



**Veranderingen in
neerslagkarakteristieken
in Nederland
gedurende de periode 1901-2001**

A.T.H. Bruin

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Technical Report = Technisch Rapport; TR-246

De Bilt, 2002

PO Box 201, 3730 AE De Bilt
The Netherlands
Wilhelminalaan 10
<http://www.knmi.nl>
Telephone +31 30 22 06 911
Telefax +31 30 22 10 407

Author: A.T.H. Bruin

UDC: 551.577-23 (1/9)
551.577-35
551.583.1
(492)

ISSN: 0169-1708

ISBN: 90-369-2215-1



Verandering in neerslagkarakteristieken in Nederland gedurende de periode 1901-2001

A.T.H. Bruin

Klimatologische Dienst KNMI

Begeleiders:
Albert Klein Tank
Ilja Smits

De Bilt, augustus 2002

Inhoudsopgave

SAMENVATTING	4
ABSTRACT	5
1. INLEIDING	6
2. DATABESCHRIJVING	7
2.1 GEBRUIKTE DATA	7
2.1.1 Automatische stationsdata.....	7
2.1.2 Waarnemingen op neerslagstations.....	8
2.2 VERSCHILLEN IN NEERSLAGHOEVEELHEDEN GEMETEN OP NEERSLAG- EN AUTOMATISCHE STATIONS	9
2.2.1 Wijze van neerslagmeting.....	9
2.2.2 Jaarverschillen in de neerslaghoeveelheid.....	9
2.2.3 Seizoensverschillen in de neerslaghoeveelheid.....	11
3. METHODEN EN DEFINITIE VAN EEN NEERSLAGDAG	13
3.1 METHODEN	13
3.2 DEFINITIE VAN EEN NEERSLAGDAG.....	13
4. VERANDERINGEN IN DE NEERSLAG IN NEDERLAND	15
4.1 VERANDERINGEN IN DE NEERSLAGVERDELING IN NEDERLAND.....	15
4.2 VERANDERINGEN IN DE JAARLIJKSE NEERSLAGHOEVEELHEDEN	16
4.2.1 Landelijk gemiddelde	16
4.2.1.1 Jaar	16
4.2.1.2 Zomer en winter	18
4.2.2 Per station	18
4.2.2.1 Jaar	18
4.2.2.2 Winter.....	19
4.2.2.3 Zomer	20
5. VERANDERINGEN IN HET AANTAL DAGEN DAT BEPAALDE DREMPELWAARDES OVERSCHREDEDEN WORDEN	21
5.1 LANDELIJK GEMIDDELD	21
5.1.1 Jaar	21
5.1.2 Zomer en winter	23
5.2 PER STATION	23
5.2.1 Jaar	23
5.2.2 Zomer en winter	24
6. VERANDERING IN HOEVEELHEDEN OP EEN NEERSLAGDAG	28
6.1 LANDELIJK GEMIDDELD	28
6.1.1 Jaar.....	28
6.1.2 Zomer	29
6.1.3 Winter.....	30
6.2 PER STATION	31
6.2.1 Jaar	31
6.2.2 Zomer	33
6.2.3 Winter.....	34

7. CONCLUSIES	36
LITERATUUR	37
APPENDIX A JAARLIJKSE NEERSLAGHOEVEELHEID	38
APPENDIX B VERANDERING VAN TREND BIJ TOENEMENDE DREMPELWAARDEN	39

Samenvatting

In dit rapport wordt onderzocht of de karakteristiek van de neerslag in Nederland is veranderd. Hiervoor is gebruik gemaakt van de waarnemingenreeks van vijf automatische stations in de periode 1957 tot en met 2001 en van de reeks van dertien neerslagstations in de periode 1901-2001. Deze neerslagstations zijn stations waar door particulieren éénmaal per dag neerslag wordt gemeten met behulp van door het KNMI beschikbaar gestelde neerslagmeters. Deze particulieren bellen de gegevens door naar het KNMI, die de gegevens controleert en waar nodig corrigeert. Uit de waarnemingen van de neerslagstations is ook een landelijk gemiddelde reeks samengesteld. Missende data in de waarnemingen van de neerslagstations zijn aangevuld met data van dicht in de buurt liggende stations en data waargenomen voor ongeveer 1945 is gecorrigeerd voor de verlaging van de meethoogte van 1,50 naar 0,40 m die op de meeste stations in dat jaar heeft plaatsgevonden. De waarnemingen van de automatische stations zijn tot en met 1981 goed te vergelijken met de waarnemingen van de neerslagstations omdat deze tot en met dat jaar gecorrigeerd zijn. Na 1981 is dit voor de meeste stations (met uitzondering van Beek tot 1990) niet meer gedaan, wat tot gevolg heeft dat er een breuk is opgetreden in de neerslagwaarnemingen van de automatische stations. Hierdoor is het ook gevaarlijk om trends (tussen 1957 en 2001) in de neerslagkarakteristieken van automatische stations te bepalen en dat is dan ook niet gedaan.

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van lineaire regressie om trends te bepalen in het verloop van een aantal onderzoekstermen (neerslaghoeveelheden per dag en per jaar of seizoen en het aantal dagen met (zware) neerslag) gedurende de tijd. Hierbij is onderzocht of deze trends ook statistisch significant zijn.

Gedurende de tijd zijn er verschillende onderzoeken geweest die een toename in de jaarlijkse neerslaghoeveelheid in Nederland hebben aangetoond. Ook in deze studie kan voor het landelijk gemiddelde en voor de meeste stations apart een toename in de neerslaghoeveelheid gevonden worden tussen 1901 en 2001. Deze toename wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het broeikas-effect of door veranderingen in de circulatie, zoals bijvoorbeeld uitgedrukt in de NAO-index. De oorzaken hiervan zijn niet onderzocht. Op lokale schaal zou ook een toename van het stadseffect een rol hebben kunnen gespeeld. Als er een onderscheid wordt gemaakt tussen de neerslag in de zomer en de winter, dan blijkt de toename van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid vooral veroorzaakt te zijn door een toename van de neerslag in de winter. In de zomer is de neerslag minder duidelijk veranderd.

Deze toename van de neerslaghoeveelheid is landelijk gemiddeld en voor de meeste individuele stations niet gepaard gegaan met een toename van het aantal neerslagdagen. In dit onderzoek is een neerslagdag gedefinieerd als een dag waarop er 0,3 mm of meer neerslag is gevallen.

Wel wordt er landelijk gemiddeld een toename gevonden van het aantal dagen met grotere neerslaghoeveelheden gedurende het jaar en in de winter. Deze toename is sterker naarmate er gekeken wordt naar hogere neerslaghoeveelheden. Dit stijgende verloop van de trend in het voorkomen van hogere neerslaghoeveelheden bestaat niet op alle individuele stations; tussen de stations kunnen grote verschillen gevonden worden.

De toename van de neerslag wordt ook zichtbaar in de verandering in de gemiddelde hoeveelheid neerslag die op een neerslagdag valt. Kijken we alleen naar de hoeveelheid op dagen met meer dan 15 mm neerslag dan is er echter geen significante verandering.

De belangrijkste conclusie is dat de toename in de jaarlijkse neerslaghoeveelheid vooral veroorzaakt wordt door het vaker voorkomen van dagen met veel neerslag. Aangezien het aantal neerslagdagen niet is toegenomen vindt er dus een verschuiving plaats naar dagen met een hogere neerslaghoeveelheid. Wat ook wordt gevonden is een toename van de neerslaghoeveelheid op een neerslagdag.

Abstract

In this report a study will be presented on changes in the precipitation characteristics in The Netherlands. Observations of five automatic weather stations between 1957 and 2001 and the observations of thirteen precipitation stations in the period 1901-2001 have been used. These precipitation stations are stations where a private person measures the precipitation amount once a day with a rain gauge made available by the KNMI. These private persons call in their measurements to the KNMI, which checks the observations and corrects them when needed.

The average of these thirteen precipitation stations have been considered as a nationwide average. Missing data in the observations made by precipitation stations have been filled by using data from stations located near by. Data before approximately 1945 have been corrected for the lowering of the measuring height of precipitation from 1,50 to 0,40 metres at the stations.

The observations of the automatic stations are comparable to the precipitation stations until 1981 because of an applied correction. After this year (with the exception of Beek until 1990) this correction has not been applied anymore on the data. Therefore it is dangerous to calculate trends (between 1957 and 2001) in the precipitation characteristics measured by automatic stations and therefore this has not been done.

In this research linear regression techniques are used to determine trends in the course of certain characteristics (precipitation amounts per day and per year or season and the number of days with (heavy) precipitation) during the years. Also the significance of these trends have been investigated. During the years, several studies have been performed which have found an increase in the annual precipitation amount in The Netherlands. Also in this study an increase has been found in the nationwide and individual station annual precipitation amounts between 1901 and 2001. This increase is probably caused by the greenhouse effect and changes in the global circulation, which can be expressed in the NAO-index. The causes of these changes has not been investigated. On local scale also an increase in the city effect could have played a role in the increase of the precipitation amount. When a distinction is made between precipitation which has fallen in the summer and winter, the increase in the annual precipitation amount is mainly caused by an increase in the precipitation amount during winter. During summer the amounts have changed less clearly.

This increase in precipitation amount has not been accompanied by an increase in the amount of precipitation days on most of the individual stations and nationwide. A precipitation day has been defined in this study as a day on which an amount of 0,3 mm or more precipitation is measured. However, nationwide an increase in the number of days with a large amount of precipitation has been found during the year and in winter. This increase is stronger with higher precipitation amounts. This increase in trend in the occurrence of days with higher precipitation amounts cannot be found on every individual station; large differences can be found.

The increase in the yearly precipitation amount can also be found in the average amount of rain falling on a precipitation day. The amount of precipitation which falls on a day with a total amount of more than 15 mm has not changed significantly during this period.

The most important conclusion is that the increase in the yearly precipitation amount seems to be caused by an increase in the number of days with a large amount of precipitation. Because the total number of precipitation days has not been changed, a shift must have occurred to days with a higher precipitation amount. This can also be found in the increase of the precipitation amount on a precipitation day.

1. Inleiding

In het laatste IPCC rapport, gepubliceerd in 2001, wordt gemeld dat de neerslag op aarde gemiddeld met 2% is toegenomen sinds het begin van de 20^e eeuw. Deze toename van de neerslag is echter niet uniform geweest gedurende de tijd en in de ruimte. Tussen 30° en 85°NB is de zonaal gemiddelde jaarlijkse neerslag in de 20^e eeuw variërend van 7 tot en met 12% toegenomen, terwijl deze toename tussen 0° en 55° ZB slechts 2% is. In de subtropen op het noordelijk halfrond is zelfs een afname te zien in de zonaal gemiddelde jaarlijkse neerslag (IPCC, 2001).

In Nederland is onderzoek gedaan naar de verandering in totale neerslaghoeveelheden, zowel landelijk gemiddeld als voor een bepaalde lokatie, gedurende de tijd door onder andere van Boxel en van Cammeraat (1999a,b) en Können (1999). Können (1999) heeft ook de verandering van de maximale hoeveelheid neerslag die op een dag valt gedurende de tijd onderzocht. Naar veranderingen in andere (extreme) neerslagkarakteristieken is in het ECA-rapport (Klein Tank et al, 2002) onderzoek gedaan.

Dit rapport is een uitbreiding op het rapport van Können (1999). Waar in dat rapport alleen gekeken is naar landelijk gemiddelde neerslagkarakteristieken, zal in dit rapport ook naar de stations apart gekeken worden, daarnaast worden ook naar een aantal andere neerslagkarakteristieken gekeken. Dit rapport is het resultaat van een vooronderzoek naar neerslagkarakteristieken dat gedaan is aan de vakgroep meteorologie en luchtkwaliteit van Wageningen Universiteit waarin gebruik is gemaakt van neerslaggegevens van automatische stations en een vervolgonderzoek dat gedaan is op het KNMI waarin gebruik gemaakt is van neerslagwaarnemingen op neerslagstations.

In dit rapport zal naast de al eerder onderzochte veranderingen in de neerslaghoeveelheden ook onderzocht worden of er veranderingen gevonden kunnen worden in het aantal dagen dat bepaalde drempelwaarden in de dagelijkse neerslaghoeveelheid overschreden worden. Hierbij zullen ook hoge drempelwaarden worden gekozen om inzicht te krijgen in de verandering van het aantal dagen met veel neerslag.

Tevens zal onderzocht worden of de hoeveelheid neerslag op een neerslagdag veranderd is gedurende de tijd en of deze verandering ook teruggevonden kan worden op dagen met veel neerslag.

Aangezien de neerslag in de zomer en winter door verschillende processen wordt veroorzaakt (dit kan zelfs het geval zijn van dag tot dag) zal in dit onderzoek ook een onderscheid gemaakt worden tussen deze seizoenen. Ook zal de ruimtelijke verdeling van de verschillende neerslagkarakteristieken onderzocht worden.

In hoofdstuk 2 zal een overzicht gegeven worden van de stations die gebruikt zijn in deze studie, van de correcties die op de data van deze stations zijn toegepast, en zal een vergelijking worden gemaakt tussen de waarnemingen op de automatische stations en de neerslagstations. In hoofdstuk 3 zal een overzicht worden gegeven van de methoden die gebruikt zijn in deze studie en zal een definitie worden gegeven van de neerslagdag, zoals die in deze studie gebruikt is. In hoofdstuk 4 zal gekeken worden naar de veranderingen die er zijn opgetreden in de neerslaghoeveelheden in het land. In hoofdstuk 5 zal naast de verandering in het aantal neerslagdagen ook gekeken worden of er veranderingen kunnen worden gevonden in het aantal overschrijdingen van een hogere neerslagdrempelwaarden. Hoofdstuk 6 zal vervolgens de verandering in de hoeveelheid neerslag op een neerslagdag behandelen en de verandering in de hoeveelheid neerslag op een dag met een extreme neerslaghoeveelheid. Tenslotte kunnen in hoofdstuk 7 de conclusies gevonden worden.

2. Databeschrijving

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van 2 verschillende databronnen. In dit hoofdstuk zal een overzicht worden gegeven van de gebruikte data (2.1) en ook zal onderzocht worden of de data uit de verschillende databronnen overeenkomen (2.2)

2.1 Gebruikte data

2.1.1 Automatische stationsdata

Zoals gezegd wordt in deze studie gebruik gemaakt van verschillende databronnen. Allereerst is gebruik gemaakt van de neerslagdata van een aantal automatische stations, zoals die beschikbaar zijn op de internetsite van het KNMI [1]. Deze data is vooral gebruikt in het vooronderzoek. Op deze site staan voor 6 stations (De Bilt, De Kooy, Eelde, Maastricht, Twenthe en Vlissingen) tussen 1906 (voor De Bilt vanaf 1901 en voor Twenthe vanaf 1951) tot heden verschillende gemeten meteorologische data opgeslagen in datasets van 10 jaar. In deze studie is gebruik gemaakt van de data tussen 1957 en 2001 aangezien voor deze periode voor vijf van de zes stations de neerslaghoeveelheid en -duur bekend zijn. Tot en met 1956 is dit niet het geval en is de neerslagduur alleen bekend voor De Bilt. Een uitzondering vormt station Twenthe waar de neerslagduur en -hoeveelheid beschikbaar zijn vanaf 1 juni 1974, dit station is daarom niet gebruikt in deze studie. De locaties van de verschillende stations kan gevonden worden in figuur 2.1 waar de locaties van de automatische stations aangegeven zijn met een plusje.



Figuur 2.1 Stations gebruikt in deze studie. Automatische stations zijn aangegeven met '+' en neerslagstations met een '•'. Voor de bijbehorende stationsnummers zie tabel 2.2.

Aangezien een deel van het vooronderzoek is uitgevoerd in 2001, was de dataset die tijdens dat deel van het onderzoek gebruikt is niet compleet voor dat jaar. Daarom is in dit gedeelte van het onderzoek het jaar 2001 niet gebruikt.

In een later stadium is onderzocht of de neerslagdata van de automatische stations en de metingen van neerslagstations (een andere databron) overeenkomen. Ten tijde van dat deel van het onderzoek was het jaar 2001 wel compleet beschikbaar en is dat jaar wel gebruikt.

Op de data van de automatische stations zijn in dit onderzoek geen verdere correcties uitgevoerd.

2.1.2 Waarnemingen op neerslagstations

Ten tijde van het onderzoek op het KNMI is verder gebruik gemaakt van dagelijkse waarnemingen op de neerslagstations. De stations en data die hiervoor zijn gebruikt zijn dezelfde als die gebruikt zijn in Können (1999). In dat rapport is voor deze stations gekozen vanwege hun verspreide ligging over het land en de kwaliteit van de waarnemingen. Hierdoor kan ervan worden uitgegaan dat variaties in de reeksen veroorzaakt zijn door het klimaat en niet door andere factoren (bijvoorbeeld stationsverplaatsingen).

De verschillende stations en de exacte locaties kunnen gevonden worden in figuur 2.1, waarin de lokaties van de neerslagstations aangeduid zijn met een bolletje.

Van deze stations zijn neerslagdata gebruikt tussen 1901 en 2001. Uitzonderingen vormen station De Bilt, waarvan de data pas vanaf 1906 beschikbaar zijn en station Axel waarvan de data beschikbaar zijn vanaf 1905.

De neerslagwaarnemingen op station Den Helder zijn gestopt na 31 juli 1972, daarom zijn vanaf 1 januari 1972 de handwaarnemingen op station De Kooy gebruikt. Ook de neerslagwaarnemingen in Axel zijn gestopt na 31 december 1995, daarom is vanaf 1 januari 1996 gebruik gemaakt van de neerslagwaarnemingen in Westdorpe. Hoewel er dus in deze beide gevallen eigenlijk sprake is van waarnemingen op twee verschillende stations, worden deze waarnemingen in dit onderzoek gezien als één reeks, naar voorbeeld van Können (1999, pers. comm. Brandsma, KNMI)

Ook komen er in de reeksen van een aantal neerslagstations perioden voor waarin de neerslagdata niet gemeten is, of in ieder geval niet beschikbaar is. Deze perioden zijn aangevuld met data afkomstig van naburige stations. In tabel 2.1 staat voor de betreffende stations aangegeven gedurende welke perioden er data mist in de database en van welk vervangende station er data is toegevoegd.

Tabel 2.1 Overzicht van periode van missende data op de neerslagstations en overzicht van de vervangende stations

Station	Periode missende data	Vervangende station
Ter Apel (6144)	1-8-1955 t/m 31-8-1955	Klazinaveen (6349)
Heerde (6328)	1-4-1952 t/m 17-4-1952	Wapenveld (6329)
De Bilt (6550)	1-1-1906	Putten (6542)
De Bilt (6550)	1-4-1945 t/m 1-5-1945	Zegveld (6470)
Kerkwerpe (6737)	1-2-1953 t/m 31-3-1953	St. Annaland (6759)
	1-4-1953 t/m 28-2-1954	Noordgouwe (6743)
Roermond (6961)	1-3-1971 t/m 31-3-1971	Reuver (6977)
	1-11-1971 t/m 30-11-1971	Reuver (6977)

Naast deze missende data heeft er zich rond 1946 een verlaging voorgedaan in de meethoogte van de neerslag van 1,50 naar 0,40 m.

Op beide hoogten worden er fouten gemaakt in de meting van de neerslaghoeveelheid. Deze meetfout wordt voornamelijk veroorzaakt door de wind. Aangezien de windsnelheid verschillend is op beide hoogten is de meetfout die gemaakt wordt op de beide hoogten ook verschillend. Dit heeft tot gevolg dat de waarnemingen op de neerslagstations van voor de datum van verlaging gecorrigeerd moeten worden voor deze verandering.

In Buishand en Velds (1980) wordt een overzicht gegeven van de omrekeningsfactor die gebruikt moet worden om de neerslag gemeten op 1,50m om te rekenen naar de hoeveelheid neerslag op grondniveau. Het is gebleken dat de correctie naar een neerslagmeethoogte van 40 cm ongeveer de helft hiervan is (Buishand, 1996). In tabel 2.2 staat daarom per station aangegeven op welke datum de verlaging van de neerslagwaarneming is ingegaan en welke correctiefactor er toegepast moet worden op de neerslagwaarnemingen van voor deze datum.

