

## 7 DE RAMEN SLUITEN ZICH

Tijdens een rondreis door Oost-Afrika in 1983 bezocht ik samen met een vriend het Amboseli-wildpark in zuidelijk Kenia. We waren laat op de dag in een minuscule, gehuurde Suzuki vanuit Nairobi vertrokken en kwamen pas tijdens de schemering bij het park aan. Nadat we bij de eenzame beheerder aan de poort ingecheckt hadden, reden we verder naar het kampeerterein dat heel attent op onze kaart omcirkeld was. De nacht viel terwijl we over de onverharde weg stuiterden en met zaklantaarns naar het kamp zochten.

We kwamen niemand tegen, maar we waren niet alleen. Nadat we een halfuur gereden hadden, stopten we bij een viersprong. Terwijl we naar links draaiden, verlichtten onze koplampen een olifant die de weg blokkeerde. We reden achteruit, keerden om en begonnen aan de volgende weg. Maar ook hier werden we door olifanten tegengehouden. Waar we ook heenredden, overal tekenden olifanten zich in de inktzwarte nacht groots en afschrikwekkend tegen het licht van onze koplampen af.

We hadden het voor elkaar gekregen om midden in een grote kudde te stranden, en de dieren leken zich steeds meer aan ons onbeduidende autootje te storen dat onophoudelijk heen en weer zoefde. Uiteindelijk manoeuvreerden we onze mini-Suzuki pal onder de slagtang van een enorme mannetjesolifant door. Terwijl we langs hem heen schoten, verhief hij zich op zijn achterpoten en trompetterde – een machtig geloei net naast mijn hoofd, waardoor ik allerlei angstkreten over mijn vriend uitstortte.

Met de kudde veilig achter ons – of dat dachten we althans – vonden we uiteindelijk de camping. Tegen die tijd was het pikdonker, dus zetten we de tent zo snel mogelijk in het licht van de koplampen op, kropen we in onze slaapzakken en vielen in slaap. Rond middernacht kwam de kudde op het kampeerterein aan. Tot de volgende morgen bleven de dikhuiden bij ons in de buurt rondhangen, terwijl ze het omringende struikgewas afschuurden en soms op niet meer dan een paar meter van onze tent takken van bomen rukten.



De Kilimanjaro bij zonsopgang in april 1983.

Onze slapeloze nacht werd ruimschoots vergoed door wat we de volgende ochtend vroeg voorgeschooteld kregen. Terwijl we behoedzaam uit onze tent kropen, vonden we de olifanten in het landschap opgesteld, waaronder twee babyolifantjes naast een acaciaboom op krap vijftig meter bij ons vandaan. En naar het zuiden, net over de grens met Tanzania, torende de Kilimanjaro zes kilometer boven de Afrikaanse savanne uit. De met ijskappen bedekte oude vulkaan gloeide op in het roze ochtendlicht.

De aanblik was betoverend. Terwijl we in de koele ochtendlucht naast onze tent stonden, omringd door olifanten, onze blik op de Kilimanjaro gericht – zo helder afgetekend in het opkomende zonlicht dat het leek alsof we hem zo konden aanraken – wisten we dat dit een van die zeldzame momenten in je leven is. Al konden we op dat moment nog niet weten hoe kostbaar het precies geweest was. Op een dag zouden we onze kinderen en kleinkinderen kunnen vertellen dat we de gletsjers op de hellingen van de Kilimanjaro hadden gezien.

### *De terugtrekkende Kilimanjaro*

Sinds die ochtend zijn de beroemde ijsvelden van de Kilimanjaro met de helft geslonken. Nu bestaan ze enkel nog uit een paar vierkante kilometer verbrokkelde gletsjer op de absolute top van de berg, een laatste restant dat tegen 2020 totaal verdwenen zal zijn.

Zoals te doen gebruikelijk twisten de wetenschappers volop over de oorzaken. In 1900 strekte het ijsveld zich nog over twaalf vierkante kilometer uit. De gestage krimp is in ieder geval voor een deel toe te schrijven aan een langdurige droogtetrend in Oost-Afrika, omdat ijs in droge lucht sneller verdampt. Maar wetenschappers beschikken nu over duidelijke bewijzen dat ook de opwarming van de aarde tijdens de afgelopen decennia aan het afsmelten van de ijsvelden heeft bijgedragen.<sup>1</sup>

Dit lijkt een redelijke veronderstelling in het licht van wat er rond de planeet met andere ijsvelden gaande is. Praktisch overal smelt het ijs sneller af dan het aangroeit, en dit smeltende ijs is een van de sterkste signalen dat een fikse opwarming van de aarde aanstaande is. Van de Rocky Mountains in Noord-Amerika en de Oostenrijkse Alpen in Europa tot in het Tiensjangebergte in Centraal-Azië trekken de grote gletsjers en ijskappen in de wereld zich terug.<sup>2</sup> Het zijn niet alleen de bergpanorama's die daaronder te lijden hebben; bijna een miljard mensen – eenzesde van de wereldbevolking – is voor haar drinkwatervoorziening van berggletsjers en winterse sneeuwval afhankelijk.<sup>3</sup> In Zuid-Amerika bijvoorbeeld zijn de gletsjers en de sneeuwlagen in Bolivia sinds 1978 met zestig procent geslonken, waardoor de watervoorziening van de hoofdstad La Paz in gevaar komt.<sup>4</sup> De ijsvelden in het Himalayagebergte en Tibet slinken eveneens.<sup>5</sup> Toen Edmund Hillary en Tenzing Norgay in 1953 voor het eerst de Mount Everest beklommen, richtten ze hun basiskamp aan de voet van een gletsjer in. Deze gletsjer heeft zich sindsdien met vijf kilometer teruggetrokken. Rivieren die in het Himalayagebergte ontspringen en die gedeeltelijk door gletsjerwater gevoed worden, zijn van essentieel belang voor honderden miljoenen mensen in Zuid-Azië en China.

In het zuidpoolgebied worden de gletsjers en ijsplaten – dikke ijschollen die zich over het land uitstrekken en op de oceaan drijven – op veel plaatsen dunner. De temperaturen rond het Antarctisch Schiereiland, dat zich in het noorden tot aan Argentinië en Chili uitstrekt, stijgen sneller dan waar ook ter wereld, en tijdens de afgelopen vijftien jaar zijn verschillende grote ijsplaten langs het schiereiland fors afgekalfd.<sup>6</sup> Aan de andere kant van de planeet in Alaska trekken gletsjers zich al sinds de jaren vijftig terug en is het tempo van afkalving de laatste tien jaar verdrievoudigd.<sup>7</sup> Ten noorden van Fairbanks heeft het smelten van de permafrost het asfalt van verharde wegen opengescheurd en kromgetrokken, en hellen de telefoonpalen langs de wegen als dronken tandenstokers vervaarlijk over.<sup>8</sup> Langs de zuidkust van de staat zijn de warme zomers medeverantwoordelijk voor het ontketenen van een keverplaag op het Kenai-schiereiland – niet ongelijk aan die in de pijnboombossen van Zuid-Californië – die bijna veertig miljoen sparren het leven gekost



Overhellende telefoonpalen in Alaska als gevolg van de smeltende permafrost.

heeft, waarmee dit het grootste door insecten veroorzaakte verlies aan Noord-Amerikaans bosareaal is dat ooit werd vastgelegd.<sup>9</sup>

Het meest verontrustende nieuws komt echter uit Groenland. Het eiland gaat onder een enorme ijskap van het formaat van Mexico schuil die op sommige plekken zo'n drie kilometer dik is – na Antarctica is dit de grootste ijsmassa ter wereld. Wetenschappers zijn er onlangs achtergekomen dat het tempo van afkalving de afgelopen tien jaar meer dan verdubbeld is, van 90 naar 220 kubieke kilometer per jaar. In 2006 loosde de ijskap een hoeveelheid ijs in de oceaan die grofweg overeenkomt met 225 keer het complete waterverbruik van Los Angeles.<sup>10</sup> Een deel van de ijsafkalving is het directe resultaat van het sneller smelten van de ijskap, omdat delen van Groenland de afgelopen twintig jaar met bijna drie graden zijn opgewarmd. Maar een groter deel van de ijsafkalving wordt veroorzaakt door de bewegingen van een twaalfstal gletsjers die vanuit de hooglanden van Groenland naar zee stromen. Aan de randen langs de zee kalven de gletsjers in ijsbergen af die wegdrijven om later in de Noord-Atlantische Oceaan te smelten. In sommige gevallen is het glijtempo van de gletsjers sinds 2000 verdubbeld – naar ruim twaalf kilometer per jaar – en breken hun enorme ijstongen die zich tot in zee uitstrekken in tienduizenden ijsbergen uiteen. Wetenschappers weten niet precies waarom de gletsjers zo veel sneller bewegen, maar ze hebben er wel een idee van: door de hoge zomertemperaturen smelt

de bovenste sneeuwlaag van de gletsjers af en sijpelt het smeltwater als een smeermiddel door de spleten naar het fundament van de gletsjer, waardoor het glijvermogen vergroot wordt.

