Uitzonderlijk warm: een update

C.J.E.Schuurmans en
H.M. van den Dool

Na drie warme jaren in successie – 1988,1989 en 1990 – werd in 1991 de 'uitzonderlijke warmte' door de auteurs onder de loep genomen (*Zenit*, juni 1991). Trends, 12-maandenperioden versus kalenderjaren en de rol van de luchtcirculatie passeerden de revue. Het artikel eindigde met de conclusie dat de terugval van de temperatuur (mei en juni 1991, toen het artikel werd geschreven, waren koud) niet betekent dat aan de algemeen opgaande trend een einde is gekomen. 'Dat kunnen we pas over een aantal jaren vaststellen', luidde de laatste zin. Welnu, wat valt er zes jaar later vast te stellen?

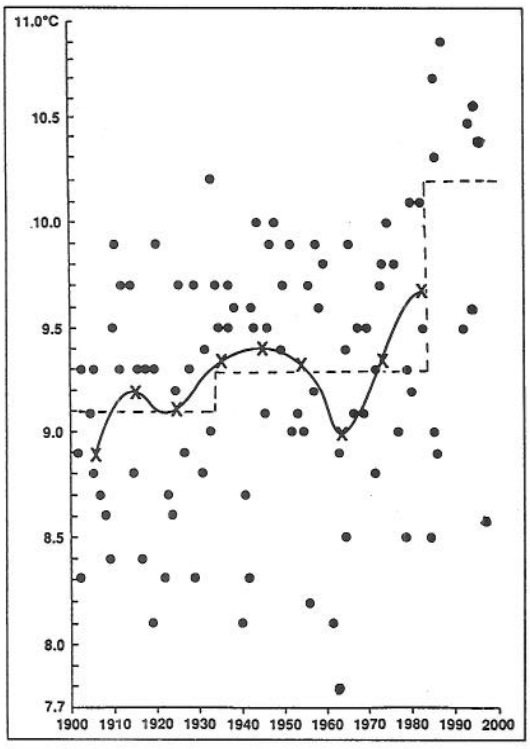
Allereerst dat onze conclusie juist was: een paar koude maanden of zelfs jaren zijn in ons wisselvallige klimaat geen indicatie voor een langduriger koude periode of neerwaartse trend (of zoals in ons geval: einde van een langduriger warme periode of opwaartse trend). De warme periode bleek zich niet tot drie jaar te beperken. Zoals figuur 1 laat zien, waren ook na de relatieve terugval van de temperatuur in 1991, de jaren 1992 t/m 1995 aan de warme tot zeer warm kant.

In feite bevinden we ons nu weer in dezelfde situatie als medio 1991, zij het wat extremer: de temperatuur is al een groot aantal maanden op normaal tot beneden normaal niveau gekomen (afgezien van incidentele uitschieters) en 1996 was als jaar het koudst sinds 1985. Kunnen we daar weer geen conclusies aan verbinden over het einde van de warme periode of de algemeen opgaande trend? Wat valt er dan wel aan interessants te melden?

Trend of sprong

In het artikel van de tweede auteur over het record-warme jaar 1988 (*Zenit*, december 1989) werd berekend dat de lineaire trend van de jaargemiddelde temperaturen te De Bilt in de periode 1900-1988 positief was met een waarde van 0,37 °C (marginaal significant). Nu, acht jaar later blijkt de lineaire trend verdubbeld te zijn. Voor de periode 1900- 1996 bedraagt deze 0,75 °C met een significantie ver boven de 1 %. Dit houdt in dat de statistische waarschijnlijkheid dat een reeks van 97 getallen met dezelfde spreiding door het toeval een even grote of grotere trend vertoont, kleiner is dan 1 %. Maar wat heb je aan zo'n uitspraak?

Trends zijn enigszins bedrieglijk, omdat zij sterk afhangen van het begin en eindpunt van de beschouwde reeks getallen. Bovendien zegt een trend weinig over het mechanisme dat aan de waargenomen verandering ten grondslag ligt. Een trend suggereert vaak een gelijkmatigheid van verandering die er niet is. Als je bijvoorbeeld naar de punten in figuur 1 kijkt, dan lijken de veranderingen eerder sprongsgewijze te verlopen dan gelijkmatig. Om de verwarming in de periode 1900-1996 te illustreren hebben we daarom een stapfunctie aangebracht, met sprongen in 1934 en 1988. (De jaren 1934 en 1988 zijn gekozen, omdat de gemiddelde temperatuur in die jaren de waarde van alle voorafgaande jaren in deze eeuw overtrof).



