



indices die de variabiliteit en de extremen van het klimaat beschrijven

E.J. Klok

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Technical report = technisch rapport; TR - 211

De Bilt, 1998

PO Box 201
3730 AE De Bilt
Wilhelminalaan 10
De Bilt
The Netherlands
Telephone + 31 (0)30-220 69 11
Telefax + 31 (0)30-221 04 07

Authors: E.J. Klok

UDC: 551.583.1
551.524.36
5551.58

ISSN: 0169-1708

ISBN: 90-369-2148-1



Indices die de Variabiliteit en de Extremen van het Klimaat beschrijven

E.J. Klok

Klimatologische Dienstverlening
KNMI

Landbouwniversiteit Wageningen

begeleider:
A.M.G. Klein Tank

september 1998

Voorwoord

Met erg veel plezier heb ik de afgelopen vier maanden stage gelopen bij de Klimatologische Dienstverlening van het KNMI. Stage lopen is een verplicht onderdeel van mijn studie Bodem, Water en Atmosfeer aan de Landbouwwuniversiteit Wageningen. Bij de Klimatologische Dienstverlening (de KD) heb ik een stage “Meteorologie” van vier maanden gedaan. De KD is binnen het KNMI onderdeel van de sector Waarnemingen en Modellen. De andere afdelingen die tot de sector Waarnemingen en Modellen behoren, zijn: Satellietgegevens, Operationele Waarnemingen, Modelgegevens en Applicaties en Modellen. De KD valideert weergegevens die daarna ingevoerd worden in een klimatologische gegevensbank. De KD publiceert onder andere maandoverzichten van verdamping, neerslag en het weer in Nederland, maar ook dagelijkse weeroverzichten en weekoverzichten. De KD geeft voorlichting en advies en geeft weerverklaringen af in verband met schades en ongevallen veroorzaakt door bijvoorbeeld storm, hagel of gladheid. Daarnaast doet de KD toegepast klimatologisch onderzoek.

Bij de KD heb ik voornamelijk onderzoek gedaan naar indices en indicatoren voor klimaatextremen. Dit verslag beschrijft de resultaten van mijn onderzoek. Het bespreekt 75 indices die gebruikt kunnen worden in rapporten en studies over de variabiliteit en de extremen van het klimaat. Aan het einde van mijn stageperiode heb ik mijn resultaten gepresenteerd tijdens een WM-na-de-lunchpraatje. In een WM-na-de-lunch-praatje houden mensen van de sector Waarnemingen en Modellen een presentatie over hun onderzoek.

Naast mijn onderzoek naar indices voor klimaatextremen volgde ik de meeste colloquia van het KNMI en ben ik naar de negende Klimaatlezing van de Klimaatcommissie van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen geweest. Verder heb ik een aantal ochtenden de telefoondienst van de KD gedaan. Elke ochtend kunnen namelijk bedrijven en particulieren de KD bellen met allerlei vragen over het weer en het klimaat. De vragen lopen uiteen van zonsopkomsten, maanstanden, weerverklaringen, het weer op een bepaalde plaats en dag, klimaatgegevens over Nederland of een ander land, verdamping van een vijver tot inlichtingen over bolbliksems. Ik vond het altijd erg leuk om de telefoondienst te draaien, omdat ik hierdoor te maken kreeg met praktische vragen over het weer en het klimaat. Dat is totaal ander werk dan onderzoek doen, literatuur lezen en achter de computer berekeningen uitvoeren. Veel vragen die bij de telefoondienst binnen komen, kunnen niet meteen beantwoord worden. Eerst moet dan een schriftelijke aanvraag ingediend worden bij de KD. Deze brieven worden vervolgens verdeeld onder de werknemers van de KD die ze dan behandelen. Af en toe heb ik meegeholpen deze brieven te beantwoorden.

Ik heb ook nog een dagje meegelopen in de weerkamer. Daar hielp ik mee met het opstellen van de weerberichten voor teletekst, de radio en de KNMI-weerlijnen en het beantwoorden van telefoontjes over neerslagverwachtingen.

Albert Klein Tank van het KNMI was de begeleider van mijn stage. Hij kwam met het idee onderzoek te doen naar indices voor klimaatextremen. Hij heeft mijn resultaten altijd kritisch bekeken en daar ben ik erg blij mee. Ik kon met al mijn vragen bij hem terecht. Voor dit alles wil ik hem heel hartelijk bedanken. Verder wil ik alle andere collega's van de Klimatologische Dienstverlening bedanken voor de plezierige tijd die ik er heb gehad.

Lisette Klok
september 1998

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Lijst met figuren	5
1 Inleiding	7
2 Neerslagindices	9
2.1 Inleiding	9
2.2 Neerslagsom	9
2.3 Neerslagdagen.....	11
2.4 Neerslagduur.....	14
2.5 Neerslagintensiteit.....	15
3 Temperatuurindices	19
3.1 Inleiding	19
3.2 Jaargemiddelde temperaturen	19
3.3 Maandgemiddelde temperaturen	20
3.4 Zomertemperaturen.....	21
3.5 Wintertemperaturen.....	23
3.6 Extreme dagtemperaturen.....	25
3.7 Dagelijkse gang in temperatuur.....	27
3.8 Variantie in de jaargemiddelde temperatuur	28
4 Windindices.....	29
4.1 Inleiding	29
4.2 Windsnelheid.....	29
4.3 Windrichting	30
5 Luchtdrukindices.....	31
5.1 Inleiding.....	31
5.2 Gemiddelde en minimum luchtdruk.....	31
5.3 Aantal dagen waarop een bepaalde luchtdruk wordt overschreden	32
6 Luchtvochtigheidsindices	33
6.1 Inleiding	33
6.2 Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid.....	33
7 Zonneschijnindices.....	35
7.1 Inleiding	35
7.2 Zonneschijnduur.....	35
7.3 Zonloze dagen.....	36
8 Sneeuw-, hagel- en onweerindices	37
8.1 Inleiding	37
8.2 Aantal dagen per jaar met sneeuw, hagel of onweer	37
9 Overige indices.....	39
9.1 Inleiding.....	39
9.2 Indices	39
10 De Noord Atlantische Oscillatie.....	41
10.1 Inleiding	41
10.2 Theorie van de NAO	41
10.3 NAO en het winterklimaat van De Bilt.....	42
11. Discussie, conclusies en aanbevolen indices	47
11.1 Discussie en conclusies.....	47
11.2 Aanbevolen indices.....	47
Literatuur.....	49

Lijst met figuren

Figuur 1 Annual precipitation	9
Figuur 2 Summer precipitation (AMJJAS).....	9
Figuur 3 Winter precipitation (ONDJFM).....	9
Figuur 4 Distribution in time of dry and wet years in De Bilt.....	10
Figuur 5 Distribution of daily precipitation amounts for three periods	11
Figuur 6 Precipitation days in summer (JJA).....	12
Figuur 7 Precipitation days in winter (DJF).....	12
Figuur 8 Number of dry days (Precipitation <0.1 mm)	12
Figuur 9 Number of days exceeding the 90th and 95th percentile	13
Figuur 10 Maximum n-day total precipitation	13
Figuur 11 Maximum amount of precipitation of 5 consecutive days in one year.....	13
Figuur 12 Annual precipitation	14
Figuur 13 Precipitation duration summer (AMJJAS).....	14
Figuur 14 Precipitation duration winter (ONDJFM).....	14
Figuur 15 Annual precipitation rate	15
Figuur 16 Summer precipitation rate (JJA)	15
Figuur 17 Average of maximum hourly precipitation of precipitation days	15
Figuur 18 Number of days with maximum hourly precipitation exceeding 4.0 mm.....	16
Figuur 19 Distribution of daily precipitation intensities for two periods.....	16
Figuur 20 Variation and trends in precipitation days in each of the five categories of daily precipitation intensities.....	17
Figuur 21 Annual mean temperature	19
Figuur 22 Annual maximum temperature	19
Figuur 23 Annual minimum temperature	19
Figuur 24 Trend of average temperatures	20
Figuur 25 Trend of maximum temperatures	20
Figuur 26 Trend of minimum temperatures	20
Figuur 27 Temperature differences between 1961-1990 and 1901-1930.....	21
Figuur 28 Number of summer days (MJJAS)	22
Figuur 29 Number of hot days (MJJAS)	22
Figuur 30 Heat sum (MJJAS)	22
Figuur 31 Summer mean temperature (JJA).....	22
Figuur 32 Longest duration Tmax \geq 25 oC (MJJAS).....	23
Figuur 33 Difference mean-median of the maximum air temperature (JJA).....	23
Figuur 34 Number of summer days less than 13 oC (JJA)	23
Figuur 35 Number of frost days (DJF).....	24
Figuur 36 Number of ice days (DJF).....	24
Figuur 37 Cold degree days (NDJFM).....	24
Figuur 38 Winter mean temperature (DJF).....	24
Figuur 39 Number of winter days exceeding 8.0 oC.....	25
Figuur 40 Average daily temperature (smoothed) and 10 th end 90 th percentiles (1961-1990) .	25
Figuur 41 Number of days with temperatures not exceeding the 10 th percentile	26
Figuur 42 Number of days with temperatures exceeding the 90 th percentile	26
Figuur 43 Number of days with unusual temperatures.....	26
Figuur 44 Annual mean of diurnal temperature range.....	27
Figuur 45 Number of days exceeding a diurnal temperature range of 14 oC	27
Figuur 46 Intra-annual temperature variance (monthly values)	28

Figuur 47 Difference in mean temperature between DJF and JJA	28
Figuur 48 Annual wind speed	29
Figuur 49 Number of days with S-SW-W wind.....	30
Figuur 50 Number of days with NE-E-SE wind (DJF)	30
Figuur 51 Annual mean pressure anomalies.....	31
Figuur 52 Minimum annual air pressure	31
Figuur 53 Number of days with air pressure < 995 mbar	32
Figuur 54 Number of days with air pressure > 1025 mbar	32
Figuur 55 Annual mean relative air humidity.....	33
Figuur 56 Sunshine duration.....	35
Figuur 57 Number of days with no sunshine	36
Figuur 58 Number of days with snowfall.....	37
Figuur 59 Number of days with hail.....	37
Figuur 60 Number of days with thunder-storms	38
Figuur 61 NAO-index.....	41
Figuur 62 NAO-index and winter precipitation (ONDJFM)	42
Figuur 63 Relation between NAO-index and winter precipitation (ONDJFM).....	42
Figuur 64 NAO-index and winter mean temperature (DJF)	43
Figuur 65 Relation between NAO-index and winter mean temperature (DJF).....	43
Figuur 66 NAO-index and number of days with snowfall (ONDJFM)	43
Figuur 67 Relation between NAO-index and number of days with snowfall (ONDJFM).....	43
Figuur 68 NAO-index and number of days with mean temperature exceeding 8 °C (DJF)	43
Figuur 69 Relation between NAO-index and number of days exceeding 8 °C (DJF).....	43
Figuur 70 NAO-index and number of ice days (DJF)	44
Figuur 71 Relation between NAO-index and number of ice days (DJF).....	44
Figuur 72 NAO-index and number of frost days (DJF).....	44
Figuur 73 Relation between NAO-index and number of frost days (DJF)	44
Figuur 74 NAO-index and number of days with NE-E-SE wind (DJF).....	45
Figuur 75 Relation between NAO-index and number of days with NE-E-SE wind (DJF)	45

1 Inleiding

In 1995 heeft het European Climate Support Network (ECSN) een rapport uitgebracht met als titel "Climate of Europe, Recent variation, present state and future prospects". Dit rapport is het eerste van een serie "European Climate Assessments", die gericht worden aan wetenschappelijke en klimatologische organisaties, maar die ook als doel hebben het algemene publiek te informeren over de variabiliteit van het klimaat.

Het "Second European Climate Assessment" zal in 2000 verschijnen. Het KNMI zal aan de totstandkoming van dit rapport een belangrijke bijdrage leveren. De inhoud ervan zal gericht zijn op de variabiliteit en de extremen van het Europese klimaat en op de variabiliteit van fenomenen die het klimaat beïnvloeden. Dit zijn onder andere karakteristieke luchtdrukpatronen zoals de "North Atlantic Oscillation" (NAO) en het "East Atlantic Pattern". Of El Niño het Europese klimaat beïnvloedt is niet duidelijk. Daarnaast zal gekeken worden naar de voorspelbaarheid van deze fenomenen.

Sinds een aantal jaren is er veel interesse in klimaatextremen en is hierover meer geschreven in de literatuur. Ook het "Third Assessment Report" van het "Intergovernmental Panel on Climate Change" (IPCC) dat eind deze eeuw uitgebracht wordt, zal ingaan op de vraag of het klimaat extremer of variabeler is geworden. CLIVAR is een programma dat het IPCC hierbij ondersteunt. Daarom heeft CLIVAR in samenwerking met het GCOS (Global Climate Observing System) en het WMO (World Meteorological Organisation) in 1997 een workshop georganiseerd over indices en indicatoren voor klimaatextremen. Ook het ECSN levert met de "European Climate Assessments" een bijdrage aan het IPCC-rapport.

Verschillende indices en indicatoren kunnen gebruikt worden om de extremen en de variabiliteit van het Europese klimaat te beschrijven. Dit verslag geeft een opsomming van mogelijke indices die in het tweede ECSN-rapport gebruikt kunnen worden. Het KNMI kan dit verslag gebruiken om ideeën op te doen en te bepalen welke indices interessant zijn voor het tweede ECSN-rapport. De indices worden beschreven per klimatologisch element.

Klimatologische elementen zijn meteorologische grootheden die het klimaat beschrijven zoals neerslag en temperatuur. De beschreven indices worden meestal verduidelijkt aan de hand van een voorbeeldgrafiek waarin de gegevens van De Bilt van de afgelopen eeuw zijn gebruikt. Vaak wordt ook verwezen naar voorbeelden in de literatuur. De gegevens uit 1945 van neerslag- en windmetingen zijn niet helemaal compleet waardoor er soms een punt mist in de voorbeeldgrafieken. Van elk klimatologisch element wordt vermeld welke indices gebruikt zijn in het "First European Climate Assessment" van het ECSN.

De beschreven indices zijn altijd gepresenteerd in de vorm van een grafiek, omdat de indices toegepast zijn op gegevens van één weerstation. Wanneer de indices voor verschillende steden in Europa worden berekend, dan kunnen van al die steden aparte grafieken gemaakt worden. Ook kunnen deze waardes gepresenteerd worden in kaartvorm, maar niet alle indices kunnen gepresenteerd worden in kaartvorm. De meeste indices zullen daarvoor aangepast moeten worden. Zo kan bijvoorbeeld de trend over afgelopen eeuw in de jaargemiddelde temperatuur onderverdeeld worden in 6 klassen: drie stijgende trends en drie dalende trends. Op een kaart kunnen plaatsen met een dalende trend in de jaargemiddelde temperatuur gekenmerkt worden door een leeg rondje en plaatsen met een stijgende trend door een gevuld rondje. De drie groottes van het rondje geven de grootte van de trend weer.

Wanneer de indices bestudeerd worden, zal opvallen dat veel indices op elkaar lijken, maar alleen verschillende klimaatelementen betreffen. Meestal worden dezelfde berekeningen aan

een element gedaan om een interessante index te verkrijgen. De beschreven indices zijn vaak een combinatie van de volgende berekeningen.

Klimaat-elementen kunnen gemiddeld of gesommeerd worden over verschillende periodes: een jaar, een halfjaar, een seizoen, een maand of een aantal jaren. Een element gemiddeld over een 30-jarige periode (1901-1930, 1931-1960 of 1961-1990) wordt een normaal genoemd.

Per periode kan het aantal dagen geteld worden waarop een bepaald weertype voorkomt of een bepaalde waarde wordt overschreden of niet wordt overschreden. Deze waarde kan bijvoorbeeld het vriespunt zijn, maar het kan ook een bepaald percentiel zijn. Per periode kan de hoogste of de laagste waarde van een klimaat-element bepaald worden of een aantal hoogste of laagste waarden van een bepaald element gesommeerd worden. Daarnaast kunnen positieve of negatieve verschillen tussen een elementwaarde en een drempelwaarde gesommeerd worden over een periode. Van een reeks waarden kan de mediaan of de variantie bepaald worden.

Klimaat-elementen kunnen gepresenteerd worden als afwijkingen van het gemiddelde of als afwijking van de normaal. Vaak worden lopende gemiddelden berekend. Dan wordt bijvoorbeeld aan elk jaar van een reeks jaren, het gemiddelde van x aantal omliggende jaarwaarden toegekend. Hierdoor worden veranderingen op korte tijdschaal onderdrukt en veranderingen op grotere tijdschaal zichtbaar. Daarnaast kunnen trends over een bepaalde periode berekend worden.

De hoofdstukken behandelen achtereenvolgens neerslagindices, temperatuurindices, windindices, luchtdrukindices, luchtvochtigheidsindices, zonneschijnindices en sneeuw-, hagel- en onweerindices. Hoofdstuk 9 beschrijft de overige indices. Hoofdstuk 10 bespreekt kort de relatie tussen de variabiliteit van het klimaat en de Noord Atlantische Oscillatie, want de NAO verklaart soms voor een deel de stijgende en dalende trends, de hoge en de lage pieken in de grafieken. Het laatste hoofdstuk bestaat uit de discussie. Ook worden in dit hoofdstuk de indices vermeld die naar mijn idee interessante informatie geven over de variabiliteit en de extremen van het klimaat.

2 Neerslagindices

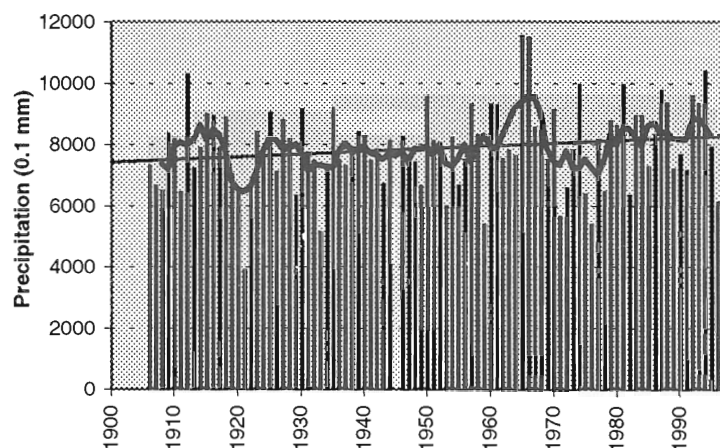
2.1 Inleiding

Het ECSN-rapport (1995) geeft voor een aantal steden in Europa het verloop van de jaarlijkse neerslagsom en de neerslagsom per seizoen. Daarnaast bevat het kaartjes van de neerslaganomalieën van de periode 1981-1990 ten opzichte van 1951-1980 voor jaarlijkse neerslagsommen en neerslagsommen per seizoen. Deze indices geven informatie over het verloop van gemiddelde waarden. Het zijn de meest voor de hand liggende indices. Er zijn nog vele andere neerslagindices die informatie geven over extremen. Achtereenvolgens worden in de paragrafen van dit hoofdstuk indices beschreven die te maken hebben met neerslagsommen, neerslagdagen, neerslagduur en neerslagintensiteiten.

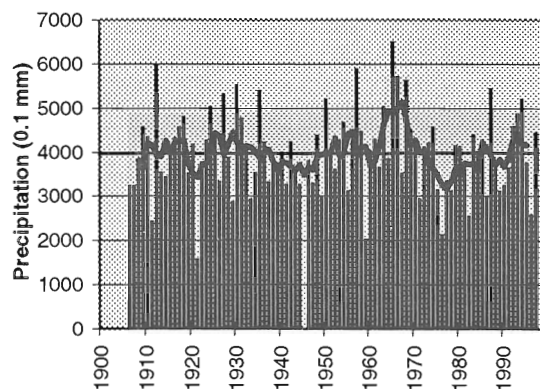
2.2 Neerslagsom

Allereerst is er de jaarlijkse neerslagsom (*1 Annual precipitation*). Deze index toont duidelijk droge en natte jaren. Van de periode 1906-1997 is in De Bilt 1921 het droogste jaar geweest. Door 5-jaar lopende gemiddelden van de jaarlijkse neerslagsom te berekenen en deze in dezelfde grafiek uit te zetten zijn droge en natte periodes te herkennen. Een andere methode die het verloop van de neerslagsom over een langere tijdschaal toont is de jaarlijkse neerslagsom geaccumuleerd over vier jaren en uitgezet tegen het laatste jaar van de vier. Dit is

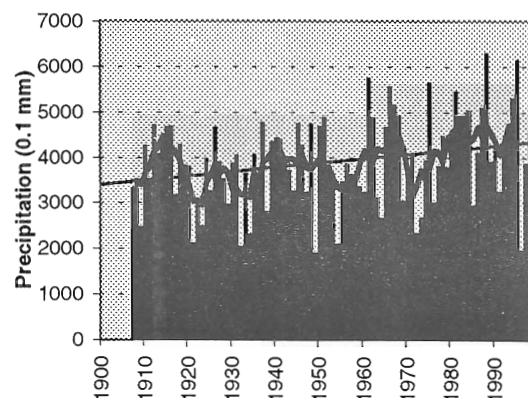
gedaan voor gegevens van Madrid en San Fernando in het ECSN-rapport (ECSN, 1995). Voor De Bilt zijn de jaren tussen 1960 en 1970 duidelijk nat, gevolgd door een periode met weinig neerslag begin jaren '70. Ook in de jaren omstreeks 1920 valt er gemiddeld gezien weinig neerslag. Naast 5-jaar lopende gemiddelden is de trendlijn in de grafiek getekend. De trendlijn laat voor de gegevens van De Bilt zien dat de jaarlijkse neerslagsom de



Figuur 1 Annual precipitation



Figuur 2 Summer precipitation (AMJJAS)

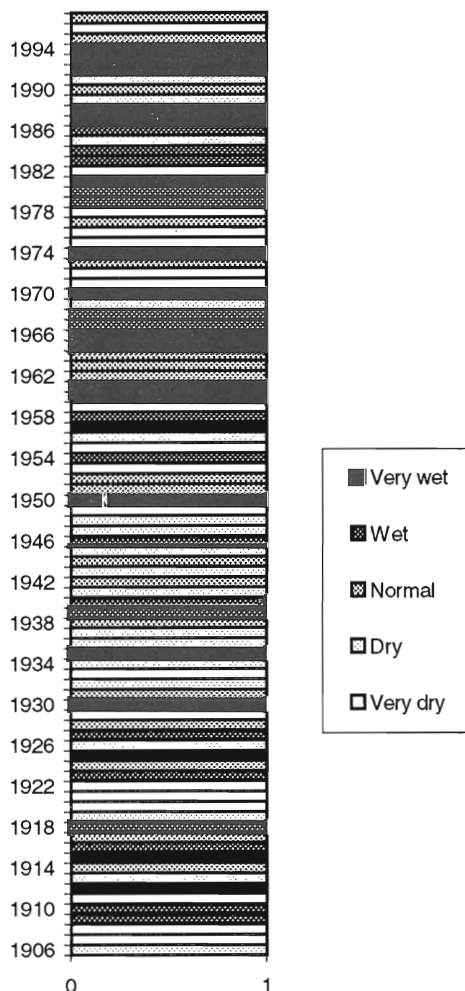


Figuur 3 Winter precipitation (ONDJFM)

afgelopen eeuw met ongeveer 80 mm is toegenomen.

