

DEEL ACHT

Onvermijdelijke verrassingen

36 De dans

De polen of de tropen? Wie leidt in de klimaatdans?

Zoals we eerder hebben gezien zijn de klimaathistorici in de Verenigde Staten in twee kampen verdeeld. Het ene kamp vindt dat de belangrijkste aandrijfmechanismen voor het klimaat in het verleden, en dus waarschijnlijk ook voor de toekomst, in de poolstreken liggen, met name in de noordelijke Atlantische Oceaan. Het andere denkt dat de werkelijke actie in de tropen plaatsvindt.

De meest uitgesproken voorstander van de polaire school is Wally Broecker van Lamont-Doherty. Zoals ik al in hoofdstuk 23 heb uiteengezet is hij de man achter het idee van de oceanische transportband, die begint in het hoge noorden van de Atlantische Oceaan en die volgens hem de grote klimaatversterker is. Die heeft, zegt hij, een simpele aan/uitschakelaar, die de wereld in en uit de ijstijden heeft geholpen, die de effecten van de zonnepuls van Bond moduleert, inclusief de meest recente manifestaties daarvan in de middeleeuwse warme periode en de kleine ijstijd, en die wel eens een belangrijke factor zou kunnen zijn in het sturen van de consequenties van de opwarming van de aarde. Rond Broecker heeft zich een hele school van onderzoekers gevormd die hun carrière wijden aan de analyse van de dramatische klimaatgebeurtenissen in de noordelijke Atlantische Oceaan, zoals vastgelegd in de ijskernen van Groenland.

De concurrerende tropische school heeft twee kopstukken. De ene, een eindje heuvelafwaarts van Lamont-Doherty, waar Broecker zit, is Mark Cane, een vooraanstaande deskundige die modellen heeft opgesteld van El Niño, de grootste klimaatfluctuatie in de tropen. De andere is Lonnie Thompson,

de man die dertig jaar geleden besloot op te houden met zijn onderzoek aan polaire ijskernen om in plaats daarvan in tropische gletsjers te boren. Zij betogen dat de oceanische transportband van Broecker op zijn best een secundaire factor is, die vooral invloed heeft op de Noord-Atlantische Oceaan en de landen eromheen, maar die niet de wereldspeler is waarvoor hij gehouden wordt. Voor hen zitten de belangrijke klimaathefbomen in de planetaire warmte- en waterpomp van de aarde rond de evenaar. De discussie tussen de twee scholen wordt vaak op de man gespeeld. ‘Het is allemaal de schuld van één man: Wally Broecker,’ zegt Cane. ‘Als je niet vóór hem was, was je tegen hem, en ik was tegen hem.’

De mensen van de polaire school betogen aan de hand van hun data uit ijskernen dat de klimaatveranderingen in het verre noorden dramatischer en abrupter waren dan elders, dus dit moet dé drijvende kracht achter de klimaatverandering zijn. Dit is de plaats waar de Golfstroom omkeert en de oceanische transportband wordt aangedreven, dit is de plaats waar als gevolg van afsmelting van ijs en veranderingen in de zoetwaterstroom de zee van de ene op de andere dag kan bevrozen en de temperatuur tientallen graden kan zakken, en vooral is dit de plaats waar de grote ijskappen van de ijstijden ontstaan en vergaan. Ze hebben een punt. Het lijkt weinig twijfel dat de vorming van ijs belangrijk is voor de ijstijden. Vrijwel de hele wereld koelde toen af, en twee derde van die afkoeling werd veroorzaakt door de feedbacks van de groeiende ijskappen en hun vermogen om zonnestraling terug de ruimte in de kaatsen. En niets, behalve een enorme stroom smeltwater van de terugtrekkende ijskappen kon de wereld 12.800 jaar geleden het Jonge Dryas in geholpen hebben.

Maar dat betekent niet dat de Noordpool het hele verhaal vertelt. Wat haalde de wereld bijvoorbeeld úit het Jonge Dryas? Want dat gebeurde nog sneller dan de overgang ernaartoe. En de grote klimaatveranderingen tijdens en aan het einde van de ijstijd houden weliswaar verband met polaire gebeurtenissen, maar voor de gebeurtenissen daarna is dat

verband heel wat minder zeker. Thompson betoogt dat de meeste wereldwijde klimaatschokken in het holoceen, zoals de gebeurtenissen van 5500 en 4200 jaar geleden, een tropische oorsprong moeten hebben. 'In klimaatmodellen kun je dat soort dingen zowel op het noordelijk als het zuidelijk halfrond alleen maar laten gebeuren door hefboomwerkingen in de tropen, en ik ben ervan overtuigd dat het zo ook gebeurt.'