Naast deze 'algemene' correctiefactor is er per seizoen nog een correctiefactor geïntroduceerd vanwege het verschil in windsnelheid in de verschillende seizoenen (tabel 2.3). In de herfst en winter is de windsnelheid in het algemeen hoger dan in de lente en zomer. Dit heeft tot gevolg dat de

correctiefactor in de herfst en winter ook hoger zijn. Deze correctie is afgeleid uit tabel 3.1 van Buishand en Velds (1980) (pers. comm. Brandsma).

Naast de verlaging van de neerslag meethoogte hebben zich op deze stations ook andere veranderingen voorgedaan, zoals stationsverplaatsingen. Voor een overzicht van deze veranderingen op de stations wordt verwezen naar Buishand en Velds (1980). Na 1980 hebben zich geen grote veranderingen meer voorgedaan in de stationslocaties.

Tabel 2.2 Overzicht van moment van verlagen van de neerslagwaarneming en de bijbehorende correctiefactoren

Station	Datum verlaging	Correctiefactor
West Terschelling (6011)	1-12-1946	1.025
Den Helder / De Kooy (6025)	1-2-1946	1.045
Groningen (6139)	1-1-1946	1.025
Ter Apel (6144)	1-1-1946	1.025
Hoorn NH (6222)	1-11-1946	1.030
Heerde (6328)	1-1-1946	1.015
Hoofddorp (6438)	1-3-1947	1.025
De Bilt (6550)	1-1-1946	DJF en JJA: 1.010; MAM en SON: 1.025
Winterswijk (6666)	1-1-1946	1.020
Kerkwerpe (6737)	1-7-1946	1.060
Axel / Westdorpe (6770)	1-3-1951	1.020
Oudenbosch (6828)	1-10-1945	1.020
Roermond (6961)	1-6-1946	1.015

Tabel 2.3 Seizoenscorrecties behorende bij de jaarlijkse correctiefactoren (pers. comm. Brandsma)

DJF	1.37
MAM	0.79
JJA	0.88
SON	0.96

2.2 Verschillen in neerslaghoeveelheden gemeten op neerslag- en automatische stations

In deze paragraaf zal onderzocht gaan worden of er verschillen gevonden kunnen worden tussen de neerslagmetingen die gedaan zijn op de neerslagstations en de automatische stations. Allereerst zal een uitleg worden gegeven van de verschillende methoden die gebruikt zijn om de neerslag te meten gedurende de tijd (2.2.1) en daarna zal gekeken worden naar het verschil in neerslaghoeveelheid op de neerslag- en de automatische stations (2.2.2).

2.2.1 Wijze van neerslagmeting

Gedurende de tijd hebben zich verschillende veranderingen voorgedaan in de methode hoe neerslag gemeten is. Hierbij moet gedacht worden bij de neerslagstations aan andere neerslagmeters, andere meethoogten en dergelijke. Ook bij de automatische waarnemingen kunnen deze veranderingen gevonden worden. Hierbij kan gedacht worden aan de verandering van pluviografen naar regenmeters die op afstand afgelezen kunnen worden. In Buishand en Velds (1980) staan de bijzonderheden van de metingen voor elke methode.

2.2.2 Jaarverschillen in de neerslaghoeveelheid

In deze paragraaf zal onderzocht worden hoe groot de verschillen zijn tussen de hoeveelheden neerslag gemeten op de automatische stations en de neerslagstations. Om dit te kunnen doen zijn

neerslagstations gezocht die in de buurt van de automatische stations liggen. In tabel 2.4 staat een overzicht gegeven van de stations die met elkaar vergeleken zijn.

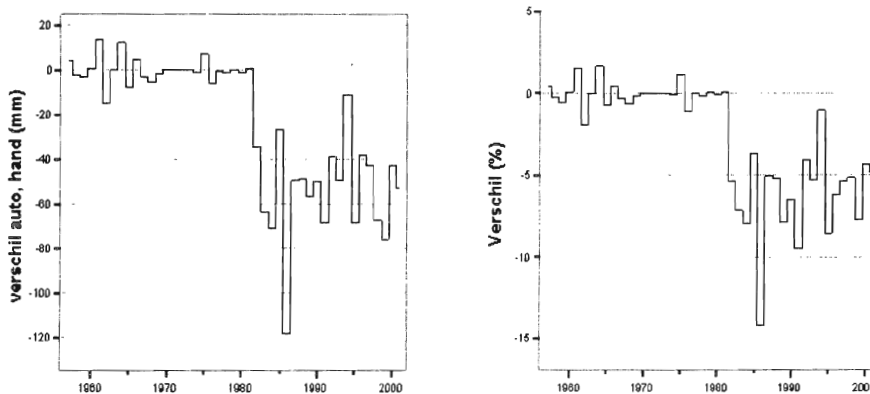
Door de jaarlijkse neerslag gemeten op de automatische stations af te trekken van de jaarlijkse neerslag gemeten op de neerslagstations kan inzicht worden verkregen in de mate van overeenkomst tussen deze twee meetmethoden. Deze vergelijking is echter pas mogelijk na 1981

Tabel 2.4 Overzicht van automatische stations en neerslagstations waarmee de neerslagwaarnemingen vergeleken zijn

Automatisch station	Neerslagstation
De Kooy (235)	Den Helder (009) / De Kooy (025)
Eelde (280)	Groningen (139)
De Bilt (260)	De Bilt (550)
Vlissingen (310)	Vlissingen (733)
Beek (380)	Geverik (973)

omdat tot dit jaar de hoeveelheid neerslag van de automatische stations gecorrigeerd is met de hoeveelheid neerslag van de handwaarnemingen.

In figuur 2.2 staan voor De Bilt de jaarlijkse verschillen die gevonden worden tussen de beide stations. Een negatief verschil geeft aan dat het automatische station minder neerslag heeft gemeten dan het neerslagstation.



Figuur 2.2 Verskil (absoluut (l) en relatief (r)) tussen de neerslaghoeveelheden gemeten met door het neerslagstation en door het automatische station in De Bilt

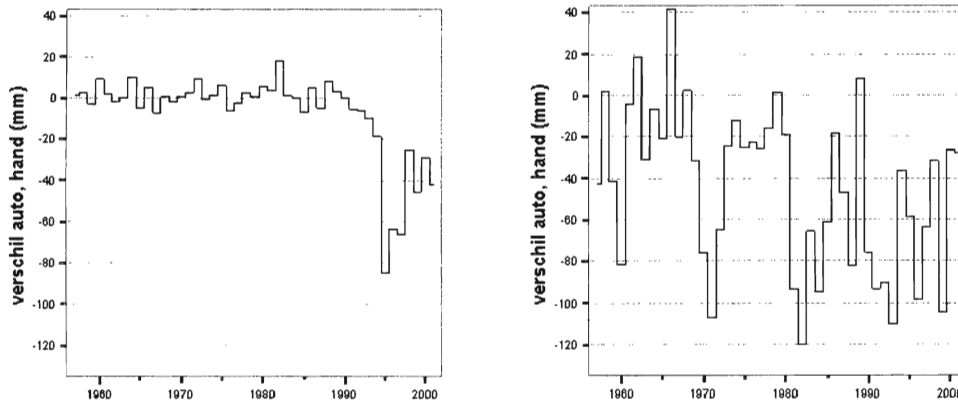
In deze figuur wordt de correctie tot 1981 duidelijk teruggevonden. Er worden namelijk geen duidelijke verschillen gevonden worden tussen de neerslagstations en automatische stations. Het is interessant om te zien dat het verschil tussen de stations bijna nooit gelijk is aan 0, hoewel dit wel verwacht zou mogen worden. De toch nog gevonden verschillen zouden veroorzaakt kunnen worden doordat de neerslag op de automatische stations een optelling is van de neerslag tussen 0 en 24 UTC, terwijl de neerslag op de neerslagstations een optelling is van de neerslag tussen 8 en 8 UTC. Hierdoor bestaat er dus een verschuiving in de meettijd en kunnen er dus verschillen ontstaan tussen de neerslagstations en de automatische stations. Ook zouden andere effecten een rol kunnen spelen, maar daar is verder niet naar gekeken.

Na 1981 worden de verschillen tussen de automatische stations en de neerslagstations duidelijk zichtbaar. Het blijkt dat de automatische stations een neerslaghoeveelheid meten die gemiddeld 60 mm lager is dan de neerslaghoeveelheid gemeten op het bijbehorende neerslagstation. Blijkbaar wordt de neerslaghoeveelheid door de automatische stations minder goed gemeten.

Ook valt de grote variatie in het verschil in neerslag op van jaar tot jaar. Een mogelijke verklaring zou de sterk variabele jaarlijkse neerslaghoeveelheid kunnen zijn. Deze verklaring valt echter af als gekeken wordt naar de relatieve verschillen tussen de automatische en neerslagstations (figuur 2.2

rechts). Deze relatieve verschillen zijn bepaald door het absolute verschil te delen door de jaarhoeveelheid neerslag gemeten door de neerslagstations. Ook bij deze relatieve verschillen zijn er van jaar tot jaar grote variaties te vinden tussen de verschillen. Wat aangeeft dat de jaarlijkse neerslaghoeveelheid hier geen, of slechts een kleine rol in speelt.

Het verschil tussen de neerslagstations en de automatische stations in De Kooy en Vlissingen laten ongeveer hetzelfde beeld zien als De Bilt. Toch lijkt het erop dat niet op alle stations de correctie tot hetzelfde moment is uitgevoerd. In figuur 2.3 kunnen de verschillen worden gevonden tussen de neerslagstations en automatische stations in Beek en Eelde. Hieruit valt te zien dat in Beek de neerslag

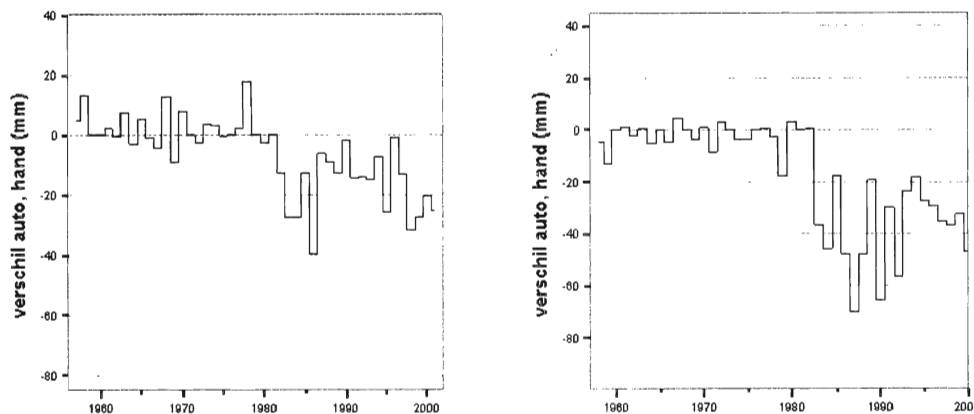


Figuur 2.3 Verschil in neerslaghoeveelheid gemeten op de automatische stations en de neerslagstations in Beek (l) en Eelde (r)

over een langere periode gecorrigeerd lijkt te zijn, terwijl in Eelde de neerslag helemaal niet gecorrigeerd lijkt te zijn gedurende de tijd. Waarom het ene station wel gecorrigeerd is en het andere station niet is niet duidelijk. Ook waarom de periode van correctie verschillend kan zijn op de verschillende stations is niet duidelijk.

2.2.3 Seizoensverschillen in de neerslaghoeveelheid

Als er een onderscheid wordt gemaakt tussen de neerslag in de zomer en winter dan zijn de verschillen tussen de neerslagstations en automatische stations in de winter (oktober tot en met maart) groter dan in



Figuur 2.4 Verschil in neerslaghoeveelheid tussen het neerslagstation en het automatische station in De Bilt in de zomer (l) en winter (r)

de zomer (april tot en met september, figuur 2.4). Beide seizoenen geven echter aan dat de neerslag gemeten op de automatische stations lager is dan de neerslag gemeten op de neerslagstations. Dit verschil tussen de zomer en winter zou op een aantal manieren verklaard kunnen worden. Ten eerste is de wind in de winter sterker dan de zomer, waardoor het windeffect in de winter een grotere rol speelt dan in de zomer.

Daarnaast is de neerslag die valt in de winter in het algemeen van een lagere intensiteit dan de neerslag in de zomer. Het zou zo kunnen zijn dat neerslag van lagere intensiteit minder goed door de automatische stations wordt gemeten dan neerslag van hogere intensiteit. Dit is in lijn met wat er gezegd wordt in Buishand en Velds (1980). Hierin wordt gezegd dat het windeffect een grotere rol speelt bij lichtere druppels (dus meer de frontale regen) dan bij zwaardere druppels (bij buien, in de zomer).

Ook wordt in de winter de opvangbak van de automatische neerslagmeter verwarmd om vaste neerslag te smelten. Een nadeel van het verwarmen van de opvangbak is dat hierdoor een deel van de neerslag weer verdampt en dus niet gemeten wordt.

Zoals ook bij de absolute verschillen het geval was, zijn ook de relatieve verschillen in de winter groter dan in de zomer. Waar de verschillen in de zomer rond de 5% liggen, liggen die in de winter gemiddeld gesproken meer in de richting van de 10%.

Geconcludeerd kan dus worden dat door te stoppen met de correctie er een duidelijke breuk heeft plaatsgevonden in de neerslaghoeveelheden op de automatische stations. Hierdoor is het gebruik van neerslagwaarnemingen van de automatische stations gevaarlijk voor het bepalen van trends in de neerslaghoeveelheid.

3. Methoden en definitie van een neerslagdag

In dit onderzoek is veel met statistiek en gemiddelden gewerkt. In dit hoofdstuk zal een uitleg worden gegeven van de verschillende termen die gebruikt zijn (3.1), daarnaast zal een definitie gegeven worden van een neerslagdag (3.2).

3.1 Methodes

In dit onderzoek zal veel gekeken worden naar trends in de verandering van neerslagkarakteristieken. In dit geval wordt hier altijd de trend bedoeld tussen 1901 en 2001. Deze trends zijn in alle gevallen bepaald door eerst het verloop van de onderzoeksterm (neerslaghoeveelheden per dag en per jaar of seizoen en het aantal dagen met (zware) neerslag) gedurende de tijd te berekenen en daar met behulp van regressie een lineaire trend uit te bepalen.

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van een landelijk gemiddelde meetreeks. Deze meetreeks is bepaald uit de dertien meetreeksen van de neerslagstations door per dag een landelijk gemiddelde neerslaghoeveelheid te bepalen uit de neerslagwaarnemingen op de dertien stations.

Om te bepalen of een gevonden trend significant is wordt het 95%-betrouwbaarheidsinterval van de trend (significantieniveau (α) van 0,05) vergeleken met nul.

Om te bepalen of gevonden trends significant van elkaar verschillen is er in dit rapport voor gekozen om dit visueel te bekijken. Omdat we in dit geval kijken naar twee trends met beide een 95%-betrouwbaarheidsinterval en niet naar een trend die vergeleken wordt met bijvoorbeeld het 0-niveau moet gebruik gemaakt worden van het 83,4%-betrouwbaarheidsinterval. Op deze manier wordt rekening gehouden met het betrouwbaarheidsinterval van beide trends en niet slechts met een betrouwbaarheidsinterval (in dat geval zou gewoon het 95%-betrouwbaarheidsinterval gebruikt kunnen worden). Normaal gesproken wordt dit met behulp van een statistische toets op numerieke wijze gedaan, maar door te kiezen voor het bepalen van deze betrouwbaarheidsintervallen kan door overlap visueel worden vastgesteld of trends significant van elkaar verschillen. (pers. comm. Smits, 2002)

In de loop van het verslag zal het een aantal keer voorkomen dat er een positieve trend gevonden lijkt te worden in de figuren, terwijl er geconcludeerd wordt dat er geen verandering in de onderzoeksterm gevonden wordt. In dat geval is de gevonden trend dus niet significant geweest en wordt de gevonden trend waarschijnlijk veroorzaakt door toeval en niet door een werkelijke verandering in de onderzoeksterm.

Ook wordt in een deel van dit rapport een onderscheid gemaakt tussen de zomer en winter. Als zomer wordt in dit rapport de maanden april tot en september bedoeld en als winter de maanden oktober tot en met maart.

3.2 Definitie van een neerslagdag

Om een dag te kunnen classificeren als neerslagdag zijn in deze studie twee definities gebruikt. Een eerste definitie is om een neerslagdag te definiëren als een dag waarop een hoeveelheid neerslag is gevallen die gelijk of hoger is aan de minimale afleeshoeveelheid (0.1 mm) van de neerslagmeter. Een nadeel van deze methode is echter dat zo een minimale neerslaghoeveelheid erg door subjectiviteit beïnvloed kan zijn. Een waarnemer kan een dag waarop er dauw is achtergebleven in de neerslagmeter opgeven als een dag met een bepaalde neerslaghoeveelheid, terwijl een andere waarnemer deze neerslaghoeveelheid niet doorgeeft, juist omdat die veroorzaakt is door dauw. Daarnaast kan gedurende de tijd de waarnemingsmethode gewijzigd zijn, waardoor de meetnauwkeurigheid van kleine neerslaghoeveelheden verbeterd is en er dus meer dagen worden gevonden met een kleine hoeveelheid neerslag. In dat geval zal er dus een valse stijging in het aantal neerslagdagen worden gevonden.

Om zo'n valse stijging van het aantal neerslagdagen te voorkomen kan er een drempelwaarde gekozen worden die hoger ligt dan 0,1 mm. Klok (1998) heeft voorgesteld om een drempelwaarde van 0,3 mm te gebruiken.

Om het zekere voor het onzekere te nemen en een eventueel versluisde verbeterde nauwkeurigheid uit te sluiten, is er in deze studie voor gekozen om een drempel van 0,3 mm per dag aan te houden om een dag te classificeren als neerslagdag.

4. Veranderingen in de neerslag in Nederland

In dit hoofdstuk zal allereerst onderzocht worden wat er in de literatuur te vinden is over de neerslagverdeling in Nederland en hoe die veranderd is gedurende de tijd (4.1). Vervolgens zal onderzocht worden hoe de jaarlijkse neerslaghoeveelheden veranderd zijn, zowel landelijk gemiddeld over Nederland, als voor de verschillende stations apart (4.2).

4.1 Veranderingen in de neerslagverdeling in Nederland

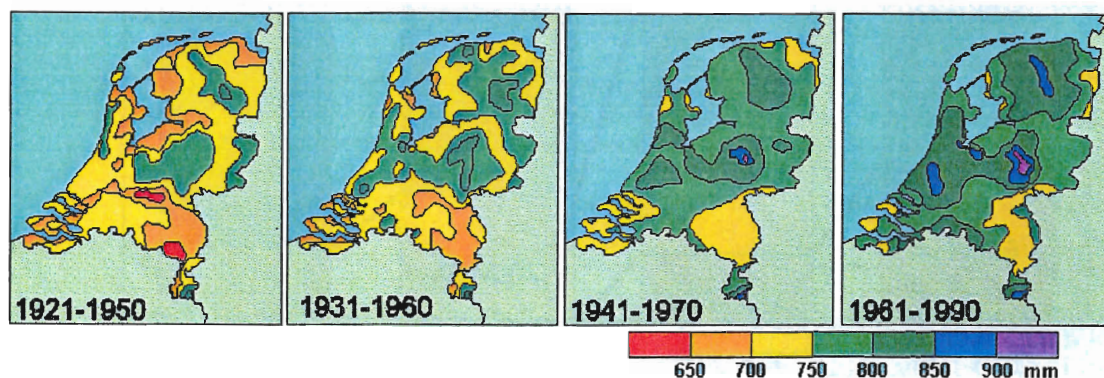


Fig. 4.1 Klimatologisch gemiddelde neerslag in Nederland gedurende de tijd (van Boxel en Cammeraat, 1999a)

Gedurende de tijd is de neerslagverdeling over Nederland (figuur 4.1) niet veel veranderd. In deze figuur staan de klimatologische 30-jarige gemiddelden van de jaarlijkse neerslag. Er valt te zien dat een relatief hoge hoeveelheid neerslag gevonden kan worden op de Veluwe, in Zuidoost Limburg en in Noord Drenthe en een relatief lage neerslag in Zeeland, Oost Brabant, Noord Limburg en aan de oevers van het IJsselmeer. Neerslag vertoont dus een grote variabiliteit in plaats. (Können, 1999) Een opvallend kenmerk van de neerslagverdeling is dat de hoogste jaargemiddelden over het algemeen voorkomen in de hoger gelegen delen van Nederland. Dit is het gevolg van de invloed van het reliëf op de neerslagverdeling (Buishand en Velds, 1980). Orografische effecten in de neerslag kunnen in Nederland teruggevonden worden in Limburg en over de heuvels van de Veluwe, Overijssel en Utrecht. Deze effecten kunnen in deze gebieden aanleiding geven tot een extra neerslaghoeveelheid van ongeveer 1 mm per dag.

