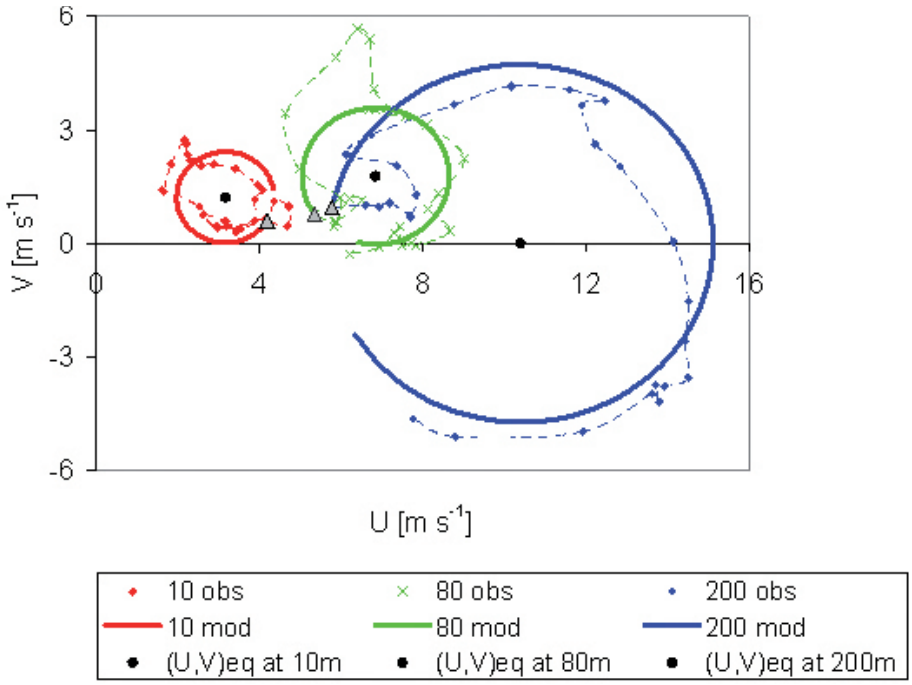


Figuur 9. Hodografen voor drie verschillende niveaus waargenomen bij Cabauw tijdens de nacht van 15 op 16 juli 2006. Waarnemingen zijn weergegeven door dun gestippelde lijnen (elk punt is een halfuur waarneming), terwijl de modelresultaten door dikke lijnen zijn weergegeven. De grijze driehoeken geven de beginvectoren weer en de dikke stippen corresponderen met de hypothetische evenwichtsvectoren.

Dankwoord

Deze tekst is grotendeels gebaseerd op een artikel dat zal verschijnen in Journal of Atmospheric Sciences. Wij zijn de co-auteurs van dat artikel (Fred Bosveld, Peter Baas, Gert-Jan Steeneveld, Bart Pelgrim en Bert Holtslag) erkentelijk voor hun bijdragen. We bedanken ook Henk Klein-Baltink en nogmaals Fred Bosveld (beiden KNMI) voor het beschikbaar stellen van de wind-profiler-observaties voor het huidige onderzoek.

Literatuur

Baas, P., F. C. Bosveld, G. Lenderink, E. Meijgaard, and A. A. M. Holtslag, 2009b: How to design single-column model experiments for comparison with observed nocturnal low-level jets at Cabauw? Quart. J.R. Met. Soc. In press

Blackadar, A. K., 1957: Boundary layer wind maxima and their significance for the growth of nocturnal inversions. Bull. Amer. Meteor. Soc., 38, 283-290.

Kundu, P. K., 1990: Fluid Mechanics., Academic Press, San Diego, 638 pp. 3068-3090.

Stull, R. B., 1988: An introduction to boundary layer meteorology, Kluwer ac. Publ., Dordrecht, The Netherlands, 670 pp.

Van de Wiel, B. J. H, A. F. Moene, G-J. Steeneveld, P. Baas, F. C. Bosveld, and A. A. M. Holtslag, 2010: A conceptual view on inertial oscillations and nocturnal low-level jets. J. Atmos. Sci. Cond. Accepted..

