

Tot besluit

Een andere planeet

In de afgelopen 100.000 jaar zijn er maar twee enigszins stabiele perioden in het klimaat geweest, zegt Richard Alley. De eerste was ‘toen de ijskappen het grootst waren en de aarde het koudst was. De tweede is de periode waarin we nu leven.’ De rest van de tijd was het klimaat door de bank genomen ‘gruwelijk grillig’. En nu, na vele generaties van klimaatstabiliteit, lijkt de mensheid in het acute gevaar te verkeren dat die gruwelijke grilligheid van het klimaat weer terugkeert. We hebben echt geen idee hoe het eruit zal zien of hoe we ons er doorheen zullen slaan. De kans bestaat nog dat die grilligheid niet komt en dat de aarde in plaats daarvan geleidelijk aan en zelfs op een weldadige manier zal opwarmen. Maar die kans is heel klein. Er zijn talloze feedbacks – monsters die uit hun slaap worden gewekt, zoals Chris Rapley zegt – die voor die grilligheid kunnen zorgen. Wat het klimaat betreft betreden we onbekend terrein.

Ik heb dit boek *De laatste generatie* genoemd, niet omdat ik geloof dat de mens zal uitsterven, maar omdat wij naar alle waarschijnlijkheid de laatste generatie zijn die in een redelijk stabiel klimaat leeft. Jim Hansen geeft ons nog tien jaar om ons doen en laten te veranderen. Daarna, zegt hij, is het laatste wat we nog kunnen verwachten *business as usual*, zoals de economen het noemen. Allesbehalve. ‘De *business as usual* zal een heel andere planeet zijn,’ zegt Hansen. ‘Hoe anders moet je een klimaatverandering noemen waarbij de Noordpool in de zomer een open zee wordt en de meeste continenten gemiddelde klimaatcondities krijgen die vroeger zelfs in de meest extreme jaren niet voorkwamen?’

Het spijt me als de lezer op dit punt nog hoopte op een definitieve prognose voor onze planeet. Er is geen enkele prognose, er is alleen onzekerheid. Het aardsysteem is kennelijk chaotisch en kan in wezen alle kanten op schieten. Als er systeem in zit, dan weten we niet welk dat is. Geen enkel scenario klinkt overtuigend. Er is geen plekje op onze planeet waar de sleutel voor de toekomst te vinden is. Geen enkele feedback is voorbestemd te overheersen. Sommige gebieden op aarde hebben een speciale rol gespeeld in de klimaatgeschiedenis en kunnen dus belangrijker zijn dan andere. Maar zoals Alley zegt: 'De kwestie van abrupte klimaatverandering zal uiteindelijk nog gecompliceerder worden. We moeten uitkijken naar gevaarlijke drempels, waar die ook zitten.'

Voorlopig hebben we alleen een lijst met zaken die ons zorgen baren. Smeltend poolijs, in zee of op het land, zou een enorme impact kunnen hebben door stijging van de zeespiegel of door het versterken van de opwarming van de aarde. Aan de Zuidpool kunnen glaciologische 'monsters' op de loer liggen in Pine Island Bay of de Tottel-gletsjer. De hele West-Antarctische ijskap zou op een dag wel eens uit elkaar kunnen vallen. El Niño kan in een aan- of uittoestand blijven steken, met als gevolg megadrogtes of superorkanen. Het Amazoneregenwoud zou wel eens nagenoeg kunnen verdwijnen als gevolg van steeds weerkerende droogtes en branden die van invloed zijn op de weersystemen van de hele aarde. De oceanen kunnen veranderen in één gigantisch levenloos zuurbad. Smogs kunnen de hydroxyl-schoonmaakdienst lam leggen of de Aziatische moesson uitschakelen. En de stratosfeer kan nog veel meer verrassingen in petto hebben.

Methaan ligt altijd op de loer om de Grote Scheet van 55 miljoen jaar geleden te herhalen, als we toelaten dat het gas uit zijn diverse holen ontsnapt. En de noordelijke Atlantische Oceaan schijnt wel een bijzonder verlamme greep op het klimaat te hebben. Ik blijf maar terugkomen op de veront-rustend simpele keuze die de Golfstroom op zijn noord-waartse tocht heeft: zinken of bevroren. En op de eenzame

schoorsteen van Peter Wadham die ergens ten noordoosten van Scoresby Sund voor de kust van Groenland eindeloos water naar de oceaanbodem stuurt. Tot hij stopt. Wie weet wanneer? En wie weet wat er dan gebeurt?

Een groot deel van dit boek gaat over de geschiedenis van het klimaat. Dat is met opzet. Het verleden laat veel duidelijker dan een computermodel zien hoe het klimaatsysteem werkt. In het algemeen werkt het niet met geleidelijke overgangen, maar met perioden van stabiliteit onderbroken door plotse-ling dronkenmansgezwalk. En de werking van het klimaat in het verleden toont de volledig ontwaakte monsters die wij nu misschien uit hun slaap wekken.

Het klimaat in het verleden biedt echter geen blauwdruk voor de toekomst. Er zijn geen gemakkelijke analogieën. We zijn al te ver afgedwaald van de wegen uitgezet door de zonnecycli van Bond en de andere natuurlijke oscillaties van het aardsysteem. De concentraties broeikasgassen zijn waarschijnlijk al op het hoogste niveau in miljoenen jaren en de temperaturen zullen spoedig volgen. Maar het bijzondere karakter van onze toestand gaat veel verder. Behalve wanneer er zo nu en dan een planetoïde op aarde insloeg werden de veranderingen in het verleden bijna altijd veroorzaakt door schommelingen in de zonnestraling die ons door de stratosfeer bereikt. De aardse feedbacks, zoals de biologische pomp en de groter wordende ijskappen en het overschrijden van drempelwaarden in de oceaanstromingen en de plantengroei op het land, liepen altijd achter het signaal van de zon aan. Deze keer beginnen we echter bottom-up, met een vernietigend vuur van fossiele brandstoffen dat de koolstofkringloop op zijn grondvesten heeft doen schudden. En dat niet alleen: we pompen de atmosfeer vol met aerosols, we vernietigen de opslagplaatsen van koolstof, zoals de regenwouden, en we zenden ozonvretende chemicaliën in de stratosfeer. Er is geen peil op te trekken hoe de monsters van het aardsysteem daarop zullen reageren. We kunnen nog steeds

van het verleden leren, maar we kunnen niet verwachten dat het verleden zich herhaalt.

Toen ik voor het eerst uitvoerig over klimaatverandering schreef, in 1989, in een boek getiteld *Turning up the Heat* ('De verwarming hoger zetten'), waarschuwde ik dat wij passagiers op het ruimteschip aarde niet langer meer achterover kunnen leunen. We moeten de teugels in handen nemen of anders het risico lopen op een ramp. Maar in wezen was het een optimistisch boek. Ik redeneerde dat als Homo sapiens als groentje op de aarde de laatste ijstijd had overleefd, we het deze keer ook wel zouden redden. We hadden de technologie, en de economische prijs om het probleem aan te pakken was niet te hoog. Ik vergeleek de taak waarvoor we stonden met het wegwerken van de Londense 'erwtensoeep' van een halve eeuw geleden. Als het besluit eenmaal genomen was om in te grijpen, zou het karwei betrekkelijk gemakkelijk geklaard kunnen worden. Weldra zouden we ons afvragen waarom we zo lang hadden getalmd.

We zijn nu vijftien jaar verder en de urgentie van de klimaatcrisis is veel duidelijker, ook al is de kwestie een tikje gecompliceerder geworden. Maar er zijn nog geen tekenen dat we de noodzakelijke stappen ondernemen. De technologie is nog steeds betrekkelijk eenvoudig en economisch kan het zelfs makkelijker, maar de politiek krijgen we niet op het juiste spoor. Ik ben er van overtuigd dat we het in onze macht hebben, zelfs op dit late uur, om ruimteschip aarde weer op de juiste koers te krijgen. Maar de tijd dringt. Het schip begint al onbestuurbaar te worden. We zouden wel eens spoedig de greep op de helmstok kunnen verliezen.

De mensheid staat voor een geheel nieuwe situatie. Dit is geen milieucrisis in de gewone zin van het woord. Het is een crisis van het hele systeem waarop ons leven en ons voortbestaan en onze beschaving is gebaseerd. In de afgelopen 10.000 jaar, sinds het einde van de laatste ijstijd, heeft de mens het milieu geplunderd en verwoest en de natuurlijke vruchtbaarheid van grote delen van de aarde aangetast. Niet-

temin zijn de levendragende systemen van de aarde als geheel tot nog toe stabiel gebleven. Als de ene beschaving ten onder ging, kwam de andere op. Maar de regels van het spel zijn veranderd. In het antropoceen is de invloed van de mens op de planetaire systemen wereldwijd en allesomvattend.

Als we in het verleden de zaak verkeerd aanpakten en het milieu verwoestten, dan konden we verkassen en ergens anders heengaan. Migratie is altijd een van de belangrijkste overlevingsstrategieën van onze soort geweest. Maar nu kunnen we nergens meer naartoe. Er is geen nieuw land meer. We hebben maar één atmosfeer en maar één aarde.

Appendix:

De uitdaging van een biljoen ton

Alle regeringen in de wereld hebben zich verbonden om ‘gevaarlijke’ klimaatverandering tegen te gaan. Ze deden die belofte in 1992 op de Wereldtop van Rio de Janeiro. Onder de ondertekenaars waren de Verenigde Staten en Australië, die allebei weigerden het daarop volgende Kyoto Protocol met zijn nationale doelstellingen voor emissiereducties te ratificeren. Maar wat is een gevaarlijke klimaatverandering? En hoe kunnen we die in de praktijk voorkomen?

Sommige mensen vinden dat de gevaarlijke klimaatveranderingen al een realiteit zijn. Velen die alles zijn kwijtgeraakt door recente orkanen, overstromingen en droogtes vinden dat ze slachtoffers zijn. Die claims zijn meestal niet te bewijzen. Maar dat betekent niet dat ons weer niet verandert, zegt Myles Allen van Oxford University. Eigenlijk is de klimaatverandering al zover gevorderd dat ons ongebruikelijk en gevaarlijk weer te wachten staat. ‘Het is niet zo dat we tegen het midden van deze eeuw de gevarenzone bereiken. We zitten er al midden in,’ zegt hij. De 35.000 Europeanen die in de hittegolf van 2003 stierven waren slachtoffers van een gebeurtenis die vrijwel zeker niet zou hebben plaatsgevonden zonder de sluipende stijging van de gemiddelde temperatuur die van een warme zomer een moordwerktuig maakte.