Ook de duinen kunnen een orografisch effect op de neerslag hebben. Er is namelijk verondersteld dat duinen een staande golf veroorzaken in de luchtstroming. Dit heeft tot gevolg dat zich op verschillende afstanden van de duinen neerslagmaxima voordoen. In Nederland zijn deze maxima moeilijk terug te vinden omdat de afwisseling van wateroppervlak en landoppervlak (Noordzee – land – IJsselmeer – land) een versturende rol kan spelen (Buishand en Velds, 1980).

Als gekeken wordt naar de klimatologische hoeveelheid neerslag gedurende de tijd dan is er voor het gehele land een toename te zien van de hoeveelheid neerslag. In de periode 1921-1950 is er op enkele plaatsen nog een jaarlijks gemiddelde neerslag te vinden van minder dan 650 mm. Deze gebieden zijn echter al snel verdwenen en tussen 1961-1990 zijn er amper nog gebieden te vinden waar minder dan 750 mm neerslag per jaar valt. In figuur 4.2 is in een grafiek uitgezet het percentage landoppervlak dat een bepaalde hoeveelheid neerslag heeft. Ook hierin is de vernatting van Nederland duidelijk te zien. Het percentage land dat meer dan 750 mm per jaar aan neerslag ontvangt neemt toe van ongeveer 20% in de periode 1921-1950 tot bijna 90% in de periode 1961-1990. (van Boxel en Cammeraat, 1999a). De grootste toename is te constateren in de randstad, met name rond Amsterdam en Rotterdam. Maar ook in de buurt van Maastricht, in de Peel, de oostelijke Veluwe, het zuidoostelijk deel van de Noord-Oostpolder en het aangrenzende deel van Overijssel en in het noordelijk deel van Groningen en Friesland zijn de veranderingen aanzienlijk (van Boxel en Cammeraat, 1999b).

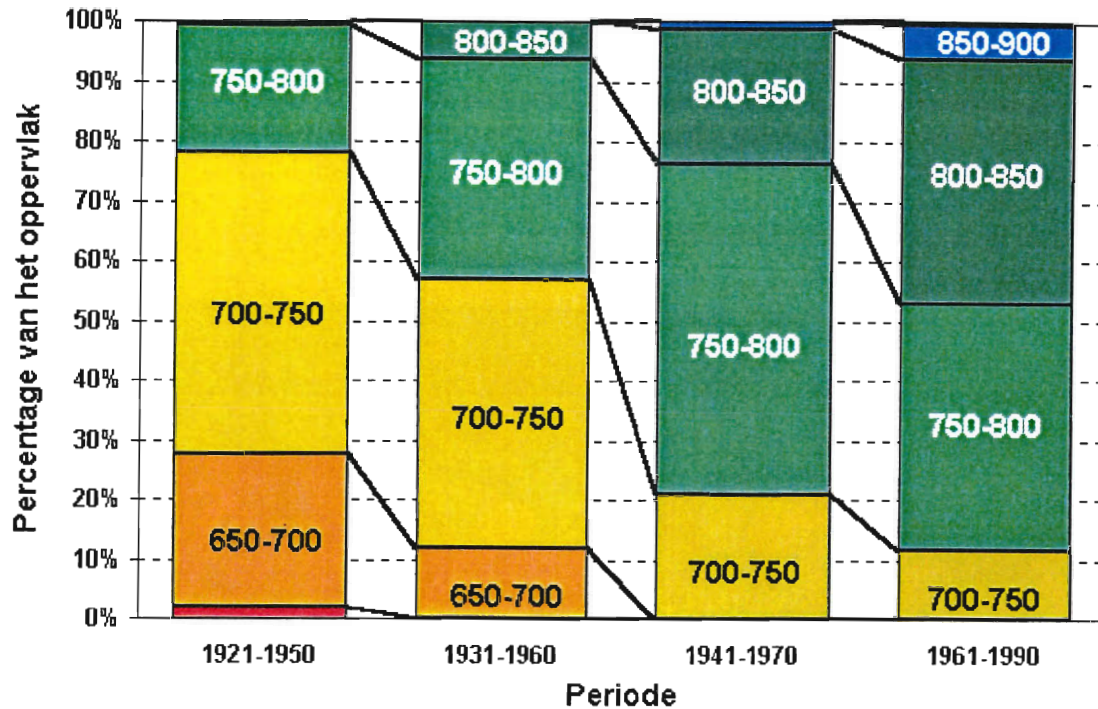


Fig. 4.2 Verandering van het percentage van het oppervlak van Nederland met een bepaalde hoeveelheid neerslag (van Boxel en Cammeraat, 1999a)

4.2 Veranderingen in de jaarlijkse neerslaghoeveelheden

4.2.1 Landelijk gemiddelde

4.2.1.1 Jaar

Over de periode 1901-2001 wordt er een iets stijgende tendens gevonden in de landelijk gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid neerslag (figuur 4.3). Vooral in de laatste jaren van de onderzochte periode worden hoge neerslaghoeveelheden gevonden. Maar ook gedurende de jaren 60 is de landelijk gemiddelde neerslaghoeveelheid hoger geweest dan normaal.

Wat duidelijk opvalt is de grote variatie in de neerslaghoeveelheid van jaar tot jaar. De hoogste neerslaghoeveelheid die gevonden wordt in de onderzoeksperiode is ruim een factor twee hoger dan de laagste neerslaghoeveelheid die gevonden wordt.

De resultaten die hier gevonden worden komen goed overeen met de resultaten die gevonden worden in Können (1999). Dit is ook niet verwonderlijk want in deze studie is dezelfde data gebruikt, als in de studie die naar de klimaatrapportage leidde.

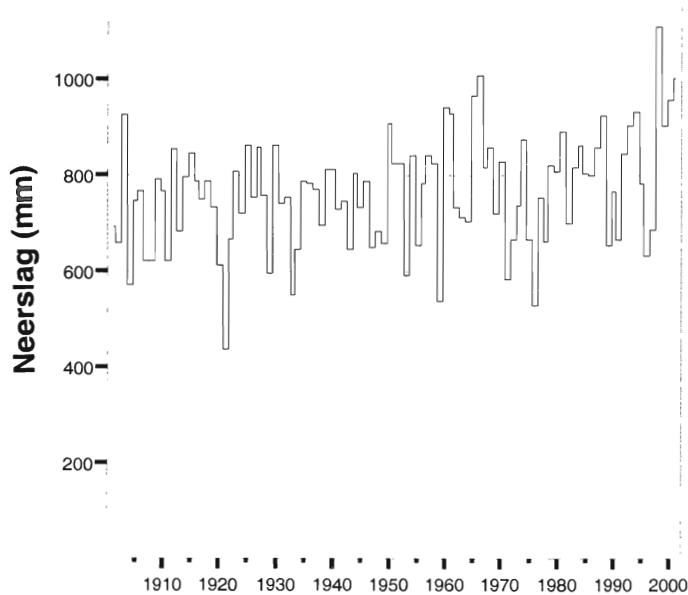
Over de hele onderzoeksperiode wordt een stijgende trend gevonden van 12,3 mm per 10 jaar. Dit staat gelijk aan een relatieve trend van 1,6% per 10 jaar. Deze trend is significant ($\alpha=0,05$).

Deze trend is duidelijk hoger dan de positieve trend van 87 mm per eeuw die gevonden is in de studie van Van Boxel en Cammeraat (1999a). Waarschijnlijk zijn in die studie andere of meer stations gebruikt om de landelijk gemiddelde neerslaghoeveelheid te berekenen.

De belangrijkste verklaringen voor de toegenomen neerslag zijn waarschijnlijk veranderingen in de circulatie, bijvoorbeeld de Noord Atlantische Oscillatie, en het broeikaseffect. Hierdoor is de neerslag in de hele gordel van 40° tot 60° NB toegenomen (van Boxel en Cammeraat, 1999a).

Een verdere verklaring voor de toegenomen neerslag zou de toename van de verstedelijking in Nederland kunnen zijn. De aanwezigheid van een stad kan op vier mogelijke manieren invloed hebben op de neerslag (Buishand en Velds, 1980):

1. De thermische convectie ten gevolge van de hogere temperaturen in de stad in vergelijking met de omgeving (het warmte-eiland effect).



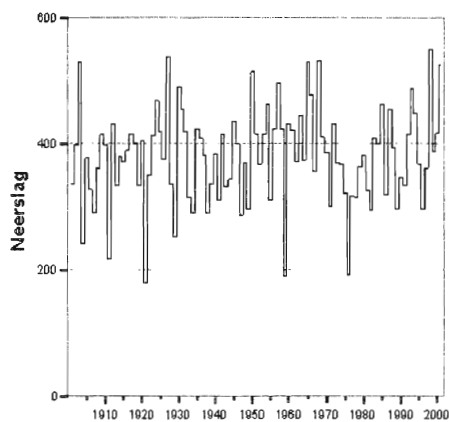
Figuur 4.3 Landelijk gemiddelde jaarlijkse neerslaghoeveelheid

2. De verhoogde turbulentie door de grotere oppervlakteruwheid.
3. De toevoeging van waterdamp door industrie en de verandering in de verdamping bij verharde oppervlakken.
4. De productie van condensatie- en vrieskernen van een bepaald type.

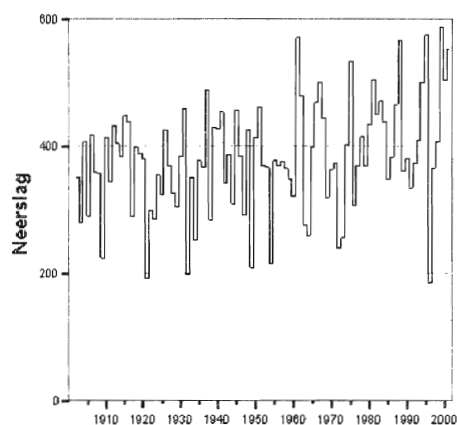
In figuur 4.1 valt er vooral in latere jaren in de omgeving van Amsterdam en Rotterdam meer neerslag, wat veroorzaakt zou kunnen worden door de verstedelijking.

Een andere oorzaak zou kunnen zijn dat een aanzienlijk deel van de voormalige Zuiderzee drooggelegd is. Ook dit heeft invloed op het neerslagregime (van Boxel en Cammeraat, 1999a).

Daarnaast kan de neerslaghoeveelheid toegenomen zijn door veranderingen in de waarnemingsmethoden gedurende de tijd waarvoor niet al is gecorrigeerd. Het effect hiervan op de gemeten neerslaghoeveelheden is echter maar een paar procent en is dus niet voldoende om de waargenomen veranderingen te verklaren (van Boxel en Cammeraat, 1999b).



Figuur 4.4 Landelijk gemiddelde hoeveelheid neerslag in het zomerseizoen



Figuur 4.5 Idem als figuur 4.4, maar nu voor het winterseizoen

4.2.1.2 Zomer en winter

In de figuren 4.4 en 4.5 wordt een onderscheid gemaakt in de neerslaghoeveelheden die zijn gevallen in de zomer en winter.

Er bestaan niet echt grote verschillen tussen de hoeveelheden neerslag in de zomer en winter. In beide seizoenen wordt een grote variatie van jaar tot jaar gevonden in de neerslaghoeveelheden en in beide seizoenen lijkt er vooral sinds ongeveer 1980 een stijgende trend gevonden te kunnen worden.

Als gekeken wordt naar de volledige onderzochte periode dan lijkt er in beide seizoenen een positieve trend gevonden te worden, die in de winter groter lijkt te zijn dan in de zomer.

Dit komt overeen met de gegevens die gevonden worden als er gekeken wordt naar de statistische gegevens van de data (tabel 4.1). In de zomer wordt een positieve trend gevonden van 3,0 mm per 10 jaar (0,8% per 10 jaar). Deze trend is echter niet significant ($\alpha=0,05$). In de winter is deze positieve trend 9,3 mm per 10 jaar (2,5% per 10 jaar). Deze trend is wel significant ($\alpha=0,05$).

Tabel 4.1 Landelijk gemiddelde trend in de neerslaghoeveelheid gedurende het jaar, de zomer en de winter

	Absoluut (mm/10 jr)	Relatief (%/10jr)	Significant ($\alpha=0,05$)
Jaar	12.3	1.6	Ja
Zomer	3.0	0.8	Nee
Winter	9.3	2.5	Ja

De toename van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid wordt dus voor het grootste deel veroorzaakt door een toename van de neerslag in de winter. Dit komt ook overeen met de conclusie die getrokken wordt in Können (1999).

4.2.2 Per station

4.2.2.1 Jaar

De verlopen van de verschillende stations kunnen gevonden worden in Appendix A. Er kunnen tussen de verlopen op de verschillende stations verschillen gevonden worden gedurende de tijd. Dit is niet zo vreemd omdat neerslag soms een sterk lokaal karakter kan hebben.

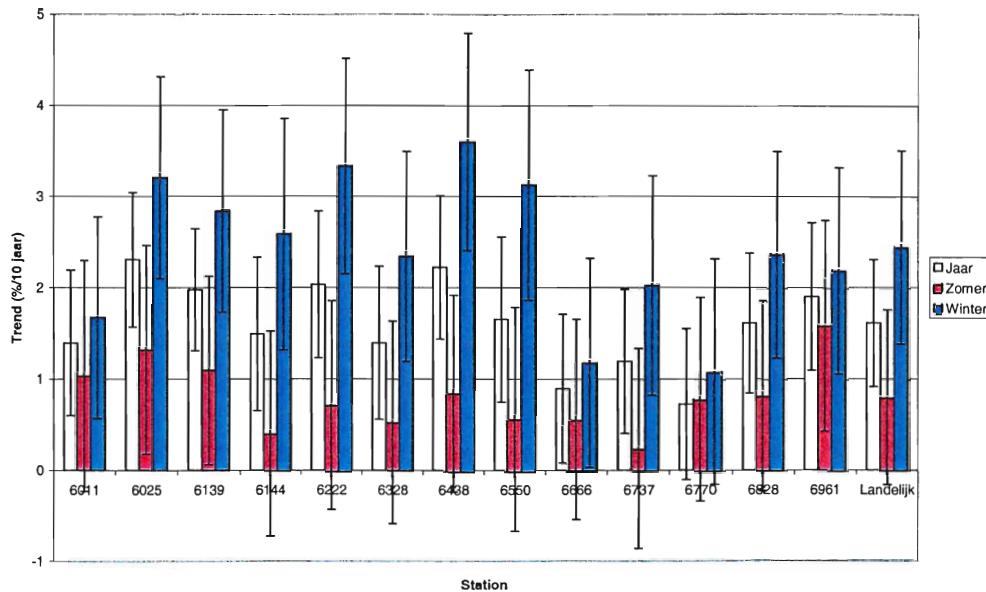
Het duidelijke minimum in landelijk gemiddelde neerslaghoeveelheden in 1921 (figuur 4.3) kan op alle stations teruggevonden worden, echter de neerslaghoeveelheden gedurende dat jaar lopen sterk uiteen. In De Bilt (6550), Kerkwerpe (6737) en Roermond (6961) zijn in dat jaar neerslaghoeveelheden gemeten van minder dan 400 mm, terwijl in Heerde (6328) en Groningen (6139) er in dat jaar bijna 200 mm neerslag meer is opgevangen. Algemeen gesproken lijkt het erop dat er in dat jaar in het zuiden minder neerslag is gevallen dan in het noorden.

Er wordt een scherpe piek in de neerslaghoeveelheid in 1966 gevonden, die vooral op de stations in het midden en zuiden van het land duidelijk te zien is. Voor de meeste stations zijn de jaren 60 nat in vergelijking met de jaren ervoor en erna, hoewel de mate van natheid verschilt van station tot station. Op de meeste stations kan tussen 1901 en 2001 een licht stijgend verloop gevonden worden in de neerslaghoeveelheden, die zich, op de meeste stations, verscherpt in de laatste 25 jaar.

Dit stijgende verloop is het duidelijkst te zien bij de stations die meer landinwaarts liggen.

In figuur 4.6 staan voor de verschillende stations de trends gedurende het jaar, de zomer en winter vermeld. De trends die in deze grafiek te zien zijn, zijn de relatieve trends. Hiervoor is gekozen zodat het mogelijk is om de trends die gevonden worden in de beide seizoenen en het jaar met elkaar te kunnen vergelijken. Ook worden op deze manier de (geringe) verschillen in totale neerslaghoeveelheden op de verschillende stations buiten beschouwing gelaten.

Vergelijken we de trends met elkaar dan valt op dat alle trends positief zijn en alleen de trends in Winterswijk (6666) en Axel/Westdorpe (6770) niet significant ($\alpha=0,05$) zijn. Vergelijken we de trends onderling dan zijn de trends (met uitzondering van de trends in Den Helder/De Kooy (6025) en Axel/Westdorpe (6770)) niet significant verschillend van elkaar.



Figuur 4.6 Trends (in de periode 1901-2001) in de neerslaghoeveelheid gedurende het jaar, de zomer en de winter, gegroepeerd per station (voor stationsnamen zie tabel 2.2).

4.2.2.2 Winter

Ook in de winter is het verloop op de verschillende stations redelijk gelijk aan elkaar. In het begin van de jaren 20 wordt op elk station een dip in de neerslag gevonden worden. In het noorden van het land, wordt deze dip echter gedurende een aantal jaar gevonden, terwijl in het zuiden van het land het meer op een minimum van één jaar lijkt.

De verschillende stations vertonen een duidelijke overeenkomst in de jaren die een minimum in de neerslag vertonen. In de jaren waarbij er een duidelijk maximum wordt gevonden in de neerslaghoeveelheid kunnen wel verschillen gevonden worden in de neerslaghoeveelheid. De jaren waarin pieken in de neerslag voorkomen komen wel redelijk overeen, maar de hoogte van de neerslagpiek verschilt van station tot station. Zo wordt er bijvoorbeeld rond 1915 een duidelijke piek in de neerslag gevonden worden op West Terschelling (6011) en Den Helder (6025), maar op de overige stations is deze piek veel minder duidelijk aanwezig.

Vanaf het begin van de jaren 20 wordt er een gemiddeld stijgende tendens gevonden in de neerslaghoeveelheid in het noorden van het land. In het zuiden begint deze stijgende tendens pas later, of is in zijn geheel afwezig. Wel lijkt de stijgende trend zich daar te verscherpen na 1975.

In figuur 4.6 kunnen de statistische trends die gevonden worden op de verschillende stations met elkaar vergeleken worden. Er bestaan redelijk grote verschillen in trends op de verschillende stations. Waar in Hoofddorp (6438) een trend gevonden wordt van 3,6% per 10 jaar, wordt in Axel/Westdorpe (6770) een trend gevonden die net boven de 1% per 10 jaar uitkomt. Deze laatste trend is dan ook niet significant ($\alpha=0,05$), net als de trend in Winterswijk.

Met uitzondering van de trend die gevonden wordt in West Terschelling (6011) zijn de trends in het noorden van het land hoger dan die in het zuiden van het land. Dit duidt erop dat de neerslaghoeveelheden in het noorden van het land in de laatste 100 jaar sneller zijn gestegen dan in het zuiden van het land.

Ondanks dat er verschillen bestaan tussen de trends op de verschillende stations zijn de verschillende trends niet significant verschillend van elkaar.

4.2.2.3 Zomer

In de zomer worden er van station tot station verschillen gevonden in de hoeveelheid neerslag. Dit heeft te maken met het meer lokale karakter van de buien in de zomer. Hierdoor kunnen er makkelijk grote verschillen ontstaan in neerslaghoeveelheden en is het moeilijk om een algemene tendens in de neerslaghoeveelheden te zien. Toch is er tussen 1925 en 1930 een periode is geweest waarin, vergeleken met de omliggende jaren hogere neerslaghoeveelheden zijn gemeten. Ook in de jaren 60 lijkt dit voor de meeste stations het geval te zijn.

