Klimaatverandering en persistentie

COR SCHUURMANS (IMAU) EN HUUG VAN DEN DOOL (NCEP)

Het toenemend broeikaseffect lijkt verantwoordelijk voor de recente stijging van de wereldgemiddelde temperatuur. De temperatuurstijging in Nederland kan echter op meer manieren worden verklaard dan met het broeikaseffect. Dit is verwarrend. Zoals bekend zijn veranderingen van temperatuur bij ons vooral het gevolg van veranderingen van temperatuur van de aangevoerde lucht en in veel mindere mate van fysische processen, als straling. Het is dus niet zo gek om, als verklaring voor de recente hogere temperaturen bij ons, te kijken naar veranderingen van de circulatie in onze omgeving, of naar temperatuurveranderingen van bepaalde circulatietypen (als indicatie van eventuele veranderingen in temperatuur van de brongebieden). Enkele resultaten van zulke studies zijn inmiddels in Meteorologica besproken (van Mourik (1999)/van Dorland (1999)), maar zij brengen niet de gewenste zekerheid dat we hier te maken hebben met gevolgen van het toenemend broeikaseffect. Een rechtstreeks bewijs kan waarschijnlijk ook niet worden geleverd.

HOGERE TEMPERATUREN EN CIRCULATIE

In dit artikel laten we allereerst zien dat de waargenomen temperaturen in de afgelopen tien jaar (1991-2000) inderdaad hoger zijn geweest dan op grond van de opgetreden circulatie kon worden verwacht. Dat geldt niet alleen voor een enkel station als De Bilt, maar ook voor een gebied als de Verenigde Staten en zelfs voor het noordelijk halfrond. Vervolgens zetten we de kenmerken van de verwarming in ons land nog eens op een rij, waarbij we onder andere vaststellen dat niet alle maanden even sterk aan de verwarming meededen. We brengen dit in verband met de invloed van de zeewatertemperatuur op de (maandgemiddelde) temperatuur in De Bilt. Uit een en ander trekken we de conclusie dat er een verandering van het atmosfeer-oceaan systeem heeft plaatsgevonden. Niet alleen de luchtcirculatie heeft veranderingen ondergaan, maar ook de verdeling van de zeewatertemperaturen. Het is niet uit te sluiten dat de aanpassing van het klimaatsysteem een gevolg is van het toenemend broeikaseffect, maar alleen berekeningen met gekoppelde atmosfeer-oceaan modellen kunnen hier mogelijk uitsluitsel over geven.

KLIMAATVERANDERING

Hoe kunnen we op een betrouwbare manier nagaan of de hogere temperaturen van de jaren 90 veroorzaakt zijn door veranderingen in de circulatie en/of door het warmer worden van die circulaties? Daartoe wordt de methode van de geconstrueerde analogen toegepast. De methode is ontwikkeld door de tweede auteur (Van den Dool, 1994) en wordt toegelicht in het bijgaand kader, aan het eind van dit artikel. In dit onderzoek zijn circulatie-temperatuurrelaties gebaseerd op waarnemingsgegevens voor de periode 1961-1990 en toegepast op de onafhankelijke periode 1991-2000. Behalve dat voor iedere maand uit die periode een analoge circulatie kan worden geconstrueerd, kan dus ook de bijbehorende anomalie van de temperatuur worden gespecificeerd. De figuren op de achterzijde laten een voorbeeld zien voor de recente december 2000. Het betreft hier de gespecificeerde en waargenomen anomalieën van de 850 hPa temperatuur voor het hele noordelijk halfrond; de in tabel 1 genoemde specificaties voor de VS en De Bilt hebben betrekking op de gewone lucht aan het aardoppervlak. In tabel 1 worden deze gespecificeerde temperaturen op maandbasis vergeleken met de waargenomen temperaturen. Twee dingen vallen op:

1. De gespecificeerde temperaturen zijn hoger dan de 1961-90 klimatologie, dat wil zeggen dat de opgetreden circulaties in 1991-2000 voor een deel de warmte verklaren.
2. De waargenomen temperaturen vallen over het algemeen nog hoger uit dan de gespecificeerde, dat wil zeggen dat het in de periode 1991-2000 warmer was dan men op grond van de opgetreden circulatie en de relatie met de temperatuur, zoals die in 1961-1990 gold, zou verwachten. Een klimaatverandering dus! Voor het noordelijk halfrond gaat het om ca. 0,2 ± 0,1 °c. Voor de VS en station De Bilt is de gemiddelde afwijking van dezelfde orde van grootte, maar de verschillen van maand tot maand zijn hier veel groter.