Figuur 1. Jaargemiddelde temperatuur te De Bilt. De dikke doorgetrokken lijn verbindt de tienjaargemiddelden. De streepjeslijn geeft een benadering met sprongen aan.

Het feit dat de gekozen stapfunctie circa twintig procent van de variantie verklaart, terwijl de lineaire trend over die periode bij twaalf procent verklaarde variantie blijft steken, brengt helaas geen onmiddellijk voordeel bij de verklaring van de temperatuurstijging in deze eeuw. Over klimaatsprongen en abrupte klimaatveranderingen in vergelijking met klimaattrends is heel wat gepubliceerd. Vrijwel alle artikelen zijn echter gebaseerd op een statistische analyse van klimaatreeksen. De fysische basis voor het optreden van discontinue klimaatveranderingen is vooralsnog zwak.

Decadale variaties

Behalve de lineaire trend en de sprongen is in figuur 1 nog een doorgetrokken lijn aangebracht. Deze verbindt de niet-overlappende 10-jaargemiddelden (dus: de gemiddelden van 1901 t/m 1910, 1911 t/m 1920, enzovoorts). Uit het verloop van de lijn blijkt dat er behalve de lange-termijn klimaatverandering (trend en/of sprongen) en de altijd aanwezige interjaarlijkse veranderingen, ook nog temperatuurschommelingen zijn op een tijdschaal in de orde van tien jaar. In de vaktaal heten dat tegenwoordig interdecadale variaties.

Waar ze vandaan komen is niet met zekerheid vast te stellen, maar de laatste jaren worden deze schommelingen in het Europese klimaat wel in verband gebracht met de zogenaamde Noord-Atlantische Oscillatie (NAO) (zie figuur 2). De NAO is eigenlijk niets anders dan wat meteorologen van enkele generaties geleden wel de index-cyclus noemden: een schommeling in de sterkte van de westcirculatie op de Atlantische Oceaan, meestal gemeten in termen van het (gemiddelde) luchtdrukverschil tussen de breedtegraden 30 en 60° NB. Alleen ging het bij de indexcyclus meestal om perioden van maanden (of zelfs weken) in plaats van jaren (zie Namias (1950)). In het werk van de oud-KNMI'ers H.P. Berlage en H.J. de Boer (1960) komt de Noord-Atlantische Oscillatie overigens ook voor, maar dan als een schommeling van de genoemde luchtdrukgradiënt op een tijdschaal van 2-3 jaar.

Het staat trouwens wel vast dat de NAO behalve de decadale variaties ook een groot deel van de jaar-op-jaar verschillen in ons klimaat verklaart. Dat zelfs een eenvoudige index als het luchtdrukverschil tussen de Azoren en IJsland tientallen procenten van de variantie van de jaargemiddelde temperaturen in West-Europa verklaart, geeft wel aan hoezeer de temperatuur bij ons wordt bepaald door de aange-

