

DEEL EEN

Welkom in het antropoceen

I De pioniers

De mannen die de adem van de aarde maten

Dit verhaal begint met een depressieve Zweedse chemicus die in zijn eentje in zijn werkkamer in het zonloze noorden van Scandinavië zat nadat zijn huwelijk met zijn knappe onderzoeksassistente op de klippen was gelopen. Het was kerstavond. Wat te doen? Anderen zouden misschien de stad in zijn gegaan op zoek naar een nieuwe partner. Weer anderen zouden zich hebben overgegeven aan sentimenteel getreur en waarschijnlijk een paar glaasjes bier. Svante Arrhenius koos geen van die uitwegen. In plaats daarvan stak hij op 24 december 1894, terwijl zijn landgenoten allemaal Kerstmis vierden, de handen uit de mouwen, ging aan zijn bureau zitten en begon aan een marathon van berekeningen die hem meer dan een jaar kostten.

Arrhenius, die toen vijfendertig was, was een dwarsligger. Hij was nog maar kort tevoren tot lector benoemd in Stockholm, maar hij had nu al de reputatie van ruziezoeker. Terwijl de dagenlange duisternis plaats maakte voor maanden van middernachtzon zwoegde hij door, hij schreef het ene notatieblok na het andere vol met berekeningen over de invloed op het klimaat van verschillende concentraties gassen in de atmosfeer die warmte vasthielden. 'Het is ongelooflijk dat zo'n onbenullige zaak me een vol jaar heeft gekost,' bekende hij later aan een vriend. Maar nu zijn vrouw weg was, had hij weinig afleiding. En die berekeningen werden een obsessie.

De aanvankelijke aanleiding voor het werk was een vraag die het grote publiek destijds bezighield: waarom koelde de aarde af tijdens de ijstijden? Geologen wisten toen al wel dat het noordelijk halfrond duizenden jaren door ijskappen

bedekt was geweest. Maar er werd druk gespeculeerd over waarom dat was gebeurd. Arrhenius bedacht dat de oplossing voor het raadsel in de gassen zat die warmte vasthielden in de lagere regionen van de atmosfeer, waardoor het stralingsevenwicht van de atmosfeer veranderde en de temperatuur steeg of daalde.

Hij kende het werk dat een halve eeuw eerder gedaan was door de Franse wiskundige Jean Baptiste Fourier en de Ierse fysicus John Tyndall, die hadden ontdekt dat bepaalde gassen, waaronder kooldioxide, het vermogen hadden om warmte vast te houden. Tyndall had het effect in het lab gemeten. Simpel gezegd werkt het als volgt. Die gassen laten ultraviolette straling van de zon door, maar ze houden de infrarode straling tegen die de aarde uitzendt als gevolg van de opwarming door de zon. Arrhenius concludeerde dat als de hoeveelheid gassen die warmte vasthouden op de een of andere manier in de atmosfeer wordt verkleind, de aarde afkoelt. Later noemde hij die gassen ‘broeikasgassen’, want net als het glas van een broeikas werken ze als een soort atmosferische thermostaat.

Tyndall, een van de eerste beroemde natuurkundigen van zijn tijd en vriend van Charles Darwin, had zelf al eens opgemerkt dat als de gassen die warmte vasthouden één nacht uit de atmosfeer werden verwijderd, ‘de warmte van onze akkers en tuinen ongehinderd in de ruimte zou wegstromen en de zon zou opkomen boven een eiland in de ijzeren greep van de vorst’. En dat leek Arrhenius precies wat er in de ijstijd was gebeurd. In elk geval, toen hij klaar was met zijn werk, kon hij aan de wereld verkondigen dat een vermindering van het atmosferische kooldioxideniveau met een derde tot de helft de aarde 4 tot 5 graden Celsius kouder zou maken – genoeg om het grootste deel van Noord-Europa, en zeker elk stukje van zijn geboorteland Zweden, onder het ijs te bedelven.

Arrhenius had geen idee of zijn berekeningen een feitelijke weergave waren van wat er in de ijstijden was gebeurd.

Er waren andere verklaringen mogelijk voor de Grote Vorst, zoals een zwakker wordende zon. Het duurde nog eens tachtig jaar voordat onderzoekers oude lucht, gevangen in de ijskappen van Groenland en de Zuidpool, analyseerden en ontdekten dat de lucht in de ijstijd precies de concentraties kooldioxide bevatte die Arrhenius had voorspeld. Maar toen Arrhenius zijn berekeningen af had, raakte hij ook geïnteresseerd in de potentiële stijging van de concentraties broeikasgassen en hoe die een opwarming van de aarde op gang kon brengen. Hij dacht niet dat dat ging gebeuren, maar het was de voor de hand liggende tegenhanger van zijn eerste berekening. En hij kwam tot de conclusie dat een verdubbeling van de atmosferische kooldioxide de wereldtemperatuur met gemiddeld 5 tot 6 graden C zou doen toenemen.

Hoe maakte hij zijn berekeningen? Hedendaagse klimatologen, die uitgerust zijn met de allergrootste supercomputers, staan versteld van de hoeveelheid werk die hij verzette. Maar in wezen kwamen zijn methoden opvallend overeen met die van hen. Arrhenius begon met een aantal basisformules die het vermogen beschrijven van broeikasgassen om warmte in de atmosfeer vast te houden. Die waren kant en klaar aangeleverd door Tyndall en Fourier. Dat was het makkelijke deel. Het moeilijke deel was besluiten hoeveel zonnestraling door de aarde geabsorbeerd werd en hoe die hoeveelheid veranderde naarmate de aarde afkoelde of opwarmde als gevolg van gewijzigde concentraties kooldioxide.

Het absorptievermogen van verschillende aardoppervlakken loopt uiteen van ijs, dat 20 procent of minder absorbeert, tot donker zeewater, dat meer dan 80 procent absorbeert. Daartussen liggen de waarden voor donkere bossen en lichte woestijnen, grasland, meren enzovoort. Dus, gewapend met een atlas verdeelde hij het aardoppervlak in kleine vierkantjes en bepaalde de absorptie- en reflectiewaarde van elk segment en hoe factoren zoals smeltend ijs of bevriezend zeewater de zaken veranderden naarmate de concentraties van de gassen stegen of daalden. Uiteindelijk had hij een reeks

temperatuurvoorspellingen voor verschillende breedtegraden en jaargetijden, afhankelijk van de atmosferische concentraties kooldioxide.

Het was een hele prestatie, waarmee hij in zijn eentje vrijwel de hele theorie van opwarming van de aarde opstelde, tegelijk met de principes van de moderne klimaatmodellen. Zijn uitkomst dat een verdubbeling van het kooldioxidegehalte een opwarming van 5 tot 6 graden C tot gevolg heeft, ligt maar iets boven de hoogste temperatuur in de voorspellingen anno 2007.

Arrhenius presenteerde zijn voorlopige bevindingen in december 1895 voor het Fysisch Genootschap in Stockholm onder de titel 'Over de invloed van kooldioxide in de lucht op de temperatuur aan de grond'. Na verdere verfijningen publiceerde hij ze in de *London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*. Daarin deed hij nog meer voorspellingen, die ook uit moderne computermodellen rollen. Op hogere breedten zou de temperatuur relatief meer stijgen dan in de tropen, zei hij. De opwarming zou ook overdag geprononceerder zijn dan 's nachts, in de winter meer dan in de zomer, en boven land meer dan op zee.

Maar de kwestie scheen verder niemand te interesseren. De wereld vergat het. Gelukkig voor Arrhenius was dit werk maar een bijkomstigheid in zijn carrière. In 1903, een paar jaar nadat hij het had voltooid, won hij de Nobelprijs voor chemie, voor werk dat er totaal niets mee te maken had: de elektrische geleiding van zoutoplossingen. Al gauw had hij ook weer een nieuwe vrouw en een kind en andere interesses – hij hield zich met van alles bezig, van immunologie tot elektrotechniek. Hij was een van de eerste onderzoekers van het noorderlicht en een belangrijke tegenstander van het idee dat de kiemen van het leven door de ruimte konden reizen.

Maar na de Eerste Wereldoorlog veranderde hij van stemming. Het optimisme van zijn generatie, die geloofde dat wetenschap en techniek alle problemen konden oplossen, verkruimelde na een oorlog waarin zoveel van haar zonen het

leven hadden verloren. Hij fulmineerde tegen de verspilling van de moderne maatschappij. 'De zorg om onze grondstoffen werpt een donkere schaduw over de mensheid,' schreef hij in een vroege manifestatie van twintigste-eeuws milieubewustzijn. 'Onze nakomelingen zullen ons zeker verwijten dat wij de erfenis waar zij recht op hadden hebben verkwanseld.' Zijn grote vrees was dat de olievoorraad zou opdrogen, en hij voorspelde dat de vs al in 1935 zijn laatste vat zou oppompen. Hij betoonde zich een voorstander van energiebesparing en lanceerde het idee om duurzame energie te ontwikkelen, zoals wind- en zonne-energie. Hij nam zitting in een overheidscommissie die van Zweden een van de eerste landen met een waterkrachtcentrale maakte.