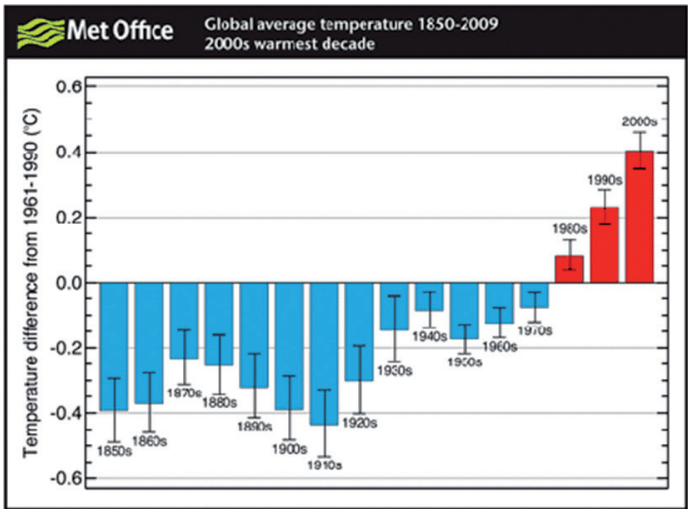
Een lichte afkoeling in 2008 en 2009

Huug van den Dool en Cor Schuurmans

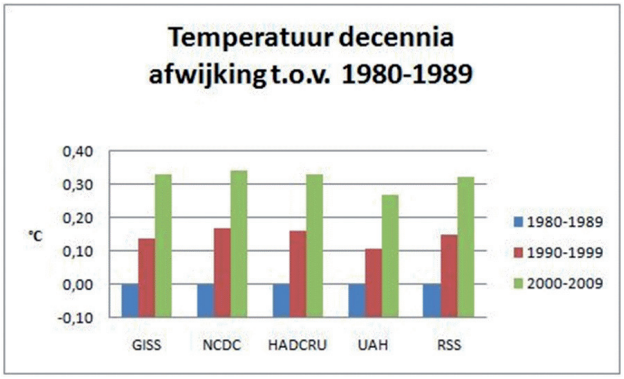
De laatste jaren zijn we gewend geraakt aan allerlei records. In Nederland waren er bijzonder warme maanden, seizoenen en jaren, met de herfst van 2006 als koploper in die zin dat, in een ongewijzigd klimaat, een zo warme herfst, ruim 3°C boven normaal in grote delen van NW Europa, maar eens in de circa honderduizend jaar kan voorkomen (van Oldenborgh, 2007). Al deze warmte viel, toevallig, samen met de publicatie van het vierde IPCC-rapport. Dat het op aarde in het algemeen warmer wordt staat buiten kijf als je de temperatuuranalyses van diverse centra mag geloven, al gaat het nog slechts om tienden van graden. Figuren 1 en 2 laten dat nog eens ten overvloede zien voor de tienjarige wereldgemiddelde (land en oceaan samen) temperatuur. Dezelfde grafieken voor land alleen laten een sterkere stijging zien: bijna een volle graad sinds 1979. Gewend geraakt aan al die recente warmte en de reactie van de pers en politiek op het IPCC-rapport is het bijna een verrassing wanneer vrij plotseling in 2008 de warmte wat minder extreem is, meer gewoon. Niet alleen in Nederland, maar ook in de VS, en zeker in 2008 ook op het Noordelijk Halfrond als geheel; januari 2008 begon wel heel buitengewoon met een record sneeuwbedekking op het NH. Maken we een kleine pas op de plaats? In de titel gebruiken we de uitdrukking "lichte afkoeling". Daarmee bedoelen we dus niet dat het echt koud is en beneden normaal, alleen dat het wat minder extreem warm is. Men zou het wel een afkoeling kunnen noemen als we 'steeds warmer' normaal gaan vinden, maar dat is voorbarig. Als we de koele situatie in 2008 en 2009 willen verklaren moeten we eigenlijk ook de extreme warmte van 2006/2007 kunnen duiden.

Situatie in Nederland

Figuur 3 laat de lopende jaargemiddelde temperatuur in De Bilt van de laatste decennia zien, bijgewerkt tot en met eind 2009. In 1988 was er al heel wat te doen over de toen hoogste kalenderjaargemiddelde temperatuur van de eeuw, maar inmiddels is die oude recordwaarde van 10.3°C uit 1988 heel gewoon. Wij analyseerden destijds de situatie van 1988, keken niet alleen naar kalenderjaargemiddelden (jan t/m dec) maar ook het lopende jaargemiddelde (dat wil zeggen 12 opeenvolgende maanden, notatie T12) om meer materiaal te kunnen bestuderen en concludeerden toen (van den Dool, 1989) dat er slechts 5% kans was dat het klimaat in De Bilt over 1901-1988 niet aan het opwarmen was. Inmiddels is die kans vrijwel nul. Het jaar 2009, het laatste puntje in figuur 3, is het dertiende warme kalenderjaar op rij en de top tien warme kalenderjaren sinds 1900 komen allemaal uit de laatste twee decennia; dat lukt niet gauw bij toeval. Het record voor de (lopende!) jaargemiddelde temperatuur te De Bilt, nooit hoger dan 11.2°C (en dat werd al eens in 1845/46 gehaald), werd verpletterd, eerst toen in de periode maart 2006 t/m februari 2007 T12 op 11.9°C uitkwam (Schuurmans en van den Dool, 2007) en zelfs op 12.6°C enkele maanden nadien. Gegeven een gemiddelde van 9.2°C over 1900-1988 en een standaard deviatie van 0.57°C (van den Dool, 1989) is een waarde van 12.6°C meer dan extreem (5 à 6 standaard deviaties). Die warmte van het jaar lopende van juli 2006 t/m juni 2007



Figuur 1. Wereldgemiddelde temperatuur per 10-jarige periode volgens gegevens bijgehouden door het UK Met Office



Figuur 2. Wereldgemiddelde temperatuur per 10-jarige periode voor de drie laatste decaden volgens (deels) onafhankelijke schattingen. Met name de Universiteit van Alabama Huntsville (UAH) is geheel onafhankelijk want gebaseerd op MSU satellietwaarnemingen terwijl de GISS, NCDC and HADCRU data sets allemaal gebaseerd zijn op compilaties van klassieke temperatuurwaarnemimgen 2 meter boven het aardoppervlak.

moet ons echt enorm blijven verbazen. Van Oldenborgh (2007) concludeerde dat de warmte in de herfst van 2006 bij lange na niet door het toegenomen broeikaseffect verklaard kan worden en dat geldt evenzeer voor het jaar juli 2006 t/m juni 2007.

Hoe men de tijdreeks in figuur 3 karakteriseert blijft natuurlijk wel een belangrijke vraag. Is dit een ruizige geleidelijk opwarming, te beschrijven met een lineaire trend, van wel 1 à 2 graden Celsius in 20 jaar? Dat wil zeggen een opwarming die aanmerkelijk sneller gaat dan die in het wereldgemiddelde (vergelijk met de tienden in figuren 1 en 2), zoals ook betoogd in Van Oldenborgh et al. (2009)[1]. Of is het een zeer plotselinge opwarming in 1988-1990 naar een nieuw niveau en daarna wel steeds ruis maar minder toename? De laatste 20 jaar laten zich beschrijven met een typische waarde van ongeveer 10-10.5°C, met wat kleine ruis gedurende 1998-2005, en enorme uitschieters naar beneden (1996) en naar boven (2007). We laten figuur 3 maar voor zichzelf spreken. Het is niet ongebruikelijk een rechte lijn te trekken door deze punten om een trendwaarde te krijgen, maar die verleiding weerstaan we. De natuur produceert zelden rechte lijnen. Bovendien is de uitkomst zeer gevoelig voor de keuze van begin en eindpunt. Als een terzijde: Het IPCC zou er ook goed aan doen minder rechte lijnen te trekken. Het nodigt sceptici uit hetzelfde te doen en begin- en eindpunt 'handig' te kiezen zodat bijvoorbeeld de periode 1998-2008 globaal een afkoeling te zien geeft.