De neerslagsom van het zomerhalfjaar (*2 Summer precipitation(AMJJAS)*) en van het winterhalfjaar (*3 Winter precipitation(ONDJFM)*) tonen veranderingen in de neerslagsom van het betreffende halfjaar. Ook deze grafieken worden duidelijker wanneer 5-jaar lopende gemiddelden en een trendlijn in de grafiek getekend worden. De neerslagsom van het zomerhalfjaar is afgelopen eeuw gemiddeld onveranderd gebleven. De toename van 80 mm in de jaarlijkse neerslagsom wordt verklaard door de toename in neerslag die in het winterhalfjaar valt. De 5-jaar lopende gemiddelden van beide grafieken tonen over het algemeen dezelfde uitschieters als de jaarlijkse neerslagsom. Opvallend in de grafiek van het zomerhalfjaar is de grote piek tussen 1960 en 1970. Deze piek is minder duidelijk aanwezig in het winterhalfjaar. Suppiah and Hennessy (1998) berekenden voor verschillende stations in Australië ook de trend in de neerslagsom voor het zomer- en het winterhalfjaar over de periode 1910-1990. Over het algemeen werden stijgende trends in de

neerslagsom gevonden.



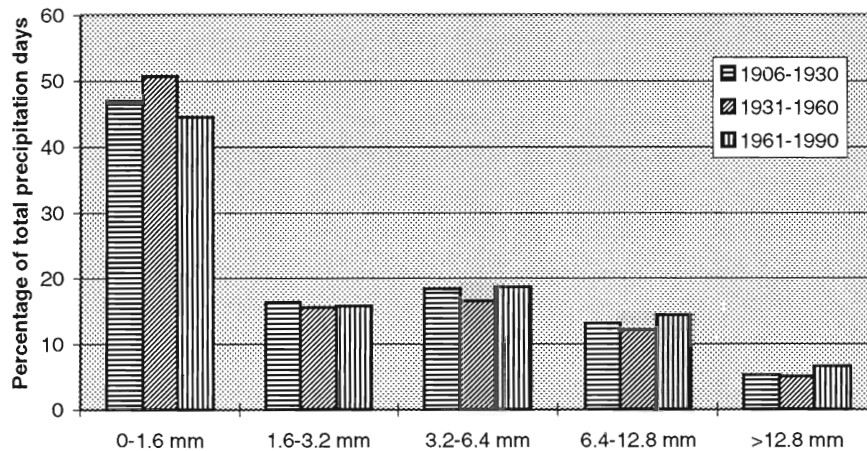
Figuur 4 Distribution in time of dry and wet years in De Bilt

for three periods). Hetzelfde, maar dan voor elk jaar i.p.v. voor drie periodes is gedaan voor de USA, China en de voormalige Sovjet Unie door Karl et al. (1995). Voor De Bilt is het aantal dagen per categorie weergegeven als percentage van het totaal aantal neerslagdagen omdat de eerste periode geen 30 jaren telt en de twee volgende periodes wel. De grenzen van elke categorie zijn niet gebaseerd op kennis over neerslagverdelingen, maar verdubbelen elke keer, zodat niet 100% van de neerslagdagen in één categorie valt. Uit de figuur is op te maken

De volgende index geeft een onderverdeling in droge en natte jaren weer. Jaarlijkse neerslagsommen zijn onderverdeeld in vijf quintielen: erg droog, droog, normaal, nat en erg nat (*4 Distribution in time of dry and wet years in De Bilt*). Daarna is voor elk jaar bepaald tot welk quintiel het behoort. In het ECSN-rapport wordt deze index gebruikt voor gegevens van Madrid. Opvallend voor de gegevens van De Bilt is dat de droge jaren meer aan het begin van deze eeuw voorkomen en de natte jaren meer tijdens de tweede helft van deze eeuw. Daarnaast clusteren de jaren: een nat jaar wordt meestal gevolgd door een nat jaar en een droog jaar door een droog jaar. De jaren tussen 1960 en 1970 zijn weer duidelijk natter dan de omliggende jaren. Eenzelfde grafiek kan gemaakt worden met geaccumuleerde jaarlijkse neerslagsommen over bijvoorbeeld 2, 4 en 10 jaren (ECSN, 1995).

Om inzicht te krijgen in de veranderingen van dagelijkse neerslagsommen zijn de dagsommen van drie tijdvakken onderverdeeld in vijf neerslagcategorien (*5 Distribution of daily precipitation amounts*

dat het percentage dagen met een kleine neerslagsom (< 1.6 mm) van het laatste tijdvak minder is ten opzichte van de voorgaande twee tijdvakken. Het percentage dagen met een neerslagsom boven 6.4 mm is gestegen. Er is een lichte stijging in het aantal dagen met veel neerslag. Niet duidelijk uit deze grafiek wordt of dit het gevolg is van neerslag in de zomer of de winter.



Figuur 5 Distribution of daily precipitation amounts for three periods

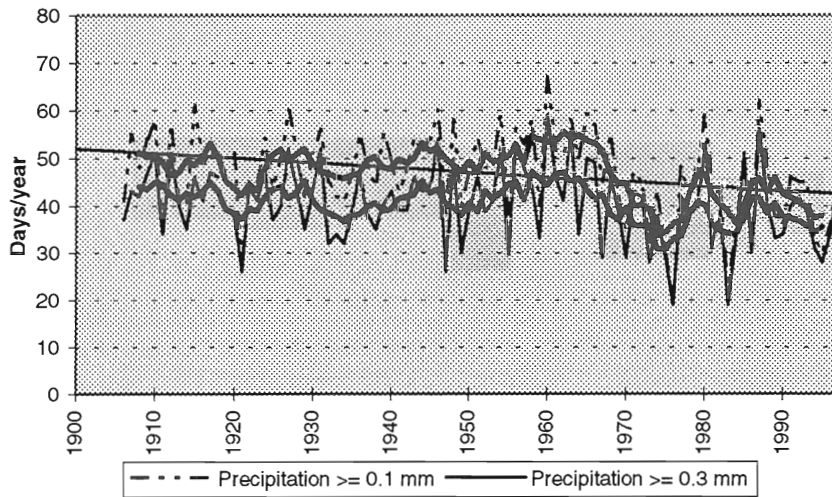
Suppiah en Hennessy (1998) onderzochten de trend in extreme neerslagsommen over de periode 1910-1990 voor verschillende plaatsen in Australië voor het zomer- en het winterhalfjaar door voor elk halfjaar het 90^{ste} en het 95^{ste} percentiel van de neerslagsommen te bepalen en deze uit te zetten in de loop van de tijd. Over het algemeen namen het 90ste en het 95ste percentiel toe over de periode 1910-1990. Deze index is niet toegepast op gegevens van De Bilt.

2.3 Neerslagdagen

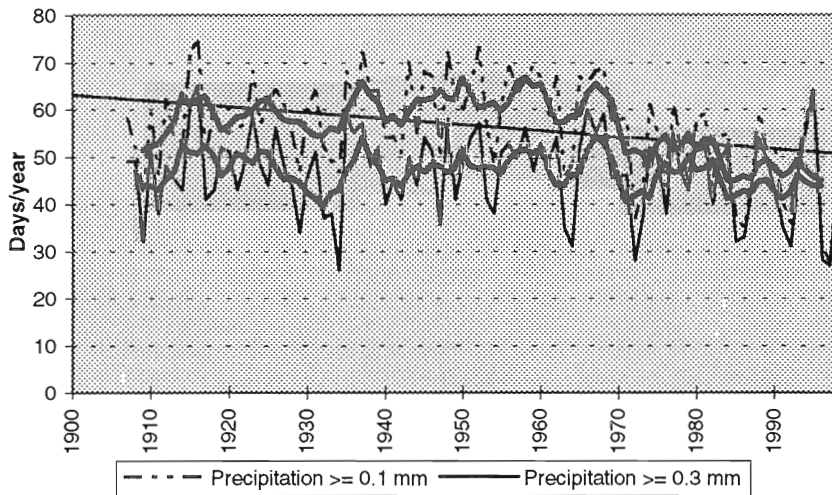
Het aantal droge of natte dagen per periode wordt berekend door het tellen van het aantal dagen waarop de neerslagsom groter of gelijk is aan een bepaalde drempel. Het aantal neerslagdagen kan bijvoorbeeld bepaald worden door het tellen van het aantal dagen met een neerslagsom groter of gelijk aan 0.1 mm. Wanneer de waarneemmethode in de loop van de tijd is gewijzigd, kan het voorkomen dat kleine hoeveelheden neerslag nauwkeuriger worden gemeten waardoor het aantal neerslagdagen per jaar stijgt. Daarom is het tellen van het aantal dagen met neerslag meer dan 0.3 mm een nauwkeuriger methode om het verloop in de tijd van het aantal neerslagdagen per jaar te ontdekken. Dergelijke berekeningen zijn ook gedaan voor zuidwest Australië (Yu and Neil, 1991).

Het aantal neerslagdagen is volgens beide methodes berekend voor zowel de zomer (juni, juli en augustus) (*6 Precipitation days in summer*) als de winter (december, januari, februari) (*7 Precipitation days in winter*). Uit de gegevens van De Bilt blijkt dat voor beide seizoenen het aantal neerslagdagen is afgenomen. Dit blijkt uit zowel de trendlijn als de 5-jaar lopende gemiddelden van het aantal dagen met een neerslagsom ≥ 0.1 mm. Het aantal dagen met een neerslagsom ≥ 0.3 mm toont een minder sterke trenddaling. Vanaf 1970 komt de lijn van 0.1 mm dichterbij de lijn van 0.3 mm te liggen. De winter kent gemiddeld meer neerslagdagen dan de zomer.

Het aantal neerslagdagen is dus afgenomen en de jaarlijkse neerslagsom is toegenomen (Figuur 1). Dit betekent dat de dagelijkse neerslagsom is gestegen hetgeen overeenkomt met Figuur 5.

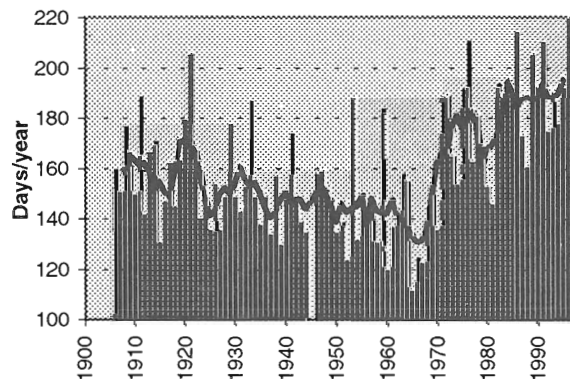


Figuur 6 Precipitation days in summer (JJA)



Figuur 7 Precipitation days in winter (DJF)

1997). De grafiek met het aantal droge dagen is de inverse van de grafiek met het aantal neerslagdagen. Duidelijk te zien is de toename in droge dagen vanaf 1968, die mogelijk te maken heeft met een verandering in de meetmethode. In totaal stijgt het aantal droge dagen met 35 over een periode van 100 jaar. In Australië is over de periode 1910-1990 juist een dalende trend waarneembaar in het aantal droge dagen (Suppiah and Hennessy, 1998). Het 90ste en het 95ste percentiel is berekend over alle neerslagdagen van 1906 tot 1998. Het aantal dagen per jaar dat deze waarden overschrijdt, neemt in de loop van de jaren toe. Dit komt overeen met Figuur 5. De natte periode tussen 1960 en 1970 is in beide figuren terug te vinden.

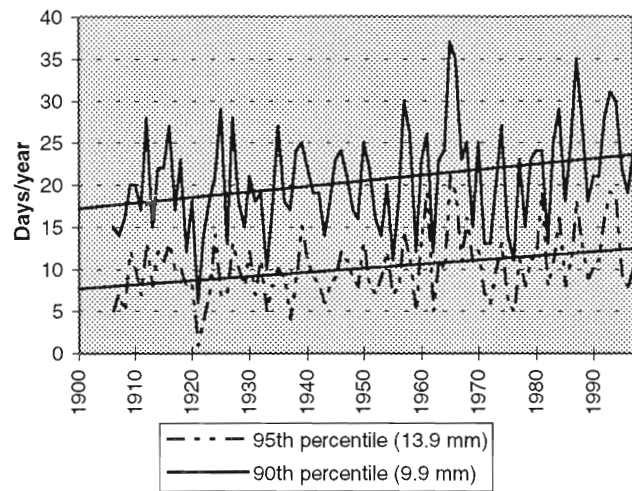


Figuur 8 Number of dry days (Precipitation <0.1 mm)

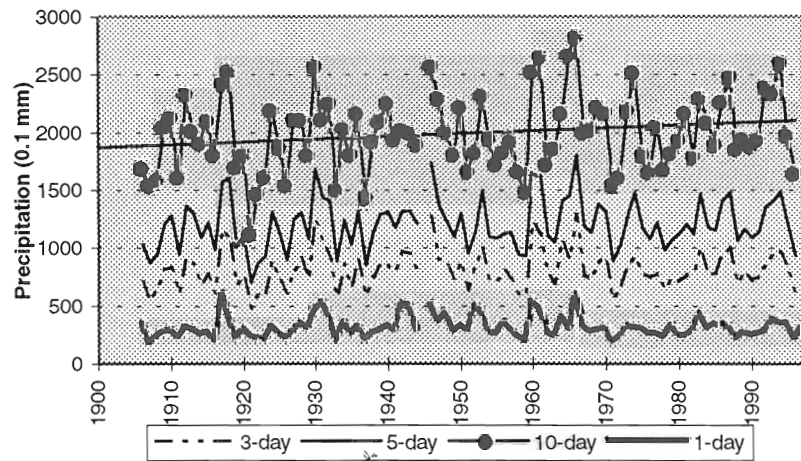
Groisman (1997) heeft voor verschillende gebieden op de aarde, helaas niet voor Europa, het aantal neerslagdagen per jaar en per seizoen berekend. Daarna heeft hij lineaire trends berekend en het aantal neerslagdagen gecorreleerd met neerslagsommen. Voor één gebied heeft hij onderscheid gemaakt tussen regen- en sneeuwval.

Indices die op de voorgaande lijken zijn het aantal droge dagen (neerslag < 0.1 mm) (*8 Number of dry days*) en het aantal dagen met een neerslaghoeveelheid boven het 90ste en 95ste percentiel (*9 Number of days with precipitation exceeding the 90th and 95th percentile*) (Lough,

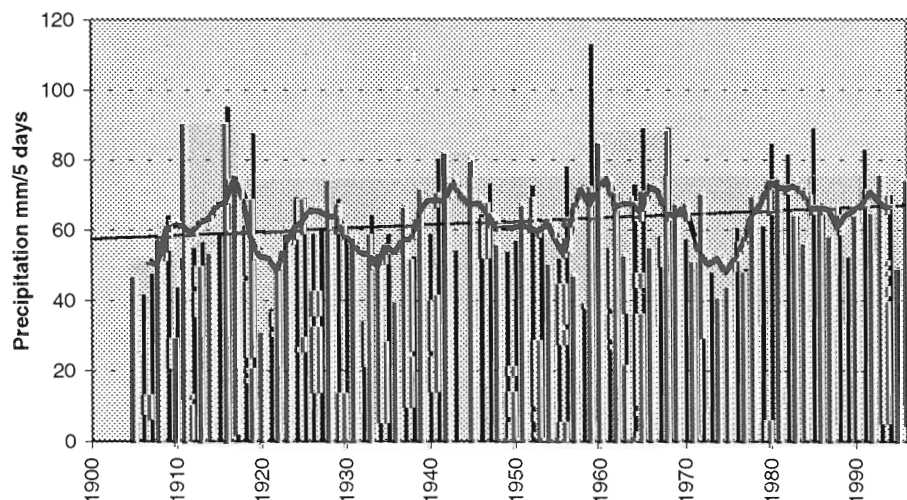
Een andere index die Lough (1997) noemt, is de grootste neerslagsom van 1, 3, 5 en 10 dag(en) van een jaar (*10 Maximum n-day total precipitation*). Deze index laat zien dat voor de gegevens van De Bilt de grootste dagsom van een jaar niet veel verandert in de loop van de tijd. Daarnaast valt op dat de uitschieters van de neerslagsom over 1 tot 3 dagen doorwerken in de neerslagsommen van 5 tot 10 dagen. Als de maximum hoeveelheid neerslag berekend wordt over een groter aantal dagen, dan nemen de verschillen tussen opeenvolgende jaren toe. Hieruit kan geconcludeerd worden dat een hoge waarde voor de maximum neerslagsom van een jaar in de maximum neerslagsom van meerdere dagen meestal niet gecompenseerd wordt door lagere neerslagsommen voor de tweede en volgende maximum neerslagsommen. De tweede en volgende neerslagsommen zijn meestal ook hoog. Evenzo zijn de waarden voor de hoogste dagelijkse neerslagsommen van een jaar meestal laag wanneer de maximum dagsom van een jaar laag is. Hierdoor nemen dus de verschillen in de maximum neerslagsom van een aantal dagen tussen verschillende jaren toe, wanneer de som over meerdere dagen wordt berekend. Uiteindelijk laat de grafieklijn van de som over 10 dagen een lichte stijging zien. Dit betekent een stijging van extreme neerslaghoeveelheden en komt overeen met Figuur 9.



Figuur 9 Number of days exceeding the 90th and 95th percentile



Figuur 10 Maximum n-day total precipitation



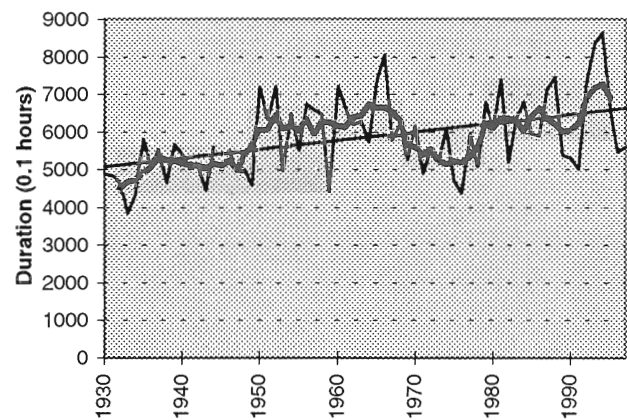
Figuur 11 Maximum amount of precipitation of 5 consecutive days in one year.

Een variant op de voorgaande index is de maximum waarde van de neerslagsom van vijf aaneengesloten dagen in een jaar (*11 Maximum amount of precipitation of 5 consecutive days in one year*). De maximum 5-daagse neerslagsom is afgelopen eeuw gemiddeld met 10 mm gestegen.

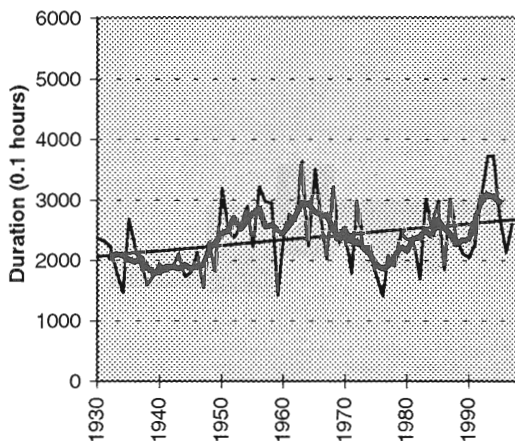
2.4 Neerslagduur

In plaats van het aantal dagen met neerslag kan ook de neerslagduur uitgezet worden in een grafiek. De neerslagduur is het aantal uren waarop sprake is van neerslag. De totale neerslagduur van een jaar (*12 Annual precipitation duration*) is het totaal aantal uren van een jaar waarop neerslag is gevallen. Een trendlijn en 5-jaar lopende gemiddelden verduidelijken de grafiek. De gegevens van De Bilt laten zien dat sinds 1930 de jaarlijkse neerslagduur gemiddeld is toegenomen. Tussen 1950 en 1970 en na 1980 liggen hoge waarden voor de neerslagduur.

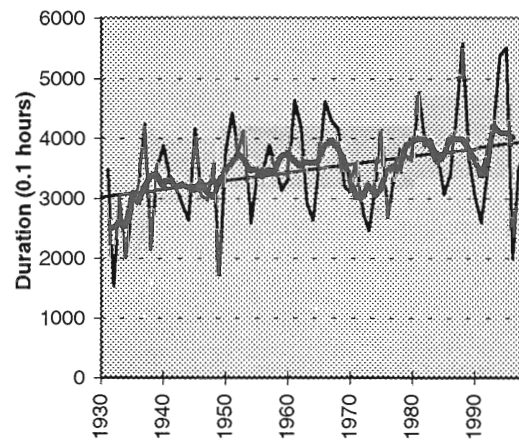
Zowel in het zomerhalfjaar (*13 Precipitation duration (AMJJAS)*) als het winterhalfjaar (*14 Precipitation duration (ONDJFM)*) neemt de neerslagduur toe. Dit in tegenstelling tot het aantal neerslagdagen dat afneemt volgens Figuren 6, 7 en 8. De hoge waarden in de jaarlijkse neerslagduur tussen 1950 en 1970 zijn voornamelijk het gevolg van de neerslagduur in de zomer. De neerslagduur van het winterhalfjaar is gemiddeld groter dan de neerslagduur van het zomerhalfjaar en het winterhalfjaar zorgt voor de grootste bijdrage aan de trendstijging in de jaarlijkse neerslagduur.



