

## *Twee graden*

### China's dorstige steden

Wie in het noorden van China de trein van Hohhot naar Lanzhou neemt, komt door een vreemd gebied, een zwaar geërodeerde woestenijs. Steile geulen en rotswanden verdringen zich rond de spoorlijn die zich een weg door een smal rivierdal baant. Op veel plekken zijn grotten in de rotswand uitgehakt. Het is duister wat hun geschiedenis precies is; misschien werden ze gebruikt door zwervers, of door mensen die uit de stad waren verjaagd, of zelfs door communistische dissidenten die in de jaren '30 de arme boeren opstookten om tegen de nationalistes in opstand te komen. Een prozaïsche verklaring is dat ze door spoorarbeiders zijn uitgehakt, toen zij zwoegden om het spoor door dit koude, winderige en ongestuvrijde niemandsland te leggen.

Dit woeste land vormt de rand van het Chinese lössplateau, een gigantisch gebied van honderden meters diep samengeperst stof, in de loop van duizenden jaren afgezet door stofstormen en harde winden die vanuit de Gobiwoestijn in Mongolië kwamen aanbulderen. Het mag in dit gebied dan misschien niets worden met de akkerbouw, de veehouderij of wat dan ook – afgezien van grotten uithakken – deze droge hoogvlakte is een schatkist voor paleoklimatologen. Zij gebruiken de uitstekend bewaarde lagen stof en zand voor het reconstrueren van schommelingen in de klimaten die lang geleden heersten in het hele noorden van China.

Het was met dit doel voor ogen dat een team Chinese wetenschappers uit Lanzhou in 1999 naar vier plekken op het lössplateau trok. Daar boorden ze meer dan dertig meter diep de compacte bodem in, haalden hun coupes voorzichtig

naar boven en sleepten ze terug naar het laboratorium. Het materiaal waar het onderzoek op uit was, zat onderin elke coupe: een laag prehistorische bodem, 'paleosol' in het jargon, die dateerde uit het Eemien-interglaciaal, de warmere periode vóór het begin van de laatste ijstijd. De weergegevens die in deze onheilsPELLende, roodbruine laag bewaard waren gebleven, zouden niet alleen aanwijzingen over het verleden blijken te bevatten, maar ook over de toekomst.

Net als Afrika en het Indiase subcontinent kent het noorden van China een jaarlijkse moessoncyclus. 's Zomers komt er vochtige lucht vanaf de oceaan binnen, die in het zuiden voor zware regenval zorgt. 's Winters draait het patroon om, en jagen er harde winden uit het noorden, ijskoud en beladen met stof. De wetenschappers uit Lanzhou gebruikten ingewikkelde technieken om de grootte van stofdeeltjes te meten en bewerkten magnetische gegevens uit het materiaal van de paleosol. Zo kwamen ze op basis van hun bodemmonsters tot bepaalde conclusies over veranderingen die 129.000 jaar geleden optraden in de kracht van de moesson, toen het Eemien-klimaat geleidelijk warmer werd. Omdat de oceanen warmte erg langzaam absorberen, zo bleek, reageerde de droge wintermoesson veel sneller op de veranderende omstandigheden dan de zomermoesson. Het gevolg was dat op continentale schaal een periode van droogte en stofstormen optrad, voordat de zomermoesson ver genoeg in het binnenland was doorgedrongen om enige regenval van betekenis op het lössplateau te kunnen brengen.

Zou zo'n mechanisme zich in een twee graden warmere wereld kunnen herhalen? Onderzoek aan sedimenten in de bodem van de Stille Oceaan geeft aan dat de temperatuur op het hoogtepunt van het Eemien wereldwijd ongeveer 1°C hoger lag dan nu. Dat maakt deze periode tot een zinvolle analogie voor een warmer klimaat in de toekomst, zeker omdat de regionale temperatuur op een groot continent als Azië een graad of wat boven het mondiale gemiddelde zou hebben gelegen. Misschien deed het Chinese moessonklimaat er

129.000 jaar geleden wel langer over om van koud en droog over te schakelen naar warm en nat, zoals sommige onderzoekers geloven. Dan zou dat op een mogelijke oorzaak van de droogtes en stijgende temperaturen wijzen die het noorden van China de laatste jaren hebben getroffen. Terwijl het zuiden van China in een warmer wordend klimaat dus meer overstromingen kan verwachten, zou het door de traagheid van de oceaan wel eens veel langer kunnen duren voordat de zomerseizoen met zijn regen het verdroogde noorden bereikt. In een China dat door twee extremen wordt verscheurd, zal de landbouw onvermijdelijk klappen krijgen. Steden als Beijing en Tianjin zullen hun tekort aan water blijven houden, zeker nu de economische groei maar door gaat en ondergrondse waterlagen worden leeggepompt. De Chinese overheid is begonnen met de aanleg van een enorm waterleidingproject, bedoeld om miljarden kubieke meters water vanuit de Gele Rivier in het zuiden over te hevelen naar de dorstige steden in het noorden. Maar zelfs met dit mega-project, het grootste dat ooit op de planeet is aangelegd, zullen de kranen niet zonder meer blijven lopen – als het al zal werken, wat velen betwijfelen. Met een chronisch tekort aan water zal China niet alleen moeite hebben om zich een welvarender levensstijl aan te meten, maar evenzeer om zichzelf te kunnen voeden.

### Zure oceanen

Broeikasgassen die de laatste honderd jaar zijn vrijgekomen hebben niet alleen het klimaat veranderd, ze zijn ook de omstandigheden gaan beïnvloeden in het grootste van alle leefgebieden, de oceanen. Meer dan de helft van de kooldioxide die vrijkomt als u of ik even op een vliegtuig springen of de airconditioning aanzetten, komt uiteindelijk in de oceaan terecht. Dat mag dan voor de natuur een goeie plek lijken om het te dumpen, maar de chemie in de oceaan is een complex

en verfijnd gebeuren. Van nature zijn de oceanen licht alkalisch, zodat veel planten en dieren die in zee leven een kalkschaal kunnen opbouwen.

Wanneer kooldioxide in water oplost vormt het koolzuur, hetzelfde zwakke zuur dat zorgt voor de prikkeling als je koolzuurhoudend water drinkt. Dat is lekker in een glas Spa, maar minder geweldig als het op een gigantische schaal gebeurt in de oceanen over de hele wereld. En die kant gaat het wel degelijk op: de mens heeft de alkaliniteit van de zeeën al met 0,1 pH-eenheden weten terug te brengen. Zoals professor Ken Caldeira van de afdeling mondiale ecologie van Carnegie Institution zegt: “Op dit moment ligt de input van kooldioxide bijna vijftig keer zo hoog als normaal. In minder dan honderd jaar zou de pH van de oceanen maar liefst een halve punt kunnen zakken, van z'n natuurlijke niveau van 8,2 naar rond de 7,7.” Dat lijkt misschien niet veel, maar dat halve punt op de pH-schaal betekent een vervijfvoudiging van de zuurgraad. En omdat de circulatie in de oceanen zo langzaam is, zullen deze veranderingen in de oceanische chemie nog duizenden jaren standhouden, ook al stabiliseert het gehalte kooldioxide in de atmosfeer zich uiteindelijk wel – als de mensheid wakker schrikt van de opwarming die zij veroorzaakt.

Dit snel opkomende terrein van wetenschappelijk onderzoek vormde het onderwerp van een belangrijk rapport van de Royal Society, dat in juni 2005 verscheen. Hierin benoemde men de belangrijkste zaken die steeds meer mariene biologen 's nachts uit de slaap houden. Helemaal bovenaan staat de mogelijkheid dat zelfs met een relatief lage uitstoot in de loop van deze eeuw (overeenkomend met twee of minder graden temperatuurstijging) na 2050 grote stukken van de Zuidelijke Oceaan en een deel van de Stille Oceaan domweg 'giftig' worden voor alle organismen met kalkschalen. En in feite zullen bij een nog hogere uitstoot wereldwijd de oceaan in hun geheel uiteindelijk te giftig worden om kalkhoudend leven in zee nog mogelijk te maken.

De voornaamste levensvormen die daardoor zullen worden aangetast vormen het fundament van de hele voedselketen in de oceaan: plankton. Hoe piepklein ze ook zijn – een paar duizendste millimeter in doorsnee – de individuele planktonorganismen, zoals de coccolithoforen, vormen met hun fotosynthese waarschijnlijk de belangrijkste plantaardige hulpbron op aarde. Ze zorgen voor minstens de helft van de totale primaire productie in de biosfeer – net zo veel als alle op het land groeiende planten bij elkaar. Vaak bloeien ze op zo'n enorme schaal dat ze het oceaanoppervlak groen kleuren en vanuit de ruimte te fotograferen zijn. De plekken waar het fytoplankton echt gedijt, vormen wereldwijd de hoorn des overvloeds van de oceanen; alle hogere soorten, van makreel tot bultrug, zijn er uiteindelijk van afhankelijk. Maar coccolithoforen hebben een kalkstructuur en dat maakt ze buitengewoon kwetsbaar voor de verzuring van de oceaan. Toen onderzoekers de oceanen van de toekomst simuleerden door kunstmatig grote hoeveelheden opgeloste kooldioxide in een Noorse fjord te pompen, zagen ze met verbijstering hoe de structuur van coccolithoforen eerst werd aangetast en vervolgens helemaal uit elkaar begon te vallen.

De verzuring zal ook andere organismes in de oceaan direct raken. Krabben en zee-egels hebben hun schaal nodig om te overleven, terwijl vissenkieuwen uiterst gevoelig zijn voor de chemische samenstelling van het water, net zoals onze longen dat zijn voor die van de lucht. Mosselen en oesters zijn van vitaal belang als economische hulpbron en ook, wereldwijd, als deel van ecosystemen aan de kust. Zij zullen tegen het einde van de eeuw geen sterke schelpen meer kunnen opbouwen, en wanneer het gehalte aan kooldioxide in de atmosfeer ooit de 1.800 ppm\* haalt, zullen ze domweg

---

\* ppm is parts per million, delen per miljoen: 1.800 ppm betekent simpelweg dat er op elke miljoen deeltjes lucht 1.800 deeltjes kooldioxide aanwezig zijn, of op elke miljoen liter lucht 1.800 liter kooldioxide.

helemaal oplossen. Tropische koralen, die het met de verbleking toch al moeilijk hebben, zullen door de toenemende verzuring van de oceaan steeds verder worden aangetast. Als je in 2090 over een rif naar zee loopt, verkrumelt het waarschijnlijk onder je voeten. Schepen die vastlopen op koraal, zullen niet meer uit elkaar scheuren maar vermoedelijk door het verzwakte rif heen klieven alsof het een spons is. We kunnen echt nauwelijks overdrijven hoe gevaarlijk dit hele experiment met onze oceanen is. Zoals een mariene bioloog stelt: "Wij nemen een ongelooflijk risico. De chemische toestand van de oceanen over 100 jaar zal zijn gelijke waarschijnlijk niet kennen in de hele geologische geschiedenis, en sleutelorganismes missen vermoedelijk de mechanismes om zich aan de verandering aan te passen."