Ook in de Noordelijke IJszee lijkt de opwarming zich steeds sneller te voltrekken: tijdens de zomer stijgt de temperatuur van het oppervlakte-ijs aan de Noordpool met een verbijsterende 1,2 graad per tien jaar en verliep de opwarming tijdens de afgelopen twintig jaar acht keer sneller dan tijdens de afgelopen honderd.<sup>11</sup> De zee-ijsmassa was in september 2005 de kleinste ooit gemeten en ook was de aangroei van de ijslaag tijdens de wintermaanden tot maart 2006 de geringste die ooit is waargenomen.<sup>12</sup> Vele wetenschappers nemen inmiddels aan dat de Noordelijke IJszee ergens deze eeuw tijdens de zomermaanden nagenoeg zal verdwijnen – iets wat naar alle waarschijnlijkheid al een miljoen jaar niet meer is voorgekomen.<sup>13</sup> (Nvdv. Wat werd bevestigd door het IPCC-rapport 2007.)

Al dit smeltende ijs vormt een aanwijzing dat de aarde snel aan het opwarmen is. En deze verdere opwarming zal onze samenlevingen de komende decennia op uiteenlopende manieren wellicht hevig parten gaan spelen, en om deze reden beschouw ik de opwarming van de aarde – en de klimaatverandering die dit met zich meebrengt – als de vierde tektonische spanning die het gevaar van een sociale ontwrichting versterkt. Door de opwarming zullen extreme weersomstandigheden als hittegolven, droogtes, overstromingen en enorme stormen als orkanen en tyfoons in ernst toenemen; zullen hele bossen uitsterven als gevolg van veranderende regenpatronen, en insectenplagen en bosbranden vaker voorkomen; en zullen de zeespiegels stijgen waardoor onze kuststeden, boerderijen en infrastructuur aan overstromingsgevaar worden blootgesteld. De opwarming van de aarde zal onze energiesystemen enorm onder druk zetten, doordat de vraag naar energie voor airconditioning tijdens de zomer sterk toeneemt, terwijl de waterniveaus in veel hydro-elektrische waterreservoirs dan juist teruglopen. In vele regio's zal het moeilijker worden om het benodigde voedsel te verbouwen, omdat gewassen sterk ontvankelijk zijn voor weersextremen. En ook zal de opwarming onze gezondheid aantasten, doordat ze de luchtvervuiling in de steden verheft en het verspreidingsgebied van tropische ziekten vergroot. Al deze veranderingen zullen arme samenlevingen het hardst treffen – vooral in combinatie met de andere vormen van milieuschade die ik in het vorige hoofdstuk besproken heb –, omdat zij over minder mogelijkheden beschikken om de zware problemen het hoofd te bieden. Maar ze zullen ook onze rijke samenlevingen hard raken: de verwoesting van de Amerikaanse Golfkust door de orkaan Katrina in 2005 was wellicht niet meer dan een voorschok van wat ons te wachten staat.

In het jaar 2005 begon men in brede kring te onderkennen wat de gevaren van de klimaatverandering zijn. Om te beginnen was Katrina voor het grote publiek al een eyeopener, omdat de storm de angstaanjagende implicaties van de klimaatverandering blootlegde. Ook al is het niet mogelijk om een bepaald weersverschijnsel specifiek aan de opwarming van de planeet toe te schrijven, toch zal blijken dat Katrina precies het type ramp is dat in een warmere wereld vaker voor zal komen. Maar 2005 zou om een zelfs nog belangrijkere reden wel eens een omslagpunt kunnen betekenen: tijdens dat jaar, maar ook in de eerste maanden van 2006, stortten wetenschappers van overal ter wereld een verbijsterend hoeveelheid wetenschappelijk onderzoek over ons uit die bevestigt dat onze klimaatsituatie snel kritiek dreigt te worden.<sup>14</sup>

### *Consensus*

De basisprincipes van de opwarming van de aarde zijn eigenlijk heel simpel: wanneer de straling van de zon, onder meer in de vorm van zichtbaar licht, op het oppervlak van de aarde neerkomt, wordt deze in langgolelige infraroodstraling – of hitte – omgezet, met golflengtes van tussen de een en de honderd micron (een micron is eenmiljoenste deel van een meter). De wetten van de fysica schrijven voor dat de hoeveelheid straling die van de zon afkomstig is over langere tijd gemeten in evenwicht moet zijn met de kortgolelige straling die als warmte terug de atmosfeer in wordt geëmitteerd. Maar spoorgassen in onze atmosfeer – vooral waterdamp – zijn gemakkelijk in staat hitte op bepaalde golflengtes te absorberen, en dus houdt de atmosfeer een deel van de hitte vast die anders terug de ruimte in zou stralen, waardoor het oppervlak van de aarde zo'n drieëndertig graden warmer is dan eigenlijk het geval zou moeten zijn. Tot dusver prima allemaal, want de extra warmte zorgt ervoor dat het leven op aarde gedijt.

Hoe komt het dat de planeet niet oververhit raakt? Normaal gesproken absorbeert de atmosfeer minder hitte op andere golflengtes, waardoor de hitte makkelijker terug de ruimte in kan ontsnappen en de balans tussen de inkomende en uitgaande energie op aarde behouden blijft. Het is alsof de atmosfeer over ramen beschikt waardoor wat hitte naar buiten kan glippen. Door de onvoorstelbare uitstoot van koolstofdioxide, lachgas en methaan dreigen enkele van deze ramen zich nu echter te sluiten, omdat deze gassen juist de hitte op die kritieke golflengtes absorberen die voorheen grotendeels onbelemmerd afgevoerd werd. Dergelijke gassen – broeikasgassen – verstoren de energiebalans

van de aarde: de stralingsstroom die momenteel van de zon op aarde neerdaalt, overtreft de teruggekaatste stroom met een marge van bijna 1.0 watt per vierkante meter.<sup>15</sup> Deze surplusenergie drijft de gemiddelde oppervlaktetemperatuur op.<sup>16</sup>

Althans, zo luidt op dit moment de consensus onder de klimaatwetenschappers. Het wekt echter geen verbazing dat er al snel sceptici opstonden om de nodige onderdelen van deze consensus aan te vechten.<sup>17</sup> De Republikeinse senator en voorvechter van het bedrijfsleven, James Inhofe, tevens voorzitter van de us Senate's Environment and Public Works Committee en in die hoedanigheid een sleutelfiguur in het klimaatdebat, stelde bijvoorbeeld in 2003 dat hij 'er meer en meer van overtuigd begint te raken... dat de opwarming van de aarde het grootste staaltje volksverlakkerij is dat het Amerikaanse volk en de wereld ooit onder ogen hebben gekregen.'<sup>18</sup>

Omdat broeikasgassen voornamelijk het product zijn van het stoken van fossiele brandstoffen, en omdat deze brandstoffen de belangrijkste bron van hoogkwalitatieve energie voor de industrie zijn, zal elk beleid dat emissies daadwerkelijk inperkt gevolgen hebben voor zo ongeveer elke activiteit die in rijke landen plaatsvindt. Niet alleen zullen deze emissiebeperkingen drastisch in het leven van elke burger ingrijpen, ook tast een dergelijk beleid de politieke en economische macht van de gevestigde belangen van bepaalde groepen aan; van oliemaatschappijen en vakbonden in de auto-industrie tot lobbyisten voor steenkolenmijnen. Zelfs marktconforme strategieën voor een handel in koolstof-emissierechten (zoals het systeem van handel in CO<sub>2</sub>-emissierechten die in het Kyoto-protocol zijn afgesproken) vereisen – willen ze effectief geïmplementeerd worden – het nodige bureaucratische overheidsingrijpen en omstandige nationale en internationale instituties die zich aan alle uithoeken van het zakenleven zullen opdringen. Met andere woorden: de opwarming van de aarde brengt enorme belemmeringen voor de *laisser-faire* versie van het kapitalisme met zich mee.

