



Zes graden

Wanneer we een wereld binnengaan die zes graden warmer is dan nu, zijn er maar weinig aanknopingspunten voor wat ons werkelijk te wachten staat. Mijn gidsen in deze moderne variant van Dante's Inferno zijn tot nu toe met name de wetenschappers geweest die klimaatmodellen hebben ontwikkeld. De meesten van hen zijn inmiddels echter achterop geraakt: van de huidige generatie klimaatmodellen gaat er bijna geeneen tot zes graden opwarming in 2100. Maar zoals we hiervoor al zagen, zitten modellen qua ontwerp vaak wat behoudend in elkaar en zodoende valt die uitkomst niet uit te sluiten. Het zes-gradenbeeld is trouwens ook wel degelijk onderdeel van het IPCC-scenario waarop dit boek is gebaseerd. In plaats van op klimaatmodellen zullen we nu dan ook moeten vertrouwen op de schetsmatige geologische informatie over extreme broeikasperiodes in het verre verleden van de aarde. Daarmee moeten we onszelf zien bij te lichten wanneer we deze Zesde Kring van de Hel ingaan. Dante waarschuwt zijn lezers en ik zal dat ook doen. Als dit een televisieprogramma was, zou het vooraf gegaan worden door de woorden: "Waarschuwing: de volgende beelden kunnen als schokkend worden ervaren".

De wereld in het Krijt

De langste extreme broeikasperiode, het Krijt-tijdperk, was het grootste deel van de tijd goedaardig – ook al was de planeet toen geografisch en ecologisch een heel andere dan nu.

Gedurende deze periode, tussen de 144 en 65 miljoen jaar geleden, werd het land gedomineerd door varens, cicaden en coniferen. Bloeiende planten begonnen zich nog maar net te ontwikkelen. Het grote supercontinent Pangea scheurde doormidden en Zuid-Amerika werd van Afrika gescheiden alsof het een stukje van een reusachtige drijvende legpuzzel was. Het smalle water tussen hen in, de jonge Atlantische Oceaan, was niet breder dan de Middellandse Zee tegenwoordig is. Elk jaar verschoven de tektonische platen een paar millimeter en daarbij werd de planeet door elkaar geschud door enorme vulkanische uitbarstingen.

Op het zuidelijk halfrond lag India veel verder naar het zuiden dan nu en dreef het nog steeds vredig voor de oostkust van Madagaskar. Ook zagen de grootste continenten er heel anders uit: omdat de zeespiegel minstens 200 meter hoger lag dan vandaag de dag, stonden de meeste continentale binnenlanden onder water. Door het binnendringen van de oceanen was Noord-Amerika verdeeld in drie afzonderlijke eilanden, terwijl ook delen van Noord-Afrika, Europa en Zuid-Amerika onder ondiepe zeeën waren verdwenen. De invallende zeeën lieten kenmerkende kalksteenplateaus achter, die van de Middellandse Zee tot aan China nog steeds zichtbaar zijn. Ook lieten ze kalk achter: het Latijnse woord voor kalk, creta, is de stam van ons woord krijt. De beroemde witte kliffen en krijtheuvels in Engeland stammen allemaal uit de periode van het Krijt.

Ook was de wereld een stuk platter. Bergen ontstaan waar platen op elkaar stoten – maar in het Krijt scheurden de continenten van elkaar af, in plaats van op elkaar te botsen. Door de hogere zeespiegel en kleinere continenten bestond nog slechts 80 procent van het huidige landoppervlak; de rest was diepblauwe zee. De geografische verschillen waren net zo groot als de klimatologische, want ten tijde van het Krijt lagen de gemiddelde temperaturen op aarde 10 tot 15 graden boven de huidige waarden. En niet zomaar eventjes, maar miljoenen jaren lang.

Tekenen van dat langdurige en extreme broeikasklimaat zijn over de hele wereld te vinden in afzettingsgesteentes uit die tijd. Af en toe komen er uit de bevroren hellingen van Noord-Alaska fossiele boomstronken tevoorschijn die sterk lijken op hedendaagse palmbomen. In die weelderige subpolaire bossen graasden dinosaurussen – sommige bijna 20 meter lang, zoals de herbivore Edmontosaurus, een zogenaamde eendensnaveldinosauriër – die in de Krijtrotsen botten achterlieten en afdrukken van poten en zelfs van huid. Vorst was een zeldzaamheid of kwam helemaal niet voor, zelfs niet aan de rand van van de Noordelijke IJszee. Het Siberische Noord-Oosten van Rusland werd het hele jaar gekoesterd door mediterrane temperaturen, ondanks de twee maanden durende poolnacht. Voorvaderlijke krokodillen, heel toepasselijk Champsosaurus genoemd, beloerden in de ondiepe, warme moerassen in het arctische Canada scholen voorbij komende vissen. Bosjes tropische broodbomen tierden welig aan de westkust van Groenland.

Maar deze wereld was niet alleen maar zonnenschijn, grazende dinosaurussen en zacht wuivende palmen. In sommige rotsformaties zijn afzettingen gevonden die ‘tempestieten’ worden genoemd, en die afkomstig zijn uit het puin van zware stormen. Dit soort woeste orkanen, die vanwege de hogere temperatuur van de oceanen veel sterker dan de huidige moeten zijn geweest, heeft zelfs op de zeebodem sporen nagelaten. Daar hebben ze grote heuvels opgebouwd, die geologen zijn gaan bestuderen. Ontstaan halverwege het Krijt, toen het CO₂-gehalte en de temperaturen het hoogst waren en de broeikas op zijn top was, zijn deze heuvels de grootste van allemaal.

Deze tempestiet-afzettingen geven aan dat het door een intensere hydrologische cyclus in sommige gebieden veel harder regende. In het overstromde binnenland van Noord-Amerika, waar een tropisch klimaat heerste, viel er wel 4.000 millimeter per jaar. Dit soort buien, dat we vandaag de dag in het Indiase regenseizoen zien, doorweekte

het land. De temperatuur in de oceaan die zulke regenbuien aanjaagt, was veel hoger dan nu: in de tropische Atlantische Oceaan is die misschien wel 42°C geweest – eerder een warm bad dan een oceaan. In de subpolaire Zuidelijke Atlantische Oceaan, vlakbij de Falklandeilanden, was de temperatuur van het zeewater aan de oppervlakte gemiddeld zo'n 32°C . Zo warm is het nu zelfs middenin de tropen bijna nergens meer.

Als we al het geologische bewijsmateriaal in één beeld bij elkaar leggen, tekenen zich al gauw verschillende zones af. Rond de evenaar zien we een brede vochtige gordel met de meeste regenval en de zwaarste stormen; koraalriffen en regenwouden waren er echter nauwelijks. Een veel breder gebied daaromheen, waartoe Afrika, Zuid-Amerika en het zuiden van de Verenigde Staten en van Europa behoren, wordt gekenmerkt door grote droogte. De planten en dieren in dat gebied waren daarop ingesteld.