Figuur 12 Annual precipitation



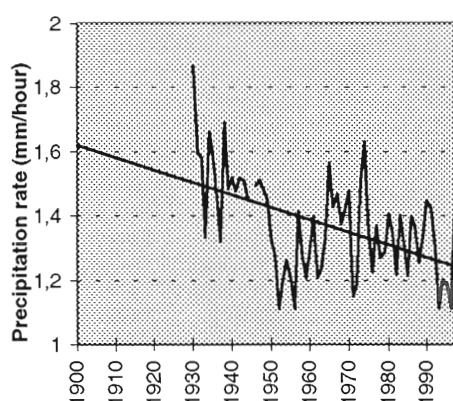
Figuur 13 Precipitation duration summer (AMJJAS)



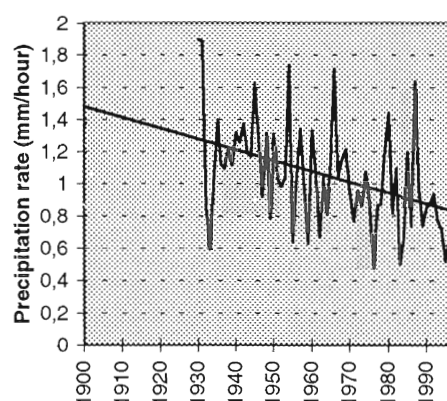
Figuur 14 Precipitation duration winter (ONDJFM)

2.5 Neerslagintensiteit

De gemiddelde neerslagintensiteit per jaar (*16 Annual precipitation rate*) wordt berekend door de jaarlijkse neerslagsom te delen op de jaarlijkse neerslagduur. Aangezien de neerslagduur het aantal uren is waarop neerslag is gevallen, leidt deze berekening tot een onderschatting van de neerslagintensiteit. Wanneer bijvoorbeeld 4 mm neerslag valt in een 1 uur en 20 minuten, dan is de berekende neerslagintensiteit 2 mm/uur, terwijl in werkelijkheid de intensiteit 3 mm/uur is. Een duidelijke daling in de jaarlijkse neerslagintensiteit van 0.4 mm/uur per 100 jaar is waarneembaar. De hoge waarden van de neerslagduur tussen 1950 en 1970 (Figuur 12) worden vertaald in lage waarden voor de jaargemiddelde neerslagintensiteit. De neerslagintensiteit is ook berekend voor de zomer (*15 Summer precipitation rate (JJA)*). De gemiddelde neerslagintensiteit van de zomer neemt meer af dan de jaargemiddelde neerslagintensiteit. Dat wil zeggen dat de neerslagintensiteit van de overige drie seizoenen gemiddeld iets moet zijn gestegen.



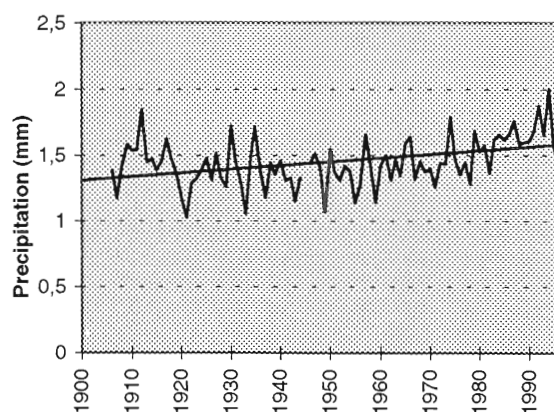
Figuur 15 Annual precipitation rate



Figuur 16 Summer precipitation rate (JJA)

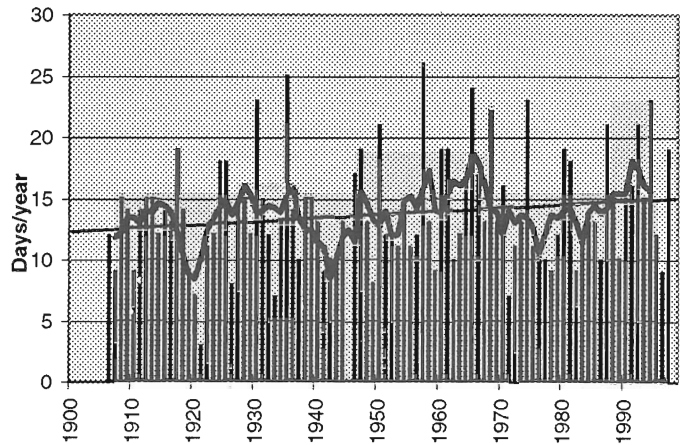
Een andere maat voor de neerslagintensiteit is de maximum waarde van de uursommen van een dag met neerslag. Deze waarden zijn gemiddeld over een jaar (*17 Average of maximum hourly precipitation of precipitation days*). De trendlijn laat zien dat de maximum uursom van een neerslagdag iets is gestegen. De vraag is in hoeverre deze index interessant is, omdat op heel veel dagen weinig neerslag valt. Dit heeft tot gevolg dat veel waarden voor de maximum uurlijkse neerslagsom kleiner zullen zijn dan 1 mm, waardoor deze index geen beeld geeft van extremen.

Een andere index waarbij ook gebruik gemaakt is van de maximum uursom is het aantal dagen per jaar waarop deze boven een bepaalde waarde ligt (*18 Number of days with a maximum hourly precipitation exceeding 4.0 mm*). De grafiek toont dat het aantal jaren met het minst aantal dagen waarop 4 mm/uur wordt overschreden, voorkomen rond 1920 en begin jaren '40. Het aantal dagen dat 4.0 mm/uur overschrijdt neemt toe met 3 dagen per 100 jaar.



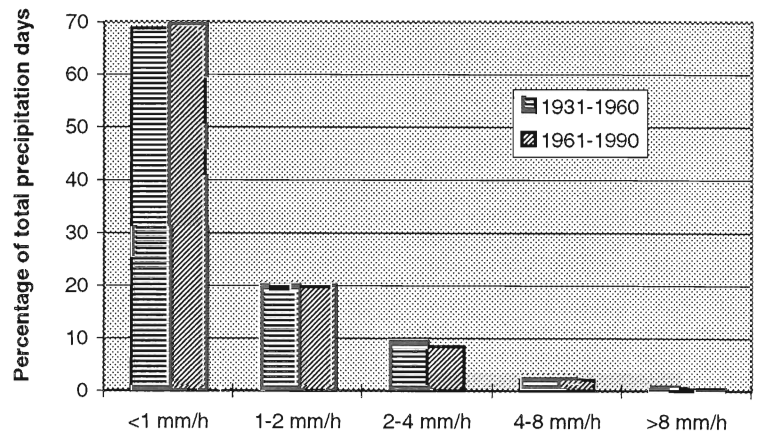
Figuur 17 Average of maximum hourly precipitation of precipitation days

Wanneer voor opeenvolgende tijdvakken het aantal neerslagdagen wordt onderverdeeld in verschillende categorieën met een bepaalde gemiddelde dagelijkse neerslagintensiteit (*19 Distribution of daily precipitation intensities for two periods*), wordt het duidelijk dat er voor De Bilt geen grote verschillen zijn tussen de periodes 1931-1960 en 1961-1990. Het aantal dagen met een neerslagintensiteit beneden 1 mm/uur lijkt iets te zijn toegenomen en het aantal dagen boven 1 mm/uur afgenomen. Dit komt overeen met de dalende trend in jaarlijkse neerslagintensiteit van Figuur 15.

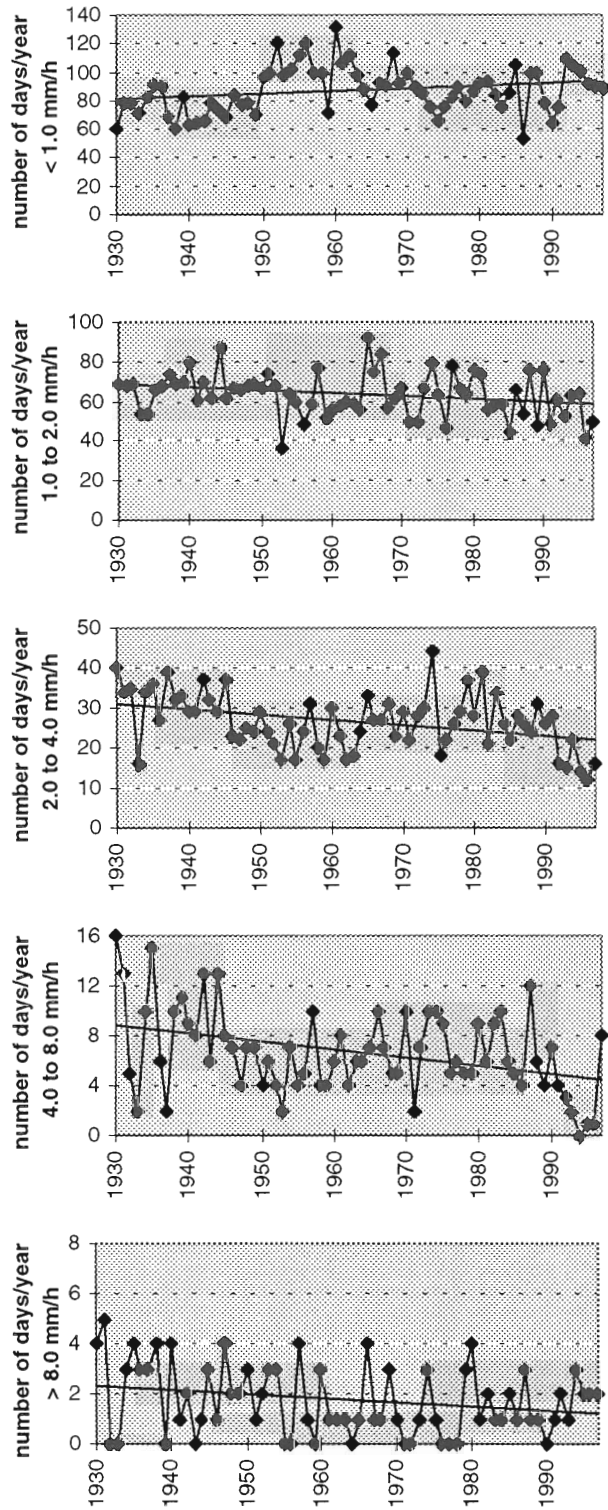


Figuur 18 Number of days with maximum hourly precipitation exceeding 4.0 mm

Een index die een meer inzicht geeft in het verloop van de neerslagintensiteit van de afgelopen eeuw is het aantal neerslagdagen, behorend bij één van de vijf categorieën voor de dagelijkse neerslagintensiteit per jaar (*20 Number of precipitation days in each of the five categories of daily precipitation intensities*). De grafiek geeft weer dat het aantal dagen met een neerslagintensiteit minder dan 1 mm/uur gemiddeld is gestegen met ongeveer 25 dagen per 100 jaar, terwijl de hoogste waarden tussen 1950 en 1970 liggen. Dit levert een bijdrage aan de lage jaargemiddelde neerslagintensiteit in die periode (Figuur 15). Het aantal dagen met een neerslagintensiteit groter dan 1.0 mm/uur neemt af.



Figuur 19 Distribution of daily precipitation intensities for two periods



Figuur 20 Variation and trends in precipitation days in each of the five categories of daily precipitation intensities.

3 Temperatuurindices

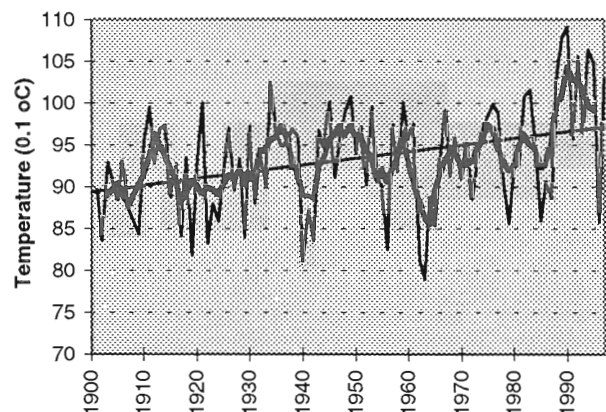
3.1 Inleiding

Temperatuur en neerslag zijn de twee belangrijkste klimatologische elementen. Dit hoofdstuk beschrijft een aantal temperatuurindices. Het ECSN-rapport (1995) toont de jaargemiddelde en de seizoensgemiddelde temperatuur per jaar voor een aantal steden in Europa. Daarnaast worden kaartjes van anomalieën voor jaargemiddelde en seizoensgemiddelde temperaturen en voor de jaargemiddelde dagelijkse gang in temperatuur getoond. Naast deze indices zijn tal van andere temperatuurindices te bedenken om het verloop van het klimaat van afgelopen eeuw(en) te beschrijven.

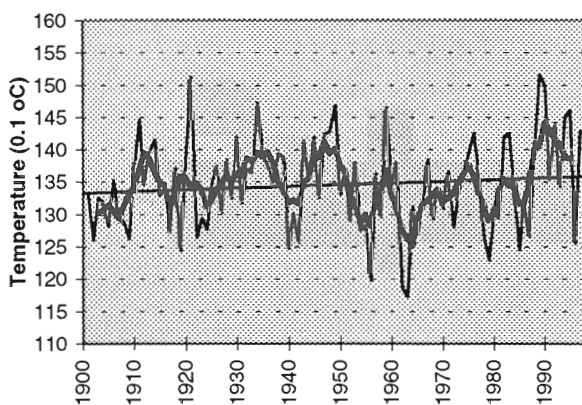
Dit hoofdstuk heeft een andere opbouw dan het voorgaande hoofdstuk. Af en toe zullen de indices overeenkomsten vertonen met de neerslagindices. De eerste paragraaf beschrijft het verloop van de jaargemiddelde temperaturen. Vervolgens worden de maandgemiddelde temperaturen besproken. De indices van de twee paragrafen daarna lijken op elkaar, maar in de paragraaf 3.4 worden ze toegepast op de zomertemperaturen en in paragraaf 3.5 op de wintertemperaturen. Paragraaf 3.6 gaat over extreme dagtemperaturen. Vervolgens is er een paragraaf gewijd aan de dagelijkse gang in temperatuur. Als laatste wordt de variantie in de jaargemiddelde temperatuur besproken.

3.2 Jaargemiddelde temperaturen

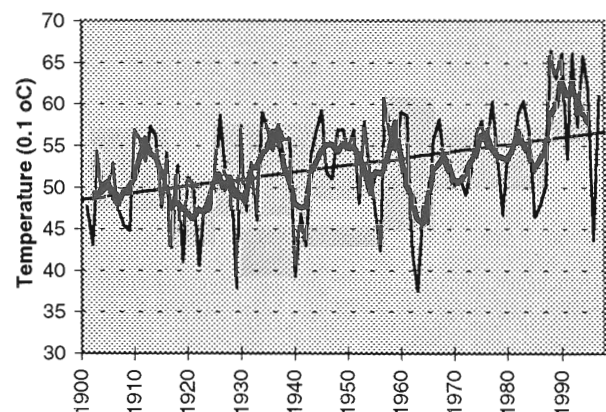
Voor neerslag is de jaarlijkse neerslagsom de meest voor de hand liggende index. Voor temperaturen is dat de jaargemiddelde temperatuur (*21 Annual mean temperature*). Jaargemiddelde temperaturen kunnen ook berekend worden voor maximum temperaturen (*22 Annual maximum temperature*) en minimum temperaturen (*23 Annual minimum temperature*). Alle grafieken zijn voorzien van een trendlijn en 5-jaar lopende gemiddelden. De trendlijn van de gemiddelde temperaturen stijgt met $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ per 100 jaar. De minimum temperaturen stijgen met eenzelfde hoeveelheid, maar de trendlijn van de



Figuur 21 Annual mean temperature



Figuur 22 Annual maximum temperature



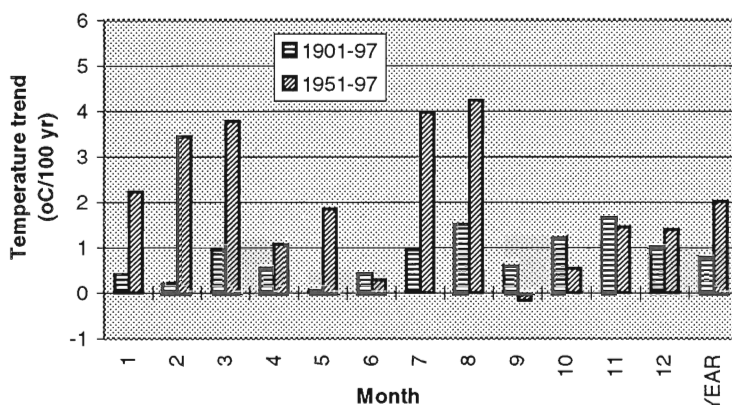
Figuur 23 Annual minimum temperature

maximum temperaturen stijgt met $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ per 100 jaar. De toename van de gemiddelde temperatuur wordt dus voornamelijk veroorzaakt door een toename van de minimum temperaturen. De drie grafieken tonen door de eeuw heen dezelfde uitschieters. Hoge gemiddelde temperaturen gaan gepaard met hoge maximum en hoge minimum temperaturen. De temperaturen na 1990 met uitzondering van 1996 liggen duidelijk hoger dan de temperaturen van de voorgaande periode. In 1963 werden de laagste temperaturen bereikt. Rond 1963 bevindt zich de koudste periode van afgelopen eeuw. Andere koude periodes zijn voor 1910, tussen 1918 en 1923 en rond 1940. Daarnaast zijn koude maximum temperaturen gemeten halverwege jaren '50. Deze periodes komen overeen met periodes wanneer de NAO-index laag is (zie Hoofdstuk 11).

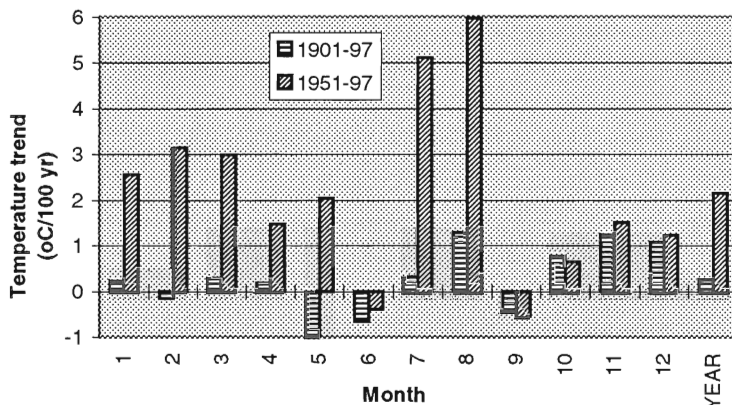
In "The Climate of Europe: Past, Present and Future" (Flohn et al., 1984) worden voor verschillende steden per seizoen 30-jaar lopende gemiddelden gegeven voor de jaargemiddelde temperaturen.

3.3 Maandgemiddelde temperaturen

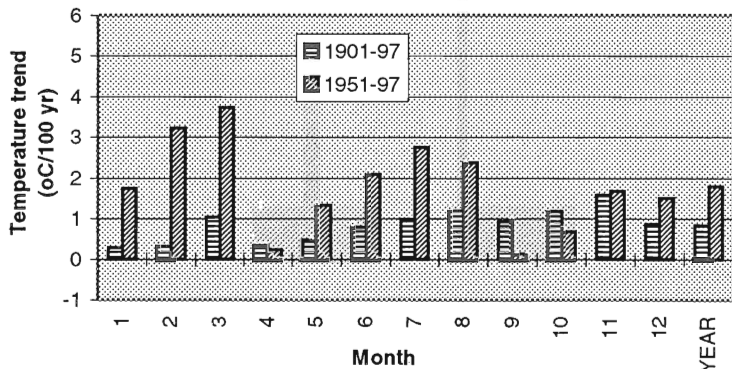
Informatie over het temperatuurverloop voor afzonderlijke kalendermaanden wordt gegeven door de trend in de gemiddelde temperatuur, de dagmaxima en de dagminima te berekenen voor elke maand (24 *Trend of average temperatures*; 25 *Trend of maximum temperatures*; 26 *Trend of minimum temperatures*). Deze index wordt genoemd voor de dagelijkse gang in temperatuur in Folland et al. (1997). Ook is de trend over de jaargemiddelden berekend en aan de grafiek toegevoegd. De trends zijn berekend over de periodes 1901-1997 en 1951-1997. De trends die berekend zijn voor de eerste periode zijn over het algemeen lager dan over de tweede periode. Dit heeft te maken met de koude periode in de jaren '60 en de warme periode rond 1990. Daardoor stijgen de trendlijnen van 1951-1997 sterker. De gemiddelde temperatuurtrend van 1951-1997 is het hoogst in de maanden februari, maart, juli en augustus. Dit geldt ook voor de trends van de maximum temperatuur en de minimum



Figuur 24 Trend of average temperatures



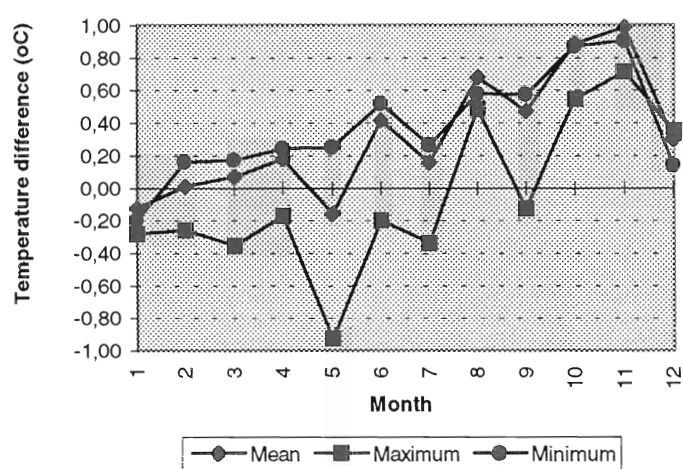
Figuur 25 Trend of maximum temperatures



Figuur 26 Trend of minimum temperatures

temperatuur. In de periode 1901-1997 is de sterkste stijging in de maandgemiddelde temperaturen in augustus, oktober, november en december.