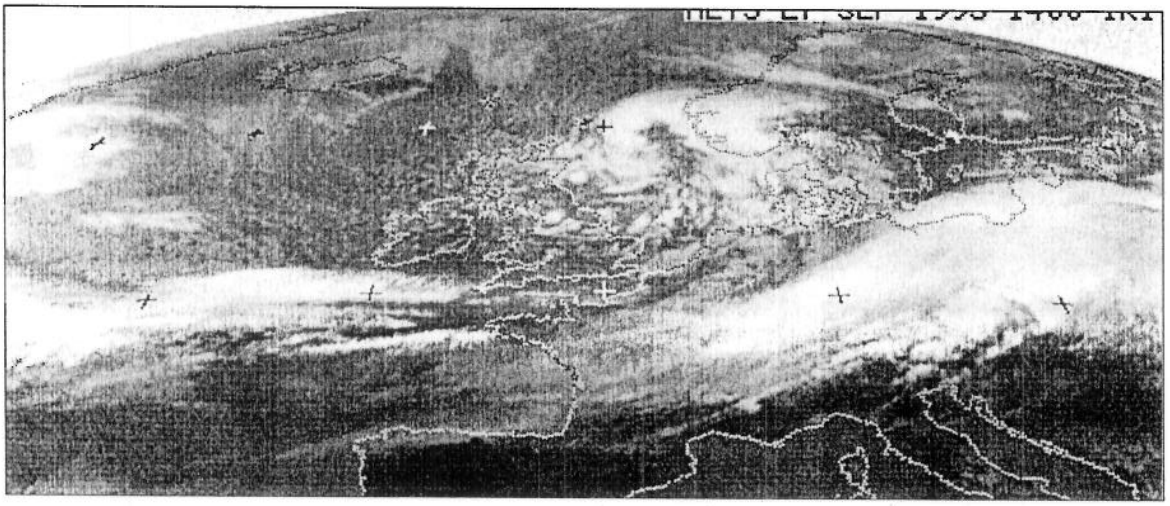


Foto 1. Meteosat opname (infrarood) van de Noord-Atlantische oceaan en Europa op 27 september 1995 om 14.00 UT. Dit is een typisch voorbeeld van de NOA plusfase. Ten zuiden van IJsland is de kern van een omvangrijk lagedrukgebied zichtbaar. Boven de Azoren is de luchtdruk hoog. De straalstroom wordt gemarkeerd door de wolkenband in de oost-west richting tussen deze drukssystemen.

voerde lucht. Vooral ons winterklimaat is een echt importklimaat.

