatering ontbreken vaak in de zomer gelegd worden, terwijl ze feitelijk in het najaar plaatsvinden (Paragraaf 3.1);
- Bij het samenstellen van de ontwerpreeksen voor het Hoogheemraadschap Delfland heeft HKV onvoldoende rekening gehouden met de mindere vangst (ca. 7%) van de elektrische regenmeter. Tot 1982 werden de uurlijkse hoeveelheden neerslag verkregen uit de elektrische regenmeter op het KNMI voor dit verlies gecompenseerd door een correctie naar de dagelijkse hoeveelheid van de handregenmeter. Sinds 1982 wordt dit achterwege gelaten. In de in dit rapport aangehaalde studies naar extreme neerslag is dit achteraf alsnog gedaan. De ontwerpreeksen vertonen hierdoor een inhomogeniteit en veroorzaken sinds 1982 een onderschatting van de feitelijke neerslag, die door de 10% verhoging slechts gedeeltelijk en voor extreme neerslag voor duren vanaf een dag zelfs onvoldoende wordt gecompenseerd.

Voor de neerslag te De Bilt is voor de afgelopen 100 jaar een positieve trend in de hoeveelheid aangetoond. Een systematische verhoging van de uurlijkse hoeveelheden, zoals door HKV is toegepast voor ontwerpdoeleinden, laat deze trend in tact. Voor het verkrijgen van voldoende extreme buien, die van nature zeldzaam zijn, is een lange reeks noodzakelijk, maar men mag zich afvragen in hoeverre de buien vooral aan het begin van de reeks vanwege het aangetoonde niet-stationaire karakter van de neerslag nog representatief zijn voor het huidige klimaat.

De vraag is welke van de bovenstaande aspecten die niet goed worden weergegeven, een probleem opleveren bij het gebruik van de huidige tijdreeks:

- Jaarlijkse gang klopt niet helemaal: In bepaalde delen van het jaar kan er beter/meer gebruik gemaakt worden van de opslagbassins van tuinders dan in andere perioden<sup>22</sup>. De timing in het jaar van wateroverlast kan dus belangrijk zijn;
- Onderschatting van extreme neerslag in ontwerpberoeeningen leidt tot onvoldoende onderkenning van mogelijke knelpunten in de afwatering, en overschatting van extreme neerslag leidt tot detectie van mogelijk niet-bestaande knelpunten.

## 5.2. Alternatieve methoden en voor- en nadelen

Het bovenstaande geeft aan dat de lange tijdreeks voor neerslag op uurbasis (De Bilt + 10%) op verschillende punten het huidige klimaat in Zuid-Holland niet helemaal goed weergeeft. Hieronder bespreken we een aantal methoden, die mogelijk kunnen leiden tot verbetering van de weergave van een of meerdere van de bovenstaande aspecten. De methoden zijn afgeleid van methoden die niet speciaal zijn ontwikkeld om de lengte van perioden zonder neerslag of met weinig neerslag goed weer te geven (het zelfde geldt voor de huidige methode). Ze zijn dan ook niet automatisch geschikt voor de analyse van droogteperioden.

### 1. 'Transformatie' van de reeks van De Bilt

Hierbij wordt de lange reeks van De Bilt op dagbasis als basis genomen, net als in de huidige methode voor het genereren van een lange tijdreeks op uurbasis. Er wordt echter veel meer informatie over de verschillen tussen De Bilt en de stations in Zuid-Holland gebruikt om de reeks aan te passen dan bij de methode die tot nu wordt gebruikt

<sup>22</sup> Nu wordt in het gebruikte model door Hoogheemraadschap van Delfland uitgegaan van een standaard vulgraad van de bassins.



(Paragraaf 1.2 en 5.1). De methode is vergelijkbaar met die welke wordt toegepast voor het genereren van tijdreeksen voor de toekomst op basis van de KNMI'06 scenario's ([http://climexp.knmi.nl/Scenarios\\_monthly/](http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/)). Door de verschillen tussen De Bilt en de gewenste locatie vast te stellen op maand- of seizoensbasis kunnen de coëfficiënten in het transformatieprogramma worden bepaald (99-percentiel, aantal natte dagen en gemiddelde neerslag op natte dagen; zie ook Bakker & Bessembinder, 2012).

Nadelen:

- Het huidige transformatieprogramma werkt met dagwaarden en is niet geschikt voor het genereren van uurlijkse neerslagwaarden. Als de dagneerslag wel verschilt tussen De Bilt en Zuid-Holland, maar de uurneerslag niet, dan kan dit niet met de huidige versie van het transformatieprogramma worden meegenomen (en dit is het geval: voor dagextremen zijn er wel significante regionale verschillen, maar deze zijn niet aangetoond voor extreme uurneerslag);
- Verschillen in trends<sup>23</sup> in het verleden kunnen met deze methode niet meegenomen worden. Zoals hierboven al aangegeven is de trend in gemiddelde neerslag anders in De Bilt dan in veel plaatsen in Zuid-Holland. De keuze van de te gebruiken periode voor het bepalen van de verschillen kan dan veel invloed hebben op de uiteindelijke regiospecifieke reeks.

Voordelen:

- De gemiddelde jaarneerslag en de gemiddelde maand/seizoensneerslag (jaarlijkse gang), en het aantal dagen met neerslag kunnen goed worden aangepast met deze methode. De extreme neerslag per dag kan tot op zekere hoogte ook goed worden aangepast<sup>24</sup>;
- Er is een programma beschikbaar dat als basis kan dienen, waardoor de methode vrij snel is uit te voeren.

## *2. Disaggregatie van dagwaarden van een lange tijdreeks op dagbasis in Zuid-Holland m.b.v. een kortere uurtijdreeks uit Zuid-Holland.*

In deze methode wordt als basis een lange tijdreeks op dagbasis uit Zuid-Holland gebruikt. Deze dagwaarden worden gedisaggregeerd, tot uurwaarden. Zoals Tabel 2.2 aangeeft zijn er enkele stations in Zuid-Holland die een reeks hebben van minimaal 100 jaar. Informatie over hoe de tijdreeks op dagbasis gedisaggregeerd moet worden, wordt gehaald uit tijdreeksen met uurwaarden uit Zuid-Holland. Er bestaat ervaring met een vergelijkbare methode voor het stroomgebied van de Maas (van dagwaarden naar 6-uurwaarden) (Wójcik & Buishand, 2003; Wójcik & Buishand, 2001).

Nadelen

- Het ontwikkelen kost meer tijd dan methode 1;
- Er zijn 3 stations met uurwaarden in Zuid-Holland, waarop de regels voor disaggregatie gebaseerd kunnen worden, waarvan slechts 2 stations meer dan 30 jaar gegevens hebben. Deze reeksen zijn aanzienlijk korter dan de reeksen op dagbasis, waardoor eventuele trends niet goed geanalyseerd kunnen worden.