KENMERKEN VAN DE VERWARMING IN NEDERLAND

De hogere temperaturen in Nederland en omgeving zijn eind jaren 80 betrekkelijk abrupt begonnen

In de De Biltreeks (zie ook figuur 2) laat de temperatuurstijging zich dan ook veel beter beschrijven als een sprong, dan als een trendmatige verandering (zie Schuurmans/van den Dool, 1997). Dit wijst op een dynamische aanpassing van het klimaatsysteem. We kunnen dit vergelijken met de overgang van de seizoenen zoals we die ieder jaar meemaken. Die zijn ook te beschouwen als aanpassingen van het systeem aan veranderende (stralings)-omstandigheden en ook hier zien we dat, ook bij ons, seizoenen zelden geleidelijk in elkaar overgaan. Vooral uitgesproken seizoenen, zoals warme zomers en koude winters treden meestal abrupt in, om over het algemeen meer geleidelijk te eindigen.

Niet alle maanden van het jaar zijn gemiddeld warmer geworden

Zoals tabel 2 laat zien zijn het vooral de maanden in de nawinter en in de nazomer die gemiddeld wel een graad of meer in gemiddelde temperatuur zijn gestegen. De maanden juni en oktober/november laten echter minder stijging zien; oktober zelfs een minieme daling. Het zijn precies de maanden dat ook de persistentie van de maandgemiddelde temperaturen gering is en dat is iets wat ons aan het denken heeft gezet. De figuur 1 laat het verloop zien van de maand-op-maand persistentie van de temperatuur in De Bilt over de periode 1849-1975 (ontleend aan Van den Dool and Nap, Tellus, 1981) en van het product van de gestandaardiseerde temperatuurafwijkingen 1991-2000 t.o.v. 1961-1990. De getalswaarden in figuur 1 zijn dezelfde als die in de onderste twee rijen van tabel 2.

Persistentie of autocorrelatie wordt in het genoemde artikel berekend als

$$\Sigma_t \Delta T^g_{n-1}(t).\Delta T^g_n(t) \qquad (1)$$

Maand	O	S	O-S	O	S	O-S	O	S	O-S
Jan	0.33	0.09	0.24	1.17	0.75	0.43	1.14	0.54	0.60
Feb	0.45	0.22	0.23	1.60	1.06	0.55	1.12	1.65	-0.53
Mrt	0.25	0.01	0.24	0.68	0.50	0.18	1.72	0.94	0.78
Apr	0.41	0.28	0.13	-0.03	0.32	-0.35	1.20	0.35	0.84
Mei	0.33	0.24	0.09	0.40	0.23	0.17	0.99	0.66	0.33
Jun	0.33	0.11	0.21	0.02	0.01	0.00	0.23	-0.17	0.40
Jul	0.28	0.03	0.25	-0.03	-0.19	0.15	1.16	0.28	0.88
Aug	0.34	0.19	0.15	0.35	0.32	0.03	1.07	0.71	0.36
Sep	0.35	0.08	0.27	0.35	0.02	0.32	0.52	0.17	0.37
Okt	0.32	0.04	0.28	0.13	-0.24	0.37	-0.32	-0.48	0.16
Nov	0.37	0.08	0.29	-0.38	-0.20	-0.18	0.41	0.30	0.11
Dec	0.32	0.16	0.16	0.82	0.82	0.00	0.49	0.99	-0.50
Gem	0.34	0.13	0.21	0.42	0.28	0.14	0.81	0.50	0.32