Door die periodes met hogere neerslaggegevens kan er op het oog niet duidelijk een trend gevonden worden in de neerslaghoeveelheden. Toch wordt er, met uitzondering van de neerslaghoeveelheid in Roermond, vanaf ongeveer 1975 een duidelijk stijgende tendens gevonden worden in de neerslagintensiteit. Het is echter de vraag of dit een opbouw is naar weer een periode met hogere neerslag, of dat dit een echte tendens is naar hogere neerslaghoeveelheden in de zomer.

Als de statistische trend in de neerslaghoeveelheid berekend wordt (figuur 4.6) dan valt op dat de verschillen in de trends op de verschillende stations niet erg groot zijn en dat alle gevonden trends (met uitzondering van de trend in Roermond) niet significant zijn in het 95%-betrouwbaarheidsinterval. De meeste stations hebben een trend die ligt tussen de 0,5 en 1,5% per 10 jaar. Doordat de verschillen niet groot zijn, zijn de trends ook niet significant verschillend van elkaar.

Waar bij de vergelijking van de trends in een seizoen tussen de stations in het algemeen de conclusie getrokken kon worden dat deze trends niet significant verschillen van station tot station, kan hetzelfde worden gedaan voor de trends in de verschillende seizoenen voor hetzelfde station.

Op alle stations is de trend in de winter hoger dan in de zomer, echter het verschil tussen deze trends verschilt van station tot station. Zo is het verschil in trend tussen de zomer en winter in Hoofddorp en De Bilt meer dan 2,5%, terwijl het verschil in Kerkwerve net 0,3% per 10 jaar is.

In het algemeen zijn de verschillen in trends tussen de zomer en winter niet significant ($\alpha=0,05$) verschillend van elkaar. Dit gaat echter niet voor alle stations op. De trends in de zomer en winter in Hoorn NH (6222), Hoofddorp (6438) en De Bilt (6550) zijn wel significant verschillend. Op deze stations is de hoeveelheid neerslag in de winter, relatief gezien, meer toegenomen dan in de zomer.

Samenvatting

Er kan dus geconcludeerd worden dat er landelijk gemiddeld een toename heeft plaatsgevonden van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid tussen 1901 en 2001. Deze toename wordt voornamelijk veroorzaakt door een toename van de neerslaghoeveelheid in de winter.

Ook voor de meeste stations apart wordt deze toename van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid gevonden, waarbij ook hier geldt dat deze toename vooral veroorzaakt wordt door een toename van de neerslaghoeveelheid in de winter. Deze toename is in dit seizoen het sterkst in het noorden van het land.

Hoewel de trends op de meeste stations in de winter wel significant zijn en in de zomer niet, geldt voor de meeste stations dat er geen significant verschil bestaat tussen de trends in deze twee seizoenen. Voor de jaargemiddelde neerslag hoeft er dus eigenlijk geen onderscheid tussen de twee seizoenen gemaakt te worden.

5. Veranderingen in het aantal dagen dat bepaalde drempelwaardes overschreden worden

In de literatuur kunnen verschillende studies gevonden worden waarbij een toename in de neerslag, zoals die ook in deze studie gevonden wordt, verklaard kan worden door een toename van de frequentie van lichte of gemiddelde neerslag. Voorbeelden hiervan zijn Canada (Zhang, et al., 2001) waar de toename van de frequentie van lichte neerslag groter is dan de toename in frequentie van de gemiddelde neerslag en waar de frequentie en de intensiteit van zware neerslag niet is toegenomen. Ook in Argentinië (Lucero en Rozas, 2002) kan de verhoging van de jaarlijkse neerslag verklaard worden met een verhoging van het aantal regendagen. In 36 jaar is het aantal regendagen daar met 50% toegenomen terwijl er geen verandering gevonden is in de hoeveelheid neerslag gedurende de dag.

Het aantal dagen waarop meer dan 10 mm neerslag voorkomt in Noord en Centraal Europa laat niet duidelijk een trend zien. Een uitzondering is de stijgende trend van het aantal dagen met meer dan 10 mm neerslag in de Duitse Alpen en in West Noorwegen (Heino et al, 1999).

Ook in gebieden waar een afname is gevonden in de jaarlijkse neerslaghoeveelheid, kan het aantal dagen met zware neerslag zijn toegenomen. Een voorbeeld hiervan is Siberië; hier wordt een afname van de hoeveelheid neerslag gevonden van 1,3% per decennium. Ondanks dat de hoeveelheid regendagen ook was afgenomen werd toch een toename van 1,9% gevonden in het aantal dagen dat er meer dan 25 mm neerslag per dag valt. Deze toename is echter geen algemene regel, in tegenstelling tot de gebieden waar een toename gevonden wordt van de gemiddelde neerslag (IPCC, 2001).

Als er echter gekeken wordt naar de aarde in zijn geheel zal er een groter gebied zijn dat te maken krijgt met zwaardere neerslag. Gemiddeld op middelbare en hoge breedten lijkt er een toename van 2 tot 4% te zijn geweest in het aantal dagen met zware neerslag (IPCC, 2001).

In dit hoofdstuk zal voor Nederland gekeken worden of er zich veranderingen hebben voorgedaan in het aantal neerslagdagen en of er veranderingen zijn geweest in het voorkomen van dagen met grotere neerslaghoeveelheden. Om dit te onderzoeken wordt voor verschillende drempelwaardes de lineaire trend in het aantal overschrijdingen van deze drempelwaardes bepaald en uitgezet in een grafiek. Als drempelwaardes zijn gekozen de in deze studie gebruikte definitie van een neerslagdag (0,3 mm) en vervolgens elke hele millimeter totdat er gedurende de onderzoeksperiode gemiddeld minder dan 2 waarnemingen per jaar voorkomen. Hierbij is aangenomen dat bij een gemiddelde van minder dan 2 waarnemingen per jaar, de gevonden trends niet betrouwbaar genoeg meer zouden zijn.

Door zoveel drempelwaardes te definiëren kan onderzocht worden of een gevonden trend bij een bepaalde drempelwaarde wel betrouwbaar is, en niet teveel wordt beïnvloed door een gering aantal waarnemingen gedurende de tijd.

Allereerst zal onderzocht worden welke veranderingen er optreden bij een toename van de drempelwaarde in het landelijk gemiddelde gedurende het jaar en in de zomer en winter (5.1) vervolgens zal dit gedaan worden elk station apart (5.2).

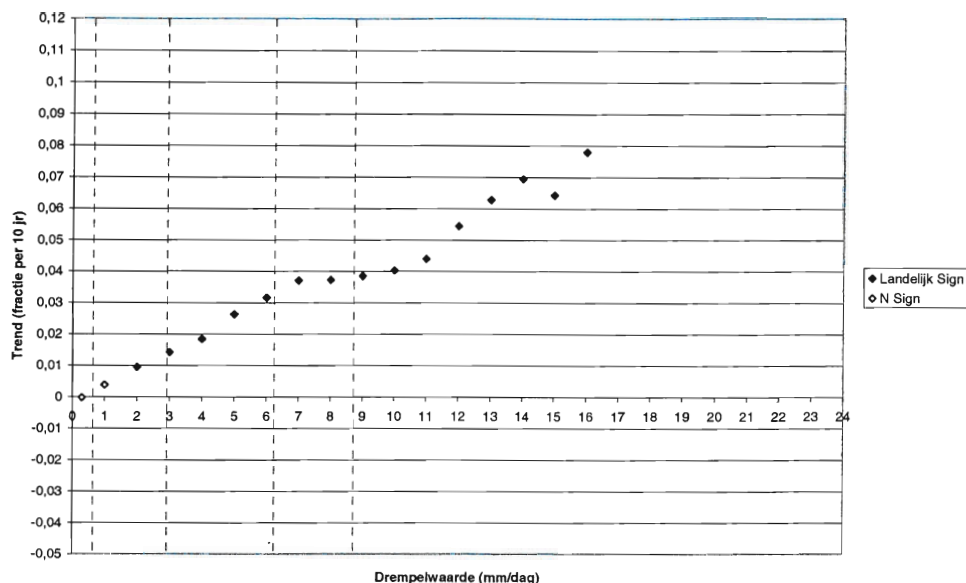
5.1 Landelijk gemiddeld

5.1.1 Jaar

In figuur 5.1 staat voor elke onderzochte drempelwaarde de bijbehorende trend (in fractie per 10 jaar) en de significantie ($\alpha=0,05$) van deze trend uitgezet in een grafiek. Een dichte ruit geeft een significante trend aan en een open ruit een niet significante trend.

Naast deze trends kunnen ook verticale stippellijnen gevonden worden. Deze stippellijnen geven van links naar rechts respectievelijk het 50^{ste}, 75^{ste}, 90^{ste} en 95^{ste} percentiel aan. Ze geven dus de neerslaghoeveelheid aan die respectievelijk op 50%, 25%, 10% en 5% van de totale hoeveelheid dagen wordt overschreden. Dit betekent ook dat trends die berekend zijn voor hoge neerslaghoeveelheden berekend zijn met behulp van een veel kleiner aantal dagen dan de trends die berekend zijn voor lage neerslaghoeveelheden en dus een grotere onzekerheid kennen.

Bij het bepalen van deze percentielen zijn ook de dagen met geen neerslag meegenomen, waardoor het



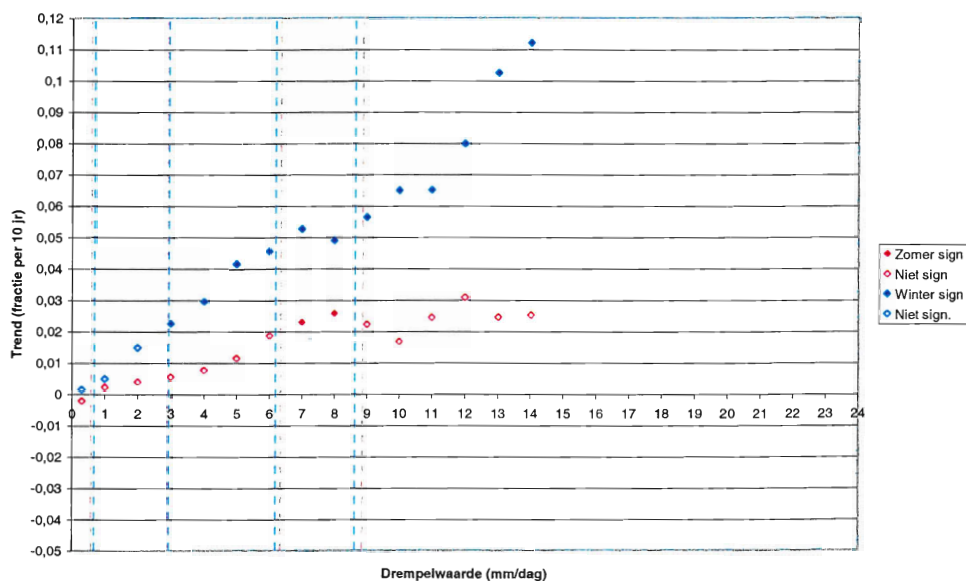
Figuur 5.1 Trends (1901-2001) in de verandering van het aantal overschrijdingen van de verschillende drempelwaardes. De stippellijnen geven respectievelijk het 50^{ste}, 75^{ste}, 90^{ste} en 95^{ste} percentiel aan.

50^{ste} percentiel dicht bij nul ligt. Er zijn namelijk veel dagen waarop geen neerslag is gemeten gemiddeld over Nederland.

Er wordt een sterkere positieve trend gevonden worden naarmate de drempelwaarde hoger wordt. Aangezien de trends bij de verschillende drempelwaardes afhankelijk zijn van elkaar (bij het aantal overschrijdingen van een lagere drempelwaarde zitten ook het aantal overschrijdingen van een hogere drempelwaarde) geeft dit aan dat het aantal dagen met veel neerslag in de loop van de onderzoeksperiode relatief gesproken vaker voorkomt in vergelijking met het aantal dagen met een lagere neerslaghoeveelheid. Het is zelfs mogelijk dat er een daling heeft plaatsgevonden van het aantal dagen met weinig neerslag.

Het totaal aantal neerslagdagen is niet veranderd tussen 1901-2001. De trend bij een drempelwaarde van 0,3 mm is namelijk ongeveer gelijk en niet significant ($\alpha=0,05$).

Met uitzondering van de trends bij een drempelwaarde van 0,3 en 1 mm zijn de trends voor het landelijk gemiddelde, gedurende het jaar allemaal significant ($\alpha=0.05$) te noemen.



Figuur 5.2 Idem als figuur 5.1, maar nu voor het zomerseizoen (rood) en winterseizoen (blauw)

5.1.2 Zomer en winter

In figuur 5.2 worden de verschillende trends die gevonden worden in de zomer en winter met elkaar vergeleken. Met uitzondering van de drempelwaardes tot en met 2 mm zijn de gevonden trends in de winter steeds significant ($\alpha=0,05$). In de zomer is dit niet het geval. Daar worden, met uitzondering van de trends bij een drempelwaarde van 7 en 8 mm, steeds niet significante trends gevonden. Ook in de zomer en winter is er dus geen verandering geweest in het aantal neerslagdagen tussen 1901 en 2001, aangezien de trend van het aantal overschrijdingen bij de drempelwaarde van 0,3 mm niet significant ($\alpha=0,05$) is.

Er valt duidelijk te zien dat de trends die voorkomen in de winter bij elke drempelwaarde hoger zijn dan de trends in de zomer bij dezelfde drempelwaarde. Aangezien dit verschil in trend steeds groter wordt bij een hogere drempelwaarde is het aantal dagen met een relatief grote hoeveelheid neerslag in de winter relatief sterker toegenomen dan in de zomer en wordt dit verschil steeds groter bij toenemende neerslaghoeveelheden.

Ook vergeleken met dagen met minder neerslag, zijn het aantal dagen met een grote hoeveelheid neerslag, zowel in de zomer als winter sterker toegenomen.

Met stippellijnen zijn weer de verschillende percentielen aangegeven. Blauwe stippellijnen geven de percentielen van de winter aan, terwijl de rode stippellijnen de percentielen in de zomer aangeven. Vergelijken we de percentielen in de zomer en winter met elkaar dan valt op dat er in de zomer zowel meer droge dagen zijn (het 50^{ste} percentiel ligt in zomer dicht bij nul), als meer dagen met veel neerslag (het 95^{ste} percentiel ligt in de zomer bij een hogere waarde dan in de winter). Dit komt overeen met het feit dat er in de zomer meer buien voorkomen. Hierdoor is het in de zomer vaker droog (getuige de lage 50^{ste} percentielwaarde), maar is als het regent de hoeveelheid neerslag ook hoger (getuige de hoge 95^{ste} percentielwaarde).

Toch is het verschil in voorkomen van bepaalde neerslaghoeveelheden niet al te groot. Zowel in de zomer als in de winter worden de grens van minder dan twee waarnemingen per jaar bereikt bij een drempelwaarde van tussen de 14 en 15 mm. Ook het feit dat het verschil in waarde van het 95^{ste} percentiel geen groot verschil vertoont tussen de zomer en winter kan tot deze conclusie leiden. Het is echter wel zo dat de hoeveelheden op de 5% natste dagen hoger zijn in de zomer.

5.2 Per station

5.2.1 Jaar

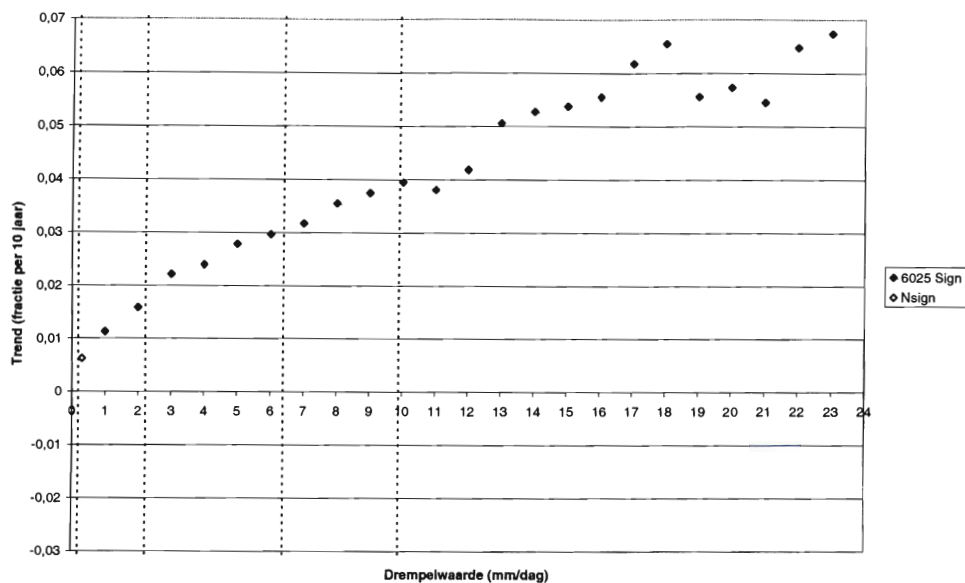
Het landelijk, jaargemiddelde verloop geldt zeker niet voor het jaargemiddelde verloop op de verschillende stations. Tussen de stations kunnen namelijk grote verschillen gevonden worden in het verloop. In Appendix B kan voor alle stations het verloop van de trend bij toenemende drempelwaardes gevonden worden.

Op alle stations wordt een positieve trend gevonden in de verandering van het aantal neerslagdagen. Met uitzondering van Ter Apel (6144), Kerkwerve (6737) en Roermond (6961) zijn deze trends echter kleiner dan 1 procent per 10 jaar. Op deze stations is de gevonden trend dan ook significant ($\alpha=0,05$) net als in Heerde (6328) en Oudenbosch (6828).

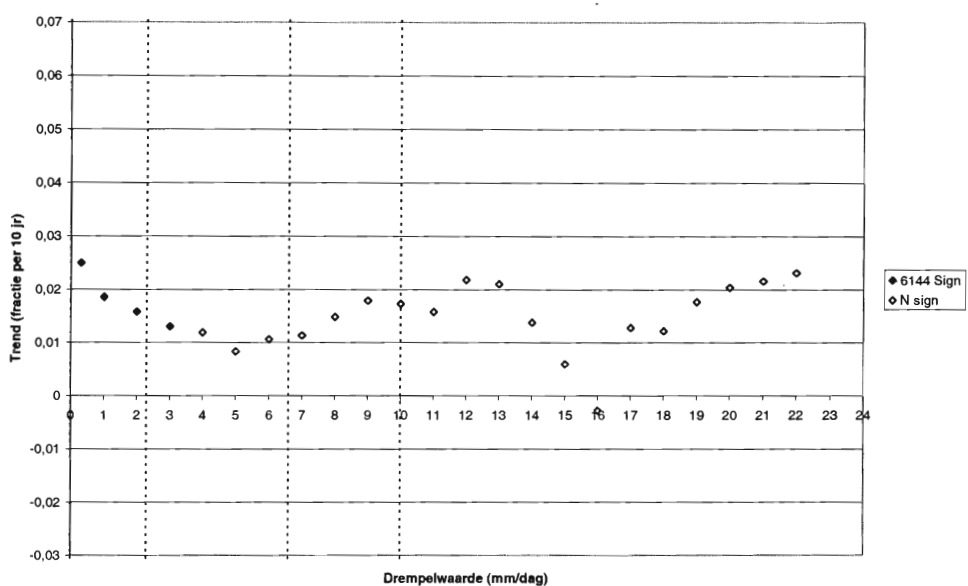
In het algemeen neemt de trend toe bij toenemende drempelwaardes en vindt er een afvlakking van de toename plaats vanaf ongeveer 12 mm. De sterkte van de gevonden trends verschilt echter van station tot station. Op bijvoorbeeld De Bilt (6025, figuur 5.3) kan een trend gevonden worden die oploopt tot bijna 7% per 10 jaar, terwijl op andere stations, zoals Groningen (6139) de trend niet boven de 5,5% uitkomt.

Het andere uiterste in het verloop vertonen Ter Apel (6144, figuur 5.4) en Oudenbosch (6828) waar een min of meer neutraal verloop gevonden in de trend.

De trend in Kerkwerve is op zich extremer met een dalend verloop, maar bij dit verloop moeten denodige kanttekeningen gemaakt worden.