Veel Zweden beschouwen Arrhenius tegenwoordig als een pionier op milieugebied en prijzen zijn inspanningen om nieuwe vormen van energie te promoten. Hij zou zich niet goed raad hebben geweten met die lof. Ten eerste legde hij zelf nooit het verband tussen zijn werk aan het broeikaseffect en zijn latere nachtmerrie over de oprakende fossiele brandstoffen. Hij wist al in een vroeg stadium dat er door het verbranden van kolen en olie broeikasgassen in de atmosfeer zouden accumuleren. Maar dat leek hem wel aardig, want in 1908 schreef hij: 'We mogen hopen op tijden met een aangamer en beter klimaat, vooral in de koudere streken op aarde, tijden waarin de aarde veel meer gewassen zal voortbrengen voor een zich snel vermenigvuldigende mensheid.' Maar hij was met enige spijt in het hart tot de slotsom gekomen dat het waarschijnlijk duizend jaar zou duren eer er een significante opwarming kwam. En toen hij later getuige was van de schaal waarop de industrie de fossiele brandstoffen verbruikte was zijn enige vrees dat de voorraad zou opraken.

Nog een halve eeuw na de berekeningen van Arrhenius bleef men van mening dat menselijke uitstoot van kooldioxide waarschijnlijk niet voldoende was om binnen afzienbare tijd een meetbaar effect op het klimaat te hebben. De natuur

zou elke overtollige uitstoot gemakkelijk kunnen verwerken. Wetenschappers peilden van tijd tot tijd wel de hoeveelheid kooldioxide in de lucht, maar er was te veel lokale variatie om een duidelijke trend in de concentraties van de gassen te ontdekken.

De enige die het vooruitzicht van opwarming door het broeikaseffect serieus nam was een Britse militair, een officier van de genie en een amateur-meteoroloog. Zijn naam was Guy Callender. In een lezing voor de Royal Meteorological Society in 1938 zei hij dat de paar metingen van concentraties kooldioxide in de atmosfeer al wezen op een toename van 6 procent sinds 1900 en dat dit te wijten moest zijn aan de verbranding van fossiele brandstoffen. De implicatie was dat het opwarmen 'in feite op dit moment plaatsvindt'. Net als Arrhenius vond hij dat over het algemeen wel positief. En net als Arrhenius werden zijn bevindingen zo goed als genegeerd.

De volgende die een serieuze poging deed de hoeveelheid kooldioxide in de atmosfeer te meten was Charles David Keeling, een jonge student van het Scripps Institution of Oceanography in La Jolla, California. Hij begon het werk midden jaren 1950, eerst in de heuvels van het Yosemite National Park in California, waar het wemelde van de beren en waar hij graag wandeltochten maakte, en later – in de hoop betere data te kunnen bemachtigen – in de schone lucht boven op de 4200 meter hoge Mauna Loa, een vulkaan op Hawaii. Het was de eerste keer dat iemand probeerde continu op één plaats de concentraties kooldioxide te meten. Keeling was zo fanatiek over zijn metingen, die telkens vier uur duurden, dat hij de geboorte van zijn eerste kind miste omdat hij geen gat in zijn logboek wilde laten vallen.

Het resultaat was sensationeel. Al na korte tijd kon Keeling op deze hooggelegen plaats, boven alle weerssystemen en ver weg van elke luchtverontreiniging, een stabiel gemiddeld niveau van kooldioxide vaststellen van 315 delen per miljoen (ppm). Rond dat gemiddelde kronkelde een jaarlijkse curve

van zomer en winter, veroorzaakt door de kooldioxidekringloop die met de jaargetijden mee beweegt. Planten en andere organismen die groeien door middel van fotosynthese consumeren kooldioxide uit de lucht, vooral in het voorjaar. Maar in de herfst en de winter komt de fotosynthese grotendeels tot rust en worden die organismen opgegeten door bodembacteriën, waardoor de atmosferische kooldioxide weer toeneemt. Aangezien het noordelijk halfrond de meeste vegetatie bevat, verliest de atmosfeer kooldioxide in de noordelijke zomer en wint die weer terug in de winter. De aarde ademt als het ware één keer per jaar in en uit.

Maar de meest spectaculaire ontdekking die Keeling deed was dat die jaarlijkse cyclus fluctueerde rondom een geleidelijke toename van de atmosferische kooldioxide, een trend die bekend is komen te staan als de Keeling-curve. De gemiddelde 315 ppm die Keeling in 1958 op Mauna Loa vond steeg gestaag naar 320 in 1965, naar 331 in 1975 enzovoort, tot 383 ppm in 2007.

De implicaties van de Keeling-curve waren ingrijpend. ‘Begin 1962,’ schreef hij later, ‘konden we afleiden dat ongeveer de helft van het CO₂ (kooldioxide) afkomstig van de verbranding van fossiele brandstoffen zich in de atmosfeer ophoopte,’ terwijl de rest door de natuur werd geabsorbeerd. Eind jaren 1960 zag hij dat de jaarlijkse kooldioxidekringloop intenser werd. En de afname van atmosferische kooldioxide in de lente begon eerder in het jaar, een duidelijk teken dat de gestage jaarlijkse toename van het gemiddelde niveau de temperatuur verhoogde en een vroeg voorjaar veroorzaakte.

Keeling hield tot aan zijn dood in 2005 persoonlijk toezicht op de nauwkeurige metingen op Mauna Loa. In zijn laatste levensjaar pakte die over het algemeen milde man nog een laatste keer de megafoon om het publiek te waarschuwen dat zijn instrumenten voor het eerst in bijna vijftig jaar twee opeenvolgende jaren, 2002 en 2003, hadden geregistreerd waarin de gemiddelde concentraties kooldioxide

met meer dan 2 ppm waren gestegen. Hij waarschuwde dat dit wel eens het gevolg zou kunnen zijn van het feit dat het natuurlijke vermogen van de aarde om koolstof in de regenwouden, in de bodem en in de oceanen op te slaan – de ‘koolstofputten’ van de natuur – was verminderd. Hij was bang dat de natuur, die de helft van de door menselijke activiteit uitgestoten kooldioxide had geabsorbeerd, deze nu misschien weer terug begon te geven – en dat, in een van zijn typische understatements, ‘zou wel eens reden voor bezorgdheid kunnen zijn’.

Bij zijn dood waren Keelings superieuren zo aardig om te zeggen dat de Keeling-curve ‘de belangrijkste dataset van de twintigste eeuw’ was. Iemand noemde hem de man die ‘de adem van de wereld mat’.

Dankzij de Keeling-curve werden de ideeën van Arrhenius en Callender uit de prullenbak van de wetenschappelijke geschiedenis gered. Het leek erop dat ze gelijk hadden met hun bewering dat de mens in staat was te knoeien met de thermostaat van de aarde. Klimatologen, die veelal in de jaren 1960 hadden voorspeld dat de natuurlijke cycli op het punt stonden de wereld in een nieuwe ijstijd te storten, begonnen nu te waarschuwen voor een toekomstige door de mens veroorzaakte opwarming van de aarde. In het begin van de jaren 1970 vroegen militairen van het Pentagon nog aan hun wetenschappers hoe ze konden voorkomen dat het poolijs zo dik werd dat hun atoomonderzeeërs er niet doorheen konden breken. Maar aan het eind van dat decennium wees het Global 2000 Report over het milieu van president Jimmy Carter de opwarming van de aarde aan als een urgent nieuw probleem, en begon de Amerikaanse Academie van Wetenschappen aan de eerste moderne studie van het probleem.

Sindsdien is er geweldig veel onderzoek verricht. De laatste vijftien jaar heeft het IPCC regelmatig updates van duizend pagina’s gepubliceerd alleen maar om een overzicht te geven van het onderzoeksveld en een uitspraak te doen over

de wetenschappelijke consensus. Maar in bepaalde opzichten is het mainstream denken over hoe het klimaat verandert door stijgende concentraties kooldioxide in de eeuw sinds Arrhenius niet veel opgeschoten. Dankzij Keeling weten we dat die concentraties stijgen, maar verder is er niet veel veranderd.

Pas in de laatste vijf jaar misschien, naarmate de onderzoekers meer te weten kwamen over hoe onze planeet werkt, zijn sommigen tot de conclusie gekomen dat de veranderingen misschien niet zo geleidelijk zullen verlopen als Arrhenius dacht, of als de scenario's van het IPCC nog steeds suggereren. Wij zijn naar alle waarschijnlijkheid in een achtbaan gestapt die ons met grote schokken bruut alle kanten op slingert. Hoe dat achtbaanritje zou kunnen aanvoelen is het centrale thema van dit boek.

2 De verwarming opdraaien

Een sceptische gids voor klimaatverandering

Sinds de toegenomen bezorgdheid over klimaatverandering in de jaren 1980 zijn de wetenschappers die zich ermee bezighouden voortdurend bestookt door een kleine horde vijandige critici. Elke keer als ze denken dat ze verjaagd zijn komen die sceptici weer terug. En hier en daar vinden ze nog steeds gehoor. Een serieuze Engelse krant noemde klimaatverandering in 2004 'wereldwijde oplichterij' gebaseerd op een 'linkse, anti-Amerikaanse, antiwesterse ideologie'. En de bestsellerauteur Michael Crichton stelde in zijn met veel publiciteit omgeven roman *State of Fear* (in het Nederlands verschenen onder de titel *Staat van angst*) de opwarming van de aarde voor als een vilein complot van milieuextremisten.

Veel klimatologen doen de sceptici af met een wegwuivend gebaar en keren weer terug naar hun computermodellen. De meeste sceptici, zo merken ze op, vallen in drie categorieën uiteen: 1. politicologen, journalisten en economen met weinig kennis van klimatologie; 2. verongelijkte experts met pensioen die hun verouderde kennis onderuitgehaald zien; en 3. gesalarieerde wetenschappers met tirannieke werkgevers, zoals oliemaatschappijen en regeringen, die ze naar de mond moeten praten en aan wie ze hun ziel hebben verkocht. Als we de sceptici moeten geloven, zit het bewijsmateriaal voor de opwarming van de aarde, en zelfs de basisfysica van het broeikaseffect, vol gaten. De schijnbare wetenschappelijke consensus bestaat alleen maar, zeggen zij, omdat die wordt opgelegd door een wetenschappelijk establishment dat graag met de meute mee wil doen, gesteund en in de watten gelegd

door politici die graag angst willen zaaien. Dat klinkt zo te horen nogal hysterisch, maar hebben de sceptici misschien een punt?