Maar afgezien van zulke plaatselijke rampen: de meesten zouden betogen dat het voor de preventie van gevaarlijke klimaatverandering cruciaal is dat we bepaalde drempelwaarden in het klimaatsysteem, die onomkeerbare wereldwijde veranderingen op gang brengen, niet overschrijden – en dan

vooral veranderingen die op hun beurt weer voor een verdere opwarming zorgen. Het is niet zeker waar dat soort 'omslagpunten' liggen, maar er is een groeiende consensus, vooral in Europa, dat de wereld ernaar moet streven om de gemiddelde temperatuur niet meer dan 2 graden C boven het pre-industriële niveau te laten stijgen, ofwel 1,4 graad boven het huidige niveau.

Jammer genoeg is er ook geen zekerheid welke beperkingen op de uitstoot van broeikasgassen nodig is om die doelstelling te halen. We weten nog niet hoe gevoelig het klimaatstelsel is. Volgens de huidige schattingen moeten we, om beneden de 2 graden opwarming te blijven, waarschijnlijk de concentraties van door de mens uitgestoten broeikasgassen, zoals kooldioxide en methaan, beneden het opwarmings-equivalent houden van 450 ppm kooldioxide. In de praktijk betekent dat waarschijnlijk dat we het niveau van de kooldioxide zelf onder de ± 400 ppm moeten houden. Laten we dat de optie 'veiligheid voor alles' noemen.

De lezer vergeve me dat ik nu de terminologie van 'ppm' verlaat. Ik vind het een irritante en onnodige abstractie. Mij lijkt het veel verstandiger om te praten in termen van tonnen koolstof in plaats van 'delen per miljoen' (ppm). Dan kunnen we vaststellen hoeveel er in de atmosfeer zit en duidelijk zien hoeveel we ons nog kunnen veroorloven eraan toe te voegen voordat het klimaat op hol slaat.

Dit zijn de simpele cijfers. Op het dieptepunt van de laatste ijstijd zat er ongeveer 400 miljard ton kooldioxide in de atmosfeer. Na de ijstijd verhuisde er zo'n 200 miljard ton van de oceanen naar de atmosfeer, zodat het totaal tot 600 miljard ton opliep. Dat was de stand van zaken aan het begin van de Industriële Revolutie toen de mens op grote schaal fossiele brandstoffen ging verstoffen. Op dit moment, na een paar eeuwen van stijgende uitstoot, hebben we nog eens 200 miljard ton aan de atmosferische last toegevoegd, zodat het totaal op 800 miljard ton komt. Als we onder de 'veiligheid voor alles'-concentratie willen blijven, dan mogen we niet

verder stijgen dan tot 850 miljard ton. Dus we hebben nog maar 50 miljard ton te gaan.

Momenteel brengen we per jaar ongeveer 7,5 miljard ton koolstof in de atmosfeer. Daarvan wordt iets meer dan 40 procent binnen korte tijd door het zeewater en de vegetatie op het land geabsorbeerd. De rest blijft in de lucht, waar het pas na ruim een eeuw wordt afgebroken. Dus het komt erop neer dat we ongeveer 4 miljard ton kooldioxide per jaar aan de atmosfeer toevoegen. Dat betekent, zelfs met ons huidige emissietempo, dat we vóór 2020 boven onze ‘veiligheid voor alles’-doelstelling van 850 miljard ton uitkomen. En als we ervan uitgaan dat de uitstoot in het huidige tempo blijft toenemen, dan zijn we binnen tien jaar zover. Eerlijk gezegd, even afgezien van een wereldwijde economische krach, is de kans dat we de 850 miljard ton níét overschrijden heel erg klein. Als we na 1992 snel maatregelen hadden genomen, dan was het ons gelukt. Maar de wereld faalde.

Als we geluk hebben – als de gevoeligheid van het klimaat een tikje kleiner blijkt te zijn dan de meer sombere voorspellingen aangeven – kan die doelstelling van 2 graden nog steeds worden gehaald, ook al stijgt het kooldioxideniveau tot beduidend boven de 850 miljard ton. We weten het niet zeker. Er zit al 0,6 graden opwarming ‘in de pijn’ die we niet meer kunnen voorkomen. Maar als we op geluk vertrouwen – en als we rekening willen houden met de macht van het ronde getal én met de politieke realiteit – dan zouden we onszelf een plafond kunnen toestaan van een biljoen, ofwel duizend miljard, ton. Sommigen zijn geneigd dat een ‘realistische’ doelstelling te noemen, terwijl anderen het veroordelen als een idiote gok op klimaatsystemen waar we weinig van afweten.

De ‘uitdaging van een biljoen ton’ blijft een heikele zaak. Welk doel we ons ook stellen, we zullen altijd de uitstoot drastisch moeten beperken. De natuur zal waarschijnlijk wel een deel van onze emissies blijven verwijderen. Maar deskundigen van de koolstofkringloop zeggen dat we de uitstoot moe-

ten verminderen tot rond een kwart van het huidige niveau wil de natuur kunnen afbreken wat we elk jaar toevoegen. Pas dan zullen de atmosferische concentraties in evenwicht komen en pas dan zal het klimaat stabiliseren. Hoe vlugger we daartoe in staat zijn, hoe lager het evenwichtsniveau van de koolstofconcentraties in de lucht. Als we het 'veiligheid voor alles'-niveau van 850 miljard ton kooldioxide willen bereiken, zal er onmiddellijk dramatisch moeten worden ingegrepen in de hele wereldindustrie en zal 'business as usual' volledig aan de kant moeten worden gezet. De piek van de uitstoot wereldwijd zal binnen nu en vijf jaar bereikt moeten worden en met minstens 50 procent moeten verminderen in de komende halve eeuw, en daarna nog lager moeten worden. De doelstelling van een biljoen ton zou gehaald kunnen worden met bescheidener maatregelen in het begin en een grotere reductie later.

Een andere kwestie is het gevaar van de snelheid van opwarming op zichzelf. Veel klimatologen zeggen dat een snelle opwarming kwetsbare systemen, zoals de opslag van koolstof en de ijskappen, meer kan ontregelen dan een langzame. Om die reden zou het wel eens belangrijk kunnen zijn dat er een aantal dringende maatregelen wordt genomen om de opwarming op korte termijn te beperken, terwijl we de uitstoot van kooldioxide onder controle krijgen. Dat is mogelijk door een verenigde aanpak van de uitstoot van andere gassen dan kooldioxide, die op korte termijn een grotere aanslag op het klimaat plegen.

Ik zal uitleggen wat ik bedoel. De verschillende broeikasgassen hebben een verschillende levensduur in de atmosfeer, uiteenlopend van duizenden jaren tot minder dan tien jaar. Voor het gemak berekenen klimatologen meestal de mate van opwarming door die broeikasgassen over een periode van een eeuw, want dat is de gemiddelde levensduur van kooldioxide in de atmosfeer. Maar dat is nogal arbitrair. En dat heeft tot gevolg dat de berekeningen zodanig worden 'afgestemd'

dat het lijkt of het belang van kooldioxide het grootst is en het belang van de andere gassen ogenschijnlijk kleiner. Het belangrijkste van die andere gassen is methaan. Methaan is, hoe je het ook meet, na kooldioxide het belangrijkste broeikasgas dat door de mens wordt uitgestoten. Gemeten over een periode van een eeuw is de opwarming veroorzaakt door één molecule methaan ongeveer twintig keer zo groot als van een molecule kooldioxide. Maar methaan veroorzaakt zijn opwarming grotendeels in de eerste tien jaar, wat zijn gemiddelde levensduur in de atmosfeer is. Het gas slaat snel toe. In eerste tien jaar na de uitstoot is de opwarming ten gevolge van een molecule methaan honderd keer groter dan die van een molecule kooldioxide.

Door zich te houden aan de conventionele tijdspanne van de wetenschappers heeft het Kyoto Protocol de potentiële voordelen van een aanpak van de methaanuitstoot op korte termijn onderschat. Het is niet waarschijnlijk dat de politici die het protocol ondertekenden zich daar zelfs maar van bewust waren. Maar het onderschatten van die voordelen heeft een belangrijk effect op de politieke prioriteiten. Om een voorbeeld te noemen: als de Britse regering op dit moment zou besluiten alle methaanemissies van stortplaatsen te elimineren, dan zou ze maar aan een fractie van de Kyoto-doelstellingen voldoen, omdat de regels van het Kyoto Protocol de invloed van die emissiebeperking over de hele komende eeuw uitsmeren. Maar als in plaats daarvan de impact van dat initiatief gemeten werd over de eerstkomende tien jaar, dan zouden de voordelen vijf keer zo groot zijn. Methaan-specialist Euan Nisbet van het Royal Holloway College in Londen berekent dat het effect op korte termijn haast net zo groot zou zijn als het uitbannen van alle autoverkeer in Groot-Brittannië. En als de regels anders waren opgesteld, dan zou dat genoeg zijn om de hele Kyoto-doelstelling voor Groot-Brittannië te halen.

Als de wereld zich alleen maar hoefde te bekommeren om het effect van de broeikasgassen over een periode van

vijftig tot honderd jaar, zouden we ons waarschijnlijk aan de bestaande formule moeten houden. Maar als we ook belang hebben bij een snelle vermindering op korte termijn van de opwarming, om meer directe rampen af te wenden, dan zou het een goede zaak zijn om nu harde maatregelen tegen de methaanuitstoot te nemen – tegen lekken van stortplaatsen, van gasleidingen, uit kolenmijnen, de mest van herkauwers, enz. ‘Vermindering van de uitstoot van kooldioxide is essentieel, maar we hebben de uitstoot van methaan en de voordelen op korte termijn die de aanpak daarvan zouden opleveren verwaarloosd,’ zegt Nisbet. Hij wil dat de regels van het Kyoto Protocol worden veranderd en dat met periodes van twintig jaar wordt gerekend. Jim Hansen stelt zich op een soortgelijk standpunt. ‘Het heeft heel veel zin om de uitstoot van methaan te verminderen, omdat dat in zeker opzicht makkelijker is,’ zegt hij.