Fytoplankton is ook voor de mondiale koolstofkringloop van cruciaal belang. Alle plankton bij elkaar vormt de grootste producent van kalk op aarde, die miljarden tonnen koolstof uit de circulatie haalt wanneer hun kalkschalen neerduwarrelen op de oceanenbodem. Daar is niets nieuws aan: in het Krijt-tijdperk is de kalk in de rotsen en duinen van Zuid-Engeland oorspronkelijk ontstaan als kalkrijke modder vanuit ontelbare miljarden dode coccolithoforen. Maar nu de oceanen alsmaar zuurder worden zou dit cruciale onderdeel van de koolstofkringloop op onze planeet wel eens langzaam tot stilstand kunnen komen. Wanneer er minder plankton is om het vast te leggen en aan de cyclus te onttrekken, zal er meer koolstof achterblijven in de oceanen en de atmosfeer, en dat zal het probleem alleen nog maar groter maken.

Fytoplankton wordt ook direct getroffen door de stijgende temperaturen, omdat warm water aan het oppervlak van de oceaan de toestroom afsluit van de opwellende voedingsstoffen, waarvan deze miniplantjes moeten groeien. Net als met de verzuring zijn deze veranderingen vandaag de dag al waarneembaar. In 2006 meldden wetenschappers een terugval in de productiviteit van plankton van 190 megaton per jaar als gevolg van de huidige tendens van opwarming.

Samen brengen deze twee factoren, opwarming en verzuring, een verwoestende dubbelslag aan de productiviteit van de oceaan toe. Zoals Katherine Richardson, professor biologische oceanografie aan de universiteit van het Deense Aarhus, zegt: “Deze zee-organismen verlenen de mensheid een enorme dienst door de helft van de kooldioxide die wij aanmaken te absorberen. Als wij ze van de kaart vegen komt dat proces stil te liggen. We zijn de hele chemische samenstelling van de oceanen aan het veranderen, zonder enig idee van de gevolgen.”

Het fytoplankton uitroeien door de oceanen te verzuren is net zoiets als onkruidverdelger spuiten over alle vegetatie ter wereld, van regenwouden en prairies tot de arctische toendra, en het zal al net zulke rampzalige gevolgen hebben. Zoals de woestijnen het land in beslag zullen nemen wanneer de opwarming steeds sneller gaat, zo zullen de mariene woestijnen zich in de oceanen verspreiden wanneer de opwarming en verzuring hun onvermijdelijke tol komen eisen.

### Het stijgende kwik in Europa

Onder normale omstandigheden kan het menselijk lichaam goed met een teveel aan warmte overweg. Haarvaten vlak onder de huid stromen vol bloed en stralen zo de extra warmte uit naar de lucht. Zweetklieren pompen vocht naar buiten en lozen warmte door middel van verdamping. Zelfs door te hijgen kan het lichaam warmte afvoeren, terwijl het hart overuren maakt. Tijdens fysieke inspanning kan de normale lichaamstemperatuur van 37°C zonder nadelige gevolgen oplopen tot 38 of 39°C.

Maar de zomer van 2003 was niet normaal en de hittegolf die Europa drie maanden lang bestookte – juni, juli en augustus – zorgde niet voor normale omstandigheden. In Zwitserland klom het kwik op 4 juni al tot boven de 30°C en steeg het op 2 augustus tot een maximum van 41,1°C in het zuidwesten van het land. Dit was het soort verschroeiende

temperatuur dat we eerder associëren met de Arabische woestijn dan met het gematigde Midden-Europa. Overal op het continent gingen records aan diggelen; in Groot-Brittannië bereikte de temperatuur voor het eerst de 100° Fahrenheit (bijna 40°C). De stranden waren overal afgeladen met vakantiegeangers die genoten van de zomerse warmte, maar in grote steden als Parijs was zich een stille ramp aan het voltrekken.

De eerste symptomen van hittestress stellen vaak niet veel voor. Iemand die het te pakken heeft, voelt zich wat misselijk en duizelig, en raakt misschien gauw geïrriteerd door zijn omgeving. Dat hoeft nog geen noodtoestand te zijn: van een uurtje op een koelere plek liggen en wat water drinken knapt iemand wel weer op, zonder er langdurige verschijnselen aan over te houden. Maar in augustus 2003 waren er in Parijs geen koelere plekken, al helemaal niet voor oudere mensen die in hun bedompte appartementen zaten opgesloten. Het kwaad zat hem niet zozeer in de hoge temperaturen overdag, maar in het feit dat het 's nachts niet voldoende afkoelde om het lichaam de tijd te geven zich te herstellen. Zo stapelden de gevolgen zich op en werd de gevaarlijkste, en vaak dodelijke vorm van hittestress steeds waarschijnlijker: hyperthermie of oververhitting.

Wanneer de temperatuur van het menselijk lichaam eenmaal de 41°C heeft bereikt, begint het systeem voor thermoregulatie het te begeven. Men houdt op te zweten en de ademhaling wordt oppervlakkig en snel. De polsslag loopt op en het slachtoffer kan snel in coma raken. Tenzij er drastische maatregelen worden genomen om de kerntemperatuur van het lichaam omlaag te brengen, ontstaat er zuurstoftekort in de hersenen en beginnen vitale organen uit te vallen. Een paar minuten later kan de dood intreden, tenzij de hulpdiensten het slachtoffer met spoed in de intensive care kunnen krijgen.

Die hulpdiensten slaagden er die zomer van 2003 niet in om de meer dan 10.000 Parijse slachtoffers van oververhitting te redden. Mortuaria kwamen al gauw ruimte tekort

toen er elke nacht honderden lijken werden binnengebracht, vooral van ouderen en randfiguren. De crisis veroorzaakte zelfs een politieke rel, omdat de mensen politici en gemeente-ambtenaren ervan beschuldigden meer in hun lange zomervakantie geïnteresseerd te zijn dan in het redden van levens in de hoofdstad. De schattingen lopen uiteen, maar men denkt dat er in heel Europa tussen de 22.000 en 35.000 mensen bezweken zijn.

Daarnaast vormden de hittegolf en de droogte een aanslag voor de landbouwsector. Oogsten ter waarde van 12 miljard dollar gingen verloren, terwijl bosbranden in Portugal voor nog eens 1,5 miljard dollar aan schade veroorzaakten. Het water in grote rivieren als de Po in Italië, de Rijn in Duitsland en de Loire in Frankrijk had nog niet eerder zo laag gestaan, waardoor vrachtverkeer vast kwam te zitten en er tekorten ontstonden voor irrigatie en de opwekking van waterkracht. Giftige algenbloei woekerde in de ontwaterde rivieren en meren. De snelheden waarmee gletsjers in de Alpen afsmolten verdubbelden ten opzichte van het vorige record uit 1998, en sommige gletsjers raakten in de hitte van die ene zomer 10 procent van hun totale ijsmassa kwijt. Zoals in hoofdstuk 1 beschreven staat, veroorzaakte de smeltende permafrost intussen puinlawines in berggebieden zoals bij de Matterhorn.

Het duurde niet lang of er rezen vragen over de mogelijke bijdrage van de mondiale opwarming aan deze ramp. Meteorologen analyseerden hittegolven in het verleden en stelden vast dat die van 2003 buiten de statistieken viel – iets dat eens in de zoveel duizend jaar voorkomt. Volgens een onderzoek van Britse klimatologen is door de wereldwijde opwarming tijdens de 20e eeuw de kans op zo'n hittegolf inmiddels al verdubbeld. Een in 2007 gepubliceerd onderzoek laat zien dat in heel Europa de frequentie van extreem hete dagen in de loop van de vorige eeuw verdrievoudigd is en dat de duur van hittegolven op het vasteland verdubbeld is. De conclusie is grimmig: de hittegolf in de zomer van 2003 was geen natuurramp.

De intensiteit van de hittegolf vertelt ons ook iets over de toekomst. Gemiddeld lagen de temperaturen over het hele vasteland  $2,3^{\circ}\text{C}$  boven de norm. Betekent dat dan, dat zomers als die van 2003 in de twee-gradenwereld een jaarlijkse gebeurtenis zijn? Daar lijkt het wel op. In het Britse onderzoek van hierboven gebruikten de wetenschappers het computermodel van het Hadley Centre om toekomstige klimaatveranderingen te voorspellen bij toenemende uitstoot van broeikasgassen. Daarbij concludeerden zij dat rond 2040, wanneer de temperatuurstijging in hun model wereldwijd nog onder de twee graden ligt, meer dan de helft van de zomers in werkelijkheid warmer dan die van 2003 zal zijn.

Dat betekent dat extreme zomers na 2040 nog veel heter dan die van 2003 zullen zijn. Ook het dodencijfer zal als gevolg daarvan omhooggaan, misschien tot in de honderdduizenden. Ouderen moeten misschien geëvacueerd worden en maandenlang in gekoelde schuilplaatsen verblijven, terwijl het al steeds gevaarlijker zal zijn om op het heetste moment van de dag buiten te komen. De temperatuur kan oplopen tot hoogtes die vandaag de dag normaal gesproken alleen in Noord-Afrika te beleven zijn, waarbij rivieren en meren verdrogen en de vegetatie op het hele continent verdort. Gewassen die 's zomers regen nodig hebben zullen staan te roosteren op de akkers, en bossen die meer gewend zijn aan koelere luchtstreken zullen sterven en verbranden. Als gevolg daarvan dringen bosbranden in het noorden misschien door tot in nieuwe gebieden en leggen ze van Duitsland tot in Estland de loofbossen in de as.