Mike Mann, de vader van de hockeystick – hoewel geen verklaard lid van de tropische school – zegt: 'Ik denk steeds meer dat de tropische Stille Oceaan een sleutelrol vervult. Als je ziet dat La Niña de middeleeuwse warme periode domineert en dat El Niño het overneemt in de kleine ijstijd, dan begint het erop te lijken dat de tropen en niet de noordelijke Atlantische Oceaan de hoofdrol spelen.' Het argument is dat warmtestromen van de tropen de ware intermediairs zijn tussen de zonnepuls van Bond en de temperatuurschommelingen in de noordelijke Atlantische Oceaan.

De tropische school beschuldigt de polaire broederschap er ook van oogkleppen op te hebben als het gaat om de aard van klimaatverandering. Behalve dat ze zich te veel richten op processen in Noord-Amerika en Europa worden Broecker c.s. er ook van beschuldigd dat ze zich te zeer op de temperatuur richten. In de tropen is de circulatie van water en waterdamp belangrijker dan de temperatuur. Megadroogtes zijn even vernietigend als kleine ijstijden en het zijn de regens, meer nog dan de extra warmte, die voorspoed brengen. Kijk naar het droogvallen van de Sahara 5500 jaar geleden en naar het belang van de wisselvalligheden van de Aziatische moesson.

En daar laat de tropische school het niet bij. Ze betogen dat de grote klimaatgebeurtenissen in en rond de Noordpool hun oorsprong hebben in de tropen. Doordat ze warm water aan de noordelijke Atlantische Oceaan leveren zijn de tropen even goed in staat de oceanische transportband aan en uit te schakelen als de ijsformaties in het hoge noorden. En als

er al een tropische equivalent is voor Broeckers schakelaar in de noordelijke Atlantische Oceaan, zeggen ze, dan is dat waarschijnlijk de warmwaterpoel rond Indonesië – een gebied dat ze vaak ‘het kruitvat’ noemen. Dat is de grootste opslagplaats en het grootste distributiecentrum van warmte op aarde, en het is bekend dat het overwegend werkt met drempelwaarden via het El Niño-systeem. Het is ook de grootste producent van waterdamp voor de atmosfeer, en waterdamp is zowel een krachtig broeikasgas als een aandrijver van weersystemen.

Als dit gebied voor kortdurende El Niño's kan zorgen die de hele aarde opwarmen, en voor La Niña's die hem weer afkoelen, kan het dan niet ook klimaatveranderingen op lange termijn op gang brengen? Zouden processen die hier plaatsvinden niet belangrijk kunnen zijn voor het omzetten van een kleine hobbel in de baan van de aarde in het komen en gaan van de ijstijden? In elk geval voor het gaan. Want recente boringen in de sedimenten van de tropische Stille Oceaan duiden erop dat de temperaturen daar duizend jaar of meer vóór het begin van de afsmelting van de noordelijke ijskappen al begonnen te stijgen.

Na een aantal jaren tegenover elkaar gestaan te hebben zoeken veel prominente deelnemers aan dit debat nu naar standpunten waarin beide partijen zich kunnen vinden. Broecker niet, natuurlijk, maar Richard Alley, een lid van de polaire school die ook een fan is van Thompson, denkt inmiddels dat de locatie van de motor achter het klimaatsysteem met de tijd kan veranderen. Het is gemakkelijk voorstelbaar dat in de ijstijden, toen een derde van het noordelijk halfrond bedekt was met ijs, het wereldklimaat in gijzeling werd gehouden door de kracht van het ijs en het smeltwater. Maar als er minder ijs is in de interglacialen, dan is dat argument minder overtuigend, moet hij toegeven. En met zijn karakteristieke bondigheid bekent hij zijn regionale partijdigheid in het verleden. ‘Stel dat de Golfstroom stilvalt. Voor Europa zou dat natuurlijk verschil maken. Misschien dat ze in Enge-

land de voetbalcompetitie halverwege moeten staken. Manchester United zou niet spelen op tweede kerstdag. Maar in de prairies van Noord-Amerika en in de Stille Oceaan, zou het daar zo belangrijk zijn?’