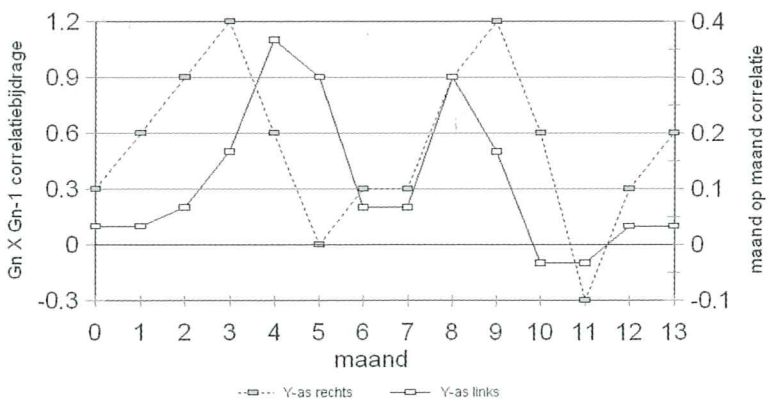
Tabel 1. Waargenomen (O) en gespecificeerde (S) anomalieën van de maandgemiddelde temperatuur,gemiddeld over de decade 1991- 2000. Voor het noordelijk halfrond betreft het 850 hPa temperaturen, voor USA en De Bilt temperaturen aan het aardoppervlak. noordelijk halfrond (kolom 1-3), USA (kolom 4-6) en De Bilt (kolom 7-9).

waarin $\Delta T^g(t)$ de gestandaardiseerde afwijkingen van het gemiddelde zijn. De tijd t doorloopt de jaren 1849 t/m 1975 en n geeft het nummer van de maand aan. De maand-op-maandpersistentie van de decadegemiddelden van de temperatuur kan in principe een sterke bijdrage aan (1) leveren. Destijds dachten Van den Dool en Nap meer in termen van anomalieën die een paar maanden bestaan, maar blijkbaar moeten we ook rekening houden met anomalieën die zich jaar in jaar uit rond dezelfde tijd van het jaar herhalen en aldus een bijdrage leveren aan de maand-op-maandpersistentie. Voor de curve van de temperatuurafwijkingen in de periode 1991-2000 (in figuur 1) hebben we het product van de gestandaardiseerde afwijkingen genomen omdat dit beter vergelijkbaar is met de maand-op-maandpersistentie (die de correlatie aangeeft van temperaturen in opeenvolgende maanden) dan de gestandaardiseerde temperatuurafwijkingen zelf. De curven in figuur 1 tonen een tamelijk parallel verloop.

In het eerdergenoemde artikel van Van den Dool en Nap wordt ook een poging gedaan om het verloop van persistentie te verklaren. De verklaring gaat er vanuit dat de temperatuur van de Noordzee een grote rol speelt in de temperatuurpersistentie in ons land. Landinwaarts neemt die persistentie namelijk duidelijk af. De seizoensvariatie in de persistentie is dan te verklaren als een opeenvolging van gunstige en minder gunstige perioden voor de luchttemperatuur om beïnvloed te worden door de temperatuur van de Noordzee. Ongunstige perioden zijn dan de maanden dat de zee veel warmer is dan de lucht erboven, waardoor boven zee onstabiliteit optreedt, die de warmte over een dikke laag verspreidt (oktober/november) en de maanden dat de aangevoerde lucht boven land sterk wordt verwarmd, waardoor boven land onstabiliteit optreedt (mei/juni).

Het parallelle gedrag van de persistentiebijdrage van de temperatuurstijging in de afgelopen decade, met dat van de maand-op-maandpersistentie van de temperatuur zou er op kunnen wijzen dat die temperatuurstijging in eerste instantie het gevolg is van hogere temperaturen in de Noordzee (en waarschijnlijk ook van de Atlantische Oceaan in de buurt van Europa). Inderdaad is de temperatuur van het zeewater in de Noordzee de afgelopen tien jaar hoog geweest; in het Marsdiep waren van de 10 warmste jaren sinds 1861 (begin van de waarnemingen) er 5 gelegen in de laatste decade, terwijl 1999 het warmste jaar was uit de gehele reeks. In dat jaar waren alle maanden te warm (persbericht, van Aken, 2000). Ook de Atlantische Oceaan gaf hogere temperaturen te zien, maar niet overal. Zo was het zeegebied rond Groenland de laatste 10 jaar juist kouder dan normaal.