Opnieuw krijgen we, nu via de zomer van 2003, een glimp te zien van wat er komen gaat. Uit systematische metingen over heel Europa bleek dat de plantengroei met 30 procent was teruggelopen, omdat de fotosynthese omlaag ging als reactie op de verdubbelde stress van hoge temperaturen en verlamdende droogte. Vanaf de berkenbossen in Noord-Europa tot de groenblijvende dennen en eiken rond het Middellandse Zeegebied zakte de plantengroei in het hele conti-

ment in en kwam vervolgens helemaal stil te liggen. In plaats van kooldioxide uit de lucht op te nemen, begonnen de gestreste planten het af te geven. Europese planten brachten zo'n half miljard ton koolstof in de atmosfeer, een hoeveelheid die gelijk staat aan 12 procent van de totale emissie vanuit fossiele brandstoffen. Deze vorm van positieve feedback (het best te begrijpen als een terugkoppeling die de bestaande ontwikkeling versterkt) is van cruciaal belang. Hij geeft namelijk aan dat met het stijgen van de temperatuur, met name tijdens extreme hittegolven, de uitstoot van kooldioxide vanuit bossen en bodems ook nog eens omhoog gaat en zo de wereldwijde opwarming een extra handje helpt. En als deze uitstoot vanaf het land langdurig aanhoudt en zich op grote stukken van het landoppervlak op aarde gaat voordoen, zou de wereldwijde opwarming wel eens ongecontroleerd kunnen gaan versnellen, zoals het volgende hoofdstuk laat zien.

Tijdens de droge periode die tussen 1998 en 2002 optrad op de gematigde breedtegraden van het noordelijk halfrond zijn we vermoedelijk gevaarlijk dichtbij dat punt gekomen. Toen stonden de planten te verdorren in gebieden die ver uit elkaar lagen, zoals het westen van de Verenigde Staten, Zuid-Europa en het oosten van Azië. Een onderzoek toonde aan dat de uitstoot van kooldioxide die normaal gesproken door planten zou zijn opgenomen, zich in plaats daarvan juist ophoopte in de atmosfeer. Dat verklaarde de abnormaal grote sprongen die het atmosferische kooldioxidegehalte in de jaren daarop liet zien. Door deze sprongen vroegen veel *climate change watchers* zich met het zweet in de handen af of de boel door positieve feedbacks inderdaad al op hol was geslagen. Als antwoord op de droogte en de hitte kwam er uit planten en bodems meer dan een miljard ton extra kooldioxide vrij.

Op het moment van schrijven is de hittegolf van 2003 voor de meesten al een vage herinnering aan het worden, en de 'normale' zomers van de twee jaren daarna zullen een deel van de extra kooldioxide zijn gaan opnemen, die tijdens die dodelijke hitteperiode in de atmosfeer is terechtgekomen.

Maar het is levensgevaarlijk om zoiets te vergeten. De zomer van 2003 was een 'natuurlijk experiment' waarvan de conclusies heel serieus moeten worden genomen. Dit waren niet zomaar gegevens uit een computermodel, dat werkt met aannames en voorspellingen waar we terecht vraagtekens bij kunnen zetten. Dit is waar gebeurd. Bovendien herhaalde de hittegolf van 2003 zich bijna in 2006, en dat geeft aan dat als deze modellen al iets onderschatten, dat wel eens de frequentie en de ernst van toekomstige hittegolven zou kunnen zijn.

Wij zijn gewaarschuwd.

### Zonnebrand aan de Middellandse Zee

Mogelijk kwamen de meest veelzeggende beelden van de hete zomer van 2003 uit Portugal. Ongekend grote bosbranden joegen door een landschap dat zo droog was als aanmaakhout, verwoestten boomgaarden, zetten huizen in lichterlaaie en benamen achttien mensen het leven. In totaal werd een oppervlakte bijna zo groot als Luxemburg in de as gelegd. De vuurzeeën waren zo groot dat er rooksluiers vanaf kwamen, die helemaal over de Noordelijke Atlantische Oceaan hingen, en zowel het vuur als de rook was vanuit de ruimte zichtbaar. De branden moeten met name de toeristen hebben aangegrepen die in grote drommen uit Noord-Europa naar het zuiden van Portugal kwamen. Tenslotte komen zij meer om in de zon te liggen, dan om dagenlang rook in te ademen.

Eén onderzoek toont aan dat zulke bosbranden een steeds gewoner verschijnsel gaan worden voor vakantiegangers in Zuid-Europa en het Middellandse Zeegebied. Simulaties van klimaatverandering laten zien dat de regio droger en heter wordt naarmate de subtropische droogtegordel vanaf de Sahara opschuift naar het noorden. In de twee-gradenwereld staan alle landen rondom de Middellandse Zee twee tot zes extra weken met riciso op bosbranden te wachten. Daar-

bij zullen de gebieden die iets verder van de kust het binnenland in liggen het zwaarst getroffen worden, omdat de temperaturen daar het hoogste zijn. Noord-Afrika en het Midden-Oosten zullen vrijwel het hele jaar in de categorie 'brandgevaarlijk' vallen.

Deze branden zullen door verschroeïend hete temperaturen worden aangedreven. Het aantal dagen waarin het kwik boven de 30°C zal uitkomen loopt in Spanje, Zuid-Frankrijk, Turkije, Noord-Afrika en de Balkan naar verwachting op met vijf tot zes weken. Het aantal 'tropische nachten' waarin de temperatuur niet onder de 20°C komt gaat een hele maand omhoog, en de hele regio kan een extra vier zomerweken verwachten. Tevens wordt er een verdubbeling voorspeld van wat het onderzoek 'extreem hete dagen' noemt, terwijl gebieden rondom de Middellandse Zee kunnen uitzien naar drie tot vijf extra weken met 'hittegolven', gedefinieerd als dagen met een temperatuur boven de 35°C. Eilanden als Sardinië en Cyprus ontspringen de dans een beetje omdat de zee voor wat afkoeling zorgt.

Droogte zal de hoge temperaturen nog verergeren, waarbij sommige gebieden ten zuiden van de Middellandse Zee het wellicht met een vijfde minder neerslag zullen moeten doen. Ook Spanje en Turkije zullen het flink te verduren krijgen, terwijl er meer naar het noorden gemiddeld 10 procent minder neerslag zal vallen en daarmee gepaard het aantal droge dagen met twee tot drie weken omhoog gaat. In Zuid-Frankrijk, Italië, Portugal en Noordwest-Spanje verwacht men dat het tot een volle maand langer droog kan blijven. Bovendien zal de seizoensgebondenheid van de neerslag veranderen en kiekeboe met de landbouw gaan spelen. Het vooruitzicht voor Zuid-Frankrijk en Spanje is bijvoorbeeld dat het droge seizoen drie weken eerder begint en twee weken eerder afloopt.

Airconditioning is misschien niet altijd een optie. Pieken in de vraag naar stroom gaan zich dan in het droogste deel van het jaar voordoen, wanneer het water in de reservoirs

toch al laag staat. Wanneer waterkrachtcentrales daardoor gaan haperen, kan dat juist op het hoogtepunt van een hittegolf tot stroomuitval leiden. Toeristen, met name de ouderen onder hen, zullen er vanwege het risico op een zonnesteek weg moeten blijven; mensen uit het Middellandse Zeegebied zelf gaan 's zomers dan misschien liever naar Noord-Europa, op zoek naar koelte. Men zal van levensstijl moeten veranderen en misschien meer leefgewoontes moeten overnemen vanuit het Midden-Oosten en Noord-Afrika, om de hitte beter het hoofd te bieden.

Watergebrek zal rond de hele Middellandse Zee een voortdurend probleem worden, vooral omdat sommige van de droogste kustgebieden in Spanje en Italië ook tot de dichtstbevolkte streken behoren. Rijke Duitsers en Britten die met het idee spelen om in Spanje van hun pensioen te gaan genieten, kunnen maar het beste blijven zitten waar ze zitten. In een zinderende hitte en met weinig fris water om het hoofd koel te houden lokt de zon uiteindelijk misschien niet meer zo sterk. De massale beweging van de afgelopen tientallen jaren van mensen uit het noorden van Europa richting Middellandse Zee kan in de twee-gradenwereld wel eens andersom komen te liggen. Wanneer Saharaanse hittegolven de Middellandse Zee eenmaal overspoelen, zal men zich uiteindelijk massaal verdringen om weg te komen uit streken die door de temperatuur nauwelijks meer bewoonbaar zijn.

### Het koraal en de ijsskap

In 1998 maakten drie Canadese geologen een reis naar de Kaaimaneilanden. Niet om er te zonnebaden of geld wit te wassen – twee activiteiten waar de eilanden terecht beroemd om zijn – maar om onderzoek te doen aan een wonderlijk hoog kalksteenplateau in de buurt van Rogers Wreck bij het eiland Grand Cayman. Het plateau, dat onder geologen bekend staat als de Ironshore Formation, is ongeveer 20 meter

dik en bevat lagen met koraal van honderdduizenden jaren oud. De formatie prikkelde de wetenschappelijke interesse van de Canadezen; als zij het koraal namelijk heel precies zouden kunnen dateren, zou de mate waarin het nu boven de zeespiegel uitsteekt hen helpen een mysterie te ontraadselen over de manier waarop de zeespiegel in het verleden is veranderd.

Tropische koraalriffen ontstaan in ondiepe zeeën, dus als oud koraal nu boven water ligt, zijn er maar twee verklaringen mogelijk: of het land is omhoog gekomen, of de zeespiegel is gedaald. Na minutieus onderzoek kwamen de drie wetenschappers – Jennifer Vezina, Brian Jones en Derek Ford van de afdeling Earth and Atmospheric Sciences van de University of Alberta – tot hun conclusie. Daarin sloten zij uit dat het land zou zijn opgetild, maar kwamen zij tot de slotsom dat de zeespiegel tijdens het afgelopen Eemien-interglaciaal vele meters hoger lag dan nu.

Deze conclusie sloot aan bij andere onderzoeken van over de hele wereld, die eveneens aangaven dat de zeespiegel tijdens het Eemien, 125.000 jaar geleden, 5 tot 6 meter boven het huidige niveau heeft gelegen. Destijds was de temperatuur wereldwijd ongeveer 1°C hoger dan nu (al lag die bij de noordpool wat hoger, vanwege het aanjagende effect aan de polen).<sup>\*</sup> Dit roept opnieuw een vraag op: waar kwam al dat extra water vandaan?