Figuur 5.3 Jaargemiddelde trend (1901-2001) in het aantal overschrijdingen van de verschillende drempelwaarden in De Bilt (6025)



Figuur 5.4 Idem als figuur 5.3, maar nu voor Ter Apel (6144)

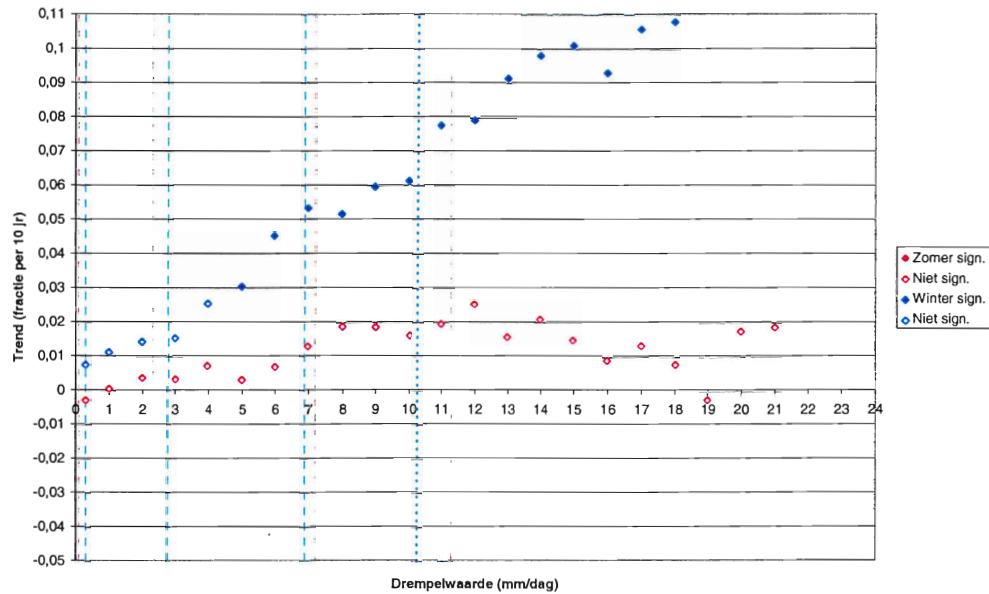
Er zijn ook een aantal stations te vinden (bijvoorbeeld Hoorn NH (6222)) waar de afvlakking van de toename van de trend bij toenemende drempelwaarde omgebogen wordt in een afname van de trend, wat een minimum veroorzaakt in het verloop van de trend.

Ook het verloop in trends die gevonden wordt in Heerde (6328), Winterswijk (6666) en Axel/Westdorpe (6770) is afwijkend in die zin dat bij een toename van de drempelwaarde een toename van de stijging van de trend kan worden gevonden.

Deze laatste verlopen bestaan voor het grootste gedeelte echter uit trends die niet significant zijn. De verschillende soorten verlopen kunnen door het hele land voorkomen en er vind geen clustering plaats van verlopen op stations dicht bij elkaar in de buurt.

5.2.2 Zomer en winter

In de zomer wordt er alleen in Ter Apel (6144), Kerkwerpe (6737) en Roermond een significant positieve trend ($\alpha=0,05$) in het aantal neerslagdagen gevonden. In de winter wordt naast deze stations



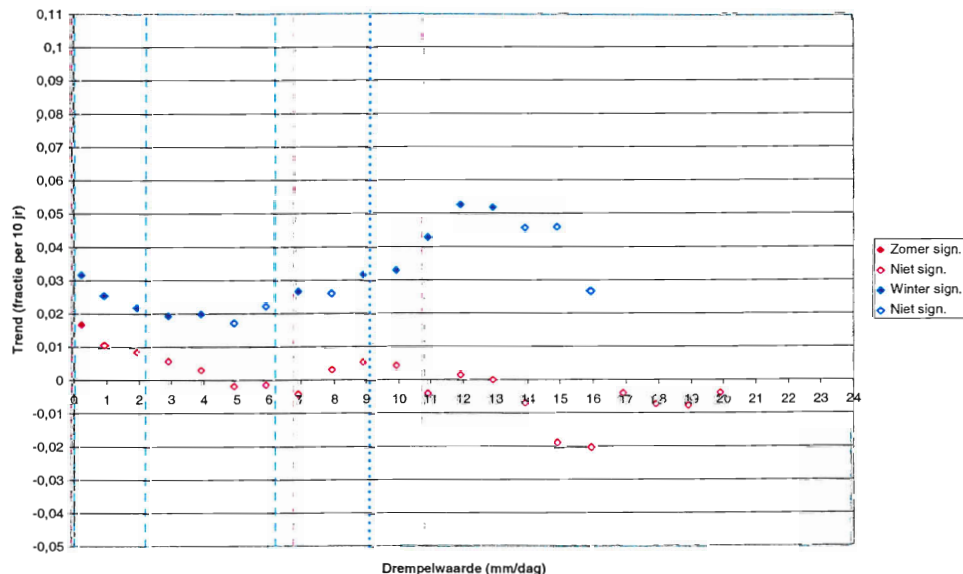
Figuur 5.5 Trends (1901-2001) in het aantal overschrijdingen van verschillende drempelwaarden in het zomerseizoen (rood) en het winterseizoen (blauw) in De Bilt (6550)

ook in Heerde (6328) en Oudenbosch (6828) een significant positieve trend gevonden. Op de andere stations worden zowel in de zomer als winter geen significante veranderingen gevonden in het aantal neerslagdagen gedurende de periode 1901-2001.

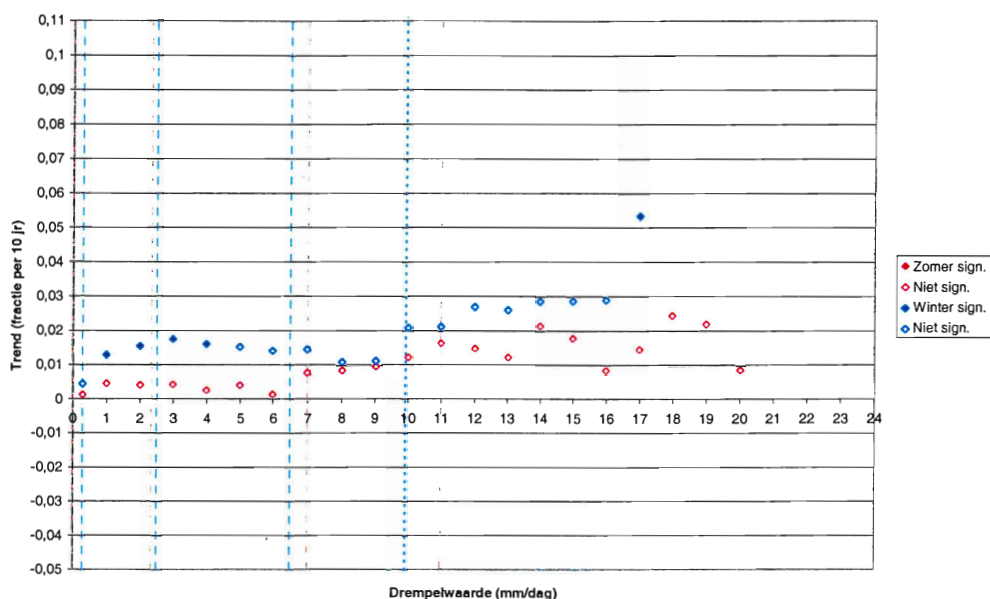
Op de meeste stations is de trend (1901-2001) in het aantal neerslagdagen in de winter groter dan in de zomer. Uitzonderingen zijn Den Helder/De Kooy (6025), Kerkwerpe (6737) en Axel/Westdorpe (6770) waar de trends in de zomer en winter vrijwel gelijk zijn.

Het verloop van de trends in het aantal overschrijdingen van drempelwaardes in de winter lijken in het algemeen erg op de trends die gevonden worden bij het jaarlijkse gemiddelde. De trends in de zomer kunnen echter een heel ander verloop vertonen. Ook zijn de gevonden trends in de zomer in het algemeen niet significant ($\alpha=0,05$).

Het algemene verloop van de trend in de zomer ziet eruit als een lichte toename in trend tot een maximum in de trend rond 10 mm, waarna er weer een dalend of neutraal verloop gevonden wordt (zoals in figuur 5.5 voor De Bilt). Daarnaast zijn er een aantal stations (zoals Den Helder/ De Kooy



Figuur 5.6 Idem als figuur 5.5, maar nu voor Ter Apel (6144)



Figuur 5.7 Idem als figuur 5.5, maar nu voor Winterswijk (6666)

(6025) en Heerde (6328)) waar een gemiddeld stijgend verloop gevonden wordt in de trend bij toenemende drempelwaarden.

Naast dit gemiddeld stijgende verloop kunnen er ook stations gevonden worden (Ter Apel (6144, figuur 5.6) en Kerkwerve (6737)), die een gemiddeld dalend verloop hebben bij toenemende neerslagintensiteit. Dit zijn dan ook de stations waar een duidelijk negatieve trend kan worden gevonden en dus het aantal dagen waarop die drempelwaarde overschreden wordt afgenomen is gedurende de periode 1901-2001.

Op de meeste stations neemt, net zoals bij het jaargemiddelde, het verschil in trend tussen de winter en zomer toe bij een toenemende drempelwaarde. Uitzonderingen hierop zijn West Terschelling (6011), Winterswijk (6666, figuur 5.7) en in mindere mate Heerde (6328), waar het verloop van de zomer en winter ongeveer gelijk is en Axel/Westdorpe (6770) en Roermond (6961) waar de trend in de zomer zelfs hoger wordt dan de trend in de winter.

In tegenstelling tot het landelijk gemiddelde waarbij er geen onderscheid gemaakt kon worden in de drempelwaarde in de zomer en winter die meer dan twee keer paar jaar overschreden wordt kan dat bij de stations onderling wel. Dit wordt veroorzaakt doordat bij het landelijk gemiddelde lokale buien, die karakteristiek zijn voor de zomer, uitgemiddeld worden. De laatste drempelwaarde die nog minimaal twee keer per jaar overschreden wordt ligt op alle stations in de zomer minimaal 2 mm hoger dan in de winter. Dit geeft aan dat in de zomer vaker een grote dagelijkse neerslaghoeveelheid voorkomt dan in de winter.

Het 95^{ste} percentiel van de neerslaghoeveelheid is voor de zomer hoger dan in de winter op alle stations. Het verschil tussen de zomer- en winterwaarden loopt uiteen op de verschillende stations. Het lijkt er op dat het verschil kleiner is bij stations die dicht bij de kust liggen dan bij stations die meer in het binnenland liggen. Dit betekent dat het verschil in extreme neerslaghoeveelheden tussen zomer en winter in het binnenland groter is dan in de kustgebieden.

Als we kijken naar het ruimtelijke verloop van de verschillende gevonden trends bij toenemende drempelwaarden dan wordt er in de winter een duidelijke clustering gevonden van een vooral stijgende trend bij hogere neerslaghoeveelheden in het noordwesten en midden van het land en in Groningen. Ook in het zuidwesten van het land komen de verlopen in de winter redelijk overeen met een verloop dat voor dit seizoen lijkt op het verloop in Winterswijk (6666, figuur 5.7). Ook de stations in het oosten van het land lijken in de winter ongeveer een gelijk verloop te vertonen.

In de zomer kan er niet heel duidelijk een ruimtelijke clustering van de verschillende mogelijke verlopen gevonden worden. Alleen Hoorn (6222), Hoofddorp (6438) en (in mindere mate) De Bilt (6550) zijn stations die redelijk dicht bij elkaar in de buurt liggen en ongeveer eenzelfde verloop hebben (zie Appendix B).

Samenvatting

Er blijkt dus geen significante verandering te hebben plaatsgevonden in de landelijk gemiddelde hoeveelheid neerslagdagen gedurende een jaar in de periode 1901-2001. Ook als alleen naar de zomer en winter wordt gekeken is dit niet het geval. Wordt naar de stations apart gekeken dan wordt op de meerderheid van de stations geen significante toe- of afname gevonden in het aantal neerslagdagen gedurende het jaar. Ditzelfde is het geval gedurende de zomer en winter.

Bij dagen met een hogere hoeveelheid neerslag wordt gedurende het jaar en in de winter wel een significante toename gevonden in het aantal overschrijdingen. In de zomer is dit niet het geval. De relatieve trend in de veranderingen zijn dan ook in de winter hoger dan in de zomer. Wel is het zo dat zowel in de zomer, als in de winter, als gedurende het jaar de trend in de veranderingen van het aantal dagen dat een bepaalde drempelwaarde overschreden wordt toeneemt bij toenemende drempelwaarden. Er vindt dus een relatief grotere verandering plaats in het aantal dagen met veel neerslag dan in het aantal dagen met minder neerslag.

Dit landelijke verloop is niet algemeen geldig voor de verschillende stations. Van station tot station kunnen er grote verschillen gevonden worden in de trend in het aantal overschrijdingen van een bepaalde drempelwaarde.

6. Verandering in hoeveelheden op een neerslagdag

Een hogere jaarlijkse neerslaghoeveelheid kan ook tot uiting komen in een hogere procentuele verandering van de hoeveelheid neerslag op een dag met veel neerslag dan de verandering van de hoeveelheid neerslag op een dag met een gemiddelde hoeveelheid neerslag (IPCC, 2001).

Deze verhoging van het aantal dagen met zware neerslag wordt gevonden in verschillende studies van verschillende delen van de wereld. In de Zwitserse Alpen wordt een statistisch significante positieve trend gevonden in het aantal dagen met een neerslaghoeveelheid die voorkomt met een herhalingsstijd van 30 dagen (over de periode 1901-1994). Ook voor een herhalingsstijd van meer dan 100 dagen (over dezelfde periode berekend) wordt een positieve trend gevonden, maar deze is niet significant (Frei en Schär, 2001).

Ook in Zuid Afrika worden in grote delen van het land significante toenames gevonden in de neerslaghoeveelheden op dagen met een extreme neerslaghoeveelheid. Procentueel gezien is deze het meest toegenomen in het zuiden van Zuid Afrika. Er zijn echter ook delen van het land, waar er afnames van extreme neerslag gevonden zijn (Mason et al., 1999).

In Noord en Centraal Europa worden in het algemeen geen duidelijke trends gevonden in de maximale dagelijkse neerslag, soms worden lichte positieve trends gevonden, maar op een enkele uitzondering na zijn die niet significant (Heino et al, 1999).

In het vorige hoofdstuk is onderzocht wat de verandering is in het aantal overschrijdingen van een bepaalde drempelwaarde. In dit hoofdstuk zal onderzocht worden of zich veranderingen hebben voorgedaan in de grootte van de overschrijding van een bepaalde drempelwaarde. Dus in plaats van het aantal overschrijdingen wordt nu gekeken naar de sterkte van de overschrijdingen.

Om dit te kunnen doen maken we gebruik van een zogenaamde intensiteitsindex (I_i). Dit is een index die aangeeft in welke mate een bepaalde neerslagdrempel overschreden wordt. In deze studie is deze gedefinieerd als:

$$I_i = \frac{\sum r}{n}$$

Waar: I_i = Intensiteitsindex

$\sum r$ = som van de neerslaghoeveelheden op alle dagen met een neerslaghoeveelheid boven een drempel i

n = aantal dagen met neerslag boven drempel i

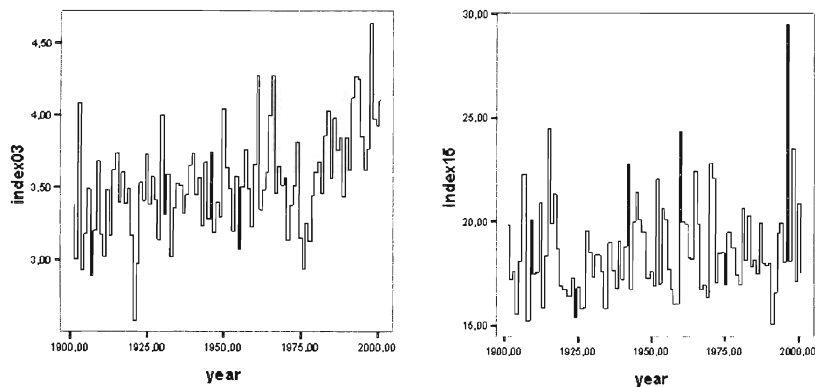
i = 0,3 of 15 mm.

Er is gekozen om het verloop van twee verschillende indexen te bekijken. Allereerst is de drempelwaarde van 0,3 mm gekozen om te onderzoeken of de totale neerslaghoeveelheid op een neerslagdag veranderd is gedurende de tijd. Daarnaast is als tweede drempelwaarde 15 mm gekozen waarmee onderzocht kan worden of er zich veranderingen hebben voorgedaan in de neerslaghoeveelheid op dagen met grote neerslaghoeveelheden. Hiervoor zou ook een hogere neerslaghoeveelheid gebruikt kunnen worden, maar dan komen er (vooral in de winter) teveel jaren voor waarbij de drempelwaarde niet overschreden wordt.

6.1 Landelijk gemiddeld

6.1.1 Jaar

In figuur 6.1 wordt voor de beide indices het verloop van de index gedurende de onderzoeksperiode gevonden. De $I_{0.3}$ -index vertoont tot 1975 een licht stijgende verloop gedurende de tijd, met een duidelijk minimum in de index tussen 1920 en 1922 en rond 1975. Na 1975 stijgt de index in een veel sneller tempo dan voor het minimum van 1975. De hoogste waarden van de index worden (met uitzondering van twee duidelijke pieken in de jaren 60) gevonden aan het eind van de onderzoeksperiode.



Figuur 6.1 Landelijk gemiddelde I_{03} (l) en de I_{15} (r) voor de neerslagintensiteit

Bekijken we de bijbehorende trend dan kan er een significante toename in de trend gevonden worden van 0,06 mm per 10 jr. Dit betekent dat gedurende de onderzoeksperiode (100 jaar) er op een neerslagdag gemiddeld 0.6 mm meer neerslag is gevallen.

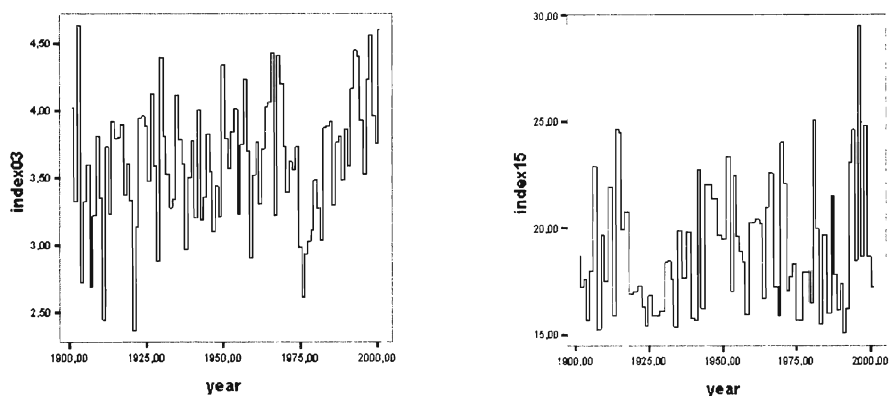
De variatie in de I_{15} -index van jaar tot jaar is veel groter, wat veroorzaakt wordt door het geringe aantal overschrijdingen van deze drempelwaarde. Hierdoor wordt een hoge neerslaghoeveelheid op een dag veel minder weggefilterd dan het geval is bij de I_{03} -index. Alhoewel de variatie van jaar tot jaar groot is wordt er toch rond 1920 een periode met lage I_{15} gevonden. Dit minimum komt na een periode met een duidelijke toename van de index. Na dit minimum neemt de index weer iets toe, om na ongeveer 1950 ongeveer constant te blijven, ondanks de grote variatie in deze periode. Na 1975 wordt weer een lichte stijging gevonden in deze index.

Al met al wordt er in de I_{15} -index een positieve trend gevonden van 0,12 mm per 10 jaar. Echter deze trend is niet significant ($\alpha=0,05$).

6.1.2 Zomer

Vergeleken met het jaargemiddelde verloop vertonen de verlopen van de I_{03} en de I_{15} -index in de zomer een grotere jaarlijkse variatie (figuur 6.2). Net zoals in het jaargemiddelde verloop wordt zowel in de I_{03} en de I_{15} het minimum rond 1920 teruggevonden waarbij het minimum in de I_{15} -index zich over een langere periode uitstrekt.