Cane, aan de tropische kant, geeft toe: ‘Ik ben niet meer zo absolutistisch als vroeger.’ Hij erkent dat zijn troetelkind, El Niño en de tropische Stille Oceaan, wel eens niet de oorzaak van alles zou kunnen zijn. Hij vindt nog steeds dat de rol van de oceanische transportband wordt overdreven, maar hij erkent het mogelijke belang van de ‘zinken-of-bevriezen’-schakelaar voor het zeeijs in de noordelijke Atlantische Oceaan. Peter deMenocal van Lamont-Doherty zegt dat de kloof tussen de polaire en de tropische school ‘enigszins misleidend is. Je kunt uiteindelijk niet het een veranderen zonder het ander. Ze maken allemaal deel uit van hetzelfde patroon, of ze nu leiden of volgen.’ De aarde functioneert als een geïntegreerd systeem, niet als een reeks van aparte hefbomen.

Die visie lijkt te worden onderschreven door Steve Goldstein van Columbia University, die gebruikgemaakt heeft van de analyse van een lanthanoïde – ook wel ‘zeldzame aarde’ genoemd – die neodymium heet en die in verschillende oceanen verschillende isotoopverhoudingen heeft, om de volgorde van de gebeurtenissen aan het begin van de ijstijd te achterhalen. Hij betoogt dat de onregelmatigheden in de baan van de aarde, zoals verwacht, de gebeurtenissen aandrijven. Maar de eerste feedback die daarop volgt is het ijsalbedo. Dat veroorzaakte aan het begin van de laatste ijstijd een initiële afkoeling die in het noorden het sterkst was. Als gevolg van die initiële afkoeling veranderde de chemie en de biologie van de oceanen, waardoor kooldioxide aan de atmosfeer werd onttrokken en de koeling nog geprononceerder werd. Pas toen, een paar duizend jaar later, sloeg de oceanische transportband af. ‘De transportband volgt, hij leidt niet,’ zegt hij. Als zijn analyse bewaarheid wordt, dan is dat een klap voor Broecker, maar het zou tevens bevestigen dat zowel de tropen als de poolstreken hecht betrokken zijn

bij de ingewikkelde dans die de wereld in en uit de ijstijden leidde.

Paul Crutzen bevond zich in de voorste onderzoekslinie van zowel de tropische als de polaire sferen, en hielp mede het raadsel op te lossen van de ozonlaag boven de Zuidpool, terwijl hij zich sterk maakte voor de dynamiek van de tropische warmtemotor. ‘Grote planetaire veranderingen vinden zowel in de tropen als op hoge breedten plaats,’ zegt hij. ‘In de tropen zijn het de hoge temperaturen die de chemie en de dynamiek van de atmosfeer grotendeels bepalen. En de poolstreken zijn de zones van de krachtige natuurlijke feedbacks die de klimaatverandering in een versnelling kunnen brengen: zaken zoals smeltend ijs en permafrost en veranderingen in de oceaanstromingen.’ Dat is waarschijnlijk het beste compromis dat op dit moment voorhanden is. In laatste instantie is het systeem groter dan de afzonderlijke delen.

37 Nieuwe horizonten

Feedbacks van de stratosfeer

Is dat het einde van het verhaal? Ik denk het niet. Terwijl ik aan dit boek schreef werd ik steeds met de neus gedrukt op het feit dat we nog zo weinig weten van het klimaat op aarde en de systemen die daarmee samenhangen, de feedbacks en de oscillaties. In dit verhaal worden heldhaftige pogingen gedaan om theorieën op te stellen, er worden briljante intuïtieve inzichten naar voren gebracht en ongetwijfeld worden er vreselijke blunders gemaakt – want dat is de huidige stand van de klimaatwetenschap. Er zijn meer vragen dan antwoorden. Voorbij de voorzichtige zekerheden van de IPCC-rapporten vinden we een scala van gissingen en doemscenario's. Soms wordt de wetenschappers die op de gevaren wijzen verweten dat ze zich niet houden aan de zekerheden en dat ze het IPCC in de wielen rijden. Maar ik vermoed dat we juist veel meer daarvan nodig hebben, omdat we misschien wel veel minder weten dan we denken. Ik vind dat Wally Broecker en zijn collega's alle lof verdienen voor hun scenario's van de oceanische transportband. Ze hebben een overtuigend verhaal neergezet dat voor een revolutie heeft gezorgd in het debat. Natuurlijk, een overtuigend verhaal neerzetten wil niet zeggen dat het ook klopt, maar er komt wel nieuw onderzoek uit voort en nieuwe ideeën die getoetst kunnen worden. Het wordt tijd dat iemand van de tropische school eens met iets vergelijkbaars komt.