De eerste verdachte was het ijsveld van West-Antarctica. Glaciologen vermoedden al lange tijd dat dit gevoelig kon zijn voor kleine temperatuurveranderingen en in totaal bevat het veld genoeg ijs om de zeespiegel wereldwijd vijf meter hoger te leggen. Daarom waarschuwde een artikel in *Nature* al in 1978 dat het ijsveld een “dreigende rampspoed” vormde. Zoals hoofdstuk 4 uit de doeken zal doen, is deze

---

\* De opwarming is wereldwijd niet overal gelijk. Als het gemiddeld 2°C warmer wordt, is dat aan de noordpool ergens tussen de 3,2 en 6,6°C en aan de evenaar juist beduidend minder.

waarschuwing vandaag de dag nog veel dringender. Pogingen om de teloorgang van het ijsveld in een model te stoppen liepen echter op niets uit en in 2000 werd er een hele nieuwe kandidaat aangewezen die een aandeel in de zeespiegelstijging zou hebben gehad: Groenland.

In zijn drie kilometer dikke massa bevat de ijskap van Groenland voldoende water om de zeespiegel wereldwijd maar liefst zeven meter omhoog te brengen en toen wetenschappers de ijskernen uit de top van het ijsveld bestudeerden kwamen ze tot een verrassende slotsom. Groenland is tijdens het Eemien inderdaad aanzienlijk gekrompen. Zoveel zelfs, dat het grootste deel van de landmassa in het zuiden en het westen duizenden jaren lang volledig ijsvrij is geweest. En recentelijk zijn er zowaar aanwijzingen gevonden dat er op Groenland ooit bossen groeiden op plekken die nu twee kilometer onder het ijs liggen. Overigens zou dit in een vroeger en iets warmer interglaciaal dan het Eemien geweest kunnen zijn. In elk geval zou de ijskap uit het Eemien, met een lagere top, steilere hellingen en een aanzienlijk ingekorte omtrek, destijds wereldwijd hebben bijgedragen aan een 4 tot 5,5 meter hogere zeespiegel. Samen met kleinere bijdragen van Antarctica en andere gletsjers, plus wat thermische uitzetting van het zeewater, leek dit de hoge zeespiegels te verklaren.

Het onderzoek deed een aantal academische voorhoofden fronsen, maar de volle betekenis ervan begon pas een paar jaar later door te dringen. Terugkijkend komt dit misschien als een verrassing. Het bevatte duidelijk bewijs dat er in een klimaat dat 1 à 2 graden warmer is dan nu, voldoende Groenlands ijs zou smelten om kuststeden over de hele wereld onder water te zetten – steden met tientallen miljoenen inwoners. En het was trouwens ook geen eenmalige zaak: recenter werk bevestigt dat de bijdrage van Groenland aan een hogere zeespiegel in het Eemien inderdaad ergens tussen de 2 en de 5 meter heeft gelegen.

Weliswaar concludeerde het rapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) uit 2001 dat het

Groenlandse ijsveld onder hogere temperaturen uiteindelijk zou smelten, maar dat zou een kwestie van eeuwen, of zelfs van millennia zijn. In de voorspellingen van de zeespiegelstijging die in de 21e eeuw op 9 à 88 centimeter uitkwam, is maar een hele kleine bijdrage van Groenland verwerkt. Zoals dat gaat met waarschuwingen, werd deze niet verschrikkelijk urgent gevonden. De meeste mensen hebben er al moeite mee om zich druk te om wat er over 100 jaar gebeurt; ze bekommeren zich niet of hun verre nazaten in het jaar 3000 wel eens natte voeten zouden kunnen krijgen.

Er was één man die er anders over dacht, en dat was niet bepaald een of andere geitenwollensokkenfiguur waar men toch niet naar hoefde te luisteren. De nieuwe waarschuwing kwam van James Hansen, de NASA-wetenschapper wiens verklaring tegenover het Amerikaanse Congres in de hete zomer van 1988 zoveel indruk maakte dat de wereldwijde opwarming voor het eerst op de internationale agenda werd gezet. Hansen schreef een artikel, in zijn typerende recht-door-zee stijl, waarvan de titel luidde: “Kunnen wij de tijdbom van de wereldwijde opwarming onschadelijk maken?” Het werd later gepubliceerd in *Scientific American* en stelde de cruciale vraag: “Hoe snel zullen ijsvelden op de wereldwijde opwarming reageren?” Het artikel was kritisch over de verzekering van het IPCC dat het smelten van de ijskappen zelfs in een snel opwarmende wereld heel geleidelijk zou gaan – woorden waarvan Hansen meende dat die de urgentie van onze situatie verbloemden.

In plaats daarvan wees Hansen erop dat een mondiale temperatuurstijging van meer dan 1°C de ijskappen op de polen voldoende uit hun evenwicht zou kunnen brengen, om het zeeniveau veel verder omhoog te brengen dan de luttele 50 cm in het jaar 2100 die het IPCC als de meest waarschijnlijke optie beschouwt. Tegen het einde van de laatste ijstijd schoot de zeespiegel bijvoorbeeld elke twintig jaar een meter omhoog, over een periode van vierhonderd jaar, waarbij tropische koraalriffen in Hawaii verdronken en laag gele-

gen kusten onder water kwamen te staan. Deze dramatische overstroming, die door wetenschappers ‘Meltwater Pulse 1a’ is genoemd, deed zich 14.000 jaar geleden voor, toen de gigantische ijsvelden van de laatste ijstijd eindelijk afbrokkelde en plaats maakten voor het warmere Holoceen.

Wat eerder is gebeurd, kan opnieuw gebeuren, redeneerde Hansen, met name nu de atmosfeer inmiddels bol staat van de broeikasgassen, die voor het klimaat veel meer gevolgen hebben dan de minieme veranderingen in de baan van de aarde die de overgang van ijstijd naar interglaciaal bepalen. Net als in het verleden zouden toekomstige veranderingen in de ijsvelden wel eens – in Hansen’s woorden – “explosief snel” kunnen zijn.

Niettemin kreeg Hansen weinig steun, althans tot het jaar daarop, toen een team Europese modellenschrijvers de kritische drempel voor het smelten van Groenland van een heus cijfer voorzag: 2,7°C. Dat was bovendien geen cijfer voor de *wereldwijde* opwarming, maar voor de *regionale* opwarming. Omdat de noordpool sneller opwarmt dan de aarde als geheel, zal dit omslagpunt op Groenland eerder worden bereikt dan gemiddeld wereldwijd; vanwege de versterking aan de pool, zo meldde een tweede onderzoeksteam, warmt Groenland 2,2 maal zo snel op als de rest van de wereld. Wanneer we het ene cijfer door het andere delen, zou de uitkomst in kuststeden over de hele wereld de alarmbellen moeten laten afgaan: Groenland zal onomkeerbaar aan het smelten slaan wanneer de mondiale temperatuurstijging eenmaal iets meer dan 1,2°C bedraagt.

Dat is het slechte nieuws. Het goede nieuws is dat het Groenlandse ijsveld volgens dit onderzoek maar heel langzaam, over duizenden jaren, inkrimpt tot een kleiner soort eiland. Met meer opwarming – regionaal bijvoorbeeld tot 8°C, als de uitstoot van broeikasgassen onverminderd door gaat – zal het ijsveld over de komende duizend jaar voor het grootste deel verdwijnen. Dat zou de mensheid nog steeds ruim voldoende tijd geven om zich voor te bereiden op de

overstroming van de volle 7 meter, hoewel laag gelegen gebieden al veel eerder onder water zouden komen te staan.

Bovendien zal een deel van de afsmelting worden goedge maakt door toenemende sneeuwval, die ervoor zorgt dat het ijs in het midden dikker wordt. Ook dat is een gevolg van stijgende temperaturen, omdat een warmere atmosfeer meer waterdamp kan bevatten. Veel van Antarctica en het binnenland van Groenland staan te boek als een ‘poolwoestijn’, omdat het er domweg te koud is om voor sneeuwval van enige betekenis te zorgen. Er zijn nu al aanwijzingen dat er zich op stukken van het Groenlandse ijsdek boven de hoogtelijn van 1.500 meter sneeuw en nieuw ijs aan het ophopen zijn; volgens één studie met 6 cm per jaar. Er is zelfs al gesuggereerd dat een dikker ijspakket op Groenland de stijgende zeespiegel zou kunnen compenseren.

Maar aanwijzingen uit de echte wereld spreken deze optimistische scenario's weer tegen en geven aan dat James Hansen het achteraf wel eens bij het rechte eind gehad kan hebben. De modellen waarop de voorspellingen over het smelten van het Groenlandse ijs gebaseerd zijn, werken met schattingen van het verschil tussen het water dat door afsmelting verloren gaat en het ijs dat aangroeit door toekomstige sneeuwval. Bij de dynamiek van een ijskap komt echter wel wat meer kijken dan alleen sneeuw en smeltwater. Er stromen voortdurend enorme hoeveelheden ijs vanuit het centrum van Groenland naar gigantische gletsjers; deze schuiven vervolgens door fjorden naar zee en zakken vandaar als ijsbergen in het water. Deze gletsjers kunnen de stabiliteit van het ijsveld in korte tijd beïnvloeden, maar in de modellen wordt er niet werkelijk rekening met ze gehouden. “De gangbare modellen behandelen het ijsveld alsof het gewoon een ijsklontje is dat daar ligt te smelten, en wij komen erachter dat het helemaal niet zo simpel is”, zegt Ian Howat, een expert op het gebied van de Groenlandse gletsjers.

Met name is het zo dat wanneer het aan de oppervlakte verder afsmelt, er hele rivieren naar beneden duiken door

verijsde putten, zogeheten *moulins*, tot op het gesteente onder het ijsveld. Dit smeltwater werkt vervolgens als een smeermiddel onder het ijs, waardoor de gletsjers nog sneller in de richting van de zee worden afgevoerd. Zoals één glacioloog aan *Nature* liet weten: “Langs de kust slinken alle gletsjers als gekken en ze verplaatsen zich ook sneller dan zou moeten. Veranderingen in gebieden aan de kust zullen zich heel snel landinwaarts verspreiden.” Toen Byron Parizek en Richard Alley, twee glaciologen aan Penn State University in de Verenigde Staten, een eerste poging deden om het smeltwater als smeermiddel op te nemen in een ijsveldmodel, bleek dat dit de ijsskap op Groenland inderdaad dunner maakte en meer bijdroeg aan het stijgen van de zeespiegel.