Tot 1975 wordt er een gemiddeld licht stijgende trend gevonden in de I_{03} -index, echter na het duidelijke minimum rond 1975 is deze stijging veel duidelijker. De hoogste indexwaarde wordt, in tegenstelling tot het jaargemiddelde, niet aan het eind van de onderzoeksperiode gevonden maar in



Figuur 6.2 Idem als figuur 6.1 maar nu voor de zomermaanden

1903, hoewel de waarden van I_{03} gedurende de laatste jaren wel steeds hoog zijn. Hoewel er tot 1975 slechts een heel geringe stijging is geweest gedurende de tijd is de sterke stijging na 1975 genoeg geweest om een statistisch significant stijgende trend van 0.04 mm per 10 jaar te krijgen.

Het verloop van de I_{15} -index is niet veel veranderd vergeleken met het jaargemiddelde. Ook de periode rond 1950 laat zich nu makkelijker kenmerken als een periode met een gemiddeld hogere index. Ook in de zomer lijkt het erop dat er zich een soort clustering voordoet van hogere I_{15} -indexwaarden aan het eind van de onderzoeksperiode. Ook voor deze periode doen zich hoge indexwaarden voor, maar dat zijn lijken incidenten.

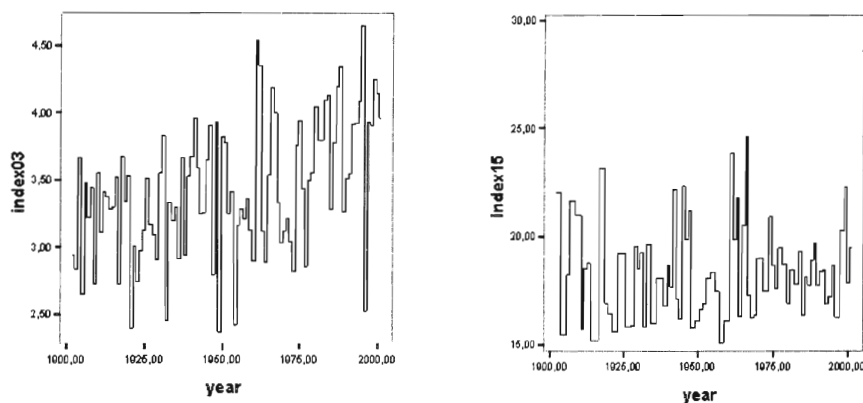
Hoewel er in absolute zin een positieve trend in de I_{15} -index te vinden is van 0.15 mm per 10 jaar, is deze statistisch niet significant ($\alpha=0,05$). Dit wordt veroorzaakt door de grote variatie in neerslag die gevonden wordt.

6.1.3 Winter

Ook in de winter vertoont de I_{03} -index een grotere variatie dan in het jaargemiddelde (vergelijk figuur 6.3 met figuur 6.1). De index heeft gedurende de hele periode een in het algemeen stijgend verloop, maar het valt op dat het aantal jaren met een index van minder dan 2,5 mm groter is dan in het jaargemiddelde of in de zomer. Het aantal jaar met een index van meer dan 4 mm is in tegenstelling tot de zomer vooral geclusterd na 1975.

Ook in dit seizoen wordt het minimum in de index rond 1920 teruggevonden. Net als bij de jaarlijks gemiddelde index kan ook hier gevonden worden dat de index vooral na 1975 sterk gestegen is. Voor dat jaar, waren er periodes met een ietwat hogere index (rond 1940) en periodes met een lagere index (1920 en eind jaren 50).

Statistisch gezien vindt er gedurende de onderzochte periode een significante ($\alpha=0,05$) stijging van de I_{03} plaats van ongeveer 0.08 mm per 10 jaar.



Figuur 6.3 Idem als figuur 6.1 maar nu voor de wintermaanden

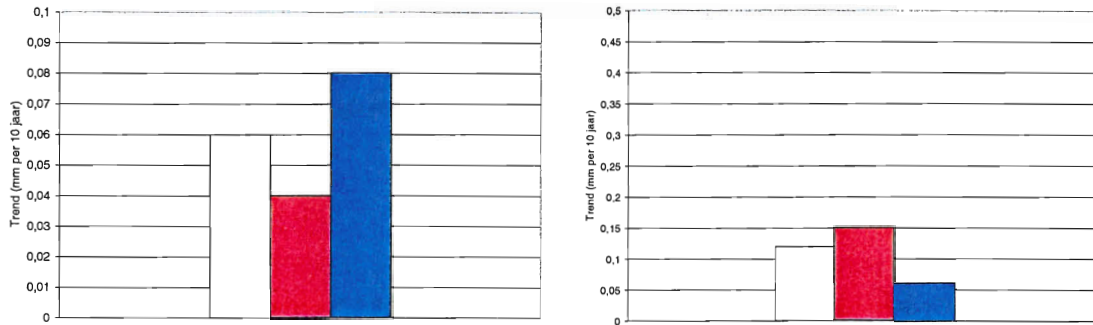
Wordt de I_{15} -index bekeken voor de winter (figuur 6.3) en wordt die vergeleken met de index in de zomer (figuur 6.2) dan blijkt dat die niet echt consistent zijn. Waar in de zomer een maximum in de index gevonden wordt rond 1950 vinden we in de winter juist een ietwat lagere waarde zonder duidelijke schommelingen van jaar tot jaar. Voor en na deze periode komen duidelijke pieken voor in de I_{15} -index. Ook in de periode vanaf 1970 is de variatie in de index duidelijk minder sterk dan in het begin van de periode. Toch is er wel enige mate van toename in de index te vinden tot ongeveer 1950. Daarna daalt de index wel, maar na het minimum rond 1955 is de index ongeveer constant tot het eind van de onderzoeksperiode.

Statistisch gezien kan er geen duidelijke toename gevonden worden. De trend is wel positief met een hoeveelheid van 0.06 mm per 10 jaar, maar deze trend is niet significant.

Samenvatting

In figuur 6.4 staan de trends (1901-2001) van het verloop in beide indices op een rijtje. De trend die gevonden worden voor de I_{03} gedurende het jaar en in de verschillende seizoenen zijn statistisch significant ($\alpha=0,05$). De trends van de I_{15} zijn dit niet.

Dit houdt dus in dat de totale neerslaghoeveelheid op een neerslagdag wel is toegenomen, maar dat dit niet veroorzaakt wordt door grote veranderingen in de extreme neerslaghoeveelheden.



Figuur 6.4 Landelijk gemiddelde trend (1901-2001) van de I_{03} (l) en I_{15} (r) gedurende het jaar (wit), zomer (rood) en winter (blauw).

Aangezien in het vorige hoofdstuk gevonden is dat het aantal dagen met een grote hoeveelheid neerslag relatief gezien sterker is toegenomen, kan dit betekenen dat de verhoging van de hoeveelheid neerslag op een neerslagdag veroorzaakt wordt door een toename van het aantal dagen met veel neerslag.

Kijken we alleen naar de waarden van de gevonden trends dan blijkt dat de I_{03} het sterkst is toegenomen in de winter, terwijl I_{15} het sterkst is veranderd in de zomer. Dus in de zomer zijn extreme neerslaghoeveelheden meer (hoewel niet significant) veranderd dan in de winter, terwijl de algemene neerslaghoeveelheid per neerslagdag in de winter juist meer is toegenomen dan in de zomer.

6.2 Per station

6.2.1 Jaar

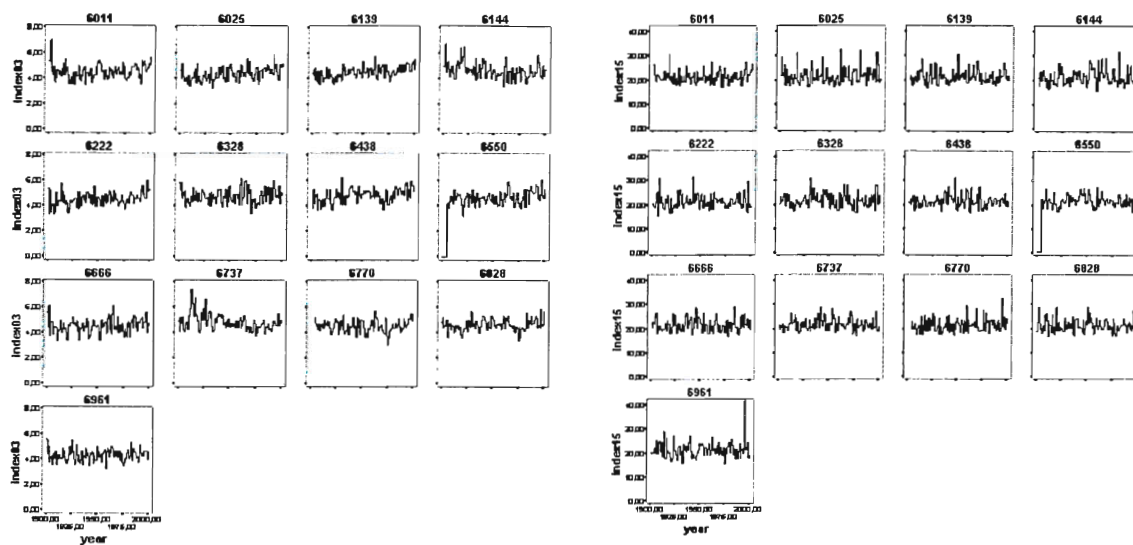
Het verloop van I_{03} op de verschillende stations is erg verschillend (figuur 6.5). Op de meeste stations wordt tot ongeveer 1925 geen, of een lichte dalende tendens gevonden in de I_{03} . Een uitzondering zijn de noordelijke stations waar rond 1915 een licht maximum in de I_{03} gevonden wordt. Op de zuidelijke stations wordt eenzelfde piek gevonden rond 1925. Na 1925 wordt in het algemeen een constante lichte toename van de I_{03} gevonden. Hierop zijn echter een aantal uitzonderingen te vinden.

Het verloop op de stations Heerde (6328) en Roermond (6961) is niet duidelijk veranderd gedurende de tijd, terwijl op Ter Apel (6144) en Axel/Westdorpe (6770) een (lichte) afname van I_{03} gevonden kan worden tot ongeveer 1975, waarna een lichte stijging wordt gevonden.

Kerkwerpe (6737) vertoont tot 1925 karakteristieken van zowel de noordelijke en zuidelijke stations, waarna het verloop ongeveer gelijk is aan Ter Apel (6144) en Westdorpe (6770).

Met uitzondering van de trends (figuur 6.6) die gevonden worden in West Terschelling (6011), Heerde (6328), Winterswijk (6666), Axel/Westdorpe (6770) en Roermond (6961) wordt er op de stations een significante trend gevonden worden in de I_{03} . Deze trend is negatief voor de stations Ter Apel (6144) en Kerkwerpe (6737), terwijl die op de andere stations positief is.

Dat station Kerkwerpe een afwijkende trend vertoont is niet verbazend vanwege de vraagtekens die in eerdere hoofdstukken bij de neerslagwaarnemingen zijn gezet, ook bij Ter Apel zijn al eerder, in mindere mate, afwijkende trends gevonden.

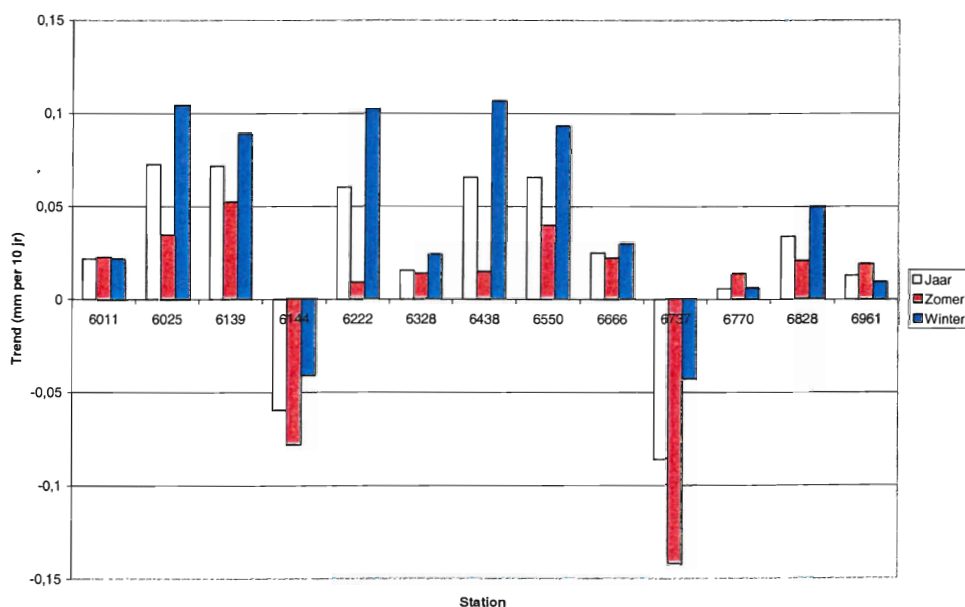


Figuur 6.5 Jaargemiddelde I_{03} (l) en de I_{15} (r) op de verschillende stations

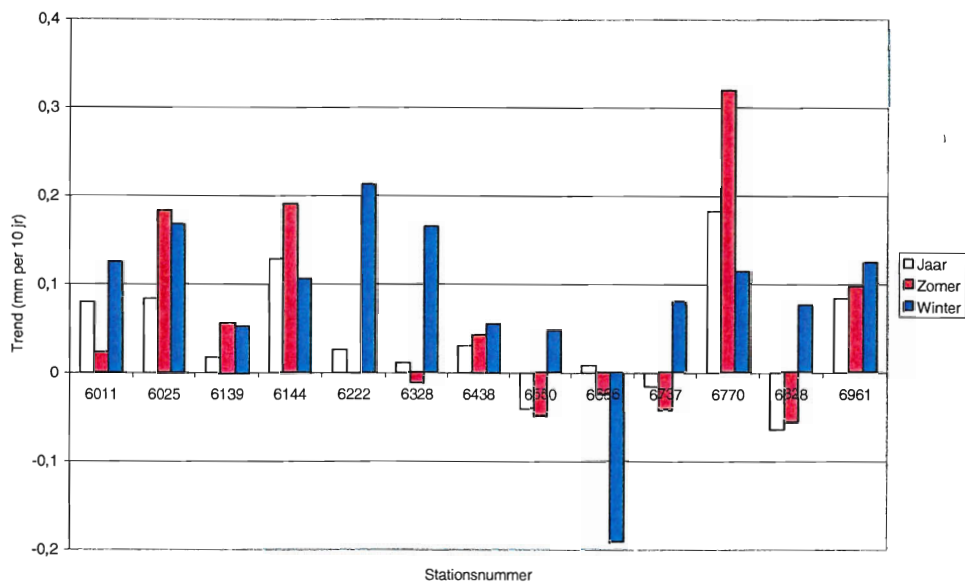
Over het algemeen is er niet een duidelijke trend te vinden in de I_{15} gedurende de onderzoeksperiode op de verschillende stations (figuur 6.5). Elk station vertoont wel een aantal periodes waar een iets hogere I_{15} gevonden wordt vergeleken met andere jaren, maar deze periodes zijn niet gelijk voor de verschillende stations, hoewel de meeste stations rond 1920-1925 wel een soort minimum in de I_{15} laten zien.

Vergeleken met de I_{03} zijn de extremen bij de I_{15} een stuk groter. Er zijn echter geen duidelijke jaren te vinden waar elk station een duidelijke piek in de I_{15} laten zien. Deze pieken worden vooral veroorzaakt door zware buien, die in het algemeen erg plaatselijk van karakter zijn, hierdoor kan op het ene station een zware overschrijding van de drempelwaarde van 15 mm gevonden worden, terwijl die drempel op een ander station helemaal niet overschreden is.

De niet duidelijke trend die met het oog te zien is, wordt ook gevonden als gekeken wordt naar de statistische trend (figuur 6.7). Op geen van de stations kan een significante ($\alpha=0,05$) trend gevonden worden. Het is dan ook niet zo, dat de neerslaghoeveelheden op een dag met een extreme hoeveelheid neerslag veranderd zijn gedurende de periode 1901-2001.



Figuur 6.6 Trends (1901-2001) in de I_{03} gedurende het jaar (wit), zomer (rood) en winter (blauw) voor de verschillende stations.



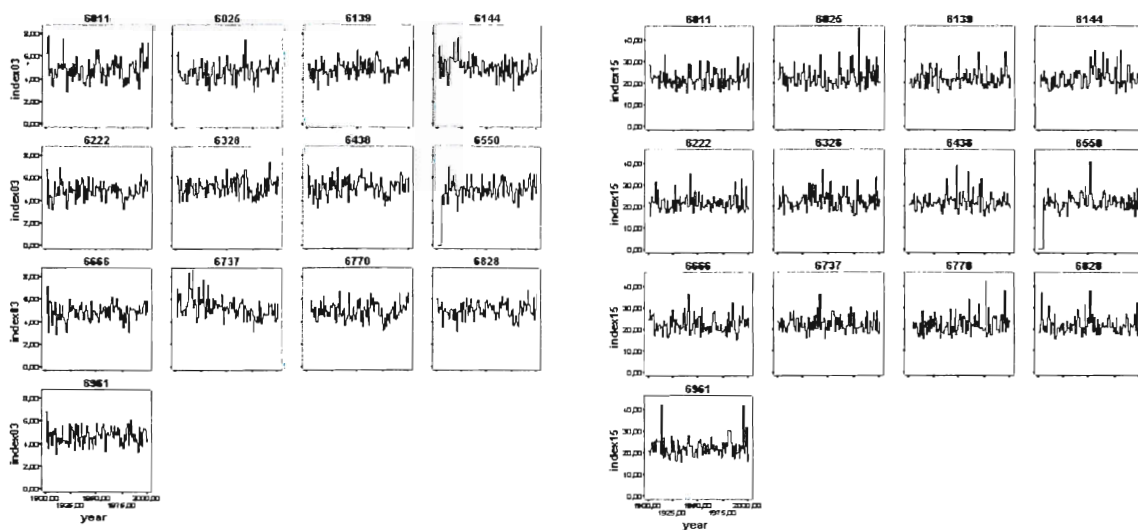
Figuur 6.7 Idem als figuur 6.6, maar nu voor de I_{15}

De toename van de neerslaghoeveelheden die op een aantal stations gevonden wordt op een neerslagdag (I_{03}) op een jaarlijkse basis wordt dus niet veroorzaakt door veranderingen in de neerslaghoeveelheden op dagen met veel neerslag. De I_{15} vertoont immers geen duidelijke verandering tussen 1901-2001.

6.2.2 Zomer

Vergelijken we het verloop van de I_{03} van de zomer (figuur 6.8) met de jaargemiddelde I_{03} (figuur 6.5) dan valt gelijk op dat de variatie in deze index veel groter is geworden. Ook is er minder duidelijk een trend te vinden in de index in de zomer. De meeste stations vertonen tot ongeveer 1970 een constant verloop gedurende de tijd. Daarna wordt op de stations rond 1975 een minimum gevonden in deze index. De duur van dit minimum en ook de diepte van dit minimum is verschillend voor de verschillende stations. Na dit minimum wordt er (met uitzondering van Roermond (6961) een duidelijke stijging gevonden in de I_{03} .

Er zijn echter een aantal stations te vinden waar wel een eenduidig verloop te vinden is, maar die niet



Figuur 6.8 Idem als figuur 6.5, maar nu voor het zomerseizoen

genoeg is om significant te zijn. In Groningen (6139) heeft er zich bijvoorbeeld tot het midden van de jaren 60 een langzaam stijgende toename van I_{03} voorgedaan.

Als we voor dit station naar de statistische trend kijken, dan vinden we een significant positieve trend. Op de overige stations wordt geen significant positieve trend gevonden. Dit in tegenstelling tot het landelijk gemiddelde waar deze wel gevonden wordt.