Hoger op de gematigde breedtegraden was het warm en vochtig, maar in deze gordel deden zich vaak felle branden voor; sommige Krijt-varianten van de varen waren op dezelfde manier aan brand aangepast als de eucalyptusbomen in het huidige Australië. Ook de fysiologie van de planten was aan de droogte aangepast. Fossiele bomen uit Zuid-Engeland laten ongelijkmatige jaarringen zien met droge jaren waarin de regens uitbleven. In de poolgebieden heerste er op beide halfronden een gematigd en vochtig klimaat. Zowel in Sibirië als op het Antarctisch Schiereiland groeiden weelderige bossen. Het mag duidelijk zijn dat er in deze wereld geen ijs op de polen lag. Waarschijnlijk stonden er zelfs bossen op de Zuidpool zelf. Zij bleven het hele jaar door groen, ook al stonden ze vanwege de poolnacht zowat de helft van het jaar in het donker. Te bewijzen valt het echter niet, aangezien vandaag de dag een pak van 3 kilometer ijs verhindert dat er eventueel fossiel hout wordt ontdekt. De watertemperatuur aan de Noordpool moet met twintig graden heerlijk zacht zijn geweest.

Men neemt aan dat het CO₂-gehalte al met al zo'n drie tot zes keer hoger was dan tegenwoordig. Die situatie en de huidige zijn echter niet direct met elkaar te vergelijken, omdat de zon wat minder sterk was in het Krijt. Dat compenseerde de opwarming van de broeikas enigszins. Het meeste van die extra CO₂ was van vulkanische oorsprong, dankzij de grotere vulkanische activiteit die samenhang met de splitsing van het supercontinent Pangea. Vandaag de dag leveren vulkanen jaarlijks slechts twee procent van de totale atmosferische CO₂, maar in het Krijt vonden de uitbarstingen echt op een gigantische schaal plaats en hielden ze bovendien vele duizenden jaren aan.

Toch stuurt het systeem aarde altijd weer op een evenwicht aan – net zoals warmbloedige dieren, waaronder de mens, onbewust hun stofwisseling aanpassen om hun lichaamstemperatuur constant op een optimaal niveau te houden. Zo'n beeld van de planeet als zelfregulerend systeem is in feite het basisprincipe van de Gaia-theorie van James Lovelock. Lovelock beweert nog net niet dat de aarde een wezen met gevoel is, maar zijn observatie dat verschillende planetaire mechanismen haast met opzet een temperatuur handhaven die gunstig voor het leven is, klopt precies. Dat wordt uitstekend geïllustreerd door de werking van de koolstofcyclus op de lange termijn: als de kooldioxidegehalten in de atmosfeer te hoog worden, komen de levensvormen in gevaar doordat er een steeds sneller broeikas effect ontstaat; dat is ook waarom Venus een dode planeet is. Maar als de gehalten te laag worden, zal de planeet bevriezen. Voor schommelingen in het koolstofgehalte is slechts een relatief smalle bandbreedte wenselijk. Daarom stoten levende mechanismen CO₂ uit als er te weinig van is en absorberen ze het als er teveel van komt.

Ten tijde van het Krijt waren de enorme kalkplateaus op zee in de subtropen de grootste onder deze levende koolstofputten. Laag op laag vormden de schelpen ervan plateaus van tientallen miljoenen vierkante kilometers op de ondiepe zeebodem. Sommige daarvan kwamen later bloot te liggen

als het kalkstenen plaveisel op plekken als Mallorca en in Griekenland. Als je goed kijkt, kun je daar in de kalksteenrotsen vaak opeenhopingen van gemalen schelpen zien. Het opbouwen daarvan was een langzaam proces: het duurde een slordige miljoen jaar om 30 meter kalksteen op te bouwen.

Ook de vegetatie was van groot belang voor het vastleggen van koolstof. Onder bossen en in moerassen ontstonden grote veengewelven, die gaandeweg tot steenkool werden samengeperst. Zo bevatten de fossiele bossen op de North Slope van Alaska dikke lagen steenkool en wordt er steenkool uit het Krijt gevonden in Noordoost-Rusland, West-Canada, de binnenlanden van de Verenigde Staten, Duitsland (vooral het vuile 'bruinkool', oftewel ligniet), Noord-China, Australië en Nieuw Zeeland. Ook onder het ijs op Antarctica zouden nog aanzienlijke steenkoolafzettingen kunnen liggen, als nalatenschap uit een warmere periode waarin er op de pool nog grote bossen groeiden.

Tevens werden er grote hoeveelheden koolstof opgeslagen in sedimenten in de oceaan, doordat de overblijfselen van plankton op de bodem bezonken als vette lagen organische modder. Een deel van deze koolstof, die bij wijze van spreken door geologische processen werd 'gekookt' en door poreuze rotsen in reservoirs werd geperst, is voor de moderne mens een welbekende substantie: aardolie.

Eén les die er uit de werking van deze oeroude koolstofcyclus valt te leren is zonneklaar. Het leven op aarde is miljoenen jaren lang druk bezig geweest om gevaarlijk hoge niveaus CO₂ uit de atmosfeer te halen en zo de temperatuur op de planeet binnen aanvaardbare grenzen te houden. De mens is op dit moment druk bezig om veel van diezelfde koolstof terug in de atmosfeer te brengen door het verbruik van steenkool, olie en gas. Die worden niet voor niets 'fossiele brandstoffen' genoemd. Bovendien is de mens veel beter in het omzetten van koolstof dan mosselen, oesters en plankton: we maken het zo'n tien miljoen keer sneller vrij dan de levensvormen in het Krijt het al die eonen geleden wisten vast te leggen.

Toch zou je je door het geologische bewijsmateriaal gemakkelijk een gevoel kunnen laten aanpraten, dat het Krijt, met zijn weelderige, steenkoolvormende bossen en uitbundige dierenleven, best een aantrekkelijke plek geweest is, al was het dan een beetje warm en plakkerig. Wijst het er immers niet op dat de aarde kan overleven en dat levensvormen zelfs kunnen opbloeien bij veel hogere temperaturen? Zou dat onze zorgen voor de toekomst niet wat kunnen verlichten? Misschien. Maar in het broeikasklimaat ten tijde van het Krijt ontwikkelden de ecosystemen zich over een hele lange tijd en veel van de planten en dieren die we nu als fossielen tegenkomen waren daar duidelijk uitstekend aan aangepast. En dat is nu dus niet het geval: we delen de planeet met soorten die in het algemeen aan koelere omstandigheden zijn aangepast. Als het ons inderdaad lukt om de aarde terug te laten kantelen naar het extreme broeikasklimaat van het Krijt, zullen er van de ecosystemen die wij nu kennen maar weinig overblijven. Zoals we hierna zullen zien, staat de boel niet afgesteld op welvarende palmbomen in Alaska, maar op de beroerdste van alle aardse uitkomsten: massale uitsterfing.

Olie onder de golven

Een wat toepasselijker analogie uit het verleden zou niet zozeer de langdurige broeikasperiode in het Krijt zijn, maar een aantal van die keren dat de planeet in de loop der tijden juist sneller opwarmde. Het Paleoceen-Eoceen Thermisch Maximum, dat we in het vorige hoofdstuk bespraken, is er daar één van. Ook in het Krijt waren er zulke pieken in de temperatuur en zij hangen op eenzelfde manier samen met dramatische veranderingen in het klimaat en in de voorkomende levensvormen. Die opwarmingspieken zijn deels verantwoordelijk voor de overvloed aan ruwe olie in sedimenten op aarde. Ironisch genoeg legde de ene opwarmingspiek daarbij de basis voor de volgende.