Met als gevolg dat er in rijke landen maar weinig beleidskwesties bestaan die zo controversieel zijn, en dat er geen enkel ander onderwerp is dat de conservatieve antimilieubrigade zodanig in rep en roer heeft gebracht. Zakelijke belangengroepen en bedrijven die van de status-quo rond fossiele brandstoffen profiteren – en de politici als Inhofe die hen vertegenwoordigen – zijn maar al te graag bereid de sceptische zienswijze aan te horen en te promoten. Sommige van deze groepen hebben hun aanzienlijke middelen ingezet om pogingen te financieren om gevestigde klimaatwetenschappers en zelfs de hele wetenschappelijke wereld in diskrediet te brengen.<sup>19</sup> En in ieder geval in de Verenigde Staten

heeft de populaire media aan deze pogingen meegewerkt door erop te staan de problematiek van 'beide kanten' te belichten. De media stellen dat ze 'gebalanceerd' verslag doen, maar door de gezichtspunten van een kleine minderheid van klimaatsceptici onevenredig veel ruimte te geven, slaat hun berichtgeving paradoxaal genoeg naar de kant van de sceptici door.<sup>20</sup> Dat heeft de indruk versterkt dat er nauwelijks wetenschappelijke consensus over de klimaatverandering bestaat, terwijl deze in werkelijkheid behoorlijk groot is.

Maar weinig klimaatsceptici zijn daadwerkelijk klimaatwetenschappers, en van de paar die dat wel zijn, werkt slechts een handjevol in vooraanstaande onderzoeksinstituten of universiteiten en publiceert maar een enkeling in de beste wetenschappelijke tijdschriften. De meesten zijn afkomstig uit andere disciplines als de economie en de geografie (een van de meest prominente sceptici, de inmiddels overleden science-fiction- en thrillerauteur Michael Crichton, had een graad in de antropologie en de geneeskunde) en een opmerkelijk groot aantal heeft helemaal geen wetenschappelijke achtergrond.<sup>21</sup> Met of zonder achtergrond in de klimaatwetenschap, deze sceptici zijn er hoe dan ook in geslaagd de reële wetenschappelijke onzekerheden omtrent de klimaatverandering ten eigen bate aan te wenden. Het klimaat is een van de meest complexe systemen in de natuur, waarvan het gedrag fundamenteel niet-lineair en chaotisch is. Sceptici misbruiken deze complexiteit – en de wetenschappelijke onzekerheid die daar natuurlijkerwijs uit voortvloeit – door haar als bewijs op te voeren dat alle wetenschap rondom de klimaatverandering 'zwak' of 'twijfelachtig' is en dat we wetenschappelijke uitspraken over de opwarming van de aarde of het veranderende klimaat nooit kunnen vertrouwen. Het is alleen maar verstandig, zo zeggen ze, om meer onderzoek te doen, voordat we nieuw beleid aannemen of ons gedrag veranderen om het probleem aan te pakken.<sup>22</sup>

Wanneer klimaatsceptici hun argumenten naar voren brengen, maken ze gebruik van een wijdverspreide misvatting over wetenschap. Journalisten en leken hebben het gewoonlijk over de noodzaak van wetenschappelijk 'bewijs', maar in werkelijkheid wordt in de wetenschap nooit iets honderd procent bewezen. Tot op zekere hoogte maakt onzekerheid altijd deel uit van welke wetenschappelijke uitspraak dan ook, vooral wanneer deze het gedrag van complexe biologische, ecologische of klimatologische systemen beschrijft.

Maar toch ontslaat die wetenschappelijke onzekerheid ons niet van onze verantwoordelijkheid. Onder sommige omstandigheden is het helemaal niet verstandig te wachten tot alle onzekerheid uitgesloten is, voordat we het beleid of ons gedrag veranderen. En als de kosten van

uitstel extreem hoog zijn – zoals bij de opwarming van de aarde het geval is – kan het zelfs volstrekt stompzinnig zijn. In werkelijkheid is het argument dat we eerst de onzekerheden moeten minimaliseren weinig meer dan een vertragingstactiek – een poging om de status-quo te handhaven. En laat deze status-quo nu net de macht van de dominante economische en politieke groepen in de kaart spelen.

### *Een kwestie van wantrouwen*

Terwijl we ons dan toch maar voorzichtig een pad door het mijnenveld van het klimaatdebat banen, helpt het om een onderscheid te maken tussen wat we met een grote mate van zekerheid weten, wat redelijk zeker is, maar met enige ruimte voor twijfel, en wat voor een grotere mate van twijfel vatbaar is.

Waar kunnen we redelijk zeker van zijn?

Wetenschappers weten zeker dat de mensheid de concentraties van cruciale spoorstoffen in de atmosfeer veranderd heeft. Sinds het industriële tijdperk zo'n honderdvijftig jaar geleden begonnen is, hebben we het CO<sub>2</sub>-niveau met meer dan eenderde verhoogd en de methaanconcentraties ongeveer verdubbeld. Volgens een belangrijk onderzoek uit 2005 is het CO<sub>2</sub>-niveau in de atmosfeer in 650.000 jaar niet zo hoog geweest.<sup>23</sup> De laatste tijd stijgt dit niveau met gemiddeld 1,6 deeltjes per miljoen (ppm) per jaar; sneller dan op welk moment ook tijdens de afgelopen 20.000 jaar.<sup>24</sup> De toenames vanaf 2002 – met een gemiddelde van 2,18 ppm per jaar en alleen al met 2,53 in 2005 – lagen ruimschoots boven het langetermijngemiddelde van 1,6 ppm, wat de bezorgdheid vergroot dat de natuurlijke mechanismen van de aarde om CO<sub>2</sub> via de oceanen en bossen af te vangen, langzaamaan ontwricht raken.<sup>25</sup>

Er bestaat een iets minder complete, maar nog steeds solide consensus binnen de wetenschappelijke wereld dat de gemiddelde temperatuur van het aardoppervlak vanaf de tweede helft van de negentiende eeuw met 0,8 graad is gestegen. Metingen met thermometers aan de grond laten zien dat de aarde tot rond 1940 gestaag warmer werd, rond 1970 lichtjes begon af te koelen en toen tot op heden snel begon op te warmen (met alleen al 0,6 graad tijdens de afgelopen vijfendertig jaar). Sommige sceptici – waaronder in dit geval ook een aantal klimaatwetenschappers – stellen dat deze metingen niet betrouwbaar zijn, vanwege vertekeningen in de manieren waarop de temperaturen op honderden plekken rond de planeet gemeten en vervolgens bijeengevoegd zijn om een gemiddelde temperatuur te berekenen. Sommigen hebben ook opgemerkt dat satel-

lietdata weinig of geen opwarming in de lagere atmosfeer registreren en dus met de grondmetingen in tegenspraak zijn, maar recent onderzoek wijst uit dat deze conclusie onjuist is.<sup>26</sup>

Veranderingen in de oppervlaktetemperatuur van de aarde vormen slechts één indicatie van de klimaatverandering. Er zijn nog veel meer aanwijzingen die door de sceptici echter zelden worden onderkend. Daartoe behoren temperatuurverschillen tussen winter en zomer en tussen dag en nacht; temperatuurverschillen tussen het aardoppervlak en de hogere atmosfeer en tussen het land en de oceanen; veranderingen in de hoeveelheid en de dikte van het poolijs en in het afsmelten van de berggletsjers; veranderingen in de frequentie van extreme weersomstandigheden, zoals droogtes, overstromingen en zware stormen; verschuivingen in de gemiddelde data van de eerste ijsafzetting in de winter en in de lente van het eerste breken van het ijs in de rivieren, de eerste plantbloei, het einde van de winterslaap en het begin van de vogeltrek.<sup>27</sup>

Nu wetenschappers de beschikking hebben over meerdere indicatoren, die op metingen van weersverschijnselen op duizenden locaties van over de hele planeet (en in de ruimte) zijn gebaseerd, krijgen we een almaar nauwkeuriger beeld van wat er met het klimaat op aarde aan de hand is. Dat totaalplaatje toont aan dat de opwarming zich snel voltrekt. De unanieme aanname luidt dat het tempo van opwarming sinds 1976 drie keer hoger ligt dan dat van de afgelopen eeuw als geheel en dat de gemiddelde oppervlaktetemperatuur op aarde elke tien jaar met grofweg 0,17 graad stijgt. Negen van de tien warmste jaren sinds 1860 (het moment waarop mensen de temperatuur nauwkeurig begonnen bij te houden) dateren van na 1995, en 2005 was statistisch gezien na 1998 het warmste jaar ooit gemeten.<sup>28</sup> Analyses van boomringen en andere langetermijndata geven aan dat deze de warmste jaren van de afgelopen duizend jaar zijn geweest.<sup>29</sup>

Nu lijkt een opwarming van 0,17 graad per tien jaar misschien niet al te veel – op zichzelf genomen is het een onmerkbaar kleine verhoging. Maar ook minuscule veranderingen worden op den duur substantieel, en een opwarming van een paar graden kan al enorme verschuivingen in het mondiale klimaat teweegbrengen. Er zit maar een verschil van vijf graden tussen het einde van de laatste ijstijd en ons huidige klimaat.<sup>30</sup> Dus kan de extra opwarming van 0,6 graad van het aardoppervlak sinds de jaren zeventig nu al voor zichtbare gevolgen zorgen. De World Meteorological Organization (wmo) zou in 2006 inderdaad een golf aan afwijkende klimaatverschijnselen over het voorgaande jaar vaststellen. Daartoe behoorden recordtemperaturen in Australië, dodelijke hittegolven in Zuid-Azië, Zuid-Europa en Noord-Afrika; zware droogtes in oostelijk en