Ook Ter Apel (6144) en Kerkwerve (6737) vertonen in de zomer een afwijkend verloop in de I_{03} . Op deze stations wordt een oplopend verloop gevonden van de index tot ongeveer 1920, waarna een duidelijk dalende trend gevonden wordt tot ongeveer 1975. Daarna vind er weer, in lijn met de andere stations, een stijging plaats. De statistische trends op deze stations zijn significant negatief (figuur 6.6). Dit houdt dus in dat er zich een significante afname heeft voorgedaan in de neerslaghoeveelheid op een neerslagdag op deze stations. Echter, zoals eerder gezegd, de gevonden trends op deze stations zijn twijfelachtig.

Het is niet zo dat stations die bij elkaar in de buurt liggen een overeenstemmend verloop hebben in de I_{03} . Ook in de trend is zo iets niet terug te vinden te zijn. Er kan dus zowel voor het verloop, als voor de trend geen duidelijke ruimtelijke verandering gevonden worden in de I_{03} .

Ook de variabiliteit van de I_{15} is toegenomen in de zomer (figuur 6.8), vergeleken met het jaargemiddelde (figuur 6.5). Met uitzondering van deze verandering in de extremen kunnen er verder geen duidelijke verschillen in het verloop gevonden worden, in vergelijking met het jaargemiddelde. Daarom zal het verloop op de verschillende stations hier niet verder besproken worden.

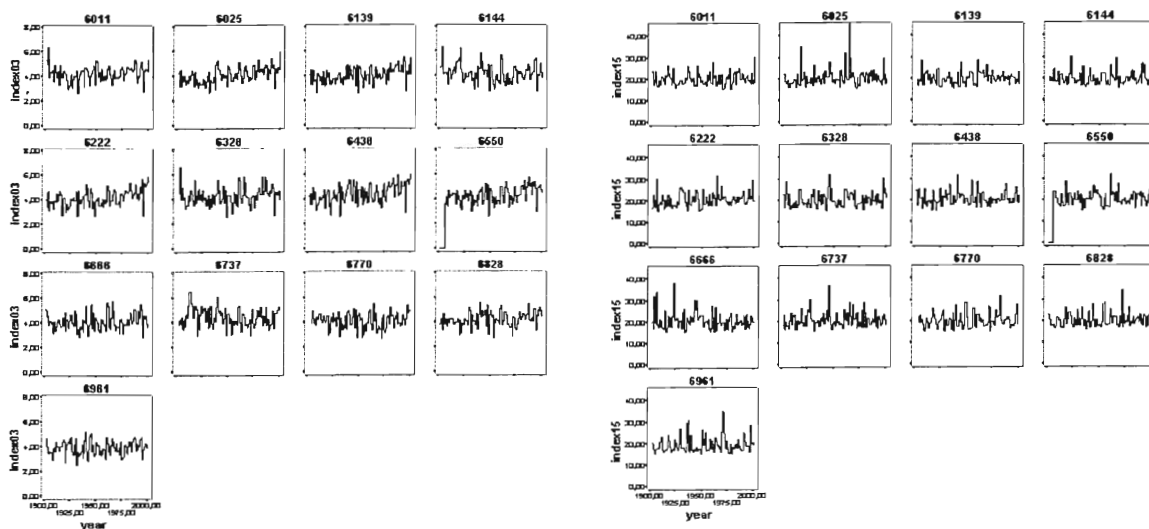
De gevonden trends op de stations zijn, net zoals bij het jaargemiddelde het geval was, niet significant. Ook in de zomer kan dus niet gezegd worden dat op een dag met een extreme neerslaghoeveelheid de hoeveelheid veranderd is gedurende de tijd.

6.2.3 Winter

Vergeleken met de zomer is de variatie in de I_{03} in de winter veel kleiner geworden (figuur 6.9), maar deze variatie is nog wel steeds groter dan in het jaargemiddelde.

Voor het verloop van I_{03} bestaat er een soort tweedeling in het land. In de noordelijke helft van Nederland wordt er vanaf 1925 voor de meest noordelijke stations en vanaf 1950 of nog later voor de zuidelijker gelegen stations een toename van I_{03} gevonden. Voor deze overgang worden er in het algemeen constante of licht dalende verlopen gevonden in de I_{03} . In het zuidelijke deel van het land is er veel minder duidelijk een duidelijk verloop te vinden in de index. Vooral tot 1975 veranderd er niet veel in de index op de verschillende stations. Echter ook hier wordt vanaf ongeveer 1975 een (licht) stijgend verloop gevonden in de index.

Het valt op dat zowel Ter Apel (6144) als Kerkwerve (6737) rond 1910 een periode vertonen met



Figuur 6.9 Idem als figuur 6.5, maar nu voor het winterseizoen

duidelijk hogere I_{03} dan in de jaren ervoor en erna. Ook op andere stations wordt dan een verhoging gevonden, maar het verschil tussen de jaren ervoor en erna is niet zo groot.

Als gekeken wordt naar de trends (figuur 6.6) dan worden er op de stations Den Helder (6025), Groningen (6139), Hoorn NH (6222), Hoofddorp (6438), De Bilt (6550) en Oudenbosch (6828) significant positieve trends gevonden in de I_{03} . Op deze stations is de hoeveelheid in de winter dus significant toegenomen op een neerslagdag. Op de overige stations is dit niet het geval.

Ook in de winter wordt deze toename van de neerslaghoeveelheid op een neerslagdag niet veroorzaakt door een toename in de neerslaghoeveelheden die vallen in het geval van een neerslagdag met een extreme hoeveelheid neerslag. Op geen van de stations vertoont I_{15} namelijk een significante trend (figuur 6.7).

Ook als we kijken naar het verloop kan er geen duidelijke trend gevonden worden. Er kunnen, met uitzondering van de periode net voor 1950 in Winterswijk (6666) en een heel licht maximum rond 1940 in Hoofddorp (6438) geen duidelijke verhogingen of verlagingen gevonden worden in de I_{15} . Toch lijkt er in het midden van het land (Hoorn (6222), Heerde (6328), Hoofddorp (6438) en, in mindere mate, De Bilt (6550)) een geringe stijging van de I_{15} gevonden te worden na ongeveer 1975.

Samenvatting

Landelijk gemiddeld zien we dus in alle onderscheiden seizoenen een toename van de neerslaghoeveelheden op een neerslagdag tussen 1901 en 2001. Deze wordt veroorzaakt door de relatief sterkere toename van het aantal dagen met veel neerslag, omdat de neerslaghoeveelheid op een dag met meer dan 15 mm niet significant is veranderd gedurende deze periode.

Ook op de meeste stations wordt gedurende het jaar en de winter een toename van de neerslaghoeveelheid gevonden, die niet gevonden kan worden in een toename van de hoeveelheid neerslag op dagen met meer dan 15 mm neerslag. In de zomer zijn de neerslaghoeveelheden op een neerslagdag, een aantal uitzonderingen daargelaten en in tegenstelling tot het landelijk gemiddelde, niet duidelijk veranderd gedurende de tijd. Ook kunnen er geen duidelijke veranderingen worden gevonden in de neerslaghoeveelheden die vallen op dagen met een extreme neerslaghoeveelheid.

7. Conclusies

Het blijkt dat de neerslag op de automatische stations tot ongeveer 1980 gecorrigeerd is aan de hand van handwaarnemingen. Door te stoppen met de correctie heeft er een duidelijke breuk plaatsgevonden in de neerslaghoeveelheden op de automatische stations. Hierdoor is het gebruik van neerslagwaarnemingen van de automatische stations gevaarlijk voor het bepalen van trends in de neerslaghoeveelheid en is dan ook niet gedaan.

Gedurende de periode 1901-2001 heeft er landelijk gemiddeld een toename plaatsgevonden van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid. Deze toename wordt voornamelijk veroorzaakt door een toename van de neerslaghoeveelheid in de winter.

Ook voor de meeste stations apart wordt deze toename van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid gevonden, waarbij ook hier geldt dat de toename vooral veroorzaakt wordt door een toename van de neerslaghoeveelheid in de winter. Deze toename is in dit seizoen het sterkst in het noorden van het land.

Hoewel de trends op de meeste stations in de winter wel significant zijn en in de zomer niet, geldt voor de meeste stations dat er geen significant verschil bestaat tussen de trends in deze twee seizoenen.

Er heeft geen significante verandering plaatsgevonden in de landelijk gemiddelde hoeveelheid neerslagdagen gedurende een jaar in de periode 1901-2001. Ook als alleen naar de zomer en winter wordt gekeken is dit niet het geval. Wordt naar de stations apart gekeken dan wordt op de meerderheid van de stations geen significante toe- of afname gevonden in het aantal neerslagdagen gedurende het jaar, in de zomer en in de winter.

Zowel in de zomer, als in de winter, als gedurende het jaar neemt de trend in het aantal dagen dat een bepaalde drempelwaarde overschreden wordt toe bij toenemende drempelwaarden. Er vind dus een relatief grotere verandering plaats in het aantal dagen met veel neerslag dan in het aantal dagen met minder neerslag. Deze toename is echter alleen significant gedurende het jaar en in de winter. In de zomer is dit niet het geval. De relatieve trends zijn dan ook in de winter hoger dan in de zomer. Dit landelijke verloop is niet algemeen geldig voor de verschillende stations. Van station tot station kunnen er grote verschillen gevonden worden in de trend in het aantal overschrijdingen van een bepaalde drempelwaarde.

Gedurende het jaar, in de zomer en in de winter wordt er, landelijk gemiddeld, een toename van de neerslaghoeveelheden op een neerslagdag gevonden tussen 1901 en 2001. Deze toename wordt veroorzaakt door de toename van het aantal dagen met veel neerslag, omdat de neerslaghoeveelheid op een dag met meer dan 15 mm niet significant is veranderd gedurende deze periode.

Ook op de meeste stations wordt gedurende het jaar en in de winter een toename van de neerslaghoeveelheid gevonden, die niet gevonden kan worden in een toename van de hoeveelheid neerslag op dagen met meer dan 15 mm neerslag. In de zomer zijn de neerslaghoeveelheden op een neerslagdag, op een aantal uitzonderingen daargelaten en in tegenstelling tot het landelijk gemiddelde, niet duidelijk veranderd gedurende de tijd. Ook kunnen er dan geen duidelijke veranderingen worden gevonden in de neerslaghoeveelheden die vallen op dagen met een extreme neerslaghoeveelheid.

De uiteindelijke conclusie is dat de toename in de jaarlijkse neerslaghoeveelheid vooral veroorzaakt wordt door het vaker voorkomen van dagen met veel neerslag. Aangezien het aantal neerslagdagen niet is toegenomen vind er dus een verschuiving plaats naar meer dagen met een relatief grote neerslaghoeveelheid. Dit kan ook gevonden worden in een toename van de neerslaghoeveelheid op een neerslagdag. De hoeveelheid neerslag die valt op een dag met een grote hoeveelheid neerslag (meer dan 15 mm) is niet veranderd gedurende de tijd.

Literatuur

Boxel, J. van en E. Cammeraat, 1999a: Wordt Nederland steeds natter; Een analyse van de neerslag in deze eeuw. *Meteorologica*, **8(1)**, 11-15.

Boxel, J. van en E. Cammeraat, 1999b: Nog meer nattigheid? *Weerspiegel*, **26**, 667-672.

Buishand, T.A. en C.A. Velds, 1980: *Neerslag en verdamping*. KNMI, De Bilt, 206 pp.

Buishand, T.A., 1996: *Opmerkingen over de veranderingen in de neerslag*. KNMI, De Bilt, 2 pp.

Frei, C. en C. Schär, 2001: Detection Probabilities of Trends in Rare Events: Theory and Application to Heavy Precipitation in the Alpine Region. *J. Climate*, **14**, 1568-1584.

Heijboer D. en J. Nellestijn, 2002: *Klimaatatlas van Nederland: De normaalperiode 1971-2002*. Elmar, Rijswijk, 182 pp.

Heino, R., R. Brázdil, E. Førland, H. Tuomenvirta, H. Alexandersson, M. Beniston, C. Pfister, M. Rebetz, G. Rosenhagen, S. Rösner en J. Wibig, 1999: Progress in the Study of Climatic Extremes in Northern and Central Europe. *Clim. Change*, **42**, 151-181.

IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.

Klein Tank, A., J. Wijngaard en A. van Engelen: *Climate of Europe: Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes*. European Climate Assessment, 36 pp.

Klok, E.J., 1998: *Indices die de variabiliteit en de extremen van het klimaat beschrijven*. KNMI, De Bilt, 50 pp.

Können, G.P. (Red), 1999: *De toestand van het klimaat in Nederland 1999*. KNMI, De Bilt, 64 pp.

Lucero, O.A., Rozas, D., 2002: Characteristics of aggregation of daily rainfall in a middle-latitudes region during a climate variability in annual rainfall amount. *Atmos. Res.*, **61**, 35-48.

Mason, S.J., P.R. Waylen, G.M. Mimmack, B. Rajaratnam en J.M. Harrison, 1999: Changes in Extreme Rainfall Events in South Africa. *Clim. Change*, **41**, 249-257.

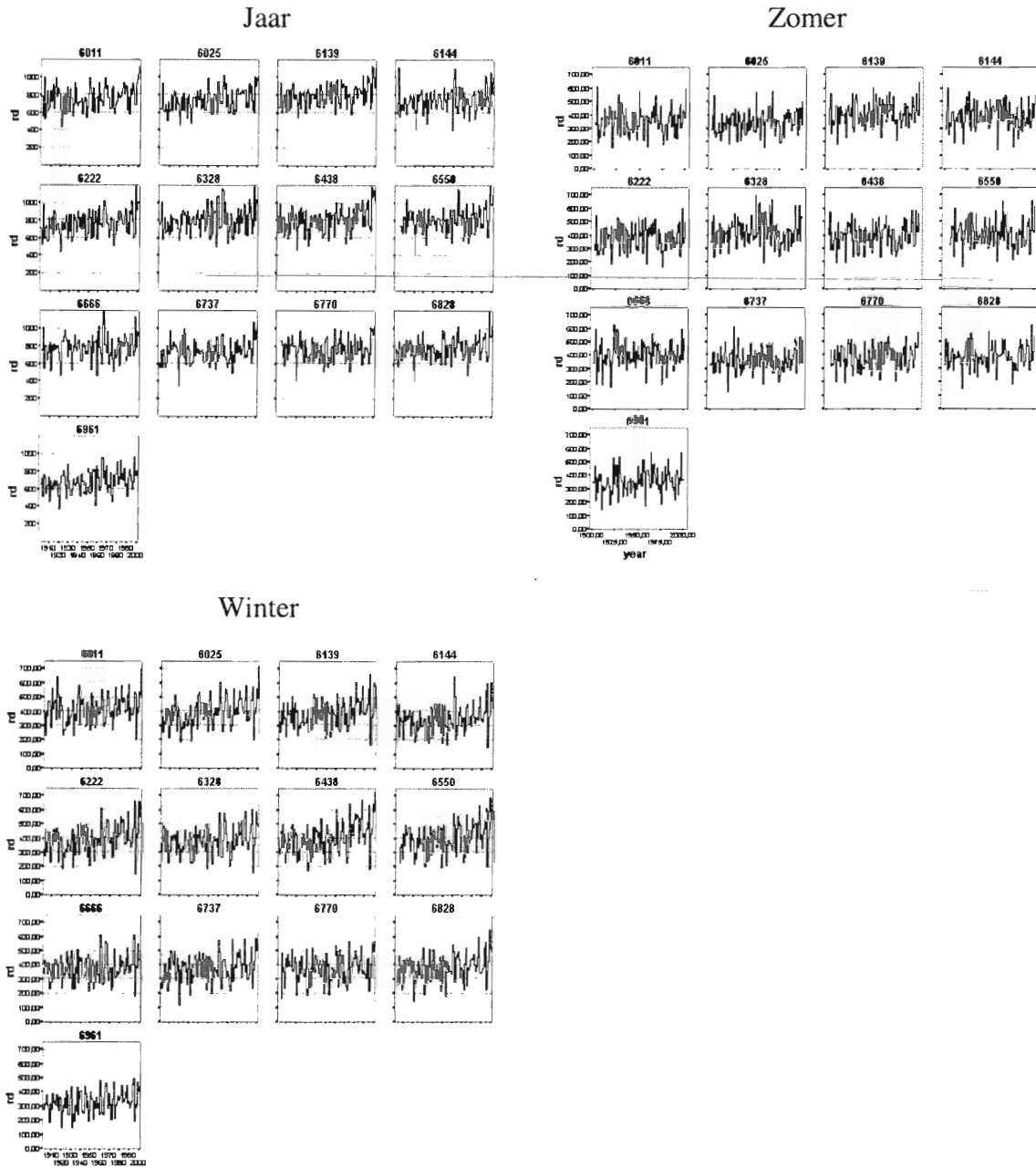
Zhang, X., W.D. Hogg en E. Mekis, 2001: Spatial and Temporal Characteristics of Heavy Precipitation Events over Canada. *J. Climate*, **14**, 1923-1936.

Websites

[1] http://www.knmi.nl/voorl/kd/lijsten/daggem/etmgeg_downl.cgi

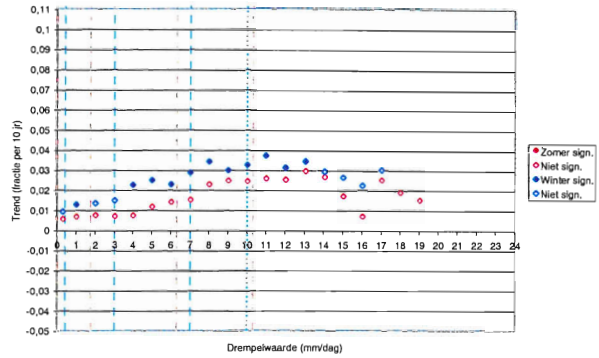
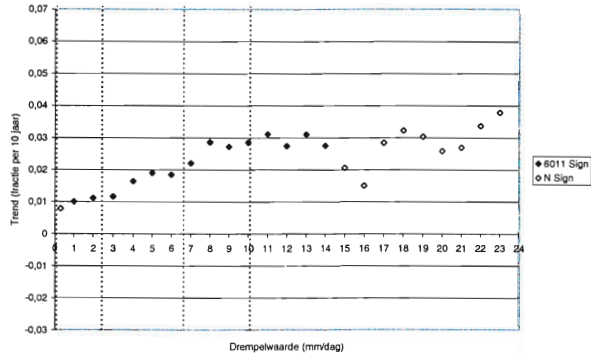
[2] <http://www.knmi.nl/samenw/eca/inddes/r1.gif>

Appendix A Jaarlijkse neerslaghoeveelheid

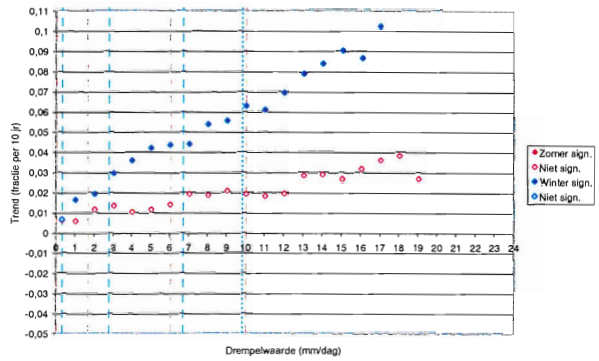
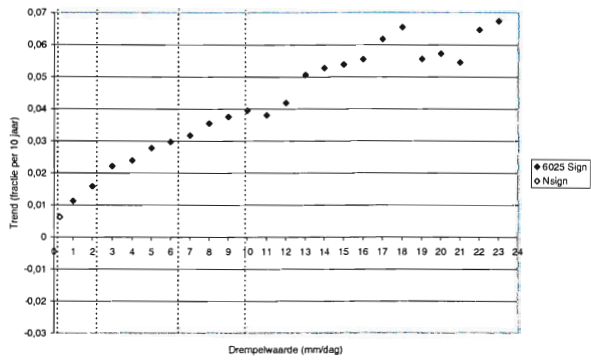