Even belangrijk is dat er misschien andere verklaringen ontwikkeld moeten worden. Richard Alley heeft vrijwel zeker gelijk als hij zegt dat de aarde 'onvermijdelijk meer verrassingen' in petto heeft – planetaire controlesystemen en uitkom-

sten waar niemand nog aan gedacht heeft, laat staan dat ze getest zijn. Een gebied waar verborgen triggers kunnen zitten voor wereldwijde klimaatveranderingen in en rond de Zuidpool. De polaire school heeft zowel aan de Zuidpool als in Groenland boringen verricht, maar ze hebben lang niet zoveel theorieën ontwikkeld over de processen in de zuidelijke als in de noordelijke Atlantische Oceaan. Dat zou wel eens een fout kunnen zijn. Ik ben ervan overtuigd dat een groot deel van het wetenschappelijk onderzoek aan aardsystemen daar in de komende jaren zal plaatsvinden. Een plek die in staat is zoiets uitzonderlijks te produceren als een ozongat in de stratosfeer, zal zeker nog andere verrassingen in petto hebben.

Eén nieuw idee dat is voortgekomen uit de strijd tussen de polaire en de tropische school is dat de echte motor van klimaatverandering tot aan en gedurende de ijstijden in feite diep in zuiden ligt. Tijdens de ijstijden, zo zegt die theorie, viel de oceanische transportband niet stil maar schakelde van de Noord- op de Zuidpool over: dat werd de plaats waar hij zijn nieuwe 'diepe water' vandaan kreeg. Rond de Zuidpool heeft zich altijd een zekere hoeveelheid diep water gevormd, hoewel dat recentelijk slechts tweede viool speelde voor de noordelijke Atlantische Oceaan. Maar naarmate de ijskappen aan de Noordpool groter werden en de 'schoorstenen' in de noordelijke Atlantische Oceaan ophielden met functioneren, lijkt de zone van diepwaterformatie in de Zuidzee aan kracht te hebben gewonnen en de aandrijving van de transportband te hebben overgenomen.

Sommigen gaan nog verder en zeggen dat er een 'bipolaire wip' moet zijn, waarbij opwarming op het zuidelijk halfrond gekoppeld is aan afkoeling op het noordelijk halfrond en omgekeerd. Dat zou in elk geval verklaren waarom sommige ijskernen van de Zuidpool een opwarming laten zien in een tijd dat het noorden afkoelde. De vraag is dan: welke pool heeft de leiding? Draait het Noord-Atlantische eind van het systeem de kraan dicht en sluit het de warme Golfstroom naar het noorden af zodat er meer warmte in de zuidelijke

Atlantische Oceaan blijft? Of is er een zuidelijke kraan die de Golfstroom afsluit en het noordelijk halfrond in de kou laat staan, zodat de noordelijke Atlantische Oceaan dichtvriest?

Eind 2005 won het idee terrein dat het zuiden wel eens de leiding zou kunnen hebben in deze dans toen de resultaten werden gepubliceerd van nieuwe ijsboringen aan de Zuidpool. Een Europese onderzoeksgroep vond dat de hechtste koppeling tussen temperatuur en kooldioxideconcentraties in de atmosfeer te vinden is in de ijskernen van de Zuidpool en niet in die van Groenland. 'Mijn visie is dat de tropen en de Zuidpool in fase zijn en de noordelijke Atlantische Oceaan op sleeptouw nemen,' zegt Peter deMenocal van Lamont-Doherty. 'Ook al zien wij de meest spectaculaire gebeurtenissen in het noorden van de Atlantische Oceaan, feit is dat die vaak reacties zijn en geen oorzaken.' Volgens die theorie heeft de vorming van de ijskappen in het noorden zijn oorzaak in het zuiden.