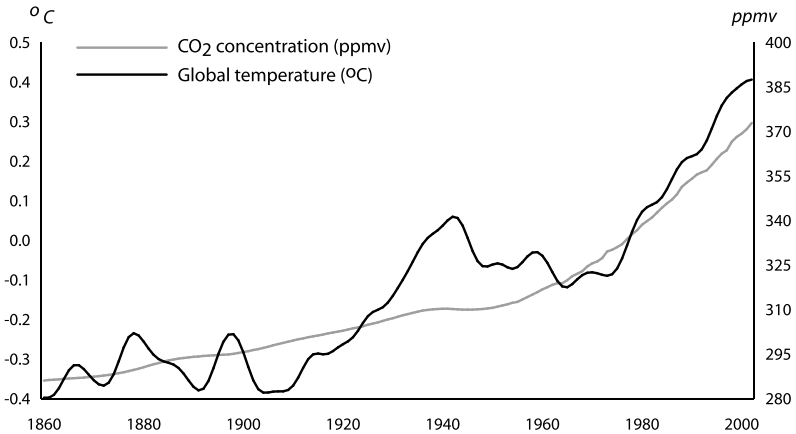
zuidelijk Afrika, het westen van Europa en Brazilië (vooral in het Amazonebekken); verwoestende overstromingen in het zuiden van China en het oosten van Europa en recordmoesson in het westen van India, waar twintig miljoen mensen onder te leiden hadden en waarbij achthonderd van hen het leven lieten. Het orkaanseizoen in de Atlantische Oceaan telde in 2005 het grootste aantal tropische stormen ooit – zeventwintig, waarvan er veertien orkanen à la Katrina waren.<sup>31</sup>

Het is niet zeker dat de opwarming van de aarde een grote – of zelfs maar een kleine – rol bij deze anomalieën heeft gespeeld.<sup>32</sup> ‘Dit kun je onmogelijk aan één enkele oorzaak toeschrijven,’ stelde de secretaris-generaal van de wmo Michel Jarraud. ‘Het betreft hier een uiterst complex samenspel tussen alle elementen die gezamenlijk de uiterst complexe machine vormen die we Aarde noemen... Maar de opwarming van de aarde zal wellicht tot een hogere frequentie en een toenemende heftigheid van extreme weersverschijnselen leiden.’<sup>33</sup>

### *Achterwaartse voorspellingen*

De concentratie van broeikasgassen in onze atmosfeer neemt snel toe en de aarde warmt op. Over deze feiten hoeft geen twijfel meer te bestaan. Maar daarmee hebben we het nog niet over de grootste vraag van allemaal gehad: is de toenemende concentratie van hitte-absorberende gassen in de atmosfeer ook de *oorzaak* van de waargenomen opwarming van het aardoppervlak? Rond deze vraag heerst de nodige wetenschappelijke onzekerheid en dus kunnen de sceptici juist hier enkele van hun sterkste argumenten naar voren brengen. Het CO<sub>2</sub>-niveau in de atmosfeer mag de afgelopen eeuw dan constant gestegen zijn, dat geldt echter niet voor de temperatuur van het aardoppervlak, zo stellen zij. Pas na 1970 vertoonden beide tegelijkertijd een stijgende trend. Dit betekent, zo concluderen ze, dat hogere broeikasgasconcentraties niet de beste verklaring voor de twintigste-eeuwse opwarming bieden. Die zou eerder in natuurlijke factoren als veranderingen in de stralingsintensiteit van zon gezocht moet worden.<sup>34</sup>

De meeste klimaatwetenschappers zijn het niet met deze opvatting eens. Zij gebruiken geavanceerde computermodellen van de atmosfeer en de oceanen om na te gaan hoe uiteenlopende natuurlijke en door de mens veroorzaakte factoren – of het nu om hogere concentraties koolstofdioxide, een verhoogde straling van de zon, vulkanische stof of iets anders gaat – op elkaar inwerken om het klimaat te beïnvloeden. Sceptici wijzen deze modellen echter met kracht van de hand (en wekken vaak de



De stijging van gemiddelde temperatuur op aarde en van de CO<sub>2</sub>-niveaus in de atmosfeer gaan vanaf 1970 hand in hand.

indruk dat ze weinig meer dan een vorm van getallemagie zijn), maar de hedendaagse modellen zijn feitelijk gewoon ontzettend goed in het ‘achterwaarts voorspellen’ – oftewel *backcasting*: het doen van voorspellingen vanuit het heden (of de toekomst) over het verleden – van het klimaat van de afgelopen eeuw en de opwarming waarvan we getuige zijn geweest. Ze slagen er ook in heel precies de dominante cycli en patronen van temperatuurverandering rond de wereld te reproduceren. Ook al klopt het dat de modellen de veranderingen in het regionale en lokale klimaat nog niet precies kunnen verklaren, toch neemt hun fijnmazigheid met de groeiende rekenkracht van de computer almaar toe. En dan nog het belangrijkste punt van allemaal: de modellen vertellen de wetenschappers hoe die opwarming als gevolg van hogere CO<sub>2</sub>-niveaus er precies uit zou moeten zien. Deze opwarming moet aan een aantal specifieke eigenschappen voldoen: het aardoppervlak zou bijvoorbeeld warmer moeten worden terwijl de stratosfeer juist afkoelt, en de opwarming moet sneller aan de polen verlopen dan in de tropen. En dat is precies wat er vandaag de dag aan de hand lijkt. Daarom is het zo belangrijk om verder te kijken dan alleen maar naar veranderingen in de gemiddelde temperatuur op het aardoppervlak.

Dergelijk onderzoek lijkt er wel heel sterk op te wijzen dat onze uitstoot van broeikasgassen, vooral van koolstofdioxide, toch echt de hoofdoorzaak van de opwarming van de laatste decennia moet zijn. Deze unaniem gedeelde opvatting vindt zijn neerslag in het rapport uit 2001 van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) – een in-

ternationaal lichaam dat onderzoek naar de klimaatverandering in de hele wereld coördineert, beoordeelt en samenbundelt. 'In het licht van nieuw bewijs en met inachtnaam van de resterende onzekerheden,' zo concludeerde het IPCC, 'is het gros van de waargenomen opwarming van de laatste vijftig jaar naar alle waarschijnlijkheid toe te schrijven aan de toename van broeikasgasconcentraties.'<sup>35</sup> (Nvdv: In het gezaghebbende IPCC-rapport van 2007 heet het ook 'nu vrijwel zeker' te zijn.) Deze consensus vindt ook zijn weerklinkt bij andere wetenschappelijke toporganisaties, waaronder de American Geophysical Union, waarvan de Raad eind 2003 verklaarde dat 'het vrijwel zeker is dat de toenemende concentraties in de atmosfeer van koolstofdioxide en andere broeikasgassen tot een verhoging van de oppervlaktetemperatuur zullen leiden.'<sup>36</sup>

Maar wat maakt het uit? Sceptici wijzen er vaak op dat de klimaatverandering ons op een aantal gebieden juist goed uitkomt. De opwarming van de aarde verhoogt bijvoorbeeld de dynamiek van de hydrologische cyclus – wat ervoor zorgt dat binnen deze cyclus grotere hoeveelheden water sneller tussen het aardoppervlak en de atmosfeer heen en weer bewegen – wat tot meer regenval in droge gebieden kan leiden.<sup>37</sup> Hogere temperaturen en meer CO<sub>2</sub> in de lucht (wat de groei van sommige planten bevordert) kunnen samenwerken om oogsten in gematigde klimaatzones op te vijzelen en de mondiale houtvoorziening te verbeteren.