Die warmtepieken worden gemarkeerd door banen zwarte schalie in de verder kalkhoudende Krijtrotzen. Het zijn de overblijfselen van het stinkende slijk dat door een regen van plankton en andere zee-organismen op de oceaانبodem werd neergelegd. Onder normale omstandigheden zou deze organische koolstof door allerlei beestjes op de zeebodem zijn opgegeten. Maar tijdens de pieken in de opwarming ging er in de oceanen iets mis. De zuurstofspiegel daalde en het water werd langzaamaan anoxisch: alle zuurstof verdween eruit. Zonder de bodemdierpjes moeten de oceanen een soort stilstaande vijvers zijn geweest, waarin alleen helemaal bovenin nog een dunne laag leven was die aan zuurstof kon komen. Niemand is er zeker van wat deze gevallen van zogeheten ‘oceanische zuurstofnood’ veroorzaakte, noch hoe ze precies verliepen – maar dat zij samenhangen met pieken in de opwarming lijkt wel duidelijk.

Een mogelijkheid is dat catastrofale uitbarstingen van methaanijs het klimaat zo sterk opwarmden, dat de oceanen ophielden hun water goed om te zetten. In de atmosfeer begint de convectie van warmte onderaan: warmere lucht zet uit, wordt lichter en stijgt op, en het resultaat is dat de lucht circuleert. In de oceaan loopt de opwarming echter van boven naar beneden. Daarbij blijft de lichtere, warme laag dus als een deksel bovenop de diepere koude lagen liggen en op die manier sluit deze de zuurstofaanvoer af, wat tot massale sterfte kan leiden. In El Niño-jaren kan langs de kust van Peru zo’n gelaagdheid in het oceaanwater plotseling ontstaan wanneer de warme stroom zich aandient. Daarbij worden de vis- en vogelstanden gedecimeerd, terwijl die normaal gesproken goed gedijen bij de opwellende koudere Humboldt-stroom.

Deze gelaagdheid in de oceanen verklaart ook waarom tropische wateren er zo helder en smetteloos uitzien. Ze bevatten zo weinig voedingsstoffen dat er bijna niets in kan overleven; het zijn een soort zeewoestijnen. Daar tegenover staan de goed gemengde, koudere oceanen dicht bij de polen, waarin grote hoeveelheden plankton kunnen floreren.

Daar is de zee modderig en groen, maar hij voedt wel een overvloedige visstand. Tijdens voorbije gevallen van ‘oceanische zuurstofnood’ beperkte deze gelaagdheid zich niet tot een bepaalde regio, maar trof de hele planeet, wat een massale sterfte van het leven in zee tot gevolg had.

Een andere hypothese is dat in deze extreme broeikasperiodes een snellere hydrologische kringloop heerste, waarbij zware regenval de voedingsstoffen van het land spoelde en zo voor een wereldwijde algenbloei zorgde. Een hedendaagse versie daarvan zou de giftige ‘rode vloed’ kunnen zijn, die elk jaar aanspoelt voor de kust van China, of de zuurstofloze ‘dode zone’ in de Golf van Mexico, die veroorzaakt wordt door uitgeloopte kunstmest die de Mississippi af komt stromen. Ook kunnen hardere winden de voedingsstoffen naar zee geblazen hebben, net zoals zandstormen uit de Sahara tegenwoordig de Atlantische Oceaan bemesten – in het bijzonder omdat de woestijnen in het Krijt veel groter zouden zijn geweest.

Als verklaring voor de grootste opwarmingspiek en de bijbehorende oceanische zuurstofnood, namelijk die van 183 miljoen jaar geleden tijdens de Jura, is wel een bijzonder dramatische theorie naar voren geschoven. In die periode steeg het CO₂-gehalte in de atmosfeer met 1.000 ppm, waardoor de temperatuur wereldwijd met ongeveer zes graden steeg – wat opvallend sterk overeenkomt met het *worst case scenario* van het IPCC. Dat had ingrijpende gevolgen, want het leidde tot de meest omvangrijke uitsterving van het leven in zee uit de hele periode van Krijt en Jura samen (een tijdspanne van 140 miljoen jaar). Geologen verschillen van mening over de mogelijke oorzaken van dat gebeuren. De ene theorie gaat ervan uit dat er in zuidelijk Afrika heet vulkanisch magma naar binnen sijpelde in oude steenkoollagen die duizenden kilometers lang waren. In een vergelijkbare periode als die aan het eind van het Paleoceen (dat we in het vorige hoofdstuk bekeken) kan hete lava deze steenkool hebben vergast, waardoor methaan en kooldioxide de lucht instroomden. Dat zou

een versnelde opwarmingspiek teweeg hebben gebracht, die alle zuurstof uit de oceanen heeft getrokken.

Merkwaardig genoeg hebben geologen duizenden verticale rotskanalen ontdekt, in doorsnee variërend van 20 tot 150 meter, waardoor zo'n 1.800 gigaton CO₂ vanuit deze vulkanisch hardgebakken sedimenten de Jura-atmosfeer ingeblazen zou kunnen zijn. De Karoo-vlakte in Zuid-Afrika ligt bezaaid met deze zogenoemde 'brecciepijpen'. Op luchtfoto's zien ze eruit als piepkleine vulkaantjes, een zwakke geologische echo van de schoorstenen van moderne krachtcentrales, die vandaag de dag natuurlijk net zo'n rol in de uitstoot van koolstof hebben.

Een andere theorie sleept er de standaardverdachte bij: methaanijs uit het continentaal plat langs de oceaandrands, waarvan er in gasvorm vanonder de zee een stoot van misschien wel 9.000 miljard ton CO₂ is vrijgekomen. Misschien kan een combinatie van deze laatste twee de dramatische opwarming nog het beste verklaren. Hoe dan ook, de hele geologische koolstofkringloop liep kortsluiting op, waardoor de aardse klimaat-stoppen doorsloegen. Een waarschuwing uit het verre verleden voor onze zeer nabije toekomst.

De uitkomst was desastreus, maar toch zijn de meeste soorten die in die tijd leefden de crisis op één of andere manier weer te boven gekomen. Misschien omdat het allemaal nog relatief langzaam ging. Datzelfde kan niet worden gezegd van een vergelijkbare, maar veel grotere ramp, die aan het eind van het Perm, 251 miljoen jaar geleden, zowel in zee als op het land levende soorten trof. Die periode vormde de ergste crisis die het leven op aarde ooit te verduren heeft gehad. Nooit kwam de planeet zo dichtbij het punt, waarop zij haar wonderbaarlijke levende biosfeer helemaal kwijt kon raken, om te eindigen als een dood, godverlaten rotsblok in de ruimte. Als het hypothetische gebeuren met de Jura-steenkool al een stop was die doorsloeg, dan kwam deze massale sterfte aan het eind van het Perm erop neer dat het huis tot op de grond afbrandde.