Dit ogenschijnlijk obscure debat zou wel eens van groot belang kunnen zijn voor de eenentwintigste eeuw. Op dit moment maken we ons in de hele wereld zorgen dat het afsmelten van de ijskappen aan de Noordpool zoveel zoetwater in de noordelijke Atlantische Oceaan brengt dat de Golfstroom stilvalt. Dat is een reële angst. Maar misschien staren we ons zo blind op die mogelijkheid dat we het risico niet zien dat er aan de Zuidpool grote hoeveelheden zoetwater in zee komen die de diepwaterformatie daar verstoren. Het valt te verdedigen dat de risico's veel groter zijn in het zuiden, waar niet alleen het ijs van Pine Island Bay dreigt los te breken, maar waar volgens recente radarmetingen ook een groot aantal meren onder de ijskappen van Antarctica zijn ontstaan. Die zouden voor een stortvloed van zoetwater in de Zuidzee kunnen zorgen, in omvang vergelijkbaar met het leeglopen van het Agassizmeer, dat de koudeperiode van het Jonge Dryas inluidde. Toch heeft nog niemand, voorzover ik weet, onderzocht wat de gevolgen kunnen zijn van een dergelijke uitbraak voor de diepwaterformatie en de zuidelijke

arm van de oceanische transportband – laat staan voor het wereldklimaat.

Of misschien wordt de diepwaterformatie aan de Zuidpool helemaal niet uitgeschakeld, maar zwiëpt de bipolaire wip de andere kant op en neemt de diepwaterformatie in het zuiden het van het noorden over. Zouden we die schakelaar in het zuiden in plaats van in het noorden kunnen omzetten? En zo ja, hoe? En wat gebeurt er dan? Het zou in elk geval betekenen dat het zuidelijk halfrond grote hoeveelheden warmte gaat vasthouden die nu nog door middel van de Golfstroom naar het noorden gaan. De Zuidzee zou wel eens sterk kunnen opwarmen terwijl de noordelijke Atlantische Oceaan befrist. En als de Zuidzee substantieel opwarmt, zegt Will Steffen, voormalig hoofd van het International Geosphere Biosphere Programme, ‘dan zou dat kunnen leiden tot het losraken, afsmelten en opbreken van de West-Antarctische ijskap.’ Ai!

Mocht iemand er nog aan twijfelen dat er een heleboel verrassingen te ontdekken vallen, dan zal het werk van Drew Shindell van het Goddard Institute for Space Studies (GISS) in New York (een onderdeel van NASA) hem wel op andere gedachten brengen. Zijn verhaal begint met wat op het eerste gezicht een succes was voor klimaatmodelmakers. Al vanaf de dagen van Arrhenius voorspellen klimaatmodellen dat de opwarming van de aarde het grootst zal zijn op hogere breedten, waar bekende feedbacks zoals het ijsalbedo het sterkst zijn. Dus een stijging van de temperaturen van wel 3 graden C in delen van de Noordpool en het Antarctisch Schiereiland in de afgelopen decennia werd veelal beschouwd als het eerste bewijs van een door de mens veroorzaakte klimaatverandering.

Maar er bestaat voor die redenering een tegenargument dat nog steeds niet afdoende weerlegd is en waar serieus rekening mee gehouden moet worden. De opwarming in de twee poolstreken schijnt samen te hangen met twee natuur-

lijke klimaatschommelingen, een in het verre noorden en een in het diepe zuiden. In het noorden staat de schommeling bekend als de Arctische Oscillatie (AO), een uitbreiding van de bekendere Noord-Atlantische Oscillatie (NAO). Het is, na El Niño, de tweede grootste klimaatcyclus op aarde. De oscillatie zelf, zoals gemeten door meteorologen, is een verandering in de relatieve luchtdruk, maar zijn grootste invloed is dat hij de heersende westenwinden die om de Noordpool cirkelen aanwakkert of verzwakt. Net als El Niño schakelt de Arctische Oscillatie heen en weer tussen twee modi. In de positieve modus zijn de luchtdrukverschillen tussen de polaire en de extrapolaire gebieden groot en wakkeren ze de wind aan. Vooral in de winter voeren de winden warmte aan van het warme zeewater en warmen het land op. Dus tijdens een positieve fase van de Arctische Oscillatie worden Noord-Europa, Spitsbergen, Siberië, de Atlantische kust van Noord-Amerika en Alaska sterk opgewarmd. Aan de andere kant, als de oscillatie in zijn negatieve fase is, gaat de wind liggen en koelt het land af.