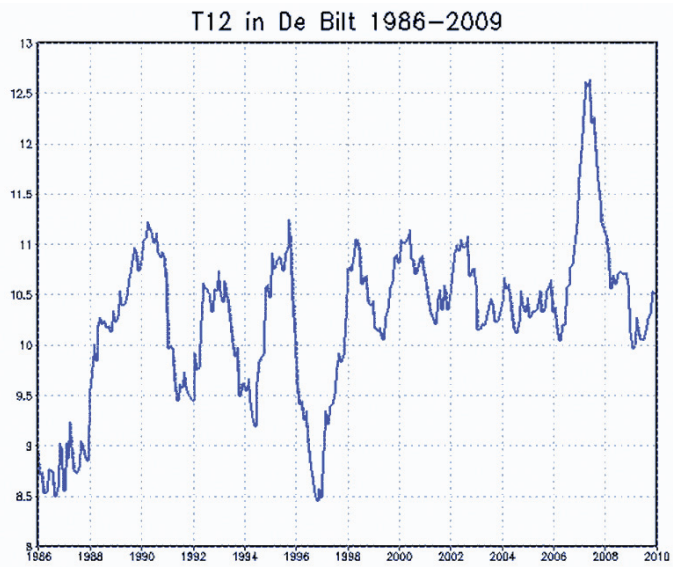
Duidelijk is wel dat 2008 en 2009 ook in Nederland flink koeler waren dan de jaren er vlak voor maar verder vrij gewoon vergeleken met de periode 1998-2005 en nog steeds warm ten opzichte van de vorige eeuw. Dat januari 2010 de eerste maandgemiddelde temperatuur 'onder nul' oplevert sinds 1997 is een interessant gegeven. Over 1900-1985 waren 13% van de wintermaanden (D, J of F) gemiddeld negatief, dus is een hyatus van 12 jaar opmerkelijk.

Figuur 3 gaat over jaargemiddelden, een enigszins abstracte grootheid. We weerstaan dit keer de verleiding om naar de opwarming van iedere maand of ieder seizoen apart te kijken, omdat er dan veel minder materiaal voorhanden is en het toeval (ruis) een nog grotere rol speelt. Om een voorbeeld te geven: gedurende 1991-2000 waren alle maanden van het jaar warmer dan de normaal over 1961-1990, behalve juni en oktober; zou er iets bijzonders zijn met deze twee maanden? Het had vermoedelijk niets te betekenen want juist deze twee maanden zijn vanaf 2001 flink warmer dan er voor, en nu delen maart en december niet in de algemeen opgaande lijn.

Situatie in de VS

Ook in de VS loopt de temperatuur op. Dat beschrijven we hier als verschuiving in de waarschijnlijkheidsverdeling. In seizoensverwachtingen in de VS gebruikt men namelijk het aloude drieklassensysteem, ook wel tercielen genaamd. Gebaseerd op de klimatologie van een standaard dertigjarige periode (nu is dat 1971-2000) worden de klassegrenzen zo gekozen dat de tercielen 1/3de van de tijd zouden moeten voorkomen, tenminste in een onveranderd klimaat. Het is een extreem simpele beschrijving van de waarschijnlijkheidsverdeling om drie klassen te gebruiken. Hieronder gebruiken we de letters A for Above, N voor Normal en B voor Below. Het is een eenvoudige zaak om te tellen hoe vaak de drie klassen voorkomen. Dat doen we voor 3-maand gemiddelde temperaturen, voor de hele VS (opgedeeld in 102 klimaatdivisies van gelijke grootte), en alle 12 'seizoenen' van DJF t/m NDJ. Per jaar hebben we 12*102 = 1224 waarnemingen die ieder een-eenduidig aan de klassen B, N en A worden toegekend. De resultaten staan in tabel 1.

In 1996 hadden we bijvoorbeeld 36,



Figuur 3. De lopende jaargemiddelde temperatuur (T12) in de Bilt voor de periode 1986-2009 in graden Celsius. De eerste waarde is geplot tegen januari 1986 (en betreft het gemiddelde over het jaar lopend van februari 1985 t/m januari 1986), de laatste waarde, geplot tegen december 2009 is voor het kalenderjaar 2009. De periode 1900-1988 had een gemiddelde van 9.2 °C en als extremen 6.9 °C (maart 1962 t/m februari 1963) en 11.1 °C (mei 1947 t/m april 1948).

34 en 30% in de B, N en A klasse. Dat is weliswaar niet exact 1/3de maar dat verwacht je ook niet als je een beperkt monster (1224 waarnemingen is beperkt) bestudeert. Het jaar 1996 bood dus min of meer wat je zou verwachten, als de klimatologie 1961-1990 nog geldig is. De jaren 1995-1997 waren betrekkelijk 'gewoon', met op zijn hoogst een heel kleine voorkeur voor A.
Maar dan gebeurt er in 1998 iets dat "niet normaal" is. Plotseling gaat de bevolking van de A-klasse naar 75%, en die tendens blijft tot en met 2000. De voorkeur voor A gaat ten koste van vooral de B-klasse. Het was in die tijd dat forecasters kopschuw begonnen te worden om kou (B) te voorspellen omdat het zo weinig voorkomt; wie wil er missers als de verificatie wordt uitgevoerd. Terwijl in Nederland 1988 een bijzonder jaar is (zie figuur 3), alsof het klimaat een schop kreeg, speelt 1998 die rol in de VS. Het ligt voor de hand dat velen de historische El Niño 1997/98 hiervoor verantwoordelijk stellen.