Ook dit roept het beeld op van een 'herschikking' van het systeem atmosfeer-oceaan op grote schaal.



Figuur 1. Jaarlijkse gang van de persistentiebijdrage van de gemiddelde temperatuurstijging in de jaren 1991-2000, vergeleken met die van de persistentie van maandgemiddelde temperaturen in De Bilt. Voor een optimale vergelijkbaarheid met de maand- op- maand persistentie is als maat voor de persistentiebijdrage van de gemiddelde temperatuurstijging gekozen, het product van de gestandaardiseerde temperatuurafwijkingen (t.o.v. de normaal 1961-1990) van twee opeenvolgende maanden. De persistentiecurve is gebaseerd op de periode 1849-1975.

De warme periode vertoont geen trend

Met horten en stoten blijft de temperatuur op een gemiddeld hoger niveau hangen. Momenteel zijn we aan de 5e piek sinds 1985 bezig. Zie figuur 2, waarin de temperatuur van De Bilt gemiddeld over 12 maanden lopend is uitgezet. De hoogste lopende jaargemiddelde temperatuur die in die periode (meermaals) is bereikt, is afgerond 11,2 °c (oktober 1989: 11,23; april 1995: 11,24). Dit is niet hoger dan wat in vroeger eeuwen al eens werd bereikt, zij het gedurende kortere perioden dan nu het geval is (Schuurmans en Van den Dool, Zenit, 1997). Het is toch wel heel opvallend dat het eeuwenoude record van 11,2 °C nog niet is verbeterd. Alsof er een plafond in het systeem zit. Als we er vanuit gaan dat we te maken hebben met een grootschalige verandering (aanpassing, herschikking) van het atmosfeer-oceaan systeem, dan zou dit er misschien op kunnen wijzen dat we niet met een

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Gem 61-90	2.2	2.5	5	8	12.3	15.2	16.8	16.7	14	10.5	5.9	3.2
sd 61-90	2.8	2.5	1.8	1.1	1.3	1.1	1.3	1.1	1.1	1.3	1.4	2.3
ΔT 91-00	1.2	1.2	1.7	1.2	1.0	0.2	1.2	1.1	0.6	-0.3	0.4	0.4
G=ΔT/sd	0.4	0.5	1.0	1.1	0.8	0.2	0.9	1.0	0.5	-0.2	0.3	0.2
G_n x G_{n-1}	0.1	0.2	0.5	1.1	0.9	0.2	0.2	0.9	0.5	-0.1	-0.1	0.1
m-m pers	0.2	0.3	0.4	0.2	0.0	0.1	0.1	0.3	0.4	0.2	-0.1	0.1

Tabel 2. Maandgemiddelde temperaturen te De Bilt: normaal en standaarddeviatie 1961-1990, gemiddelde en gestandaardiseerde afwijkingen voor de decade 1991- 2000, produkt van de gestandaardiseerde afwijkingen in opeenvolgende maanden en maand- op- maand persistentie.

nieuw fenomeen te maken hebben, maar met iets wat het systeem al eens eerder te zien heeft gegeven. Een verschil met vroegere optredens zou dan vooral de langere duur zijn, waarvan men zich dan weer kan afvragen of het toenemend broeikaseffect daar misschien de hand in heeft.