Een variant op trends in maandgemiddelde temperaturen berekenen is het berekenen van verschillen in maandgemiddelde temperaturen tussen twee tijdvakken (*27 Temperature differences between 1961-1990 and 1901-1930*). Voor elke maand is het verschil in de maandgemiddelde maximum, minimum en gemiddelde temperatuur tussen 1901-1930 en 1961-1990 berekend. Anders gezegd: de maandnormalen van de maximum, minimum en gemiddelde temperatuur tussen 1901-1930 en 1961-1990 zijn vergeleken. De gemiddelde temperaturen van 1961-1990 zijn voor alle maanden met uitzondering van januari en mei hoger dan 1901-1930. Voor de minimum temperaturen is alleen de waarde voor januari van 1961-1990 lager dan van 1901-1990. Het verschil tussen de maandnormalen van de maximum temperatuur is voor de maanden augustus, oktober, november en december positief en voor de overige



Figuur 27 Temperature differences between 1961-1990 and 1901-1930

maanden negatief. Over het algemeen lijkt het verschil in maandnormalen toe te nemen gedurende de laatste maanden van het jaar. Dus de stijging in de jaargemiddelde temperatuur wordt voornamelijk veroorzaakt door de toename in de temperatuur van de maanden augustus tot en met december. Dit komt overeen met de trendveranderingen over de periode 1901-1997 van de Figures 24, 25 en 26. Hieruit bleek dat de temperaturen vooral in de maanden augustus, oktober en november waren gestegen.

Om een compleet beeld te krijgen

van de maanden met de grootste temperatuurstijging zouden ook de maandnormalen van 1961-1990 vergeleken moeten worden met de maandnormalen van 1931-1960.

Er is nu gekeken naar verschillen in maandgemiddelde temperaturen tussen verschillende tijdvakken, maar er kan ook gekeken worden naar verschillen in daggemiddelde temperaturen. Dat is gedaan in het ECSN-rapport (1995) voor gemiddelde en minimum temperaturen van Madrid. Het verschil in de gemiddelde dagtemperatuur tussen twee tijdvakken varieert sterk per dag waardoor veranderingen binnen een jaar niet duidelijk worden wanneer er geen lopende gemiddelden van 30 of 60 dagen berekend worden. Voor de gegevens van Madrid zijn wel lopende gemiddelden in de grafiek uitgezet.

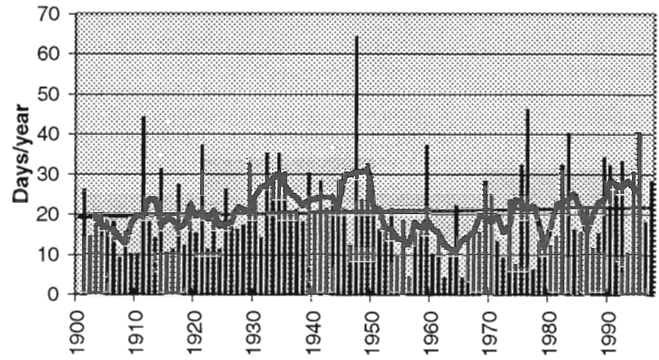
3.4 Zomertemperaturen

De meeste temperatuurindices in dit hoofdstuk zijn gebruikt door Gerstengarbe et al. (1992) om extreem hete en koude zomers in Centraal Europa te berekenen. Het aantal zomerse dagen (*28 Number of summer days*) is het aantal dagen waarop de maximum temperatuur 25 °C overschrijdt. Deze index wordt ook genoemd door Orfila (1994). Tussen 1930 en 1950 en na 1990 zijn veel zomerse dagen gemeten. De koude periode rond 1963 telt weinig zomerse dagen. De trendlijn van het aantal zomerse dagen stijgt niet noemenswaardig. Hetzelfde geldt voor de trendlijn van het aantal tropische dagen (*29 Number of hot days*). Een tropische dag is een dag waarop de maximum temperatuur 30 °C overschrijdt. 1947 telt het grootste aantal

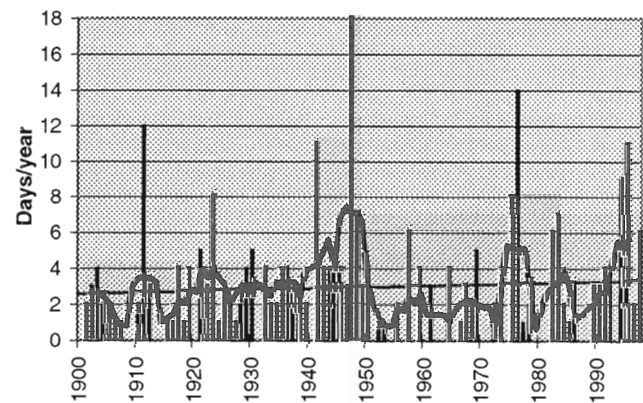
tropische en zomerse dagen. Opvallend is de periode tussen 1950 en 1970 met erg weinig tropische dagen.

De hitesom (30 *Heat sum*) is de som over mei, juni, juli, augustus en september van het aantal graden dat de maximum temperatuur hoger is dan 25 °C. Het verloop van de 5-jaar lopende gemiddelden van de hitesom komt overeen met die van het aantal zomerse dagen. Voor beide indices wordt een grens van 25 °C gehanteerd. De grafiek toont hoge waarden voor de hitesom tussen 1930 en 1950 en lage waarden tussen 1950 en 1970, waarna de hitesom weer toeneemt. De trendlijn van de hitesom neemt nauwelijks toe, terwijl de zomergemiddelde temperatuur (31 *Summer mean*) met bijna 1.0 °C per 100 jaar toeneemt. Blijkbaar neemt de hitesom niet logischerwijs toe als de zomergemiddelde temperaturen warmer worden en is de trendstijging van de zomergemiddelde temperaturen waarschijnlijk het gevolg van stijgende minimum temperaturen.

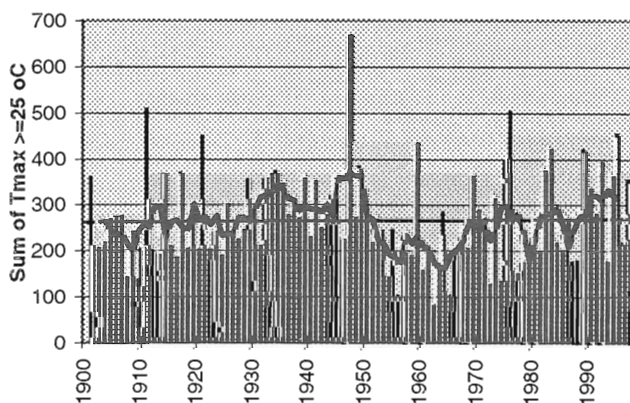
De langste aaneengesloten periode van zomerse dagen (32 *Longest duration Tmax >= 25 °C*) is een andere index die informatie geeft over extreme zomers. De hoogste waarden (17 en 18 dagen) werden halverwege jaren '70 bereikt. Ook in 1947 werd een periode van 17 aaneengesloten zomerse dagen bereikt. Overduidelijk zijn de lage waarden (1 en 2 dag(en)) tijdens de koudere periode van 1950-1970.



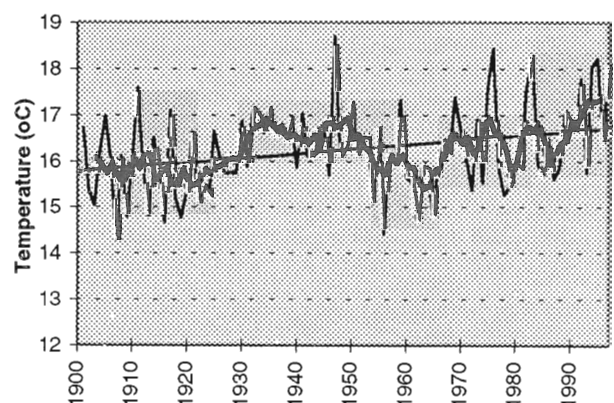
Figuur 28 Number of summer days (MJJAS)



Figuur 29 Number of hot days (MJJAS)

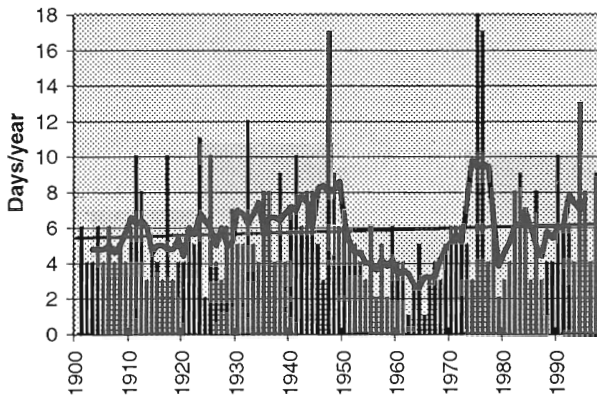


Figuur 30 Heat sum (MJJAS)



Figuur 31 Summer mean temperature (JJA)

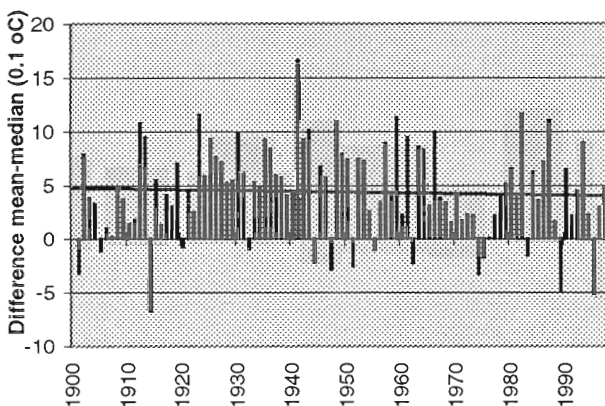
De laatste index die hier vermeld wordt van Gerstengarbe et al. (1992) is het verschil tussen het zomergemiddelde van de maximum temperaturen en de mediaan van de maximum temperaturen (33 *Difference mean-median of the maximum air temperature*). Over het



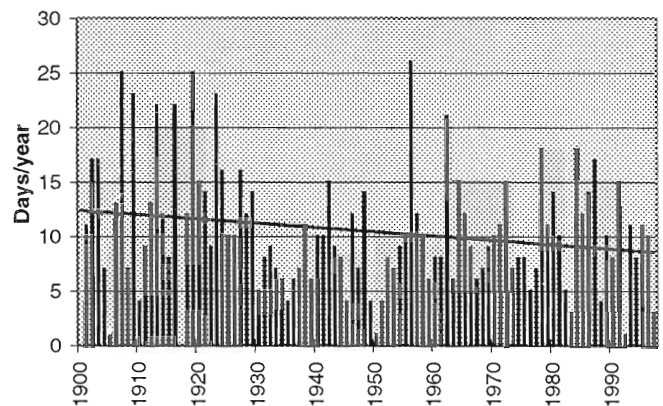
Figuur 32 Longest duration $T_{max} \geq 25 \text{ oC}$ (MJJAS)

algemeen is dit verschil positief. 1941 kent de grootste waarde voor het verschil tussen het gemiddelde en de mediaan. Dit is het gevolg van een relatief hoge gemiddelde maximum temperatuur door de vele dagen met hoge temperaturen (zie Figuren 28 en 29). De laatste eeuw daalt het verschil tussen het gemiddelde en de mediaan en stijgt de mediaan. Dat betekent dat extreem hoge temperaturen niet toenemen.

Er is nu alleen gekeken naar extreem hoge temperaturen in de zomer, maar er kan ook gekeken worden naar extreem lage



Figuur 33 Difference mean-median of the maximum air temperature (JJA)

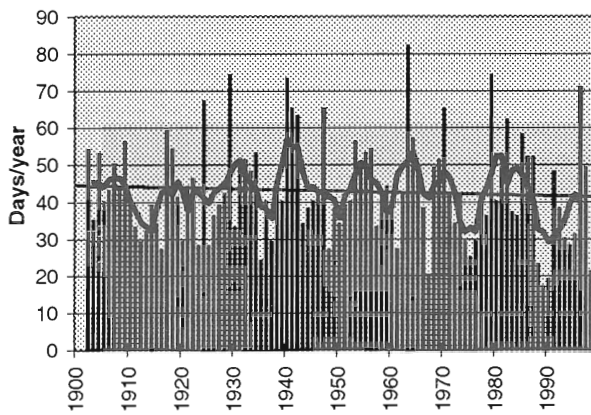


Figuur 34 Number of summer days less than 13 oC (JJA)

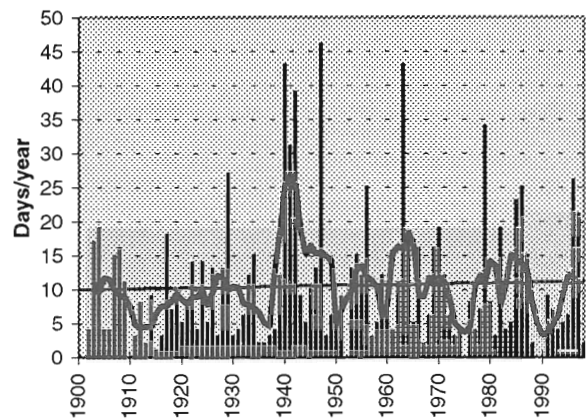
temperaturen, zoals het aantal dagen in de zomer met een gemiddelde temperatuur lager dan $13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (*34 Number of summer days with a mean temperature less than $13 \text{ }^{\circ}\text{C}$*). $13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ is ongeveer het 10^{de} percentiel. Begin deze eeuw waren er meer zomers met veel dagen kouder dan $13 \text{ }^{\circ}\text{C}$. De trendlijn daalt met vijf dagen per 100 jaar. De zomers met weinig zomerse en tropische dagen tussen 1950 en 1970 zijn niet overduidelijk terug te vinden in Figuur 34 (Folland et al, 1997).

3.5 Wintertemperaturen

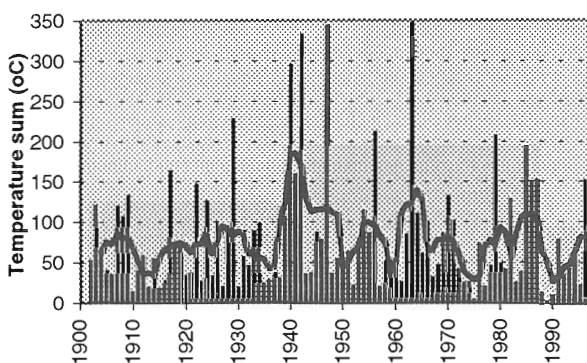
Zoals voor de zomer het aantal tropische en zomerse dagen berekend kan worden, kan voor de winter het aantal vorstdagen (*35 Number of frost days*) en het aantal ijsdagen (*36 Number of ice days*) berekend worden. Een vorstdag is een dag waarop de minimum temperatuur lager ligt dan $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en een ijsdag is een dag waarop de maximum temperatuur niet boven $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ uitkomt. Deze indices worden genoemd door Orfila (1994). Begin jaren '40 komen veel vorst- en ijsdagen voor. Gedurende deze periode verschillen de lijnen van de lopende gemiddelden van de Figuren 35 en 36 het meest van elkaar. Beide grafieken tonen een piek, maar die van het aantal ijsdagen is veel uitgesprokener ten opzichte van de andere pieken.



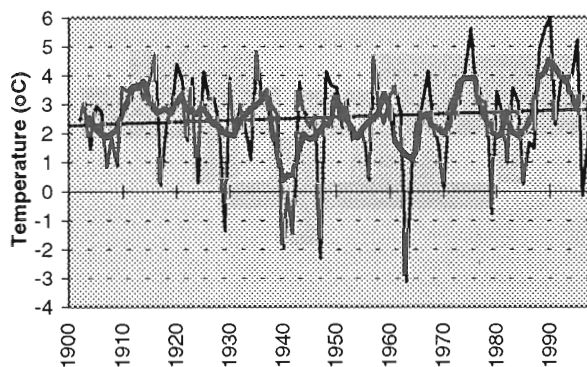
Figuur 35 Number of frost days (DJF)



Figuur 36 Number of ice days (DJF)



Figuur 37 Cold degree days (NDJFM)



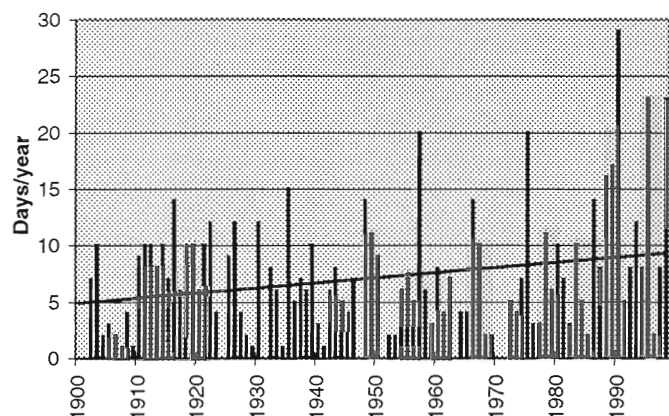
Figuur 38 Winter mean temperature (DJF)

Vervolgens kan de hitesom van de zomer vergeleken worden met de koudesom van de winter. Hellmann (1917) introduceerde deze index voor het Berlijnse klimaat. De index wordt berekend door de negatieve etmaalgemiddelden te sommeren over de wintermaanden november tot en met maart (*37 Cold degree days (NDJFM)*). De Figuur toont geen trendverandering voor de gegevens van De Bilt. De koude jaren van begin jaren '40 en de jaren '60 vallen op. De lijn van de lopende gemiddelden lijkt veel op die van het aantal ijsdagen. 1950 en 1989 kenden een koudesom van nul. Ook Jones et al. berekenden het aantal dagen waarop de gemiddelde temperatuur beneden 0 °C ligt en de "Cold degree days" voor de "Central England Temperatures". Daarnaast is er de gemiddelde wintertemperatuur (*38 Winter mean temperature (DJF)*). De lijn van de 5-jaar lopende gemiddelden lijkt een spiegeling te zijn van die van het aantal vorstdagen per jaar. De trendlijn laat een stijging zien van 0.6 °C per 100 jaar. De koudste winters

zijn begin jaren '40 en begin jaren '60 geweest. De warmste winters waren in de periode rond 1990.

Het aantal dagen in de winter waarop de gemiddelde temperatuur 8.0 °C overschrijdt (*39 Number of winter days exceeding 8.0 °C*) is een index die informatie geeft over milde winters en is vergelijkbaar met het aantal koude dagen in de zomer (Figuur 34). Het aantal dagen in de winter dat warmer is dan 8.0 °C is gemiddeld met 5 toegenomen over de afgelopen eeuw. En de drie hoogste aantallen dagen per jaar waren na 1990. Dit is een aanwijzing dat de winters milder zijn geworden afgelopen jaren (Folland et al., 1997). Folland et al. (1997) beschrijven verschillende methodes om warme en koude periodes zowel voor de winter als de zomer te

berekenen. Een andere index die beschreven wordt in dit artikel is de vorstperiode. Dat zijn de data van de eerste en de laatste dag van het jaar waarop de minimum temperatuur lager dan 0 °C is geweest.



Figuur 39 Number of winter days exceeding 8.0 °C

3.6 Extreme dagtemperaturen

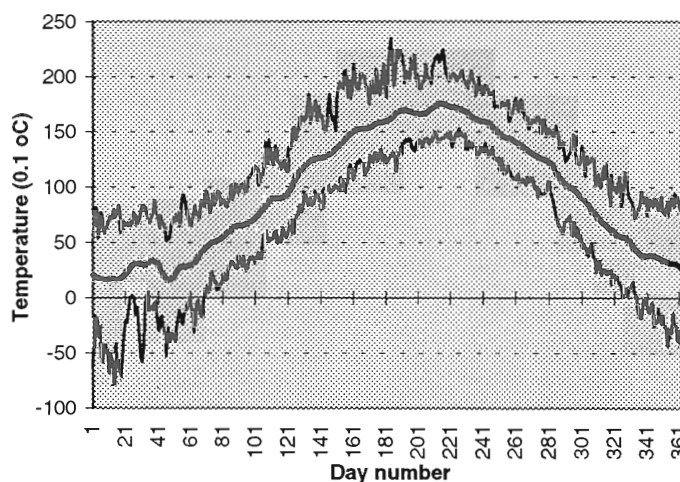
Extreme dagtemperaturen zijn extreem hoge of lage temperaturen voor een bepaalde dag van het jaar. Om te bepalen wat extreem voor een bepaalde dag is, worden eerst de dagnormalen bepaald (*40 Average daily temperature (smoothed) and 10th and 90th percentiles, 1961-1990*).

De dagnormalen zijn berekend over de periode 1961-1990 en zijn “gesmooth” over 11 dagen. De waarde voor dag 6 is het gemiddelde van dag 1 tot en met dag 11, waarbij aan dag 1,2, 10 en 11 een gewicht van 0.5 is toegekend en aan de overige dagen een gewicht van 1.