Appendix B Verandering van trend bij toenemende drempelwaarden

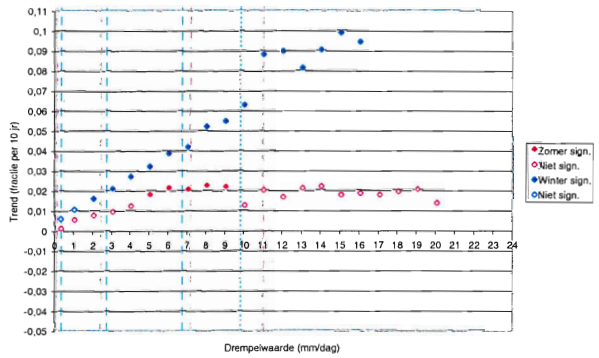
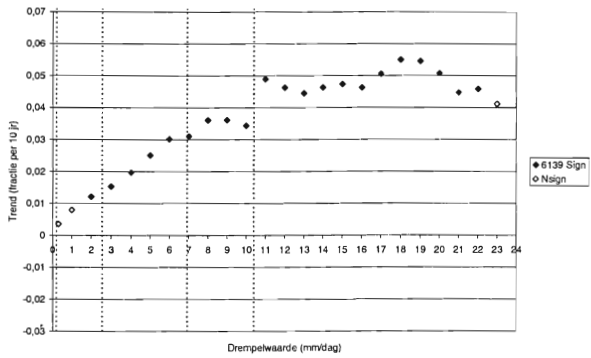
West Terschelling



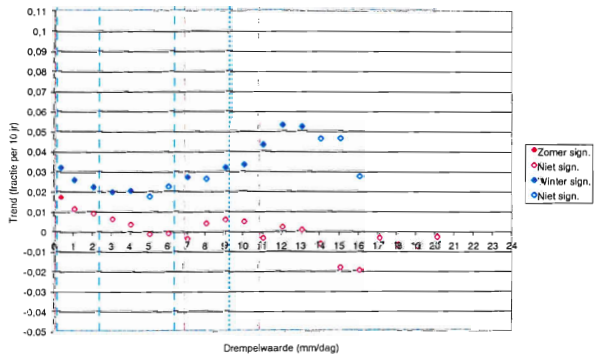
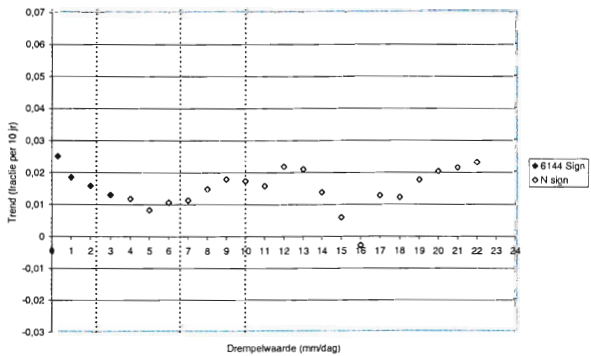
Den Helder/De Kooy



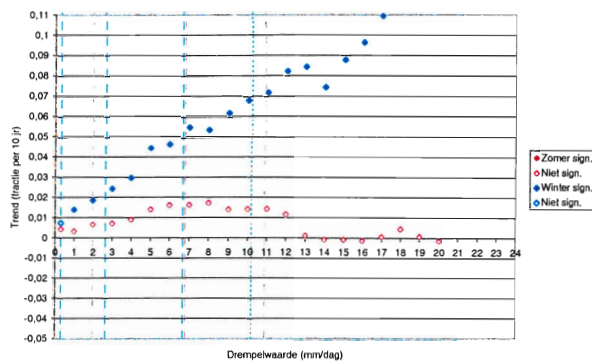
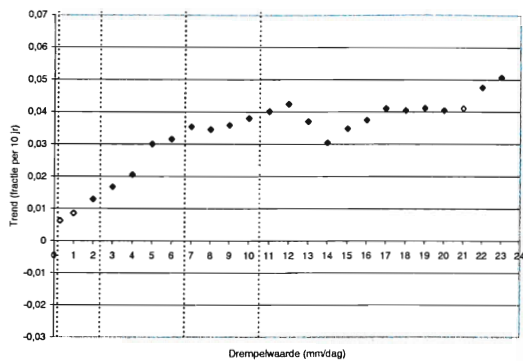
Groningen



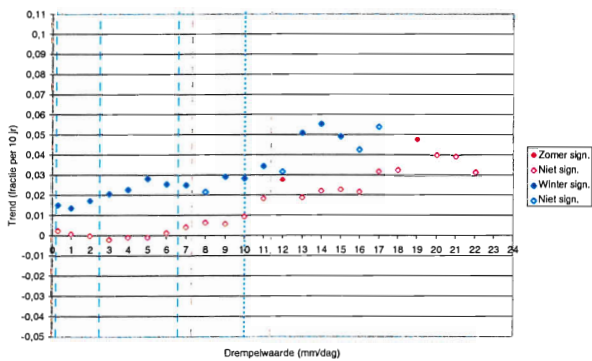
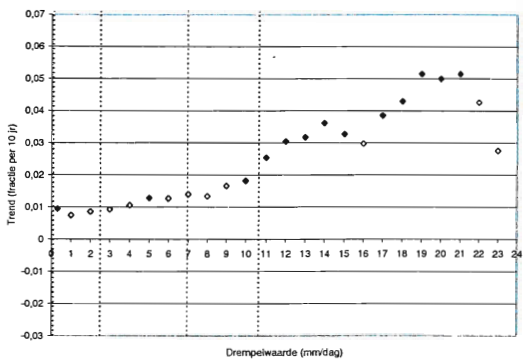
Ter Apel



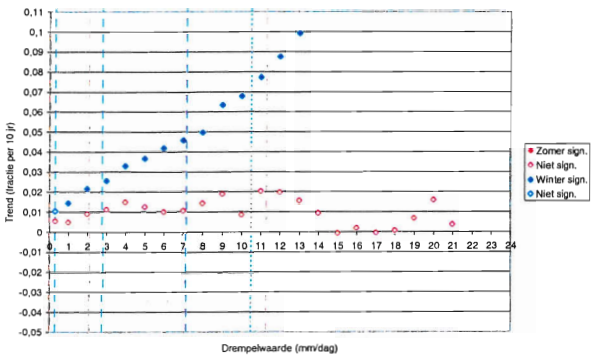
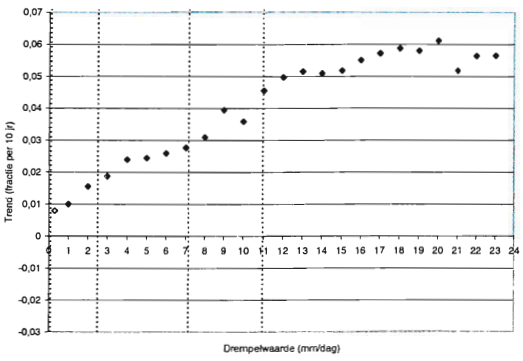
Hoorn NH



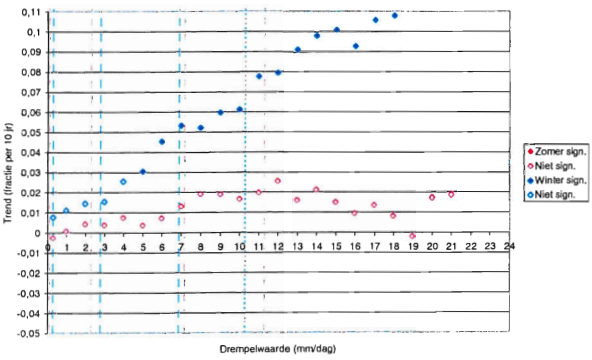
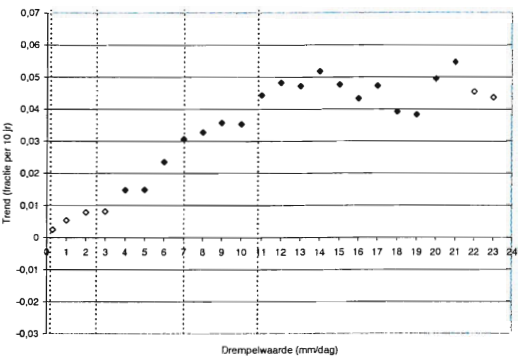
Heerde



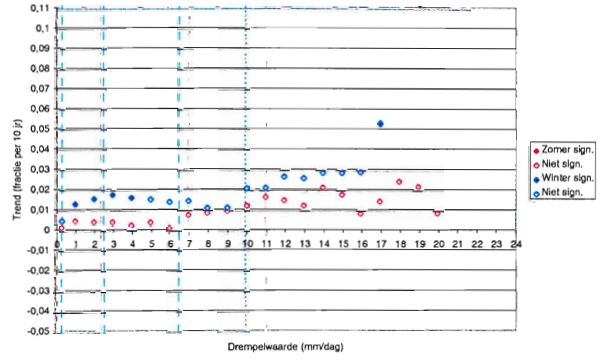
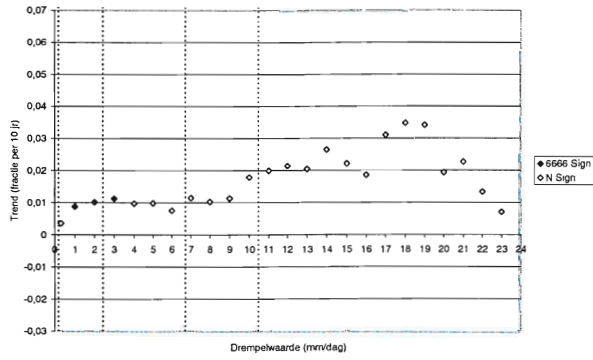
Hoofddorp



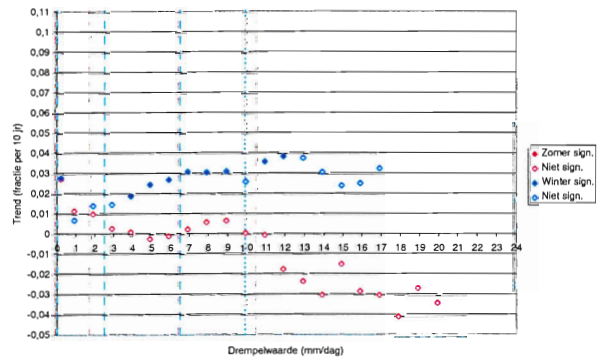
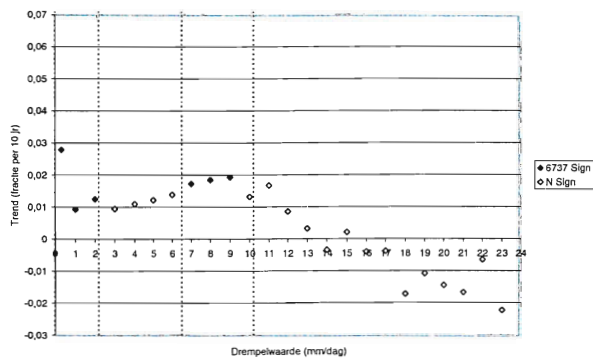
De Bilt



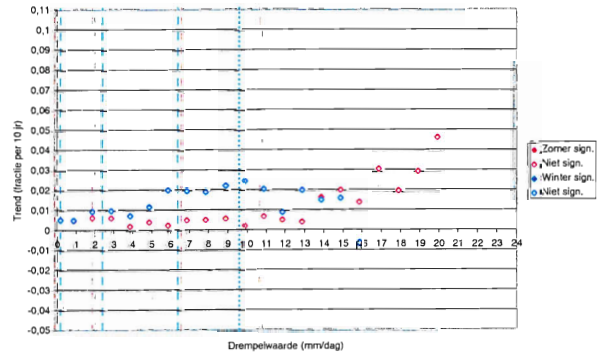
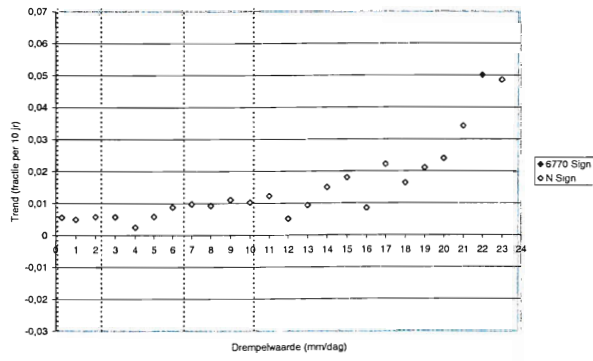
Winterswijk



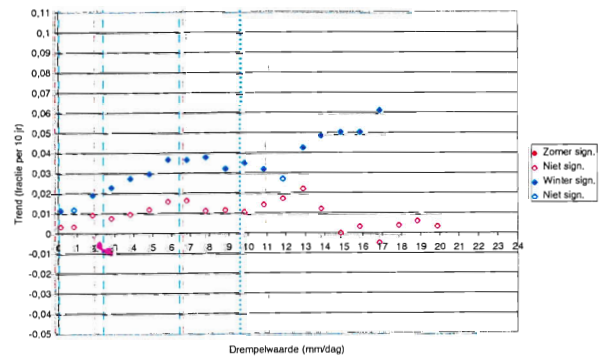
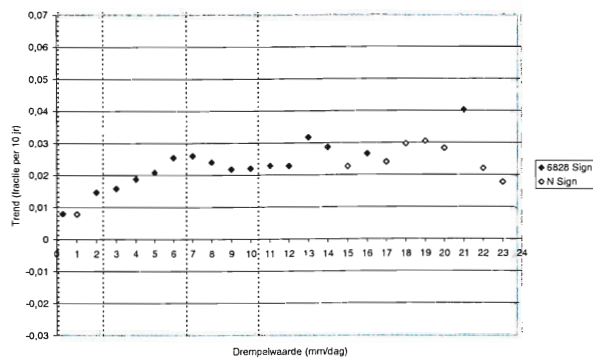
Kerkwerve



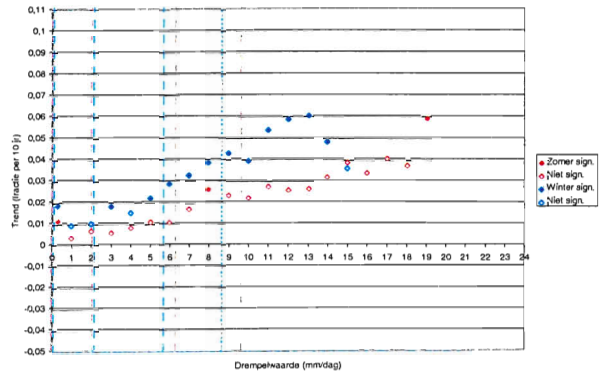
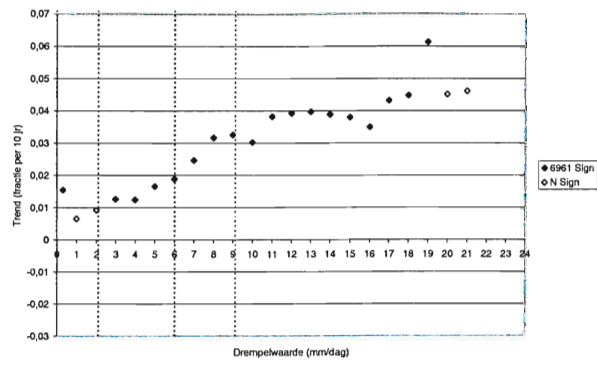
Axel/Westdorpe



Oudenbosch



Roermond



OVERZICHT VAN RECENT VERSCHENEN KNMI-PUBLICATIES

KNMI-PUBLICATIE MET NUMMER

- 186-II Rainfall generator for the Rhine Basin: multi-site generation of weather variables by nearest-neighbour resampling / T. Brandsma a.o.
- 186-III Rainfall generator for the Rhine Basin: nearest-neighbour resampling of daily circulation indices and conditional generation of weather variables / Jules J. Beersma and T. Adri Buishand
- 186-IV Rainfall generator for the Rhine Basin: multi-site generation of weather variables for the entire drainage area / Rafal Wójcik, Jules J. Beersma and T. Adri Buishand
- 189 Aardbevingen in Noord-Nederland in 1998: met overzichten over de periode 1986-1998 / [Afdeling SO]
- 190 Seismisch netwerk Noord-Nederland / [afdeling Seismologie]
- 191 Het KNMI-programma HISKLIM (HISTorisch KLIMaat) / T. Brandsma, F. Koek, H. Wallbrink, G. Können
- 192 Gang van zaken 1940-48 rond de 20.000 zoekgeraakte scheepsjournalen / Hendrik Wallbrink en Frits Koek
- 193 Science requirements document for OMI-EOS / contr. by R. van der A .. [et al.] **(limited distribution)**
- 194-1 De zonsverduistering van 11 augustus 1999, deel 1: de waarnemingen van het gedrag van flora en fauna / J. Kuiper, m.m.v. Guus Kauffeld
- 195 An optimal infrasound array at Apatity (Russian Federation) / Láslo Evers and Hein Haak **(limited distribution)**
- 196-I Rainfall Generator for the Meuse Basin: simulation of 6-hourly rainfall and temperature for the Ourthe catchment / Rafal Wójcik and T. Adri Buishand
- 197 Meteorologie op zee: beknopte handleiding voor waarnemingen op zee [= manual meteorology at sea] **(limited distribution)**

TECHNISCH RAPPORT = TECHNICAL REPORT (TR)

- 228 Evaluation of modified soil parameterization in the ECMWF landsurface scheme / R.J.M. Ijpelaar
- 229 Evaluation of humidity and temperature measurements of Vaisala's HMP243 plus PT100 with two reference psychrometers / E.M.J. Meijer
- 230 KNMI contribution to the European project WRINCLE: downscaling relationships for precipitation for several European sites / B.-R. Beckmann and T.A. Buishand
- 231 The Conveyor Belt in the OCCAM model: tracing water masses by a Lagrangian methodology / Trémeur Balbous and Sybren Drijfhout
- 232 Analysis of the Rijkoort-Weibull model / Ilja Smits
- 233 Vectorization of the ECBilt model / X. Wang and R.J. Haarsma
- 234 Evaluation of a plant physiological canopy conductance model in the ECMWF land surface scheme / J. van de Kasstele
- 235 Uncertainty in pyranometer and pyrhelimeter measurements at KNMI in De Bilt / J.S. Henzing a.o.
- 236 Recalibration of GOME spectra for the purpose of ozone profile retrieval / Ronald van der A
- 237 Tracing water masses in the Atlantic / Yann Friocourt and Siebren Drijfhout
- 238 Klimaat voor Amsterdam Airport Schiphol / A. Smits
- 239 Seismische analyse van de aardbevingen bij Alkmaar op 9 en 10 september en Bergen aan Zee op 10 oktober 2001 / H.W. Haak, B. Dost, F.H. Goutbeek
- 240 EBEX-2000: the KNMI/WAU contribution / W. Kohsiek, E.W. Meijer, P.J.B. Versteeg, O.K. Hartogensis, a.o.
- 241 Ontwikkeling gidsvergelijkingen voor meerdaagse neerslagkansen / D. Vogelesang en K. Kok
- 242 On photosynthesis parameters for the A-gs surface scheme for high vegetation / G.J. Steeneveld
- 243 Temperatuurvergelijkingen voor de Middellange Termijn Gids: ontwikkeling en verificatie over 2000 / J. Wijngaard
- 244 Verification of clear-air turbulence forecasts / A. Overeem
- 245 A comprehensive description of the KNMI seismological instrumentation / B. Dost and H. Haak
- 246 Verandering van neerslakarakteristieken in Nederland gedurende de periode 1901-2001 / A.T.H. Bruin

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT = SCIENTIFIC REPORT (WR)

- 00-03 Salmon's Hamiltonian approach to balanced flow applied to a one-layer isentropic model of the atmosphere / W.T.M. Verkley
- 00-04 On the behaviour of a few popular verification scores in yes-no forecasting / C.J. Kok
- 01-01 Hail detection using single-polarization radar / Iwan Holleman
- 01-02 Comparison of modeled ozone distributions with ozonesonde observations in the tropics / Rob Put
- 01-03 Impact assessment of a doppler wind lidar in space on atmospheric analyses and numerical weather prediction / G.J. Marseille, A. Stoffelen, F. Bouttier, C. Cardinali, S. de Haan and D. Vasiljevic
- 02-01 Quality control and wind retrieval for SeaWinds / M. Potabella and A. Stoffelen
- 02-02 Shortwave radiation and cloud parameterizations for intermediate complexity models / J.J. Beersma, R. van Dorland and J.D. Opsteeg
- 02-03 Sensitivity study of the residue method for the detection of aerosols from space-borne sensors / M. de Graaf
- 02-04 Assimilation of satellite derived surface heating rates in a Numerical Weather Prediction model / Bart van den Hurk and Han The.