Slachting in het late Perm

De Chinese arbeiders die inhakten op de rotsen in de steengroeven van Meishan in de provincie Zhejiang in het zuiden van China, zullen aan de scheidslijn tussen de grijze kalksteen en het wat donkerder kleiig gesteente niets bijzonders hebben gezien. Ze zullen misschien gemerkt hebben dat het gesteente net eronder iets brokkeliger was dan normaal, waardoor het vervelend genoeg ongeschikt is voor de bouw. Ook zal hen de plotselinge kleurverandering van lichtgrijs in bijna-zwart wel opgevallen zijn. Maar het opblazen en wegslepen van deze grauwe gesteenten zal voor hen een dag werk zijn geweest als alle andere. Geen van die arbeiders zal beseft hebben dat zij met hun drillboren, houwelen en schoppen bezig waren om één van de grootste en belangrijkste geologische vindplaatsen ooit bloot te leggen. Ze hadden hun steengroeve precies op de grens van het Perm en het Trias gelegd, die het decor vormde van de grootste massale uitroeiing aller tijden.

De bodemprofielen van Meishan zijn de gouden maatstaf gaan vormen voor de geologie van het late Perm, omdat daarin de opeenvolging van gesteenten zo scherp afgebakend is. De afzettingen vonden plaats op een ondiepe zeebodem en de kalkstenen profielen onder de Perm-Triasgrens zitten tjokvol fossielen. Met name de piepkleine micro-organismen die foraminiferen en conodonten worden genoemd, zijn overvloedig aanwezig, maar ook worden er zee-egels, zeesterren en kleine schaaldiertjes gevonden, net als koralen, vissen en haaien. Voordat de uitroeiing plaatsvond, was de zee duidelijk heel productief en boordevol leven. Elk dier en elke plant was helemaal aangepast aan de plek die was ontstaan in het ingewikkelde netwerk van ecosystemen.

En dan voltrekt zich de ramp. Fossielen verdwijnen en in plaats van kalksteen verschijnt er een omgewoelde laag klei, met daarin stukjes kwarts en as van een zware vulkaanuitbarsting. Hier bovenop ligt het donkere kleiig gesteente, rijk aan organisch materiaal – een veelzeggend teken van de

zuurstofarme toestand van de zeebodem. Verder zit er pyriet in (het 'goud der dwazen'), dat ook al wijst op een zwavelige, zuurstofarme situatie. De eerdere overvloed aan fossielen is compleet verdwenen. Waar eens honderden verschillende soorten in een complex netwerk samenleefden, zitten er nu een paar eenzame schelpen in de modder geklemd. Bijna al het leven in zee is weggevaagd. En volgens de geologen die aan het Meishan-profiel werken, is de hele catastrofe vastgelegd in laagjes van in totaal niet meer dan 12 millimeter.

Er liggen in de gesteenten van Meishan nog meer geheimen verscholen. De laag vulkanische as maakte een nauwkeurige datering mogelijk, gebaseerd op het verval van uranium-isotopen tot lood; deze datering geeft aan dat dit gebeuren zich 251 miljoen jaar geleden heeft afgespeeld. Aan de veranderingen in de koolstof-isotopen is te zien dat er met de biosfeer en de koolstofkringloop iets grondig is misgegaan. Een aanwijzing voor het waarom daarvan komt vanuit de zuurstof-isotopen; ook die lieten een gigantische verschuiving van zuurstof-16 naar zuurstof-18 zien, wat wijst op grote temperatuurschommelingen. En daarin schuilt het meest schokkende nieuws: de temperatuur was niet zomaar met één graad, of twee of zelfs met vier graden omhoog gelopen. Hij was met maar liefst zes graden omhoog geschóten. De uitroeiing in het late Perm, zo lijkt het, vond plaats in een periode van razendsnelle broeikasopwarming.

Buiten China vertellen andere vindplaatsen van het Perm-Trias-overgangsgesteente hetzelfde verhaal van een noodlottige, mondiale apocalyps. In Noord-Italië bevatten mariene sedimentlagen uit een kustgebied in het late Perm bodemateriaal dat in een enorme vlaag van bodemerosie is weggespoeld. Onder normale omstandigheden verankeren planten de bodem, zodat deze niet door de regen wordt weggespoeld. Maar dat is hier niet gebeurd en de grimmige conclusie is, dat vrijwel alle plantaardige begroeiing van de bodem weggevaagd moet zijn. Iets heeft de bossen, de moerassen en de savannen kaal gemaaid en toen de moessonregens kwamen

was er niets meer om de kostbare bodem vast te houden. In één grote stortvloed werd deze in de prehistorische oceaan gedumpt.

Daar waar op het land nog dode vegetatie overbleef, is die domweg ter plekke weggerot. In gesteenten in de Israëliëse Negev-woestijn en elders in de wereld is men een 'schimmel-piek' tegengekomen; deze is af te lezen uit de bewaard gebleven sporen van paddestoelen, die enorm zijn gaan woekeren door op te schieten uit de afstervende bomen en struiken. Voor organismen die smullen van dood en verderf, was het een tijd van ongekeerde weelde.

In het Karoobekken in het tegenwoordige Zuid-Afrika stuitte onderzoekers die zochten naar fossielen uit de Perm-Trias-overgang, op een merkwaardige laag uit de tijd van de uitroeiing. Deze afzetting wijst wederom op een catastrofale erosie. Ze is volkomen levenloos; er is geen enkel bekend fossiel in te vinden. Tevens wijst het op een rampzalige verandering van het klimaat van nat naar kurkdroog, precies in de periode dat alle levensvormen verdwenen. Waar ooit een diep uitgesneden vallei liep, met oevers die bruisten van het leven, lag nu een vlechtwerk van geulen in een verdroogd, gebarsten landschap. Nu er geen vegetatie meer was om de oevers op hun plaats te houden, meanderde het water door de woestijn die aan het ontstaan was. Wat ooit een Hof van Eden was geweest, was veranderd in een Vallei des Doods.

Meer aanwijzingen voor een apocalyptische superbroeikas komen van onverwachte kant: Antarctica. Een kleine drieduizend meter hoog op de Graphite Peak in het centraal gelegen Transantarctische Gebergte wijzen bodemonsters op een scherpe toename in de snelheid van chemische verweering, waarschijnlijk omdat het gestegen CO₂-niveau in de atmosfeer voor zure regen zorgde. De afzettingen in de rotsen laten ook zien dat de overgang van gewone omstandigheden naar die van een broeikas ongekeerd snel was – althans in geologisch opzicht – namelijk iets in de orde van tienduizend jaar of minder.

De geologen David Kidder en Thomas Worseley kwamen met een fascinerend model voor hoe deze broeikaswereld werkte en ook hoe deze tot stand kwam. Zij betogen dat de kiem voor dit massale uitsterven al tientallen miljoenen jaren eerder werd gelegd, toen er een einde kwam aan de tektonische gebergtevorming. Daarmee kwam ook de chemische verwerking stil te liggen, zodat het kooldioxidegehalte in de atmosfeer gaandeweg tot gevaarlijk hoge waarden kon oplopen. Tegen het einde van het Perm was het CO₂-gehalte vier keer zo hoog als nu, waardoor de temperatuur op de hele aardbol tot grote hoogten kon stijgen.