Voordelen

- Door gebruik van tijdreeksen uit de regio zelf wordt een aantal regiospecifieke aspecten van neerslag automatisch meegenomen, zoals jaargemiddelde neerslag, jaarlijkse gang, aantal dagen met neerslag, variatie tussen jaren, dagextremen, trends in klimaatvariabelen<sup>25</sup>;

---

<sup>23</sup> Doordat er een trend zit in de waarnemingen is een reeks van de afgelopen 100 jaar niet representatief voor het huidige klimaat. Het liefst zou men lange 'synthetische' tijdreeksen hebben die het huidige klimaat wel goed representeren;

<sup>24</sup> Het huidige transformatieprogramma voor dagneerslag gebruikt voor het genereren van tijdreeksen voor de toekomst voor gebeurtenissen extremer dan het 99-percentiel per kalendermaand dezelfde verandering als voor het 99-percentiel. In principe kan informatie over extremere gebeurtenissen (Buishand et al., 2009) wel meegenomen worden door een aanpassing van het programma.

<sup>25</sup> Het is uiteraard de vraag of dit (de aanwezigheid van trends) echt een voordeel is. Zie eerdere opmerkingen hierover;



- Er zijn meer lange tijdreeksen op dagbasis (ongeveer 100 jaar) voor Zuid-Holland dan er tijdreeksen zijn met uurwaarden. De reeks kan dus regio-specifieker zijn dan bij gebruik van de stations met uurneerslag.

### 3. Disaggregatie van dagwaarden van een lange tijdreeks op dagbasis in Zuid-Holland m.b.v. uurgegevens van De Bilt.

Dit is een variant op de bovenstaande methode. In deze methode wordt als basis een lange tijdreeks uit Zuid-Holland op dagbasis gebruikt. Zoals Tabel 2.2 aangeeft zijn er een aantal stations in Zuid-Holland, die een reeks hebben van bijna 100 jaar of langer. Informatie over hoe de tijdreeks op dagbasis gedisaggregeerd moet worden, wordt gehaald uit de tijdreeks op uurbasis van De Bilt. Voor elke datum uit de lange tijdreeks op dagbasis wordt de relatieve verdeling van de neerslag over uren van dezelfde datum van de uurreeks van De Bilt gebruikt<sup>26</sup>. Voor dagen dat er in De Bilt geen neerslag is gevallen en wel op het station in Zuid-Holland wordt gezocht naar een dag met een vergelijkbare neerslag in de reeks van De Bilt (Paragraaf 5.3).

#### Nadelen

- Het aantal uurvakken met neerslag in De Bilt is iets hoger dan in Zuid-Holland (Tabel 3.2), waardoor de gemiddelde neerslag per uurvak (en mogelijk de extreme neerslag per uur) kan worden onderschat<sup>27</sup>;
- Voor die dagen waarop het niet heeft geregend in De Bilt en wel op het station in Zuid-Holland waarvan de lange reeks op dagbasis wordt gebruikt, moet een vergelijkbare dag worden gevonden. Voor dagen dat het in De Bilt kort heeft geregend en op het station met de dagreeks heel veel heeft geregend, ontstaan er mogelijk erg hoge uurneerslagwaarden. Deze problemen kunnen vooral in de zomermaanden optreden.

#### Voordelen

- Door gebruik van een dagneerslagreeks uit de regio zelf, worden een aantal regio-specifieke aspecten van neerslag automatisch meegenomen, zoals jaargemiddelde neerslag, jaarlijkse gang, aantal dagen met neerslag, variatie tussen jaren, dagextremen, trends in klimaatvariabelen;
- Er zijn meer lange tijdreeksen op dagbasis voor Zuid-Holland dan er tijdreeksen zijn met uurwaarden. De reeks kan dus regio-specifieker zijn dan bij gebruik van de stations met uurneerslag.

### 4. Stochastische neerslaggenerator

Bij deze methode worden een aantal statistische eigenschappen bepaald om vervolgens synthetische reeksen van uurwaarden te genereren, die voldoen aan deze statistische eigenschappen. Een voorbeeld hiervan is de neerslaggenerator (voor de Rijn en Maas), waarmee synthetische reeksen tot >10.000 jaar gemaakt kunnen worden door de gemeten neerslag op dagbasis te 'hercombineren' (Beersma, 2002).

#### Nadelen:

- Er bestaat nog geen neerslaggenerator voor uurwaarden in Nederland. Ontwikkeling daarvan, evenals de analyse van de statistische eigenschappen van het neerslagklimaat in Zuid-Holland kost meer tijd dan beschikbaar binnen dit project.

<sup>26</sup> Bij passage van neerslaggebieden over Nederland zal het neerslagverloop in De Bilt ten op zichte van Zuid-Holland in de tijd verschoven zijn. De correlatie tussen extreme neerslaghoeveelheden per 24 uur is 0 bij een afstand van meer dan 30-50 km. De correlatie tussen extreme neerslaghoeveelheden per uur is ook over korte afstanden zeer gering (Overeem et al., 2008). Er is wel van enige correlatie sprake bij afstanden van 30-50 km als men naar de neerslag op alle natte uurvakken of alle natte dagen kijkt (vooral bij de laatste; Overeem, 2009 Figuur 3.10 op pag. 55);

<sup>27</sup> In deze methode wordt niet de neerslagduur gebruikt, maar het aantal uurvakken met neerslag (neerslagduur in De Bilt over de periode 1981-2010 is 663 uur, maar het aantal uurvakken met neerslag is 1036 uur per jaar; op basis van ongecorrigeerde reeks).

Voordelen:

- Er kan een reeks uit de regio zelf worden gebruikt, waardoor deze automatisch verschillende eigenschappen uit de regio meeneemt (er bestaan echter binnen Zuid-Holland aanzienlijke verschillen die niet allemaal met de 3 stations met uurwaarden beschreven kunnen worden);
- Er kan een veel langere reeks worden gemaakt dan bij de overige hier vermelde methoden. Voor het bepalen van de neerslaghoeveelheid die gemiddeld eens in de 100 jaar wordt overschreden, heeft men bij voorkeur veel langere reeksen dan 100 jaar nodig;
- Als de statistische eigenschappen bepaald worden op basis van bijv. de afgelopen 30 jaar, dan is de gegenereerde reeks veel representatiever voor het huidige klimaat dan een 100-jarige meetreeks met daarin een trend;
- Zowel dagextremen als meerdaagse extremen en uurextremen en meer-uurlijkse extremen met lange herhalings tijden kunnen in principe redelijk goed gesimuleerd worden (zie o.a. Leander & Buishand, 2009; Wojcik & Buishand, 2003; Wojcik & Buishand, 2001). In Jones et al. (2009), waar ook een stochastische weergenerator wordt gebruikt, staat echter dat men voorzichtig moet zijn met dagextremen met een herhalings tijd langer dan 10 jaar en uurextremen met een herhalings tijd langer dan 5 jaar.

