

Temperatuur en windrichting in Nederland in de 20^e eeuw

Geert Jan van Oldenborgh (KNMI).

Is de opwarming in Nederland het gevolg van het vaker voorkomen van bepaalde warme weertypes, of is de temperatuur behorend bij de meeste weertypes gestegen? Is het in de zomer warmer geworden door meer dagen met oostenwind, of zijn de regendagen met westenwind minder kil geworden? Is in de winter het aantal koude dagen afgenomen, of zijn ze minder koud, of zijn de zachte dagen nog zachter? Deze vragen staan los van de vraag of de opwarming samenhangt met de opwarming van de aarde, aangezien die zich net zo goed zou kunnen uiten in een veranderde frequentie van circulatiepatronen. Voor de samenhang van de opwarming met andere weerelementen maakt het echter wel veel verschil.

Inleiding

Het is warmer geworden in Nederland, en die opwarming loopt redelijk in de pas met de stijging in de wereldgemiddelde temperatuur (van Oldenborgh en Komen, 2001). De volgende stap is uitzoeken *hoe* de opwarming heeft plaatsgevonden. De dagelijkse temperatuur in Nederland hangt sterk af van de windrichting. De maandgemiddelde temperatuur ook, en jaar-op-jaar variaties zijn voor een groot gedeelte terug te voeren op de overheersende windrichtingen in bepaalde seizoenen. Zijn veranderingen in het voorkomen van bepaalde circulatietypes ook verantwoordelijk voor de opwarming over de twintigste eeuw?

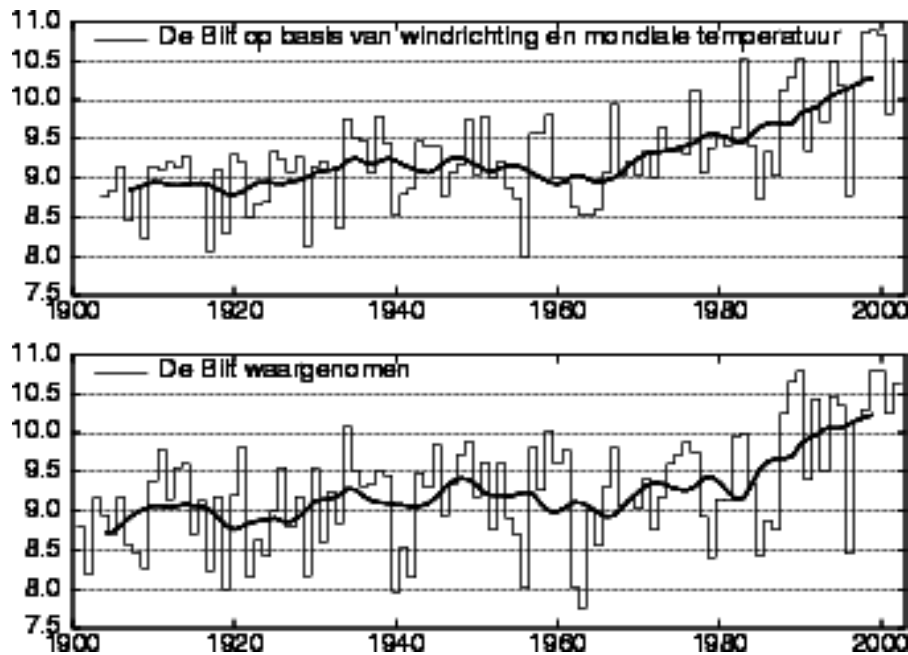
Dergelijke analyses zijn eerder gedaan op basis van Großwetterlagen (Wessels et al, 1994, van Mourik, 1998). Wessels kwam tot de conclusie dat het merendeel van de opwarming over de periode 1881-1993 door een veranderende circulatie verklaard kon worden. In een recent Meteorologica artikel van Cor Schuurmans en Huug van den Dool (2001) werd gerapporteerd dat de jaren 1991-2000 in De Bilt warmer waren dan uit veranderingen in de circulatie ten opzichte van 1961-1990 zou volgen. Echter, Huug van den Dool nam deze conclusie in een colloquium op het KNMI weer terug na een meer verfijnde analyse.