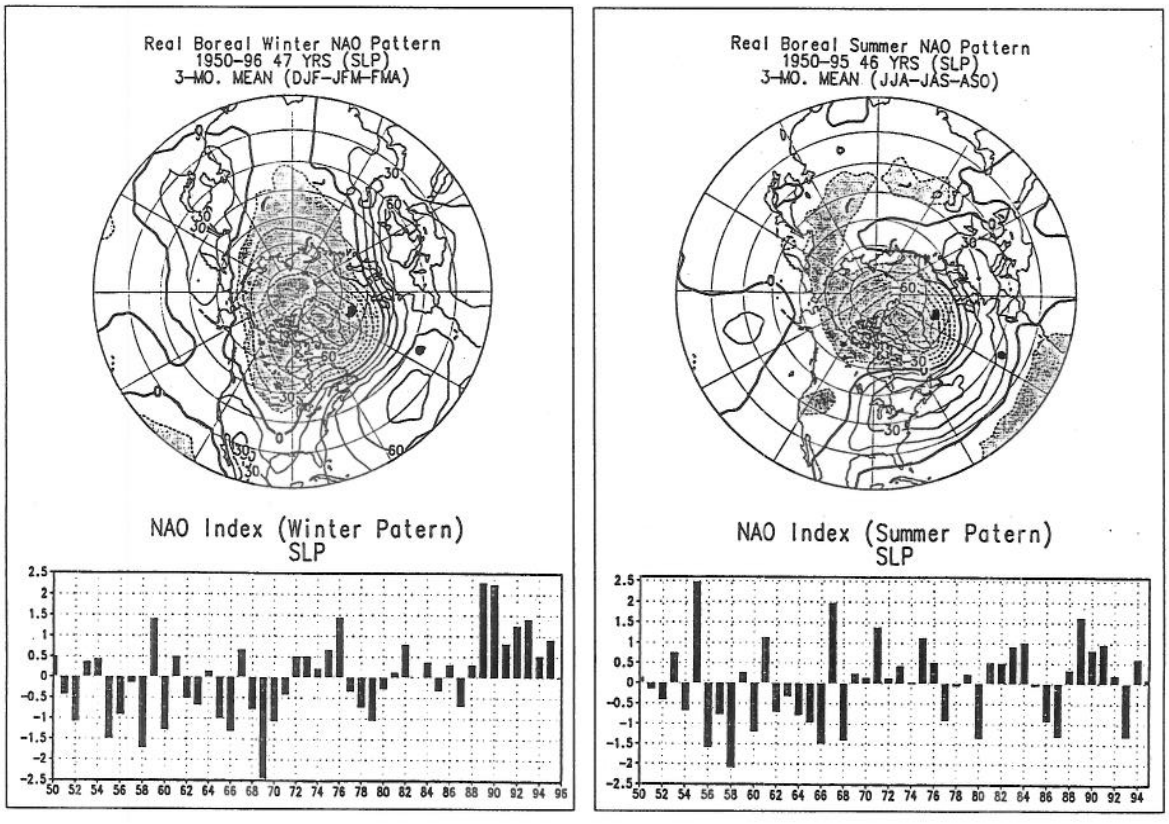
NAO

Het NAO-patroon zoals dat is weergegeven in figuur 2 blijkt dan ook een van de basispatronen van de luchtcirculatie op het Noordelijk Halfrond te zijn. Hoge waarden van de NAO-index gaan gepaard met hoge (winter)temperaturen en veel neerslag in Noordwest-Europa. Tegelijkertijd is het dan bijzonder koud in het gebied rond Groenland en droog en koud in het Middellandse-Zeegebied. Bij lage waarden van de index (de min-fase) is de westelijke circulatie over de Oost-Atlantische Oceaan en West-Europa sterk verzwakt of zelfs geheel verdwenen (zoals begin 1997, vlak voor de Elfstedentocht).

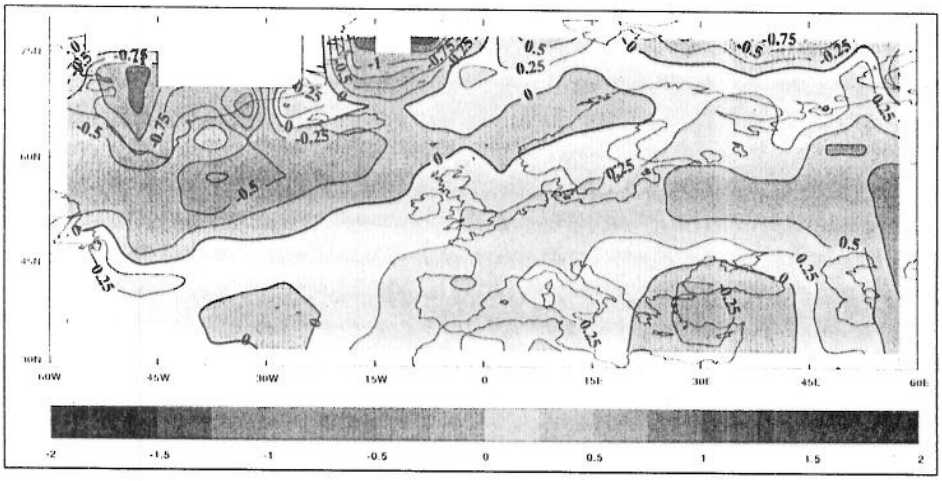
Zoals figuur 2 laat zien werd de recente periode van 1989-1995 gekenmerkt door een sterk positieve NAO, vooral in de winter. Niet alleen de lengte van de periode met een positieve index was opvallend, maar ook de uitzonderlijk hoge waarden die werden bereikt. Dit verschijnsel heeft dus in niet geringe mate bijgedragen aan de uitzonderlijk hoge temperaturen in Nederland in deze periode. Dat het tegelijkertijd beneden normaal was in de buurt van Groenland, maar ook in Zuidoost-Europa, zoals figuur 3 laat zien, past wel in het boven geschetste beeld.

Men kan proberen de invloed van de NAO op de temperatuur in De Bilt wat nader te kwantificeren. De NAO-index wordt vaak berekend uit het luchtdrukverschil tussen Ponto Delgada (Azoren) en Stykkisholmur (IJsland) (zie de puntjes in figuur 2). We hebben allereerst vastgesteld dat de temperatuur in De Bilt veel sterker samenhangt met de luchtdruk op IJsland dan met die op de Azoren. We reduceren de NAO daarom tot de maandgemiddelde luchtdruk op IJsland. Deze is bekend vanaf 1846. We gebruiken de jaren 1846-1970 om de relatie temperatuur te De Bilt (T) en luchtdruk te Stykkisholmur (p) af te leiden.