Er zullen ongetwijfeld voordelen zijn. Maar die wegen zeker niet op tegen de nadelige gevolgen, die naar alle waarschijnlijkheid veel groter en ernstiger zullen zijn, vooral voor arme landen die zich minder makkelijk kunnen aanpassen. Snellere verdamping zal toch al verdroge gebieden kwetsbaarder maken voor chronische droogte. Hogere temperaturen zullen ertoe leiden dat de sneeuwlagen in de bergen in de lente vroeger smelten, waardoor er tijdens de kritieke zomer- en herfstmaanden minder water voorhanden is voor de boeren, de dorpen en de steden die dan het sterkst van dit water afhankelijk zijn.<sup>38</sup> Zware overstromingen zullen vooral in de kustgebieden vaker voorkomen, waar een combinatie van hogere zeespiegels, zwaardere neerslag en frequentere stormen de kustbevolking het binnenland in zal drijven.<sup>39</sup> In tropische en subtropische zones zullen de kustbewoners vaker blootgesteld worden aan steeds vernietigendere orkanen, tyfoons en cyclonen.<sup>40</sup> In de tropen zal praktisch alle verdere opwarming tot een afname van de landbouwproductie leiden, terwijl een opwarming van meer dan een paar graden ook de landbouw in de gematigde zones zwaar zal treffen.<sup>41</sup> Hogere zeetemperaturen zullen koraalriffen bleken en doden, en bosbranden zullen bossen in de as leggen, zoals we dat al overal rond de planeet hebben zien gebeuren.<sup>42</sup> Meer mensen zullen sterven aan hittestress en aan door

insecten overgebrachte ziektes als malaria en dengue, of aan cholera dat via water wordt verspreid.<sup>43</sup>

Sommige bedrijven, met name grote verzekeringsconglomeraten, bereidden zich in hun zakelijke strategieën al op deze risico's voor. Maar niemand weet nog echt zeker welke schade de klimaatverandering precies zal aanrichten. In 2001 schatte de IPCC dat de temperatuur op de planeet in 2100 met tussen de 1,4 en de 5,8 graden zal stijgen. (Nvdv: In het nieuwe IPCC-rapport van 2007 komt daar geen wezenlijke verandering in.) Toch is de fijnmazigheid van de klimaatmodellen van de wetenschappers nog steeds te gering om precies te kunnen aangeven wat ons op regionaal of lokaal niveau te wachten staat; op een fundamenteeler niveau zijn er nog steeds centrale aspecten binnen ons veranderende klimaat die de wetenschappers niet begrijpen. Bijvoorbeeld de vraag of de opwarming tot meer wolkenvelden zal leiden en zo ja, of het extra wolkendek de opwarming dan zal tegengaan door zonlicht de ruimte in te kaatsen of deze juist zal verergeren door meer warmte op het aardoppervlak vast te houden?

We kunnen er hoe dan ook behoorlijk zeker van zijn dat we het mondiale klimaat een hele nieuwe sfeer binnendringen. En er zijn drie redenen waarom deze sfeer weleens een doodgeplek kan zijn – het momentum achter onze stijgende broeikasgasemissies, destabiliserende terugkoppelingen en de mogelijkheid van plotselinge en verwoestende klimaatkantelingen.

### *Momentum en terugkoppeling*

Ten eerste gaat de onophoudelijke toename van onze emissies met een verbijsterend momentum gepaard. Het zal bijzonder lastig worden om deze toename af te remmen of ongedaan te maken. Zelfs wanneer de mondiale productie van goedkope conventionele olie begint terug te lopen, blijft de mensheid het grootste deel van de komende eeuw sterk afhankelijk van fossiele brandstoffen, met name van steenkool. Als de huidige economische en technologische groeitrends zich doorzetten, zal de totale wereldwijde economische productie in 2100 – iets wat onze kleinkinderen dus wellicht nog mee zullen maken – bijna vertienvoudigd zijn (in huidige dollars gemeten meer dan zeshonderd biljoen), en zal het wereldwijde energieverbruik verviervoudigen.<sup>44</sup> Zelfs als we ervan uitgaan dat nieuwe technologieën tot een gestage afname van de CO<sub>2</sub>-uitstoot per dollar van het BBP (Bruto Binnenlands Product) leiden, zal de totale koolstofdioxide-emissie uit fossiele brandstoffen waar-

schijnlijk toch verdrievoudigen naar een niveau van ruim vijfenzeventig miljard ton per jaar.<sup>45</sup>

Veruit het grootste deel van deze toename zal van China, India en andere snel industrialiserende arme landen afkomstig zijn. Met name China speelt hierin een belangrijke rol: grofweg driekwart van haar energie is van steenkool afkomstig, en het stoken van steenkool produceert meer CO<sub>2</sub> per energie-eenheid dan olie of aardgas. Tijdens de jaren negentig waren de deskundigen een tijdje optimistisch dat China haar steenkoolverbruik en CO<sub>2</sub>-uitstoot zou kunnen beperken: de overheid had tot de sluiting van tienduizenden kleine en inefficiënte kolenmijnen en elektriciteitscentrales besloten en de Chinese statistieken gaven aan dat het kolenverbruik als gevolg daarvan was gedaald. De nieuwe mijnen en centrales waren groter, efficiënter en schoner.

Maar nu lijkt het erop dat veel van de kleine mijnen en centrales helemaal niet gesloten zijn, omdat hoge partijbonzen een sterke stijging van de werkloosheid vreesden. De officiële statistieken laten zien dat de totale kolenwinning tussen 2000 en 2005 met een verbijsterende negenenzestig procent is gestegen, een groeitempo van zo'n tien procent per jaar. Volgens een schatting zal China in 2020 haar elektriciteitsproductie uit kolengestookte centrales praktisch verdrievoudigd hebben. Deze trend in het steenkoolverbruik zal enorme gevolgen hebben voor de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen: het Internationaal Energie Agentschap voorspelt dat de toename van de Chinese emissies tussen 2000 en 2030 bijna net zo groot zal zijn als die van alle rijke landen samen.<sup>46</sup>

De langetermijnconsequenties van dit emissiemomentum zijn onrustbarend. Bij besprekingen van de klimaatverandering wordt er vaak van uitgegaan dat de aarde ten opzichte van het pre-industriële tijdperk hooguit een verdubbeling van het CO<sub>2</sub>-niveau te verduren zal krijgen (wat neerkomt op een verhoging van 280 naar 560 ppm). We zitten in 2009 op 390 ppm en deskundigen verwachten dat we de 560 ppm-grens al ergens kort na het midden van de eeuw zullen doorbreken. Gezien de situatie in China en elders kunnen we er echter zo goed als zeker van zijn dat ons veel meer dan een verdubbeling te wachten staat. Als de huidige economische, technologische en energieconsumptietrends zich voortzetten, zullen we rond 2100 op ten minste 700 ppm zitten. Veel experts zijn inmiddels van mening dat een verdrievoudiging van het pre-industriële niveau waarschijnlijk is en dat er tijdens de eerste helft van de tweeëntwintigste eeuw zelfs een verviervoudiging – naar 1100 ppm – op kan treden. Dat punt mag dan misschien ver weg in de toekomst lijken, in werkelijk valt dat reuze mee: het kan zich al tijdens het leven van onze kleinkinderen, en zeker van dat van onze achterkleinkinderen voordoen.

De hedendaagse klimaatmodellen zijn op een dynamiek van de atmosfeer 'afgesteld' die op de huidige mengverhouding van gassen gebaseerd is, dus moeten we voorzichtig zijn bij het interpreteren van de mogelijke gevolgen van een verviervoudiging van het CO<sub>2</sub>-niveau. Wetenschappers van de Princeton University hebben een klimaatmodel ontwikkeld dat van deze nieuwe waarden uitgaat. Uit dit model rolde dat een verviervoudiging in het grootste deel van Noord-Amerika, Europa en Azië tot een temperatuurstijging van ten minste acht graden leidt, en aan de polen zelfs tot een verbluffende twaalf tot veertien.<sup>47</sup> Vanwege de natuurlijke tijdsvertraging in het klimaat op aarde zal het volledige effect van een verviervoudiging van het CO<sub>2</sub>-niveau pas na enkele eeuwen gevoeld worden. Maar uiteindelijk zal de gemiddelde julitemperatuur in New York dezelfde zijn als die in Phoenix nu, en van de planeet als geheel hetzelfde als die tijdens het late Krijt – het laatste tijdperk van de dinosauriërs – tussen de vijftenzestig en de negentig miljoen jaar geleden.