Waarnemingen met gps in de praktijk maken iets minder somber. Een onderzoek van het Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek van de Universiteit Utrecht (IMAU) dat juli 2008 verscheen in *Science* rapporteert dat – ook al was de snelheid waarmee het ijs bewoog als reactie op extra ondergronds smeltwater soms zelfs het viervoudige – bekeken over een periode van 17 jaar de snelheid juist wat afnam. Dit suggereert dat het smeermiddel-effect van smeltwater zich zou beperken tot korte periodes en weinig gevolgen heeft op de tijdschaal van tientallen jaren.

Niet alleen de ijsskap, ook de Groenlandse gletsjers veranderen veel sneller dan iemand had verwacht. De grootste wegstromende gletsjer op de hele landmassa, Jacobshavn Isbrae, gelegen in het zuidwesten, is zo groot dat hij in zijn eentje al een meetbaar effect heeft op het mondiale zeespiegelniveau. Van de stijging die optrad in de 20e eeuw nam hij 4 procent voor zijn rekening. Sinds 1997 is deze gigantische ijsrivier elk jaar 15 meter dunner geworden. Maar dat niet alleen, zijn bewegingssnelheid is tussen 1997 en 2003 meer dan verdubbeld, wat aangeeft dat er een grotere hoeveelheid Groenlands ijs de zee in wordt gezogen. En om deze abnormale verandering als het ware te benadrukken is het drijvende ijsveld van Jacobshavn Isbrae nu bijna helemaal

uit elkaar gevallen tot een armada van ijsbergen langs de kust.

Ten oosten van de ijskap heeft ook een tweede gletsjer al dramatische veranderingen ondergaan. Een onderzoeksteam uit de Verenigde Staten onder leiding van Ian Howat bestudeerde aan de hand van satellietfoto's het gedrag van de Helheim-gletsjer tussen 2000 en 2005. Tot hun verbijstering ontdekten zij niet alleen dat het ijs sneller was gaan stromen, maar ook dat de gletsjer meer dan 40 meter dunner was geworden en zich een aantal kilometer dieper in de fjord had teruggetrokken. Ongeveer de helft van de slinking wordt veroorzaakt door afsmelting aan de oppervlakte; de laatste jaren zijn er steeds grotere delen van Groenland boven het vriespunt komen te liggen en is de ijsvlakte 's zomers bespikkeld met duizenden blauwe smeltwaterpoelen. Maar de rest hangt samen met de verhoogde stroomsnelheid van het ijs tot de ijzingwekkende snelheid van 11 kilometer per jaar.

Deze snellere stroming brengt meer ijs het dal in en maakt de gletsjer dunner, net zoals een elastiek dunner wordt als je het uitrekt. Door dit proces, dat inmiddels is overgenomen door gletsjers op de hele ijskap, worden miljarden tonnen meer ijs in de Noordelijke Atlantische Oceaan gedumpt en stijgt de zeespiegel nog verder. Volgens Howat heeft de slinking een "kritiek punt" bereikt, waarop "de dynamiek van de gletsjer drastisch is gaan veranderen". Zijn conclusie is vernietigend: "Als andere gletsjers op Groenland net zo reageren als de Helheim, dan zou dat de tijd waarin het Groenlandse ijsveld kan worden weggevaagd gemakkelijk kunnen halveren."

Andere onderzoekers zijn het met hem eens. In december 2005 sprak dr. Gordon Hamilton van de University of Maine op de herfstconferentie van de American Geophysical Union en daarbij maakte hij ook melding van "zeer dramatische veranderingen" in de Kangerdlugssuaq-gletsjer in het oosten van Groenland. Binnen één enkel jaar, tussen april 2004 en april 2005, verdubbelde deze enorme gletsjer zijn snelheid en trok zich tegelijkertijd bovendien 4 kilometer

terug. Helheim en Kangerdlugssuaq hebben nu de snelheid verdubbeld waarmee zij samen ijs in de oceaan dumpen, van 50 tot 100 kubieke kilometers per jaar. Als andere grote gletsjers ook die kant op beginnen te gaan, zo waarschuwde dr. Hamilton, dan kon dat op Groenland wel eens “de stop eruit trekken”.

De nieuwste gegevens laten echter zien dat nog niet alles verloren is. In maart 2007 rapporteerden Ian Howat en zijn collega's in het tijdschrift *Science* dat uitkomsten van hun laatste onderzoek iets geruststellender zijn. Hoewel zowel de Helheim- als de Kangerdlugssuaq-gletsjer in 2004 inderdaad met dubbele snelheid aan massa was kwijtgeraakt, zoals eerder werd gemeld, waren ze twee jaar later, in 2006, terug op een niveau dat weer wat normaler leek. Niettemin doen Martin Truffer en Mark Fahnestock in een artikel in *Science* van maart 2007 hun uiterste best om duidelijk te maken, dat deze meest recente verandering “niet betekent dat [de gletsjers] weer stabiel zijn”. Beslist niet: “De vraag blijft of de veranderingen van de laatste vijf jaar het systeem als geheel kwetsbaarder hebben gemaakt.” Het is zonneklaar dat deze reusachtige ijsrivieren beestachtig complex zijn en dat wetenschappers er nog een hele kluit aan hebben om ze te doorgronden.

Maar hoe individuele gletsjers zich ook gedragen, satellietstudies van de hele ijskap van Groenland geven wel degelijk aan dat er grote veranderingen voor de deur staan. Wetenschappers die werken aan het satellietprogramma GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) meldden in november 2006 dat er grote verliezen zitten aan te komen. Terwijl het ijsdek in de jaren '90 de meeste tijd vermoedelijk in evenwicht was, raakte het tussen 2003 en 2005 elk jaar ongeveer 100 miljard ton ijs kwijt, genoeg om de zeespiegel wereldwijd 0,3 millimeter omhoog te brengen.

In ieder geval zet James Hansen zijn strijd voort om de wereld wakker te schudden voor de dreiging van smeltende ijskappen en hij maakte op karakteristieke wijze korte met-

ten met pogingen van de regering Bush en van zijn bazen binnen NASA om hem de mond te snoeren. Toen de PR-afdeling van NASA hem opdroeg om geen lezingen meer te geven en niet meer met journalisten te praten zonder dat het materiaal eerst door hen was goedgekeurd, liep Hansen met het verhaal rechtstreeks naar de pers, wat in alle Amerikaanse media leidde tot beschamende koppen over “censuur bij NASA”. Zelfs in gewichtige wetenschappelijke tijdschriften staan zijn publicaties inmiddels vol met krachttermen als “gevaarlijk” en “overstroming”. Daarmee negeert hij de gangbare conventie dat wetenschappers zichzelf muilkorven met emotieloos jargon. Eén artikel dat Hansen in mei 2007 samen met vijf andere gezaghebbende auteurs publiceerde, waarschuwt in de samenvatting botweg dat “recente uitstoot van broeikasgassen de aarde gevaarlijk dicht bij een dramatische klimaatverandering brengen, die wij niet meer onder controle zouden kunnen krijgen en die grote gevaren voor mensen en andere levende wezens inhoudt”. Een duidelijke vaststelling van de feiten, maar wel één waarop in de academische wandelgangen vermoedelijk met een frons is gereageerd.

Hansen's bewering dat de ijsvelden overall op aarde wel eens veel sneller in elkaar zouden kunnen storten dan het IPCC aangeeft, heeft echter wel degelijk een stevige natuurwetenschappelijke basis. Ter verklaring van de snelle verbrekking van ijsvelden die in de echte wereld tegen het einde van de laatste ijstijd plaatsvond, schetst hij een proces dat hij de ‘albedo-flip’ heeft genoemd. Iets dat, als het zich vandaag zou herhalen, de overgebleven ijskappen veel sneller de genadeklap zou kunnen toebrengen dan de conventionele voorspellingen aangeven. Deze albedo-flip werkt verontrustend eenvoudig. Als sneeuw en ijs smelten, worden ze nat en daarmee wordt het oppervlak donkerder zodat het meer zonlicht kan absorberen. Hierdoor stijgt de temperatuur nog sneller en dat leidt dan tot nog meer afsmelting: een klassiek geval van een positief feedbackmechanisme. De albedo-flip is volgens Hansen de reden dat de desintegratie van de ijsvelden

wel eens “explosief snel” zou kunnen zijn en niet in een statig proces dat pas na duizenden jaren tot ontknoping komt. En aangezien grote stukken van Groenland en West-Antarctica ’s zomers inmiddels al liggen te baden in het smeltwater, suggereert Hansen dat dit ‘trigger-mechanisme’ van donkere, natte sneeuw vandaag de dag sowieso al meespeelt.

Maar hoe snel zou de zeespiegel dan kunnen stijgen? Het IPCC-rapport uit 2007 oppert slechts 18 tot 59 centimeter voor deze eeuw – geruststellende cijfers voor wie dichtbij de kust woont. Er staat echter een kanttekening bij, waarin wordt toegegeven dat onzekerheden over de reactietijd van ijsvelden dit cijfer omhoog zouden kunnen brengen. Maar het zegt niet hoe véél hoger en in de wetenschappelijke gemeenschap heeft niemand anders het aangedurfd om daar een schatting van te maken. Niemand behalve alweer James Hansen, wiens eerdere waarschuwing uit 1988 aangeeft dat hij over een opmerkelijk vooruitziende blik beschikt. In een artikel getiteld ‘Wetenschappelijke terughoudendheid en de zeespiegelstijging’, in 2007 gepubliceerd in het gratis online tijdschrift *Environmental Research Letters*, leest hij zijn collega’s de les omdat zij het zichzelf wel erg gemakkelijk hebben gemaakt en hebben geweigerd om ook maar iets te zeggen dat misschien “niet helemaal zou blijken te kloppen”. “Naar mijn mening”, zo stelt hij, “is er voldoende informatie om er zo goed als zeker van te zijn, dat het *business as usual*-scenario van het IPCC over de klimaatgevolgen op de tijdschaal van een eeuw tot een rampzalige zeespiegelstijging van meerdere meters zal leiden.” Hij wijst erop dat als de snelheid waarmee de ijsvlaktes smelten elke tien jaar verdubbelt – wat een serieuze mogelijkheid is – de resulterende zeespiegelstijging in 2100 op 5 meter zal uitkomen.