Tabel 5.1. geeft een overzicht van de sterkere en zwakkere kanten van de verschillende alternatieve methoden en de nu gebruikte methode. Op basis van deze kwalitatieve vergelijking, gaat de eerste voorkeur uit naar de neerslaggenerator. Daarnaast kan de neerslaggenerator veel langere tijdreeksen genereren en reeksen die representatiever zijn voor het huidige klimaat. Het uitwerken van deze methode kost echter relatief veel tijd, en lag daarom niet binnen de mogelijkheden van dit project. Hetzelfde geldt voor de disaggregatie van dagwaarden m.b.v. uurreeksen uit Zuid-Holland zelf. Disaggregatie van een dagneerslagreeks uit Zuid-Holland m.b.v. de urneerslagreeks van De Bilt is bijna even goed als disaggregatie m.b.v. een urneerslagreeks uit Zuid-Holland. Deze methode is ook in relatief korte tijd uit te voeren. Deze methode geeft het aantal uren met neerslag en de extreme urneerslag mogelijk minder goed weer, maar gebruikt wel als basis dagwaarden die in de regio zelf zijn gemeten.

**Tabel 5.1.** Overzicht alternatieve methoden voor het genereren van regiospecifieke tijdreeksen op uurbasis: hoe goed<sup>a</sup> kunnen ze de verschillende klimaatvariabelen weergeven voor Zuid-Holland?

	Huidige methode De Bilt + 10%	Transformatie <sup>b</sup>	Disaggregatie m.b.v. uurreeks uit Zuid-Holland <sup>c</sup>	Disaggregatie m.b.v. de uurreeks van De Bilt <sup>d</sup>	Neerslag-generator
• Gem. jaarneerslag	+	++	++	++	++
• Jaarlijkse gang	-	++	++	++	++
• Gem. aantal dagen met neerslag	+	++	++	++	++
• Gem. aantal uren met neerslag	-	-	+	o	++
• Extreme dagneerslag <sup>g</sup>	+	+	++	++	+ / ++ <sup>f</sup>
• Extreme uurneerslag	-	-	+	o	+ / ++ <sup>f</sup>
• Trends	-	-	+ / -	++	-
• Lengte reeks	Ong. 100 jaar	Ong. 100 jaar	Ong. 100 jaar	Ong. 100 jaar	> 100 jaar
• Representatief voor ...	Ong. afgelopen 100 jaar in De Bilt	Ong. afgelopen 100 jaar voor dagwaarden	Afgelopen 100 jaar voor dagwaarden / afgelopen 30 jaar voor uurwaarden	Afgelopen 100 jaar	Bijv. afgelopen 30 jaar <sup>e</sup>
• Snelheid waarmee de methode toegepast kan worden	Snel	Snel	Kost relatief veel tijd	Snel	Kost relatief veel tijd

<sup>a</sup> ++ = goed/exact weergegeven; + = redelijk goed weergegeven; o = enigszins aangepast voor de regio; - = niet aangepast/niet goed weergegeven voor de regio;

<sup>b</sup> Gebaseerd op huidige versie van het transformatieprogramma op dagbasis op het KNMI. Bij verdere ontwikkeling kunnen de zwakkere punten deels opgelost worden (weergave extreme dagwaarden, en weergave op uurbasis). Trends kunnen niet direct worden meegenomen, maar de verschillen in dagwaarden kunnen gebaseerd worden op de lange reeksen met dagwaarden uit Zuid-Holland zelf, waardoor de trends indirect worden meegenomen;

<sup>c</sup> Trends in jaargemiddelde neerslag, jaarlijkse gang, extreme dagneerslag kunnen wel goed worden meegenomen, maar niet de trends in aantal uren met neerslag en extreme uurneerslag, omdat deze gebaseerd moeten worden op de korte reeksen met uurwaarden;

<sup>d</sup> Het aantal uurvakken met neerslag met deze methode is min of meer gelijk aan de neerslagduur in De Bilt (dus waarschijnlijk een lichte overschatting voor Zuid-Holland). Extreme uurneerslag wordt door de overschatting van het aantal uurvakken met neerslag mogelijk iets onderschat;

<sup>e</sup> 30 jaar is niet altijd genoeg om de natuurlijke variabiliteit in een klimaat te beschrijven;

<sup>f</sup> Afhankelijk van het type weergenerator hoe goed de extremen kunnen worden weergegeven. In het UKCP09 rapport 'Projections of future daily climate for the UK from the Weather Generator' staat (pag. 31) dat men voorzichtig moet zijn met dagextremen met een herhalingsperiode langer dan 10 jaar en uurextremen met een herhalingsperiode langer dan 5 jaar (Jones et al., 2009);

<sup>g</sup> het gaat hier om extreme neerslag op dagbasis en niet om extreme neerslag gedurende een schuivend venster van 24 uur.

### 5.3. Uitwerking van gekozen methode

#### *Gebruikte data*

Voor het demonstreren van de methode 'disaggregatie m.b.v. de reeks van De Bilt' is één station gekozen in Zuid-Holland met een vrij lange tijdreeks op dagbasis en vrij centraal gelegen, nl. Bergschenhoek. Dit station is ook gebruikt in het onderzoek naar de regionale verschillen van Buishand et al. (2009) en heeft een ongeveer 12% hogere

extreme dagneerslag dan De Bilt. In principe kan de methode ook toegepast worden op de andere lange tijdreeksen met dagwaarden in Zuid-Holland. We verwachten dat de resultaten dan vergelijkbaar zijn.

Voor Bergschenhoek is de periode 1909-2010 gebruikt. Voor het disaggregeren is de reeks van De Bilt voor dezelfde periode gebruikt. Deze reeks is voor het gebruik hier niet gecorrigeerd voor de verschillen in gemiddelde jaarneerslag tussen het AWS en het neerslagstation van De Bilt. Dit was niet nodig omdat alleen de verdeling over de dag van het station De Bilt wordt gebruikt, en niet de absolute hoeveelheid neerslag.