Deze rol van veranderende overheersende circulatietypes is niet in tegenspraak met het verband dat we gevonden hebben in een rechtstreekse vergelijking van de temperatuur in De Bilt en de wereldgemiddelde temperatuur. Het is heel goed mogelijk dat de opwarming van de aarde zich juist manifesteert in verschuiving van de frequentie van weerregimes, en niet in de karakteristieken van die regimes. Susanne Corti, Tim Palmer en Franco Molteni beargumenteerden in Nature (1999) dat dit zelfs de meest waarschijnlijke wijze is waarop het klimaatsysteem de extra warmte poogt kwijt te raken. Dat zou verklaren waarom in elk seizoen de windrichtingen zodanig veranderd zijn dat de temperatuur in Nederland toeneemt: meer zuidwestenwind in de winter, meer zuidoostenwind in de zomer, en meer zuidenwind in voor- en najaar. Toch is de conclusie dat voor een gegeven circulatietype de temperatuur niet merkbaar veranderd is slecht te verenigen met figuur 1 (dit is figuur 3 van ons vorige artikel), waaruit blijkt dat stroomopwaarts de grondtemperatuur net zoals bij ons is toegenomen.

Data

In populaire verhalen wordt de windrichting vaak gebruikt als indicator voor het circulatietype. Ik heb dit letterlijk genomen en de windrichting in De Bilt gebruikt. Dit blijkt heel goed te werken, het verband met de dagelijkse temperatuur is sterker dan met grootschalige patronen. De dagelijkse windrichtingenreeks op de KNMI-website loopt vanaf 1904 (april 1945 ontbreekt) en is redelijk homogeen. Als check is de analyse herhaald met de geostrofe wind die uit de dagelijkse luchtdrukmetingen in De Bilt, Den Helder/De Kooy en Groningen/Eelde berekend is (Können, 1999). Voor de maandgemiddelde temperatuur in De Bilt gebruiken we de reeks die recent door Theo

Brandsma is gecorrigeerd voor de belangrijkste stationsverplaatsingen en het stadseffect (Brandsma et al, 2002), voor de daggemiddelde temperatuur is de ongecorrigeerde reeks van de KNMI-website gebruikt. We gebruiken de maandelijkse wereldgemiddelde anomalieënreeks van Jones (1994).



Figuur 1. Boven: de jaargemiddelde temperatuur die uit de wereldgemiddelde temperatuur en windrichting is afgeleid, inclusief inflatiecorrectie. Onder: de waargenomen temperatuur in De Bilt. De correlatie tussen deze reeksen is 0.87. De dikke lijn is een lopend tienjaars gemiddelde.

Sinds het verschijnen van het vorige artikel heeft Theo Brandsma de maandgemiddelde temperatuurreeks van De Bilt gehomogeniseerd door te corrigeren voor het stadseffect (Brandsma et al, 2002), de verplaatsingen van de meethut in 1950 en 1951 en de hoogte-verandering van 2.2m naar 1.5m in 1961. Ook worden nu voor 1951-1970 de klimaatwaarnemingen gebruikt, die van hogere kwaliteit zijn dan de tot nu toe gebruikte synoptische waarnemingen. De verschillen met de oude reeks zijn vrij klein, zo is de invloed van de verstedelijkingen rond De Bilt niet meer dan 0.11°C. Zoals in het vorige artikel al opgemerkt, wordt hiermee de aanname dat de wereldwijde opwarming aan het begin van de eeuw op dezelfde manier op Nederland doorwerkte als de recente opwarming onhoudbaar voor de lente. De eerste en tweede helft worden nu apart behandeld. Tabel 3 (zie kader) herhaalt tabel 3 uit het vorige artikel met de nieuwe waarden. De beste fit met de wereldgemiddelde temperatuur is nu $\Delta T_{DeBilt} = (1.52 \pm 0.49) \Delta T_{mondiaal}$, de kleine toename is een gevolg van de twee warme jaren extra.