Over de vraag of de mensheid een verdubbeling van het CO<sub>2</sub>-niveau kan verstouwen, kan nog van mening worden verschild, omdat de precieze gevolgen nog enige ruimte voor twijfel laten. Maar over de gevolgen van een verviervoudiging kan geen enkele ondubbelzinnigheid bestaan. John Holdren van de Harvard Universiteit, een van de meest vooraanstaande autoriteiten op het gebied van energie, CO<sub>2</sub>-emissies en klimaatverandering, zegt het recht voor zijn raap: 'Een wereld met een verviervoudigd CO<sub>2</sub>-niveau is een verschroeide wereld, met weerpatronen en een extreme hitte die tijdens het mandaat van de mens op aarde nog niet eerder vertoond zijn. Voor de *condition humaine* zou het een catastrofe betekenen.'<sup>48</sup>

De tweede reden waarom de klimaatverandering buitengewoon grimig uit kan pakken, is dat terugkoppelingslusen het opwarmingstempo kunnen opvoeren. Een terugkoppelingslus treedt op wanneer een verandering in een onderdeel van een systeem een keten van gevolgen teweegbrengt die uiteindelijk als in een lus bij het oorspronkelijke onderdeel terugkomt om deze opnieuw te beïnvloeden. Zoals ik in hoofdstuk vijf al opmerkte, lijken sommige vormen van terugkoppeling op de vicieuze cirkels, zoals die bij een financiële paniek of het ineenstorten van de aandelenkoersen optreden. Zoals elk complex systeem kent ook het klimaat op aarde vele terugkoppelingen. Sommige terugkoppelingen, degene die wetenschappers 'positieve terugkoppelingen' noemen, versterken en intensiveren een onderliggende trend en hebben dus een destabiliserende uitwerking op het klimaat, waardoor het nieuwe richtingen in gedwongen wordt. Andere, de 'negatieve terugkoppelingen', hebben in essentie een stabiliserende werking – zij neutraliseren de aanvankelijke

veranderingen en helpen het klimaat een evenwicht te bereiken. Niet alle positieve terugkoppelingen binnen een complex systeem zijn een slechte zaak: waar een neerwaartse spiraal (zoals het instorten van aandelenkoersen) een positieve terugkoppeling is waar we weinig plezier aan beleven, is een opwaartse spiraal (zoals een aandelenhousse) een positieve terugkoppeling die zelden slecht uitkomt.

Wetenschappers zijn er nog niet helemaal uit hoe een aantal van de belangrijkste terugkoppelingen in het klimaat nu precies in hun werk gaan, maar maken zich wel zorgen dat positieve terugkoppelingen het klimaat onomkeerbaar in de richting van hogere temperaturen stuwten – en zelfs een op-hol-geslagen-broeikas-effect kunnen veroorzaken. Opnieuw zijn het de gebeurtenissen rond het noordpoolgebied die laten zien hoe dit in zijn werk zou kunnen gaan. Het open water, dat door afsmeltend noordpoolijs wordt achtergelaten, is veel donkerder en absorbeert tachtig procent meer zonne-energie dan het ijs zelf.<sup>49</sup> Deze extra energie verwarmt het water aan de Noordpool nog verder op, waardoor er nog meer ijs afsmelt en er nog meer open water vrijkomt dat de warmte van de zon absorbeert – een vicieuze cirkel die de energiebalans van het hele noordelijk halfrond kan verstoren. Ook slaan de taiga's in het hoge noorden immense hoeveelheden CO<sub>2</sub> in hun bomen op. Naarmate het noordpoolgebied verder opwarmt en de bossen als gevolg van droogte, branden en ziektes afsterven, zal een groot deel van hun koolstof in de atmosfeer vrijkomen. Maar misschien wel de grootste kopzorg van de wetenschappers bevindt zich onder de bevroren toendra's van Siberië, noordelijk Alaska en noordelijk Canada, waar 2500 vierkante kilometer bevroren turf in de permafrost verscholen ligt.<sup>50</sup> Zodra de permafrost opwarmt en ontdooit, kan het organische materiaal in de turf gaan rotten waardoor enorme hoeveelheden van het krachtige broeikasgas methaan vrijkomen. In 2005 waarschuwden Russische wetenschappers al dat een veengebied ter grootte van Frankrijk en Duitsland samen – dat mogelijk zeventig miljard ton methaan bevat – aan het ontdooien is.<sup>51</sup>

Klimaatwetenschappers hebben ook enkele potentieel neutraliserende negatieve terugkoppelingen geïdentificeerd. De oceanen op aarde absorberen bijvoorbeeld heel veel koolstofdioxide. Dus terwijl het poolijs smelt, kan het nieuwe oceaanwater de opwarming tegengaan door meer CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer op te zuigen. Onder klimaatwetenschappers is de relatieve invloed van positieve en negatieve terugkoppelingen dan ook een van de felst omstreden twistpunten. Maar de afgelopen jaren stapelen de bewijzen zich op dat de goedaardige negatieve terugkoppelingen niet opwegen tegen de gevaarlijke positieve, vooral rond de polen. In 2005 publiceerde een twintigtal wetenschappers een artikel in een wetenschappelijk top-

tijdschrift waarin zij onomwonden tot de conclusie kwamen dat er ‘binnen het Arctisch systeem weinig of geen processen gaande lijken, die in staat zijn de koers in de richting van een [ijsvrije] staat te wijzigen.<sup>52</sup>

### *Recht op de afgrond af*

De derde reden waarom we ons heel veel zorgen over de toekomst van ons klimaat moeten maken, is wellicht ook de belangrijkste, vooral gezien vanuit het perspectief van een mogelijke sociale ineenstorting tijdens de komende decennia: het vooruitzicht van abrupte klimaatomslagen of ‘niet-lineariteiten’. In een wereld waarin miljarden mensen nauw gekoppeld zijn aan een gestage stroom van diensten die van een stabiel klimaat worden afgenomen – bijvoorbeeld in de vorm van onze sterke afhankelijkheid van regelmatige regenval voor het verbouwen van voedsel –, zal een plotselinge kanteling naar een nieuw klimaatregime een recept voor chaos blijken.<sup>53</sup>

Mensen gaan er over het algemeen vanuit dat de temperatuurstijging als gevolg van de toenemende hoeveelheden broeikasgassen in de atmosfeer wereldwijd langzaam en in kleine stapjes zal verlopen. En als de opwarming en de klimaatverandering heel geleidelijk plaatsvinden, dan dicteert de logica dat we ons daar redelijk makkelijk aan moeten kunnen aanpassen. Maar zo simpel zit het leven niet in elkaar, tenminste niet waar het complexe systemen betreft.

Deze systemen kennen gewoonlijk een aantal stabiele toestanden, of wat deskundigen ‘meervoudige evenwichten’ noemen. Stel je een strandbal voor die in een duinpan is gerold. Met een halfzachte trap krijg je de bal de pan niet uit; dan rolt hij gewoon weer naar de bodem terug. Maar met een harde trap zul je de bal over de duintoppen laten zeilen, waarna hij misschien in een volgende duinpan terechtkomt. De bal staat voor een complex systeem en de duinpannen tussen de zandheuvelds komen overeen met de stabiele toestanden of de evenwichten van dat systeem. Hoewel de bal zich niet makkelijk van de ene duinpan naar de andere laat verplaatsen, kan een juiste combinatie van factoren – of harde trappen – dat toch voor elkaar krijgen. Wanneer een dergelijke verschuiving plaatsvindt, gebeurt dat meestal heel erg snel en komt het als een complete verrassing; in de terminologie uit hoofdstuk een vertoont de bal een drempel-effect wanneer hij over de rand van de duin naar een volgende pan zeilt. En net als de strandbal in een zandkom zal een complex systeem, zodra het in een nieuw evenwicht is aanbeland, de nodige weerstand tegen verdere verandering bieden.<sup>54</sup>

Milieusystemen kantelen soms van het ene evenwicht naar het andere, en deze kantelingen kunnen voor mensen en samenlevingen verwoestend uitpakken.<sup>55</sup> Het verlies van de kabeljauwvisserij stortte de economie van de Canadese Maritime Provinces, vooral Newfoundland, in een lange en diepe recessie die tienduizenden mensen de regio uitredeef. Soms vindt zo'n kanteling plaats, omdat positieve terugkoppelingen het systeem over een cruciale drempel duwen: zodra bijvoorbeeld de visvangst begint af te nemen, worden de overgebleven vissen steeds waardevoller, wat een drijfveer kan vormen ook de rest van de oceaan leeg te vissen – en op een zeker moment, wanneer de visstand beneden het reproductieminimum gezakt is, stort het hele vissersbedrijf in. Maar het is praktisch onmogelijk te voorspellen wanneer dergelijke drempelwaarden bereikt worden, dus is het ook erg moeilijk om ze te plannen. We vinden het lastig om onze instituties en technologieën aan dergelijke gebeurtenissen aan te passen, omdat ze zich zo snel voltrekken en onze wereld zo totaal op zijn kop kunnen zetten. We zijn veel beter in het aanpassen aan langzame, geleidelijke veranderingen.