#### *Gebruikte methode*

Zoals hiervoor aangegeven wordt de urneerslagreeks van De Bilt gebruikt om de dagneerslagreeks van Bergschenhoek te disaggregeren:

- Voor elke dag met neerslag in Bergschenhoek wordt de relatieve neerslagverdeling en het aantal uurvakken met neerslag van de reeks van De Bilt gebruikt;
- Als op een dag geen neerslag is gevallen in Bergschenhoek en wel in De Bilt, dan wordt voor alle uurvakken in Bergschenhoek een neerslag van 0 mm gebruikt;
- Als op een dag geen neerslag is gevallen in De Bilt en wel in Bergschenhoek, dan wordt in de reeks van De Bilt gezocht naar een dag met een neerslaghoeveelheid die valt in dezelfde klasse (klassen: 0,1-10 mm, 10,1-20 mm, etc.), en de neerslagverdeling op die dag wordt gebruikt om de dagneerslag van Bergschenhoek over verschillende uurvakken te verdelen. Er wordt niet telkens dezelfde dag uit de reeks van De Bilt gebruikt, maar telkens een dag later (historisch gezien) in dezelfde klasse.

In Bijlage 1 staat de methode uitgebreider beschreven.

#### *Resultaten*

De gegenereerde reeks is getest op de weergave van de urneerslag en de meeruurlijkse neerslag (dagneerslag, dagextremen, jaarlijkse gang en jaargemiddelde neerslag zijn exact overgenomen door gebruik te maken van de dagneerslagreeks).

**Tabel 5.2.** GEV-locatieparameters (mm; hoeveelheid neerslag die gemiddeld ongeveer eens per jaar wordt overschreden) voor de gedisaggregeerde neerslagreeks van Bergschenhoek voor de periode 1909-2010 en voor De Bilt (neerslagstatistiek: Smits et al., 2004<sup>b</sup>; Buishand & Wijngaard, 2008; Overeem et al., 2008).

Duur (uren)	Bergschenhoek	De Bilt	Verhouding
1	13,2/14,9 <sup>a</sup>	14,4	0,92/1,02 <sup>a</sup>
2	17,4/18,1 <sup>a</sup>	17,4	1,00/1,04 <sup>a</sup>
4	21,4	20,8	1,03
6	23,7	23,3	1,02
8	25,5	24,7	1,04
12	28,1	27,5	1,02
24	34,1	33,2	1,03
48	43,3	41,0	1,06
96	57,7	52,3	1,10

<sup>a</sup> De waarden voor De Bilt voor een neerslagduur van 1 uur en 2 uur zijn afgeleid uit het neerslagverloop over tijdstappen korter dan 1 uur, waardoor vermeden wordt dat de hoeveelheid neerslag in een kortdurende bui verdeeld wordt over twee opeenvolgende uurvakken. De tweede waarde na correctie, omdat de waarden voor Bergschenhoek uit urneerslagreeksen zijn afgeleid: +13% voor een neerslagduur van 1 uur, en +4% voor een neerslagduur van 2 uur (Overeem et al., 2008);

<sup>b</sup> Voor deze neerslagstatistiek is de urneerslagreeks voor De Bilt eerst gecorrigeerd voor de verschillen in neerslag tussen het Automatische WeerStation en het neerslagstation. Op <http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/index.html> staat de gecorrigeerde reeks. Via <http://www.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens/> is de ongecorrigeerde reeks te downloaden.

Tabel 5.2. geeft de GEV-locatieparameters (de hoeveelheid neerslag die gemiddeld ongeveer eens per jaar wordt overschreden) voor verschillende neerslagduren voor de gedisaggregeerde neerslagreeks van Bergschenhoek en voor de urneerslagreeks van De Bilt.

De neerslag per uur en per 2 en 4 uur die gemiddeld eens per jaar wordt overschreden is voor Bergschenhoek iets hoger (2-4%) dan voor De Bilt. Uit onderzoek weten we, dat er voor uren tot 4 uur geen duidelijke verschillen in extreme neerslag zijn aangetoond tussen De Bilt en Zuid-Holland. Het aantal uurvakken met neerslag is in Zuid-Holland waarschijnlijk op alle stations iets lager dan in De Bilt (Tabel 3.2). Door de hier gebruikte methode is het aantal uurvakken met neerslag in Bergschenhoek niet hoger dan in De Bilt. De gemiddelde jaarneerslag is in Bergschenhoek is echter wel wat hoger, wat in dit geval leidt tot een iets hogere extreme urenneerslag in de gegenereerde reeks voor Bergschenhoek. De overschatting is echter minder groot dan in de reeks die tot nu toe wordt gebruikt (De Bilt + 10%).

De extreme neerslag per 24 uur is in de reeks voor Bergschenhoek iets hoger dan voor De Bilt, maar minder dan op basis van Buishand et al. (2009; 8-14% hoger). Buishand et al. (2009) hebben echter de regionale verschillen bepaald op basis van de periode 1951-2005, terwijl hier een reeks is gemaakt voor een langere periode. Tabel 4.2 laat zien dat over de periode 1909-2009 het verschil in de neerslag die gemiddeld eens per jaar wordt overschreden voor 1 dag tussen De Bilt en Bergschenhoek erg klein is (< -1%); voor de recentere periode 1974-2009 is de parameter wel duidelijk hoger voor Bergschenhoek (14%; over de periode 1951-2005 is de waarde ong 12% hoger zoals blijkt uit Buishand et al., 2009). Het geringe verschil voor de hoeveelheid neerslag die gemiddeld eens per jaar in 24 uur wordt overschreden komt dus waarschijnlijk door de trend in de reeks van Bergschenhoek. Dit betekent dat de gegenereerde reeks voor Bergschenhoek mogelijk wel representatief is voor de afgelopen 100 jaar in Bergschenhoek, maar minder representatief voor het huidige klimaat op die locatie. Ook in de tot nu toe gebruikte reeks (De Bilt + 10%) wordt de extreme neerslag per 24 uur voor het huidige klimaat wat onderschat, doordat voor de periode vanaf januari 1982 geen correctie is toegepast<sup>28</sup>. De onderschatting is wellicht net iets minder dan in de hier gegenereerde reeks op basis van de reeks voor Bergschenhoek.

Voor de meerdaagse extreme neerslag voor 96 uur, komt het verschil tussen De Bilt en de gegenereerde reeks goed overeen met de waarden uit Buishand et al. (2009)<sup>29</sup>. De reeks zoals die tot nu toe wordt gebruikt (De Bilt + 10%) maakt daar eerder een onderschatting<sup>30</sup>, omdat niet is gecorrigeerd voor het verschil tussen AWS en neerslagstation.