Als bij een dodelijk spelletje domino leidde de klimaatovergang tot een kettingreactie van feedbackmechanismes, die ieder op hun manier de crisis alleen maar verergerden. Woestijngebieden breidden zich uit, terwijl bossen zich terugtrokken naar koelere oorden aan de polen, waardoor er weer minder CO₂ door fotosynthese kon worden weggevangen. In het noorden reikten de woestijnen tot aan de 45e breedtegraad – Midden-Europa en Noord-Amerika bij de huidige ligging van de continenten – en misschien drongen ze zelfs door tot de 60e breedtegraad, vlakbij de Noordpoolcirkel. Deze woestijnen moeten onvoorstelbaar heet zijn geweest. Door de hoge verdamping uit de kustwateren werd het zee-water veel zouter en zwaarder, waardoor warm water dieper de oceaan in zakte. Dat is het omgekeerde van wat er vandaag de dag gebeurt, namelijk dat het koude water aan de polen de oceanische afgrond in verdwijnt. In de Perm-broeikas vertraagden de hetere polen echter die neerwaartse beweging, totdat die uiteindelijk helemaal stopte.

Warm water mag dan lekker zijn om in te zwemmen, maar zoals we al eerder zagen, als het zich eenmaal over de oceanen heeft verspreid, is het dodelijk. In warmer zeewater lost minder zuurstof op en dus kwam het water over de hele diepte geleidelijk aan stil te staan en werd het zuurstofloos. Waterbewoners die zuurstof ademen – alle hogere levensvormen, van plankton tot haaien – stierven zo de verstik-

kingsdood. Omdat warm water ook nog eens uitzet, steeg de zeespiegel tijdens de Perm-crisis zo'n 20 meter, waardoor het continentaal plat werd overspoeld. Waar het zuurstofarme water over het land gutste, ontstonden ondiepe, hete zeeën.

Deze hetere oceanen moeten schrikbarend felle stormen tweeweg hebben gebracht, vele malen heftiger dan we vandaag de dag meemaken. De stormen van tegenwoordig worden afgeremd door het koude water, zowel in de diepere zeelagen als op de hogere breedtegraden. Maar in de broeikas van het late Perm omspanden de warme oceanen de aardbol van pool tot pool. Superorkanen zouden genoeg energie gehad hebben om op te stomen naar de Noordpool en weer terug, en misschien zelfs om de aardbol een paar keer rond te gaan. Alleen droog land zou hen hebben kunnen stoppen, maar wanneer zo'n superorkaan op een kust stuit, ontstaan springvloed die geen levend organisme sparen. Deze kolossale stormen moeten ook grote hoeveelheden warmte naar hogere breedtegraden hebben gebracht, zodat waterdamp en wolkenvelden het broeikas effect alleen nog maar versterkten.

En toch was dat nog maar het begin. Als het systeem aarde in evenwicht was geweest, had het zulke klappen nog wel kunnen hebben. Maar helaas besloot het noodlot anders. Juist op het moment dat de Permische broeikas zijn hoogtepunt naderde, werkte zich een gigantische kolom magma vanuit de gesmolten aardmantel omhoog naar de aardkorst, als een mes op het hart van Siberië gericht. Toen deze het oppervlak bereikte, barstte het vloeibare gesteente met onvoorstelbaar geweld naar buiten en werden as en vulkanisch puin honderden kilometers ver weggeslingerd, waarbij de zon werd verduisterd door stof en zwaveldioxide. In de loop van duizenden jaren barstte er steeds meer magma uit. Het hoopte zich op in lagen van honderden meters dik, over een gebied dat groter is dan West-Europa. Met elke volgende eruptie stroomde er meer basalt over het land, waarbij er uit de gapende helse scheuren in het aardoppervlak miljarden tonnen CO₂ vrijkwamen.

De overlevingskansen zouden groter zijn geweest als de Siberische basaltstroom zich niet had aangediend op een moment dat de verregaande opwarming de biosfeer toch al aan de rand van haar voortbestaan had gebracht. Op deze manier deelden de uitbarstingen nog eens een extra dreun uit, door giftige gassen en CO₂ in gelijke hoeveelheden uit te braken, donderbuiën met zure regen te ontketenen en tegelijkertijd de broeikas nog verder in een extreme toestand te brengen. In zijn boek *When Life Nearly Died* schetst Michael Benton hoe deze moessons van zwavelzuur het land van vegetatie ontdeden en rottende boomstronken en dode bladeren in de toch al stilstaande oceanen spoelden. Tegen die tijd was het leven voor het grootste deel dood of bezig te sterven. Levende wezens in diepe holen zouden het begin van de crisis misschien nog hebben overleefd, maar alles wat bovengronds kwam zou spoedig bezwijken van hitte of van uithongering. Aangezien de meeste vegetatie, de basis van de voedselketen zowel op het land als in zee, was weggevaagd, zou niets nog lang stand hebben kunnen houden. Het zuurstofgehalte in de atmosfeer dook omlaag naar een schamele 15 procent (vergeleken met 21 procent nu). Laag genoeg om elk snel bewegend dier – zelfs op zeeniveau – naar adem te laten happen.

En het ergste moest nog komen. Warm water bereikte steeds sneller de diepere oceanlagen en een monster dat inmiddels geen onbekende meer voor ons is, roerde zich langs het onderzeese continentaal plat: methaanijs. De opwarming van de aarde sloeg op hol.

Veel van het methaan dat aanvankelijk vrijkwam zal zijn opgelost in de zuil water erboven en hoopte zich daar gaandeweg op. Aangezien de stroom gasbellen maar steeds doorging, bereikte elke volgende laag oceanwater op een gegeven moment zijn verzadigingspunt. Toen deze explosieven eenmaal klaar lagen, was er alleen nog een ontsteking nodig.

Dit is hoe uitbarstingen zich ontvouwen: eerst stuwt een kleine verstoring op de zeebodem een pakket water omhoog

dat met methaangas is verzadigd. Terwijl het opstijgt, beginnen er bellen te verschijnen, omdat opgelost gas door de dalende waterdruk gaat bruisen – net als een fles frisdrank gaat spuiten wanneer je de dop er te snel afhaalt. Deze bellen verhogen de opwaartse druk, waardoor het pakket water nog sneller gaat stijgen. Terwijl het water zichzelf omhoog stuwt en een explosieve kracht ontwikkelt, wordt daardoor ook het omringende water meegesleurd, waardoor de beweging zich verspreidt. Aan het oppervlak schiet het water honderden meters de lucht in als het vrijgekomen gas de atmosfeer in knalt. Schokgolven planten zich in alle richtingen voort, wat in de omgeving weer tot nieuwe uitbarstingen leidt.

Niets hiervan is theoretisch giswerk. Eenzelfde soort proces, zij het in mini-formaat, vond kort geleden plaats, in 1986 in het vulkaanmeer Nyos in Kameroen. Onder de bodem van het meer komt door vulkanische gasontsnappingsen doorlopend kooldioxide vrij. Laat op de avond van de 12e augustus spoot dit gas ineens naar buiten in een gas-waterfontein van wel 120 meter hoog. Daarbij ontstond een dodelijke wolk kooldioxide; in de omgeving stikten daar 1700 mensen in. Omdat CO_2 zwaarder is dan lucht, zakte de wolk kooldioxide naar de grond en smoorde veel slachtoffers in hun slaap.