Hoe verhoudt zich dit alles tot het klimaat? Vele wetenschappers zijn inmiddels van mening dat het oceaan-atmosferisch systeem van de planeet meervoudige evenwichten heeft, wat inhoudt dat de klimaatverandering als gevolg van de opwarming van de aarde zich niet per definitie langzaam en geleidelijk zal voltrekken. In plaats daarvan zal ze soms met abrupte sprongen verlopen, wanneer de onderling hecht verbonden stromen van lucht en oceaanwater op aarde – allemaal gezamenlijk – naar nieuwe gedragspatronen kantelen.<sup>56</sup> Het archief van ijsboorkernen uit Groenland en elders, dat meer dan honderdduizend jaar teruggaat, laat zien dat het klimaat zich al tientallen keren gereorganiseerd heeft. Daarbij lieten hele regio's binnen een tijdsbestek van een decennium makkelijk een opwarming of een afkoeling van tien graden zien.<sup>57</sup> En zodra oceaanstromen, passaatwinden en de banen van stormen zichzelf gereorganiseerd hebben, kunnen de nieuwe patronen eeuwen en zelfs millennia standhouden, op dezelfde manier als een strandbal onbeweeglijk op de bodem van zijn duinpan blijft liggen.

Sommige mensen doen de idee van een abrupte klimaatverandering af als sciencefiction of goedkope Hollywood-nonsens, maar het gevaar is maar al te echt. Het zou zelfs wel eens de grootste milieu-uitdaging voor onze soort van de afgelopen tienduizend jaar kunnen vormen. En we zouden ons wel eens veel dichter bij een dergelijke drempel kunnen bevinden dan we beseffen: wetenschappers maken zich vooral zorgen over een verschuiving in de stromingen in de Atlantische Oceaan.

Het verhaal gaat als volgt: in de tropische regio's van de Atlantische Oceaan zorgt de warmte van de zon voor een snelle verdamping van het oceaanwater. Omdat het verdampte water zoet is (het zout uit het zeewater verdampt niet), wordt het overgebleven water zouter. Een deel van dit relatief zoute water stroomt noordwaarts de Golfstroom in. Deze machtige stroom, die zo'n vijfenzeventig keer groter is dan de Amazone, bevat enorm veel warmte; wanneer deze stroom de Noord-Atlantische Oceaan bereikt, komt een deel van deze warmte vrij in de atmosfeer – en verwarmt het noorden van Europa en in mindere mate het oostelijk deel van Noord-Amerika. Het afgekoelde tropische water zinkt door zijn hogere zout- en dichtheidsgehalte diep de oceaan in en meandert uiteindelijk door de Zuid-Atlantische Oceaan terug naar de tropen.

De Noord-Atlantische Oceaan is een van slechts twee plekken op aarde waar grote hoeveelheden water van het oppervlak naar de dieptes van de oceaan wegzinken (de andere plek ligt vlak bij Antarctica). Het proces is een sleutelement in de wereldwijde stroming van het water – en wordt vaak de transportband van de oceaan genoemd – die als een slang door de Indische Oceaan en de Grote Oceaan kronkelt, en die een doorslaggevende rol speelt bij de verspreiding van de warmte-energie op aarde, vooral vanaf de tropen naar hoger gelegen breedtegraden.

Maar het hele fenomeen is afhankelijk van enorme hoeveelheden water die in de Noord-Atlantische Oceaan omlaag zinken, en de mate waarin dit gebeurt is afhankelijk van de dichtheid van het water, wat door zijn zoutgehalte wordt bepaald.<sup>58</sup> Door de opwarming van de aarde lijkt het zoutgehalte terug te lopen. Ook is de opwarming onder meer verantwoordelijk voor een forse toename van de neerslag boven de Atlantische Oceaan en het omringende land en het afsmelten van de permafrost, de gletsjers en de ijskappen in de regio, waaronder de Groenlandse ijskap. Al dit zoete water snelt de Noord-Atlantische Oceaan in en zorgt ervoor dat het water, dat uit het zuiden de Golfstroom in stroomt, minder zout is en dus minder snel zal zinken.

Wetenschappers hebben over de afgelopen veertig jaar een verzoeking van de Noord-Atlantische wateren geconstateerd – een trend die de laatste tien jaar in een versnelling is geraakt en wel 'de grootste en meest ingrijpende verandering in de oceaan' wordt genoemd 'die sinds het tijdperk van de moderne meetinstrumenten ooit werd vastgesteld.'<sup>59</sup> Kort geleden hebben ze ook twee opmerkelijke veranderingen in de stroming van de Noord-Atlantische wateren waargenomen. In 2001 ontdekten ze dat de hoeveelheid diepzeewater dat door het cruciale, kilometerdiepe kanaal tussen de Faeröer- en de Shetlandeilanden naar het zuiden stroomt met twintig procent is afgenomen.<sup>60</sup> En in 2005, in de

meest onrustbarende ontdekking tot nog toe, stelden ze een afname van dertig procent in de zuidwaartse stroming van het diepzeewater door de Groenland Zee, de Noorse Zee en de Straat Denemarken naar de oostkust van Noord-Amerika vast.<sup>61</sup> Gecombineerd met ander bewijs geven deze signalen aan dat we wel eens dicht bij een verstoring van de 'grote transportband' kunnen zijn dan onderzoekers vooralsnog hebben aangenomen.<sup>62</sup> 'In de Noord-Atlantische Oceaan zijn we bezig iets heel akelig in gang te zetten,' aldus Robert Gagosian, president-directeur van het Woods Hole Oceanographic Institution in Massachusetts. Computermodellen laten zien, zo merkt hij op, dat een totale stopzetting van de transportband – waarbij de Golfstroom bijvoorbeeld in een reeks draaikolken uiteenvalt – de hele Noord-Atlantische regio met drie tot vijf graden zal afkoelen. 'Dat is genoeg om berggletsjers vanuit de Alpen omlaag te laten bewegen. Om rivieren en havens dicht te laten vriezen en de vaarroutes in de Noord-Atlantische Oceaan met ijs dicht te laten slippen. Om het transport over de weg en door de lucht te ontwrichten. Om tot een explosieve toename van de energiebehoefte te leiden. Om de landbouw en de visserij tot diepgaande veranderingen te dwingen. Om de manier waarop de bevolking wordt gevoed te veranderen. Om kort te gaan, de wereld en de wereldeconomie zouden er drastisch anders uitzien.'<sup>63</sup>

Een afkoeling op deze schaal zal, zo vertelde Gagosian in 2003 tegen een aantal leiders uit de zakenwereld, winters voortbrengen die 'twee keer zo koud zijn als de ergste winter die in de oostelijke Verenigde Staten de afgelopen honderd jaar gemeten is.' Noord-Europa zou net zo koud zijn als Alaska nu en waarschijnlijk niet meer in staat in de eigen voedselvoorziening te voorzien. Bovendien zouden de gevolgen zich tot ver buiten de Noord-Atlantische Oceaan kunnen uitstrekken: toen de grote transportband er in het verleden mee kapte – om redenen die wetenschappers nog niet volledig begrijpen –, vonden er grootschalige en wijdverspreide droogtes plaats.<sup>64</sup>

De meeste deskundigen beschouwen Gagosians scenario als een beetje al te extreem. Ze verwachten niet dat de transportband volledig stil zal vallen, al geven ze toe dat een gedeeltelijke stopzetting ergens deze eeuw tot de mogelijkheden behoort – de Golfstroom kan wel verzwakken, maar zal niet verdwijnen. Alle klimaatdeskundigen onderkennen echter wel dat we met een soort paradox geconfronteerd worden: terwijl de planeet als geheel – en historisch gezien in rap tempo – warmer wordt, kunnen bepaalde regio's vanwege radicale verschuivingen in de warmte-circulatie rond de aarde in elk geval tijdelijk koeler worden. Europa zou dan inderdaad kunnen afkoelen, terwijl de polen inclusief Groenland ondertussen verder afsmelten. 'Deze veranderingen zouden binnen een

bestek van tien jaar kunnen plaatsvinden,' zo waarschuwt Gagosian, 'en zouden honderden jaren stand kunnen houden. Veranderingen die wij nog tijdens ons leven kunnen meemaken, maar waarmee de kleinkinderen van onze kleinkinderen nog steeds geconfronteerd zullen worden.'<sup>65</sup>

De interactie tussen de oceaan en de atmosfeer is echter zo complex dat het onmogelijk is te voorspellen wanneer en hoe iets dergelijks zal plaatsvinden – wanneer de volgende abrupte kanteling van het evenwicht zich voordoet en waar deze ons heen voert. Terry Joyce, een fysisch oceanograaf en een van Gagosians collega's in het Woods Hole, geeft toe dat hij 'in het duister tast' over hoe dicht we bij een nieuw weerregime zijn aanbeland. 'Maar wel weet ik welke kant we opgaan,' zegt hij. 'Recht op de afgrond af.'<sup>66</sup>

### *Gerafelde netwerken*

Zelfs de geleidelijke, lineaire klimaatverandering die we de laatste dertig jaar gezien hebben, kan al enorm veel schade aanrichten, vooral omdat deze op precies hetzelfde moment begonnen is dat wij, zoals ik in het vorige hoofdstuk heb laten zien, het land, de bossen en de ecosystemen van de oceanen overal ter wereld ernstig zijn gaan aantasten.