Opvallend is dat de lijn van de dagnormalen niet als een sinus verloopt, hetgeen je verwacht als gevolg van de zonnestand, want tussen dag 21 en 41 liggen de

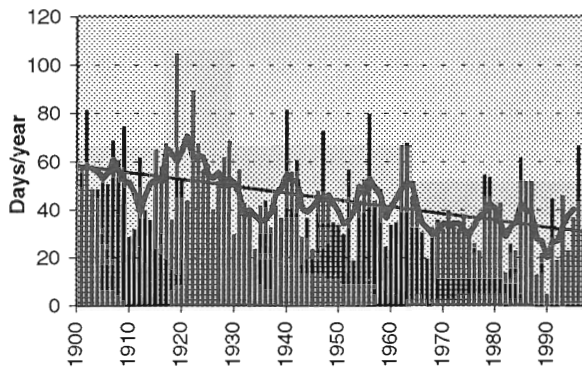
waarden hoger dan verwacht. Over dezelfde 30-jarige periode is voor elk dagnummer het 10^{de} en het

90^{ste} percentiel bepaald. De grote variatie in de percentiellijnen wordt veroorzaakt door het kleine aantal dagen (30) waarvan een percentiel bepaald is. Jones et al. (1998) beschrijft een methode om de percentielen met behulp van de gamma-verdeling te berekenen en zo rekening te houden met het sampling effect. In het najaar liggen de lijnen van het 10^{de} en het 90^{ste} percentiel dicht bij elkaar dan in de zomer en de winter. De variantie in daggemiddelde temperaturen is in het najaar dus minder groot dan in de winter. Verder valt op dat juist in de winter het 10^{de} percentiel per dag sterk varieert en in de zomer het 90^{ste} percentiel. Dit wordt veroorzaakt door het geringe aantal erg koude dagen in de winter en het geringe aantal erg hete dagen in de zomer. In de lente en de herfst variëren de etmaalgemiddelde temperaturen

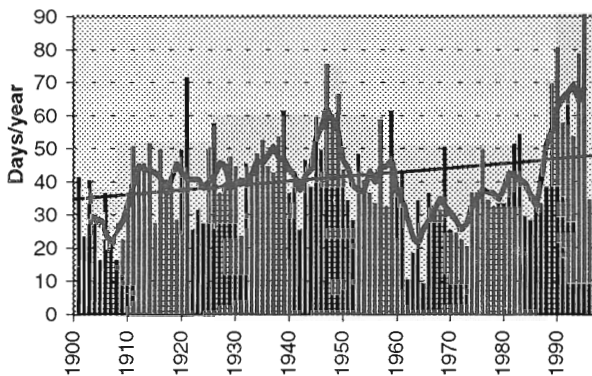


Figuur 40 Average daily temperature (smoothed) and 10th end 90th percentiles (1961-1990)

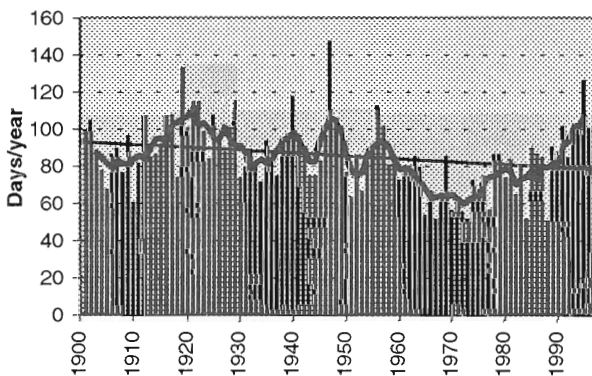
minder sterk per dag en komen extreem warme of extreem koude dagen niet veel voor, waardoor de percentiellijnen een redelijk constant verloop hebben.



Figuur 41 Number of days with temperatures not exceeding the 10th percentile



Figuur 42 Number of days with temperatures exceeding the 90th percentile



Figuur 43 Number of days with unusual temperatures

ongewoon warme dagen per jaar erg laag, terwijl het aantal ongewoon koude dagen geen duidelijke piek vertoont. Deze periode met minder ongewoon warme dagen wordt verklaard door lage gemiddelde temperaturen (Figuur 21), weinig tropische dagen (Figuur 29) en veel ijsdagen (Figuur 36).

Jones et al. (1998) beschrijft ook een methode om per jaar het aantal dagen dat hoger of lager ligt dan een bepaald percentiel te berekenen. Nadat de dagnormalen zijn berekend en “gesmooth”, wordt van alle dagtemperaturen van 1901 tot 1997 de anomalie berekend. In het voorbeeld van De Bilt is geen gamma-verdeling toegepast. Daarna wordt per dagnummer het 10^{de} en het 90^{ste} percentiel berekend van de periode 1961-1990.

Vervolgens wordt per jaar het aantal dagen dat het 10^{de} percentiel niet overschrijdt (*41 Number of days with temperatures not exceeding the 10th percentile*) en het aantal dagen dat het 90^{ste} percentiel overschrijdt (*42 Number of days with temperatures exceeding the 90th percentile*) bepaald. Deze dagen bij elkaar opgeteld zijn het aantal dagen met een ongewone temperatuur (*43 Number of days with unusual temperatures*). De grafieken zijn voorzien van een trendlijn en van 5-jaar lopende gemiddelden.

Het aantal dagen dat het 10^{de} percentiel niet overschrijdt is met 29 afgenomen afgelopen eeuw. Dit betekent dat er elk jaar minder ongewoon koude dagen zijn in de winter maar ook in de zomer zoals Figuur 34 liet zien. Opvallend is de gestage afname van het aantal ongewoon koude dagen. Omgekeerd is het aantal dagen dat het 90^{ste} percentiel overschrijdt met 13 toegenomen over de afgelopen eeuw. Dus het aantal ongewoon warme dagen is gestegen. Dit is in overeenstemming met Figuur 39, waaruit blijkt dat het aantal warme dagen in de winter is toegenomen. Dit is vooral na 1990 bepalend. In de periode 1960 tot halverwege jaren '70 was het aantal

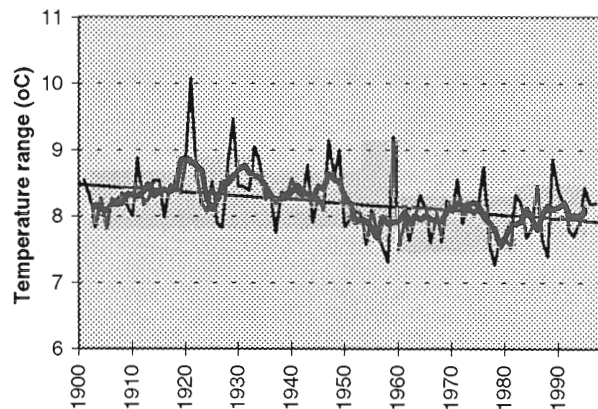
Ook Jones et al. (1998) vonden in de “Central England temperatures” een sterke stijging in het aantal dagen dat het 90^{ste} percentiel overschrijdt en een nog sterkere daling in het aantal dagen dat het 10^{de} percentiel niet overschrijdt. Uit de bevindingen van Jones blijkt dat er geen aanleiding is om te concluderen dat de temperaturen variabeler worden (dat de variantie groter wordt en het klimaat extremer), maar dat de toename van warme extreme temperaturen en de afname van koude extreme temperaturen een afspiegeling zijn van de stijgende gemiddelde temperatuur.

Het aantal dagen per jaar met ongewone temperaturen (Figuur 43) neemt af door de sterke daling in het aantal dagen met ongewoon warme temperaturen zoals blijkt uit de voorgaande twee grafieken. De lijn van de lopende gemiddelden kent drie uitschieters. De eerste rond 1920 wordt veroorzaakt door veel koude dagen in 1919 en veel warme dagen in 1921. De tweede piek, eind jaren '40, en de piek na 1990 worden veroorzaakt door veel warme dagen.

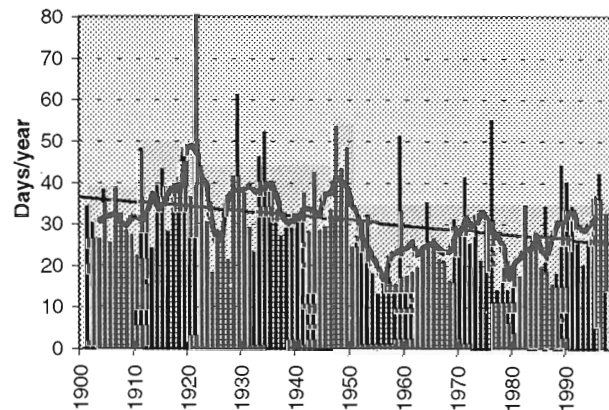
3.7 Dagelijkse gang in temperatuur

De dagelijkse gang in temperatuur is het verschil tussen de maximum en de minimum temperatuur van een dag. Deze waardes kunnen gemiddeld worden over een jaar (44. *Diurnal temperature range*). Folland et al. (1997) schrijft dat de jaargemiddelde dagelijkse gang in temperatuur een belangrijke index is voor beleidsmakers. De dagelijkse gang is gemiddeld ongeveer 8 °C en is afgelopen eeuw met ongeveer 0.6 °C afgenomen. De trenddaling is terug te vinden in het verloop van de maximum en de minimum temperatuur (Figuren 22 en 23). De minimum temperatuur is sterker toegenomen dan de maximum temperatuur met als gevolg dat de dagelijkse gang is afgenomen. Een mogelijke en vaak genoemde verklaring voor de toename van de minimum temperaturen is de toename van bewolking als gevolg van de toename in broeikasgassen, waardoor de aarde 's nachts minder warmte uitstraalt en de temperaturen minder ver dalen. De grootste dagelijkse gang was in 1921. Dit is terug te vinden in de minimum temperatuur die gemiddeld gezien wat aan de lage kant ligt en in de hoge waarde voor de maximum temperatuur.

Het aantal dagen met een dagelijkse gang in temperatuur die 14 °C overschrijdt (45. *Number of days exceeding a diurnal temperature range of 14 °C*) laat ook een dalende trend zien. Het aantal dagen dat deze waarde overschrijdt is de afgelopen eeuw met 11 gedaald.



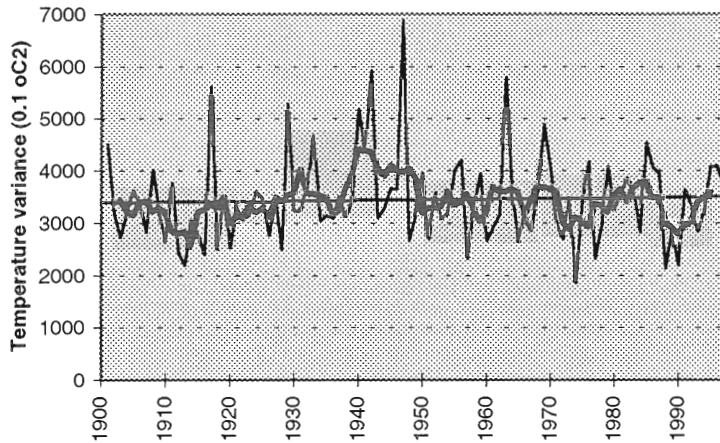
Figuur 44 Annual mean of diurnal temperature range



Figuur 45 Number of days exceeding a diurnal temperature range of 14 °C

3.8 Variantie in de jaargemiddelde temperatuur

De varianties van temperaturen kunnen berekend worden tussen verschillende jaren en binnen een jaar. De variantie tussen de jaargemiddelde temperaturen blijkt uit Figuur 21. De variantie binnen een jaar (*46 Intra-annual temperature variance*) is berekend door de variantie te nemen van de 12 maandgemiddelde temperaturen. De variantie binnen een jaar zegt iets over de

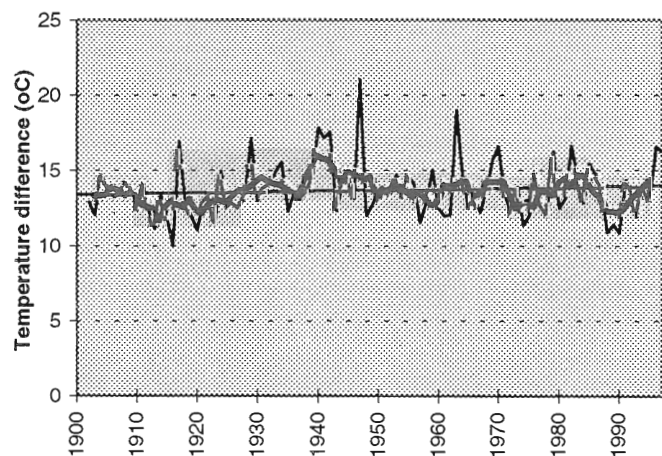


Figuur 46 Intra-annual temperature variance (monthly values)

spreiding van de temperaturen rond de jaargemiddelde temperatuur en de jaarlijkse gang in temperatuur. Als de variantie groot is dan zijn er veel hoge en lage temperaturen geweest rond het gemiddelde. De variantie is groot in de periode tussen 1940 en 1950. Dit is niet verwonderlijk, want in deze tijd waren er koude winters en hete zomers (zie Figuren 28, 29, 35, 36 en 47). Tussen 1910 en 1920 en rond 1990 was de variantie erg laag. Dit waren periodes met koude zomers en milde winters (Figuur 31 en 38).

Dus de temperaturen die in dat jaar voorkwamen weken minder sterk af van het gemiddelde. De trendlijn vertoont geen verandering in de loop van de eeuw (Balling, 1998; Folland et al., 1997; Plummer, 1996).

Het verschil tussen de gemiddelde winter- en zomertemperatuur (*47 Difference in mean temperature between DJF and JJA*) zegt ook iets over de variantie in de jaargemiddelde temperatuur, de jaarlijkse gang in temperatuur en of een koude winter wordt opgevolgd door een hete zomer. Rond 1940 was het verschil relatief groot. Dit waren jaren met veel zomerse en tropische dagen (Figuur 28 en 29) en veel vorst- en ijsdagen (Figuur 35 en 36). Er is geen duidelijke trendverandering aanwezig in het verschil tussen de twee seizoensgemiddelde temperaturen.



Figuur 47 Difference in mean temperature between DJF and JJA

4 Windindices

4.1 Inleiding

Indices die betrekking hebben op wind gaan over windsnelheid of windrichting. Windsnelheid en windrichting zijn klimatologische elementen. Ze worden minder vaak gebruikt dan temperatuur en neerslag om het klimaat te beschrijven, omdat windmetingen vaak onnauwkeurig zijn. Reeksen van windmetingen zijn vaak kort en niet homogeen. Daarnaast kunnen de omgeving en de hoogte waarop de wind wordt gemeten van meetpunt tot meetpunt sterk verschillen waardoor meetreeksen slecht onderling vergelijkbaar zijn. De volgende paragraaf gaat over de windsnelheid en de laatste paragraaf over de windrichting.

4.2 Windsnelheid

De windsnelheid kan gemiddeld worden over een dag ongeacht de richting van waaruit de wind waait. Daarnaast kan per dag de gemiddelde windsnelheid uit de overheersende windrichting berekend worden. Ook de maximum uurgemiddelde windsnelheid kan bepaald worden met de bijbehorende overheersende windrichting.

De daggemiddelde windsnelheid kan gemiddeld worden over een jaar (*48 Annual wind speed*). Het wordt meteen duidelijk uit Figuur 48 dat de reeks van De Bilt niet homogeen is. De windreeks is op te delen in vier stukken. In 1961 is de windmeter verplaatst van het dak van het KNMI-gebouw naar een open stuk weiland. Sinds 1983 is langs de windmeter een fietspad aangelegd en een bomerij geplaatst, waarna de windmetingen van De Bilt onbruikbaar zijn verklaard (Wieringa et al., 1983). Sinds 1993 wordt de windsnelheid in De Bilt op een hoogte van 20 meter gemeten. Daarom is uit deze windreeks geen trend te berekenen. Wel zijn er een

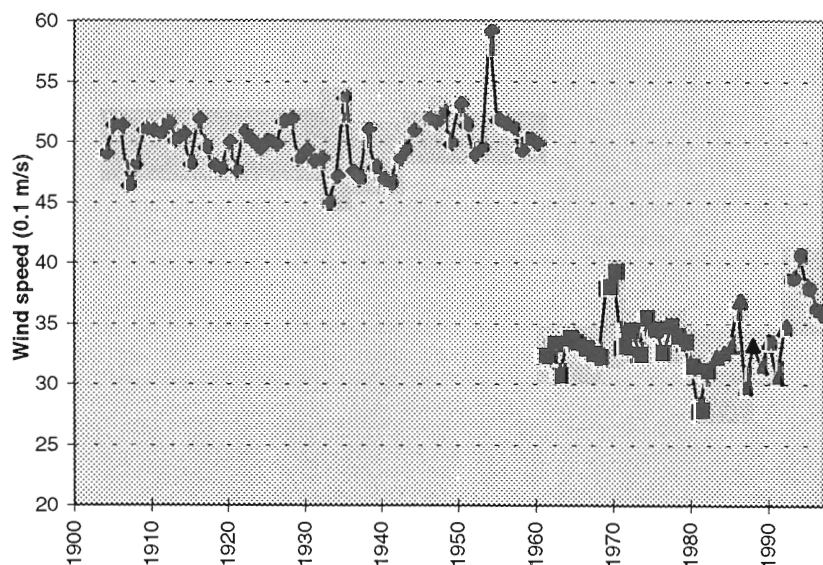
aantal uitschieters in de jaargemiddelden aanwijsbaar: 1935, 1954 en 1970. De vraag is of deze hoge gemiddelde windsnelheden het gevolg zijn van een aantal heftige stormen in dat jaar of van gemiddeld door het jaar heen hogere windsnelheden.

De windreeks van De Bilt zal eerst

gehomogeniseerd moeten worden alvorens indices berekend kunnen worden.

Indices die dan berekend kunnen worden zijn het aantal dagen per jaar met

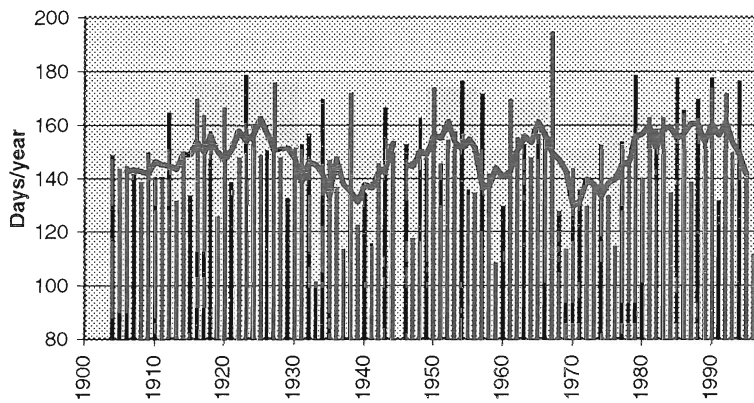
een gemiddelde windsnelheid boven of beneden een bepaalde waarde of het aantal dagen per jaar met een maximum uurgemiddelde windsnelheid boven 25 m/s. Dat is een maat voor hevige stormen (ECSN-rapport, 1995). Volgens de Beaufortschaal is er sprake van storm bij windkracht 9. De windsnelheid overschrijdt dan een waarde van 20.8 m/s.



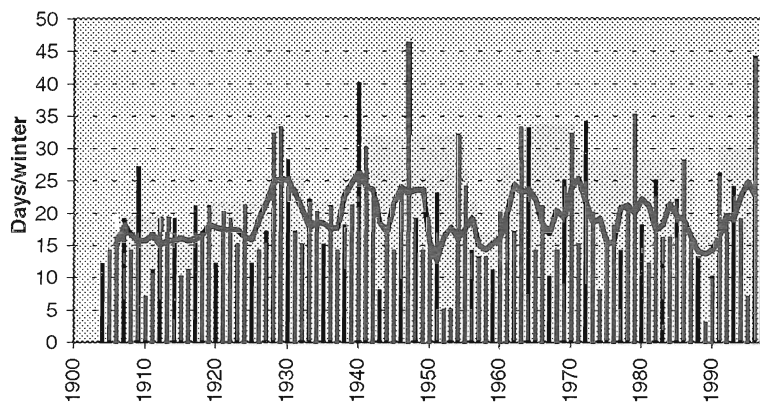
Figuur 48 Annual wind speed

4.3 Windrichting

De windrichting zegt iets over de temperatuur en de vochtigheid van de luchtsoort die aangevoerd wordt. Per jaar kan de overheersende windrichtingsklasse berekend worden uit de richting van de vectorwinden over 24 uur. Ook kan het aantal dagen met een windrichting uit een bepaalde windrichtingsklasse berekend worden.



Figuur 49 Number of days with S-SW-W wind



Figuur 50 Number of days with NE-E-SE wind (DJF)

zomer warme lucht aan. Figuur 50 toont dus alleen winterdagen in tegenstelling tot de vorige grafiek. Opvallend is dat tot 1925 de lijn van de 5-jaar lopende gemiddelden redelijk constant loopt. Daarna vertoont de lijn meer variatie. De uitschieter rond 1940 komt overeen met koude winters. De lage waardes rond 1990 komen overeen met zachte winters.

Het aantal dagen per jaar met een gemiddelde windrichting tussen zuid en west (*49 Number of days with S-SW-W wind*) varieert tussen ruim 100 en een kleine 200 dagen. In de zomer brengt wind uit deze richting vochtige koele lucht en in de winter zachte en vochtige lucht. Wind uit deze richting brengt vaak neerslag. Tussen 1970 en 1980 waait het relatief gezien weinig uit de richtingen zuid, zuidwest en west. Deze jaren zijn relatief droog. Voor en na die tijd valt er meer neerslag per jaar en komen de winden vaker uit de richtingen zuid tot west.

Het aantal dagen in de winter met een gemiddelde windrichting tussen noordoost en zuidoost (*50 Number of days with NE-E-SE wind (DJF)*) zijn dagen waarop continentale luchtsoorten worden aangevoerd.

Oostenwinden voeren in de winter koude lucht en in de

5 Luchtdrukindices

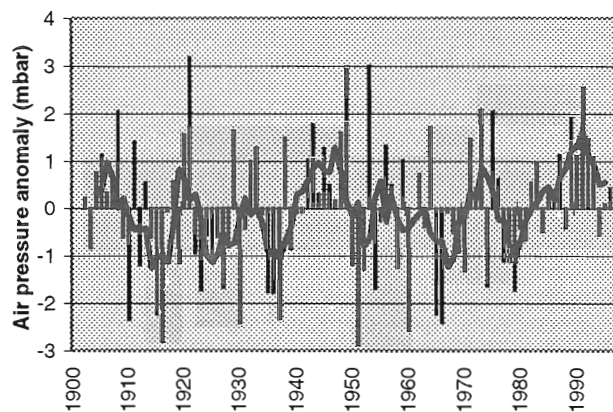
5.1 Inleiding

Luchtdruk is een klimatologisch element dat varieert met de aanwezigheid van hoge- en lagedrukgebieden. De jaargemiddelde luchtdruk en de minimum luchtdruk van een jaar kunnen berekend worden. Deze indices worden besproken in paragraaf 5.2. Ook kan voor luchtdruk het aantal dagen per jaar bepaald worden waarop de luchtdruk een bepaalde waarde overschrijdt. Hier gaat de laatste paragraaf van dit hoofdstuk over.