In 2001 veranderde men de normalen van 1961-1990 naar 1971-2000. Dat zou in principe moeten helpen want 1971-2000 is een stuk warmer dan 1961-1990. Maar we blijven een duidelijke voorkeur voor A (zeg 50%) houden in de periode 2001-2004. In 2005 gaat die voorkeur verder omhoog naar 60%. Wie in die tijd een seizoensverwachting bekijkt ziet alleen nog rood (de A-klasse) op de kaart of wit (alle klassen 1/3de). Men durfde geen voorkeur voor de koude klasse meer uit te spreken. Een 10/30/60 verdeling komt overeen met een verwachting met flink wat skill. We konden 20 jaar geleden niet eens dromen dat we dergelijke verschuivingen in de waarschijnlijkheden van seizoensverwachtingen zouden krijgen.

Na tien jaar (1998-2007) van zware voorkeur voor de A-klasse gebeurt er iets onverwachts. Plotseling krijgen we een jaar (2008) met een 31/41/27 verdeling. Wat krijgen we nu? Een gewoon jaar? En 2009 is niet veel anders, in de VS althans. En dat terwijl de 1971-2000 normaal nu toch ook oud begint te worden en nodig aan een *update* toe is. Een gewoon jaar zou helemaal niet alarmerend moeten zijn maar na een decade van steeds maar warmte begint een gewoon jaar koud te lijken.

Tabel 1. Verdeling B, N and A in % in de laatste 14 jaren in de Verenigde Staten.

B	N	A	Jaar	102 VS divisies, verwachte waarde is 1/3de 1/3de en 1/3de (gebaseerd op 30 jaar normaal periode)
26	28	46	1995	
36	34	30	1996	Deze drie jaren zijn niet zo bijzonder in vergelijking met 'normaal' = 1961-1990
27	32	41	1997	
08	17	75	1998	Heel plotseling zie je zeer veel Above. Komt dat door de grote ENSO van 1997/98?
13	24	63	1999	
22	20	58	2000	
15	32	53	2001	Normaal veranderd van 1961-1990 naar 1971-2000, maar het blijft warm
19	36	46	2002	
15	38	47	2003	Duidelijke kleine voorkeur voor Above
20	33	47	2004	
07	34	59	2005	Warmte alom
10	28	62	2006	
10	34	56	2007	
31	42	27	2008	Nogal verrassend een vrij normaal jaar te krijgen
31	40	29	2009	Wederom een niet zo warm jaar, ook al wordt de 1971-2000 normaal oud en achterhaald

Discussie

De relatieve kou van 2008 en 2009 is zo opvallend dat je een verklaring wilt. De simpelste is deze: het kan natuurlijk zijn dat we ons hebben laten misleiden gedurende 1998-2007, en dat de warmte in die periode lang niet allemaal onomkeerbare antropogene klimaatsverandering was, maar deels flinke ruis die toevallig naar boven (de warme kant) wijst. Die ruis wijst nu dan zeker naar beneden.

Oceaan invloeden

Dat is min of meer de redeneertrant in een recent artikel van Perlwitz et al. (2009) waarin de kou van 2008 in Noord Amerika als een koutje of griepje van het klimaatsysteem wordt geanalyseerd, zoniet afgedaan. De ruis die in 2008 naar de koude kant wijst heeft zelfs een naam, de SST (zeewatertemperatuur anomalieën) en wel een La Niña in de tropen gecombineerd met de negatieve fase van de PDO op gematigde breedte. De PDO (*Pacific Decadal Oscillation*) is een laagfrequente variatie van de zeewatertemperauur in de Noord-Pacific. Na een jarenlange positieve fase lijkt het alsof we een omkering hebben gekregen. Maar het is te vroeg om dat zeker te weten met laagfrequente gefilterde verschijnselen. Terwijl ENSO een bekende faktor is in de wereldgemiddelde temperatuur, heeft de PDO weinig van doen met de wereldgemiddelde temperatuur, maar kan wel regionaal in Noord Amerika voor langdurige afkoeling zorgen. Het artikel van Perlwitz et al. besluit dat de koelte in 2008 in Noord Amerika een kleine kans van optreden had in een warmer wordend klimaat, maar dat die kans nog altijd 10-15% is zodat er geen bewezen inconsistentie is met de IPCC-scenario's en dergelijke, want dat is hun voornaamste zorg. Dat wil zeggen de opwarming zal hervatten.
De La Niña in de tropen is in het voorjaar van 2009 verdwenen en we hebben nu een vrij sterke El Niño. Niettemin is 2009 niet warmer dan 2008 boven Noord Amerika, zie tabel 1. Dezelfde auteurs (Perlwitz et al.) laten in ongepubliceerd werk zien dat de bijzonder lage waarden van de NAO (Noord Atlantische Oscillatie) en AO (Arctische Oscillatie) de koelte van 2009 kunnen "verklaren".

Het zwakke van deze redeneringen is dat het alleen het probleem verplaatst. Wat is de oorzaak van al die koude zeewatertemperaturen in 2008? De analyse helpt weinig in een scenario waarbij zowel de atmosfeer als de oceaan koud werden door een gemeenschappelijke oorzaak (laten we zeggen dat de zon ineens minder hard schijnt). En waarom zijn de NAO en AO zwaar negatief in 2009, en trouwens ook in de winter 2009/2010 (eindeloze blokkades)?