Eerst de fundamentele fysica. Zoals we gezien hebben is die grotendeels al twee eeuwen oud. Fourier en Tyndall wisten allebei dat de atmosfeer warm blijft omdat een bepaalde hoeveelheid kortegolfstraling van de zon door het aardoppervlak wordt geabsorbeerd en in langere infrarode golflengtes weer wordt teruggestraald. Net als bij een radiator warmt dat de omringende lucht op. Ze wisten ook dat die warmte wordt vastgehouden door gassen zoals waterdamp, kooldioxide en methaan, die een 'broeikasewfect' hebben en zonder welke de planeet zou bevrozen, net als Mars. Maar ook van het goede kun je te veel hebben. Onze andere buurplaneet, Venus, heeft een atmosfeer die tjokvol zit met broeikasgassen en daardoor in een temperatuur van 450 graden C bakt. En dat is verontrustend. Want dankzij de Keeling-curve kan er nu geen twijfel meer over bestaan dat door toedoen van de mens de hoeveelheid kooldioxide in de atmosfeer is verhoogd naar een niveau dat ruwweg een derde hoger is dan vóór de Industriële Revolutie.

Het effect dat dit heeft gehad op de stralingsbalans van de aarde is nu ook meetbaar. In 2001 onderzocht Helen Brindley, een atmosferisch fysisicus van Imperial College, Londen, satellietdata over een periode van bijna dertig jaar om de veranderingen in de hoeveelheid infraroodstraling die uit de dampkring in de ruimte ontsnapt in kaart te brengen. Want wat niet ontsnapt moet achterblijven en dus de aarde opwarmen. Dat is in feite een maat voor de hoeveelheid warmte die wordt vastgehouden door de broeikasgassen – het broeikasewfect. In het deel van het infrarode spectrum dat door kooldioxide wordt vastgehouden – golflengtes van tussen de 13 en de 19 micrometer – ontsnapte steeds minder straling, kwam ze tot de ontdekking. De uitkomsten voor de andere broeikasgassen zoals methaan waren vergelijkbaar.

Die cijfers alleen al zouden voldoende moeten zijn om ook de meest verstokte sceptici ervan te overtuigen dat de emissies van broeikasgassen door de mens de atmosfeer warmer maken. Klimaatmodellen ontwikkeld door het Amerikaanse ruimteagentschap NASA schatten dat de aarde nu bijna één watt per vierkante meter meer absorbeert dan ze uitstraalt. Dat is een aanzienlijke hoeveelheid. Je kunt een lamp van 60 watt laten branden op de extra energie geleverd door het aardoppervlak van een klein huis.

Niet zo duidelijk is of we die warmte ook echt voelen. Directe wereldwijde temperatuurmetingen gaan niet meer dan 150 jaar terug, en die wijzen erop dat negentien van de twintig warmste jaren na 1980 vallen en dat de vijf warmste jaren allemaal van na 1998 dateren. Zouden de thermometers ons misleiden? Dat hoort tot de mogelijkheden. Die temperatuurmetingen maken immers geen deel uit van een formeel planetair monitoringsysteem – het zijn gewoon de gegevens die toevallig voorhanden zijn.

Twee belangrijke kritiekpunten worden tegen deze temperatuurmetingen ingebracht. Eén is dat satellietensoren en instrumenten in weerballonnen die in de atmosfeer worden opgelaten de resultaten van de oppervlaktethermometers niet bevestigen. Die gegevens wijzen erop dat, of de lucht aan de oppervlakte nu opwarmt of niet, de warmte in elk geval niet door de onderste tien kilometer van de atmosfeer – de zogenaamde troposfeer – dringt, zoals de klimatologen voorspellen. Als dat waar is, dan is het erg verontrustend, zegt Steve Sherwood, een meteoroloog van Yale University in Connecticut die een boek over het probleem heeft geschreven. ‘Dat zou lelijk zijn voor onze kennis van de atmosfeer.’

Het zal niet verbazen dat sceptici verwoed hebben geschermd met het idee dat de satellieten ‘bewijzen’ dat de oppervlaktethermometers het bij het verkeerde eind hebben. Ho, ho, niet zo snel, zegt Sherwood. De satellietdata zijn onbetrouwbaar omdat ze de temperatuur meten in de luchtkolom onder de satelliet en niet gemakkelijk onderscheid

kunnen maken tussen de troposfeer, die zoals verwacht opwarmt, en de stratosfeer, die zou moeten afkoelen omdat minder warmte aan de lagere atmosfeer ontsnapt. Verder leveren satellieten geen directe metingen zoals thermometers. De temperatuur moet worden afgeleid van andere waarden, waardoor fouten ontstaan. De onderzoekers die de instrumenten runnen gaan ervan uit dat de uitkomsten schommelen. Elke week, zegt Sherwood, ijken ze hun satellietmetingen aan de hand van gegevens van weerballonnen. In feite zijn de gemiddelden op lange termijn van de satellieten dus afgeleid van de gegevens van weerballonnen.

En hoe goed zijn de data van weerballonnen? Daar vond hij tot zijn verrassing een kardinale fout – kardinaal in elk geval voor iedereen die wel eens een thermometer in de zon heeft laten staan. De ultraviolette straling van de zon drijft de waarde van de thermometer constant op zodat die niet langer de temperatuur van de lucht meet. De ware luchttemperatuur kan alleen gemeten worden in de schaduw, ongehinderd door de directe zonnestraling. Thermometers op weerballonnen, zo blijkt, zijn niet anders. Het zijn ‘in feite goedkope thermometers die simpel worden afgelezen door een elektrisch circuit,’ zegt Sherwood. Ook die geven afwijkende waarden in de zon.

Kort geleden hebben de meteorologen dit probleem verholpen door de thermometers op weerballonnen in een witte plastic behuizing af te schermen. Maar dertig jaar geleden werd dat vrijwel nooit gedaan. Sherwood concludeert dat ‘vooral in de jaren 1960 en 1970 de waarden te hoog waren doordat de zon direct op de instrumenten scheen’. En dat, zegt hij, is de meest waarschijnlijke verklaring voor het feit dat ballonmetingen geen opwarmingstrend te zien geven.

Twee andere zaken bevestigen die interpretatie. Ten eerste doet het probleem van afwijkende waarden zich niet voor als de zon niet schijnt, dus de nachtelijke waarden uit de jaren 1960 en 1970 moeten betrouwbaar zijn. En inderdaad, de nachtelijke ballonwaarden over de afgelopen dertig jaar laten

wel een opwarmingstrend zien. En ten tweede, de waarden van zowel de weerballonnen als van de satellieten tonen een sterke afkoeling in de stratosfeer – wat alleen waarschijnlijk is als er echt meer warmte in het gebied daaronder, in de troposfeer, wordt vastgehouden.

De tweede serieuze kritiek op de trends in de oppervlaktetemperatuur is dat de metingen met behulp van thermometers aan het aardoppervlak beïnvloed zijn door de groei van steden. Het beton en asfalt van steden houdt meer warmte vast dan landelijke gebieden, vooral 's nachts. Het argument is dat in de loop der tijd steeds meer plaatsen waar de temperatuur werd gemeten tot de stedelijke gebieden zijn gaan behoren en dat de temperatuurstijging een afspiegeling van de verstedelijking is en geen echte opwarming. Het 'stedelijk warmte-eiland', zoals onderzoekers het prozaïsch noemen, is zonder meer reëel. Steden houden inderdaad warmte vast. Maar heeft dat invloed op de data wereldwijd?

Dat is niet waarschijnlijk. De invloed van het 'stedelijk warmte-eiland' kan niet verklaren waarom de grootste opwarming boven de oceanen is gemeten en ook niet waarom de grootste opwarming heeft plaatsgevonden in de poolstreken, die ver weg liggen van de grote bevolkingscentra. De sceptici zouden wat dit betreft definitief tot zwijgen moeten zijn gebracht door een mooi stukje onderzoek dat in 2004 werd gedaan door David Parker van het Hadley Centre for Climate Prediction, onderdeel van het Britse meteorologisch instituut in Exeter. Hij redeneerde dat het effect van het stedelijk warmte-eiland het sterkst moest zijn bij windstilte, dus als de wind de warmte van de steden niet kan verspreiden. Hij splitste de historische temperatuurdata op in twee gedeeltes: een deel met de temperaturen gemeten bij windstilte en een ander met de temperaturen gemeten als het waaide. Hij vond geen verschil. Dus hoewel niemand het effect van het 'stedelijk warmte-eiland' ontkent, is dat niet voldoende om de betrouwbaarheid van de wereldwijde trend in thermometerwaarden te ondergraven.

Er zijn nog andere meningsverschillen tussen de klimatologen en hun critici die we onder de noemer ‘secundair’ kunnen scharen, omdat ze gaan over indirecte aanwijzingen voor klimaatverandering. Is het bijvoorbeeld waar dat de temperaturen aan het eind van de twintigste eeuw echt hoger waren dan ooit in de afgelopen duizend jaar? Dat werd voor het eerst beweerd door de Amerikaanse onderzoeker Michael Mann. Hij produceerde een controversiële grafiek die de ‘hockeystick’ werd genoemd en die gebruikmaakte van data van jaarringen in bomen en andere indirecte bronnen om aan te tonen dat het afgelopen decennium 950 jaar van stabiele temperaturen telde, met aan het eind een plotselinge verhoging. De feiten, zoals we later in detail zullen zien, lijken Mann gelijk te geven. Maar hoe de discussie ook verder verloopt, hij verandert niets aan de basisfysica van het broeikaseffect. En in elk geval kunnen we voor de zaak van het klimaat in de toekomst niet aankomen met het argument dat het klimaat in het verleden niet veranderde. Dat deed het zeer nadrukkelijk wel. Zoals ik in dit boek zal betogen, kunnen we geen troost putten uit de veranderlijkheid van het verleden. Integendeel.