Rol van de zeewatertemperatuur

De hogere temperaturen bij ons in de afgelopen 10 jaar hangen waarschijnlijk samen met de hogere zeewatertemperaturen in onze omgeving. Maar hoe valt dat te rijmen met de opvatting dat een temperatuurverandering van het zeewater, op de gematigde breedten, altijd naijlt bij die van de lucht? De zeewatertemperatuur zou dus door een intern oceaanproces moeten zijn toegenomen, om vervolgens de lucht erboven te verwarmen. Levitus et al. (2000) hebben ontdekt dat voorafgaand aan de recente stijging van de zeewatertemperatuur (SST), de warmte-inhoud van de bovenlaag van de oceaan (300 m) begon toe te nemen. Waardoor? De auteurs van dat artikel vermoeden dat lokaal optredende diepe convectie in de oceaan hierbij in het spel was. Door opwelling over grote gebieden wordt deze warmte naar de oppervlakte gebracht waardoor de SST toeneemt. Zoiets moet in de Atlantische Oceaan, na 1970, zijn gebeurd. Maar hoe komt die diepe convectie en die warmteopslag eigenlijk tot stand? Op korte tijdschaal is de oceaan de slaaf van de atmosfeer. Levitus et al. opperen dan ook als oplossing dat de versterkte Noord Atlantische Oscillatie (NAO) de feitelijke oorzaak is. De toename van de NAO kan zuiver atmosferische oorzaken hebben, maar natuurlijk ook het gevolg zijn van externe forceringen, zoals het toenemend broeikaseffect. In deze visie zou de warmte bij ons terug te voeren zijn op twee effecten:

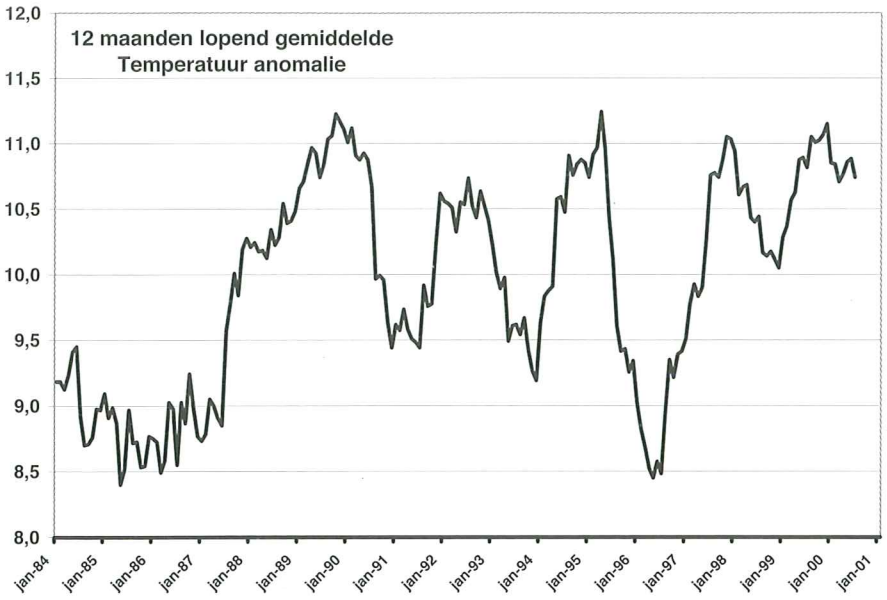
1) een toename van de NAO, want een sterkere westcirculatie veroorzaakt in Europa hogere temperaturen, vooral in de winter;
2) door hogere zeewatertemperaturen in onze buurt, die zelf weer veroorzaakt zijn door grootschalige veranderingen in de oceaan, mogelijk in werking gezet door de sterkere NAO.

De combinatie van de veranderingen in het atmosfeer-oceaan systeem hebben we hierboven aangeduid met de term aanpassing/herschikking. Of de NAO hierbij de oceaan stuurt of dat misschien op de tijdschaal van decaden toch ook, andersom, de oceaan de NAO aandrijft, laten we hier in het midden.