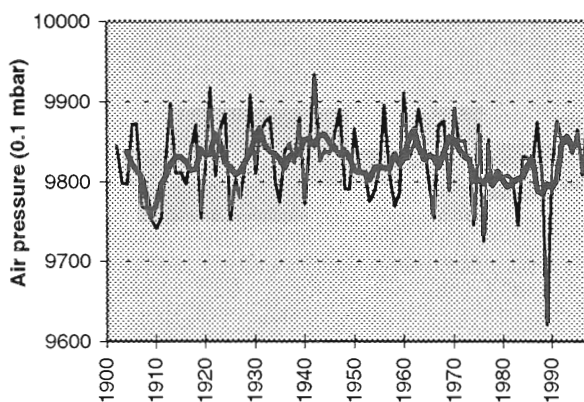
Uit de luchtdrukgradiënt kan de geostrofische windsnelheid berekend worden. Hiermee kunnen de intensiteit en het voorkomen van stormen bepaald worden. Om een luchtdrukgradiënt te berekenen moet de luchtdruk van in ieder geval twee plaatsen bekend zijn. Dus er kunnen geen geostrofische windsnelheden berekend worden uit gegevens van alleen De Bilt.

5.2 Gemiddelde en minimum luchtdruk

De eerste index voor luchtdruk is de jaargemiddelde luchtdrukanomalie (*51 Annual mean pressure anomalies*). Deze zijn berekend ten opzichte van het gemiddelde van de totale periode. De lijn van de 5-jaar lopende gemiddelden vertoont een mooie oscillatie en er is geen positieve of negatieve trend in de luchtdrukanomalieën aanwezig. Periodes met een relatief lage druk worden afgewisseld door periodes met een relatief hoge druk. Brázdil et al. (1994) hebben hetzelfde gedaan voor zeven verschillende steden in Centraal Europa. De luchtdrukanomalieën voor de verschillende steden komen met elkaar overeen en de anomalieën van De Bilt volgen ook ongeveer hetzelfde patroon. Ook voor de steden geldt dat er geen significante trendverandering aanwezig is in de jaargemiddelde luchtdruk, met uitzondering van Praag en Warschau. Naast luchtdrukanomalieën berekend door Brázdil et al. (1994) ook de variantie van de luchtdruk.



Figuur 51 Annual mean pressure anomalies

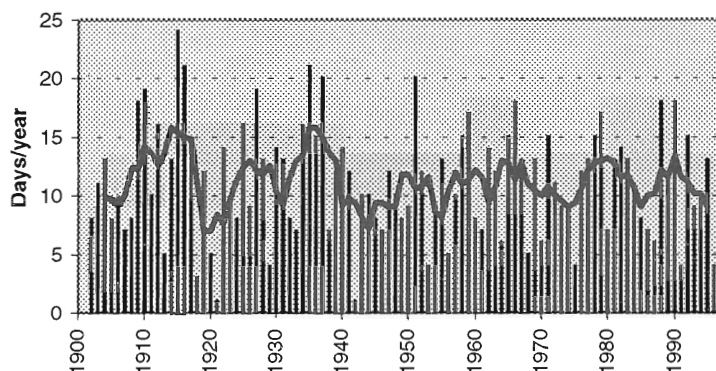


Figuur 52 Minimum annual air pressure

De minimum luchtdruk van een jaar (*52 Minimum annual air pressure*) zegt iets over de intensiteit van de zwaarste depressie die over of langs De Bilt is getrokken. Zware depressies kunnen hevige stormen veroorzaken. De lijn van de lopende gemiddelden van de minimum daggemiddelde luchtdruk van een jaar verloopt minder mooi oscillerend dan de lijn van de 5-jaar lopende gemiddelden van de jaargemiddelde luchtdruk. De laagste daggemiddelde luchtdruk is gemeten in 1989 en de hoogste in 1942.

5.3 Aantal dagen waarop een bepaalde luchtdruk wordt overschreden

De twee indices van deze paragraaf zijn het aantal dagen per jaar met een gemiddelde luchtdruk beneden 995 hPa (53 *Number of days with air pressure < 995 hPa*) en het aantal dagen met een gemiddelde luchtdruk boven 1025 hPa (54 *Number of days with air pressure > 1025 hPa*). Vermeld moet worden dat deze grafieken niet het

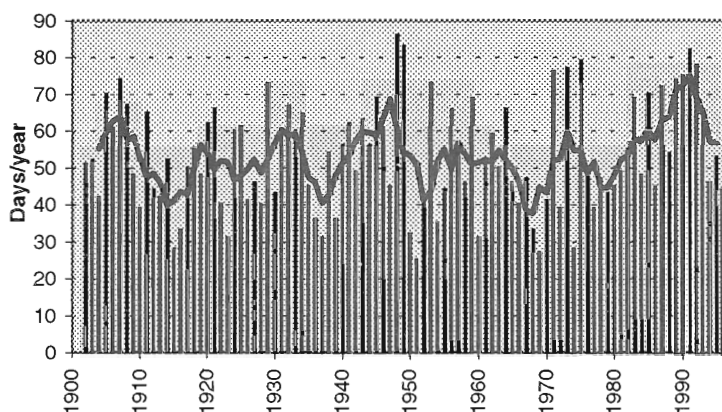


Figuur 53 Number of days with air pressure < 995 mbar

aantal dagen tonen waarop de kerndruk van een lagedrukgebied/hogedrukgebied in de buurt van Nederland lager/hoger is dan een bepaalde waarde. De grafieken tonen het aantal dagen per jaar waarop de luchtdruk in De Bilt een drempelwaarde overschrijdt. Als de luchtdruk laag is dan is er sprake van onstabiel weer waarin buien en stormen zich voor kunnen doen. Hoge luchtdruk gaat gepaard met stabiele weertypes.

In de periodes 1910-1920 en 1930-1940 zijn de meeste daggemiddelde luchtdrukken lager dan 995 mbar waargenomen. Vanaf eind jaren '70 tot 1990 is het aantal dagen met een luchtdruk boven 1025 hPa flink gestegen. Het aantal dagen met een luchtdruk boven 1025 hPa vertoont een licht stijgende trend.

Een andere mogelijkheid is het bepalen van het aantal runs van achtereenvolgende dagen waarop 995 of 1025 mbar wordt overschreden. Het verschil met de voorgaande indices is de duur van de periode waarop een bepaalde luchtdruk wordt overschreden. De voorgaande indices geven een beter beeld van het aantal dagen waarop De Bilt te maken kan hebben met stormen of stabiel weer.



Figuur 54 Number of days with air pressure > 1025 mbar

Het aantal Noord-Atlantische lagedrukgebieden per jaar in het winterseizoen met een kerndruk lager dan 950 hPa is gegeven in het "Annual Bulletin on the Climate in WMO Region VI" (Deutscher Wetterdienst, 1996). In deze grafiek lijkt het aantal gevallen per jaar vanaf 1960 te stijgen. Vooral na 1990 is het aantal extreem lage lagedrukgebieden hoog. Dit verloop is niet terug te vinden in de grafiek van het aantal dagen met een luchtdruk lager dan 995 mbar. Voor een betere vergelijking met het aantal Noord-Atlantische lagedrukgebieden zou deze grafiek voor winters i.p.v. jaren bepaald moeten worden. Het is uitgerekend dat 56 % van de dagen in Figuur 53 in het winterhalfjaar vallen.

6 Luchtvochtigheidsindices

6.1 Inleiding

Het klimatologische element relatieve luchtvochtigheid wordt weinig gebruikt in het onderzoek naar klimaatveranderingen, terwijl luchtvochtigheid toch één van de elementen is die op de meeste weerstations al een lange tijd worden gemeten. De meetreeksen zijn dus lang, maar niet altijd homogeen. Ze zijn ook niet altijd te vergelijken met andere metingen van luchtvochtigheid, door verschillen in meetinstrumenten.

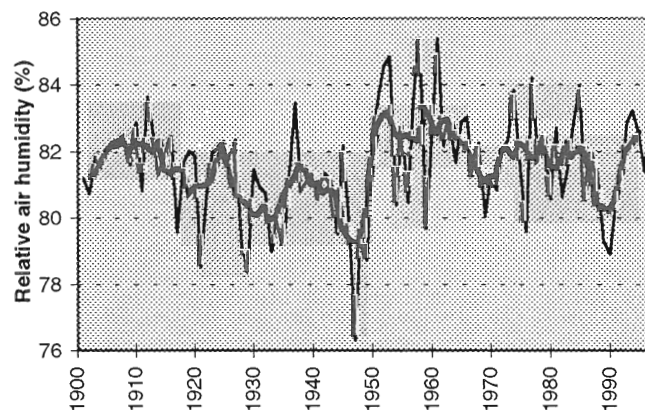
Er zijn niet veel specifieke indices beschreven in de literatuur die betrekking hebben op de luchtvochtigheid. Dit hoofdstuk behandelt alleen de jaargemiddelde luchtvochtigheid.

6.2 Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid

De jaargemiddelde relatieve luchtvochtigheid (*55 Annual mean relative air humidity*) is voor De Bilt berekend over een periode van 1901 tot 1997. De grafiek is voorzien van 5-jaar lopende gemiddelden. De jaargemiddelde luchtvochtigheid is vanaf het begin van deze eeuw afgenomen tot halverwege jaren '40. Daarna is de luchtvochtigheid toegenomen met 3% over een periode van ongeveer 10 jaar. Na 1955 vindt een daling van de jaargemiddelde luchtvochtigheid plaats. De trendlijn stijgt met 0.6% over 100 jaar. Vooral de sterke sprong na 1940 zou een gevolg kunnen zijn van

een verandering van het meetinstrument. Bekend is dat in 1950 en in 1951 het meetinstrument is verplaatst naar een nieuw terrein. De laagste jaargemiddelde relatieve luchtvochtigheid is gemeten in 1947. Dit jaar kende een relatief droge en zeer hete zomer. Dat houdt vermoedelijk verband met de lage waargenomen luchtvochtigheid. De hoogste waarden voor de jaargemiddelde luchtvochtigheid bevinden zich rond 1960.

Brázdil et al. (1994) geven voor vier steden in Centraal Europa het verloop van de anomalieën van de jaargemiddelde relatieve luchtvochtigheid. Twee van de vier steden tonen een duidelijke trenddaling van de jaargemiddelde luchtvochtigheid.



Figuur 55 Annual mean relative air humidity

7 Zonneschijnindices

7.1 Inleiding

Van zonneschijn kunnen onder andere de grootheden zonneschijnduur en globale straling gemeten worden. Ook is het mogelijk om de directe en de indirecte straling van de zon te meten. De grootheden variëren gedurende een jaar als gevolg van de variatie in zonnestand. De toestand van de atmosfeer, de concentratie van bepaalde stoffen in de atmosfeer en de aanwezigheid van bewolking zijn ook van invloed op de hoeveelheid ontvangen straling op aarde. De dagelijkse hoeveelheid globale straling en de zonneschijnduur worden opgeslagen in de database van De Bilt.

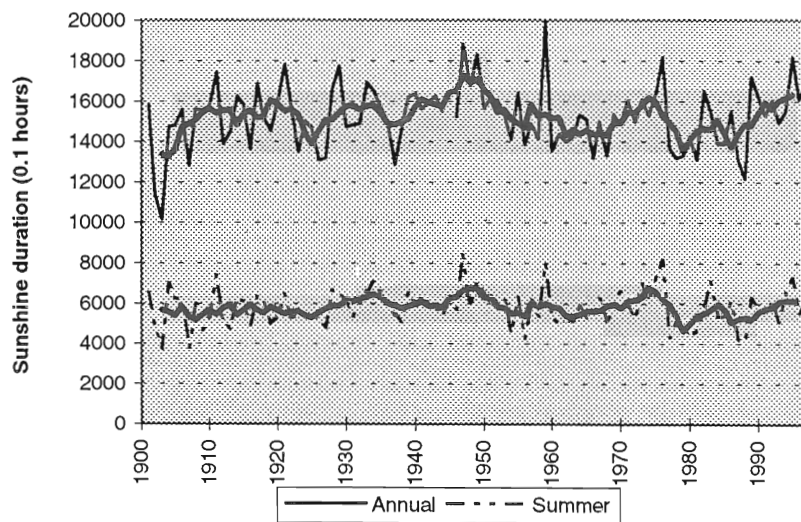
Het aantal uren dat de zon schijnt houdt verband met het aantal uren dat bewolking aanwezig is, maar het is niet het omgekeerde. De beide grootheden zijn niet van elkaar af te leiden, omdat ook door dunne (cirrus)bewolking de zon kan schijnen. Daarnaast schijnt 's nachts de zon niet en dat wil niet zeggen dat er dan bewolking aanwezig is.

In dit hoofdstuk worden indices besproken die berekend kunnen worden aan de hand van de zonneschijnduur. Indices die met de globale straling te maken hebben worden niet besproken. Brázdil et al. (1994) geven wel voor Potsdam en Wenen de afwijking van de jaargemiddelde globale straling ten opzichte van het gemiddelde. Deze is voor De Bilt niet uitgerekend.

7.2 Zonneschijnduur

De dagelijkse zonneschijnduur is gesommeerd over een jaar en over de zomermaanden (56 *Sunshine duration*). Daarnaast zijn 5-jaar lopende gemiddelden berekend. De zonneschijnduur varieert per jaar en per zomer. Voor beide liggen de hoogste waarden voor de zonneschijnduur rond 1950. De laagste

waarden werden bereikt in 1903. Er is geen trenddaling of -stijging aanwezig in het aantal zonneschijnuuren. Brázdil et al. (1994) geven van 9 steden uit Centraal Europa de zonneschijnduur gesommeerd over een jaar. Voor de meeste steden geldt dat de jaarlijkse zonneschijnduur vanaf 1900 is gestegen tot halverwege jaren '40, waarna de jaarlijkse zonneschijnduur daalde tot rond 1970. Een dergelijk



Figuur 56 Sunshine duration

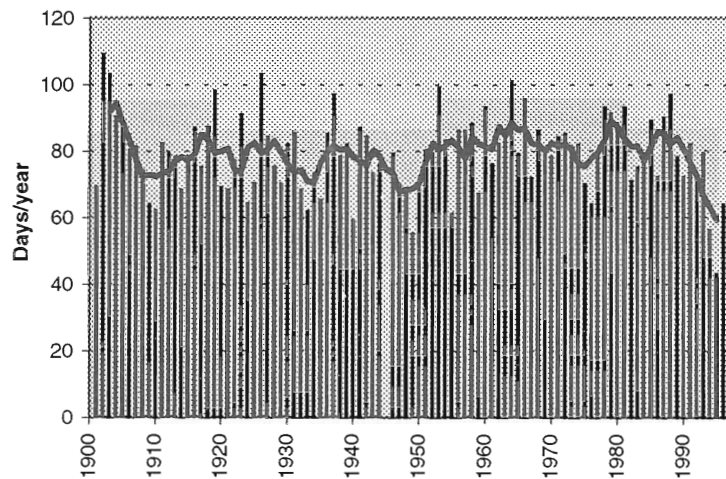
verloop is ook waarneembaar in de gegevens van De Bilt.

Het ECSN-rapport (1995) geeft voor verschillende steden in Europa de zonneschijnduur per jaar, per zomer en per winter. Ook uit die grafiekjes blijkt dat voor een groot deel van Europa de hoogste waarden voor zonneschijnduur werden bereikt rond 1940-1950.

Dagwaardes van de zonneschijnduur kunnen ook als percentages van de maximaal mogelijke zonneschijnduur weergegeven worden.

7.3 Zonloze dagen

Het aantal dagen per jaar waarop de zon niet schijnt (*57 Number of days with no sunshine*) is een index die naast vele andere gebruikt wordt in een publicatie van het KNMI (1985) waarin de klimatologische gegevens van De Bilt vermeld staan. Gedurende de eerste decade van deze eeuw neemt het aantal dagen zonder zon flink af. Eind jaren '40 en vanaf 1994 is het aantal zonloze dagen het laagst. Het aantal totaal bewolkte dagen is dus laag. Eventuele verbanden met neerslagduur en -hoeveelheid die naar verwachting zullen afnemen en met de temperatuur die naar verwachting zal stijgen gedurende jaren met minder bewolkte dagen zijn niet terug te vinden in de voorgaande grafieken. De invloed van het aantal zonloze dagen hierop is waarschijnlijk te klein.



Figuur 57 Number of days with no sunshine

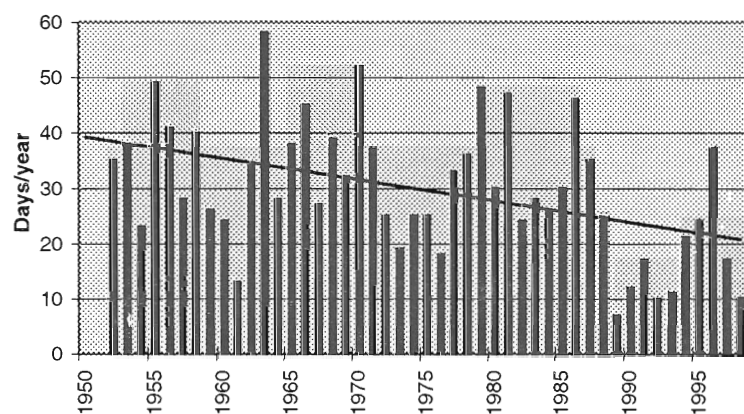
8 Sneeuw-, hagel- en onweerindices

8.1 Inleiding

Sneeuw en hagel zijn twee vormen van neerslag, maar ze worden toch apart besproken en niet in het hoofdstuk over neerslagindices. Sneeuw, hagel en onweer worden waargenomen op de meeste weerstations en zijn van De Bilt vanaf 1951 opgeslagen in een database. Ze bepalen mede de variabiliteit van het klimaat en hebben een grote “impact” op de natuur en de maatschappij. Hagel en onweer kunnen veel schade veroorzaken. Sneeuw bepaalt voor een groot deel het winterbeeld.

8.2 Aantal dagen per jaar met sneeuw, hagel of onweer

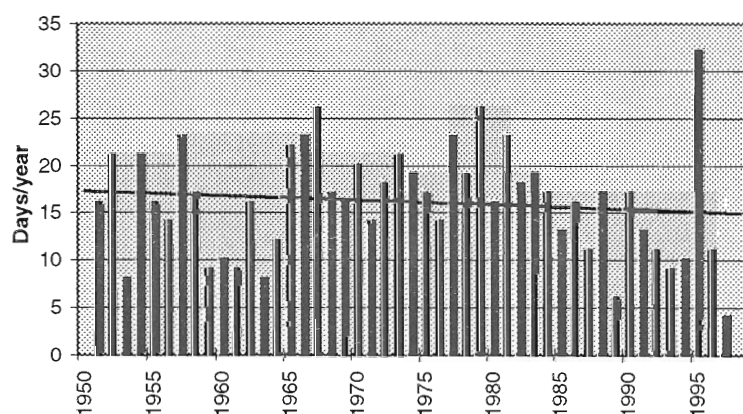
Voor sneeuw, hagel en onweer is per jaar het aantal dagen bepaald waarop het voorkwam (58 *Number of days with snowfall*; 59 *Number of days with hail*; 60 *Number of days with thunderstorms*). Deze indices (en nog vele andere) worden genoemd door Ropelewski (1997). Het aantal sneeuwdagen per jaar is berekend over de wintermaanden oktober, november en december van het voorgaande jaar tot en met maart van het daaropvolgend jaar.



Figuur 58 Number of days with snowfall

Andere sneeuwindices zijn het aantal dagen per winter met een sneeuwdek behorend tot een bepaalde klasse in dikte en de dikte van het totale sneeuwdek dat in een winter is gevallen. Het KNMI (1997) geeft voor de periode 1961-1990 het aantal dagen per jaar met sneeuwdek.

Wanneer deze grafiek vergeleken wordt met Figuur 58, valt op dat het aantal dagen met sneeuwval meestal niet

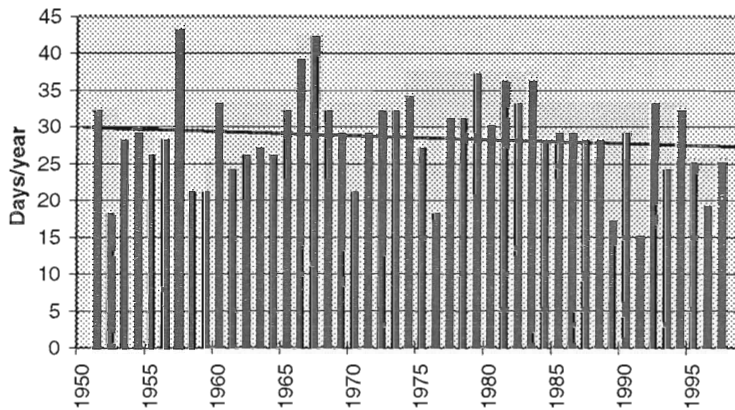


Figuur 59 Number of days with hail

Het aantal dagen met sneeuw is in De Bilt vanaf 1950 drastisch afgenomen met bijna 20 dagen per 50 jaar. Opvallend is dat het aantal sneeuwdagen per jaar in de periode 1989 tot 1998 met uitzondering van 1996 ver beneden het gemiddelde ligt. Hetzelfde geldt een beetje voor de periode rond 1975. Dit houdt verband met de gemiddelde wintertemperatuur die gedurende deze periode hoger was dan normaal.

sneeuwval meestal niet overeenkomt met het aantal dagen met een sneeuwdek en ook het verloop van beide grafieken verschilt gedurende de periode 1961-1990. Een verklaring hiervoor is dat sneeuwval niet altijd een sneeuwdek veroorzaakt en daarnaast kan sneeuwval van één dag tot een sneeuwdek leiden dat meerdere dagen blijft liggen.