De correlatie is in alle maanden negatief, het sterkst in maart en het zwakst in juni. De regel is deze: als de luchtdruk bij IJsland lager is dan normaal, dan is het in De Bilt meestal warmer dan normaal, vooral in de wintermaanden. Gegeven deze relatie (die voor iedere maand ietsje ver-



Figuur 2. Het patroon van de Noord Atlantische Oscillatie (NAO) in de luchtdrukverdeling in winter en zomer. In feite is hier het patroon weergegeven dat het grootste deel van de variantie van het luchtdrukveld verklaart. Het is echter op te vatten als NAO in de plusfase, waarbij het luchtdrukverschil tussen de Azoren en Ijsland (plaatsen door middel van punten aangegeven) positief is. In de onderste plaatjes staat voor iedere winter en zomer sinds 1950 het teken en de grootte van de vermenigvuldigingsfactor van het ruimtelijke patroon. Deze getallen zijn een maat voor de bijdrage van het patroon en dus voor de sterkte van de NAO in het betreffende jaar. Ontleend aan: A. Barnston, Climate Prediction Center, NOAA, Washington D. C.



Figuur 3. Gemiddelde afwijkingen van de jaargemiddelde temperatuur in de jaren 1981 - 1990 ten opzichte van de periode 1951 - 1980. Ontleend aan: European Climate Assessment, 1995.

schillend is) kunnen we de temperatuur in De Bilt gedurende 1971-heden 'specificeren', gegeven de luchtdruk op IJsland in die jaren. De hieruit berekende jaargemiddelden zijn weergegeven in figuur 4. De temperatuur berekend uit de luchtdruk bij IJsland (open vierkantjes) volgt vrij aardig de waargenomen temperatuur in De Bilt (donkere vierkantjes); de correlatie is ongeveer 0,7.

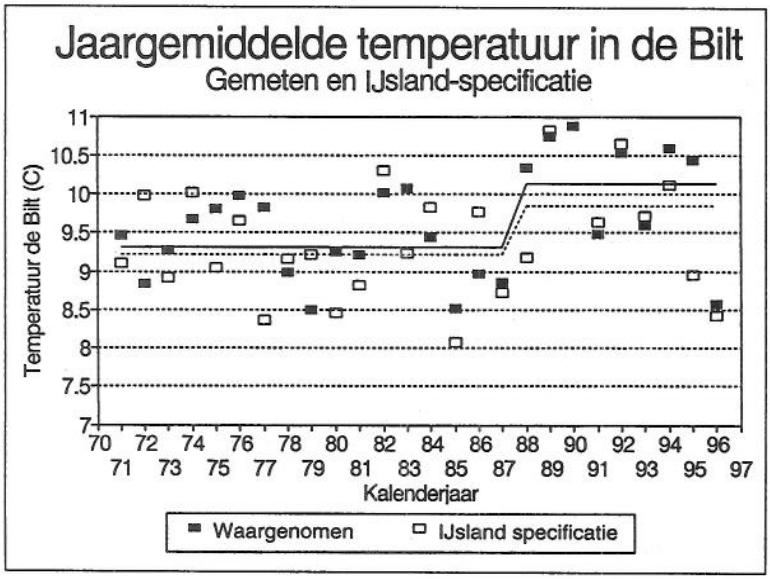
Voorts hebben we in figuur 4 dezelfde coupure aangebracht als in figuur 1 en het temperatuurgemiddelde 1971-1987 en 1988-heden apart aangegeven. De volle lijn is waargenomen, de stippellijn gespecificeerd. Uit de figuur blijkt duidelijk dat de extreme warmte vanaf 1988 bijna geheel voor rekening komt van de sterke NAO in die jaren.

Broeikaseffect?

Het feit dat de NAO zo'n groot deel van de hogere temperaturen na 1988 kan verklaren, is voor veel onderzoekers het bewijs dat de verwarming niet door het toegenomen broeikaseffect kwam, maar 'gewoon' door de circulatie. Ook de klimaatrapportage van het KNMI (G.P. Können en W. Fransen, eindredactie), die in 1996 werd uitgebracht, huldigt dit standpunt. De flinke terugval van de temperatuur na 1995, die eveneens duidelijk met NAO samenhangt, wijst uiteraard ook in die richting.