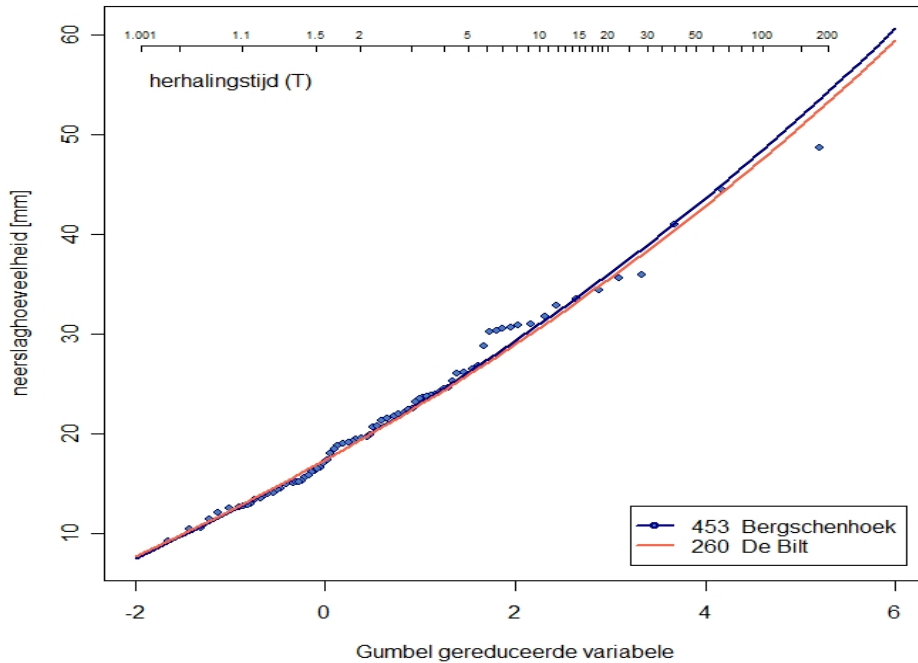
Figuren 5.1. en 5.2 tonen de extreme-waarden-verdeling van de twee-uurlijkse en de 24-uurlijkse neerslag met de bijbehorende herhalingstijden voor de hier gegenereerde tijdreeks voor Bergschenhoek voor de periode 1909-2010 en op basis van de neerslagstatistiek voor De Bilt (<http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/neerslagstatistiek.pdf>). Voor de twee-uurlijkse neerslag zijn de extreme waarden voor Bergschenhoek net iets hoger dan voor De Bilt (Tabel 5.2). Voor de 24-uursneerslag zijn de waarden voor Bergschenhoek inderdaad hoger dan voor De Bilt, maar minder dan op basis van Buishand et al. (2009). Vaak wordt bij het extreme neerslagstatistiek impliciet aangenomen dat de extreme neerslag niet veranderd in de tijd. Voor De Bilt lijkt deze aanname redelijk, maar voor Bergschenhoek geldt deze aanname niet (zie Tabel 4.3).

---

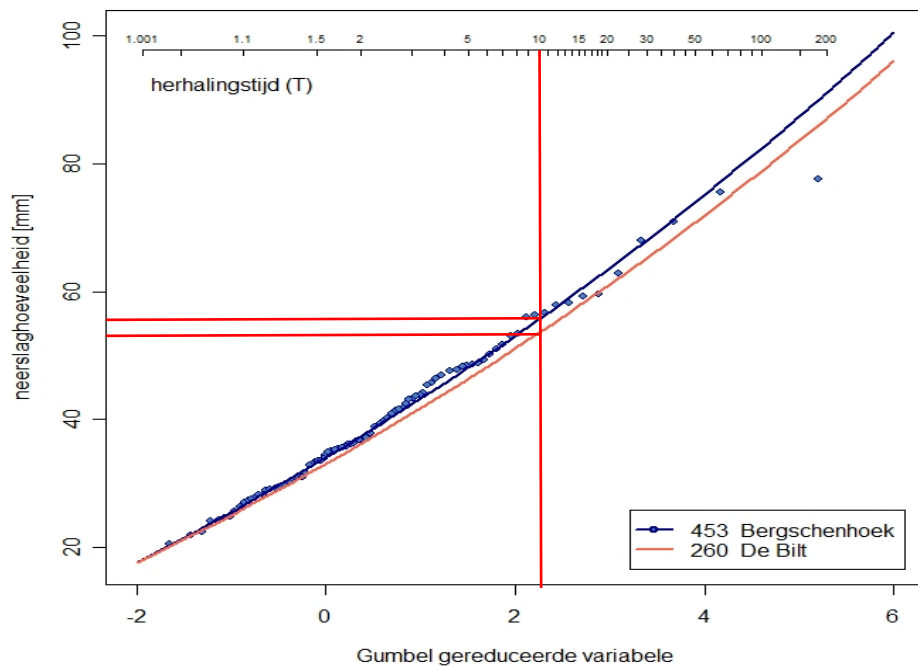
<sup>28</sup> Voor het verschil in neerslag tussen de AWS en het neerslagstation van De Bilt;

<sup>29</sup> Het verschil in GEV-parameter tussen De Bilt en Bergschenhoek in Buishand et al. (2009) van 12% is bepaald op basis van de periode 1951-2005;

<sup>30</sup> Gemiddeld is de fout door niet corrigeren 6% voor De Bilt, maar deze fout kan variëren met de weersomstandigheden. Het is niet zo dat de fout voor lage intensiteiten altijd hoger/lager is dan voor hogere neerslagintensiteiten.



**Figuur 5.1.** Gumbel waarschijnlijkheidsplots voor de jaarmaxima van neerslaghoeveelheden *per twee aansluitende uren* (y-as) voor de gedisaggregeerde reeks van Bergschenhoek voor de periode 1909-2010 en op basis van de neerslagstatistiek van De Bilt (<http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/neerslagstatistiek.pdf>). De horizontale as bovenaan in de figuur geeft de waarschijnlijkheid van overschrijden in jaren.



**Figuur 5.2.** Gumbel waarschijnlijkheidsplots voor de jaarmaxima van neerslaghoeveelheden *per 24 aansluitende uren* (y-as) voor de gedisaggregeerde reeks van Bergschenhoek voor de periode 1909-2010 en op basis van de neerslagstatistiek van De Bilt (<http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/neerslagstatistiek.pdf>). Met de rode lijnen is de neerslaghoeveelheid die hoort bij een overschrijdingskans van eens in de 10 jaar aangegeven: deze is in de figuur voor Bergschenhoek ongeveer 3% hoger dan voor De Bilt. De horizontale as bovenaan in de figuur geeft de waarschijnlijkheid van overschrijden in jaren.

Bij het maken van de statistiek voor de extreme dagneerslag in 2004 (Smits et al., 2004) op basis van de urneerslag in De Bilt, is indertijd gewerkt met een schuivend venster van 24 uur en niet met dagwaarden. De dagsom die gemiddeld eens in de 10 jaar wordt

overschreden is daardoor ook iets hoger dan de dagsom die gemiddeld eens in de 10 jaar wordt overschreden, gebaseerd op dagwaarden (zie bijv. verschillen tussen Tabellen 4.3 en 4.4 voor De Bilt). Bij het bepalen van de regionale verschillen in neerslagextremen (Buishand et al., 2009) heeft men de verschillen tussen regio's bepaald op basis van dagneerslagreeksen. Vervolgens zijn deze regionale verschillen in extreme dagneerslag en meerdaagse neerslag toegepast op de statistiek, die was gebaseerd op de urneerslagreeks van De Bilt.