De PDO speelt een rol in deze discussies vergelijkbaar met die van de NAO of AMO in en boven de Atlantische Oceaan en West Europa. Al eerder (Schuurmans en van den Dool, 2005) betoogden we dat de NAO veel, maar lang niet alles,

kan verklaren aan temperatuur toe- en afname in Nederland tussen 1975 en heden. De *Atlantic Multidecadal Oscillation* (AMO) speelt net zo'n rol, en houdt waarschijnlijk verband met de thermohaliene circulatie in de Atlantische Oceaan aangedreven door convectie (koud zout water dat plotseling naar de diepte zakt) op hoge breedte, een verschijnsel dat er nauwelijks is in de Pacific. Het voorspellen van de AMO staat centraal in nieuwe initiatieven om decadale verwachtingen te maken. Van Oldenborgh et al. (2009) suggereren trouwens dat de AMO ook boven Noord Amerika een flinke positieve correlatie heeft zodat de warmte in de VS gedurende 1998-2007 deels met de AMO zou samenhangen. Dat oceanografen hier sterk bij betrokken zijn spreekt vanzelf want we hebben het nu over grotendeels autonome dynamische processen in de oceaan die invloed hebben op de atmosfeer met periodes van vele decaden. Een prominente vertegenwoordiger van dit soort werk is Mojib Latif, veelvuldig geinterviewd, zie bijvoorbeeld [1].

Zonneactiviteit

In de media worden de koelere jaren 2008 en 2009 (en hun mogelijke voortzetting in 2010 en verder) ook wel in verband gebracht met de extreem lage zonneactiviteit en het lang uitblijven van een duidelijk begin van een nieuwe 11-jarige cyclus van de zon. Astronomen wijzen nu op de mogelijkheid van een langdurig uitblijven van hoge zonneactiviteit (de Jager, 2009). Zo'n langdurige periode van 11-jarige cycli van geringe amplitude zou dan gepaard kunnen gaan met lagere temperaturen, zoals in de Kleine IJstijd tijdens het Maunder-minimum in de 17^{e} eeuw. Daarna is rond 1800 nog het Dalton-minimum opgetreden en in die periode was het in Nederland ook relatief koud. Het Dalton-minimum volgde op een zonnevlekkencyclus, die uitzonderlijk lang was, van 1784-1798. De situatie waarin we nu verkeren lijkt daar veel op. De afgelopen cyclus heeft ook ruim 13 jaar geduurd, van 1996 tot 2009. Maar hebben één of twee analoge gevallen wel prognostische betekenis? In ieder geval interessant dat de natuur ons mogelijk een nieuw geval voorschotelt. We hebben het hier dus niet over de zeer kleine correlatie tussen de temperatuur en zonnevlekken gebaseerd op alle jaren, maar over de temperatuur gedurende een lange periode met lage zonneactiviteit.

Dat lage zonneactiviteit gepaard gaat met lagere temperaturen is niet uit de lucht gegrepen. Bij lage zonneactiviteit is de zonnestraling geringer. Ook al is het verschil met hoge zonneactiviteit maar in de orde van 1-2 W/m^2 (bij een zonneconstante van 1365 W/m^2), wanneer die vermindering jarenlang aanhoudt is mondiaal een daling van de temperatuur van enkele tienden van graden te verwachten (van Dorland et al., 2006).

Door de activiteit van de zon wordt vooral het UV-gedeelte van het spectrum beïnvloed. Veranderingen in UV-straling hebben veranderingen in temperatuur en wind van de stratosfeer tot gevolg. De wind in de stratosfeer wordt voornamelijk door het stralingsregime bepaald, maar in het winterhalfjaar is de interactie met de troposfeer vrij sterk. De troposfeer bepaalt dan voor een groot deel de windstructuur van de stratosfeer, maar onder bepaalde omstandigheden kunnen veranderingen in de stratosfeer ook de circulatie in de troposfeer beïnvloeden. Over dit onderwerp is de laatste 10 jaar veel gepubliceerd. Volgens Kodera (2002) is de ruimtelijke structuur van de NAO bij hoge en lage zonneactiviteit verschillend en daar zou de variabele interactie tussen stratosfeer en troposfeer de oorzaak van zijn. Bij hoge zonneactiviteit zou de NAO deel uitmaken van een hemisferisch patroon, dat Arctische Oscillatie (AO) wordt genoemd. De beïnvloeding vanuit de stratosfeer zou dan maximaal zijn. Bij lage zonneactiviteit zou de NAO een meer lokaal verschijnsel zijn, beperkt tot de Atlantische sector. De NAO zou dan puur troposferisch zijn en door de stratosfeer min of meer met rust worden gelaten. Hoe het precies zit met die invloed vanuit de stratosfeer bij hoge en lage zonneactiviteit zal uit verder onderzoek moeten blijken. De huidige wintercirculatie (2009/10) lijkt niet erg te voldoen aan het simpele beeld dat door Kodera is geschetst want de AO heeft in de winter 2009/2010 twee keer enkele weken lang een (negatieve!) recordwaarde bereikt, met blokkades in zowel de Stille als Atlantische Oceaan, een zeldzaamheid.

Samenvatting

Het lijstje van mogelijke oorzaken van een kortstondige opwarming of afkoeling, de ruis met een naam, is dus ENSO, PDO, (N)AO, AMO, een hele verzameling O's en de zon. Daar kan vulkaanuitbarstingen nog aan toegevoegd worden als oorzaak van plotselinge afkoeling, maar daarvan was in deze 2 jaar geen sprake. Op een enkel station (dat wil zeggen een klein gebied) is er ook nog het gewone weer, de ruis zonder naam, zodat het voor De Bilt alleen bijna ondoenlijk is een mechanisme aan te wijzen. Eigenlijk een afgezaagd lijstje. Iets nieuws ging net ter perse: een verlaging van het waterdampgehalte in de stratosfeer sedert ongeveer 2000 (Solomon et al., 2010). Dat bevordert de uitstraling van de planeet. De tijdschaal van processen in de stratosfeer kan heel lang zijn en de toevoer van waterdamp uit de troposfeer onregelmatig. Dat moet verder onderzocht worden, zowel als mechanisme als wat betreft de metingen van een spoortje water zo hoog in de atmosfeer.