Model(letje)

De eerste-orde benadering van het effect van windrichting op temperatuur is een cosinus:

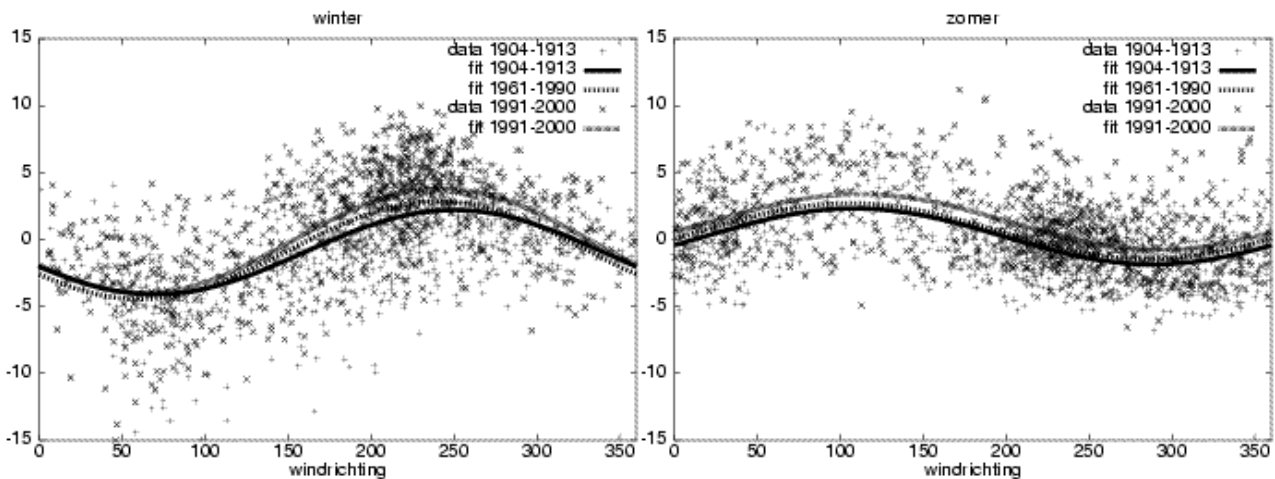
$$T_{DeBilt} = T_{klim, DeBilt} + (T_w + T_k) / 2 + (T_w - T_k) / 2 \cos(\phi - \phi_w). \quad (1)$$

Hierin is ϕ de windrichting en ϕ_w de windrichting waar de warmste wind vandaan komt. Deze nemen we per maand verschillend. T_w is de temperatuuranomalie van de wind uit die richting en T_k de temperatuuranomalie van de wind uit de richting daar tegenover. Voor de klimatologie hebben we per dag het gemiddelde genomen over de volle 99 jaar, en dat gladgestreken door vier keer een zeven-daags lopend gemiddelde te nemen.

Is het weer per windrichting warmer geworden?

De eerste mogelijkheid is dat voor een gegeven windrichting de temperatuur veranderd is. In figuur 2 staan voor de 920 zomer- en winterdagen in 1904-1913 en 1991-2000 de gemeten temperatuuranomalieën als functie van de windrichting uitgezet. De getrokken lijnen zijn de cosinussen van vergelijking (2), waarbij alle drie parameters gefit zijn. Hogere-orde termen zijn verwaarloosbaar als over minder dan de volle eeuw gefit wordt. Ter vergelijking is ook de fit voor de WMO periode 1961-1990 ingetekend. Het verschil tussen de periode 1904-1913 en 1961-1990 is klein, maar de laatste tien jaar waren voor bijna alle windrichtingen ongeveer 1°C warmer dan 1904-1913. Alleen bij noord- en oostenwind in de winter is de temperatuuranomalie niet veranderd.

We kunnen dit resultaat over de hele eeuw kwantificeren door zo'n fit voor elk jaar en seizoen doen. Dit zijn slechts ongeveer 90 punten per fit. We houden daarom ϕ_w hierbij vast op de waarde die eerder over de hele eeuw gevonden is. Dit houdt het aantal vrije parameters klein. Deze fit geeft voor elk jaar seizoenswaarden voor T_w en T_k . Deze tijdreeksen correleren we voor elk seizoen en jaargemiddeld weer met de wereldgemiddelde temperatuur. De resultaten staan in tabel 1. Er is geen verschil tussen de eerste en tweede helft van de twintigste eeuw. De regressiecoëfficiënt is voor ieder seizoen rond de 1.5, behalve T_k in de winter. De 95% onzekerheidsmarges gaan daar echter ook nog tot 1.5, zodat we ook niet concluderen dat er geen opwarming van de aangevoerde lucht heeft plaatsgevonden, alleen dat de variabiliteit te hoog is om iets over de trend te zeggen.



Figuur 2. De dagelijkse temperatuuranomalieën als functie voor de windrichting voor de winter (dec-feb) en zomer (jan-jul) in 1904-1913 en 1991-2000. De dikke lijnen zijn aanpassingen aan (2) voor deze twee decades en voor 1961-1990.