Hansen pleit ook voor maatregelen tegen roetuitstoot, die volgens zijn berekeningen de derde grootste door de mens veroorzaakte opwarmingsfactor in de atmosfeer is. In hoofdstuk 18 hebben we al gezien dat roet lokaal een afkoelings-effect heeft, maar in weidser verband een groter opwarmings-effect. Het blijft maar een paar dagen in de atmosfeer hangen, maar zijn uitwerking in die tijd is groot. Maatregelen tegen roet en methaan houden de opwarming van de aarde niet tegen, maar ze geven de wereld wel tijd om stappen te ondernemen tegen de grootste boosdoener: kooldioxide.

Kyotopolitiek

Het Kyoto Protocol dat in 1997 werd getekend was de eerste aarzelende stap om de beloften waar te maken die op de Wereldtop van Rio de Janeiro in 1992 werden gedaan om gevaarlijke klimaatveranderingen tegen te gaan. Zo’n veertig geïndustrialiseerde landen beloofden hun uitstoot van zes broeikasgassen te beperken, inclusief de ‘grote twee’, kool-

dioxide en methaan. Verschillende landen verklaarden zich akkoord met verschillende doelstellingen, en de landen van de Europese unie verdeelden die later intern. De gemiddelde reductie was 5 procent, gemeten tussen 1990 en de eerste 'naleevingsperiode', die loopt van 2008 tot 2012. Het protocol bevatte verschillende 'flexibiliteitsmechanismen', bedoeld om de reductie-investeringen effectiever in te kunnen zetten. Die bieden landen de mogelijkheid om hun uitstoot te compenseren met investeringen in schone technologie in het buitenland en door het planten van bomen die kooldioxide uit de lucht halen, en om hun emissierechten rechtstreeks te verhandelen.

Het protocol legde geen doelstellingen op aan de ontwikkelingslanden, omdat hun uitstoot per hoofd van de bevolking over het algemeen veel lager is dan die van de rijke, geïndustrialiseerde landen (hoewel er een paar opvallende uitzonderingen zijn, zoals Zuid-Korea, Singapore en verscheidene oliestaten aan de Golf). De Verenigde Staten en Australië onderschreven aanvankelijk de doelstellingen van Kyoto, maar trokken zich vervolgens terug. Het protocol werd van kracht in 2005, en aan het eind van dat jaar stemden de ondertekenaars in met onderhandelingen over drastischer maatregelen na 2012.

So far, so good. Maar de huidige Kyoto-doelstellingen zijn heel mager vergeleken met de emissiereducties die uiteindelijk nodig zullen zijn om de klimaatverandering tegen te gaan. En de vertraagde implementatie heeft al definitief de mogelijkheid uitgeschakeld van een 'veiligheid voor alles'-limiet (van 850 miljard ton) op de koolstofconcentraties in de atmosfeer. Een aantal Europese landen heeft eigen informele doelstellingen opgesteld voor een reductie van 60 procent op de uitstoot tegen het midden van deze eeuw, wat al dichterbij komt bij wat nodig is. Maar ook als alle Kyoto-landen hetzelfde doen, dan blijven we nog zitten met het feit dat ze slechts verantwoordelijk zijn voor klein deel van de uitstoot op dit moment. Dus zijn er meer maatregelen nodig van andere landen.

Uiteindelijk, als het klimaatregime zich ontwikkelt zoals velen hopen, dan zal elk land en elke grote energie- en productiemaatschappij een vergunning moeten hebben om broeikasgassen uit te stoten. Als we gevaarlijke klimaatverandering tegen willen gaan, dan zal het aantal beschikbare vergunningen drastisch beperkt moeten worden. Dan wordt de vraag hoe die verdeeld moeten worden kritiek. Dat is politiek dynamiet. Het idee alleen al zet de geïndustrialiseerde wereld en de ontwikkelingslanden tegen elkaar op. Gedeeltelijk komt dat omdat de geïndustrialiseerde landen van Europa en Noord-Amerika al het merendeel van de atmosferische 'ruimte' beschikbaar voor emissies hebben verbruikt, en gedeeltelijk omdat de ontwikkelingslanden onder druk worden gezet om hun uitstoot te verminderen voordat ze de kans hebben gekregen zich te industrialiseren.

Grote ontwikkelingslanden zoals China en India scoren misschien hoog op de emissieladder, maar per hoofd van de bevolking is hun uitstoot gering. Terwijl de Verenigde Staten en Australië rond de 5 ton per jaar per inwoner uitstoten en de Europese landen gemiddeld iets minder dan 3 ton, zit China net boven de 1 ton en India onder de halve ton. De ontwikkelingslanden hebben het gevoel dat zij hun economische ontwikkeling nu moeten opgeven om de rotzooi op te ruimen die ze niet gemaakt hebben. Aan de andere kant zien ze wel steeds meer in dat de klimaatverandering hun vooruitzichten op economische ontwikkeling in gevaar brengt. De enige oplossing is een rantsoenstelsel met verontreinigingsrechten dat door iedereen als fair wordt beschouwd.

Misschien wel het eenvoudigste plan daarvoor staat bekend onder de term 'contractie en convergentie'. Het model is ontwikkeld door een kleine Britse groep, het Global Commons Institute, en ondervindt steun over de hele wereld. De contractiehelft van het programma behelst een opeenvolgende reeks jaarlijkse doelstellingen voor de wereldwijde uitstoot. Die doelstellingen beginnen ongeveer waar we nu zijn en verminderen in de komende decennia. Ze worden zodanig

vastgesteld dat de atmosfeer nooit de limiet van kooldioxide-concentraties passeert die de wereld voor zichzelf gesteld heeft.

De convergentiehelpt van de formule houdt in dat de jaarlijkse toegestane wereldwijde uitstoot verdeeld wordt over de landen naar rato van hun inwonertal. Dus de nationale doelstellingen zouden bij ongeveer 1 ton koolstof per hoofd van de bevolking kunnen beginnen en vervolgens zakken tot laten we zeggen een halve ton in 2050 en nog veel minder in 2100, afhankelijk van de afgesproken wereldwijde doelstelling. Natuurlijk zouden de rijke landen dan in het begin te weinig rechten hebben en de arme landen meer rechten dan ze nodig hebben. Dus gaan ze die verhandelen. De vraag- en aanbodprijs van die vervuilingrechten zouden een krachtige stimulans zijn voor een wereldwijde schoonmaakbeurt.

Politieke fantasie? Misschien. Maar we zullen iets van die orde nodig hebben willen we klimaatrampen voorkomen. En als de rijke wereld wil dat de arme wereld helpt bij het opruimen van de rotzooi, om de wereld een gevaarlijke klimaatverandering te besparen, dan kunnen we niet zonder zo'n soort programma.

Technologische oplossingen

Afgezien van de politiek, wat zijn de praktische mogelijkheden om het klimaat te stabiliseren? President George W. Bush mag dan een paria zijn geworden in milieukringen omdat hij weigerde het Kyoto Protocol te ondertekenen, maar in één ding heeft hij gelijk: uiteindelijk zal het de technologie zijn die het probleem oplost en niet de politiek. De enige vraag is welke politiek het beste is om de technologie te leveren die ons in staat stelt het energiesysteem van de wereld te 'decarboniseren'. Die technologie valt in vier categorieën uiteen. Achtereenvolgens zijn dat: een efficiënter gebruik van energie, overschakelen op koolstofarme en koolstofvrije

brandstoffen, het vasthouden of opslaan of hergebruiken van de uitstoot die niet voorkomen kan worden, en nieuwe methoden om energie op te slaan, zoals waterstofcellen.

Die opgaven klinken ontmoedigend. Maar eigenlijk passen ze in de recente economische en industriële ontwikkeling. In de afgelopen dertig jaar is de wereldwijde uitstoot van kooldioxide maar half zo snel toegenomen als de wereld-economie, dankzij een efficiënter energiegebruik. En een groot deel van de nieuwe energietechnologie die we nodig zullen hebben wordt al gebruikt en biedt voordelen zoals een goedkopere en gegarandeerdere toevoer. De vervanging van steenkool door koolstofarm aardgas, de ontwikkeling van windenergie en biobrandstoffen, de voorgestelde uitbreiding van kernenergie, allemaal vallen ze in deze categorie. Wat het eerste nodig is, is een snellere ontwikkeling in een richting die we toch al opgingen.

Energie-efficiëntie moet toprioriteit hebben. Meer dan de helft van het direct, goedkoop te behalen resultaat ligt in de beperking van de uitstoot van kooldioxide in de bouw, het transport en de industrie. Veel daarvan kan kosteloos of zelfs met winst worden gerealiseerd, omdat de besparingen die het oplevert groter zijn dan de investeringen. Het is ook een terrein waar wij als individuen het gemakkelijkst ons steentje bij kunnen dragen, door energiezuinige lampen en apparaten te kopen, door onze huizen goed te isoleren, door minder auto te rijden en door energiezuinige modellen zoals hybride auto's te kiezen.

Ook valt er op korte termijn potentieel veel te winnen door het uitrusten van energiecentrales die op fossiele brandstoffen draaien met zogenaamde 'gaswassers', filters die kooldioxide afvangen en het via pijpleidingen naar ondergrondse opslagplaatsen afvoeren. De techniek is er al en hoeft alleen maar te worden opgeschaald. De potentiële opslagcapaciteit wereldwijd in oude olie- en gasvelden komt dicht bij de duizend miljard ton koolstof. David King, de voornaamste wetenschappelijk adviseur van de Britse rege-

ring, zegt dat Groot-Brittannië in staat is om tegen 2020 een kwart van de kooldioxideuitstoot van zijn energiecentrales op te slaan in oude olievelden onder de Noordzee, en in 2006 werd een pilotprogramma aangekondigd, maar gebouwd is er nog niets.