Het aantal hageldagen is minder afgenomen dan het aantal sneeuwdagen. De afname van het aantal hageldagen is niet noemenswaardig als gevolg van de uitschieter in 1995. De voornaamste periodes met relatief weinig hageldagen zijn van 1959 tot 1964 en het laatste decennium. Gedurende deze periodes was het aantal dagen met onweer ook minder dan gemiddeld. Een verklaring voor deze samenhang is dat beide weerverschijnselen zich voordoen bij heftige buien. Nagegaan is of de dagen met hagel, dezelfde dagen zijn als de dagen met onweer. Geconcludeerd is dat 24% van de hageldagen gepaard gaat met onweer. Het aantal dagen met onweer is de afgelopen 50 jaar met ongeveer 5 afgenomen.



Figuur 60 Number of days with thunder-storms

9 Overige indices

9.1 Inleiding

Er zijn nog tal van andere indices die de variabiliteit in het klimaat en de extremen van het klimaat beschrijven. Een aantal zal in dit hoofdstuk besproken worden. Sommige van deze indices zijn gebaseerd op klimatologische elementen, andere op afgeleide grootheden. Van de indices die in dit hoofdstuk genoemd worden, zijn geen voorbeeldgrafieken gegeven.

9.2 Indices

Allereerst zijn er de indices die met bewolking te maken hebben. Door de toename van broeikasgassen en aerosolen in de atmosfeer zou de bewolgingsgraad en de bewolgingsduur zijn toegenomen. Om na te gaan in hoeverre sprake is van een toename in bewolking kan per jaar of per seizoen de gemiddelde bewolgingsgraad bepaald worden. Ook kan per jaar het aantal heldere of bewolkte dagen geteld worden. Een voorbeeld hiervan wordt voor gegevens van Australië gegeven in Plummer et al. (1997). Per jaar kan het totaal aantal uren bepaald worden waarop bewolking of bewolking van een bepaald type aanwezig is. Dit laatste zal vaak niet mogelijk zijn, omdat bewolkingstype niet een standaard waarneming is. Het ECSN-rapport (1995) toont voor zowel de zomer als de winter een kaart voor Europa met de jaargemiddelde bewolgingsgraad.

Een ander klimatologisch element is verdamping. De verdamping kan berekend worden met behulp van de Penman of de Makkink methode en kan gesommeerd worden over een jaar net als neerslag. Per periode kan dan het neerslagtekort of -overschot berekend worden door het verschil tussen neerslag en verdamping te berekenen. Met behulp van deze gegevens kunnen periodes met extreme neerslagtekorten en neerslagoverschotten bepaald worden.

Een andere index die neerslag, verdamping en droogte betreft is het bodemvochtgehalte dat gemiddeld kan worden over een jaar of over een seizoen. Periodes met extreem hoge of lage bodemvochtgehalten kunnen ook bepaald worden.

De bodemtemperatuur vlak onder het oppervlak geeft duidelijk de dagelijkse temperatuursverandering weer. Dieper in de bodem is de jaarlijkse temperatuurschommeling waarneembaar. Nog dieper in de grond varieert de bodemtemperatuur als gevolg van de temperatuurverandering over langjarige periodes. Deze zou een stijgende trend moeten vertonen over de afgelopen eeuw, net als de jaargemiddelde temperatuur.

Het verloop van de jaargemiddelde of de seizoensgemiddelde temperatuur op grotere hoogtes in de troposfeer en de stratosfeer geven ook inzicht in de variabiliteit van het klimaat.

Daarnaast kunnen temperaturen van zeewater en oppervlaktewater een beeld geven van klimaatveranderingen. Het aantal dagen per jaar met een extreme golfhoogte of een extreme wateropzet kan bepaald worden. Ook zouden jaargemiddelde golfhoogtes berekend kunnen worden.

Als laatste kunnen verschillende klimatologische elementen tot één index worden gecombineerd. Voorbeelden hiervan zijn de “heat stress index” en de “wind chill index. De eerste index wordt berekend uit de dauwpunttemperatuur en de gewone temperatuur en de tweede uit de temperatuur en de windsnelheid (Folland et al., 1997).

10 De Noord Atlantische Oscillatie

10.1 Inleiding

Uit de voorgaande hoofdstukken blijkt dat neerslagsommen, gemiddelde temperaturen en overheersende windrichtingen per jaar en per decade sterk kunnen variëren. De overeenkomsten tussen de verschillende indices en de veranderingen in het klimaat zijn beschreven zoals bijvoorbeeld de overeenkomst tussen winters met veel ijsdagen en winters met een lage gemiddelde temperatuur en tussen jaren met een hoge variantie in de maandgemiddelde temperaturen en jaren met warme zomers en koude winters.

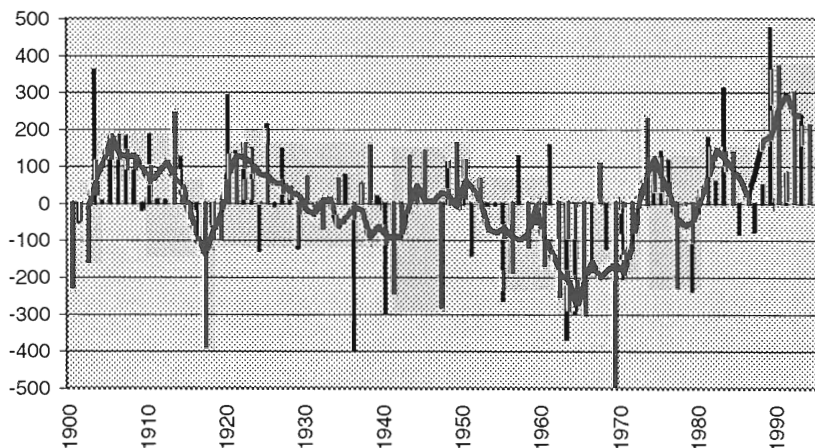
De vraag blijft wat deze klimaatveranderingen veroorzaakt. Is het een gevolg van de natuurlijke variabiliteit en het chaotische gedrag van de atmosfeer? Of wordt het veroorzaakt door het versterkte broeikaseffect?

Het belangrijkste natuurlijke fenomeen dat samenhangt met het Europese klimaat is de NAO (North Atlantic Oscillation). De NAO beïnvloedt ook het klimaat van Noord Amerika, Siberië en Groenland. Behalve de NAO is er een ander fenomeen dat het Europese klimaat beïnvloedt: het "East Atlantic Pattern".

Dit hoofdstuk gaat in op de NAO. De volgende paragraaf behandelt de theorie van de NAO en de laatste paragraaf beschrijft de relaties tussen de NAO en het winterklimaat van De Bilt.

10.2 Theorie van de NAO

De Noord Atlantische Oscillatie is een luchtdrukpatroon tussen het lagedrukgebied boven IJsland en het hogedrukgebied boven de Azoren. Periodes met een luchtdruk die boven IJsland lager is dan normaal en boven de Azoren hoger is dan normaal worden afgewisseld met periodes waarin de luchtdruk boven IJsland hoger is dan normaal en boven de Azoren lager is dan normaal. Hierdoor worden bij ons periodes met sterke westenwinden afgewisseld door periodes met minder sterke westenwinden. Dit heeft gevolgen voor de circulatiepatronen en het weertype boven onder andere Europa. De NAO-index geeft aan in welke toestand de NAO zich bevindt. De NAO-index is het verschil in luchtdruk tussen IJsland en Lissabon. Figuur 61 toont de NAO-index vanaf 1900.



Figuur 61 NAO-index

wintertemperaturen. De invloed van de NAO op de zomertemperaturen en -neerslagen is gering, omdat in de winter de temperatuurgradiënt tussen de noordpool en de evenaar het grootst is en in de zomer het kleinst. Daarnaast ligt in de zomer een laagje warm water op de oceaan, waardoor de invloeden van de oceaan op de atmosfeer minder sterk zijn.

De Noord Atlantische Oscillatie wordt beïnvloed door zeewatertemperaturen en waarschijnlijk ook door El Niño, een verschijnsel dat lijkt op de NAO en zich voordoet boven de Stille Oceaan (KNMI, 1998).

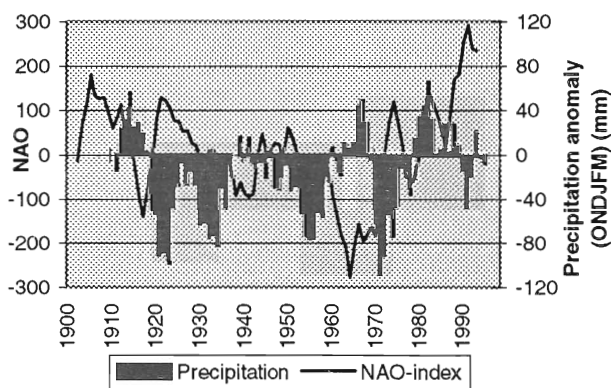
De NAO komt het sterkst tot uitdrukking in de winter. Invloeden van de NAO zijn het duidelijkst te merken aan de gemiddelde

Als de NAO-index hoog is dan is de kerndruk van het hogedrukgebied boven de Azoren hoger dan normaal en de kerndruk van het lagedrukgebied boven IJsland lager dan normaal. In zo'n situatie zal de wind boven West Europa vaak uit het westen waaien. Dit resulteert in milde winters, zoals eind jaren '80 en begin jaren '90. Tijdens een hoge NAO-index wordt het vocht voornamelijk vanuit het zuidwesten naar het noordoosten getransporteerd waardoor er meer neerslag valt in Noord Europa en Scandinavië en minder in het zuiden van Europa en in Noord Afrika. De recente toename van het gletsjerijs in Noorwegen houdt waarschijnlijk verband met de hoge NAO-index van de laatste decade. De wintertemperaturen boven Noord Europa en Azië zijn gemiddeld hoger dan normaal gedurende een hoge NAO-index en de temperaturen boven het Midden Oosten, Groenland en Noord Canada lager. De temperaturen boven het oosten van de V.S. zijn eveneens hoger (Hurrell, 1995).

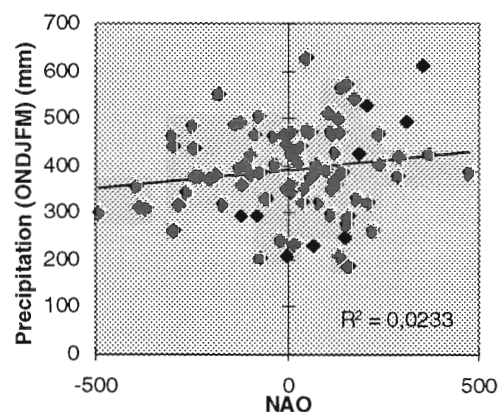
Als de NAO-index laag is dan is de luchtdruk bij Lissabon lager dan normaal en de luchtdruk bij IJsland hoger dan normaal. Oostenwinden kunnen nu over Europa waaien en in de winter koude lucht aanvoeren. Uiteraard doen zich ook wel westenwinden voor bij een lage NAO-index, maar de gemiddelde stroming is minder sterk westelijk. Gedurende de jaren '60 was de NAO-index erg laag. De winters van de jaren '60 waren kouder dan normaal. Wanneer de NAO-index laag is dan wordt meer vocht aangevoerd in Zuid Europa, de Mediterrane en Noord Afrika.

10.3 NAO en het winterklimaat van De Bilt

Zeven indices die in de voorgaande hoofdstukken berekend zijn voor winters in De Bilt zijn vergeleken met de NAO-index. Eerst zijn van alle zeven indices anomalieën ten opzichte van het gemiddelde bepaald om een betere vergelijking met de NAO-index te maken. De anomalieën en de NAO-index zijn voor elke index in één grafiek gezet. Vervolgens is van elke index (geen anomalieën) en de NAO-index een spreidingsdiagram gemaakt. In elk spreidingsdiagram zijn R^2 (de kleinste kwadraat) en de functie van de trendlijn weergegeven.



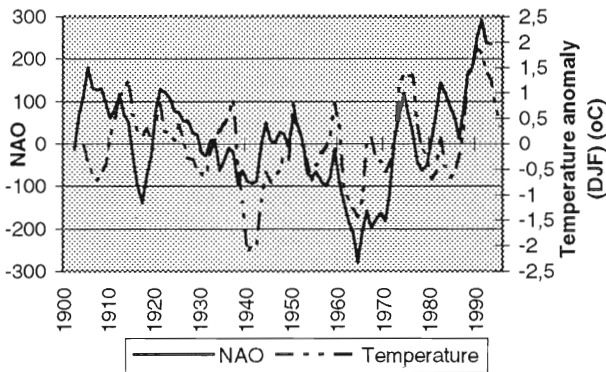
Figuur 62 NAO-index and winter precipitation (ONDJFM)



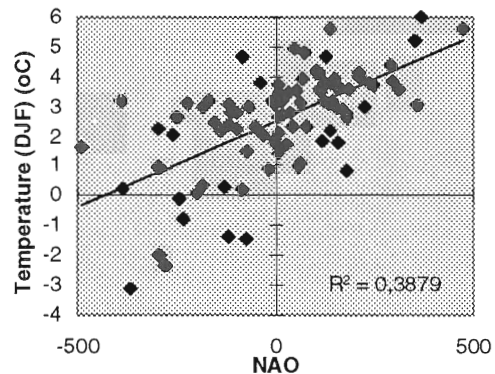
Figuur 63 Relation between NAO-index and winter precipitation (ONDJFM)

Als eerste is de NAO-index vergeleken met de hoeveelheid neerslag die in het winterhalfjaar valt. Figuur 62 lijkt een negatieve correlatie weer te geven, maar de lineaire regressielijn van het spreidingsdiagram (Figuur 63) spreekt dit tegen. R^2 is bijna nul. Dat wil zeggen dat de hoeveelheid neerslag in de winter in De Bilt niet correleert met de NAO-index. Dat was te verwachten, omdat Nederland net op de grens ligt tussen Scandinavië, waar tijdens periodes met een hoge NAO-index meer neerslag valt en de Mediterrane waar dan minder neerslag valt.

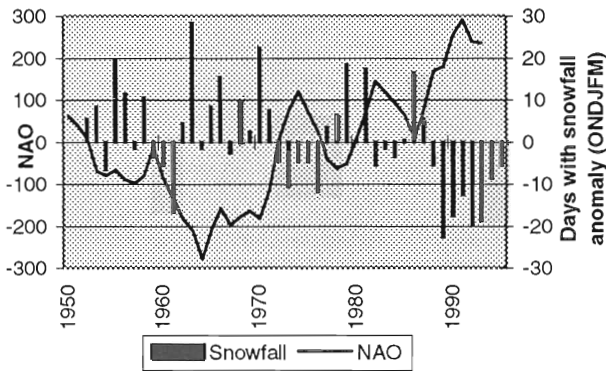
De gemiddelde wintertemperatuur (Figuur 64) is positief gecorreleerd met de NAO-index. Alleen tussen 1900 en 1910 is de NAO-index hoger dan normaal en de gemiddelde wintertemperatuur lager. Het spreidingsdiagram (Figuur 65) toont een duidelijke positieve correlatie.



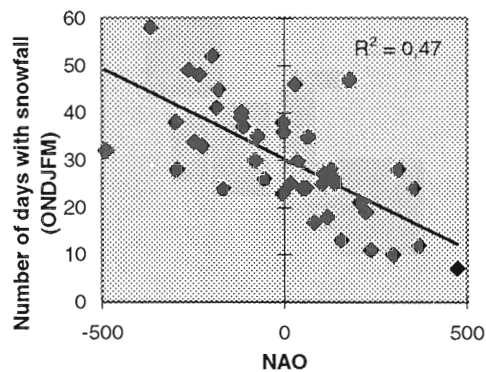
Figuur 64 NAO-index and winter mean temperature (DJF)



Figuur 65 Relation between NAO-index and winter mean temperature (DJF)

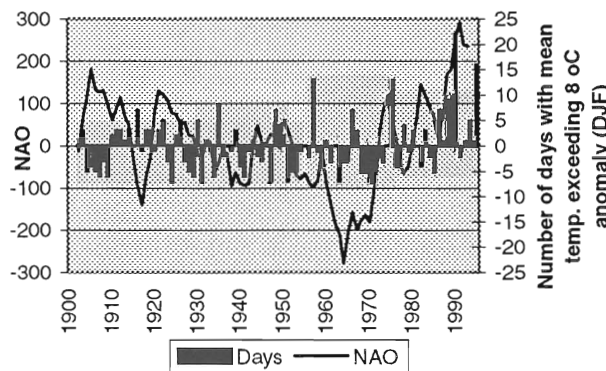


Figuur 66 NAO-index and number of days with snowfall (ONDJFM)

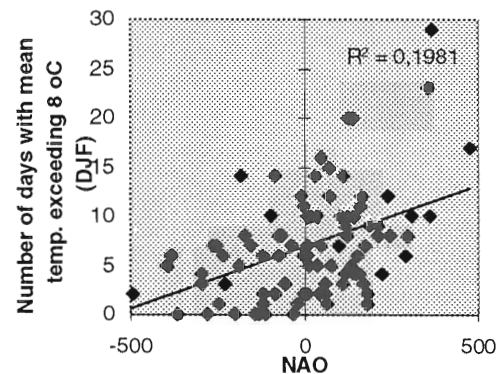


Figuur 67 Relation between NAO-index and number of days with snowfall (ONDJFM)

Het aantal sneeuwdagen per winterhalfjaar blijkt sterk negatief te correleren met de NAO-index (Figuur 66). Wanneer de NAO-index hoog is en warme lucht wordt aangevoerd in de winter, dan is het aantal dagen met sneeuw minder dan normaal. R^2 is 0.47 (Figuur 67).

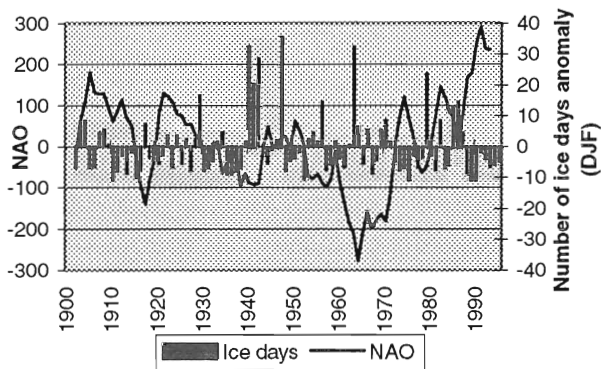


Figuur 68 NAO-index and number of days with mean temperature exceeding 8 °C (DJF)

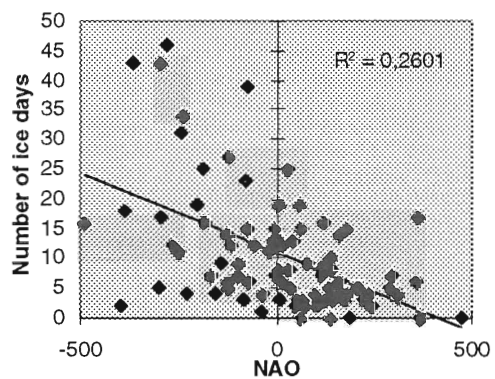


Figuur 69 Relation between NAO-index and number of days exceeding 8 °C (DJF)

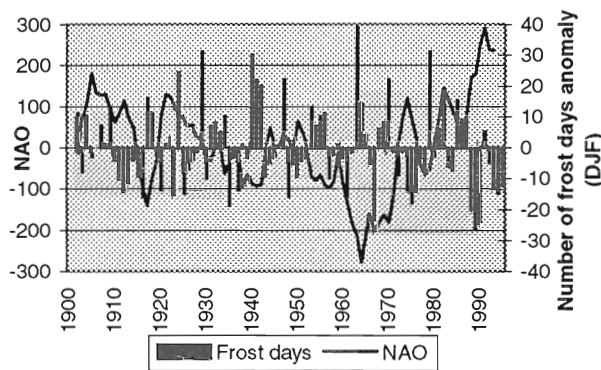
Als de NAO-index hoog is zullen westenwinden in de winter overheersen en zal de winter milder zijn. Het aantal dagen waarop de gemiddelde temperatuur 8 °C overschrijdt (Figuur 68) zal dan naar verwachting stijgen. Deze positieve correlatie is niet duidelijk zichtbaar in de grafiek. Figuur 69 geeft een beter beeld van de positieve correlatie, maar R^2 is 0.20. Het aantal ijsdagen per winter is naar verwachting negatief gecorreleerd met de NAO-index (Figuur 70). Het aantal ijsdagen correleert minder goed met de NAO-index dan het aantal sneeuwdagen. Het spreidingsdiagram (Figuur 71) van de NAO-index met het aantal ijsdagen toont meer spreiding dan met het aantal sneeuwdagen. Het aantal vorstdagen (Figuur 72) correleert beter met de NAO-index dan het aantal ijsdagen. Dit is goed zichtbaar wanneer de spreidingsdiagrammen (Figuren 71 en 73) met elkaar vergeleken worden. Het aantal vorst- en ijsdagen neemt dus toe als de NAO-index negatief wordt en er sprake is van blokkades waardoor westenwinden minder overheersen.



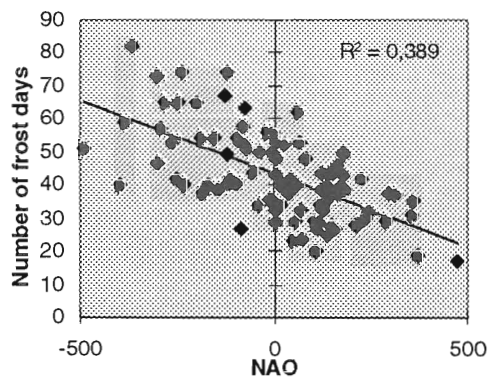
Figuur 70 NAO-index and number of ice days (DJF)



Figuur 71 Relation between NAO-index and number of ice days (DJF)

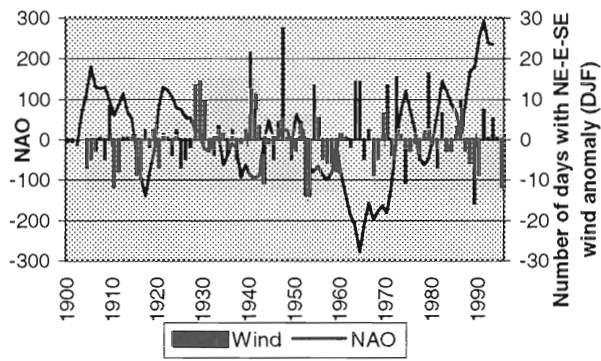


Figuur 72 NAO-index and number of frost days (DJF)

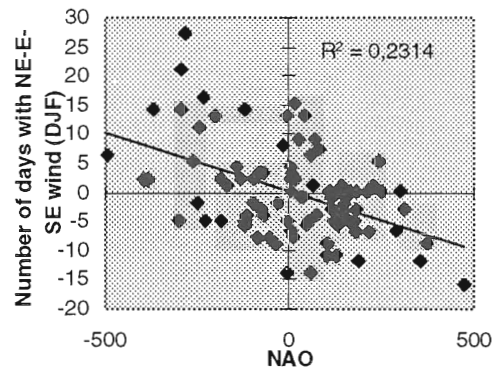


Figuur 73 Relation between NAO-index and number of frost days (DJF)

Als de NAO-index laag is, zal de wind vaker uit het oosten waaien. Dit is nagegaan door de NAO-index en het aantal dagen in de winter met een overheersende windrichting tussen noordoost en zuidoost in een grafiek te zetten (Figuur 74). Er lijkt een redelijke negatieve correlatie te bestaan en Figuur 75 bevestigt dit. R^2 is 0.39.