Toch blijf je dan natuurlijk met de vraag zitten of de NAO zélf niet op de een of ander manier door het toenemend broeikaseffect kan worden aangestuurd. Helaas weten we van de achtergronden van de NAO nog bitter weinig. Een vergelijkbaar basispatroon van de luchtcirculatie op het Noordelijk Halfrond is het zogenaamde PNA-patroon. (PNA staat voor *Pacific North American*). Het PNA-patroon heeft, zoals de naam al aangeeft, zijn zwaartepunt op de Stille Oceaan en staat duidelijk in verband met de El Niño/Zuidelijke Schommeling (ENSO) in de tropische gebieden van de Stille Oceaan.

Tot op heden is uit onderzoek echter nog niet duidelijk geworden dat de Atlantische Oceaan in de NAO eenzelfde essentiële rol speelt als de tropische Pacific in ENSO. In principe is het mogelijk dat de NAO via de Stille Oceaan ontstaat, dat wil zeggen, 'aangeslagen' wordt door de status van ENSO/PNA stroomopwaarts. De atmosfeer kent echter ook intern gegenereerde basispatronen en misschien is de NAO er daar wel één van.



Figuur 4. Gemiddelde jaartemperatuur te De Bilt: waargenomen (dichte vierkantjes) en afgeleid uit de luchtdruk op Ijsland (open vierkantjes). Zie verder de tekst.

Records

Een interessant aspect van de afgelopen warme periode is het optreden van records. Gaan we uit van de lange temperatuurreeks voor De Bilt vanaf 1706 (van Engelen en Nellestijn, 1992), dan werden sinds 1988, toen de warme periode begon, maar liefst zes records in de maandgemiddelde temperatuur gebroken (februari, maart (2x), april, juli en november). Dat is even vaak als in de hele periode 1900-1988. Zeer opmerkelijk is echter dat het record van 11,2 °C als hoogste 12-maandengemiddelde, waar we in het vorige artikel (*Zenit*, juni 1991) uitvoerig over hebben geschreven, niet is gebroken. (Het 12-maandengemiddelde, T_{12}, is gedefinieerd als de gemiddelde temperatuur van twaalf opeenvolgende maanden, ongeacht de beginmaand.)

Zoals we in het vorige artikel lieten zien, kwam die T_{12} = 11,2 °C in de vorige eeuw al een keer voor (november 1845 - oktober 1846). Die warme periode duurde echter maar kort: T_{12} was maar zes maanden hoger of gelijk aan 10,5 °C. Zoals uit figuur 5 blijkt, telde de recente warme periode maar liefst 42 maanden boven of gelijk aan deze waarde. (De grenswaarde van 10,5 °C is hier overigens vrij willekeurig gekozen.) Al met al telt de hele reeks temperaturen vanaf 1706 maar liefst zestien perioden boven of gelijk aan deze grenswaarde (zie tabel).

Korte perioden gedurende 1988-heden waren dus uitzonderlijk warm (maandrecords), maar ze lagen te ver uit elkaar om een T_{12} > 11,2 °C op te leveren. Dat die maandrecords er overigens flink toe doen, blijkt wel uit het gegeven dat als alle maanden van het jaar hun huidige (hoogste) recordwaarde zouden aannemen, T_{12} = 13,1 °C zou zijn, een waarde die normaal is voor het gebied tussen Bordeaux en de Spaanse grens.

Speculatie

Zoals uit de tabel blijkt, is de maximale waarde van T_{12} tijdens zo'n warme periode meestal hoger naarmate de warme periode langer duurt. Maar kennelijk is het moeilijk om daarbij boven een bepaalde grens te komen. Wat zou dat kunnen betekenen? Dat die warme perioden die veroorzaakt worden door bepaalde circulatietypen wel willekeurig lang kunnen duren, maar dat hun maximaal te bereiken temperatuur over twaalf maanden toch wordt bepaald door de temperatuur in het brongebied van de aange-

Tabel: Duur en maximale waarde van de 12- maandgemiddelde temperatuur te De Bilt voor alle perioden dat T_{12} >10,5 °C.