Er is ook ruimte voor twijfel over de oorzaak van de temperatuurverhoging in de afgelopen 150 jaar, die, afhankelijk van hoe je het gemiddelde over de laatste jaren neemt, gesteld wordt op een gemiddelde stijging van tussen de 0,6 en 0,8 graden C wereldwijd. De opwarming zelf is reëel genoeg, maar dat betekent niet noodzakelijk dat die te wijten is aan de mens. Er zou een natuurlijke oorzaak voor kunnen zijn.

Eén argument is dat de opwarming grotendeels te danken is aan het feit dat de aarde in de laatste 150 jaar meer straling van de zon heeft ontvangen. Dat argument werd, in 1991, het best onderbouwd door de Deense wetenschappers Knud Lassen en Eigil Friis-Christensen. Ze vonden een correlatie tussen zonnevlekkenactiviteit – die historisch de energie-emissie van de zon weerspiegelt – en de temperatuurveranderingen op aarde na 1850. Statistische correlaties in de tijd

zijn berucht lastig, omdat ze toevallig kunnen zijn, maar de correlaties van de Denen leken overtuigend, en prominente sceptici beriepen zich erop. Recentere data hebben Lassen er echter van overtuigd dat de jongste klimaatverandering niet door zonneactiviteit kan worden verklaard. Als gevolg van de verminderde zonnevlekkenactiviteit na 1980 zou de temperatuur op aarde hebben moeten dalen, maar in plaats daarvan is die sterker dan ooit gestegen.

Vooraf deze laatste controverse is door de bank genomen gunstig geweest voor de wetenschap, en de sceptici kunnen op dit punt 'gelijk spel' claimen. De klimatologen schreven tot dan toe alle opwarming van de aarde na 1850 toe aan het broeikas-effect, maar nu geven ze toe dat zo'n 40 procent waarschijnlijk te wijten was aan de zon. Veranderingen in de straling van de zon waren bijvoorbeeld misschien wel de belangrijkste oorzaak van de aanzienlijke opwarming van de aarde in de eerste helft van de twintigste eeuw. Maar de zonneactiviteit kan de dramatische opwarming na 1970 totaal niet verklaren.

Beide partijen speelden nog één kaart uit. Op websites van sceptici verschijnen regelmatig temperatuurcurven van plaatsen die geen opwarming te zien geven en die suggereren dat het hele idee van opwarming van de aarde een mythe is. Dat is duidelijk onzin: ze kiezen hun data zorgvuldig uit. Maar de klimatologen treft haast evenveel blaam wanneer ze willekeurig elke plaatselijke opwarming toeschrijven aan een wereldwijde trend, terwijl bekende plaatselijke klimaatcycli een waarschijnlijker oorzaak zijn. Het is nog steeds een goede zaak om plaatselijk 'wachttorens' te bouwen in gebieden op aarde, zoals de poolstreken, waarvan bekend is dat ze gevoelig zijn voor klimaatverandering. In hoofdstuk 5 zullen we er een van bezoeken. Maar ze zullen nooit een ondubbelzinnig bewijs kunnen leveren van wereldwijde verandering, omdat de algehele opwarming van de aarde natuurlijke variaties in lokale klimaatsystemen niet uitsluit. Wat zo opmerkelijk is aan de recente trends is niet lokale gebeurtenissen,

maar het wereldwijde karakter van de opwarming. Vrijwel geen gebied van onze planeet wordt gespaard. Het verschil is dat natuurlijke schommelingen voor het merendeel alleen maar de warmte herverdelen, maar het broeikas-effect pompt meer energie in het hele klimaatsysteem. Dat veroorzaakt hier en daar afkoeling en ander afwijkend weer, maar voor het grootste deel een krachtige opwarming.

Om de huidige stand van zaken samen te vatten: de wereldwijde trend is reëel. Er is geen enkel natuurlijk fenomeen dat de halve graad opwarming kan verklaren die we in de afgelopen dertig jaar hebben gezien. Het is zelfs zo dat natuurlijke veranderingen, zoals zonnecycli, voor een lichte afkoeling van de aarde zouden hebben moeten zorgen. Alleen met een heel erge kronkelredenering zouden we aan de conclusie kunnen ontsnappen dat de hand van de mens zichtbaar is in de klimaatverandering. Ja, elke andere conclusie zou in strijd zijn met een van de kernprincipes van de wetenschap. De veertiende-eeuwse Engelse filosoof William Ockham bedacht het principe dat 'het scheermes van Ockham' wordt genoemd en dat stelt dat de eenvoudigste en meest directe verklaringen voor verschijnselen de beste zijn. Een verandering in de broeikasgassen is de eenvoudigste en meest directe verklaring voor de klimaatverandering.

Maar dat is niet het einde van het verhaal. Hoewel we er zeker van kunnen zijn dat meer broeikasgassen in de atmosfeer voor meer opwarming zorgen, blijven er grote onzekerheden over hoe onze planeet zal reageren. Het bepalen van de gevoeligheid van de gemiddelde temperatuur op aarde voor toegevoegde krachten – of dat nu een verandering in de zonnestraling of de accumulatie van broeikasgassen is – behelst grotendeels het uiteenrafelen van de voornaamste feedbacks (terugkoppelingen), de processen die door een gewijzigd klimaat worden veranderd en die op hun beurt het klimaat weer beïnvloeden. Positieve feedback vergroot en versterkt de verandering, met het risico van een op hol slaande ontwikke-

ling – het klimatologische equivalent van een rondzingende fluittoon in een geluidsinstallatie. Negatieve feedback werkt in de tegenovergestelde richting en tempert of neutraliseert de verandering zelfs.

De huidige klimaatmodellen zeggen mét Arrhenius dat de aarde de opwarming zal versterken. Maar sommige sceptici – die welke wetenschappelijk wat beter onderlegd zijn – betogen dat de natuur over grote stabiliserende krachten beschikt die als negatieve feedback zullen fungeren en een klimaatverandering tegenhouden. Ze zijn het lang niet eens over hoe dat dan werkt. Sommigen zeggen dat een warmere aarde een bewolktere aarde zal zijn, die dus meer schaduw geeft tegen de zon. Anderen, zoals de gezaghebbende meteoroloog Richard Lindzen van het MIT, hebben betoogd dat de hogere regionen van de troposfeer in feite droger kunnen worden en daardoor het natuurlijke broeikaseffect van waterdamp verminderen. Veel van die argumenten komen voort uit legitieme onzekerheden onder klimatologen, hoewel gezegd moet worden dat sommige negatieve feedbacks, zoals bewolking, die de sceptici voorstellen net zo goed in krachtige positieve feedbacks kunnen veranderen, waardoor de prognoses van het IPCC aan de magere kant blijven.

Wat moeten we hiermee? Feit is dat de wetenschappelijke consensus over de basisfysica van de opwarming van de aarde er verrassend weinig door is aangetast. Wetenschapshistorica Naomi Oreskes van de University of California in San Diego heeft bijna duizend *peer-reviewed* artikelen over klimaatverandering doorgeloopt die tussen 1993 en 2003 gepubliceerd zijn, en ze vond een reële en vrijwel volledig consensus. ‘Politici, economen, journalisten en anderen mogen dan de indruk hebben dat er verwarring en onenigheid heerst onder klimatologen, maar dat is onjuist,’ concludeerde ze. De meningsverschillen gingen voornamelijk over details. De consensus, van Tyndall via Arrhenius tot het IPCC, leeft voort.

Maar voor de diehard scepticus is natuurlijk elke wetenschappelijke consensus fout. Die vindt dat de duizenden we-

tenschappers die achter de modellen van het IPCC staan ofwel bezweken zijn voor hun eigen van doemdenken vervulde verhaal, of deelnemen aan een gigantische samenzwering. Hoe groter de consensus, hoe duivelser de samenzwering, zo denken zij. Klimatoloog en *loner* Pat Michaels van de University of Virginia in Charlottesville zegt dat we geconfronteerd worden met wat de wetenschapsfilosoof Thomas Kuhn een ‘paradigmaprobleem’ noemde. Michaels, die tevens de ‘staatmeteoroloog’ van Virginia is, een van de grootste koolproducenten van Amerika, en daarnaast consultant voor een groot aantal fossiele-brandstofondernemingen, zegt: ‘De meeste wetenschappers zijn hun hele leven bezig de heersende wereldvisie te bevestigen – het dominante paradigma – en degenen die het er niet mee eens zijn, zijn altijd geringer in aantal.’ De hang naar conformiteit wordt nog geaccentueerd door de *peer review*, die ervoor zorgt dat alleen artikelen die het paradigma steunen in de onderzoeksliteratuur terechtkomen, en door de openbare financiering, die geld spendeert aan onderzoek naar het heersende ‘doemparadigma’.

Zelfs al ga je mee in deze cynische kijk op het wetenschappelijk bedrijf, dan nog betekent dat niet dat de orthodoxie het altijd mis heeft. Het feit dat wetenschappers universeel van mening zijn dat de wereld rond is maakt hem nog niet plat. Veel bezwaren die nu worden ingebracht tegen het paradigma van de opwarming van de aarde werden ooit ingebracht tegen de ‘aids-industrie’, door mensen die bestreden dat het hiv-virus aids veroorzaakte. Ze hadden lange tijd een aantal regeringen aan hun kant, en de burgers van die landen moeten nu leven met de consequenties. Waar zijn die sceptici nu? Sommigen van hen verheffen hun stem tegen klimaatverandering.