Andere technieken moeten nog verder ontwikkeld worden voordat ze op grote schaal kosteneffectief worden. Daaronder vallen het massaal gebruik van zonne-energie, die wel beschikbaar is maar voorlopig nog te duur, en het van waterstof de transportbrandstof voor de toekomst maken. Het idee achter dit laatste is om grote hoeveelheden waterstof te produceren voor gebruik in accu's, zogenaamde brandstofcellen, die auto's aandrijven. Waterstof moet de 'nieuwe aardolie' worden. Waterstof wordt geproduceerd door water in waterstof en zuurstof te splitsen, wat een erg energie-intensief proces is. Dus als de energie voor het splitsen van water geleverd wordt door het stoken van fossiele brandstoffen, dan valt er weinig winst voor het milieu te behalen. Maar als die energie schoon is – zonne- of windenergie, bijvoorbeeld – dan verandert de zaak.

De waterstofcel is niet zozeer een nieuwe bron van energie als wel een nieuwe manier om energie op te slaan. Het zou wel eens de enige manier kunnen zijn om auto's echt milieuvriendelijk te maken. En het zou wel eens de beste manier kunnen zijn om onbestendige schone energiebronnen, zoals de wind en de zon, te kunnen aanwenden. Het grote probleem van die energiebronnen is dat de wind niet gegarandeerd altijd waait, en dat de zon niet altijd schijnt, wanneer die energie moet worden afgetapt. Door de energie in waterstof om te zetten kan hij worden opgeslagen voor later gebruik.

Wat is er nu voor nodig om al die technieken zodanig te benutten dat de klimaatverandering onder controle wordt gehouden? De meest ambitieuze poging tot dusverre om een eenvoudig plan voor de hele wereld op te stellen is van Robert Socolow, een ingenieur van Princeton University. Hij moet

bekennen dat hij de kluts kwijtraakte toen hij de vele opties om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen bestudeerde, en hij stelde zich voor dat dat ook veel politici en ondernemers moest zijn overkomen. Dus besloot hij het karwei op te delen in een reeks technische vernieuwingen die elk in de komende vijftig jaar de uitstoot van kooldioxide met 25 miljard ton zou verlagen. Die noemde hij 'wiggen', omdat de invloed van elk van die technieken geleidelijk aan zou toenemen, van nul in het eerste jaar, tot miljarden tonnen uitstoot in het vijftigste jaar. Elk van die technieken zou een 'wig' drijven in de grafiek van toenemende kooldioxide-uitstoot.

Socolow stelde ruim tien mogelijke wiggen voor, maar hij zei dat een minimum van zeven nodig is om te voorkomen dat de uitstoot in de komende vijftig jaar nog verder toeneemt en om die te stabiliseren op het huidige niveau. Maar we moeten meer doen. We moeten niet alleen de uitstoot stabiliseren, maar ook de feitelijke concentraties broeikasgassen in de atmosfeer, en daarvoor moeten de emissies worden teruggebracht van de huidige 7,5 miljard ton per jaar tot rond de 2 miljard ton. Dus om die hogere doelstelling te halen heb ik hier de hele blauwdruk van Socolow overgenomen. We kunnen kiezen uit de volgende twaalf wiggen, die elk de uitstoot in de komende halve eeuw met 25 miljard ton verminderen, waardoor de wereldwijde uitstoot in 2060 zal zakken van een verwachte 14 miljard ton per jaar naar 2 miljard ton.

- zorg overal voor efficiënte verlichting en elektrische apparaten in huizen en kantoren
- verdubbel de energie-efficiëntie van twee miljard auto's
- bouw compacte stedelijke centra met een efficiënt openbaar vervoer, waardoor het gebruik van auto's in de toekomst halveert
- zorg voor een vijftigvoudige uitbreiding van de windenergie in de hele wereld, het equivalent van twee miljoen turbines van 1 megawatt

- zorg voor een vijftigvoudige uitbreiding van biobrandstoffen voor voertuigen
- start een wereldwijd programma voor de isolatie van gebouwen
- zet een lap grond ter grootte van New Jersey (waar Socolow woont) vol met zonnepanelen
- verviervoudig de huidige opwekking van elektriciteit met aardgas door kolencentrales om te bouwen
- vang 1600 gigawatt kooldioxideuitstoot van aardgascentrales af en sla die op
- stop de ontbossing wereldwijd en beplant een stuk land ter grootte van India met nieuwe bomen
- verdubbel de capaciteit van kernenergie
- vertienvoudig de wereldwijde toepassing van duurzame akkerbouw om de opslag van koolstof in de bodem te vergroten.

Broeikaseconomie

Hoeveel kost dat wel niet? In 2001 schatte een team van milieueconomen, opgezet door het IPCC, de kosten voor het stabiliseren van de concentraties atmosferische kooldioxide tegen het jaar 2100. De schattingen liepen uiteen van 200 miljard dollar tot een plafond van 17 biljoen dollar – bijna honderd keer zoveel. Hoe kunnen die getallen zo uiteenlopen? Als we kijken naar hoe ze tot stand zijn gekomen, dan blijkt dat de verschillen merendeels het gevolg zijn van de aanname dat de noodzakelijke technische en sociale innovaties met de stroom van de toekomstige veranderingen meegaan, of dat alles zal moeten worden afgedwongen van een maatschappij en een economie die een heel andere kant opgaan.

Simpel gezegd komt het hierop neer dat de hoge schattingen berusten op de aanname dat bij ongewijzigde omstandigheden een toenemende welvaart een bijna even snelle toename in het gebruik van goedkope fossiele brandstoffen

zal vergen. Om van die koers af te wijken, en om dus te voorkomen dat biljoenen ton koolstof worden uitgestoten, zullen dure technieken moeten worden ingezet die anders niet zouden worden ontwikkeld. De lagere schattingen gaan ervan uit dat de wereld toch al geleidelijk aan herstelt van zijn verslaving aan fossiele brandstoffen en dat we die omslag alleen maar een duwtje hoeven te geven. Ook de visie op technologische ontwikkeling is hier anders: die wordt meer beschouwd als voortkomende uit een reeks economische prikkels. In dit scenario kan de overheid de technologische ontwikkeling dus sturen door middel van marktprikkels. Als dat proces eenmaal op gang gekomen is, versnelt de innovatie en dalen de kosten.

Een aantal van de mensen die betrokken waren bij de studie van het IPCC stonden intuïtief vijandig tegenover grote inspanningen om de uitstoot van kooldioxide te verminderen. Milieueconoom William Nordhaus van Yale University zei dat 'een vaag voorgevoel van een potentiële ramp niet voldoende is om de wereld in een depressie te storten'. Maar dat vage voorgevoel werd een stuk concreter toen eind 2006 de Britse geleerde en voormalig hoofdeconoom van de Wereldbank Sir Nicholas Stern een gedetailleerde studie naar de gevolgen van de klimaatverandering in de rest van de eeuw afrondde met de conclusie dat de kosten aan een verstoorde economie en een mogelijke wereldwijde recessie twintig zo hoog zouden zijn als de kosten om het probleem eens en voor altijd op te lossen. Tegen een prijs van tussen de 0,2 en 0,3 procent van het wereldwijde nationaal product kon een recessie worden voorkomen die 20 procent van de welvaart in de wereld zou kunnen vernietigen. 'Economisch gesproken is het klimaat tot bedaren brengen een goede deal,' aldus Stern.

Wat kopen we voor die biljoeneninvestering in een stabiel klimaat? Die vraag is natuurlijk onmogelijk te beantwoorden, omdat we niet weten welke klimaatrampen we daarmee voorkomen. Maar we kunnen ons op basis van het heden

wel een idee vormen van de schaal van de gebeurtenissen. De schade van extreme weersomstandigheden zien we overal om ons heen. In 1998 kostte El Niño Azië bijna 20 miljard dollar. De verzekerde schade als gevolg van extreem weer bereikte in 2004 een recordhoogte van 55 miljard dollar, die prompt werd overtroffen door een geschatte 70 miljard voor 2005. De totale economische schade, inclusief onverzekerde verliezen, wordt drie keer hoger geschat: de opruimingskosten van de orkaan Katrina alleen al kunnen uiteindelijk oplopen tot 100 miljard dollar. Trouwens, als je de recente trend in verzekeringsclaims als gevolg van extreem weer doortrekt, dan zullen ze in 2060 het bruto wereldproduct overschrijden. Rekenkundig klopt het misschien niet helemaal, maar het is wel ontzuenderend.

Het zal dan ook niet verbazen dat, los van de conclusie van Nicholas Stern, de economen het nog net zozeer oneens zijn over de kosten van niets doen tegen klimaatverandering als over de kosten van maatregelen nemen. Er zijn er die hebben geprobeerd de ‘sociale kosten’ te berekenen van elke ton koolstof die in de lucht wordt gepompt. Een recente schatting kwam uit op bedragen variërend van 1.666 dollar per ton tot nul. De Britse regering, die opdracht had gegeven tot de schatting, hield het op een bedrag van 70 dollar per ton. Een van de redenen voor deze grote variatie heeft te maken met conventionele economische rekenmethoden. Economen brengen traditioneel een percentage in mindering op alles dat in de toekomst betaald moet worden. In het geval van klimaatveranderingen die misschien over tientallen jaren of zelfs eeuwen plaatsvinden, zijn de bedragen die in mindering worden gebracht heel erg groot. Sommige economen zeggen dat impacts op zeer lange termijn – zoals een stijging van de zeespiegel door het afsmelten van de ijskappen – op nul moeten worden gesteld.

Dat in mindering brengen op toekomstige kosten kan misschien nuttig zijn voor ondernemingen of overheden, maar het valt te betwijfelen of het wel verstandig is voor het

management van de aarde. Als alles mis gaat kunnen aandeelhouders hun aandelen verkopen en overheden kunnen geld bijdrukken of hun hand ophouden bij het Internationale Monetaire Fonds. Maar de aarde, onze enige planeet, is een heel ander verhaal.

Bovendien zijn de bestaande schattingen van de sociale kosten gebaseerd op studies van het IPCC die tot dusver geen rekening hebben gehouden met veel van de onvermijdelijke positieve feedbacks waar ik me in dit boek op heb gericht. Dus niemand heeft zich zelfs nog maar afgevraagd welk prijskaartje er hangt aan een droogteperiode van een eeuw in het Amerikaanse westen, of aan een verzwakte Aziatische moesson, of een permanente El Niño in de Stille Oceaan, of het stilvallen van de oceanische transportband, of de verzuring van de oceanen, of een methaanscheet uit de diepzee, of een ineenstorting van de West-Antarctische ijskap, of een stijging van de zeespiegel met een halve meter in tien jaar. Als je er goed over nadenkt, zijn dat vragen die je maar beter niet door accountants kunt laten beantwoorden.