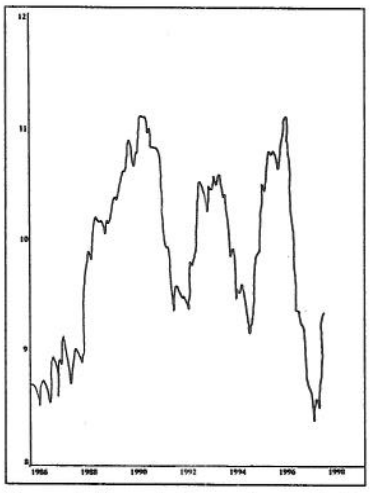
Periode	Duur (maanden)	Max. (°C)
Feb.1724	1	10,5
Feb.- Jul.1737	6	10,6
Sep.1779 - Jan.1780	5	11,1
Jan.- Feb.1812	2	10,7
Jun.- Nov.1822	6	10,8
Aug.- Dec.1834	5	10,8
Jul.- Dec.1846	6	11,2
Mrt.1866	1	10,5
Dec.1868	1	10,6
Jan.- Apr.1869	4	10,8
Feb.- Jul.1948	6	11,1
Jan.1983	1	10,5
Jun.1989 - Jan.1991	19	11,2
Jun.1992 - Sep.1992	4	10,6
Nov.1992 - Mei 1993	7	10,7
Nov.1994 - Nov.1995	13	11,2

NB. Genoemde maanden waren steeds de laatste van de twaalf waarover gemiddeld werd.

voerde lucht? Dat zou interessant zijn, want dit zou kunnen inhouden dat de oorzaak van de aanhoudend warme circulaties geen invloed heeft op de temperatuur in het brongebied.
Bij een sterke NAO ligt het brongebied van de lucht die ons bereikt ergens in de subtropen van de Noord-Atlantische Oceaan. Een NAO die wordt aangestuurd vanuit de Stille Oceaan (Berlage en De Boer (1960), Bjerknes (1966)) zal de temperatuur in genoemd brongebied waarschijnlijk ongemoeid laten. Maar ook een NAO die ontstaat als interne oscillatie in het Noord-Atlantische gebied. Alleen als de NAO door het toenemend broeikaseffect wordt aangewakkerd, zou je verwachten dat door datzelfde toenemend broeikaseffect ook de temperatuur in het voor ons belangrijke brongebied geleidelijk hoger zou worden. Hoeveel, is nog even de vraag, want luchtmassa's boven de oceaan en boven ijsgebieden warmen door het toenemend broeikaseffect hoegenaamd niet op.
Nadenkend over invloed en positie van de brongebieden versus veranderingen in de luchtcirculatie, doen zich nog een aantal andere vragen voor, maar we willen de speculatie hier niet te ver doorvoeren.

Conclusie

Wat betekent het bovenstaande nu voor de verdere ontwikkeling van de temperatuur in Nederland en omgeving? Op de eerste plaats dat de ontwikkeling van de algemene circulatie boven de Atlantische Oceaan en Europa veel belangrijker is dan de geringe temperatuurverhoging die het toenemend broeikaseffect in directe zin kan leveren. En ten tweede: zolang we niet met enige zekerheid weten welke fase van de NAO door het toenemend broeikaseffect bevorderd wordt, is er geen reden om aan te nemen dat de eind 1995 ingetreden minfase, met eventuele onderbrekingen, van korte of lange duur zal zijn.
Hebben we dan wel enige vooruitgang geboekt in onze kennis sinds 1991? Zeer zeker. In 1991 maakten we alleen maar onderscheid tussen de trend naar hogere temperaturen en de ongeordende natuurlijke variabiliteit. Nu stellen we dat een aanmerkelijk deel van de natuurlijke variabiliteit in tijd en ruimte een zekere structuur heeft, die de toenemende broeikastrend naar hogere temperaturen vrij langdurig kan versterken of verzwakken. Bovendien moeten we er zelfs rekening mee houden dat de structuur van de natuurlijke variabiliteit zelf door het toenemend broeikaseffect beïnvloed wordt.
In welke mate dit het geval is zal de komende jaren diepgaand worden onderzocht.



Figuur 5. Lopend gemiddelde van de temperatuur over twaalf maanden te De Bilt.