Maar desondanks vind ik dat de sceptici belangrijk zijn voor de klimatologische discussie. De hang naar consensus bergt altijd het gevaar in zich dat de mainstream wetenschappers oogkleppen op hebben. Daardoor worden niet alleen argumenten van sceptici aan de kant geschoven, maar

net zo goed uitkomsten verdoezeld van een aantal ‘wilde’ klimaatmodellen die steeds weer omslagpunten voorspellen die onze wereld in heel wat gevaarlijker vaarwater zouden kunnen brengen dan op dit moment door de mainstream wordt voorspeld. Eén wetenschapper vertelde me in 2005 in de wandelgangen van een conferentie: ‘Door die buitenstaanders te negeren heeft het IPCC tien jaar lang verzuimd de mogelijke gevolgen te onderzoeken van een extremere klimaatverandering.’

Dus in weerwil van hun soms cynische motieven hebben de sceptici met hun aanvallen op de orthodoxie van het IPCC een nuttige rol vervuld. Net als in de politiek heeft elke regering een stevige oppositie nodig. En hoewel de argumenten van de sceptici vaak opportunistisch en persoonlijk waren, hebben ze wel de verlammeende werking gesignaleerd van het streven naar consensus. Ze helpen minstens de goeden zuiver te houden. Jammer alleen dat ze hun werk niet beter hebben gedaan en niet een degelijker wetenschappelijke aanpak hebben gekozen in plaats van lege retoriek te bezigen. En in hun ijver om de theorie van klimaatverandering onderuit te halen hebben ze één alarmerende mogelijkheid over het hoofd gezien: dat het IPCC de bedreiging waarvoor de wereld staat misschien onderschat in plaats van overschat.

3 Het jaar

Hoe het stormachtige weer van 1998 alle records brak

Lidia Rosa Paz had het niet meer. Ze pakte mijn arm en wees wanhopig naar de woeste rivier. Daar, ongeveer 50 meter in het water, was de plek waar ze de dag tevoren nog had gewoond. Op de avond van 28 oktober 1998 werd de krottenwijk Pedro Dias van de stad Choluteca in Honduras, waar ze woonde, door het water weggespoeld en vonden ruim honderd mensen de dood. Lidia had het overleefd, maar al haar bezittingen waren verdwenen. ‘Wat moet ik nu doen?’ vroeg ze. Ik had geen antwoord.

Haar verhaal was maar een van de vele over die nacht toen overstromingen en landverschuivingen het kleine Midden-Amerikaanse land uiteenscheurden en meer dan duizend Hondurezen de dood vonden en twee miljoen dakloos raakten. Het was de nacht dat de orkaan Mitch, de meest verwoestende orkaan in 200 jaar op het Amerikaanse werelddeel, aan de deur klopte en in een paar uur tijd regen voor een heel jaar over het land uitstortte. Choluteca ligt in Zuid-Honduras, aan de kust van de Stille Oceaan, ver van het normale gebied van de Caribische orkanen. Toen de radio die avond een stormwaarschuwing gaf, had Lidia noch iemand van haar burens daar veel aandacht aan geschonken. ‘Hier komen nooit orkanen,’ zei ze tegen me. Of althans, dat deden ze nooit.

Ik was in Honduras een paar weken nadat de orkaan had toegeslagen. De verwoesting was verschrikkelijk. De rivieren die naar de hoofdstad Tegucigalpa in het bergachtige hart van het land stroomden waren buiten hun oevers getreden en hadden hele leefgemeenschappen weggevaagd. Een landver-

schuiving die op de wijk Miramesi neerkwam doodde duizend mensen. Een andere stopte vlak voor de Amerikaanse ambassade. Overal in het land traden rivieren buiten hun oevers en vaagden hele steden weg. En onverwachte overstromingen op steile hellingen begroeven hele leefgemeenschappen onder de modder. Zestig procent van alle bruggen in het land werd vernield, tezamen met een kwart van de scholen en de helft van het bouwland, waaronder bijna alle bananenplantages. De eerste bezoekers aan de zuidelijke stad Mordica rapporteerden dat 'je alleen nog de spits van de kerktoren kunt zien'. Ministers zeiden dat de klok van de economische ontwikkeling van het land twintig jaar terug was gezet.

Voor tientallen miljoenen mensen in de hele wereld is het geweld van Mitch een veeg teken. Veel klimatologen denken dat Mitch, een ziedende orkaan die nog werd aangewakkerd door het warme zeewater waaraan hij enorme hoeveelheden energie onttrok, een product was van de opwarming van de aarde. En een teken voor wat honderden miljoenen mensen over de hele wereld te wachten kan staan die in rivierdalen wonen waar gemakkelijk overstromingen kunnen plaatsvinden. Of die aan de kust wonen, of op ontboste berghellingen met gevaar voor landverschuivingen, en voor miljoenen meer die nog niet weten dat ze kwetsbaar zijn in dit nieuwe tijdperk van hyperweer. Mensen als Lidia.

Degenen die niet geloven dat de opwarming van de aarde een reële en gevaarlijke bedreiging is moeten maar eens naar plaatsen als Choluteca gaan en met mensen als Lidia praten. Misschien worden ze er niet door overtuigd dat de klimaatverandering voor superorkanen en megaoverstromingen zorgt, maar wel zullen ze met eigen ogen de kracht van de ongetemde natuur zien en de ramp voor de mens wanneer het weer zijn gebruikelijke ketenen slaakt. Voor honderden miljoenen mensen is dit niet langer een kwestie van computermodellen of discussies in de wandelgangen van congressen, of prognoses. Het gaat nu om mensenlevens, om doden.

De vraag is niet: Kunnen we bewijzen dat gebeurtenissen als Mitch veroorzaakt worden door klimaatverandering? De vraag is: kunnen we het ons veroorloven dat het waar is?

Het jaar 1998 was het warmste van de twintigste eeuw, waarschijnlijk van het hele millennium. Het was ook een jaar van uitzonderlijk stormachtig weer en weinigen betwijfelen dat die twee met elkaar te maken hadden. Afgezien van de stormen was dat ook het jaar waarin het niet regende in de regenwouden. Bosbranden van ongekeerde felheid trokken verscheurend door de kurkdroge jungles van Borneo en Brazilië, Peru en Tanzania, Florida en Sardinië. Nieuw-Guinea beleefde de ergste droogte in honderd jaar en duizenden mensen kwamen om van de honger. Oost-Afrika kreeg de ergste overstromingen in vijftig jaar te verduren – in de droge tijd. Oeganda was dagen van de rest van de wereld afgesneden, en een groot deel van de woestijn ten noorden van het gebied overstroomde. Mongoolse nomaden vrozen dood als gevolg van de ergste sneeuwval in vijftig jaar. Modderstromen spoelden huizen van de kliffen in de woestijnstaat California.

In Peru raakten miljoenen dakloos als gevolg van overstromingen aan de kust, waar het vaak jarenlang niet regent. Het waterpeil in het Panamakanaal was zo laag dat er geen grote schepen doorheen konden. Ijsstormen vernielden elektriciteitsleidingen in heel New-England en Quebec, waardoor duizenden mensen wekenlang zonder stroom kwamen te zitten. De koffieoogst mislukte in Indonesië, de katoen ging dood op het veld in Oeganda en de visvangst daalde vrijwel naar nul in de oostelijke Stille Oceaan. Ongekend warm zeewater zorgde ervoor dat in de hele Indische en Stille Oceaan de kleine algen die koraal hun kleur geven met miljarden tegelijk van de riffen verdwenen, waardoor alleen de bleke skeletten van dood koraal achterbleven.

Allemaal toeval? Niet volgens het IPCC. De schade werd deels veroorzaakt door een heftige manifestatie van een natuurlijk cyclisch klimaatverschijnsel in de Stille Oceaan dat

El Niño wordt genoemd. Om de paar jaar veroorzaakt dat een omkering van de wind- en waterstromen in de equatoriale Stille Oceaan, zodat het een paar maanden lang regent in droge gebieden, en streken die normaal regen krijgen droogvallen. Maar zoals we in hoofdstuk 30 zullen zien komen er steeds meer aanwijzingen dat de El Niño's krachtiger en frequenter worden als gevolg van de opwarming van de aarde. Dat past waarschijnlijk in een patroon geïdentificeerd door het IPCC waarin het weer in de hele wereld steeds extremer en onvoorspelbaarder wordt naarmate hij opwarmt. En 1998, het warmste jaar tot dan toe, was een voorbeeld van die trend.

De warmte intensificeert de hydrologische cyclus. De gemiddelde jaarlijkse regenval wereldwijd steeg met 10 procent in de twintigste eeuw, omdat door de opwarming de verdamping toenam. Plaatselijk is de trend zelfs nog sterker. De overstromingen die Mozambique in 2000 troffen ontstonden doordat de maximale dagelijkse regenval in dat land met vijftig procent was gestegen. In het oosten van de Verenigde Staten is de proportie regen die in zware hoosbuien valt met een kwart gestegen. In Groot-Brittannië komt twee keer zoveel van de winterregen in zware buien neer als in de jaren 1960. Soortgelijke patronen doen zich voor in Australië, Zuid-Afrika, Japan en Scandinavië. Zelfs de Aziatische moessons zijn intenser maar minder voorspelbaar geworden. Veel wetenschappers spraken in 2007 de vrees uit dat de extreme overstromingen rond de Sahel ook in verband stonden met het warmere klimaat. Tegelijkertijd zijn droge gebieden in de binnenlanden van de continenten droger geworden, waardoor de woestijnen zich uitbreiden. Het jaar 1998 was het eerste in een reeks jaren van intense droogte die zich uitstreckte van het westen van de Verenigde Staten tot de Middellandse Zee en Azië.