Verklarende woordenlijst

Aerosol — Totaal van in de atmosfeer zwevende vaste en vloeibare deeltjes – onder andere roet, stof en zwaveldeeltjes – die het zonlicht verstrooien, of absorberen om het vervolgens weer uit te stralen. Al naargelang de omstandigheden worden de omringende lucht en de grond onder de aerosols ofwel afgekoeld of opgewarmd.

Afrikaanse vochtige periode — Periode beginnend aan het eind van de laatste ijstijd die zijn hoogtepunt ongeveer 5 500 jaar geleden had en die gekenmerkt werd door natte weersomstandigheden in Afrika, vooral in de Sahara.

Albedo — Maat voor de reflectiviteit van de aarde.

Antarctische Oscillatie (AAO) — Zuidelijke equivalent van de Arctische Oscillatie. Verantwoordelijk voor recente sterke opwarming van het Antarctisch Schiereiland.

Antropoceen — Nieuwe term voor ruwweg de afgelopen paar eeuwen, waarin de mens heeft ingegrepen in bepaalde sleutelprocessen van de aarde, zoals de koolstofkringloop.

Arctische Oscillatie — Een klimaatschommeling die plaatsvindt op tijdschalen van dagen tot decennia. Deze wordt gemeten als het verschil in luchtdruk tussen polaire en extrapolaire gebieden en komt tot uitdrukking in gewijzigde windpatronen die de temperatuur veranderen. Is verwant met (en wordt soms vereenzelvigd met) de Noord-Atlantische Oscillatie.

Biologische pomp — Het proces waarbij levende organismen in de oceaan tijdens hun groei kooldioxide uit de atmosfeer halen, om vervolgens, als ze afsterven en hun lichamen naar de zeebodem zinken, koolstof af te staan. Het effect is dat de accumulatie van kooldioxide in de atmosfeer wordt getemperd.

Biosfeer — Het deel van het aardoppervlak, de atmosfeer en de oceanen dat door levende organismen wordt bewoond.

Broeikasgas — Een gas dat warmte vasthoudt in de lagere atmosfeer; broeikasgassen zijn onder andere waterdamp, kooldioxide en methaan.

CO₂ fertilisatie-effect — Het effect van hoge concentraties kooldioxiden in de lucht, die planten en andere organismen sneller doen groeien.

El Niño — Periodieke omslag in stromingen en winden in de equatoriale Stille Oceaan. Een grote verstoring in het wereldklimaatstelsel.

Feedbacks — Elke bijwerking van een gebeurtenis die vervolgens weer van invloed is op die gebeurtenis. Een positieve feedback versterkt de oorspronkelijke gebeurtenis, terwijl een negatieve feedback de oorspronkelijke gebeurtenis temperd. Belangrijke klimatologische feedbacks zijn onder andere ijs, waterdamp en veranderingen in de koolstofkringloop. Zie ook ijsalbedo-feedback.

Fossiele brandstof — Brandstof van gefossiliseerde koolstof (de resten van oeroude planten) – onder andere kolen, olie en aardgas.

Gaia — De theorie, ontwikkeld door James Lovelock, dat de aarde en zijn levende organismen als één organisme samen-

werken om het milieu van de planeet te regelen, inclusief de atmosferische chemie en de temperatuur.

Golfstroom — Tropische oceaanstroming die Europa warm houdt, vooral in de winter. Hij maakt deel uit van de oceanische transportband en kan soms uitschakelen, bijvoorbeeld tijdens ijstijden.

Holoceen — Geologisch tijdperk vanaf het eind van de laatste ijstijd. Volgens sommigen is het recent geëindigd en gevolgd door het antropoceen.

Hydrologische cyclus — Het transport van water tussen de oceanen, de atmosfeer en het aardoppervlak door middel van processen zoals verdamping, condensatie, regenval en rivierstromingen.

Ijsalbedo-feedback — Positieve feedback op de luchttemperatuur als gevolg van de aan- of afwezigheid van uiterst reflectief ijs. Tijdens periodes van opwarming smelt het ijs en laat een donkerder land- of zeeoppervlak achter dat meer warmte absorbeert en dus de opwarming versterkt. Het omgekeerde gebeurt wanneer door afkoeling ijs wordt gevormd.

Ijskappen — De grootste plakken ijs op aarde. Op dit moment zijn er drie: de Groenlandse, de West-Antarctische en de Oost-Antarctische ijskap.

Ijstijden — Tijdperken van verscheidene tienduizenden jaren waarin de ijskappen zich over het noordelijk halfrond uitbreiden en de aarde afkoelt. Men denkt dat ze op gang worden gebracht door de Milankovitch-parameters en versterkt door positieve feedbacks. De laatste ijstijden kwamen ruwweg om de 10.000 jaar. De laatste liep 10.000 jaar geleden af.

Interglacialen — Warme perioden tussen de ijstijden.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) — Een panel van wetenschappers, door de Verenigde Naties benoemd via nationale wetenschapsinstituten, om oorzaken en gevolgen van, en oplossingen voor de opwarming van de aarde te bestuderen.

Isotoop — Eén van twee of meer atomen met hetzelfde atoomgetal maar een verschillend aantal neutronen. Bijvoorbeeld: zuurstof-16 en zuurstof-18. De verhouding van de verschillende isotopen in de lucht of de oceanen kan variëren al naargelang de milieumomstandigheden, maar deze verandert niet meer wanneer de isotopen door planten worden geabsorbeerd of wanneer ze in luchtbellen vast komen te zitten in het ijs. Een isotoopanalyse van oceaansedimenten, ijskernen en andere overblijfselen uit het verleden kan een waardevolle manier zijn om onder andere de temperaturen in het verleden te reconstrueren.

Kyoto Protocol — Een in 1987 gesloten verdrag over klimaatverandering. De bepalingen behelzen reducties in uitstoot door de meeste industrielanden in de eerste nalevingsperiode, 2008 tot 2012. De Verenigde Staten en Australië hebben het verdrag getekend, maar trokken zich vervolgens terug.

Kleine ijstijd — Periode van de veertiende tot de negentiende eeuw, toen delen van het noordelijk halfrond kouder waren dan nu.

Klimaatmodel — Computersimulatie van de werking van de atmosfeer. Vaak gebruikt om het effect van toekomstige veranderingen, zoals de accumulatie van broeikasgassen, te voorspellen.

Koolstofkringloop — De natuurlijke uitwisseling van koolstof tussen de atmosfeer, de oceanen en het aardoppervlak.

Koolstof kan worden opgelost in de oceanen, geabsorbeerd in levende organismen en in de grond, of in de lucht zweven als kooldioxide.

Koolstofput (of sink) — Alles wat kooldioxide uit de lucht absorbeert.

Middeleeuwse warme periode — Periode van de negende tot de dertiende eeuw, toen delen van het noordelijk halfrond beduidend warmer waren.

Methaanclathraten — Kristallijne ijsroosters waarin grote hoeveelheden methaan worden vastgehouden. Worden gewoonlijk gevormd bij lage temperaturen en onder hoge druk onder de oceaانبodden of in de permafrost. Elders wel methaanijs genoemd.

Milankovitch-parameters — Verschillende onregelmatigheden in de baan van de aarde om de zon, die het klimaat over perioden van duizenden jaren kunnen beïnvloeden. Aangenomen wordt dat ze de trigger zijn voor de ijstijden. Genoemd naar de Servische wiskundige Milutin Milankovitch, maar oorspronkelijk bestudeerd door de vergeten Schotse amateur-wetenschapper James Croll.

Nucleaire winter — De theorie dat er tijdens een atoomoorlog zoveel branden zullen woeden dat de aarde geheel en al in rook gehuld wordt en sterk afkoelt.

Oceanische transportband — Wereldwijde oceaanstromingen waarbij aan de Noordpool en dicht bij de Zuidpool oppervlaktewater van hoge dichtheid naar de zeebodem zakt en ongeveer duizend jaar later, na alle zeeën te hebben doorkruist, in de Golfstroom van de Atlantische Oceaan weer aan de oppervlakte komt. Hij schakelt geregeld aan en uit en is wellicht een bepalende factor in het wereldklimaat.

Opwarming van de aarde — Synoniem voor broeikaseffect en klimaatverandering.

Ozongat — Extreme verdunning van de ozonlaag zoals in de afgelopen decennia waargenomen. Komt elk voorjaar boven de Zuidpool voor, maar zou ook boven de Noordpool kunnen voorkomen. Het gat wordt gevormd door ‘ozonvretende’ chemicaliën die door de mens in de atmosfeer zijn gebracht en die in de ozonlaag onder in de stratosfeer accumuleren. Het gat ontstaat bij een combinatie van lage temperaturen en zonlicht.

Ozonlaag — De ozon in de lagere stratosfeer die de aarde beschermt tegen schadelijke ultraviolette straling van de zon.

Permafrost — Permanent bevroren (rots)bodem in de toendra van Siberië, Canada, de Zuidpool en een aantal berggebieden. Kan meer dan twee kilometer diep zijn.

Precessie — Een van de Milankovitch-parameters, die de rotatieas van de aarde beïnvloedt. Deze verandert het jaargetijde wanneer de aarde het dichtst bij de zon staat. Betrokken bij een aantal klimaatveranderingen tijdens het holoceen.

Regenwoud — Bos dat afhankelijk is van frequente regenval, maar dat ook regen opwekt door water van zijn gebladerte in de atmosfeer te laten verdampen.

Schoorstenen — Een term bedacht door Peter Wadham voor de reusachtige draaikolken in de noordelijke Atlantische Oceaan, die water van hoge dichtheid naar de zeebodem brengen. Het begin van de oceanische transportband.

Stratosfeer — Laag in de atmosfeer die begint op 10 tot 15 kilometer boven het aardoppervlak. Deze bevat de ozonlaag. Door het broeikas-effect koelt hij af, maar hij kan de opwarming in de onderliggende troposfeer versterken.