Een wolk methaan zou zich net zo kunnen gedragen. Beladen met waterdruppeltjes verspreidt die zich als een giftige deken over het landoppervlak. Anders dan kooldioxide is methaan bovendien ontvlambaar. Zelfs met een percentage methaan in lucht van niet meer dan 5 procent zou het mengsel door de bliksem of een ander soort vonk in brand kunnen vliegen, waarbij angstaanjagende vuurballen door de lucht zouden razen. Een hedendaagse vergelijking zouden de aerosol-explosieven kunnen zijn, die door het Amerikaanse en het Russische leger worden gebruikt en die zo'n beetje de vernietigende kracht van tactische kernwapens hebben. Deze zogenaamde 'vacuümbommen' sproeien een wolk brandstofdruuppeltjes uit boven een doel, wat idealiter een gesloten ruimte is, zoals een grot. Vervolgens steken ze die aan, waar-

door alle lucht naar buiten wordt gezogen en de ontploffing een schokgolf veroorzaakt die krachtig genoeg is om over een groot gebied doden en gewonden achter te laten.

Vergeleken bij de wolken van methaan-luchtmengsels die ontstaan vanuit uitbarstingen in de oceaan, valt dit moderne, zware wapentuig echter in het niet. Explosies in de grootste methaanwolken zouden schokgolven kunnen genereren die zich sneller voortplanten dan het geluid. Bij een supersonische klap is het de luchtdruk van de schokgolf zelf die het methaan-luchtmengsel aansteekt. Daardoor wordt er een explosiefront weggestuwd dat snelheden van 120 kilometer per uur kan bereiken en alles op zijn weg verdampt.

De vermoedelijke gevolgen hiervan voor de planten en dieren in het Perm zijn nauwelijks voorstelbaar. Een relatief kleine methaanuitbarsting op de oceanbodem zou dan ook razendsnel een uiterst effectief instrument in de massale uitroeiing kunnen worden. Zoals chemisch ingenieur Gregory Ryskin schrijft in een artikel dat specifiek gaat over dodelijke mechanismes in het late Perm, zou dit methaan “het leven op aarde vrijwel compleet kunnen vernietigen”. Een grote oceanische methaanuitbarsting, zo schat hij, “zou een energie vrijmaken die overeenkomt met 10^8 megaton TNT, oftewel zo’n 10.000 keer de wereldvoorraad nucleaire wapens”. Zo’n wereldomvattende brand zou op de korte termijn zelfs voor afkoeling kunnen zorgen, als een soort nucleaire winter, voordat hij de opwarming mondiaal verder zou opjagen door de CO_2 die ontstaat bij de verbranding van het methaan. Het methaan dat niet verbrandt zou voor de opwarming zelfs nog ernstiger gevolgen hebben.

Het dodelijke methaan zal niet alleen zijn geweest. Vegetatie en dierlijke karkassen lagen te rotten in de stilstaande oceanen en daarbij hoopten zich in de diepte grote hoeveelheden waterstofsulfide op. Bewijs voor deze zwavelrijke oceaan is bewaard gebleven in het Permgesteente in het oosten van Groenland. Het is in dit verband veelzeggend hoeveel pyriet er aanwezig is in de zwarte leisteen die daar ten tijde

van de ramp is afgezet. Waterstofsulfide – dat naar rotte eieren ruikt – is al giftig in hele lage concentraties en waar het ook maar in de atmosfeer terechtkwam, moet het de dieren die op één of andere manier de methaanuitbarstingen hadden overleefd, om zeep hebben geholpen.

Even belangrijk is dat het zwavelbrouwsel in de oceaan zelf een uiterst effectief middel in de uitroeiing van de onderzeese wereld moet zijn geweest, door daar alle levensvormen die van zuurstof leven af te maken. En alsof dat allemaal nog niet genoeg was, zou de wolk waterstofsulfide ook de ozonlaag hebben aangetast, zodat er gevaarlijke ultraviolette straling van de zon binnen kon komen. Recentelijk zijn er misvormde plantensporen ontdekt in diezelfde Oost-Groenlandse Perm-gesteentes, die aangeven dat overlevende landplanten inderdaad DNA-mutaties hebben ondergaan, die zijn veroorzaakt door langdurige blootstelling aan UV-straling.

In hele hoge concentraties vernietigt methaan ook ozon. Eén modelstudie die specifiek de omstandigheden aan het eind van het Perm onderzocht, rekende uit dat als de methaanconcentratie aan de oppervlakte vijfduizend keer het normale niveau zou halen – zoals bij een grote uitbarsting van methaanijs – de ozonlaag nog maar half zo dik zou zijn. Daardoor zou de UV-straling aan het oppervlak van de aarde zeven keer zo sterk worden. Dat alleen al zou volgens de auteurs een belangrijke oorzaak van de uitsterving kunnen zijn. Bovendien zou de combinatie van waterstofsulfide en methaan het verwoestende effect op de ozonlaag nog eens aanzienlijk versterken.

Met al die rampen die de één na de ander op de aarde werden losgelaten, kan het nauwelijks een verrassing zijn dat de massale uitsterving aan het eind van het Perm alle andere ruimschoots overschaduwde. Volgens sommige berekeningen werd zowel op land als in zee 95 procent van alle soorten weggevaagd. In de oceanen hielden een paar schelpdieren het vol, diep verscholen in de modder. Op het land ontsprong slechts één groot gewerveld dier de dodelijke dans: de varkensachtige

Lystrosaurus, die de planeet vervolgens miljoenen jaren lang zo'n beetje voor zich alleen had. Er is een duidelijk 'steenkool-gat' van het begin tot het midden van het Trias, de geologische periode na het Perm. Dat toont aan dat de vegetatie die het overleefd had uiterst schaars was en in niets leek op de weelderige bossen die de dikke lagen steenkool uit het eerdere Perm en Carboon hadden neergelegd. Het duurde 50 miljoen jaar, tot dik in de Jura, voordat de biodiversiteit weer in de buurt kwam van het niveau van vóór de uitroeiing.

Back to the future

Alle geologen zijn het erover eens dat de crisis aan het eind van het Perm de moeder van alle rampen was. Dus hoe zouden wij hier lering uit kunnen trekken als onze wereld op zes graden opwarming afstevent? Gegeven het tussenliggende gat van 251 miljoen jaar dat inmiddels is verstreken, is het duidelijk dat de gebeurtenissen zich niet zomaar simpelweg zullen herhalen. Om te beginnen liggen de continenten er heel anders bij en kan het oceaanwater nu wellicht beter circuleren. Er is meer zuurstof in de atmosfeer, zodat we waarschijnlijk zelfs bij het hoogste niveau van broeikasopwarming niet zullen stikken. Ik wil overigens niet beweren dat het vooruitzicht van methaan-vuurballen die door het luchtruim schieten in de huidige wereld ook maar enigszins waarschijnlijk is. Het is slechts één van de vele theorieën die naar voren zijn geschoven om de sterfte in het late Perm te verklaren. Op die manier kan het verwijzen naar het ergste dat de broeikas-aarde haar bewoners kan aandoen.

Aan de andere kant zijn er aspecten van de huidige broeikascrisis die juist bij uitstek zorgwekkend zijn, zelfs ten opzichte van de gruwelen die de aarde in het late Perm getroffen hebben. Er is al een periode van uitroeiing onderweg, die voorlopig wordt betiteld als de Antropocene Massale Uitsterving, en die grotendeels onafhankelijk is van de opwar-

ming van de aarde. Er zijn zoveel planten en dieren die in aantal drastisch achteruit zijn gegaan en tot aan de rand van hun voortbestaan zijn gedrongen, dat de natuurlijke wereld minder veerkrachtig is en minder verandering aankan dan in het late Perm. Denk maar aan onze neven, de grote apen, die inmiddels met zo weinig zijn, dat er dagelijks meer mensenvoetjes worden geboren dan de hele populatie gorilla's, chimpansees en orang-oetans bij elkaar. Dankzij de roofzuchtige praktijken van *Homo sapiens* zijn er zoveel levensvormen die aan een zijden draadje hangen, dat ook kleine klimaatveranderingen hen over de rand kunnen duwen.