Ten tijde van het schrijven van dit boek is nog geen jaar zo warm geweest als 1998 – en geen jaar zo stormachtig – al kwam 2005 er dichtbij. Tenzij je natuurlijk getroffen werd

door een van de record tropische stormen in de noordelijke Atlantische Oceaan in 2005. Als je wilt weten hoe het eerste stadium van klimaatverandering er ongeveer uitziet, moet je naar 1998 kijken. Maar de gebeurtenissen van één jaar zeggen niet veel, dus laten we een stap terug doen en naar het hele plaatje kijken...

4 Het antropoceen

Een nieuwe naam voor een nieuw geologisch tijdperk

Welkom in het antropoceen. Dit is een nieuw geologisch tijdperk, dus kijk maar eens goed om je heen. Eén soort is de baas over de planeet en verandert die haast naar believen. Wat ligt dan meer voor de hand dan dit tijdperk naar de top-antropoïde, naar onszelf, te benoemen? De term werd in 2000 bedacht door de Nederlandse Nobelprijswinnaar Paul Crutzen, een atmosferisch chemicus die daarmee de laatste twee eeuwen van de evolutie van onze planeet beschreef. ‘Ik was op een conferentie waar iemand iets zei over het holoceen, de lange periode met een relatief stabiel klimaat na de laatste ijstijd,’ vertelde hij me later. ‘Ik bedacht ineens dat dat fout was. De wereld is te veel veranderd. Dus ik zei: “Nee, we bevinden ons in het antropoceen.” Ik bedacht dat woord ter plekke. Iedereen was geschokeerd. Maar zo te zien is het blijven hangen.’

De naam slaat aan bij een nieuw slag wetenschappers die zich bezighouden met aardsystemen – hoe onze planeet functioneert. Niet alleen de klimaatsystemen, maar ook verschijnselen die ermee te maken hebben, zoals de koolstofkringloop op het land en in de zee, de stratosfeer en zijn ozonlaag, de oceaanstromingen en het ijs van de cryosfeer. En die zijn tot de overtuiging gekomen dat het huidige functioneren van een aantal van die systemen op het punt staat het te begeven als gevolg van menselijk ingrijpen. Als dat waar is, dan is de geleidelijke opwarming van de aarde die door de meeste klimaatmodellen voor de komende eeuwen wordt voorspeld wel het minste van onze problemen.

De grote nieuwe ontdekking is dat de planeet aarde in het algemeen niet aan geleidelijke veranderingen doet. Hij is veel

grover en gemener, zegt Will Steffen, een Australische expert in klimaat- en koolstofcycli die van 1998 tot 2004 directeur was van het International Geosphere Biosphere Programme, een internationaal researchinstituut dat zich bezighoudt met het onderzoek van aardsystemen. Het is een kalme man die niet houdt van overdrijving, maar als het over klimaatverandering gaat komt hij stevig uit de hoek. ‘Abrupte verandering schijnt de norm en niet de uitzondering te zijn,’ zegt hij. Wij zijn tot een vals gevoel van veiligheid verlokkt door het relatief rustige klimaat waarin onze moderne complexe beschaving heeft kunnen groeien en bloeien. Die veiligheid heeft ons onvoorbereid en kwetsbaar gemaakt nu we een nieuw tijdperk van abrupte verandering ingaan.

We zijn ook blind geweest, zegt hij, voor de schade die we aan onze planeet toebrengen. Vaak denken we dat onze invloed beperkt blijft tot afzonderlijke delen van het systeem: de gekapte regenwouden, de vervuilde oceanen en zelfs de hogere luchttemperatuur. Zelden beseffen we dat we door al die dingen tegelijk te doen de fundamentele planetaire systemen ondermijnen. Ooit moet er ergens iets knappen, zegt hij. ‘De aarde heeft misschien een achilleshiel. En als dat zo is, moeten we er gauw achter zien te komen wat dat is.’ Zonder die kennis en de wil om te handelen, zegt hij, zou het antropoceen wel eens heel treurig kunnen aflopen.

Een rapport van de Amerikaanse Academie van Wetenschappen uit 2002, tot stand gekomen onder voorzitterschap van Richard Alley van Penn State University – een glacioloog met het licht manische voorkomen van een ex-hippie, die regelmatig te gast is op Capitol Hill vanwege zijn vermogen om de klimatologie in gewone taal uit te leggen – liet een soortgelijke waarschuwing horen. ‘Recente wetenschappelijke data tonen aan dat er met verontrustende snelheid grote en wijdverbreide klimaatveranderingen hebben plaatsgevonden,’ zo begon zijn rapport. ‘Het nieuwe paradigma van een abrupt veranderend klimaatsysteem is door onderzoek in de afgelopen tien jaar stevig gefundeerd, maar dat

nieuwe denken is nog weinig bekend en wordt nauwelijks naar waarde geschat door de bredere gemeenschap van natuur- en menswetenschappers en door beleidsmakers.' Of, zoals Alley eraan toe had kunnen voegen, door de burgers van deze bedreigde planeet.

We hebben al één keer geluk gehad. Dat gebeurde twintig jaar geleden, toen er ineens een gat viel in de ozonlaag boven de Zuidpool en het beschermende schild tegen ultraviolette straling boven dat continent verdween. We hadden geluk dat het gebeurde boven de Zuidpool en dat het ontdekt werd voordat het te groot was geworden. Veel wetenschappers die meewerkten aan de ontrafeling van de oorzaak van dat ozongat – onder anderen Crutzen die daarvoor de Nobelprijs kreeg – zijn het felst in hun huidige waarschuwingen voor klimaatverandering. Zij weten hoe dicht we bij een ramp zaten.

Een andere groep die de gevaren van het antropoceen heel serieus neemt bestaat uit glaciologen zoals Alley. In de afgelopen tien jaar hebben ze ijskernen zowel van Groenland als van de Zuidpool geanalyseerd om de patronen van natuurlijke klimaatverandering in het verleden in kaart te brengen. De uitkomsten zijn huiveringwekend. Gebleken is bijvoorbeeld dat rond 12.000 jaar geleden, toen de laatste ijstijd op zijn einde liep en de ijskappen zich in heel Europa en Noord-Amerika terugtrokken, de opwarming onverwacht in de achteruit schakelde. Duizend jaar lang keerde de wereld terug naar de diepte van de ijstijd, om er vervolgens met zo'n vaart weer uit te komen dat, in de woorden van Alley, 'ruwweg de helft van de totale opwarming tussen de ijstijden en de postglaciale wereld in tien jaar tijd zijn beslag kreeg'. De wereld warmde in tien jaar tijd minstens vijf graden op – de voorspelling van het IPCC voor pakweg de komende honderd jaar. Dat is haast niet te geloven. Maar Alley en zijn collega-onderzoekers stellen dat de ijskernen dat laten zien.

Soortgelijke zigzag temperatuurveranderingen gebeurden herhaaldelijk tijdens de laatste ijstijd, en er waren nog meer

‘flikkeringen’ toen de planeet hortend naar een nieuwe post-glaciale wereld evolueerde. De mens uit de steentijd, die de U-bocht van het klimaat voor zijn kiezen kreeg, moet het daar moeilijk mee hebben gehad. De hemel mag weten hoe de moderne mensenmaatschappij zal reageren op zo’n verandering, waarbij we een Noord-Afrikaans klimaat in Londen krijgen, Mexicaanse temperaturen in New-England en meer dan een miljard mensen in India het zonder de moessons moeten doen waarvan ze leven.

De precieze oorzaak van de komst en het verdwijnen van de ijstijden is nog steeds onderwerp van heftige discussies. Maar het schijnt dat de 100.000-jarige cycli van ijstijden en interglacialen die een miljoen jaar hebben bestaan samenvielen met een kleine onregelmatigheid in de baan van de aarde. Het effect ervan op de zonnestraling die de aarde bereikt is miniem en het gebeurt geleidelijk. Maar op de een of andere manier vergroten de aardsystemen de invloed ervan en zetten een kleine afkoeling om in een abrupte vorst en een al even kleine opwarming in een plotselinge dooi. Bij die uitvergroting zijn zeker broeikasgassen betrokken, zoals Arrhenius lang geleden al vermoedde. De opmerkelijke wijze waarop temperaturen en kooldioxideniveaus gelijke tred hebben gehouden laat geen andere interpretatie toe. Er komen waarschijnlijk ook veranderingen in de oceaanstromingen bij, en temperatuurfeedbacks van aangroeiend en smeltend ijs.

We zullen later op dit raadsel terugkomen. Van belang is nu dat een kleine verandering in de opwarming van de planeet – een veel kleinere zelfs dan we nu door middel van de broeikasgassen bewerkstelligen – zulke overweldigende veranderingen tot gevolg kan hebben. Het lijkt erop dat de planeet afgeregeld is om in en uit ijstijden, en misschien ook andere toestanden, te schieten.