Geconstrueerde analogen en specificatie van temperatuur

Gegeven een bepaald circulatiepatroon komt de vraag op: wat is de hierbij behorende temperatuur aan het aardoppervlak. De temperatuur (of neerslag) afleiden uit de circulatie heet 'specificatie'. Een intuitieve specificatiemethode (vroeger bij KNMI zeer belangrijk om 500 hPa verwachtingen te kunnen interpreteren, tegenwoordig nog steeds in gebruik bij de statistische nabewerking van modeluitvoer) is om een of meerdere circulatieanalogen te zoeken in het verleden. Het bij die analoog behorende weer aan de grond is dan de specificatie. Een analoog voor een gegeven circulatie is die situatie in het verleden die volgens een bepaalde maat (zoals root-mean-square-difference) het dichtste bij ligt (= het meest lijkt op...). Het probleem is dat we geen miljard jaar atmosferische gegevens hebben en de kwaliteit van de analogen sterk te wensen overlaat. Dit kan ondervangen worden door lineaire combinaties te vormen van in het verleden opgetreden circulaties. Dit noemen we de geconstrueerde analoog. De gewichten toegekend aan de N circulatiepatronen worden vervolgens gebruikt om de N gelijktijdig opgetreden waarnemingen aan de grond op dezelfde wijze lineair te combineren. Dat dit zo goed werkt is omdat het specificatieprobleem veel meer lineair is dan bijvoorbeeld de numerieke verwachting. Men kan lineaire combinaties maken van alles wat met de circulatie wordt geacht samen te hangen, T850 voor het hele nh (in onderste figuur op de achterzijde en tabel 1), en T2m voor de VS en de Bilt (tabel 1). De werking van de geconstrueerde analoog kan het beste aan de hand van een voorbeeld worden toegelicht. Alle kaartjes op de achterzijde zijn voor het gebied 20°N tot de pool, voor december 2000, en de anomalieën zijn relatief t.o.v. de periode1961-90. Blauw is negatief, en rood is positief. Boven (a) geeft de anomalie in de 500 hPa stroomfunctie weer. De constructie vereist truncatie in de EOF ruimte: (b) is de stroomfunctieanomalie beschreven met 50 EOFs. (c) is de geconstrueerde analoog en (d) de fout (a - c). Tot zover zeer nauwkeurig. We weten nu dus de gewichten die aan jaren in het verleden moeten worden toegekend om december 2000 qua stroomfunctie als lineaire combinatie bijna exact te reproduceren. Met dezelfde gewichten specificeren we nu het temperatuurveld op 850hPa (onderste figuur op achterzijde).

Onder (a) geeft de waargenomen T850 anomalie, (c) de vanuit de 500hPa stroomfunctie gespecificeerde T850, en (d) is het verschil (a - c). De patrooncorrelatie tussen (a) en (c) is niet perfect maar wel bevredigend: 0.93. Dat is meestal 's winters zo. Niettemin zijn de verschillen hier en daar flink. Middelt men over het hele kaartgebied, dan vindt men +0.36 °c voor (a) (zeer typerend voor de jaren 90; het is gewoon warm), +0.15 °c in (c) (dwz de circulatie verklaart ruwweg de helft van de warmte), en +0.21 °c in (d) (dwz er is een residu warmte, meer rood dan blauw; eveneens zeer typerend voor de jaren 90). Op deze kleine kaartjes is het punt De Bilt nauwelijks te zien. Aan de grond (2m) was de opgetreden temperatuuranomalie in de Bilt +1.87, terwijl +0.77 gespecificeerd werd. Een dergelijke specificatie werd uitgevoerd voor alle 120 maanden gedurende 1991-2000. Tijd- en ruimtegemiddelden staan in tabel 1.



Figuur 2. Lopend gemiddelde over twaalf maanden van de temperatuur te De Bilt.

Wat zou er verder kunnen gebeuren?

In de Klimaatrapportage van het KNMI (1999) werd er al op gewezen dat de versterkte westcirculatie van de laatste decade wel eens zou kunnen afzwakken, om misschien over tien jaar weer sterker te worden. Als tenminste het toenemend broeikaseffect daadwerkelijk een sterkere westcirculatie teweegbrengt. Deze kijk op de zaak is, als scenario, niet onredelijk, zij het dat de temperatuurstijging zich niet beperkt tot de wintermaanden. Zoals we hierboven lieten zien gaat het in feite om een gewijzigd luchtcirculatie-zeewatertemperatuurregime dat het gehele jaar zijn invloed doet gelden. Ook voor dat regime kan natuurlijk een ontwikkeling worden voorzien, zoals het KNMI voor de westcirculatie beschrijft. Regimes wisselen elkaar van nature af en zullen dat vermoedelijk ook bij een toegenomen broeikaseffect blijven doen. De vraag is alleen of het toenemend broeikaseffect misschien het ene regime iets boven het andere begunstigt. Daar kunnen we met klimaatmodellen hopelijk achter komen.