Referenties

Berlage, H. P. and H. J. de Boer, On the Southern Oscillation, its way of operation and how it affects pressure patterns in the higher latitudes, *Geof. Pura et Appl.*, **46**, 329, 1960.
Bjerknes, J.,A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature, *Tellus*, **18**, 820-829, 1966.
Van den Dool, H. M., E. A. O' Lenic and W. H. Klein, Consistency check for trends in surface temperature and upperlevel circulation: 1950- 1992, J. *Climate*, **6**, 2288- 2297, 1993.
Van Engelen, A. F. V. and J. W. Nellestijn, Monthly, seasonal and annual means of the air temperature in tenth of °C in De Bilt, Netherlands, 1706-1991, KNMI, De Bilt, 1992.
KNMI: *De toestand van het klimaat in Nederland 1996* (eindredactie G.P. Können en W. Fransen). Zie ook *Meteorologica*, **5**, 16, 1996.
Namias, J., The index cycle and its role in the general circulation, *J. Met.*, **7**, 130-139, 1950.
Serreze, M. et al., Icelandic low cyclone activity: Climatological features, linkages with the NAO and relationships with recent changes in the Northern Hemisphere circulation, *J. Climate*, **10**, 453-464, 1997.

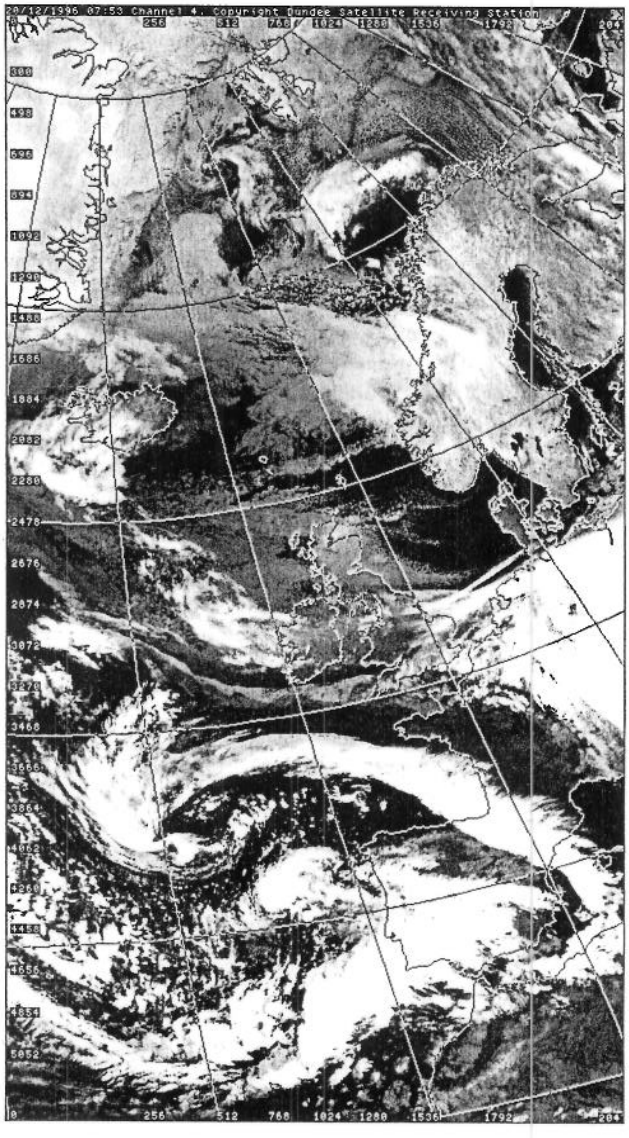


Foto 2. NOAA-12 opname (infrarood) van de Noord-Atlantische oceaan en West-Europa op 20 december 1996 om 7.53 UT. Deze foto illustreert de NOA minfase. Boven de Atlantische oceaan is een blokkade aanwezig met een hogedrukkern boven IJsland en een lagedrukkern ten westen van Portugal. De straalstroom splitst zich ten zuiden van Groenland in een zwakke tak ten noorden van IJsland en een sterke zuidelijke tak richting Middellandse Zee. Beide takken komen boven Oost-Europa weer samen.