Volgens sommigen is die gevoelige schakelaar heel precies geconstrueerd. Will Steffen zegt dat miljoenen jaren lang het klimaat op aarde maar twee ‘stabiele toestanden’ heeft gekend: ijstijden en interglacialen. Daartussen waren geen

geleidelijke overgangen. De planeet sprong gewoon op een teken van de 'hobbel' in zijn baan van ijstijd naar interglaciaal en weer terug, zonder veel poespas. 'De planeet springt recht de braadpan in en glijdt hotsend en botsend naar de vriezer.' Steffen zegt dat de toestand van de ijstijden gekoppeld lijkt te zijn geweest aan een kooldioxidegehalte van 190 ppm, terwijl de interglaciale toestand, waarin onze wereld zich tot aan de Industriële Revolutie bevond, gekoppeld was aan ongeveer 280 ppm. Bij de snelle wisseling tussen de twee toestanden moeten ongeveer 200 miljard ton koolstof zijn herverdeeld tussen de oceanen, het land en de atmosfeer. Tijdens de ijstijden werd koolstof opgeslagen in de oceanen, waar het later weer uit tevoorschijn kwam. Niemand weet precies hoe of waarom. Maar de werking van die gevoelige schakelaar die de aarde naar een toestand doet springen die veel warmer is roept enkele kritieke vragen op over het antropoceen.

In de afgelopen twee eeuwen heeft de mens nog eens ongeveer 200 miljard ton kooldioxide in de atmosfeer gepompt, waardoor de hoeveelheid van dat gas met een derde werd verhoogd, van het stabiele interglaciale niveau van 289 ppm naar de huidige 383 ppm. Dat getal blijft met ongeveer 20 ppm per decennium stijgen. Dus de grote vraag is hoe de aarde zal reageren. De conventionele klimatologische theorieën sinds Arrhenius voorspellen dat een toenemende uitstoot van kooldioxide een gestage temperatuurstijging tot gevolg heeft. Dat is ook nog steeds de theorie van het IPCC. Maar Steffen ziet het anders: 'Als het zo is dat de ijstijd heen en weer beweegt tussen tweede stabiele toestanden, dan bewegen wij misschien in de toekomst naar een derde stabiele toestand.' Het zou kunnen, geeft hij toe, dat de natuur de verwachtingen van de klimaatsceptici laat uitkomen en het kooldioxidegehalte weer terugduwt naar 280 ppm, maar als ze dat deed, zouden we daar al aanwijzingen voor moeten hebben. En die hebben we niet. Waarschijnlijker is, besluit hij, dat de natuur het niveau opdrukt.

Andere deskundigen, onder wie Richard Alley, zijn niet overtuigd van de orde die Steffen het systeem toeschrijft. Alley vergelijkt het klimaatstelsel met 'een dronkaard die over het algemeen niets doet als je hem met rust laat, maar die onvoorspelbaar wordt als je hem port'. In zijn wetenschappelijke artikelen of rapporten gebruikt hij niet zulke beeldende taal. Dan heeft hij het over een 'chaotisch systeem' dat kwetsbaar is voor 'hefbomen' als gevolg van veranderingen in de zonnestraling of de broeikasgassen. 'Abrupte klimaatveranderingen kunnen altijd plaatsvinden,' zegt hij. Maar 'het bestaan van hefbomen vergroot het aantal mogelijke mechanismen voor abrupte verandering aanzienlijk'; en 'hoe sneller de hefboom tot stand komt, hoe waarschijnlijker dat de verandering die daaruit volgt abrupt is op de tijdschaal van menselijke economieën of aardse ecosystemen.' Dronkaards, met andere woorden, mogen onvoorspelbaar zijn, maar als je harder tegen ze schreeuwt of ze nog harder duwt, reageren ze nog wilder. Op dit moment geven wij onze dronkaard bovendien nog een extra glaasje.

De afgelopen 10.000 jaar, sinds het einde van de laatste ijstijd, zijn er ook klimaatveranderingen geweest. De Aziatische moesson schakelden aan en uit, woestijnen kwamen en gingen, Europa en Amerika schoten heen en weer van een middeleeuwse warme periode naar een kleine ijstijd. Geen van die gebeurtenissen is zo dramatisch geweest als het komen en weer gaan van de ijstijden zelf. En de meeste bleven beperkt tot afzonderlijke gebieden van de aarde. In hun kielzog zijn beschavingen opgekomen en ondergegaan. Maar desondanks heeft de mens er over het geheel genomen wel bij gevaren, hij heeft gewassen leren verbouwen, dieren leren temmen, rivieren kanaliseren, steden bouwen, wetenschap ontwikkelen, en uiteindelijk heeft hij de aarde geïndustrialiseerd.

Maar in het antropoceen zijn de regels van het spel aan het veranderen. Alley en Steffen zijn het erover eens dat de mens op dit moment de aardssystemen waar het leven van

afhankelijk is tot het uiterste uitput. Er staat meer op het spel, want wat er gebeurt is mondiaal. 'Als we het vroeger verpestten, konden we ergens anders naartoe trekken,' zegt Steffen. 'Maar nu hebben we geen uitweg meer. We hebben geen andere planeet.'

5 De wachttoren

Wachtlopen voor het klimaat op een pooleiland

Een kille wind waaide over de gletsjer. Kleine blauwe ijsbrokjes braken van het oppervlak en dreven door de fjord naar de oceaan. Een vreemde groene lichtstreep van een naamloos gebouw aan de waterkant flitste hoog door de lucht. En in de sneeuw achter ons liep een ijsbeer voorzichtig om een vreemde menselijke nederzetting heen die aan deze afgelegen fjord op de negenenzeventigste breedtegraad was gebouwd.

Ik was in Ny-Alesund, een internationale nederzetting van wetenschappers, die in de donker wordende herfstdagen uit minder dan dertig mensen bestond. Het geharde groepje bemande de arctische wachttoren aan de noordwestkust van Spitsbergen, het grootste eiland van een archipel van pool-einden die in het Noors *Svalbard* heet. Dat wordt beschouwd als een van de beste plaatsen om ooggetuige te zijn van een toekomstige klimaatramp. Ook al mogen ze hier graag kijken naar hun dvd van *The Day After Tomorrow*, waarin Hollywoodregisseurs New York hebben gecast als de plek die het eerst in een klimatologische chaos verzinkt, deze wetenschappers zijn ervan overtuigd dat het Ny-Alesund wordt. De plaats waar onze comfortabele wereld met een aangenaam klimaat wellicht zal eindigen. Waar de natuur wel eens zou kunnen beginnen met wraak nemen.

Ny-Alesund is een dorpje met gele, rode en blauwe huizen op twee uur vliegen van het meest noordelijke punt op het Europese vasteland. Het ligt dicht bij Groenland en de Noordpool dan Noorwegen, dat volgens een internationaal verdrag uit 1920 het beheer over Svalbard voert. Het heeft geschiedenis gemaakt. Dit was de plek waar de grote Noorse

ontdekkingsreiziger Roald Amundsen en graaf von Zeppelin hun tocht naar de noordpool begonnen, per schip, per watervliegtuig en in een reusachtig luchtschip dat hier werd gebouwd. Meer recent is het hoge noorden bekend geworden om zijn militaire afluisterposten, waar bemanningen in de ijsskoude stilte zaten te wachten op het eerste teken van een Russische of Amerikaanse atoomraket die over het ijs scheerde om New York of Moskou of Londen weg te vagen. Maar tegenwoordig is klimatologie daar de big business – wachten op de omslag die de wereld maakt. Jack Kohler van het Noorse Poolinstituut zegt: ‘Als je als eerste wilt zien hoe het klimaatsysteem van de aarde omschakelt, kun je waarschijnlijk het beste hier komen.’

Spitsbergen is al een van de epicentra van klimaatverandering. Een paar dagen lang in juli 2005 zetten de wetenschappers hun instrumenten aan de kant, trokken T-shirts en shorts aan en dronken bier bij de gletsjers in temperaturen die stegen tot de recordhoogte van 20 graden C – op slechts duizend kilometer van de noordpool. Zelfs eind september, toen de zon maar net boven de horizon kwam en de lange poolnacht zijn opwachting maakte, was de zee nog vrij van ijs en groeiden er tomaten in de kassen achter de keukens van het researchcentrum. Oudgedienden, zoals het hoofd van het centrum, Nick Cox, die sinds 1978 bijna elk jaar naar Ny-Alesund kwamen, verbazen zich over het tempo van verandering. ‘Ik sta er versteld van hoe ver de gletsjers zijn teruggetrokken en hoe het klimaat is veranderd,’ zegt hij. ‘Vroeger was het hier stil en helder en koud. Nu is het veel warmer en ook veel vochtiger, omdat de warme lucht meer vocht kan vasthouden.’

Op de foto's in het kleine museumpje van de nederzetting staan families die hier in de jaren 1930 in de kolenmijnen werkten. Dik ingepakt in warme kleren poseren ze aan de kust. Achter hen doemen gletsjers op die tegenwoordig nauwelijks nog te zien zijn, omdat ze zich vijf kilometer landinwaarts langs de fjord hebben teruggetrokken. De gletsjers

en ijskappen die nog steeds twee derde van Spitsbergen bedekken behoren tot de best bestudeerde in de wereld. En de glaciologen die op bezoek komen gaan elke keer weer met slechter nieuws naar huis. In de zomer van 2005 maten Britse glaciologen de nabij gelegen gletsjer Midtre Lovénbreen op en vonden dat hij in één week door smelting in de zon 30 centimeter hoogte had verloren. De gletsjer Kronebreen dumpst misschien wel een kwart kubieke kilometer ijs per jaar in de fjord.