De kracht van dit effect hangt af van de warmte van de oceanen, en met name van de Golfstroom en van het goed functioneren van de oceanische transportband. Maar in de meeste van de afgelopen vijftig jaar zat de Arctische Oscillatie in een krachtige positieve modus, mede zorgend voor een lange periode van opwarming. Onderzoek met behulp van modellen wijst uit dat minstens de helft van de opwarming in delen van het noordelijk halfrond het directe gevolg is van zijn invloed, en daardoor lijkt de opwarming van de aarde zelf maar een geringe factor. Maar nu komen er steeds meer aanwijzingen dat de opwarming van de aarde ook de Arctische Oscillatie aandrijft. En dat gebeurt vanuit onverwachte hoek.

Nu verschijnt Shindell op het toneel. Shindell heeft er lol in de onpopulaire grensgebieden tussen de wetenschappelijke disciplines te betreden. Zijn persoonlijke interesse is de weinig bestudeerde relatie tussen de stratosfeer, waar de

ozonlaag zetelt, en de troposfeer, waar ons weer gemaakt wordt. Die bestudeert hij met behulp van het klimaatmodel van het GISS, een van de weinige die de stratosfeer volledig bij hun berekeningen betrekken. De meeste modellen tonen weinig verband tussen de opwarming van de aarde en de Arctische Oscillatie. Het model van het GISS geeft dezelfde uitkomst als de stratosfeer niet wordt meegerekend. Maar Shindell ontdekte dat als de stratosfeer er wel bij betrokken wordt, de opwarming van de aarde voor een grote versterking van de Arctische Oscillatie en de winden rond de Noordpool zorgt. Het is zelfs zo, dat hij met het huidige niveau van broeikasgassen een patroon heeft gereproduceerd dat heel dicht bij de huidige ongebruikelijk positieve modus van de oscillatie komt.

Wat is er aan de hand? Een van de problemen met klimaatmodellen is dat het niet altijd makkelijk is om precies die elementen in het model eruit te pikken die de effecten veroorzaken die je op het scherm ziet. Maar hier is de rol van de stratosfeer zonneklaar. En Shindell denkt dat hij weet wat de schakels in de keten zijn. Broeikasgassen koelen de stratosfeer af, zoals we al eerder hebben gezien. En door die afkoeling wordt de energiedistributie in de stratosfeer zodanig veranderd dat de winden in kracht toenemen. Vooral één wind, de zogenaamde stratosferische straalstroom, die elke winter rond de Noordpool waait, wordt sterker. Die wind drijft op zijn beurt de heersende westenwinden in de daaronder liggende troposfeer aan. Dus die gaan ook harder waaien. Deze stratosferische feedback versterkt dus de opwarming van de aarde aan de Noordpool door de Arctische Oscillatie op te jagen en de winden te versterken die het land opwarmen. Dat is een verrassende en tot voor kort volkomen onverwachte feedback. Het is een briljante vondst.

Zou hetzelfde van toepassing kunnen zijn op de gebeurtenissen aan de Zuidpool? Het model van het GISS suggereert van wel. De dominante klimaatoscillatie daar is de Antarktische Oscillatie (AAO), ook wel in het Engels de *Southern*

Annual Mode (SAM) genoemd. Net als de Arctische Oscillatie is de AAO een uitdrukking van het luchtdrukverschil tussen polaire en niet-polaire lucht die de westenwinden aandrijft die om de Zuidpool waaien. De geografie verschilt enigszins van de Noordpool. De winden fluiten rond de Zuidzee en komen pas aan land op het Antarctisch Schiereiland, dat uitsteekt in de richting van Zuid-Amerika.