Misschien moeten de waarschuwingen van James Hansen dus wat serieuzer genomen worden en dan met name zijn bezorgdheid dat de snelheid van afsmelting en de stijging van de zeespiegel in de komende eeuw dramatisch omhoog zouden kunnen schieten. Eén vroege waarschuwing is er al

afgegeven. De zeespiegel stijgt momenteel met 3,3 millimeter per jaar – veel sneller dan de 2,2 millimeter die in het IPCC-rapport voorspeld is. Als, zoals volgens Hansen aanneemelijk is, de snelheden van het afsmelten die tegen het einde van de laatste ijstijd optraden deze eeuw weer terug gaan komen, dan zou het hele ijsdek van Groenland binnen 140 jaar verdwenen kunnen zijn. De geografie van de kusten op de wereld zou er dan radicaal anders uitzien. Miami zou helemaal verdwijnen, net als het grootste deel van Manhattan. Het centrum van Londen, Antwerpen en de Randstad zouden onder water komen te staan. Ook Bangkok, Bombay en Shanghai zouden hun grondgebied grotendeels kwijtraken. Alles bij elkaar zou de halve mensheid naar hoger gelegen gebied moeten verhuizen en intussen zouden landschappen, gebouwen en monumenten die meer dan duizend jaar het middelpunt van de beschaving zijn geweest, geleidelijk door de zee worden verzwolgen.

### Laatste halte voor ijsberen

Niet iedereen vindt de transformatie van de noordpool een slechte zaak. Zelfs nu het water van de smeltende Groenlandse ijsvlaktes afgutst, zou de klimaatverandering bovenin de wereld sommige mensen wel eens heel rijk kunnen maken. Pat Broe hoopt dat hij één van hen zal zijn. Als Amerikaanse ondernemer kocht Broe in 1997 de in verval geraakte Canadese haven van Churchill voor het vorstelijke bedrag van 7 dollar. Voor de minder dan duizend inwoners van dit kleurloze stadje is het leven hard geweest – ook al heeft het zichzelf omgedoopt tot “Wereldijsbeerhoofdstad”.

Maar volgens Broe gaan ze er binnenkort een enorme klapper maken. Met het smelten van het poolijs zou het onaanzienlijke Churchill een belangrijk knooppunt kunnen worden op de lucratieve scheepsroutes die tussen Azië, Europa en Noord-Amerika zullen opengaan, door wateren die

tot nu toe permanent bevroren zijn geweest. En dat is maar goed ook, want tegen de tijd dat deze vaarroutes in gebruik genomen zijn, moet de Wereldijsbeerhoofdstad op zoek naar een andere reden van bestaan, om de doodsimpele reden dat het ijs met ijsberen en al zal verdwijnen.

Dat het terugtrekken van de ijskap op de noordpool door de wereldwijde opwarming een nieuwe goudkoorts naar olie zal ontketenen, is geen grap. Deze zal nog meer fossiele brandstoffen op de wereldmarkt brengen die, eenmaal opgestookt, het probleem van klimaatverandering onvermijdelijk nog groter zullen maken. Volgens sommige schattingen ligt een kwart van de nog niet ontdekte wereldvoorraden gas en olie onder de Noordelijke IJszee, in gebieden waarin volgens de historische opvatting niet geboord kon worden vanwege de enorme ijsschotsen die er rondrijven. Nu al worden er grote investeringen gedaan om deze economisch waardevolle hulpbron uit te baten. De Noorse regering geeft miljarden dollars uit om in de haven van Hammerfest, in het hoge noorden, een centrale voor vloeibaar aardgas te bouwen, en sinds de ontdekking van een gigantische gasbel in het Russische deel van de IJszee – geschat op het dubbele van de totale Canadese voorraad – vechten oliebaronnen elkaar op een onsmakelijke manier de tent uit om die toch maar samen met de Russische oliegigant Gazprom te mogen exploiteren. In de woorden van een energie-analist die in de *New York Times* werd aangehaald, is deze nieuwe stormloop op de Noordpool “het grote gevecht in een koud klimaat”.

Op internationaal niveau zijn Canada, Denemarken, de Verenigde Staten, Noorwegen en Rusland als landen aan de Noordelijke IJszee druk in gevecht om de rechten op grondstoffen in ‘hun’ deel van de zeebodem vast te leggen. In augustus 2007 ondernam een Russische expeditie een wel heel brutale operatie landjepik. Deze stuurde een duikboot onder het ijs, plantte een roestvrije metalen vlag op de zeebodem, 4.000 meter onder de Noordpool en claimde daarmee het hele gebied en al zijn rijkdommen aan fossiele brandstof-

fen voor het moederland. “We zijn blij dat we een Russische vlag op de zeebodem hebben kunnen planten en het kan me niets verdommen wat een paar buitenlanders ervan vindt”, verklaarde Artur Chilingarov, leider van de expeditie, uit de hoogte toen hij in Moskou als held ontvangen werd, compleet met champagne en gezwollen taal van Kremlin-gezinde jeugdorganisaties. En de onbedoelde ironie werd tot onwaarschijnlijke hoogtes opgestuwd toen de zegevierende Chilingarov vervolgens, onder begeleiding van een militaire fanfare, een grote knuffelijsbeer kreeg uitgereikt, het symbool van de Poetin-gezinde partij Verenigd Rusland, waarvan hij afgevaardigde is. Het Amerikaanse State Department was echter bestudeerd onaangedaan: “Een metalen vlag, een rubberen vlag of een beddelaken op de oceaanbodem... heeft geen enkele juridische status”, liet een woordvoerder aan Reuters weten. “Je kunt niet zomaar overal op de wereld vlaggen planten en zeggen ‘Dit is ons grondgebied’”, klaagde de Canadese minister van Buitenlandse Zaken geërgerd, Rusland ervan beschuldigend zich te gedragen als een vijftiende-eeuwse koloniaal.

Tegen dit soort harteloze economische geldingsdrang kunnen echte ijsberen niet op. De ijsbeer, *Ursus maritimus*, zit met een navelstreng aan de zee vast. Volwassen ijsberen brengen het grootste deel van hun leven op het ijs door, op jacht naar zeehonden en andere prooidieren, en kunnen jaarlijks duizenden kilometers over de poolzeeën afleggen. In elk opzicht zijn het buitengewone dieren. Met twee bontlagen over 10 centimeter spek raken ijsberen praktisch geen warmte kwijt, ook niet bij de allerlaagste temperaturen. Gelukkig maar, want soms moet een beer naast een ademgat dagenlang stil liggen wachten, voordat hij vijf seconden de kans krijgt om een zeehond te grijpen.

Ijsberen die in de ijsvrije zomer ergens op het land stranden gaan magere tijden tegemoet, waarin er alleen bessen, zeewier, oude karkassen en menselijk afval te eten is. Hoe vroeger het ijs in de lente in stukken breekt, hoe minder kans

de beren hebben om vóór de magere zomermaanden hun reserves aan te vullen. Eén wetenschappelijk onderzoek heeft al laten zien dat ijsberen in Hudson Bay in jaren waarin het ijs vroeger opbreekt in slechtere conditie zijn. Er worden minder welpen geboren en er overleven er ook minder. Het is duidelijk wat dit betekent: het terugtrekkende ijs kan voor ijsberen alleen maar slecht nieuws zijn, ook al is het goed nieuws voor oliemaatschappijen en pragmatisch aangelegde Amerikaanse ondernemers.

Maar minder pakij is nu precies wat elke afzonderlijke voorspelling in petto heeft. Weliswaar verschillen de modellen onderling over wanneer het permanente zomerijs nu precies van de pool verdwenen zal zijn, maar over de richting van de verandering bestaat geen onenigheid. Een onderzoek van NASA-wetenschapper Josefino Comiso keek specifiek naar de hoeveelheid ijs die er in een twee-gradenwereld zou kunnen overblijven. En hij concludeerde dat er ten noorden van Canada, Alaska en Siberië misschien al in 2025 enorme stukken water ijsvrij zullen zijn. Op sommige plaatsen zal dan nog wel het hele jaar ijs liggen, maar elke zomer wordt de oppervlakte daarvan kleiner en kleiner. Hierdoor zouden de ijsberen op een steeds kleiner stuk tussen het noorden van Groenland en de Noordpool bij elkaar gedreven worden, of op het land terecht komen en daar verhongeren. De Arctic Climate Impact Assessment kwam in 2004 tot de onheilspellende slotsom: “Het is moeilijk voor te stellen dat de ijsbeer als diersoort zou overleven in een scenario met nul pakij in de zomer.”

Ijsberen zijn trouwens niet de enige soort die hierdoor getroffen zou worden. De ringelrob, of kleine zeehond, vormt hun voornaamste bron van voedsel, en brengt ook zijn hele leven op of onder het pakij door. En ook walrussen hebben ijs nodig in de buurt van land, in ondiepe zee; zij duiken van stukken pakij af om voedsel op de bodem te zoeken. Als de overblijvende gebieden met pakij voorbij de rand van het continentale plat afdrijven, wordt de zee voor walrussen te

diep om nog voedsel te kunnen vinden. En ook deze veranderingen zijn al realiteit aan het worden; in Alaska meldden jagers die op open zee werken, dat wanhopige walrussen bij hen aan boord probeerden te klimmen, omdat ze hun witte boten aanzagen voor stukken van het verdwenen drijfijis.

In feite zal met het stijgen van de temperatuur en het achteruitgaan van het pakijis de hele voedselkringloop veranderen, van het plankton dat in zee de primaire producent vormt, tot de vissen, vogels en zoogdieren. Op het land gaan rendieren massaal de hongerdood tegemoet wanneer er in plaats van sneeuw ijskoude regen gaat vallen, die de planten die zij afgrazen inpakt in een dikke laag ijs. Sommige vogelsoorten, zoals de keizergans, zullen volgens voorspellingen meer dan de helft van hun leefgebied kwijtraken. Ook zoetwatervissen als de beekridder, de vlagzalm en de snoek zullen door het warmere water achteruitgaan. Hoewel warmte-minnende soorten er voordeel van hebben en verder naar het noorden zullen trekken, zullen noordpool-soorten die aan de kou zijn aangepast in hun bestaan worden bedreigd en misschien niet aan uitsterving kunnen ontkomen.

Ook het landschap zelf zal veranderen. Een recent onderzoek simuleerde de invloed van een wereldwijde opwarming van 2°C op vegetatietypes op de Noordpool en daaruit bleek dat de toendra vrijwel helemaal verdwijnt en steeds verder naar de noordkust van Alaska, Canada en Siberië wordt gedrukt, terwijl de bossen oprukken. Zelfs op Groenland zullen bomen gaan groeien. De koude toendra met mossen en korstmossen zal vrijwel geheel uitsterven, waarbij de laatste stukjes zich alleen nog op de hoogste bergtoppen en de meest noordelijk gelegen eilanden in leven zullen weten te houden. De grens van de permafrost trekt zich honderden kilometers naar het noorden terug en door het ontdooien van de bodem zullen bossen, gebouwen en berghellingen hun stabiliteit verliezen.