Jack Kohler probeert een ‘massabalans’ van het ijs van Spitsbergen op te stellen. Hij berekent dat er nu per jaar 25 kubieke kilometer smeltwater in de oceaan loopt. Nog eens 4 kubieke kilometer gaan verloren door ijsbergen die langs een 1000 kilometer lange lijn van ijskliffen in zee plonzen. Hoogstens de helft van dit verlies wordt gecompenseerd door verse sneeuwval. Dat is een jaarlijks netto verlies van rond de 14 kubieke kilometer – een ontstellende hoeveelheid voor zo’n kleine eilandengroep, die waarschijnlijk alleen wordt overtroffen door het verlies dat de enorme ijskap die Groenland bedekt jaarlijks lijdt. En er komt nog meer, zegt Kohler. Veel gletsjers en ijskappen op Spitsbergen bevinden zich dicht bij het vriespunt en zijn ‘erg gevoelig voor heel kleine veranderingen’ in de temperatuur. Boorgaten in de permafrost tonen een ontstellende opwarming van 0,4 graden C in de afgelopen tien jaar. Nog een paar tienden van een graad kan catastrofaal zijn, zegt hij.

Ny-Alesund is een kosmopolitische gemeenschap, vooral in de zomer, met Noren en Duitsers, Zweden en Britten, Spanjaarden en Finnen, Italianen en Fransen, Russen en Amerikanen, Japanners en Chinezen en Koreanen. Het is er ook een tikje vreemd. Toen ik in de lege Koreaanse laboratoria wat uitrustingsstukken bekeek, trof ik er een paar Spaanse wetenschappers aan die zich daar met hun matrasjes hadden geïnstalleerd. Ze zeiden dat ze het logies in de compound niet konden betalen, maar ze konden ook hun werk aan het

meten van gletsjers niet opgeven. De Chinezen waren vertrokken voor de winter, maar ze hadden twee granieten leeuwen van 2 ton achtergelaten om de ingang van hun gebouw te bewaken. De week daarvoor was er een scheepslading Schotten gekleed in kilten op de kade verschenen met liters whisky, die een beetje kwamen recreëren terwijl ze de sedimenten onderzochten op de bodem van de fjord. En een paar mensen uit Yorkshire zonden een radiografisch bestuurd helikopter ter grootte van een klein hondje over de gletsjers om ze driedimensionaal in beeld te brengen.

Er zijn magnetometers en riometers en spectrofotometers waarmee de bovenste lagen van de atmosfeer worden onderzocht. Er zijn een hoop weerballonnen, er is een decompressiekamer voor duikers en zelfs een grote radiotelescoop die de straling van verre quasars met een zo grote nauwkeurigheid meet dat ze er de GPS mee kunnen corrigeren voor de effecten van continentale drift. De wetenschappers hier meten chloorfluorkoolstoffen (cfk's) en kooldioxide, kwik en ozon, waterdamp en radon. Ze bepalen de vingerafdruk van rook- en stofdeeltjes in de wind om te zien waar ze vandaan komen. Ze fotograferen het noorderlicht en zoeken naar methaan afkomstig van de smeltende toendra. Op sommige wolkenloze nachten zendt de Duitse onderzoeker Kai Marholdt een groene bundel laserlicht de hemel in om de chemie van de stratosfeer te onderzoeken. De toendra is bezaaid met zoveel wetenschappelijke instrumenten dat niemand precies weet wat nog gebruikt wordt en wat door lang geleden vertrokken wetenschappers is achtergelaten. Er zijn plannen om de boel op te ruimen, want rondtrekkende rendieren raken steeds weer in de kabels verstrikt.

Intussen komen de beren. Naarmate het zeeijs verdwijnt worden de ijsberen, die op het ijs op zehonden jagen, gedwongen aan land te gaan. Ze worden brutaal. Ze breken in de hutten in die over het eiland verspreid staan en die voor de wetenschappers bedoeld zijn die een nacht buiten op het ijs moeten doorbrengen. Ze zijn op zoek naar vlees, maar

ze zetten hun tanden in alles wat zacht is – matrassen en zelfs opblaasboten zijn aan flarden gereten. Iedereen in Ny-Alesund die eropuit trekt moet een vuurwapen dragen.

Het is allang bekend dat Spitsbergen extreem gevoelig is voor klimaatschommelingen. In het begin van de twintigste eeuw, toen een groot deel van het noordelijk halfrond een klein beetje opwarmde, steeg hier de temperatuur wel 5 graden C – waarschijnlijk meer dan waar ook op aarde. In de jaren 1960 daalde de temperaturen weer bijna net zoveel, maar sindsdien zijn ze weer gestegen naar het niveau van de jaren 1920, en het einde is nog niet in zicht. Klimatologen waarschuwen dat de opwarming hier niet gezien moet worden als een on-dubbelzinnig teken van klimaatverandering door toedoen van de mens. Maar wel schijnt Spitsbergen uniek gevoelig te zijn voor verschuivingen van de planetaire thermostaat. Het is een plaats waar feedbacks van het klimaat, zoals smeltend ijs en veranderingen in de wind en in de oceaanstromingen, extra hard aankomen. En wie weet wat de toekomst in petto heeft? Een paar honderd kilometer verderop in zee zouden de dagen van Wadhams laatste schoorsteen wel eens geteld kunnen zijn.

Spitsbergen is een plek om scherp in de gaten te houden, en niet alleen vanwege de klimaatverandering. De ozonlaag hier is ook in een kritieke toestand. Veel onderzoekers verwachten elk moment een reusachtig gat in de ozonlaag boven de Noordpool, net als vijftientig jaar geleden boven de Zuidpool. En dus prijkt er trots op het dak van het Noorse Poolinstituut, het grootste researchstation van Ny-Alesund, een glimmend stalen instrument met een grote naamplaat waarin staat gegraveerd dat de toeschouwer zich in het gezelschap bevindt van 'Dr. Dobsons Ozon Spectrofotometer Nr. 8', ofwel de Dobson Meter Nr. 8. De Britse meteoroloog Gordon Dobson, een van de eerste onderzoekers van de ozonlaag, bouwde zijn eerste spectrofotometer in 1931, in een houten hut vlak bij Oxford. Zijn achtste, gebouwd in 1935, kwam

noordwaarts naar Ny-Alesund en staat sindsdien continu op de hemel gericht om de ultraviolette straling te meten die door de atmosfeer dringt, waarmee indirect de dikte van de ozonlaag wordt gemeten.

Dobson bouwde uiteindelijk 150 van die machines. Ze vormen nog steeds het hart van het wereldwijde monitoring-systeem van de ozonlaag. Het werk dat ermee gedaan wordt werd als saai en routinematig beschouwd, tot iemand in het begin van de jaren 1980 een gat in de ozonlaag boven de Zuidpool ontdekte. Nu speuren Dobson Meter Nr. 8 en de man die hem bedient, Carl Petter Niesen, de hemel boven Ny-Alesund af om te zien of het verschijnsel zich hier herhaalt. Het instrument is het oudste en meest noordelijke in gebruik, en moet tegenwoordig een handje worden geholpen. Het heeft een dekbed en een klein verwarmingselement om te voorkomen dat het te koud wordt. Uniek hier is dat het niet is aangesloten op een computerlogger. Zelfs hartje winter gaat Carl Petter het dak op om de metingen met potlood in een groot logboek te noteren. Zo wordt tegenwoordig nog maar weinig wetenschap bedreven, maar de Dobson Meter, met zijn idiosyncratische maar continue logboek dat meer dan een halve eeuw beslaat, is onvervangbaar.

Dobson Meter Nr. 8 heeft nog geen echt gat in de ozonlaag ontdekt. Maar de onderzoekers hebben wel andere vreemde dingen in de chemie van de atmosfeer ontdekt. Spitsbergen, zo blijkt, ligt op de route van zure mist afkomstig van fabrieken in Siberië. Die mist komt in dunne, pannenkoekachtige luchtlagen vlak boven het ijs vast te zitten en verandert de stille lucht in een geel waas. Soms regent het hier kwik als de industriële vervuiling noordwaarts komt en onverwacht, binnen een paar minuten, op de sneeuw neerslaat.

Ook pesticiden komen in grote hoeveelheden, waarschijnlijk van de landbouwgronden in Azië. Ze condenseren in de koude lucht en worden geabsorbeerd door de schaarse poolvegetatie, waarna ze zich een weg omhoog in de voedselketen werken naar vissen en ijsberen en vogels. Maar de hoogste

concentraties komen voor in een meer op Bereneiland ten zuiden van de Svalbard-archipel, waar een grote kolonie alken huist. De chemische stoffen die in de poollucht geconcentreerd zijn, en vervolgens worden geconcentreerd in het voedselweb van de Noordpool, worden opnieuw geconcentreerd in de urine van de alken. Wat op het eerste gezicht zo ongeveer de minst vervuilde plek op aarde lijkt, blijkt een gifzomp te zijn.

Ny-Alesund is zo'n beetje het dichtst bij de top van de wereld waar je nog niet onder een tentdak hoeft te leven. En de top van de berg Zeppelin, 500 meter boven de nederzetting, is de top van de top van de wereld – de ultieme wachttoren voor het wereldklimaat. Ik ging naar die top in de noordelijkste kabelbaan van de wereld, samen met Carl Petter die zijn dagelijkse trip maakte naar de enorme batterij instrumenten die bedoeld zijn om elke molecule die door de poollucht gaat te detecteren. De laatste tijd, zegt hij, is de hoeveelheid kooldioxide in de lucht rond de berg Zeppelin veel sterker gestegen dan rond andere meetstations in de wereld. Er zijn dagen dat hij 390 ppm meet, een volle 10 ppm boven het wereldgemiddelde (stand 2005). Er is altijd een beetje onzekerheid in de metingen, maar het ziet er naar uit, zegt hij, dat snelstijgende emissies van krachtcentrales en auto's in China en India noordwaarts op de wind worden meegevoerd, samen met het kwik en de pesticiden en de zure mist. Het was niet de eerste keer dat hij hier op het dak van de wereld een glimp van de toekomst opving.