Thermale expansie — De opwarming en daaruit voortvloeiende uitdijing van het water in de oceanen. Tezamen met het smelten van het landijs zorgt dit voor een wereldwijde stijging van de zeespiegel.

Troposfeer — De onderste laag van de atmosfeer, tot tussen de 10 en 15 kilometer boven het aardoppervlak. Dit is de laag waarin zich de processen afspelen die wij als 'het weer' aanduiden. Door het broeikas-effect warmt deze laag op.

Ultraviolette straling — Zonnestraling met golflengten korter dan die van het licht, maar langer dan van röntgenstralen. Schadelijk voor levende organismen, die er op aarde grotendeels tegen beschermd worden door de ozonlaag.

GEORGE MONBIOT

Hoe te voorkomen dat de planeet verbrandt

HITTE



Bronnen

Het zou ondoenlijk zijn om alle bronnen te noemen die ik voor de research en het schrijven van dit boek heb geraadpleegd. Hier volgt een samenvatting van het gebruikte materiaal en suggesties voor verdere studie.

Voorwoord — Een uitvoerige verhandeling over het onderzoek van Wadhams aan de ‘schoorstenen’ is het artikel ‘Convective Chimneys in the Greenland Sea: a Review of Recent Observations’, *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* (2004, vol. 42, pp. 29-56). Hij schrijft er ook over in *Geophysical Research Letters* (2002, vol. 29, p. 76). Daarnaast had ik een lang gesprek met hem. Voor meer informatie over William Scoresby, zie mijn artikel ‘Hell with a Harpoon’ in de *New Scientist* van 18 mei 2002.

Inleiding — De handelingen van de conferentie over gevaarlijke klimaatverandering, georganiseerd door de Britse overheid, zijn te vinden op www.stabilisation2005.com. Het boek op basis van de conferentie is te vinden op www.defra.gov.uk/environment/climatechange/internat/dangerous-cc.htm. De toespraak van Hansen voor de American Geophysical Union eind 2005 staat op www.columbia.edu/~jeh1/keeling_talk_and_slides.pdf. Drie overzichtswerken over abrupte klimaatverandering zijn: Richard Alley, *Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises* (National Academies Press, 2002), met name hoofdstuk 4; het artikel ‘Abrupt Changes: The Achilles’ Heels in the Earth System’ van Steffen e.a. in *Environment* (vol. 46, p. 9) en van Rial e.a., ‘Non-Linearities, Feedbacks and Critical Thresholds with the Earth’s Climate System’, (*Climate Change*, vol. 65, p. 11).

1 **De pioniers** — Het tijdschrift *Ambio* kwam in 1997 met een speciaal nummer (vol. 26, nr. 1) over Svante Arrhenius en zijn nalatenschap. Ik schreef over hem in de *New Scientist*, in het artikel ‘Land of the Midnight Sums’, 25 januari 2003. Andere bronnen zijn: Gale E. Christanson, *Greenhouse: The 200-Year Story of Global Warming* (Constable, 1999), ook informatief over Callender en Keeling. Na zijn dood in juni 2005 verschenen veel informatieve necrologieën op nieuwssites – bijvoorbeeld die van de *Daily Telegraph*: www.telegraph.co.uk/news/main.jhtml?xml=/news/2005/06/24/db2402.xml. Een goede persoonlijke beschrijving van zijn werk in de begintijd is te vinden op www.mlo.noaa.gov/HISTORY/PUBLISH/2othanniv/co2.htm.

- 2 **De verwarming opdraaien** — De Britse krant waarvan in de eerste alinea sprake is, is de *Daily Mail*. De column van Melanie Phillips, ‘The Global Warming Fraud’, is nog steeds te lezen op haar website: www.melaniephillips.com/articles/archives/000255.html. Christianson behandelt grotendeels de vroege geschiedenis van onderzoek naar broeikasgassen. Het artikel van Brindley over de stralingsbalans van de aarde staat in *Nature* vol. (410, p. 355). Zie ook www.imperial.ac.uk/P2641.htm.

De definitieve consensus in de klimatologie van 2001 is gepubliceerd in het Derde Assessment Report van het IPCC (www.ipcc.ch), dat deels al is vervangen door het Vierde Assessment Report van 2007. Maar ook het Vierde Assessment Report is al achterhaald, omdat er alleen data uit de wetenschappelijke literatuur tot en met de zomer van 2005 in zijn verwerkt, waardoor veel nieuwe gegevens over ‘omslagpunten’ in het klimaatsysteem niet zijn meegenomen.

Het onderzoek van Sherwood uit 2005 is gepubliceerd in *Science* (vol. 309, p. 1556). Het werk van Parker over stedelijke warmte-eilanden is te vinden in *Nature* (vol. 432, p. 290). Voor verwijzingen naar het werk van Mann, zie hoofdstuk 33. Het oorspronkelijke artikel van Lassen en Friis-Christensen uit 1991 staat in *Science* (vol. 254, p. 698). Lindzen is beter bekend als polemist en opiniemaker (bijvoorbeeld www.cato.org/pubs/regulation/reg15n2g.html). Maar hij heeft ook interessant onderzoek gepubliceerd, zoals het artikel ‘Does the Earth Have an Adaptive Infrared Iris?’ (*Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 82, p. 417).

Pat Michaels (www.cato.org/people/michaels.html) is ook een regelmatige gast in de media, en een uiteenzetting van het ‘paradigmaprobleem’ staat in zijn scherpe aanval op de klimatologie: *Meltdown: The Predictable Distortion of Global Warming by Scientists, Politicians and the Media* (Cato, 2004). Voor een scherpe kritiek op het boek van Michael Crichton, *State of Fear*, lees Jeremy Legger in de *New Scientist* van 5 maart 2005.

Het artikel over de wetenschappelijke literatuur van klimaatverandering verscheen in *Science* (vol. 306, p. 1686).

- 3 **Het jaar** — Ik bezocht Honduras na de orkaan Mitch voor het Rode Kruis. Mijn bevindingen staan te lezen op www.redcross.int/EN/mag/magazine2001_2/heating.html. De eerste rapporten over hoe uitzonderlijk het jaar 1998 was, verschenen het jaar daarop (bijv. www.science-daily.com/releases/1999/03/990304052546.htm). Dit werd later onderschreven in het Derde Assessment Report van het IPCC.
- 4 **Het antropoceen** — De handelingen van de Dahlem-conferentie, waar ik voor het eerst kennismakte met veel onderwerpen die in dit boek worden behandeld, zijn gepubliceerd onder de titel *Earth System Analysis for Sustainability*, onder redactie van Schellnhuber e.a. (Dahlem

- University Press, 2004). Crutzen gaf een uitvoerige uiteenzetting van zijn werk in zijn toespraak bij de uitreiking van de Nobelprijs (www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1995/crutzen-lecture.html). Zijn bespreking van het antropoceen verscheen voor het eerst in druk in 2000, in de nieuwsbrief van het International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), nr. 41. Ik interviewde hem voor de *New Scientist*: 'High Flyer', 5 juli 2003. Het rapport van Alley is getiteld *Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises* (National Academies Press, 2002). Veel van de opmerkingen van Alley en Steffen komen uit mijn interviews met hen in 2003 en 2005.
- 5 **De wachttorenen** — De reportage gaat over een bezoek aan Ny-Alesund in september 2005. Kim Holmen bespreekt de rol ervan als 'wachttorenen voor de door de mens veroorzaakte klimaatverandering' in *Polar Science in Tromsø* (Polarmiljosenteret, 2004). Kohlers onderzoek van de massabalans verscheen in *Polar Research* (vol. 22 (2), p. 145). Het verhaal over Dobson is te lezen op www.atm.ox.ac.uk/user/barnett/ozone-conference/dobson.htm. Het verslag van het onderzoek op Bereneiland verscheen in *Environmental Pollution* (vol. 136, p. 419).
 - 6 **Negentig graden noorderbreedte** — McCarthy maakte het nieuws over een ijsvrije Noordpool bekend op news.bbc.co.uk/1/hi/world/americas/888235.stm. Het werk van Scamdos wordt voortdurend geactualiseerd en verschijnt op nsidc.org. De warmwaterpuls van Polyakov werd in 2005 gerapporteerd in *Geophysical Research Letters* (vol. 32, L17605). De uitspraak van glaciologen over de veranderde staat van de Noordpool verscheen in augustus 2005 in *Eos* (vol. 86, p. 309).
 - 7 **Op de glijbaan** — Het essay van Hansen over de 'glijbaan' verscheen in *Climate Change* (vol. 68, p. 269). Zijn opmerkingen over 'gevaarlijk ingrijpen van de mens in het klimaat' deed hij in een lezing onder dezelfde titel voor de University of Iowa, beschikbaar, samen met ander interessant materiaal, op zijn website www.columbia.edu/~jeh1.
De opmerkingen van Box, Bromwich en Alley werden gedaan in interviews uit 2005. Het onderzoek van Zwally werd in 2000 gepubliceerd in *Science* (vol. 297, p. 218). Data over bewegingen van de Jakobshavn-gletsjer verschenen in *Nature* (vol. 432, p. 608), en de nieuwe gegevens over de Kangerdlugssuaq, op basis van metingen die Gordon Hamilton van de University of Maine verrichtte tijdens een cruise van Greenpeace in 2005, staan op www.greenpeace.org.uk/blog/climate/arctic-glacier-caught-speeding.
 - 8 **De kap** — De afbraak van Larsen B wordt beschreven door Hulbe op web.pdx.edu/~chulbe/science/Larsen/larsen2002.html. Alley bespreekt mechanismen op neptune.gsfc.nasa.gov/wais/pdf/Alley.pdf. Ik kwam meer te weten door interviews met wetenschappers van de British Antarctic Survey, en van onder anderen Rignot op een conferentie over