En opnieuw is de 'arctische aanjager' van de wereldwijde opwarming de boosdoener. Deze houdt in dat een tempera-

tuurstijging van wereldwijd 2°C tegen het jaar 2050 op de noordpool tot een opwarming leidt van ergens tussen de 3,2 en 6,6°C. De snelheid van die verschuiving zou *minimaal* een halve graad per tien jaar zijn en maximaal anderhalve graad. Zo'n snelle opwarming slaat niet alleen alles dat de regio de laatste honderdduizenden jaren heeft meegemaakt, maar gaat bovendien het tempo te boven waarin planten, dieren en ook mensen zich kunnen aanpassen. Ze zullen allemaal moeten vechten om de komende eeuw te overleven.

Door het opwarmende klimaat zullen arctische volken, die natuurlijk net als de rest van ons deel uitmaken van de uiterst talrijke *homo sapiens*, als soort beslist geen gevaar lopen. Op cultureel niveau zullen zij echter wel bedreigd worden. Zoals een Canadese krant opmerkte mogen de Inuit dan wel twintig woorden voor sneeuw hebben, maar in het geval van 'klimaatverandering' en 'broeikasgas' schiet hun vocabulaire tekort. Ze hebben overigens wel een woord voor 'gek weer': *uggianaqtuq*, wat zoveel wil zeggen als 'onverwacht gedrag'.

Het gaat echter om veel meer dan woorden. Leefwijzen die duizenden jaren afhankelijk zijn geweest van de voorspelbare afwisseling van seizoenen zullen ernstig uit evenwicht raken wanneer de winter hier zijn greep verslapt en de traditionele voedselbronnen verdwijnen. Zoals opperhoofd Gary Harrison in december 2005 in Montreal op de VN-conferentie over klimaatverandering zei: "De inheemse bewoners van het noordpoolgebied worden bedreigd door het uitsterven, of de catastrofale achteruitgang van hele populaties vogels, vissen en zoogdieren, inclusief soorten als rendieren, zeehonden en vissen die voor onze voedselzekerheid van levensbelang zijn. De klimaatverandering dreigt ons onze rechten te ontnemen – onze rechten om onszelf in leven te houden zoals we dat duizenden jaren hebben gedaan."

Anders dan planten en dieren kunnen de menselijke inheemse inwoners van het arctische gebied terugvechten. De Inuit-leidster Sheila Watt-Cloutier diende onlangs een petitie in bij de Inter-American Commission on Human Rights,

waarin zij namens alle Inuit eist om te worden verlost van “schendingen die voortkomen uit de wereldwijde opwarming, die het gevolg is van handelingen en nalatigheden van de Verenigde Staten”. Onder de ondertekenaars waren ook bewoners van Shishmaref, het dorp in Alaska dat ik bezocht voor *Het nieuwe weer*, om daar te zien hoe het verdwijnende pakijds de gemeenschap in zijn bestaan bedreigt doordat de kust er steeds sneller erodeert.

Het 130 pagina's tellende document wijst erop dat de gevolgen van de klimaatverandering “de fundamentele mensenrechten van de Inuit schenden, die worden beschermd door de Amerikaanse Verklaring inzake de Rechten en Plichten van de Mens, en andere, internationale instrumenten. Deze omvatten hun rechten op de baten van cultuur, op bezit, op gezondheid, leven, lichamelijke integriteit, veiligheid en een middel van bestaan, en op een woonplaats, vrije beweging, en onschendbaarheid van de woning.” De Inuit zijn niet als vele anderen op de wereld het contact met hun omgeving kwijtgeraakt en zij weten wat er op het spel staat.

### Zomer in India

We kunnen echter rustig stellen dat er in het huidige India maar weinig mensen zijn die, anders dan de Inuit, zich ook maar iets aantrekken van de wereldwijde opwarming. Eén van de uitzonderingen, Rajendra Pachauri, de huidige voorzitter van het Intergovernmental Panel on Climate Change, heeft als vooraanstaand figuur zijn stem laten horen om het bewustzijn over de dreigende klimaatverandering te vergroten. Maar zelfs hij krijgt met de harde werkelijkheid te maken. “Het is duidelijk, dat het voor het Indiase publiek onaanvaardbaar is om op dit moment dingen te doen die duur zijn en onze economische groei afremmen, alleen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen”, zo gaf Pachauri onlangs toe.

Als één van de weinige Indiërs die nog steeds Gandhi's bijnaam citeren – “*Be the change you want to see in the world*” – onderscheidt Pachauri zich mede omdat hij nadenkt over dingen, terwijl het hele land zich blindelings op de jacht naar rijkdom heeft gestort. Met miljoenen tegelijk koopt de succesvolle middenklasse auto's, koelkasten en airconditioners, en intussen stijgt India's uitstoot met 3 procent per jaar en zal het oliegebruik volgens de verwachting in 2010 zijn opgelopen tot 1,8 miljoen vaten per dag. In 2001 ging India Japan voorbij als de nummer vier van de grootste oliegebruikers ter wereld. Maar bij zulke enorme cijfers vertrekt de Indiase overheid geen spier. “Op geen enkele manier hoeft iemand te verwachten dat landen als India de komende 20 tot 25 jaar hun uitstoot zullen beperken”, liet S.K. Joshi, een hogere ambtenaar van het ministerie van milieu Reuters onlangs weten.

Joshi moet de vergadering in september 2005 hebben gemist die zijn eigen ministerie had georganiseerd, samen met het Britse Department of Environment, Food and Rural Affairs, waarin een aantal van de voor India voorspelde gevolgen van de wereldwijde opwarming werden geschetst. Studies in opdracht van beide regeringen voorzien bij twee graden opwarming een daling van de landbouwproductie van zowel tarwe als rijst op het grootste deel van de landbouwgronden, namelijk die welke niet geïrrigeerd worden. Ook worden er verschuivingen in de verschillende bosstypes verwacht, inclusief grootschalige bossterfte, met name in de traditionele bossavannes. Dat zou ontstellende gevolgen hebben voor de 200.000 dorpen die in, of in de buurt van het bos liggen, en die voor het levensonderhoud van hun inwoners daarvan grotendeels afhankelijk zijn.

Het onderzoek bevestigt een eerdere studie, die in 2001 werd gepubliceerd, en bij een wereldwijde opwarming van twee graden aanzienlijke gevolgen voor de landbouwsector in India voorspelde. De tarweproductie in de noordelijke staten Haryana, Punjab en westelijk Uttar Pradesh zou het ergst

worden getroffen. Sommige staten als West-Bengalen zouden erop vooruit gaan, maar in mindere mate. Per saldo zou het hele land 9 procent minder opbrengsten hebben. Voor een land met een groeiende bevolking zouden de consequenties voor de voedselzekerheid dus zonder meer ernstig zijn.

Deze veranderingen worden versterkt door bredere meteorologische verschuivingen die eveneens samenhangen met de stijgende temperaturen. Daaronder zijn een intensivering van de moesson en steeds ernstiger overstromingen. Bovendien kan India te maken krijgen met een toestroom van vluchtelingen, omdat haar buurlanden ook zo hun klimaatproblemen hebben. Het dichtbevolkte buurland Bangladesh zal buitenproportioneel te lijden hebben van de sterkere moesson. Het land krijgt elk jaar al tweeëneenhalve meter neerslag, waardoor 30 tot 70 procent van zijn grondgebied onder water komt te staan, zelfs in het huidige 'normale' klimaat. Wanneer er nog zwaardere buien in nog hardere stormen gaan vallen, zullen in de moessontijd miljoenen mensen door overstromingen van huis en haard worden verjaagd. En als hun huizen herhaaldelijk wegspoelen, is dat misschien wel voorgoed en worden ze gedwongen om ergens anders heen te trekken.

Al kan het van jaar tot jaar enorm verschillen, de totale hoeveelheid neerslag die in India tijdens de moessontijd valt, is volgens wetenschappelijk onderzoek de laatste vijftig jaar ongeveer op hetzelfde niveau gebleven. Maar de wereldwijde opwarming heeft al wel invloed; deze drijft de frequentie van zware stortbuien op en brengt het aantal zachtere regenbuien in de moessontijd omlaag. Een groter deel van de jaarlijkse neerslag valt in hevige onweersbuien en grote overstromingen komen nu al vaker voor; de komende tientallen jaren zal die frequentie nog verder stijgen. Dit soort regen valt nadat de hemel zonder veel waarschuwing ineens openbreekt. Plotselinge overstromingen veroorzaken vaak aardverschuivingen en spoelen huizen en dorpen weg wanneer rivieren buiten hun oevers treden, soms al binnen een

paar minuten nadat een wolkbreuk is begonnen. Met nauwelijks enige waarschuwing voor een aanstormende ramp, krijgen de mensen minder tijd om zichzelf en hun familie in veiligheid te brengen. Zodoende zal met de snelheid van de wereldwijde opwarming ook het dodencijfer van overstromingen wel omhoog gaan.

Ook in Nepal zal veel water een probleem gaan vormen, al is dat water dan afkomstig van een heel ander soort bron. Hoog in de Himalaya liggen de machtige gletsjers te smelten en het smeltwater dat zij produceren heeft de neiging om te blijven staan achter de muren van het puin dat achterblijft wanneer het ijs zich terugtrekt. Daarbij ontstaan talloze nieuwe gletsjermere, die achter hun onstabiele wanden enorme hoeveelheden water bevatten. Wanneer die scheuren, kunnen er rampzalige modderstromen op gang komen, die de rivierdalen in dendere en soms over een afstand van 200 kilometer alles op hun pad wegvagen. In 1985 stortte zich een 10 meter hoge muur van water vanuit een gebarsten gletsjermere naar beneden in de rivieren Bhote Koshi en Dudh Koshi, vernielde een waterkrachtcentrale, 14 bruggen en 30 huizen, en ondermijnde bij Lukla de Everest-landingsbaan. Een onderzoek in 2000 vond 20 van zulke meren die ieder moment voor een overstroming zouden kunnen zorgen en in de twee-gradenwereld zal dat aantal nog aanzienlijk hoger komen te liggen.