#### 5.4. Samenvatting vergelijking van de methoden

Hieronder wordt een samenvatting gegeven van de vergelijking tussen de hier uitgewerkte methode (disaggregatie van dagneerslagreeks m.b.v. urneerslagreeks van De Bilt) en de tot nu toe gebruikte methode (De Bilt + 10%):

- De hier uitgewerkte methode geeft een aantal regiospecifieke eigenschappen beter weer, zoals jaargemiddelde neerslag, jaarlijkse gang, extreme urneerslag, meerdaagse extreme dagneerslag, trend in de afgelopen 100 jaar. Dit komt doordat bij deze methode een meetreeks uit de regio zelf wordt gebruikt;
- De disaggregatie m.b.v. de reeks van De Bilt geeft een lichte overschatting van de extreme urneerslag en extreme 2 en 4 uurlijkse neerslag voor het huidige klimaat. De overschatting is echter minder groot dan in de reeks die tot nu toe wordt gebruikt;
- De disaggregatie m.b.v. de reeks van De Bilt geeft een onderschatting van de extreme 24-uursneerslag in het huidige klimaat. Ook in de methode die tot nu toe wordt gebruikt gebeurt dit, maar daar is de onderschatting waarschijnlijk kleiner;
- De disaggregatie m.b.v. de reeks van De Bilt geeft de meerdaagse neerslagextremen in het huidige klimaat goed weer, terwijl de methode die tot nu toe wordt gebruikt deze waarschijnlijk wat onderschat;
- Omdat een meetreeks uit de regio zelf is gebruikt wordt de lengte van droge perioden (> 1 dag) en de variatie daarvan in het jaar ook goed weergegeven<sup>31</sup>. Dat is niet automatisch het geval bij de reeks die tot nu toe wordt gebruikt;
- Een historische periode van 100 jaar met metingen of gedisaggregeerd hoeft niet representatief te zijn voor het huidige klimaat, zeker als er een duidelijke trend zit in de waarnemingen.

---

<sup>31</sup> De methoden zijn ontwikkeld om neerslagextremen goed weer te geven en zijn daarom niet automatisch ook geschikt om het effect van droogte goed te analyseren.

## 6. Conclusies en discussie

### *Vergelijking van de methoden*

De hier uitgewerkte methode geeft verschillende klimaatvariabelen voor de regio beter weer (jaarneerslag, jaarlijkse gang, trend in de afgelopen 100 jaar; meerdaagse extreme neerslag) en/of leidt tot minder overschatting (extreme urneerslag in het huidige klimaat) dan de nu gebruikte methode (De Bilt + 10%). Alleen de 24-uurs extreme neerslag in het huidige klimaat wordt waarschijnlijk meer onderschat dan in de huidige methode.

### *Nadelen van beide methoden*

Nadelen van zowel de hier uitgewerkte methode als de tot nu toe gebruikte methode:

- Beide methoden geven niet goed het huidige klimaat weer, vanwege de aanwezigheid van trends. Dit leidt o.a. tot het onderschatten van de jaargemiddelde neerslag in het huidige klimaat en mogelijk tot het onderschatten van extreme neerslag<sup>32</sup> in het huidige klimaat;
- Reeksen van ongeveer 100 jaar zijn eigenlijk te kort voor het goed bepalen van lange herhalingstijden (100 jaar of meer)<sup>33</sup>, de onzekerheidsmarges zijn dan relatief groot.

Om de bovenstaande punten te overkomen zou het beter zijn een geheel andere methode te gebruiken voor het genereren van lange tijdreeksen op uurbasis. Uit de kwalitatieve vergelijking in Tabel 5.1. komt de 'neerslaggenerator' als meest belovende methode naar voren, maar het kost relatief veel tijd om dit te ontwikkelen.

Met betrekking tot de representativiteit voor het huidige klimaat van de reeks 'De Bilt +10%' en de hier uitgewerkte reeks, zou het interessant zijn om de resultaten van de lange reeksen (ongeveer 100 jaar) te vergelijken met de resultaten van bijvoorbeeld de laatste 30 jaar. Levert dit duidelijke verschillen op in de frequentie van wateroverlast, dan lijkt het zinvol om een andere methode te gebruiken die het huidige klimaat beter weergeeft, bijv. een neerslaggenerator voor urneerslagwaarden.

### *Welke methode in de toekomst gebruiken?*

De hier uitgewerkte methode geeft meer regiospecifieke eigenschappen van neerslag goed weer dan de tot nu toe gebruikte methode. Er is echter geen 1-op-1 relatie tussen neerslagextremen en wateroverlast, en bovendien zijn er veel meer onzekerheden die van belang zijn bij de wateroverlast-opgavebepaling. Een vergelijkende studie tussen de tot nu toe gebruikte reeks en de hier uitgewerkte methode zou kunnen laten zien of de verschillende neerslagreeksen leiden tot verschillende conclusies m.b.t. het optreden van wateroverlast, en of de hier uitgewerkte methode meerwaarde oplevert voor analyses m.b.t. het watermanagement in Zuid-Holland. Het zou interessant zijn daarbij ook tijdreeksen gegenereerd met een neerslaggenerator te betrekken.

De methode van disaggregatie van dagneerslagreeksen m.b.v. de urneerslagreeks van De Bilt is in dit project uitgewerkt voor één station. We verwachten dat de methode voor andere stations vergelijkbare resultaten oplevert, maar dit moet nog wel onderzocht worden.

---

<sup>32</sup> In de reeksen uit Zuid-Holland zit vaker een grotere trend dan in de reeks van De Bilt. Hieruit zou men kunnen afleiden dat de hier uitgewerkte methode minder representatief is voor het huidige klimaat dan de methode die tot nu toe wordt gebruikt. Dit is echter niet terug te zien in de analyses van de extremen in Hoofdstuk 5;

<sup>33</sup> Voor waterveiligheid/overlast werkt men met normen van eens in de 10, 50 en 100 jaar, en daarvoor zijn vooral de neerslagextremen van belang.



Naast een goede weergave van de neerslagextremen in de tijd binnen de regio is een goede weergave van de omvang van de buien ook van belang voor het inschatten van de kans op wateroverlast. De hier gepresenteerde methoden besteden hier geen aandacht aan.