- het Zuidpoolijs die eind 2005 werd gehouden in de Royal Society te Londen (www.royalsoc.ac.uk/news.asp?year=&cid=3831).
- 9 De Mercer-erfenis — Ik vernam het verhaal over Mercer van Thompson, tijdens de interviews die ik in 2005 in zijn lab met hem had, en van correspondentie met Hughes. Het artikel van Mercer uit 1978 staat in *Nature* (vol. 271, p. 321) en het artikel van Hughes uit 1981 over de ‘zwakke onderbuik’ werd gepubliceerd in het *Journal of Glaciology* (vol. 27, p. 518). Pine Island Bay was een belangrijk onderwerp op de eerder genoemde conferentie van de Royal Society, tezamen met de toestand van de Totten- and Cook-gletsjer. De allereerste bevindingen van Vaughan zijn te vinden op neptune.gsfc.nasa.gov/wais/pastmeetings/abstract05/Vaughan.pdf. Het artikel van Davis over de Oost-Antarctische ijskap verscheen in *Science* (vol. 308, p. 1898).
 - 10 Wassend water — Het lot van de Carterets Eilanden werd wereldkundig gemaakt door de BBC. Zie www.sidsnet.org/archive/climate-news-wire/2000/0093.html. De plannen om deze eilanden en Tuvalu te verlaten werden op 24 november 2005 door Reuters bekendgemaakt. Ik interviewde Teuatabo for de *New Scientist* in 2000 (‘Turning Back the Tide’, 12 februari 2000). Hansen besprak de geschiedenis van de stijging van de zeespiegel in zijn lezing van december 2005: www.columbia.edu/~jeh1/keeling_talk_and_slides.pdf.
 - 11 In de jungle — Het droogte-experiment van Nepstad wordt besproken in *Science* (vol. 308, p. 346) en op earthobservatory.nasa.gov/Study/AmazonDrought/. Zijn plannen voor experimentele branden worden besproken op www.eurekalert.org/pub_releases/2005-07/whrc-whr071905.php. De droogte in de Amazone van 2005 is uitvoerig bediscussieerd; zie o.a. news.bbc.co.uk/1/hi/world/americas/4344310.stm. De voorspellingen van het Hadley Centre staan in het rapport *Stabilising Climate to Avoid Dangerous Climate Change*, gepubliceerd in januari 2005. Het rapport van Gedney en Valdes verscheen in *Geophysical Research Letters* (vol. 27, p. 3053).
 - 12 Woeste branden van Borneo — Ik bezocht Palangkaraya voor de *Guardian*, kort na de branden van 1997-98, en verkreeg informatie uit de eerste hand van de plaatselijke bewoners. Zie ook de reportage in *Nature* van 2004 (vol. 432, p. 144). Rieley’s berekeningen over de emissies van de branden verschenen in *Nature* (vol. 420, p. 61). Het Amerikaanse onderzoek dat zijn bevindingen bevestigde werd gepubliceerd in *Science* (vol. 303, p. 73).
 - 13 Van *sink* tot *source* — Het geruchtmakende artikel van Fan in *Science* verscheen in vol. 282, p. 442. Het werk van Ciaïa voor CarboEurope (www.carboeurope.org) verscheen in *Nature* (vol. 437, p. 529), terwijl het artikel van Angert verscheen in de *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS), (vol. 102, p. 10823); de bevindingen van Zeng

- staan in *Geophysical Research Letters* (vol. 32, L22709). Het onderzoek van Lawrence aan de permafrost is gepubliceerd op www.ucar.edu/news/releases/2005/permafrost.shtml en in *Geophysical Research Letters* (vol. 32, L24401). Peter Cox presenteerde zijn bevindingen op de conferentie over 'Gevaarlijke klimaatverandering' (zie Inleiding); ze zijn gepubliceerd in *Geophysical Research Letters* (vol. 30, p. 1479). Het werk van Canadell vond ik op www.esm.ucsb.edu/academics/courses/595PPS/Readings/VulnerabGlobalC.pdf. De bevindingen van Kirk betreffende koolstof in Groot-Brittannië verschenen in *Nature* (vol. 437, p. 245).
- 14 **De doemmachine** — Mijn verhaal over de smeltende permafrost verscheen op 11 augustus 2005 in de *New Scientist*. De bevindingen van Kirpotin wachten bij het ter perse gaan van dit boek nog op een *peer-reviewed*-publicatie in het Engels, maar een herziene versie van zijn vertaalde Russische artikelen is te vinden op www.mindfully.org/Air/2005/Palsas-Climate-Changes11aug05.htm. Zijn bevindingen werden een jaar later bevestigd door Ted Schuur in *Nature* (vol. 443, p. 71). Ik hoorde van de bevindingen van Larry Smith door middel van interviews per e-mail. Het rapport waarin geopperd wordt dat alle planten methaan produceren verscheen in *Nature* (vol. 439, p. 187). Ik had een uitgebreid interview met Christensen tijdens mijn bezoek aan Stordalen eind 2005. Zijn artikelen staan onder andere in *Geophysical Research Letters* (vol. 31, L04501).
- 15 **Het zuurbad** — De studie van de Royal Society, *Ocean Acidification Due to Increasing Atmospheric Carbon Dioxide*, verscheen in juni 2005 en is te vinden op www.royalsoc.ac.uk. Turley presenteerde haar bevindingen op de conferentie over gevaarlijke klimaatverandering. Orr bracht verslag uit in *Nature* (vol. 437, p. 681). Het artikel van Falkowski verscheen in *Science* (vol. 290, p. 291).
- 16 **De wind waait uit een andere hoek** — Het artikel van Kennett and Stott verscheen in *Nature* (vol. 353, p. 225). Dickens heeft onder andere gepubliceerd in *Geotimes*, november 2004, pp. 18-22. De verkenningen van de zeebodem door Alan Judd werden door Joanna Marchant gerapporteerd in de *New Scientist* van 2 december 2000. Het artikel van Norman Cherkis werd gepresenteerd op de voorjaarsbijeenkomst, in 1997, van de *American Geophysical Union*. Mienert besprak de Stogregga-landverschuiving in *Marine and Petroleum Geology* (vol. 22, p. 1) en in *Oceanography* (vol. 17, p. 16). Ander materiaal is afkomstig van ongepubliceerd onderzoek waarover hij mij tijdens interviews informatie verschafte. Nisbet behandelde de uitstoot van methaan in de *Transactions* van de Royal Society (vol. 360, p. 581). En David Archer maakte een inventaris van methaanclathraten in *Earth and Planetary Science Letters* (vol. 227, p. 185).

- 17 **Wat is watt?** — Het werk van Hansen betreffende dit onderwerp wordt samengevat in zijn artikel ‘The Earth’s Energy Imbalance: Confirmation and Implications’, gepubliceerd in *Science* (vol. 308, p. 1431, zie www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/308/5727/1431). Lees over het *Global Albedo Project* op www-c4.ucsd.edu/gap/. De bevindingen van Chapin betreffende het albedo van de Noordpool staan in *Science* (vol. 310, p. 627) en die van Betts in *Nature* (vol. 408, p. 187).
- 18 **Clouds from both sides** — De bijeenkomst van 2004 in Exeter was een besloten vergadering van wetenschappers van het IPCC. Ik was de enige buitenstaander, maar wat daar besproken werd is sindsdien voor het grootste deel gepubliceerd. Het werk van Stainforth verscheen in *Nature* (vol. 433, p. 403) en dat van Murphy ook (vol. 430, p. 768). Ook was ik de enige journalist die deelnam aan de conferentie van Dahlem in 2003 (zie hoofdstuk 4), waar Crutzen en Cox hun eerste berekeningen maakten over het ‘parasoleffect’; later schreef Cox er een artikel over in *Nature* (vol. 435, p. 1187). Wielicki verschafte mij informatie per e-mail en behandelde een aantal kwesties in *Science* (vol. 295, p. 841). Schwartz maakte zijn opmerkingen in een interview dat tegelijk verscheen met zijn artikel in het *Journal of the Air and Waste Management Association* (vol. 54, p. 1). Hansen schreef over roet in het *Journal of Geophysical Research* (vol. 110, D18104).
- 19 **Een miljard vuren** — Het adres van de website van INDOEX is [www-indoex.ucsd.edu](http://www.indoex.ucsd.edu). Remanathan en Crutzen bespraken in 2002 de bevindingen van INDOEX in *Current Science* (vol. 83, p. 947). Het werk van Dale Kaiser over de afname van zonneshijn verscheen in *Geophysical Research Letters* (vol. 29, p. 2042). De ideeën van Hansen staan in *Science* (vol. 297, p. 2250).
- 20 **Hydroxylvakantie** — Prinn uitte zijn waarschuwing in 1995 in *Science* (vol. 269, p. 187), en in 2000 kwam hij op de kwestie terug in de nieuwsbrief van het IGBP (nr. 43) en in *Science* (vol. 292, p. 1882) in 2001. Madronich uitte zijn ongerustheid in 1992 in *Geophysical Research Letters* (vol. 19, p. 465) en een jaar later weer op www.ciesin.org/docs/011-457/011-457.html. Ik schreef in april 2001 een nogal novellistisch ‘doemscenario’ voor hydroxyl in een supplement van de *New Scientist*. Het is na te lezen op www.gsenet.org/library/04chm/hydroxyl.php.
- 21 **Goudlokje en de drie planeten** — Alles wat u weten wilt over Sneeuwbal Aarde is te lezen in het boek van mijn voormalige collega bij de *New Scientist* Gabrielle Walker (*Snowball Earth*, Bloomsbury, 2003). Meer over Kirschvink is te vinden op www.pr.caltech.edu/media/Press_Releases/PR12723.html. Lovelock heeft zijn Gaia-interpretatie van de geschiedenis van de aarde uiteengezet in boeken zoals *The Ages of Gaia* (1995). Zijn meest recente boek is *The Revenge of Gaia* (Allen Lane, 2006, ook