	Jaar	winter (DJF)	lente (MAM)	zomer (JJA)	herfst (DJF)	
T_w	Corr	0.51 ± 0.16	0.36 ± 0.20	0.39 ± 0.17	0.22 ± 0.21	0.44 ± 0.15
	Regr	1.5 ± 0.5	1.3 ± 0.7	1.6 ± 0.8	1.3 ± 1.2	1.8 ± 0.8
T_k	Corr	0.37 ± 0.17	0.07 ± 0.19	0.32 ± 0.19	0.50 ± 0.15	0.28 ± 0.18
	Regr	1.2 ± 0.6	0.4 ± 1.1	1.3 ± 0.8	1.5 ± 0.5	1.7 ± 1.2

Tabel 1. Correlatie en regressiecoëfficiënten met de wereldgemiddelde temperatuur van de temperatuur van de warme en koude windrichtingen, per seizoen uit (1) gefit. De regressiecoëfficiënt geeft aan hoeveel graden de temperatuuranomalie voor die windrichting gestegen is per graad stijging van de wereld-gemiddelde temperatuur. De foutenmarges zijn de 95% onzekerheidsgrenzen.

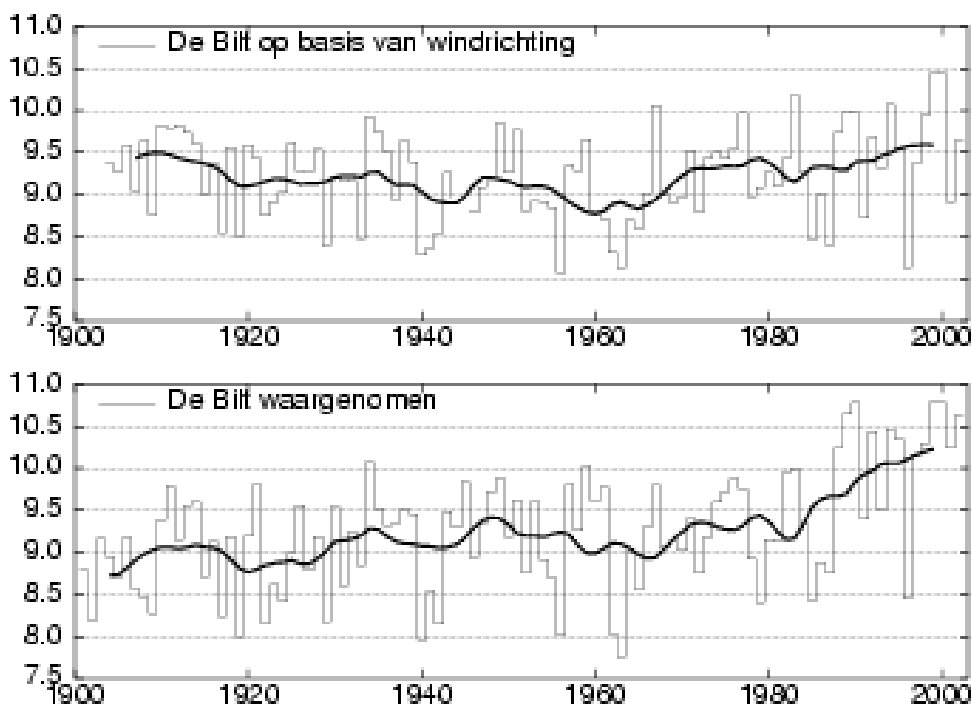
Deze resultaten zijn niet erg verrassend, gegeven de uniforme opwarming in Europa van figuur 3 in van Oldenborgh en Komen (2001). De temperatuur van de geadvecteerde lucht zal niet geheel

los staan van de grondtemperatuur op een paar honderd kilometer stroomopwaarts, en die is ook met de wereldgemiddelde temperatuur gestegen.

Of is de gemiddelde windrichting veranderd?