## Referenties

- Bakker., A. & J. Bessembinder, 2012. Time series transformation tool: description of the program to generate time series consistent with the KNMI'06 climate scenarios. KNMI, WR-326.
- Beersma, J.J., 2002. Rainfall generator for the Rhine basin: Description of 1000-year simulations. KNMI-publication 186-V, KNMI, De Bilt.
- Bessembinder, J. 2012. Methode voor het genereren van urneerslagreeksen in een toekomstig klimaat. KNMI technisch rapport TR-320. De Bilt.
- Braak, C. 1945. Invloed van den wind op regenwaarnemingen. Mededeelingen en Verhandelingen 48. KNMI.
- Buishand, A., Th. Brandsma, G. de Martino & H. Spreeuw, 2011. Ruimtelijke verdeling van neerslag-trends in Nederland in de afgelopen 100 jaar. H2O.
- Buishand, T.A., R. Jilderda & J. Wijngaard, 2010. Regionale verschillen in extreme neerslag H2O, 43, 1, 29-31
- Buishand, T.A., R. Jilderda & J.B. Wijngaard, 2009. Regionale verschillen in extreme neerslag. Scientific Report: WR-2009-01, KNMI, De Bilt, pp. 47.
- Buishand, T.A., J.B.M. van Acker & H. van Luijtelaar, 1991. Analyse van kwartiersommen van de neerslag. H<sub>2</sub>O, 24, 294-299.
- Buishand T.A. & C.A. Velds, 1980. Neerslag en verdamping. Klimaat van Nederland 1. KNMI, 206 pp.
- Buishand, T.A. & J.B. Wijngaard, 2008. Statistiek van extreme neerslag voor het stedelijk waterbeheer. H2O, 41, 8, 28-30.
- Hoogvliet et al., 2011. Brede, gebiedsspecifieke verkenning van effecten van klimaatverandering, in samenhang met toekomstscenario's en trendmatige ontwikkelingen. Managementsamenvatting. KvK rapportnummer: KvK 030B/2010.
- Jones, Ph., C. Harpham, C. Kilsby, V. Glenis & A. Burton, 2009. Projections of future daily climate for the UK from the Weather Generator. UK Climate Projections.
- KNMI, 2008. De toestand van het klimaat in Nederland 2008. KNMI brochure, De Bilt, 47 pp.
- Leander, R. & T.A. Buishand, 2009. A daily weather generator based on a two-stage resampling algorithm J. Hydrol., 374, 185-195, [doi:10.1016/j.jhydrol.2009.06.010](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.010).
- Lenderink, G. & E. van Meijgaard, 2010. Linking increases in hourly precipitation extremes to atmospheric temperature and moisture changes. Environmental Research Letters, 2, 5, 025208, [doi:10.1088/1748-9326/5/2/025208](https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/2/025208).
- Lenderink, G., E. van Meijgaard & F. Selten, 2009. Intense coastal rainfall in the Netherlands in response to high sea surface temperatures: analysis of the event of August 2006 from the perspective of a changing climate. Clim. Dyn., 32, 19-33, [doi:10.1007/s00382-008-0366-x](https://doi.org/10.1007/s00382-008-0366-x).
- 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](https://doi.org/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
- Nieuwkerk, E. van, R. Trouwborst, S.J. Junier, E. Mostert, M.M. Rutten, J. Nederlof, M. Maarleveld, J. Geerse, 2010. Klimaatverandering en het Rotterdamse stedelijk watersysteem: Verkennende studie en agenda voor vervolg. KvK rapportnummer KvK 020/2010.
- Noordhoff/KNMI, 2011. De Bosatlas van het klimaat. Noordhoff uitgevers, Groningen en KNMI, De Bilt. 112 p.
- Overeem, A., 2009. Climatology of extreme rainfall from rain gauges and weather radar. Proefschrift: Wageningen University, Wageningen, 144p.

- Overeem, A., T.A. Buishand en I. Holleman, 2009. Extreme rainfall analysis and estimation of depth-duration-frequency curves using weather radar. *Water Resour. Res.*, 2009, 45, W10424, [doi:10.1029/2009WR007869](https://doi.org/10.1029/2009WR007869)
- Overeem, A., T.A. Buishand en I. Holleman, 2008. Rainfall depth-duration-frequency curves and their uncertainties. *J. Hydrol.*, 348, 1, 124-134, [doi:10.1016/j.jhydrol.2007.09.044](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.09.044).
- Romero, Y.L., J. Bessembinder, N.C. van de Giesen, F.H.M. van de Ven, 2011. A Relation between Extreme Daily Precipitation and Extreme Short Term Precipitation. Climatic change, on line published 14 December 2010.
- Smits, I., J. Wijgaard, R. Versteeg & M. Kok, 2004. Statistiek van extreme neerslag in Nederland. Rapport nr. 26. STOWA.
- Wójcik, R. & T.A. Buishand, 2003. Simulation of 6-hourly rainfall and temperature by two resampling schemes. *J. Hydrol.*, 273, 69-80.
- Wójcik, R. & T.A. Buishand, 2001. Rainfall generator for the Meuse basin: Simulation of 6-hourly rainfall and temperature for the Ourthe catchment. KNMI-publicatie: -196-I, KNMI, De Bilt.

## Bijlage 1. Uitgebreidere beschrijving van de gebruikte methode

In hoofdlijnen komt de disaggregatie van een dagneerslagreeks m.b.v. de uurneerslagreeks van De Bilt overeen met het verdelen van een dagelijkse hoeveelheid (hier van Bergschenhoek) naar evenredigheid van de uurlijkse hoeveelheden over hetzelfde tijdvak in De Bilt. In Bergschenhoek vond de eerste aftapping op 1 december 1908 plaats, waardoor het mogelijk is om een reeks van uurwaarden vanaf 1909 samen te stellen.

In het meetnet van de KNMI handregenmeters en dus ook in Bergschenhoek is het gebruikelijk om iedere ochtend de regenmeter af te tappen. Sinds 1951 vindt de aftapping om 8.00 uur UTC (tijd volgens de meridiaan van Greenwich) plaats. Voor 1951 vond de aftapping om 8.00 uur NT (tijd volgens de meridiaan op 5° oosterlengte) plaats (8.00 uur NT = 7.40 uur UTC). De afgetapte hoeveelheid heeft dus betrekking op de tijd tussen 8.00 uur op de vorige dag en 8.00 uur (NT of UTC) op de dag van aftapping. Het relatieve uurlijks verloop van de neerslag in De Bilt in ditzelfde tijdvak is bepalend voor het opdelen van de neerslag in uurlijkse hoeveelheden. Dit betekent dat voor iedere aftapping de uurlijkse hoeveelheden vanaf 8.00 uur op de vorige dag tot 8.00 uur (NT of UTC) op de dag van aftapping betrokken moeten worden in de berekening. Vanaf 1951 worden ook voor de uurlijkse hoeveelheden de tijd t.o.v. UTC genoteerd en voor 1951 noteerde men de tijd t.o.v. NT, zodat de registratie van de uurlijkse hoeveelheden gedurende het gehele tijdvak van de berekening synchroon verloopt met de dagelijkse aftappingen.