Conclusie

De laatste twee jaren, 2008 en 2009, maakten een pas op de plaats wat betreft de wereldgemiddelde opwarming die uit diverse metingen sinds 1880 tussen 0.5 en 1.0°C bedraagt. Vooral het Noordelijk Halfrond warmde de laatste twee jaren wat minder op, en regionaal was het zelfs opvallend koel vooral als je, ten onrechte, steeds warmer weer gaat verwachten. Nederland was gewoon warm in 2008/09, dat wil zeggen niet extreem warm zoals gedurende 2006/07. De VS was opvallend koel in 2008 en 2009, vrijwel normaal in vergelijking met 1971-2000. Op het Zuidelijk Halfrond is 2009 al weer een van de warmste jaren ooit. Men moet waken geen overdreven conclusies te trekken uit kortdurende klimaatanomalieën. De extreme warmte in Nederland in 2006/07 kan maar voor een zeer beperkt deel verklaard worden door de broeikasgastoename. De lichte afkoeling in 2008 en 2009 (regionaal geprononceerd) betekent niet dat global warming afgelast is. Het komt er eigenlijk toch op neer dat veel mensen (en soms ook meteorologen) onvoldoende onderscheid maken tussen weer en klimaat.

Met dank aan Robert Mureau en Geert Jan van Oldenborgh voor hun commentaar.

Literatuur

Dorland, R. van, C. de Jager and G.J.M. Versteegh, 2006: Scientific Assessment of Solar Induced Climate Change, Climate Change: Scientific Assessment and Policy Analysis, WAB Report No. 500102001, 154 p.

Jager, C. de, 2009: De doodstille zon van 2009, *Zenit*, juli/augustus 2009, 316-320.

Kodera, K., 2002: Solar cycle modulation of the North Atlantic Oscillation: Implication in the spatial structure of the NAO, *Geophys.Res. Lett.,* **29**(8), 1218, doi:10.1029/2001GL014557.

Oldenborgh, G.J. van, How unusual was autumn 2006 in Europe? Climate of the Past, 2007, 3, 659-668, sref:1814-9332/cp/2007-3-659. *Climate of the Past* Disc., 2007, 3, 811-837, sref:_1814 9359/cpd/2007-3-811

Oldenborgh, G.J. van, S.S. Drijfhout, A. van Ulden, R. Haarsma, A. Sterl, C. Severijns, W. Hazeleger and H.A. Dijkstra, 2009: Western Europe is warming much faster

than expected. *Climate of the Past*, **5**, 1, 1-12.
Oldenborgh, G.J. van, L.A. te Raa, H.A. Dijkstra and S.Y. Philip, 2009: Frequency- or amplitude-dependent effects of the Atlantic meridional overturning on the tropical Pacific Ocean. *Ocean Science*, **5**, 293-301
Perlwitz, J., M. Hoerling, J. Eischeid, T. Xu, and A. Kumar, 2009: A strong bout of cooling in 2008. *Geophys. Res. Lett.*, **36**, 23, doi:10.1029/2009GL041188, 2009
Schuurmans, C. en H. van den Dool, 2005: Warmte houdt aan. *Meteorologica*, **14** (4), p 29-31.
Schuurmans, C. en H. van den Dool, 2007: Door het plafond. *Meteorologica*, **16** (1), p 33.
Solomon, S., K. Rosenlof, R. Portmann, J. Daniel, S. Davis, T. Sanford, and G-K. Plattner, 2010: Contributions of Stratospheric Water Vapor to Decadal Changes in the Rate of Global Warming (28 January 2010) Science [DOI: 10.1126/science.1182488]
Van den Dool, H, 1989: 1988 het warmste jaar van de eeuw: Hoe uitzonderlijk?. *Zenit*, **p 433-437**.

[1] http://climateprogress.org/2010/01/14/science-dr-mojib-latif-global-warming-cooling/

Voetnoot 1) In 1989 betoogden we dat de temperatuur in De Bilt sinds 1900 evenveel was toegenomen als die op het gehele Noordelijk Halfrond (toen ongeveer 0.37°C). Een versnelling van de opwarming lokaal ten opzichte van een veel groter gebied moet dus iets zijn van de laatste twee decennia. Inderdaad, van Oldenborgh schat de lineaire trend voor De Bilt op 0.35°C over 1950-1989 en 1.22°C over 1986-2009.

Empirie en theorie

Huug van den Dool

Ik kijk naar een debat op TV tussen een geleerde en een scepticus. De geleerde legt aarzelend en zorgvuldig iets uit. “Oh!, dat is maar een theorie” roept de zelfverzekerde scepticus er tussendoor. De geleerde, zojuist nog enigszins in z’n element, zit er opeens zwak bij, alsof hij een wereldvreemde uit de collegebanken is, die vergat om naar buiten te kijken of zijn theorie wel ergens op slaat. Klaar ben je als je bestaan van niet meer dan een theorie afhangt.

Ik bezocht Allan Murphy in Corvallis Oregon in 1984. De man, die ik al veelvuldig had ontmoet, zelfs enkele maanden lang op het KNMI in 1982, was in een filosofische bui. Hij vertelde dat hij als student een bewuste keuze had gemaakt om NIET statistische verwachtingsmethoden tot zijn specialiteit te maken ook al lagen zijn talenten en belangstelling duidelijk op dat gebied. Waarom niet? Met de opkomst van de (toen) nieuwe numerieke methoden werd er plotseling erg neergekeken op statistische verwachtingsmethoden voor dag 1, 2 en 3. Hoewel voorheen toch een levendige industrie onder meteorologen, hield statistiek plotseling de vooruitgang tegen, zo werd dat gevoeld. De student Murphy dacht niet dat er nog langer brood in zat. Omdat hij een uitgesproken talent voor statistiek had is Allan dan maar verificatie gaan doen, dat mocht nog net, al moedigde niemand hem aan. En het bracht weinig geld in het laatje. Allan wees ontmoedigd naar de kantoordeuren van z’n collega-professoren Larry Gates, Michael Schlesinger, en Jim Deardorf elders in de gang en zei: “De funding agents lopen de deur daar plat en smeken…neem asjeblief ons geld”. Terwijl Allan zo goed als geen funding kon krijgen. “Nou dan weet je het wel, in een VS meteorologie department ben je niets (helemaal niets!) als je geen zacht[1] geld binnenbrengt”.