De tweede mogelijkheid is dat de gemiddelde windrichting zodanig is veranderd dat de temperatuur is toegenomen. Dit is op dezelfde wijze onderzocht als Wessels en Schuurmans & van den Dool dat gedaan hebben: door een temperatuur te reconstrueren die alleen van de windrichting afhangt. Dit is gedaan door voor elke maand vergelijking (1) over de hele eeuw aan de waarnemingen te fitten met tijdsafhankelijke parameters T_k , T_w en ϕ_w . Hiermee is daarna voor elke maand met de waargenomen windrichting een hypothetische temperatuur uitgerekend. Door persistentie-effecten is de regressie van de waargenomen temperatuur hierop groter dan één. De gereconstrueerde reeks moet met deze zogenaamde inflatiefactor vermenigvuldigd worden om de waargenomen reeks zo goed mogelijk te benaderen. De jaargemiddelde reeks is uitgezet in figuur 3.

Een vergelijking met de waargenomen temperatuur in figuur 3 laat zien dat de jaar-op-jaar variaties goed verklaard worden ($r=0.78$ voor de jaargemiddelde temperatuur). De trends zijn echter geheel anders: een daling van 1910 tot 1960 van 0.7°C en een even grote stijging sindsdien. De opwarming in Nederland is over de hele eeuw dus niet te verklaren uit een veranderde frequentie van het voorkomen van verschillende windrichtingen.



Figuur 3. Boven: de jaargemiddelde temperatuur die uit de windrichting is afgeleid, inclusief inflatiecorrectie. Onder: de waargenomen temperatuur in De Bilt. De dikke lijn is een lopend tienjaars gemiddelde.

De opwarming sinds 1960 lijkt echter wel gedeeltelijk door de veranderingen in de overheersende windrichting verklaard te kunnen worden. Om dit nader te onderzoeken beschouwen we de regressie van de gereconstrueerde temperatuur op de wereldgemiddelde temperatuur voor de eerste en tweede helft van de twintigste eeuw apart, zie tabel 2.

			Jaar	Winter	Lente	Zomer	Herfst
TdeBilt	1904—2002	Corr	0.78 ± 0.09	0.86 ± 0.06	0.52 ± 0.15	0.76 ± 0.08	0.60 ± 0.13
		Infl	1.48 ± 0.20	1.27 ± 0.15	0.91 ± 0.31	1.17 ± 0.20	1.06 ± 0.28
Tmondiaal	1904—2002	Regr	0.3 ± 0.4	0.5 ± 1.1	0.6 ± 0.5	0.3 ± 0.5	0.1 ± 0.7
	1904—1950	Regr	-0.5 ± 0.7	-0.4 ± 2.1	0.0 ± 0.8	0.5 ± 0.9	-0.5 ± 1.2
	1951—2002	Regr	1.1 ± 0.8	2.0 ± 1.8	1.7 ± 1.0	0.2 ± 1.0	0.3 ± 1.1

Tabel 2. De correlaties tussen de op basis van windrichting gereconstrueerde temperatuur en de temperatuur in De Bilt en de bijbehorende inflatiefactoren; de regressie op de wereldgemiddelde temperatuur.

Naar seizoen uitgesplitst blijkt de windrichting en vergelijking (1) de temperatuur vooral in de winter ($r=0.82$) en zomer ($r=0.68$) goed te verklaren. In de lente ($r=0.52$) en herfst ($r=0.53$) speelt de windrichting een minder grote rol, omdat dan het land-zee contrast minder groot is. Na 1950 is in de winter en voorjaar een duidelijke trend te zien in de op basis van windrichting gereconstrueerde temperatuur. Het verschil met de periode tot 1950 is alleen voor het voorjaar significant op 95%. Een uitsplitsing naar maanden laat zien dat de circulate-gerelateerde toename van de temperatuur zich afspeelt in februari, maart en april. De gemiddelde temperatuur sinds 1950 is in deze maanden extra is toegenomen omdat het aantal dagen met noorden- en oostenwind duidelijk is afgenomen.

Conclusies

De resultaten van de analyse van de dagelijkse windrichting en de temperatuur in De Bilt zijn dat veranderingen in gemiddelde windrichting over de periode 1904-2000 geen effect hadden op de trend in de temperatuur in De Bilt, maar de temperatuuranomalie bij die windrichting wel. Voor bijna alle seizoenen en windrichtingen is de toename in temperatuur ongeveer gelijk aan het waargenomen verband tussen de lokale temperatuur en de wereldgemiddelde temperatuur. De enige uitzondering is de koude wind in de winter. Een toename is dan niet uitgesloten maar niet zichtbaar. Dit sluit aan met de ruimtelijk homogene opwarming die in ons vorige artikel gevonden was.