De klimatoloog John King heeft de AAO bestudeert voor de Britse Antarctic Survey in Cambridge. Hij zegt dat de AAO net als de AO sinds het midden van de jaren 1960 in overdrive is en voor krachtiger westenwinden zorgt. En, ook weer net als de AO, versterkt hij onderweg de opwarming. Op het Antarctisch Schiereiland zijn de luchttemperaturen sinds de jaren 1960 met 3 graden C gestegen, de enige plaats op het zuidelijk halfrond waar de opwarming zo groot is. De gevolgen zijn onder andere dat de gletsjers van het schiereiland smelten en de drijvende ijsplateaus, zoals Larsen B, instorten. Daar komt nog bij dat de AAO-winden, door meer warme lucht zuidwaarts te voeren, het water opwarmen dat rondom Antarctica en onder zijn ijskappen spoelt, waardoor de West-Antarctische ijskap wordt ondermijnd.

Ook hier voorspelt het model van Shindell dat de versterking van de AAO het gevolg is van de afkoeling van de stratosfeer en een versterking van de straalstromen. Een belangrijke bijkomende factor is het dunner worden van de ozonlaag, die nog extra bijdraagt aan de afkoeling van de stratosfeer.

Dat zijn allemaal verontrustende aanwijzingen voor een nieuwe positieve feedback die de opwarming in twee gevoelige streken van de aarde versterkt, met het risico dat gevaarlijke ontwikkelingen worden ontketend. Glaciologen zeggen dat de Groenlandse ijskap het kan begeven wanneer de opwarming ter plaatse de 3 graden C bereikt. De gigantische voorraden methaan onder de Siberische permafrost en de Barentssee kunnen door een vergelijkbare opwarming vrijkomen. Bovendien, zegt Jim Hansen, de baas van Shindell:

‘de opwarming door de AAO omvat nu al delen van de West-Antarctische ijskap, alsmede het Antarctisch Schiereiland. Het is echt een heel urgente kwestie.’

De ontdekking van de stratosferische feedback helpt ook een andere vraag te beantwoorden die de klimatologen al lange tijd dwarszit: hoe komt het dat variaties in de zonneoutput, die waarschijnlijk niet meer dan een halve watt per vierkante meter bedragen, de grote klimaatschommelingen in de noordelijke Atlantische Oceaan veroorzaken die Gerard Bond met zijn analyse van de 1500-jarige zonnepuls heeft ontdekt? Conventionele klimaatmodellen die geen rekening houden met de stratosfeer geven als uitkomst dat die fluctuaties in de zonnestraling slechts een verandering van 0,2 graden C teweeg brengen. Maar hoewel de temperatuurveranderingen wereldwijd waarschijnlijk dicht bij die waarde kwamen, waren de temperatuurschommelingen in Europa en Noord-Amerika als gevolg van die pulsen wel tien keer zo groot.

De wetenschappers hebben naarstig gezocht naar versterkende mechanismen die dat kunnen verklaren. Zeeijs, de oceanische transportband en tropische schakelaars als El Niño, allemaal zijn ze als kandidaten naar voren geschoven, maar geen enkele leek tegen die taak opgewassen. Shindell beweert dat zijn stratosferische feedback de oplossing is. De motor van het mechanisme is deze keer de ultraviolette straling. Hoewel de totale zonnestraling die het aardoppervlak tijdens de pulsen van Bond bereikt maar met een tiende van een procent varieert, verandert de dosis ultraviolette straling die de aarde bereikt met wel 10 procent. Het grootste deel van die ultraviolette straling wordt geabsorbeerd door de ozonlaag in de stratosfeer, dus die heeft weinig invloed aan de grond. Het proces van absorptie veroorzaakt echter grote veranderingen in de energiestroom in de stratosfeer, en die veranderen uiteindelijk de stratosferische straalstromen en daarmee de Arctische Oscillatie op het noordelijk halfrond en de Antarctische Oscillatie op het zuidelijk halfrond.

Shindell modelleerde de waarschijnlijke effecten van de laatste reductie in zonnestraling tijdens het Maunder Minimum, midden in de Europese kleine ijstijd, 350 jaar geleden. Het GISS-model, dat geen rekening hield met de stratosfeer, bleef onaangeroerd door de geringe verandering in de zonnestraling, maar toen de stratosfeer erbij werd betrokken, gaf het model een daling van de temperatuur in Europa te zien van tussen de 1 en 2 graden C, terwijl de wereldwijde waarde maar een tiende daarvan was – uitkomsten die de werkelijke gebeurtenissen opmerkelijk dicht benaderen. De verminderde ultraviolette straling in de stratosfeer vertraagde ook de westenwinden onder in de atmosfeer, zegt Shindell. En dat op zijn beurt zorgde voor afkoeling in de winter, vooral boven land, op hogere breedten op het noordelijk halfrond.