{{De lezer moet bedenken dat Allan Murphy, vrij jong overleden in 1997, nu postuum een held is onder de verificateurs van ensembleverwachtingen. Hij heeft zijn roeping gevolgd, ook al was hij in het verkeerde tijdvak werkzaam om tijdens zijn leven veel erkenning te krijgen.}}

Ik bezocht Ruby Krishnamurthi in Tallehassee Florida in 1998. Zij is de laatste onderzoeker die met vloeistofmodellen in een laboratorium de atmosfeer nabootst. Een traditie die vele decennia teruggaat, die *dishpans* en draaiende pispotten in soorten en maten heeft opgeleverd en die grote wetenschappers (denk Ed Lorenz) zulke bijzondere ideeen heeft gegeven. En waarom doen we dat niet meer??? Je kunt de laboratoriumopstelling tegenwoordig in een wip met numerieke methoden nadoen. Een model van een model als het ware. Een stuk goedkoper, nauwkeuriger instelbaar, minder breekbaar en weinig kans op waterschade. Bovendien hebben we steeds betere numerieke modellen van de atmosfeer zelf. Dus waarom nog langer???

Ik bezocht Frans Nieuwstadt in Delft in 1996, hij zetelde in het J. M. Burgerscentrum te Delft. Kort daarvoor was hij in de VS in mijn achtertuin opgedoken als ‘featured speaker’ op het “Burgers Program for Fluid Dynamics” van de Universiteit van Maryland – we hadden elkaar toen in geen 10 jaar gezien. Hij vroeg of ik bij gelegenheid de studenten te Delft een lezing wilde geven over weersvoorspellingsmodellen (ik kreeg een fles wijn van “Panta Rei” voor de moeite). Dat kon natuurlijk, ik ben graag in Delft want mijn ouders zijn er geboren. Ik werd er bovendien een dag rondgeleid in een mij vreemde wereld, en ik keek mijn ogen uit naar de laboratoriumopstellingen. Reuze-opstellingen zelfs, met borrelende geluiden, en apparaten die met een schakelaar aangezet kunnen worden zodat ze ronkend vloeistoffen in beweging brengen. Omdat Frans mijn achtergrond kende (we waren samen jong op het KNMI) voegde hij er aan toe dat men in Delft weinig vertrouwt op numerieke methoden. “Als het niet in het echt gedemonstreerd kan worden geloven ze er hier niets van”, zei Frans met zijn bekende lach. Men deed toen bijvoorbeeld onderzoek naar de weerstand die een haaienhuid in een vloeistof ondervindt. Ondanks (of dankzij) de oneffenheden op de haaienhuid is de wrijvingskracht ongeveer 7% minder dan die van een geheel glad oppervlak. Dankzij dat soort onderzoek breken zwemmers 12 jaar later alle wereldrecords.

In de meteorologie, en met name de verwachtingsmeteorologie, heeft men een heilig ontzag voor theorie en de modellen die daarvan afgeleid heten te zijn. Dit is allemaal gebaseerd op ‘first principles’ hoor je een spreker wel eens als een alle tegenspraak vernietigende aanbeveling zeggen. Dat schijnt beter te zijn dan iets baseren op 50 jaar metingen in de ons omringende wereld. Het onmiskenbare succes van numerieke weersverwachtingen op de termijn van 24-120 uur vooruit is debet aan het ontzag voor theorie en modellen. Dat we het verleden volledig kunnen negeren bij het opstellen van een weersverwachting (alleen de uitgangstoestand telt, en een goed model) is iets waar sommigen van ons erg aan hebben moeten wennen.

Veel minder dan Allan Murphy wist ik als student waar ik goed in was en wat ik moest doen en vermijden om in de smaak te vallen bij hen die mijn carriere gingen bepalen. Eigenlijk weet ik het nog niet. Ik heb 30 jaar lang zowel modellen als waarnemingsstudies gedaan. Je zit als persoon op een bepaalde manier in elkaar. Je hebt weinig controle over je eigen karakter, de tijd waarin je opgroeit, en de eisen die de omgeving stelt voorzover dat ooit expliciet naar voren komt. Bijvoobeeld “we doen het alleen nog met

1) Vertaald uit Amerikaans Engels. In Amerika heet dat soft money. In Nederland de 2de, 3de of nog hogere geldstroom.