Een ecosysteem is een netwerk. De soorten en organismen waaruit ecosystemen bestaan, zijn de knooppunten, en de stromen van energie, materiaal en genetische informatie tussen deze knooppunten vormen de verbindingen. Middels natuurlijke selectie passen soorten zich aan elkaar aan – in de terminologie van de biologen 'co-evolueren' ze – en worden hun relaties vaak sterk symbiotisch. Een prachtig voorbeeld is de symbiose tussen bloeiende planten en de insecten die ze bestuiven.<sup>67</sup> Zo schrijft de ecooloog E.O. Wilson dat plantensoorten 'bindende partnerschappen met hun tegenhangers in de insectenwereld zijn gaan smeden,' en dat 'de natuur dankzij ik weet niet hoeveel duizenden van dergelijke partnerschappen haar productiviteit en flexibiliteit behoudt.'<sup>68</sup>

Maar omdat wij de ecosystemen aantasten – door ze bijvoorbeeld te vervuilen of de natuurlijke leefomgevingen van hun soorten te vernietigen – zijn hun netwerken gaan rafelen. Van de weidelanden, de bossen en de moerasgebieden in de gematigde klimaatzones tot aan de tropische jungles, koraalriffen en mangrovebossen zijn de ecosystemen bezig hun knooppunten en verbindingen te verliezen. Het is alsof we de draden van een ingewikkeld wandkleed een voor een lospeuteren. Afhankelijk van het patroon van het verlies kan een ecosysteem vatbaarder voor schokken worden – of minder veerkrachtig.<sup>69</sup> Naarmate er meer

soorten uit het ecosysteem verdwijnen, kan het systeem ook sluitsteensoorten kwijtraken die essentiële diensten als bestuiving verzorgen.<sup>70</sup> En omdat ecosystemen schaalvrije netwerken zijn – met enkele essentiële soorten die als nauw gekoppelde hubs fungeren – kunnen ze, als ze te veel hubs verliezen, in kleinere netwerken uiteenvallen of zelfs totaal ineenstorten.<sup>71</sup>

Bestuivers verdienen onze bijzondere aandacht, omdat zij voor een goed deel van onze voedselvoorziening verantwoordelijk zijn. ‘Een op de drie happen voedsel en slokken drank die we naar binnen werken,’ zo merkt Wilson op, ‘hebben we indirect aan bestuivers te danken.’<sup>72</sup> En toch lijken de aantallen en verscheidenheid aan bestuivers – waaronder bijen, wespen, vliegen en vlinders – snel te slinken. Klaarblijkelijk bezwijken ze onder een spervuur aan inbreuken op hun leefmilieu, zoals overmatig gebruik van bestrijdingsmiddelen, vervuiling, nieuwe ziektes en rivaliteiten met andere insectensoorten die door de mens zijn verspreid. Dus in plaats van het vrolijk luidruchtige gezoem dat ons vroeger in de lente uit onze bloeiende planten, struikgewas en fruitbomen tegemoet gonsde, klinkt nu maar al te vaak een oorverdovende stilte op.

De klimaatverandering kan toch al verzwakte ecosystemen – inclusief zijn bestuivers – over de drempel duwen. De klimaatverandering ontwricht de natuurlijk leefomgeving en de voedselvoorziening van soorten en hun relaties met andere soorten.<sup>73</sup> Volgens een representatieve steekproef onder ruim duizend planten- en diersoorten zullen wereldwijd tussen de achttien en de vijfendertig procent van de soorten als gevolg van de opwarming van de aarde met uitsterving bedreigd worden.<sup>74</sup> De leider van het onderzoek, Chris Thomas, merkt daarover op: ‘Een modale schatting luidt dat vierentwintig procent van de planten en dieren tegen 2050 tot uitsterven is gedoemd. We hebben het hier niet over af en toe een verspreid geval van uitsterven – we hebben het over 1,25 miljoen soorten. Een ontzagwekkend aantal.’<sup>75</sup>

Oceaanbiologen hebben iets ontdekt dat zo mogelijk nog zorgwekkender is: sinds het begin van de jaren tachtig is de productiviteit van het fytoplankton in de oceanen met zes procent gedaald. Deze microscopisch kleine planten spelen een sleutelrol bij het opzuigen van de CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer en vormen het essentiële fundament van het voedselweb van de oceanen. Al kan de afname aan veel verschillende factoren worden toegeschreven – onder andere aan veranderingen in de windrichtingen die de met voedingsstoffen geladen stofdeeltjes van de continenten naar de oceanen distribueren – lijkt ook hier de klimaatverandering de sleuteloorzaak te zijn: de grootste afnames in productiviteit vonden daar plaats waar de oppervlakte van de oceaan het sterkst verwarmd is.<sup>76</sup>

Dus kan een negatieve synergie van klimaatverandering en andere milieuspanningen op den duur tot een verdere aantasting leiden van de ecosystemen van de bodem, de planten en de bestuivers, en van de bossen en visgronden die vooral in arme landen onmisbaar zijn voor de gezondheid en het levensonderhoud van mensen.<sup>77</sup> Klimaatverandering kan ook met andere, eerder genoemde tektonische spanningen gepaard gaan – bevolkingsspanningen, energietekorten en economische instabiliteit – die gezamenlijk enorme ontberingen voor samenlevingen en mensen teweegbrengen. Opnieuw laat een gebeurtenis op Haïti zien wat ons op den duur op veel grotere schaal te wachten kan staan.

---

Op 18 september 2004 ploegde orkaan Jeanne zich een weg door Gonaïves, de derde stad van Haïti, en spoelden er complete moddergolven van de nabijgelegen heuvels die tot op de laatste boom ontbost waren. Hele stadswijken werden weggespoeld of onder de modder bedolven. Tweeduizend mensen kwamen onmiddellijk om, terwijl honderden anderen vermist raakten. De volgende dag dreven hun opgezwollen dode lijven samen met die van varkens en koeien onbezield door de overstromde straten van de stad. De inwoners waren totaal van voedsel en drinkwater verstoken.<sup>78</sup>

De laatste tientallen jaren hebben Gonaïves, ooit een welvarende hub in de katoenhandel van Haïti, weinig meer dan economische rampspoed en geweld gebracht. De plaatselijke overheid is tegenwoordig totaal krachteloos, en zwaar bewapende rebellen en bendes van jongemannen intimideren de bevolking.<sup>79</sup> Voor veel mensen was de tropische orkaan Jeanne de laatste druppel. In de dagen na de storm plunderden bandieten de konvoien met hulpgoederen en beroofden bendes vrouwen van hun noodrantsoenen, toen ze bij de centra voor voedseldistributie naar buiten kwamen. Medira Jarmis, een vijfenveertigjarige fabrieksarbeidster, die de stad samen met acht familieleden ontvluchtte, vertelde: ‘Het is onmogelijk om hier nog langer te blijven. Er zijn zo veel doden dat de stad stinkt, en er is niets te eten en niets te drinken.’<sup>80</sup>

Orkaan Jeanne denderde door om Florida onder haar natuurgeweld te bedelven – de vierde grote orkaan die de zwaar op de proef gestelde staat in 2004 zou treffen. Was deze buitengewone reeks stormen – en de nog verwoestendere reeks in het daarop volgende jaar – een voorschok van een aanstormende klimaatcrisis? Daar kunnen we nog niet zeker van zijn, hoewel het wetenschappelijk bewijs zich opstapelt dat de opwarming van de oceanen overal rond de wereld tot heviger, zo niet frequentere orkanen, tyfoons en cyclonen leidt.<sup>81</sup> Maar er is één ding waar

we wel zeker van kunnen zijn: de verwoesting van Haïti door Jeanne laat zien wat er gebeurt wanneer een opeenstapeling van sociale en ecologische spanningen onophoudelijk op een samenleving inbeuken. Haïti zit inmiddels gevangen in een neerwaartse, zichzelf versterkende spiraal van economische, ecologische en sociale ontwrichting.

Wij in de rijke landen dachten misschien dat wij, veilig ver weg achter onze goed bewaakte grenzen, immuun zijn voor dergelijke tragedies – totdat orkaan Katrina New Orleans openreet en anarchie in haar kielzog achterliet. Maar het uiteenvallen van de wereldorde waarvan we afhankelijk zijn, zal – als en wanneer deze plaatsvindt – naar alle waarschijnlijkheid aan de rafelranden beginnen. Het zal grotendeels onopgemerkt in de vergeten uithoeken van de wereld beginnen. De signalen zullen zich eerst op verafgelegen plekken voordoen, zoals op de ijsvelden aan de polen en op de Kilimanjaro, in onze fluisterstille tuinen in de lente of in de halfvergane, met modder dichtgeslipte straten van steden als Gonaïves.