De stratosfeer en zijn invloed op de wind in de poolstreken en op gematigde breedten lijkt dus een verborgen versterker te zijn die kleine schommelingen in de zonnestraling kan omzetten in grote temperatuurveranderingen in de poolstreken. Maar het is niet de enige versterker in die contreien. Ijs en sneeuw zijn ook belangrijk, evenals de oceanische transportband en misschien de hoeveelheid methaan in de atmosfeer. De stratosfeer schijnt echter de cruciale factor te zijn die kleine zonnecycli in grote klimaatprocessen omzet. Dat verklaart het effect van Bonds zonnepulsen en wellicht andere zonnecycli.

De klimaatsceptici hebben van tijd tot tijd betoogd dat zonnevlekcycli zo goed correleren met de opwarming in de twintigste eeuw dat de broeikasgassen wel eens niet ter zake zouden kunnen doen. De klimatologen begrepen maar niet welke mechanismen er in het spel waren. Dus wezen ze de claims van de sceptici zonder meer van de hand. Maar de krachtige feedback van de stratosfeer die Shindell heeft ontdekt dwingt tot een herbezinning. Dat wil echter niet zeggen dat Shindell zich nu bij het kamp van de klimaatsceptici heeft gevoegd. Verre van dat.

Zijn conclusie is dat de correlatie tussen de geschatte zonneoutput en de temperatuur van de aarde voor de eerste helft van de twintigste eeuw niet slecht is. En de stratosferische feedback kan verklaren dat de zon in het begin van die eeuw voor enige opwarming zorgde, waarna er halverwege de eeuw een afkoeling optrad die sommigen deed vrezen dat er weer een ijstijd aan kwam. Maar daarna is er geen verandering in het zonnesignaal die versterkt kan worden om de recente opwarming te verklaren. In de laatste drie decennia van de twintigste eeuw is de gemiddelde zonneoutput zelfs eerder gedaald, terwijl de temperaturen wereldwijd – en niet alleen op hogere breedten, maar vrijwel overal – naar recordhoogten stegen. Dus, zegt Shindell: ‘hoewel de zonne variaties indirect van invloed zijn op het klimaat onder in de atmosfeer, is het vrijwel zeker dat die niet verantwoordelijk zijn voor het merendeel van de snelle opwarming van de hele aarde die we in de afgelopen drie decennia hebben meegemaakt.’

Voor die meest recente periode is het duidelijk, zegt hij, dat stijgende concentraties broeikasgassen de primaire aandrijver zijn. Maar naast het feit dat ze een wereldwijde opwarming veroorzaken, hebben ze ook veranderingen in de stratosfeer teweeggebracht die een specifieke positieve feedback in werking stelden die de poolstreken en de gematigde klimaatzone opwarmde. Die positieve feedback is tot uitdrukking gekomen in de ogenschijnlijk natuurlijke Arctische en Antarctische Oscillaties. Die cycli schijnen nu in de overdrive te zijn geschakeld.

Je moet wel idioot zijn om uit het werk van Shindell de conclusie te trekken dat we ons niet zoveel zorgen hoeven te maken over door de mens veroorzaakte klimaatveranderingen. Integendeel, Shindells spectaculaire ontdekking van de stratosferische feedback wijst erop dat de natuurlijke processen die de temperatuurveranderingen vergroten veel krachtiger zijn dan in de meeste klimaatmodellen. Het ziet ernaar uit dat zijn nieuwe feedback doorgaat en de temperatuur in

de poolstreken opdrijft tot waarden waar niemand tot nog toe rekening mee heeft gehouden. Die extra opwarming zal waarschijnlijk andere feedbacks in werking stellen waardoor het ijs gaat smelten, de zeespiegel stijgt, de broeikasgassen in de permafrost en onder de zeebedding vrijkomen en de oceanische transportband in de problemen kan worden gebracht.

Opgelucht? Ik dacht het niet.