modellen " lijkt mij in bepaalde situaties zulke pure en dure onzin dat ik soms denk op de verkeerde planeet geboren te zijn. Het vakgebied dat ik het beste ken, de korte-termijn klimaatverwachtingen (ofwel seizoensverwachtingen tot 1 à 2 jaar vooruit), heeft tot op heden weinig aan modellen. Desalniettemin gaat bijna iedereen er al heel lang van uit dat de toekomst aan de modellen is. Men vergeet alleen aan te tonen dat de seizoensverwachting een geschikt probleem is voor numerieke methodes. Dat is het dus niet. Bekijk trouwens eens enkele andere geofysische problemen. Wie de astronomische getijdes voor de kust van Scheveningen wil voorspellen moet jaren meten om zoveel mogelijk harmonischen te extrapoleren om de verwachting te maken; geheel empirisch, niks modellen. (Bij weersverwachtingen kan dat niet, je wordt uitgelachen als je harmonischen extrapoleert.) Als je de jaarlijkse gang te De Bilt wilt weten gebruik je dan een klimaatsimulatie met een gerenommeerd model, dan wel N jaren van metingen op de lokatie zelf?? "Uiteraard" het laatste. Ik bedoel maar, het hangt van het geofysische probleem af wat de meer geschikte techniek is en weersverwachtingen (dag 2-7) is een speciaal geval dat niet zonder meer als analoog in andere situaties van toepassing is. Zelfs niet voor het klimaat, dat toch dicht tegen het weer aanleunt.
Het is een gecompliceerd spectrum, van experimentele natuurkunde, via empirie en statistiek naar modellen en theorie. Ze liggen bovendien niet op een rechte lijn. Ik heb ontdekt dat ik afhankelijk van de situatie zowel empiricus als theoreet kan zijn.
Want, ja, dan is er antropogene klimaatsverandering, het grote wetenschappelijk zo niet ethisch vraagstuk voor ons soort lieden. Hoe zit die discussie in elkaar? In beginsel een theoretisch concept. Je vergroot de neerwaartse straling met meer CO_2 in de lucht, en er is geen speld tussen te krijgen dat het daardoor warmer wordt aan het aardoppervlak. Tenminste, dat denk IK, want in deze context kies ik blijkbaar de theoretische benadering. Bovendien werk je dit in een uurtje uit voor een nul-dimensionaal model. De schatting van de verwarming ten gevolge van een CO_2-verdubbeling (in N-dimensionale modellen) is in feite niet veranderd in 50 jaar onderzoek. Maar dan: de reputatie van deze theorie blijkt in 's mensen's inschatting op en neer te gaan met het weer&klimaat buiten, dat wil zeggen dat de broeikas"theorie" blijkbaar geloofwaardig was in de jaren 1910-1940 toen de temperatuur iets leek op te lopen. In feite toch de Delftse houding. In de jaren 1940-1975, toen de wereldgemiddelde temperatuur een pas op de plaats maakte of zelfs iets afkoelde, leek de broeikastheorie terrein te verliezen en gedegradeerd te worden tot, inderdaad, niet meer dan een theorie, en andere theorieen deden enig opgeld (de ijstijden komen!). De ongekende opwarming in de laatste decade maakt de broeikastheorie weer erg geloofwaardig voor hen die het eerst "in het echt" willen zien voor ze het geloven en er eventueel wat aan willen doen en ik vermoed ook dat het IPCC hier extra moedig door is geworden. Het Delftse denken is toch vrij algemeen verspreid.
Terwijl ik dit schrijf ligt er zowat een meter sneeuw in mijn tuin, en U moet mij maar vergeven, ik ben ook maar een feilbaar mens, mijn ouders komen uit Delft, de stad waar men niets gelooft. Het woord "inconvenient" kwam met de sneeuwvlokken naar beneden dwarrelen. Nog nooit hebben Republikeinen zoveel plezier gehad om Al Gore als in deze sneeuwrijke winter. Hoewel ik toch beter moest weten (weer en klimaat is niet hetzelfde) denk ook ik heel even: een beetje extra global warming zou vandaag geen kwaad kunnen.

Verstoorde wolken in een opwarmend klimaat. Redding of ramp?

Pier Siebesma (KNMI en TU Delft)

Op 7 oktober 2009 sprak ik mijn intreerede uit als bijzonder hoogleraar Clouds, Climate and Air Quality aan de Faculteit Technische Natuurwetenschappen van de Technische Universiteit Delft. Hier volgt een verkorte en bewerkte weergave van de uitgesproken tekst.

Wolken, klimaatverandering en onzekerheid

Het begint hoe langer hoe duidelijker te worden dat de mens in staat is het natuurlijke broeikaseffect te versterken door grootschalige uitstoot van broeikasgassen. De effecten hiervoor zijn nu meetbaar in een toenemende wereldgemiddelde temperatuur. Het is daarom urgenter dan ooit om betrouwbare uitspraken te kunnen doen over hoe het klimaat zal veranderen in deze eeuw, gegeven bepaalde emissiescenario's voor broeikasgassen. Het belangrijkste instrument dat we hiervoor hebben zijn numerieke klimaatmodellen. Klimaatmodellen zijn redelijk in staat om het klimaat van de 20^e eeuw te reproduceren maar vertonen een grote onzekerheid voor de projecties van de 21^e eeuw hoewel ze allen een temperatuurstijging aangeven die de significante stijging van de 20^e eeuw ver te boven gaat.

Wat zijn de oorzaken van deze onzekerheden en wat is de rol van wolken hierin? Laten we om te beginnen het klimaatsysteem als geheel bekijken en ons buiten de aarde plaatsen. Gemiddeld over een jaar ontvangt de aarde 342 W/m^2 zonnestraling. Ongeveer 30% van de zonnestraling wordt direct teruggekaatst in de ruimte. De resterende 70% wordt geabsorbeerd door de atmosfeer, de aarde en de oceanen en keert uiteindelijk als infrarode (of warmte-) straling terug in de ruimte. Wanneer er nu meer broeikasgassen in de atmosfeer komen, zal deze beter in staat zijn de warmte vast te houden. Dit leidt tot een opwarming nabij het aardoppervlak totdat een nieuwe evenwichtstemperatuur ontstaat waarbij de balans tussen inkomende straling en uitgaande warmte de ruimte in weer is hersteld. Berekeningen geven aan dat voor een verdubbeling van CO_2 en aannemende dat verder alles hetzelfde blijft, dit aanleiding geeft tot een mondiale verwarming aan het aardoppervlak van 1.2 °C.

Het probleem is natuurlijk dat ons klimaatsysteem een dynamisch systeem is en dat niet alles hetzelfde blijft en dat