Menselijke verstoringen maken het voor dieren en planten ook veel moeilijker om zich te verplaatsen en aan te passen, zoals we in eerdere hoofdstukken al zagen. Wat er nog rest van de natuur bestaat uit 'reservaten': eilandjes, die worden belegerd door agrarische en stedelijke woestijnen. Wanneer de temperatuur stijgt en de echte woestijnen opschuiven naar de gematigde breedtegraden, zullen die eilandjes één voor één worden bedolven, voorgoed uit de weg geruimd door het veranderende klimaat.

Bedenk ook eens hoe snel de veranderingen gaan. Zelfs op het hoogste niveau van de vulkanische CO₂-uitstoot duurt het duizenden jaren voordat er enig effect op het klimaat te meten valt. Wij leveren datzelfde kunststukje in een paar tientallen jaren. Zoals al eerder gesteld: de broeikasituatie in het late Perm heeft vermoedelijk minstens 10.000 jaar nodig gehad om volledig tot stand te komen. Wij kunnen in een eeuw datzelfde niveau van opwarming halen, honderd maal sneller dan tijdens de grootste catastrofe die de wereld ooit heeft gekend. Zelfs met de onzekerheden in de geologische boekhouding valt het nauwelijks genoeg te benadrukken, dat de menselijke lozing van kooldioxide mogelijk sneller verloopt dan enige natuurlijke koolstofuitstoot sinds het ontstaan van het leven op aarde. Zowel het Paleoceen-Eoceen Thermisch Maximum als de anoxische oceaan in het Krijt zagen de broeikasgassen minder snel toenemen dan nu het

geval is. Puur in termen van hoeveelheden koolstof zitten we nog steeds ruim onder het niveau van toen. Maar de snelheid waarmee dat verandert is nog niet eerder vertoond en dat brengt ons op onbekend terrein.

Uiteraard hebben we met onze CO₂-uitstoot niets kwaads in de zin. Voor de meesten van ons is ons enorme energieverbruik gewoon deel van het moderne leven. Maar voor de biosfeer doet dat er nauwelijks toe. Want als we zoveel mogelijk leven op aarde hadden *willen* vernietigen, dan hadden we dat niet beter kunnen doen dan door fossiele koolwaterstoffen uit de grond te halen en te verbranden – zoveel als we ook maar enigzins konden.

Veel mensen hebben instinctief het gevoel dat wij mensen, zo klein als we zijn, nooit echt serieuze invloed kunnen hebben op zoiets groots als de planeet. Maar als je twijfelt aan de schaal van de onderneming waar de menselijke samenleving momenteel zo druk mee bezig is, ga dan maar eens aan de rand van een drukke snelweg staan en kijk eens omhoog de lucht in. Bedenk daarbij dat de atmosfeer waarin wij kunnen ademen op 7.000 meter boven je hoofd alweer ophoudt. En sta er dan eens bij stil hoeveel andere snelwegen er inmiddels kris-kras over onze planeet lopen, van Bangkok tot Berlijn, allemaal tjokvol auto's en vrachtwagens, elk met een uitlaatpijp die doorlopend zijn dodelijke brouwsel van kooldioxide en andere gassen uitademt. En denk daar dan ook al die elektriciteitscentrales bij, al die vliegtuigen, al die verbrandingsketels en gashaarden – en dat 24 uur per dag, 7 dagen per week, over de hele planeet.

Of nog beter: kijk eens naar een samengestelde satellietfoto van de aarde 's nachts, en zie dan hoe elk continent oplicht door een warrig spinnenweb van steden. En verwonder je dan over het visuele geheel van deze overmaat aan doorlopende menselijke energieconsumptie, waarvan 80 procent afkomstig is van de verbranding van fossiele brandstoffen. Dan lijkt het misschien minder verbazend dat de CO₂-concentratie elk jaar hoger is dan het jaar daarvoor en dat je

elke keer dat je ademhaalt meer kooldioxide binnenkrijgt dan welke mens dan ook vóór jou in de hele evolutionaire geschiedenis van onze soort heeft gedaan. Dan kan het toch ook nauwelijks meer een verrassing zijn dat het klimaat zo snel verandert. Het zou pas een verrassing zijn als alles gewoon z'n gangetje bleef gaan.

De les die we uit het late Perm kunnen trekken is dan ook deze: de planeet kan inderdaad in korte tijd heel onaardig worden als ze eenmaal ver genoeg in de war is gebracht. Ook nu liggen er enorme hoeveelheden methaanijs op het onderzeese continentale plat te wachten op het moment dat de stijgende watertemperatuur de trekker overhaalt. Ze kunnen wel tegen een stootje, maar hoe lang nog? Dat weet niemand.

Ook is er geen enkele reden om de gelaagdheid in de oceanen en de vergiftiging door waterstofsulfide uit te sluiten als eventuele doemscenario's. De geleidelijke verzwakking van de Golfstroom zou net dat ene radertje in die veel grotere machine kunnen zijn. Als de oceanen niet langer circuleren, dringt er warmer water door tot in de diepte, met daarin minder opgelost zuurstof. Dat zou de levensvormen die zuurstof nodig hebben geleidelijk elimineren. Voor ons landbewoners zouden stilstaande oceanen grotendeels onzichtbaar blijven. Zo is een groot deel van de Zwarte Zee inmiddels zuurstofloos, maar houdt koud, zuurstofrijk oppervlaktewater de deksel op de giftige vloeistof daaronder.

Niettemin is de mogelijkheid van een rampzalige ontsnapping van waterstofsulfide vanuit de diepzee niet alleen maar speculatie. In de wereld van vandaag gebeurt dat af en toe voor de kust van Namibië, zij het op veel kleinere schaal. In enorme explosies barst daar giftige zwavel omhoog vanuit het rottende organische materiaal op de zeebodem. Dat levert een giftig brouwsel op dat het zee-oppervlak over zo'n groot gebied verkleurt, dat het fenomeen vanuit een satelliet gemakkelijk te observeren is. Gigantische aantallen vissen leggen daardoor het loodje en eigenlijk sterft in de omgeving

al het leven in de oceaan. Aan de nabijgelegen kust lijden de mensen onder de onaangename geur en de bijtende werking van het giftige waterstofsulfidegas. Volgens wetenschappelijk onderzoek worden de uitbarstingen met name aangedreven door het methaan in de zeebodem, dat door het water omhoog bruist en daar van alles teweeg brengt, precies zoals dat volgens sommigen aan het einde van het Perm op wereldwijde schaal kan zijn gebeurd.