Veranderingen in circulatie hebben de jaargemiddelde temperatuur sinds 1904 tot 1960 met ongeveer 0.7°C laten afnemen en sindsdien weer even veel laten toenemen. Eén circulatie-effect springt er uit: in de maanden februari tot maart is er een extra opwarming geweest in de tweede helft van de twintigste eeuw door een afname van het aantal dagen met noorden- en oostenwind en een toename van zuiden- en westenwind. Dit wordt ook door verschillende mensen op theoretische gronden verwacht. De stratosfeer is afgekoeld, waarschijnlijk door het broeikas effect en in het vroege voorjaar door de afbraak van ozon. Dit versterkt door de thermische wind relatie de polaire vortex. Er zijn argumenten (bv. Ambaum en Hoskins, 2002) dat deze sterkere westenwind op grote hoogte ook de kans op zuidwestenwind aan de grond in Nederland verhoogt.

Een combinatie van de wereldgemiddelde temperatuur ($\times 1.2$) en de windrichtingen beschrijft de temperatuur in Nederland uitstekend over de twintigste eeuw. De toename in de wereldgemiddelde temperatuur geeft de trend met een plateau in het midden van de eeuw. Veranderingen in gemiddelde circulatie versnellen de opwarming de laatste jaren in de winter en het voorjaar en beschrijven ook de variaties op korte tijdschaal heel redelijk.

Referenties

Ambaum, M.P.H. and B.J. Hoskins, 2002: The NAO troposphere-stratosphere connection. *J. Climate* **15** 1969-1978.

Brandsma, Th, G.P. Können en H.R.A. Wessels, 2002: Estimation of the effect of urban heat advection on the temperature series of De Bilt (The Netherlands), KNMI preprint 2002-19

Corti, S., F. Molteni and T.N. Palmer, 1999: Signature of recent climate change in frequencies of natural atmospheric circulation regimes. *Nature*, **398**, 799-802.

Können, G.P. (Ed.), 1999: *De toestand van het klimaat in Nederland 1999*, KNMI. Integraal op www.knmi.nl/voorl/nader/klim/klimaatrapportage.html.

Mourik, B van, 1999: Komt het warme weer aangewaaid. *Meteorologica*, september 1999.

Oldenborgh, G.J. van and G. Komen, 2001. Hangt het warme weer de laatste tijd in Nederland samen met het versterktebroeikaseffect? *Meteorologica*, september 2001.

Oldenborgh, G.J. van and A. van Ulden, 2003: On the relationship between global warming, local warming and changes in circulation in the 20th century. KNMI preprint 2003-??..

Parker, D.E. and P.D. Jones, A. Bevan, en C.K. Folland, C.K., 1994: Interdecadal changes of surface temperature since the late 19th century. *Journal of Geophysical Research* **99**, 14373-14399. De data staan op www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature.

Schuurmans, C.J.E., en H. van den Dool, 2001: Klimaatverandering en persistentie, *Meteorologica* maart 2001 en het colloquium van Huug van den Dool op het KNMI, 23 april 2001.

Wessels, H.R.A., Klein Tank, A.M.G. en Können, G., 1994: Trends in the annual temperature of De Bilt: warmer atmosphere or changed advection? Extended abstract in Heino, R. (Ed): Proceedings of the European Workshop on Climate Variations in Europe, Kirkkonummi, Finland, 15-18 mei 1994.