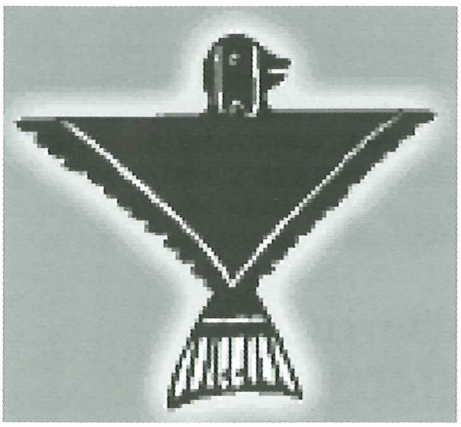
Literatuur

Levitus, S. et al., 2000: Warming World Ocean, Science, 287, 2225- 2229.
Schuurmans, C.J.E. en H.M. van den Dool, 1997: Uitzonderlijk warm: een update, Zenit, 24, 312-315.
Van den Dool, H.M., 1994: Searching for analogues, how long must one wait?, Tellus, 46A, 314- 324.
Van den Dool, H.M. and J.L. Nap, 1981: An explanation of persistence in monthly mean temperatures in the Netherlands, 33, 123- 131.
Van Dorland, R., 1999: Reactie op 'Komt het warme weer aangewaaid?' door Bart van Mourik, Meteorologica, 4- 99, 25.
Van Mourik, B., 1999: Komt het warme weer aangewaaid?, Meteorologica, 3- 1999, 7- 10.

Spanning tussen Hemel en Aarde!

Henk-Jan Dozeman an Adrie F.G. Jacobs (Wageningen Universiteit)

Het best bekende elektrische verschijnsel in de atmosfeer is de bliksem bij onweer. Uit de mythologie is bekend dat onweer, en in het bijzonder de bliksemflits, een gevreesd verschijnsel is. Gedacht werd dat dit verschijnsel van buitenaardse oorsprong was: namelijk het grote wapen van de goden. De oude Grieken dachten dat bij onweer de oppergod Zeus boos was, en dat hij met zijn vlammende speer vijanden op aarde verdelgde. De oude Vikingen en Germanen dachten dat bij onweer hun goden Thor en Wodan in hun strijdkarossen kwaad tegen de wolken botsten (donder) terwijl zij hun hamer tegen het aambeeld smeten waardoor het vuur door de lucht spatte (bliksem). In het verre oosten wordt Boeddha vaak afgebeeld met een lichtflits in de hand als teken van macht. En in het oude Amerika beeldden de indianen de bliksem af als een boze adelaar met flitsen aan de tippen van de veren (bliksem) en klapperende vleugels (donder) (zie figuur 1).



Figuur 1. De Indiaanse afbeelding voor de thunderbolt.

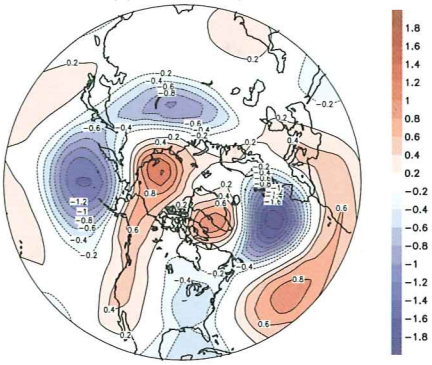
Minder bekend is dat er een actief atmosferisch elektrisch veld bestaat onder alle weeromstandigheden en dat het gedrag, met name de dynamica en de grootte van dit elektrische veld, zeer sterk wordt bepaald door het weer. Bijvoorbeeld bij mooi weer is dit veld nabij de grond ca 200 Vm-1, bij mist zelfs veel hoger en bij bijvoorbeeld cumuluswolken weer veel lager. Omdat het vermogen dat dit veld kan leveren zeer klein is merken we in het dagelijkse leven hier ogenschijnlijk weinig van, maar het is er wel en heeft invloed op mens, dier en plant.