Vandaar dat Andrew Bakun en Scarla Weeks, experts op het gebied van het Namibische waterstofsulfide-fenomeen, expliciet betogen dat de mondiale opwarming ervoor kan zorgen dat het giftige gas op veel grotere schaal vrijkomt, omdat er dan in de oceanen meer water omhoog borrelt. Kwetsbare plekken, waar water vanuit de diepte nu al naar de oppervlakte komt – al is het gelukkig nog zonder giftige gasexplosies – zijn onder meer de kusten van Marokko, Mauretanië, Peru en Californië. Zou die onzalige verandering ooit op gang komen, dan zouden de kustbewoners de eersten zijn die rotte eieren zouden ruiken. De menselijke reukzin kan waterstofsulfide onderscheiden in een concentratie van enkele delen per duizend miljard (triljoen). In hogere concentraties raakt de reukzenuw verlamd en verliezen we het vermogen om het gif te onderscheiden. Het zou een stille moordenaar zijn. Zoiets als de taferelen die we zagen van Bhopal in 1984, nadat er gas uit de bestrijdingsmiddelenfabriek van Union Carbide was ontsnapt. Die zouden zich dan opnieuw afspelen, om te beginnen in woongebieden aan de kust en van daaruit over de hele wereld in het binnenland van alle continenten. Tegen die tijd zou ook de ozonlaag zijn aangetast, zouden we de zon op onze huid voelen inbranden en zouden de eerste celmutaties kanker veroorzaken bij iedereen die het had overleefd.

Zou de mensheid als zodanig ooit uit kunnen sterven? Dat lijkt mij onwaarschijnlijk. In het algemeen beschikken mensen over een unieke combinatie van intelligentie en een sterke overlevingsdrang. Mensen gaan buitengewoon ver

om zichzelf in leven te houden; daarvan getuigen ontelbare waargebeurde verhalen waarin mensen in de meest onwaarschijnlijke omstandigheden wisten te overleven. Zelf ben ik in de Andes ooit van een berg afgekropen in een soort half-bewuste ijtoestand, terwijl het veruit het gemakkelijkst was geweest om te gaan liggen en het op te geven. Maar het overlevingsinstinct was natuurlijk te sterk. Zelfs bij de ergste opwarming die we ons kunnen voorstellen, moet het toch ergens nog wel mogelijk zijn om gewassen te telen en voedsel te verbouwen. Het houdt niet op met regenen en de smeltende ijskappen zullen de poolgebieden van enorme hoeveelheden water voorzien. Nu is het voeden van een wereldbevolking van 8 of 9 miljard mensen natuurlijk nog iets anders, maar het idee dat echt ieder van ons afzonderlijk eraan zou gaan, wil er bij mij niet in. Anders dan de landdieren in het Perm kunnen wij voedsel opslaan in geconserveerde vorm en het jarenlang bewaren. We kunnen kunstmatige atmosferen bouwen om onszelf af te schermen van wat er zich daarbuiten afspeelt. Zoals sommige wetenschappers hebben voorgesteld, zouden we als noodmaatregel ons klimaat geo-technologisch bij kunnen sturen. Door zonnespiegels in de ruimte te hangen bijvoorbeeld, of door hoog in de atmosfeer sulfaten uit te strooien in een laatste poging om de boel af te koelen. Op een dag zouden we zelfs op andere planeten kolonies kunnen stichten.

En toch biedt dat op de één of andere manier nauwelijks troost, gezien de verschrikkingen die mogelijk in het verschiet liggen. De extreme opwarming van de aarde is dan misschien geen crisis in het voortbestaan van de menselijke soort, maar wel degelijk in het voortbestaan van de meeste mensen die de pech hebben om op een snel warmer wordende planeet te wonen. En dat is toch al erg genoeg. Stalin had het mis toen hij zei dat een miljoen doden niet meer is dan een statistisch gegeven. Daar wordt hij nog steeds om gehaat. Elke mens die overlijdt, elke baby, elke moeder, elke broer, vader of zus zal een unieke tragedie zijn, waar de hele wereld om zou moeten

rouwen. Niet in de laatste plaats omdat zo'n uitkomst nog steeds te vermijden valt.

Veel mensen die met zulke vreselijke mogelijkheden worden geconfronteerd, verschuilen zich in een soort geologisch fatalisme. Zij zingen dat vaakgehoorde refrein dat het leven wel door zal gaan, met of zonder ons, en dat het er uiteindelijk niet echt toe doet. Sommigen zullen beweren dat de planeet zonder *Homo sapiens* zelfs beter af zou zijn. Behalve de morele kwesties die zo'n houding oproept (het is een beetje alsof je zegt dat de holocaust door de nazi's er niet toe deed omdat de hoge geboortecijfers van na de oorlog die zes miljoen doden al snel vervingen), is het ook allerm minst duidelijk of het leven inderdaad wel altijd door zal gaan. De zon wordt steeds heter terwijl ze haar eindige voorraad nucleaire brandstoffen opsoupeert. Miljoenen jaren lang zal het voor onze planeet de grootste uitdaging zijn om zichzelf koel te houden, aangezien de straling van de zon onvermijdelijk steeds sterker wordt.

Het is een gevaarlijk moment om aan de aardse thermostaat te zitten prutsen. Wetenschappers hebben berekend dat er nog maar een miljard jaar resteert voordat de biosfeer door oververhitting voor altijd verloren zal gaan. De planeet is al 4,6 miljard jaar oud en het grootste deel van die tijd was zij levenloos. De tientallen miljoenen jaren die het duurt voordat nieuwe levensvormen zichzelf op de kaart hebben gezet en voordat de biodiversiteit na een door mensen veroorzaakte massale uitsterving tot nieuwe complexe ecosystemen is geëvolueerd, nemen een aanzienlijk deel van die resterende bewoonbare tijd in beslag. Zoals James Lovelock schrijft: "Moeder Aarde is inmiddels een oude dame van in de zestig, niet meer zo veerkrachtig als ze vroeger was. Met ons bewuste optreden zijn we nu bezig om haar levensduur meetbaar te bekorten."

Voor zover wij nu weten is dit de enige planeet in het hele universum die leven heeft voortgebracht, in al haar schittering en variatie. Het is ongetwijfeld een misdaad om deze

bloei willens en wetens af te kappen – één die erger is dan de wreedste genocide of de verschrikkelijkste oorlog. Als elk individu een unieke waarde heeft, dan heeft elke soort dat des te meer. Er is in mijn ogen geen enkel excuus om aan zo'n misdadigheid mee te werken. We hebben van de na-oorlogse Neurenberg-rechtspraak geleerd, dat onwetendheid geen verweer kan zijn, net zo min als het opvolgen van bevelen. Volgens mij ligt de morele weg niet in het passief aanvaardden van onze destructieve rol, maar in het actief weerstand bieden aan zo'n weerzinwekkend lot.

Zoals ik aan het begin van dit boek al zei: de toekomst staat niet in steen gebeiteld. We hebben nog steeds het vermogen – ook al wordt dat dagelijks kleiner – om dit vreselijke drama een andere afloop te geven. Het hoeft niet als een treurspel te eindigen. En om dat punt nog eens te onderstrepen, zal het laatste hoofdstuk nagaan welke mogelijkheden we hebben om achtereenvolgens elke graad temperatuurstijging te voorkomen. Daarin, en alleen daarin is er hoop.

Zoals Dylan Thomas schreef:

*Ga niet zo minzaam in die goeie nacht,
De oude dag moet oplaaien en tieren tegen 't einde van
de dag;
Razen, razen tegen 't sterven van het licht.*

Vertaling: F. Janssens, E. Van Vliet