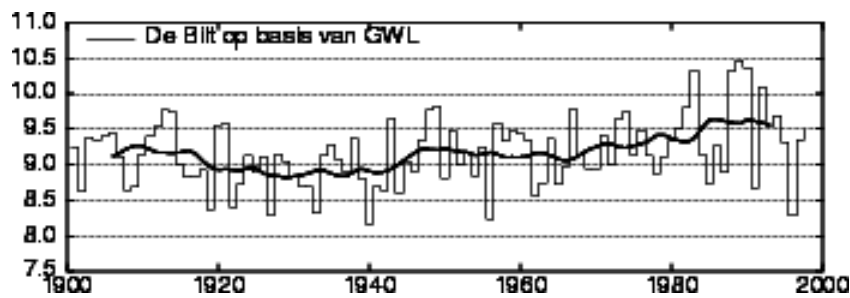
Kader : Großwetterlage

Wessels et al. (1994) schrijven de trend over de periode 1881-1993 grotendeels toe aan een veranderde frequentie van Großwetterlagen (GWL), terwijl de temperatuur geassocieerd met een bepaalde GWL constant bleef. Om uit te zoeken waar de verschillen met de analyse op basis van windrichting vandaan komen, heb ik deze analyse herhaald over de periode 1901-1999. Eerst is per GWK en per tien jaar de gemiddelde temperatuur en de onzekerheid daarin uitgerekend. Deze zijn uitgezet tegen de wereldgemiddelde temperatuur, en voor elke klasse is het verband door een rechte lijn benaderd. Per klasse is er inderdaad weinig over de trend te zeggen. Echter, als je de regressiecoëfficiënten vervolgens middelt, gewogen met de frequentie waarover de klassen voorkomen, vind je een gemiddelde regressie van 1.2 ± 0.3 voor de lente, 1.4 ± 0.2 in de zomer, 1.6 ± 0.3 in de herfst en 0.5 ± 0.3 in de winter. Er is dus wel een duidelijke stijging van de temperatuur bij gegeven GWL. In de lente, zomer en herfst verklaart die de waargenomen opwarming (1.5 ± 0.5) volledig, alleen in de winter is de regressiecoëfficiënt duidelijk minder dan één.

Vervolgens is berekend hoeveel de verandering van de frequentie van de GWL aan de stijging van de temperatuur bijdraagt. Voor elke van de 30 GWL is per maand over alle 99 jaar een karakteristieke temperatuur-anomalie berekend. Uit de waargenomen dagelijkse GWL in een maand en jaar volgt een 'gereconstrueerde' temperatuur door die dagelijkse anomalieën bij de klimatologie op te tellen. Jaargemiddeld is de correlatie met de waargenomen temperatuur $r=0.76$, een fractie beter dan de reconstructie op basis van de windrichting. De inflatiefactor is 1.76.

De jaargemiddelde gereconstrueerde temperatuur heeft een trend. De regressie op de wereldgemiddelde temperatuur is echter slechts 0.5 ± 0.4 (inclusief inflatiefactor), in overeenstemming met Wessels et al.: minder dan de helft van de waargenomen regressie van 1.5 ± 0.5 . De timing van de toename stemt niet overeen met die van de wereldgemiddelde of Nederlandse temperatuur. De tienjarig gemiddelde gereconstrueerde temperatuur daalt van 1900 tot 1940, stijgt dan tot 1985 en is daarna constant, zie figuur 4. Dit is in tegenspraak met het patroon in de wereldgemiddelde en Nederlandse temperatuur.

Een nadere studie van de frequentie per GWL per tien jaar geeft aanwijzingen waardoor dit kan komen. De frequentieverdeling van deze subjectieve klassen lijkt minder constant door de tijd dan het klimaat. Klasse Hm in de winter bijvoorbeeld werd in de winters van de eerste helft jaar van de twintigste eeuw 591 keer waargenomen, maar in de tweede helft slechts 302 keer. De zusterklasse BM steeg daarentegen van 245 naar 393. Klasse HFa ging van 266 naar 102, maar HFz kroop van 43 naar 63 en HNFz van 41 naar 106. In de andere jaargetijden vinden soortgelijke verschuivingen plaats. Het klimaat is tussen die twee helften toch niet zo dramatisch veranderd?



Figuur 4. De aan de hand van Großwetterlage gereconstrueerde jaargemiddelde temperatuur in De Bilt (inclusief inflatiefactor 1.7).

Zowel uit de frequentieverdelingen als uit de gereconstrueerde temperatuurreeks lijkt het alsof rond 1950 een verschuiving van de categorieën heeft plaatsgevonden. Dit zou het begin van de operationele classificatie van de Deutsche Wetterdienst in 1948 kunnen zijn. Zulke verschuivingen in de classificaties maken de Großwetterlagenreeks minder geschikt om klimaatveranderingen over de hele twintigste eeuw mee te beschrijven dan de windrichtingenreeks in De Bilt, waarop onze analyse gebaseerd is. Over de laatste decennia geven beide analyses vergelijkbare resultaten.

Kader : Geconstrueerde analogen

De analyse van Schuurmans en van den Dool in Meteorologica (2001) is een opsplitsing van de temperatuur-anomalieën van de jaren 1991-2000 ten opzichte van 1961-1990 in een circulatiebepaald gedeelte en een restterm. Deze laatste geeft dan de opwarming per circulatietype. Dit kunnen we goed vergelijken met de opsplitsing die we eerder gemaakt hebben in een deel wat evenredig is met de opwarming van de aarde en een deel dat hier los van staat. We hebben ook gekeken hoeveel veranderingen in de windrichting in De Bilt hiervan verklaard.