Het is de bedoeling van dit verhaal om enige algemene karakteristieken van het alledaagse elektrische veld te bespreken aan de hand van eigen waarnemingen, gedaan op het waarnemingsveld van de leerstoelgroep Meteorologie en Luchtkwaliteit van Wageningen Universiteit. Ook wordt kort ingegaan op enkele bekende effecten van dit elektrische veld op mens, dier en plant.

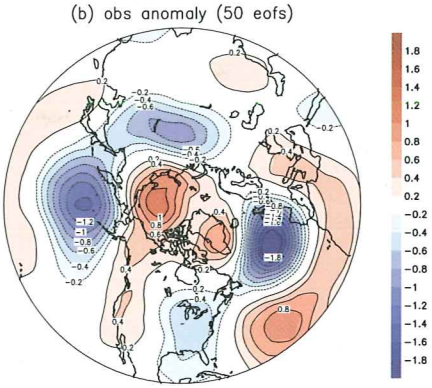
De Elektrosfeer

Eenvoudig kan de elektrosfeer worden voorgesteld als een grote condensator, waarbij de vaste aarde de ene kant van de

(a) obs anomaly

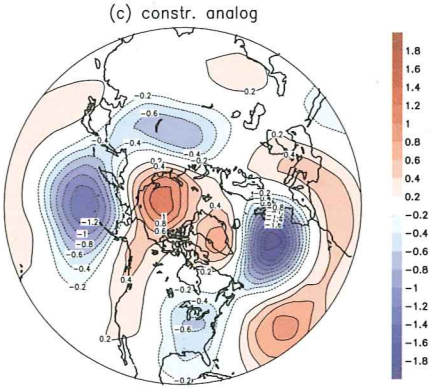


(b) obs anomaly (50 eofs)

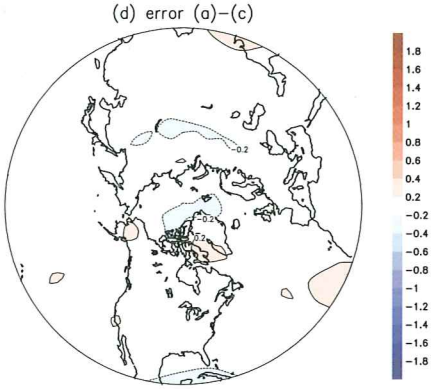


Dec 2000 PSI 500 mb, units 10**7m*m/s

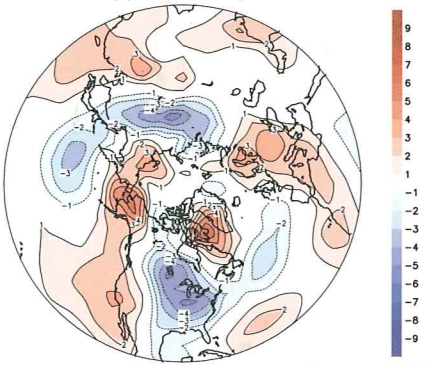
(c) constr. analog



(d) error (a)−(c)

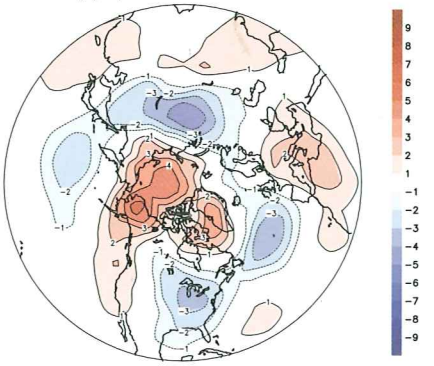
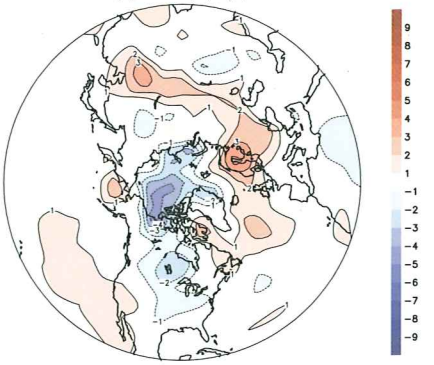


(a) obs anomaly



Dec 2000 Temp 850 mb, units K

(c) specified from PSI500



(d) bias (a)−(c)