Figuur 74 NAO-index and number of days with NE-E-SE wind (DJF)



Figuur 75 Relation between NAO-index and number of days with NE-E-SE wind (DJF)

Uit deze vergelijkingen blijkt een duidelijke samenhang tussen de Noord Atlantische Oscillatie en het winterklimaat van De Bilt. Van de indices waarnaar gekeken is, beïnvloedt de NAO vooral het aantal sneeuwdagen en het aantal vorstdagen, de gemiddelde wintertemperatuur en de overheersende windrichting.

11. Discussie, conclusies en aanbevolen indices

11.1 *Discussie en conclusies*

In de voorgaande hoofdstukken zijn veel indices besproken die informatie geven over de variabiliteit en de extremen van het klimaat. De indices zijn toegepast op gegevens van De Bilt, waardoor een beeld wordt geschetst van het klimaat van De Bilt van de afgelopen eeuw. Hierbij moet vermeld worden dat de meetreeksen van De Bilt waarschijnlijk onvoldoende gecontroleerd zijn op homogeniteit. Bij de windsnelheid werd al snel duidelijk dat de reeks niet homogeen was, omdat een grote sprong in de jaargemiddelde windsnelheid zich voordeed. De andere reeksen kunnen kleinere heterogeniteiten bevatten.

Geconcludeerd kan worden dat de jaarlijkse neerslagsom in De Bilt is toegenomen als gevolg van de sterke toename van neerslag in de winter. Het aantal neerslagdagen in De Bilt is echter afgenomen en het aantal droge dagen toegenomen. De hoeveelheid neerslag per neerslagdag is dus toegenomen, maar aangezien de totale neerslagduur is gestegen, en dus het aantal neerslaguren per neerslagdag, is de gemiddelde neerslagintensiteit per jaar afgenomen. De meeste neerslag viel in de jaren '60. In die periode was de overheersende windrichting vaak uit zuid tot west en was de jaargemiddelde temperatuur gemiddeld lager dan normaal. De eerste helft van deze eeuw kende meer droge jaren dan de tweede helft. De hoogste neerslagsommen kwamen voor na 1950.

De jaargemiddelde temperatuur van De Bilt is afgelopen eeuw toegenomen en voornamelijk als gevolg van een stijging in de minimum temperaturen. Hierdoor is de dagelijkse gang in temperatuur afgenomen. De periode 1950-1970 kende koele zomers en de jaren '40 strenge winters. Gedurende deze winters was de windrichting vaak oostelijk. De winters rond 1990 waren het mildst. Het aantal dagen met sneeuwval is sterk afgenomen.

De afname van het aantal ongewoon koude dagen en de toename van het aantal ongewoon warme dagen houden verband met de toename in de jaargemiddelde temperatuur. Het aantal ongewoon warme dagen is vooral toegenomen na 1988. Deze periode wordt gekenmerkt door hoge waarden voor de NAO-index.

11.2 *Aanbevolen indices*

Uit de beschreven indices zijn een aantal indices geselecteerd die grote impact hebben op onze maatschappij en daardoor belangrijk zijn. Deze indices worden in deze paragraaf beschreven. Mens en natuur kunnen bedreigd worden door klimaatextremen. Denk hierbij aan droogte en overstromingen. Deze kunnen schade aanrichten aan de natuur, de kusten en de landbouw. Neerslag en vorst zijn van invloed op de bouwnijverheid. De recreatie en de volksgezondheid worden ook beïnvloed door extremen in het klimaat (ECSN, 1995).

Een index die naar mijn idee belangrijk is voor de landbouw en de waterleidingbedrijven in verband met watertekorten is index 5 van de neerslagindices waarbij van elk jaar bepaald is of het erg droog, droog, normaal, nat of erg nat was.

Hevige neerslaghoeveelheden kunnen leiden tot overstromingen, die op hun beurt voor grote schade kunnen zorgen. Daarnaast kan hevige neerslag landbouwgewassen beschadigen en problemen veroorzaken in het verkeer. Index 9 van de neerslagindices, het aantal dagen per jaar dat het 90^{ste} en het 95^{ste} percentiel overschrijdt is mijns inziens een maat voor het aantal extreme neerslaghoeveelheden per jaar. Ook index 11, de maximum 5-daagse neerslagsom van een jaar, is een interessante index met betrekking tot overstromingen. Eenmalige hoge neerslaghoeveelheden kunnen plaatselijk tot wateroverlast leiden, maar een langdurige periode met veel neerslag over een groot gebied kan tot grote afvoerproblemen van rivieren leiden.

Het aantal droge dagen per jaar, index 8, en ook het aantal dagen zonder zonneschijn, index 57, zijn interessant voor de recreatie. Als het regent op veel dagen, kan er weinig gerecreëerd worden in de buitenlucht. Wanneer de zon niet schijnt zullen minder mensen bijvoorbeeld naar het strand gaan of er op uit trekken. Het aantal droge dagen is eveneens van belang voor de bouwnijverheid.

Het aantal zomerse dagen per jaar, index 28, heeft ook invloed op de recreatie. Daarnaast heeft warmte invloed op de volksgezondheid. Tijdens hete zomerse dagen sterven meer oude mensen. Daartegenover staat dat bij extreme koude bevroeringsverschijnselen kunnen leiden tot de dood van mensen die in de buitenlucht slapen of dronkaards.

Stormen kunnen schade aanrichten aan gebouwen, maar ook aan kusten. Stormen kunnen de scheepvaart en het verkeer stil leggen. Aangezien uit de windsnelheden van De Bilt geen betrouwbare indices berekend konden worden en er geen windsnelheden berekend zijn uit luchtdrukverschillen, geeft index 53, het aantal dagen per jaar met een luchtdruk lager dan 995 mbar, de meeste informatie omtrent het aantal dagen per jaar waarop storm zou kunnen zijn voorgekomen.

Hagel, sneeuw en onweer kunnen schade aanrichten aan gebouwen of overlast veroorzaken in het verkeer. Hagel kan ook veel schade veroorzaken in de landbouw, denk bijvoorbeeld aan kassen, fruitbomen en andere gewassen. Indices 58, 59 en 60, het aantal sneeuw-, hagel-, en onweerdagen per jaar zijn daarom interessant.

Door de stijgende gemiddelde temperaturen neemt de groeiperiode in de landbouw toe, mits de temperatuurstijgingen zich in de juiste maand voordoen. Index 24, de trends van de maandgemiddelde temperaturen over de periodes 1901-1997 en 1951-1997, geeft hier informatie over. Stijgende maandgemiddelde en jaargemiddelde temperaturen hebben veel invloed op de natuur. Door stijgende temperaturen verdwijnen soorten planten en dieren uit bepaalde gebieden, maar er komen ook nieuwe bij.

Het aantal dagen met vorst, index 35, heeft naast gevolgen voor de landbouw, ook gevolgen voor de bouwnijverheid.

Literatuur

- Balling, R.C. Jr., 1998. Analysis of trends in the variability of daily and monthly historical temperature measurements. 9th Global Change Studies, American Meteorological Society, 117-119.
- Bräzdil, B. and Budíková, M., 1994. Climate variation in Central Europe - facts or inhomogeneities? In: Climate variations in Europe, Proceedings of the European Workshop on Climate Variations held in Kirkkonummi (Majvik), Finland, 1994, Publications of the Academy of Finland 3/94, 9-29.
- Deutscher Wetterdienst, 1996. Annual Bulletin on the Climate in WMO Region VI -Europe and Middle East-. Deutscher Wetterdienst, Hamburg, Germany, 46 pp.
- ECSN, 1995. Climate of Europe: Recent variation, present state and future prospects. First European Climate Assessment, 72 pp.
- Flohn, H. and Fantechi, R., 1984. The Climate of Europe: Past, Present and Future, Natural and Man-Induced Climatic Changes: A European Perspective. Commission of the European Communities, Atmospheric Sciences Library, D. Reidel Publishing Company, 356 pp.
- Folland, C.K., Miller, C., Bader, D., Crowe, M., Jones, P., Plummer, N., Richman, M., Parker, D.E., Rogers, J. and Scholefield, P., Breakout Group C., 1997. Temperature Indices for Climate Extremes. In: Workshop on indices and indicators for climate extremes, NC, USA, 8 pp.
- Gerstengarbe, F.-W. and Werner, P.C., 1992. The time structure of extreme summers in Central Europe between 1901 and 1980. Meteorol. Zeitschrift, N.F. 1, 285-289.
- Groisman, P.Y., 1997. Changes in the probability of extreme precipitation: Why they can be so prominent in ongoing climatic changes. In: Workshop on indices and indicators for climate extremes, National Climatic Data Center, NOAA.
- Hellmann, J.G.G., 1917. Ueber strenge winter. Sitzungsbericht, Kön. Pr. Akad. der Wiss, Berlin.
- Hurrell, J.W., 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. Science, Vol 269, 676-679.
- Jones, P.D., Horton, E.B., Folland, C.K., Hulme, M., Parker, D.E. and Basnett, T.A., 1998. The use of indices to identify changes in climatic extremes. Submitted to Climatic Change.
- Karl, T.R., Knight, R.W. and Plummer, N., 1995. Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century. Nature, 377, 217-220.
- KNMI, 1985. Het klimaat van het hoofdobservatorium te De Bilt in de jaren 1901-1984. KNMI publication number 150-25.
- KNMI, 1997. Snowcover in the Netherlands 1961-1990: Climatological data of stations in the Netherlands. KNMI publication number 150-28, 32 pp.
- KNMI, 1998. Een zee van onderzoek: Oceanografisch speurwerk op het KNMI. ISBN 9036921414, 20 pp.
- Lough, J.M., 1997. Regional indices of change: Queensland, Australia. In: Workshop on indices and indicators for climate extremes, National Climatic Data Center, NOAA.
- Orfila, B., 1994. ECSN data projects and progress. In: Climate variations in Europe, Proceedings of the European Workshop on Climate Variations held in Kirkkonummi (Majvik), Finland, 1994. Publications of the Academy of Finland 3/94, 71-77.

- Plummer, N., 1996. Temperature variability and extremes over Australia: part 1 - recent observed changes. *Aust. Met. Mag.* 45, 233-250.
- Plummer, N., Nicholls, H., Lavery, B.M., Leighton, R.M. and Trewin, B.C., 1997. Twentieth century trends in Australian Climate Extreme Indices. In: *Workshop on indices and indicators for climate extremes*, National Climatic Data Center, NOAA.
- Ropelewski, C.F., 1997. Operational Global Data Sets for Developing Indices/Indicators of Changes in Extreme Events: A Challenge to the Community. In: *Workshop on indices and indicators for climate extremes*, National Climatic Data Center, NOAA.
- Suppiah, R. and Hennessy, K.J., 1998. Trends in total rainfall, heavy rain events and number of dry days in Australia, 1910-1990. *Int. J. Climatol.* 10, 1141-1164.
- Wieringa, J. and Rijkoort, P.J., 1983. *Windklimaat van Nederland: Klimaat van Nederland 2*. KNMI, De Bilt, 263 pp.
- Yu, B. and Neil, D.T., 1991. Global warming and region rainfall: the difference between average and high intensity rainfalls. *Int. J. Climatol.* 11, 653-661.

**KNMI-PUBLICATIES, TECHNISCHE & WETENSCHAPPELIJKE
RAPPORTEN, GEPUBLICEERD SEDERT 1995**

Een overzicht van eerder verschenen publicaties, wordt verzoek toegezonden door de Bibliotheek van het KNMI, postbus 201, 3730 AE De Bilt, tel. 030 - 2 206 855, fax. 030 - 2 210 407; e-mail: biblioth@knmi.nl

▼ KNMI-PUBLICATIE MET NUMMER

150-28 Sneeuwdek in Nederland 1961-1990 / A.M.G. Klein Tank
176-S Stormkalender: chronologisch overzicht van alle stormen (windkracht 8 en hoger) langs de Nederlandse kust voor het tijdvak 1990-1996 / [samenst. B. Zwart ea.]
180a List of acronyms in environmental sciences : revised edition / [compiled by P. Geerders and M. Waterborg]
181a FM12 SYNOP : internationale en nationale regelgeving voor het coderen van de groepen 7wwW1W2 en 960ww
181b FM12 SYNOP : internationale en nationale regelgeving voor het coderen van de groepen 7wwW1W2 en 960ww; derde druk
183-1 Rainfall in New Guinea (Irian Jaya) / T.B. Ridder
183-2 Vergelijking van zware regens te Hollandia (Nieuw Guinea), thans Jayapura (Irian Jaya) met zware regens te De Bilt / T. B. Ridder
183-3 Verdamping in Nieuw-Guinea, vergelijking van gemeten hoeveelheden met berekende hoeveelheden / T.B. Ridder
183-4 Beschrijving van het klimaat te Merauke, Nieuw Guinea, in verband met de eventuele vestiging van een zoutwinningsbedrijf / T.B. Ridder ea.
183-5 Overzicht van klimatologische en geofysische publikaties betreffende Nieuw-Guinea / T.B. Ridder
184 Inleiding tot de algemene meteorologie : studie-uitgave / B. Zwart, A. Steenhuisen, m.m.v. H.J. Krijnen
184a Inleiding tot de algemene meteorologie : studie-uitgave ; 2e druk / B. Zwart, A. Steenhuisen, m.m.v. H.J. Krijnen
185 Handleiding voor het gebruik van sectie 2 van de FM 13-X SHIP-code door stations op zee / KNMI; KLu; KM
185a Handleiding voor het gebruik van sectie 2 van de FM 13-X SHIP-code voor waarnemers op zee / KNMI; KLu; KM
186-I Rainfall generator for the Rhine Basin: single-site generation of weather variables by nearest-neighbour resampling / T. Brandsma and T.A. Buishand
187 De wind in de rug: KNMI-weerman schaatst de Elfstedentocht / H. van Dorp

▼ TECHNISCH RAPPORT – TECHNICAL REPORT (TR)

168 Analyse van het seismische risico in Noord-Nederland / Th. de Crook, B. Dost en H.W. Haak
173 Measurement of the structure parameter of vertical wind-velocity in the atmospheric boundary layer / R. van der Ploeg
174 Report of the ASGASEX'94 workshop / ed. by W.A. Oost
175 Over slecht zicht, bewolking, windstoten en gladheid / J. Terpstra
176 Verification of the WAQUA/CSM-16 model for the winters 1992-93 and 1993-94 / J.W. de Vries
177 Nauwkeuriger nettostraling meten / M.K. van der Molen en W. Kohsiek
178 Neerslag in het stroomgebied van de Maas in januari 1995: waarnemingen en verificatie van modelprognoses / R. Jilderda ea.
179 First field experience with 600PA phased array sodar / H. Klein Baltink
180 Een Kalman-correctieschema voor de wegdektemperatuurverwachtingen van het VAISALA-model / A. Jacobs
181 Calibration study of the K-Gill propeller vane / Marcel Bottema
182 Ontwikkeling van een spectraal UV-meetinstrument / Frank Helderman
183 Rainfall generator for the Rhine catchment : a feasibility study / T. Adri Buishand and Theo Brandsma
184 Parametrisatie van mooi-weer cumulus / M.C. van Zanten
185 Interim report on the KNMI contributions to the second phase of the AERO-project / Wiel Wauben, Paul Fortuin ...[et al.]
186 Seismische analyse van de aardbevingen bij Middelstum (30 juli 1994) en Annen (16 augustus '94 en 31 januari '95) / [SO]
187 Analyse wenselijkheid overname RIVM-windmeetlokalities door KNMI / H. Benschop
188 Windsnelheidsmetingen op zee stations en kuststations: herleiding waarden windsnelheden naar 10-meter niveau / H. Benschop
189 On the KNMI calibration of net radiometers / W. Kohsiek
190 NEDWAM statistics over the period October 1994 - April 1995 / F.B. Koek
191 Description and verification of the HIRLAM trajectory model / E. de Bruijn
192 Tiltmeting : een alternatief voor waterpassing ? / H.W. Haak
193 Error modelling of scatterometer, in-situ and ECMWF model winds; a calibration refinement / Ad Stoffelen
194 KNMI contribution to the European project POPSTICLE / Theo Brandsma and T. Adri Buishand
195 ECBILT : a coupled atmosphere ocean sea-ice model for climate predictability studies / R.J. Haarsma ao.
196 Environmental and climatic consequences of aviation: final report of the KNMI contributions to the AERO-project / W. Wauben ao.

197 Global radiation measurements in the operational KNMI meteorological network: effects of pollution and ventilation / F. Kuik
198 KALCORR: a kalman-correction model for real-time road surface temperature forecasting / A. Jacobs
199 Macroseismische waarnemingen Roswinkel 19-2-1997 / B. Dost en H.W. Haak
200 Operationele UV-metingen bij het KNMI / F. Kuik
201 Vergelijking van de Vaisala's HMP233 en HMP243 relatieve luchtvochtigheidsmeters / F. Kuik
202 Statistical guidance for the North Sea / Janet Wijngaard and Kees Kok
203 UV-intercomparison SUSPEN / Foeke Kuik and Wiel Wauben
204 Temperature corrections on radiation measurements using Modtran 3 / D.A. Bunschoek, A.C.A.P. van Lammeren and A.J. Feijt
205 Seismisch risico in Noord-Nederland / Th. De Crook, H.W. Haak en B. Dost
206 The HIRLAM-STAT-archive and its application programs / Albert Jacobs
207 Retrieval of aerosol properties from multispectral direct sun measurements / O.P. Hasekamp
208 The KNMI Garderen Experiment, micro-meteorological observations 1988-1989; instruments and data / F.C. Bosveld, J.G. van der Vliet and W.A.A. Monna.
209 CO2 in water and air during ASGAMAGE: concentration measurements and consensus data / Cor M.J. Jacobs, Gerard J. Kunz, Detlev Sprung ao.
210 Elf jaar Cabauw-metingen / J.G. van der Vliet

▼ WETENSCHAPPELIJK RAPPORT – SCIENTIFIC REPORT (WR)

95-01 Transformation of precipitation time series for climate change impact studies / A.M.G. Klein Tank and T.A. Buishand
95-02 Internal variability of the ocean generated by a stochastic forcing / M.H.B. van Noordenburg
95-03 Applicability of weakly nonlinear theory for the planetary-scale flow / E.A. Kartashova
95-04 Changes in tropospheric NOx and O3 due to subsonic aircraft emissions / W.M.F. Wauben ao.
95-05 Numerical studies on the Lorenz84 atmosphere model / L. Anastassiades
95-06 Regionalisation of meteorological parameters / W.C. de Rooy
95-07 Validation of the surface parametrization of HIRLAM using surface-based measurements and remote sensing data / A.F. Moene ao.
95-08 Probabilities of climatic change : a pilot study / Wieger Fransen (ed.) and Alice Reuvekamp
96-01 A new algorithm for total ozone retrieval from direct sun measurements with a filter instrument / W.M.F. Wauben
96-02 Chaos and coupling: a coupled atmosphere ocean-boxmodel for coupled behaviour studies / G. Zondervan
96-03 An acoustical array for subsonic signals / H.W. Haak
96-04 Transformation of wind in the coastal zone / V.N. Kudryavtsev and V.K. Makin
96-05 Simulations of the response of the ocean waves in the North Atlantic and North Sea to CO2 doubling in the atmosphere / K. Rider ao.
96-06 Microbarograph systems for the infrasonic detection of nuclear explosions / H.W. Haak and G.J. de Wilde
96-07 An ozone climatology based on ozonesonde measurements / J.P.F. Fortuin
96-08 GOME validation at KNMI and collaborating institutes / ed. by P. Stammes and A. Piters
97-01 The adjoint of the WAM model / H. Hersbach
97-02 Optimal interpolation of partitions: a data assimilation scheme for NEDWAM-4; description and evaluation of the period November 1995 - October 1996 / A. Voorrips
97-03 SATVIEW: a semi-physical scatterometer algorithm / J.A.M. Janssen and H. Wallbrink
97-04 GPS water vapour meteorology : status report / H. Derks, H. Klein Baltink, A. van Lammeren, B. Ambrosius, H. van der Marel ao.
97-05 Climatological spinup of the ECBILT oceanmodel / Arie Kattenberg and Sybren S. Drijfhout
97-06 Direct determination of the air-sea transfer velocity of CO2 during ASGAMAGE / J.C.M. Jacobs, W. Kohsiek and W.A. Oost
97-07 Scattering matrices of ice crystals / M. Hess, P. Stammes and R.B.A. Koелеmeijer
97-08 Experiments with horizontal diffusion and advection in a nested fine mesh mesoscale model / E.I.F. de Bruijn
97-09 On the assimilation of ozone into an atmospheric model / E. Valur Hólm
98-01 Steady state analysis of a coupled atmosphere ocean-boxmodel / F.A. Bakker
98-02 The ASGAMAGE workshop, September 22-25, 1997 / ed. W.A. Oost
98-03 Experimenting with a similarity measure for atmospheric flows / R.A. Pasmanter and X.-L. Wang
98-04 Evaluation of a radio interferometry lightning positioning system / H.R.A. Wessels