°C	Jaar	Winter	Lente	Zomer	Herfst
$T_{1901-2000}$	9.23	2.56	8.47	16.02	9.87
$T_{1961-1990}$	9.28	2.56	8.36	16.14	10.07
$T_{1991-2000}$	10.06	3.46	9.62	16.93	10.24
ΔT	+0.78	+0.90	+1.26	+0.79	+0.17
Aandeel mondiale opwarming	+0.44 ± 0.14	+0.41 ± 0.41	+0.48 ± 0.19	+0.56 ± 0.20	+0.36 ± 0.17
Aandeel ruis	+0.38 ± 0.14	+0.49 ± 0.41	+0.78 ± 0.19	+0.23 ± 0.20	-0.19 ± 0.17
Aandeel windrichting	+0.32	+0.40	+0.27	+0.30	+0.01
ΔT_w	+0.78	+1.13	+1.20	+0.63	+0.17
ΔT_k	+0.65	+0.05	+1.37	+0.81	+0.36
Gespecificeerde anomalie (S)	+0.50	+1.06	+0.65	+0.27	+0.00
Restterm ($\Delta T - S$)	+0.31	-0.11	+0.65	+0.54	+0.19

Tabel 3. De temperatuur-anomalieën in De Bilt van 1991-2000 ten opzichte van de WMO normalen 1961-1990 (gehomogeniseerde reeks); de opsplitsing uit ons vorige artikel in een gedeelte evenredig met de wereldgemiddelde temperatuur en een gedeelte 'ruis' dat hier niet mee samen hangt en de invloed van de veranderingen in overheersende windrichting die volgt uit onze gereconstrueerde temperatuur. Dit is vergeleken met de 'gespecificeerde anomalie' die volgt uit de grootschalige circulatie en het verschil met de waarnemingen van de geconstrueerde analogenmethode van Schuurmans en van den Dool.

De warmte van de jaren 1990 vergeleken met de dertig jaar er voor kan voor een gedeelte, ongeveer 0.3°C , aan veranderde windrichtingen worden toegeschreven in winter, voorjaar en zomer. Dit gedeelte komt in winter en zomer redelijk overeen met de lokale klimaatfluctuaties die over bleven na het isoleren van het gedeelte dat in de pas loopt met de wereldgemiddelde temperatuur. In het voorjaar zijn er duidelijk meer, nog niet onderzochte, factoren die de temperatuurstijging veroorzaken dan alleen windrichting en wereldwijde opwarming.

Voor het hele jaar vinden Schuurmans en van den Dool in Meteorologica dat 0.50°C van de de circulatie afhangt en 0.32°C ergens anders vandaan moet komen. Dit is in goede overeenstemming met onze opsplitsing, en bevestigt het beeld dat er naast een uniforme wereldwijde opwarming ook een duidelijke circulatie-afhankelijke opwarming was in de jaren negentig.

De overeenkomst is minder goed als we naar seizoenen uitsplitsen. Voor de zomer en herfst is het windrichting-gerelateerde deel identiek aan het z500-gerelateerde deel. In de lente en vooral in de winter verklaren veranderingen in de grootschalige circulatie een veel groter gedeelte van de opwarming dan verschuivingen de lokale windrichting. Echter, in de winter zijn ze een slechtere voorspeller. Op dezelfde lineaire wijze en over dezelfde tijd geanalyseerd als de windrichting geeft een gereconstrueerde temperatuur op basis van de eerste 10 EOFs van z500 een temperatuursprong van 1.20°C tussen 1961-1990 en 1991-2000. Echter, deze reeks verklaart slechts 55% van de variantie van de wintertemperatuur in De Bilt, tegen 77% voor de windrichting. In de lente zijn de modellen ongeveer even goed.

In grote lijnen vinden we hetzelfde als Schuurmans en van den Dool. De verschillen, vooral in de winter en het voorjaar, zijn een maat van de onzekerheid rond dit soort berekeningen. De hier uitgerekenende gemiddelde toename van de temperatuur per windrichting of Großwetterlage zijn echter een veel direktere aanwijzing dat er een circulatie-onafhankelijke temperatuurstijging heeft plaatsgevonden.