Aangezien neerslaghoeveelheden meestal worden afgerond op tienden van millimeters, kan direct toepassen van een uit de uurlijkse hoeveelheden bepaalde evenredigheidsfactor leiden tot afrondingsverschillen. Deze komen tot uiting door de verkregen uurlijkse hoeveelheden uit het tijdvak van de aftapping op te tellen en deze som te vergelijken met de afgetapte daghoeveelheid. Om afrondingsverschillen te vermijden is een methode gevolgd, die in 1991 is toegepast om uit pluviograafstroken verkregen kwartierhoeveelheden in overeenstemming te brengen met eerder gemeten uurlijkse hoeveelheden (Buishand et al., 1991). In de toegepaste berekening wordt voor iedere aftapping in Bergschenhoek uit de uurlijkse hoeveelheden in De Bilt een reeks doorlopende sommen samengesteld, zodat voor ieder uur de gevallen hoeveelheid neerslag vanaf het begin van het tijdvak van de aftapping in De Bilt bekend is. Het laatste getal in de reeks komt zodoende overeen met de totale hoeveelheid neerslag te De Bilt ten tijde van de aftapping te Bergschenhoek. Door de afgetapte hoeveelheid te Bergschenhoek te delen door het laatste getal in de reeks van uurlijks doorlopende sommen wordt een evenredigheidsfactor verkregen. De uurlijks doorlopende sommen worden vervolgens met deze evenredigheidsfactor vermenigvuldigd en afgerond op tienden millimeters. Het eerste getal in de verkregen reeks is de uurlijkse hoeveelheid voor Bergschenhoek van het eerste uur sinds het begin van het tijdvak van de aftapping. Ieder volgende uurlijkse hoeveelheid wordt verkregen uit het verschil met de hoeveelheid van het voorgaande uur. Omdat uiteindelijk verhoudingen bepalend zijn voor het verkrijgen van de uurlijkse hoeveelheden, maakt het niet uit of de uurlijkse hoeveelheden verkregen van de elektrische regenmeter gecorrigeerd zijn naar de handregenmeter of niet.

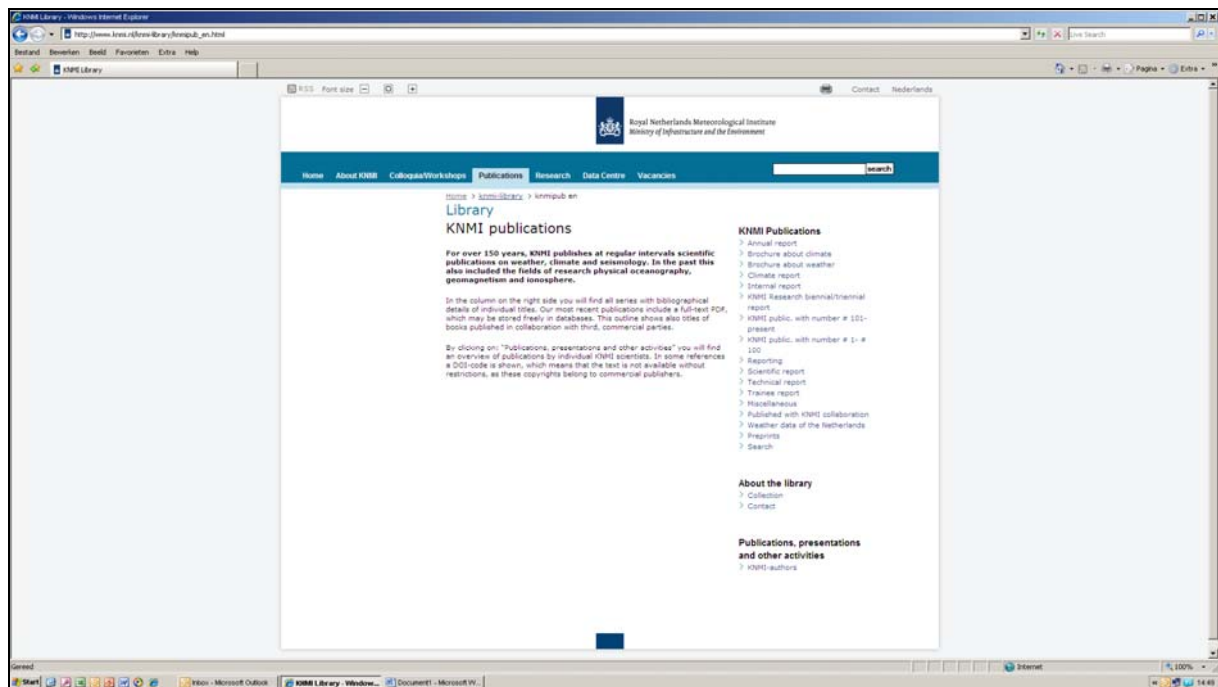
Een deel van de reeks dagelijkse hoeveelheden te Bergschenhoek zijn gelijk aan nul. Voor deze hoeveelheden zijn ook de bijbehorende uurlijkse hoeveelheden op nul gesteld. In het geval er in Bergschenhoek neerslag is gevallen, terwijl tijdens hetzelfde tijdvak in De Bilt geen neerslag gevallen is, moet een iets andere methode worden toegepast. Er is in dit geval geen criterium aanwezig voor de keuze van uren, waaraan de neerslag kan worden toegeschreven. In dit geval wordt uitgeweken naar een analoge dag.

Een analoge dag wordt gevonden door de afgetapte hoeveelheid neerslag toe te schrijven aan een klasse in het bereik van 0,1 – 1,0 mm, 1,1 – 10,0 mm, 10,1 – 20,0 mm, 20,1 – 30,0 mm, ... Binnen de aldus bepaalde klasse wordt een tijdvak van 8.00 tot 8.00 (UTC of NT) gezocht, waarvoor de som van uurlijkse hoeveelheden te De Bilt in dezelfde klasse valt. Door voor iedere keer, dat een analoge dag nodig is en de afgetapte hoeveelheid in eenzelfde klasse valt, een ander tijdvak te zoeken (historisch gezien het volgende tijdvak dat in dezelfde klasse valt), wordt voorkomen, dat voor hoeveelheden in vergelijkbare klassen steeds dezelfde uurlijkse verdeling wordt aangehouden. Voor de opdeling van de afgetapte hoeveelheid wordt vervolgens weer de bovenbeschreven procedure gevolgd.



**A complete list of all KNMI -publications (1854 – present) can be found on our website**

[www.knmi.nl/knmi-library/knmipub\\_en.html](http://www.knmi.nl/knmi-library/knmipub_en.html)



**The most recent reports are available as a PDF on this site.**