- vertaald in het Nederlands). Ik besprak de ideeën van Retallack over de Gaia-koninkrijken in de *New Scientist* van 10 juni 2001.
- 22 **De grote vorst** — Het meest leesbare relaas over de ijstijden en Agassiz en de intrigerende James Croll is het boek *Frozen Earth* van Doug Macdougall (California University Press, 2004). Het baanbrekende artikel van Shackleton verscheen in 1976 in *Science* (vol. 194, p. 1121). Berrien Moore III's analyse van koolstofverplaatsingen heb ik uit de *Global Change Newsletter* nr. 40 (december 1999, p. 1).
- 23 **De oceanische transportband** — Broecker heeft heel veel geschreven over de oceanische transportband. Belangrijke artikelen staan in *Nature* (1994, vol. 372, p. 421), *Scientific American* (1995, vol. 273, p. 62) and *Science* (1997, vol. 278, p. 1582). Ik interviewde hem eind 2005. Het artikel van Schlesinger staat op de website van de conferentie over gevaarlijke klimaatverandering, tezamen met dat van Challoner. Het artikel van Ruth Curry over de Grote Zoutanomalie stond in *Science* (vol. 308, p. 1772). En het artikel van Bryden verscheen in *Nature* (vol. 438, p. 655).
- 24 **Een arctische bloem** — Alley geeft een schitterende uiteenzetting van de fysica van het Jonge Dryas (en vele andere zaken) in zijn boek *The Two-Mile Time Machine* (Princeton University Press, 2000). Lees over hoe het de mens verging in het boek van William Burroughs, *Climate Change in Prehistory* (Cambridge University Press, 2005). De nieuwste theorieën over het leeglopen van het Agassiz Meer staan in *Eos* (vol. 86, p. 465). Het artikel van Chiang verscheen in *Climate Dynamics* (vol. 25, p. 477). Alley besprak de gebeurtenissen van 8.200 jaar geleden in *Quaternary Science Reviews* (vol. 24, p. 1123).
- 25 **De puls** — De beste studie van de gebeurtenissen in de kleine ijstijd is nog steeds het boek *The Pulse* van Jean Grove (Routledge, 1989). Het pionierswerk van Bond betreffende 'de puls' en het verband met de kleine ijstijd verscheen in *Science* (vol. 278, p. 1257 en vol. 294, p. 2130). Een samenvatting van zijn werk is te lezen op www.ldeo.columbia.edu/news/2005/07_11_05.htm. Lees ook het artikel dat Peter deMenocal schreef met Thomas Marchitto voor *Geochemistry Geophysics Geosystems* (DOI: 10.1029/2003GC000598) en zijn essay 'After Tomorrow', in *Orion*, januari 2005, plus het artikel van Shindell, 'Glaciers, Old Masters and Galileo' op www.giss.nasa.gov/research/briefs/shindell_06/, en van Christina Hulbe in *Paleoceanography* (vol. 19, PA1004).
- 26 **De zondeval** — Bruikbare analyses van hoe de Sahara een woestijn werd zijn onder andere het artikel van Robert Kunzig, 'Exit from Eden', in *Discovery*, januari 2000, het artikel van Claussen in *Climate Change* (vol. 57, p. 99) en van deMenocal in *Quaternary Science Reviews* (vol. 19, p. 347). Haarsma zet zijn theorieën uiteen in *Geophysical Research*

- Letters* (vol. 32, p. L17702). DeMenocal bespreekt de megadroogtes gedurende het laat-holoceen in *Science* (vol. 292, p. 667), en de studie van Richard Seager is te lezen op <http://www.ldeo.columbia.edu/res/div/ocp/drought>.
- 27 **Wippen over de oceaan** — Het stofreservoir van Bodélé wordt in *Nature* omschreven als ‘de stoffigste plek op aarde’ (vol. 434, p. 816). Ik vernam de ideeën van Schellnhuber over het verband tussen de Sahara en het Amazonegebied in gesprekken met hem. Ze lijken hout te snijden, maar voorzover ik weet zijn ze nog niet hard gemaakt.
- 28 **Tropische hoogte** — In 2005 had ik een uitgebreid interview met Thompson over zijn carrière en ideeën. Er is ook een zeer leesbaar boek over hem verschenen, getiteld *Thin Ice*, geschreven door Mark Bowen (Henry Holt, 2005). Belangrijke artikelen verschenen in *Climatic Change* (vol. 59, p. 137) en in *Quaternary Science Reviews* (vol. 19, p. 19). Zijn website is www-bprc.mps.ohio-state.edu/Icecore/GroupP.html#lonniethompson.
- 29 **De vloek van Akkad** — De geschiedenis van Akkad en andere verhalen over klimaat en beschaving zijn te lezen in *The Winds of Change* van Eugene Linden (Simon & Schuster, 2006). DeMenocal schrijft over de ondergang van Akkad in *Geology* (vol. 28, p. 379). Het oorspronkelijke artikel van Weiss verscheen in het *Journal of the American Oriental Society* (vol. 95, p. 534). Issar en Mattanyah Zohar laten hun licht schijnen over soortgelijke rampen in die tijd in het Midden-Oosten in *Climate Change: Environment and Civilization in the Middle East* (Springer, 2004).
- 30 **Een brok koraal** — Over de vondst van Dan Schrag en de implicaties voor El Niño schreef ik een artikel in de *New Scientist* van 9 October 1999. Hij publiceerde zijn bevindingen in *Geophysical Research Letters* (vol. 26, p. 2139). Er zijn de laatste tijd flink wat boeken over El Niño verschenen, onder andere *El Niño: History and Crisis*, van Richard Grove and John Chappell (White Horse Press, 2000), en *El Niño in History* van Cesar Caviedes (University Press Florida, 2001). Rodbells fascinerende artikel staat in *Science* (vol. 283, p. 516). De toekomstvoorspelling van Latif over El Niño’s verscheen in *Nature* (vol. 398, p. 694). Lees over de Peruaanse aardappelboertjes op www.columbia.edu/cu/pr/00/01/pleiades.html.
- 31 **Eten voor Azië** — Mike Davis schreef hartstochtelijk over de gevolgen van El Niño en het wegblijven van de moesson aan het eind van de negentiende eeuw in *Late-Victorian Holocausts* (Verso, 2001). Overpecks analyse van de potentieel zorgelijke toekomst van de moesson verscheen in *Nature* (vol. 421, p. 354). De analyse van de verschillende interpretaties van de verschijnselen die de moesson in stand hou-

- den kwam naar voren in gesprekken met Mark Cane, Broecker, Alley, Thompson en anderen.
- 32 **De hittegolf** — De hittegolf van 2003 wordt besproken op www.earth-policy.org/Updates/Update29.htm. Het verband met de opwarming van de aarde werd gelegd door Allen, in *Nature* (vol. 432, p. 610). De studie over de wijngaarden in Bourgondië verscheen in *Nature* (vol. 432, p. 289). Betts waarschuwde voor de extra gevaren van de warmte in steden in *PNAS* (DOI 10.1073/pnas.0400357101).
- 33 **De hockeystick** — Lees het stuk van het IPCC voor beleidsmakers op www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf. Vroege versies van de hockeystick werden besproken in *Nature* (vol. 392, p. 779) en *Geophysical Research Letters* (vol. 26, p. 759). Andere artikelen over het werk van Mann en de controverse die het opriep, verschenen in *Scientific American* (March 2005, p. 34) en *Mother Jones* (18 April 2005). McIntyre and McKittrick zetten hun standpunt in 2003 uiteen in *Energy and Environment* (vol. 14, p. 751). Manns argumenten, met commentaar van een aantal critici, staan op de website die hij samen met anderen runt: www.realclimate.org. Een recente wetenschappelijke analyse van het debat is onder andere te vinden in de artikelen van Osborn en Briffa in *Science* (vol. 311, p. 841).
- 34 **Orkaanseizoen** — Ik sprak met Corky Perret voor een omslagartikel in de *New Scientist*: ‘Is Global Warming Making Hurricanes Stronger?’ (3 december 2005). Het artikel van Webster verscheen in *Science* (vol. 309, p. 1844). Emmanuel voorspelde voor het eerst een grote toename van schade door orkanen in *Nature* (1987, vol. 326, p. 483). Hij was veel optimistischer toen hij, samen met anderen, in 1998 een rapport schreef voor het *Bulletin of the American Meteorological Society* (vol. 79, p. 19), maar in 2005 beklom hij in *Nature* (vol. 436, p. 686) weer de barricaden. Trenberth waarschuwde eerder dat jaar in *Science* (vol. 308, p. 1753). De pogingen van Gray om die beweringen te weerleggen verschenen niet in de toonaangevende tijdschriften, maar zijn te lezen op zijn website: typhoon.atmos.colostate.edu. Het verhaal over ‘orkaan’ Catarina is te vinden op www.metoffice.gov.uk/weather/tropicalcyclone/catarina.html.
- 35 **Ozongaten in de broeikas** — Het historisch artikel van Farman over het gat in de ozonlaag verscheen in *Nature* (vol. 315, p. 207). Crutzen vertelde hoeveel geluk de wereld had gehad in zijn lezing bij de uitreiking van de Nobelprijs (zie hoofdstuk 4). Hormes en Shindell uitten hun denkbeelden in persoonlijke interviews in respectievelijk Ny-Alesund en New York. De mechanismen die ervoor kunnen zorgen dat een vermindering van ozon een snelle klimaatverandering veroorzaakt werden besproken door Hartmann e.a. in *PNAS* (vol. 97, p. 1412).

- 36 **De dans** — De discussie tussen de polaire en tropische school is nooit in de wetenschappelijke tijdschriften gevoerd. Dit hoofdstuk is dan ook samengesteld aan de hand van interviews met de betrokkenen, veelal in New York. Het artikel van Goldstein verscheen in *Science* (vol. 307, p. 1933). Crutzen leverde zijn commentaar in een interview met mij.
- 37 **Nieuwe horizonten** — Ook dit hoofdstuk berust grotendeels op gesprekken en niet op schriftelijk materiaal. Het idee van een bipolaire wip werd in de herfst van 2005 uit de doeken gedaan door David Sugden, in *Planet Earth*, het tijdschrift van de *Natural Environment Research Council*. Lees over meren onder het ijs op de Zuidpool op www.earth.columbia.edu/news/2006/story01-26-06.html. Recente veranderingen in de Antarctische Oscillatie werden besproken door King, in *Geophysical Research Letters* (vol. 32, L19604). De belangrijkste artikelen van Shindell verschenen in *Science* (vol. 284, p. 305, en vol. 294, p. 2149); nuttige commentaren staan op www.giss.nasa.gov/research/news/20041006/ en op www.giss.nasa.gov/research/briefs/shindell_04/.
- Tot besluit** — Mijn eerder verschenen boek, *Turning Up the Heat*, al lang niet meer in druk, werd in 1989 door The Bodley Head gepubliceerd en later dat jaar door Paladin in paperback.
- Appendix** — Het meeste hier werd gepresenteerd op de conferentie over gevaarlijke klimaatverandering. Zie voor de handelingen: www.stabilisation2005.com.