De afsmelting in de bergen zal echter op de lange termijn voor een verraderlijker, maar veel ernstiger effect gaan zorgen. Wanneer de gletsjers bijna overal verdwijnen en alleen op de allerhoogste toppen overblijven, zal hun smeltwater niet langer de reusachtige rivieren voeden, die de honderden miljoenen inwoners van het Indiase subcontinent van onontbeerlijk drinkwater voorzien. Het gevolg zal watergebrek en honger zijn, waardoor de hele regio gedestabiliseerd zal raken, zoals het volgende hoofdstuk laat zien. En dit keer zal niet India, Nepal of Bangladesh het epicentrum van de rampspoed zijn, maar het van kernwapens voorziene Pakistan.

## Het smeltpunt van Peru

Domweg door hun omvang en hoogte zullen de immense Himalaya-gletsjers niet binnen de kortste keren verdwenen zijn. Voor de kwetsbaarder ijsvelden in de Andes geldt echter een andere realiteit. Hier heeft de wereldwijde opwarming over de afgelopen dertig jaar de oppervlakte die door gletsjers is bedekt al met een kwart teruggebracht. Lonnie Thompson, de klimaat-pionier die ijskernen uit de top van de Kilimanjaro haalde, is ook jaren aan het boren geweest op de unieke Quelccaya-ijskap in de bergen van Oost-Peru. Toen hij er in 1976 voor het eerst in het ijs boorde, vond Thompson duidelijke jaarlaagjes die teruggingen tot 1.500 jaar geleden. Maar toen hij er begin jaren '90 terugkeerde, waren de bovenste en jongste lagen al vernietigd door langsstromend smeltwater. Somber stelde hij vast dat de robuuste berg die meer dan duizend jaar permanent bevroren was geweest, nu aan het afsmelten was.

De Peruviaanse hoofdstad Lima ziet er niet uit alsof het voor zijn drinkwater van de hooglanden afhankelijk is. Lima ligt op de kale kuststrook van het land en de dichtsbijzijnde bergen zijn volstrekt desolate woestenijen van rots en zand, waarop nog geen sprietje gras in leven blijft, laat staan een hele stad. Hoe kan het dan dat Lima overleeft in één van de droogste woestijnen ter wereld? In elk geval niet door de regen: de onbeduidende 23 millimeter neerslag per jaar valt uitsluitend in de vorm van een koude motregen, die onmiddellijk verdampt zodra de zon zich laat zien. Nee, het antwoord komt in beeld als je de snelweg volgt, die langs het diepe dal van de rivier de Rimac het binnenland in loopt. De zongeroosterde bergwoestijn gaat al snel over in grasland en vervolgens in besneeuwde toppen, waarvan sommige uitstijgen boven de 5.500 meter – hoog genoeg om mij door middel van hoogteziekte een bijna-doodervaring te geven toen ik er onbezonnen in de buurt kwam, zoals ik in *Het nieuwe weer* onthuld heb. Deze verijsde bergen vormen de watertorens

van Lima – natuurlijke voorraden in de lucht. Zij laten de Rimac het hele droge Andes-seizoen stromen, zelfs als er hoog in de bergen weinig sneeuw of regen valt.

Vreemd genoeg is er, voor zover ik weet, nooit onderzoek gedaan naar de vermoedelijke gevolgen van twee of meer graden wereldwijde opwarming voor de gletsjers die Lima in leven houden. Andere afwateringsgebieden in de Peruviaanse Andes zijn echter wel nauwkeurig bestudeerd, zoals van de Rio Santa. Deze voert het water af van de Cordillera Blanca-keten, waarin ook de 6.768 meter hoge Huascarán ligt, de hoogste top van Peru, waar Lonnie Thompson één van zijn ijsboringsavonturen beleefde. Volgens een Oostenrijks-Peruaans hydrologisch onderzoek is de Rio Santa in het droge seizoen voor zijn afwatering vrijwel geheel afhankelijk van gletsjerwater. Benedenstrooms van het hooggebergte wordt het rivierwater in de spectaculaire Canyon del Pato door hydro-elektrische turbines gevoerd en daarbij produceert het 5 procent van de landelijke stroomvoorziening. Op de verder zo droge kustvlakte bevoeit het bovendien aanzienlijke akkergebieden van maïs, meloenen en suikerriet. Ook de inwoners van de kuststeden Chimbote en Trujillo (meer dan een miljoen) zijn voor hun drinkwater afhankelijk van de Santa.

Tegen het jaar 2050 zullen de gletsjers in de Cordillera Blanca echter met 40 tot 60 procent geslonken zijn, zo voorspelt een tweede onderzoek door twee van dezelfde auteurs. Hun model voorziet dat de afsmelting van de gletsjers tegen die tijd met bijna de helft zal zijn teruggelopen, wat de aanvoer van water tijdens het droge seizoen drastisch zal verminderen. In dat stadium zullen de Peruviaanse autoriteiten voor een paar moeilijke beslissingen komen te staan. Moeten ze water in die paar kunstmatige meren laten lopen om de opwekking van waterkracht op peil te houden? Of moet er water worden opgeslagen zodat de voorraden voor de stad niet opraken? Tegen die tijd zal de landbouwproductie op een laag pitje staan en enorme werkloosheid veroorzaken,

terwijl de geïrrigeerde kustvlaktes opnieuw de woestijn worden die ze ooit zijn geweest.

De vroege geschiedenis van Peru verbergt wellicht een paar geheimen in dezelfde trant. Vanaf Trujillo langs de kust naar het noorden ligt de Jequetepeque-vallei, de plek waar de grote pre-Columbiaanse culturen van de Moche (200–800 AD) en Chimu (1100–1470 AD) bestonden, die beide enorme oppervlaktes bebouwden op de nu woeste valleibodem. Ook bouwden ze netwerken van irrigatiekanalen en aquaducten om het schaarse water uit de veraf gelegen bergen aan te voeren en trokken windschermen op in de woestijn om te voorkomen dat de wandelende duinen hun akkers en huizen zouden bedelven. Beide beschavingen wisten de overstromingen het hoofd te bieden die samenhangen met de periodieke komst van El Niño en leerden zelfs om nog één of meer oogsten te halen van de natte stukjes land die het overstromingswater achterliet.

Maar tegen droogte waren ze niet opgewassen. Hogerop in de loop van de Jequetepeque zijn geen gletsjers en daarom is de rivier voor een regelmatige aanvoer geheel aangewezen op de regen die in de hooglanden valt. Een deel van de aanvoer in het droge seizoen wordt gebufferd door meertjes en moerassen, die net als ijs het water doorgaans langzaam afgeven. Maar als de regens te lang uitblijven, droogt de rivier op en komen de mensen zonder water te zitten – zonder drinkwater en zonder water voor hun gewassen. Kort geleden vonden archeologen duidelijke aanwijzingen dat de terugkerende noodsituaties die de Chimu- en Moche-volken overrompelden direct met droogte te maken hadden. Wanneer de regen uitbleef en de rivier opdroogde, barstte de hel volledig los. Het gevolg was een jammerlijke puinhoop van oorlog, migratie en uiteindelijke instorting van de samenleving.

De huidige stedelijke samenlevingen zijn uiteraard heel anders dan de stelsels die de Chimu en de Moche in elkaar hadden gezet. Op haar hoogtepunt telde de hele Moche-beschaving, verspreid over verschillende kustvalleien, slechts

rond de half miljoen mensen. Vandaag de dag heeft Lima er ongeveer 8 miljoen, eenderde van Peru's totale bevolking, verspreid over een enorm gebied; velen van hen schrapen een bestaan bij elkaar in de straatarme sloppenwijken die zich uitzaaien in de heuvels rondom de stad. De Moche hadden dan wel kanalen en aquaducten, maar ze hadden nooit kunnen dromen van het soort infrastructuur voor water die in een stad vandaag de dag als normaal wordt beschouwd. Toen ik in 2002 in Peru was, ging ik langs bij het hypermoderne gebouw van SEDAPAL, het drinkwaterbedrijf van Lima, aan de rand van de stad. Ondanks SEDAPAL's voortdurende financiële problemen draaide de boel gewoon door en werd er vanuit reusachtige overdekte reservoirs, die eruit zagen als Olympische zwembhallen, kristalhelder water naar verschillende delen van de stad gepompt.

Maar SEDAPAL heeft een probleem. Het smeltwater waarvan de Rimac afhankelijk is, is afkomstig uit de bergketen Cordillera Central in het binnenland en deze is lager dan de veel meer vergletsjerde Cordillera Blanca; zelfs de hoogste pieken halen maar net de 5.500 meter. De gletsjers zijn er maar klein, en deze worden niet gevoed door uitgestrekte sneeuwvlaktes. SEDAPAL heeft reservoirs gebouwd om regen op te vangen in het natte seizoen, maar geschikte plekken zijn er daarvoor maar weinig, net als financiële middelen.

Het is moeilijk voor te stellen dat er in de twee-gradenwereld überhaupt nog gletsjers in de Cordillera Central zouden zijn. Zelfs de ruwste berekening die iedereen zo kan maken laat zien dat er onheil dreigt. Een vuistregel is dat elke graad temperatuurstijging de vorstgrens 150 meter hoger legt. Als we dus het mondiale gemiddelde naar de Andes extrapoleren, zal de vorstgrens – en daarmee de gletsjer – zich 300 meter naar boven hebben teruggetrokken. Op dit moment komen gletsjers alleen boven de 5.000 meter voor, dus dan zal er alleen nog boven de 5.300 meter ijs te vinden zijn. Dat betekent dat tegen de tijd dat de temperatuur wereldwijd twee graden hoger ligt er alleen op de allerhoogste toppen

nog hele kleine vergletsjerde stukjes over zijn. En in feite is de situatie nog ernstiger dan zo'n ruwe berekening aangeeft. Dankzij een grilligheid in de atmosferische natuurkunde stijgt de temperatuur in de bergen namelijk boven het wereldwijde gemiddelde. Het komt erop neer dat de temperatuur sneller stijgt naarmate je hoger in de atmosfeer komt. (Een onderzoek uit 2008 in het tijdschrift *Geophysical Research Letters* bevestigt dat de positieve feedback van smeltend ijs die geldt voor de polen, ook van toepassing is op bergen – waar de sneeuw zich terugtrekt is er minder weerspiegelend oppervlak en vindt verdere opwarming plaats.) In de tropische Andes stijgt de temperatuur nu al twee keer zo snel en dat komt nog eens bovenop de snelle afsmelting die al gaande is. Er is maar één conclusie mogelijk: de natuurlijk watertorens van Lima zijn tot opdroging gedoemd.

Overigens is Lima niet de enige grote stad in de regio die grotendeels van smeltwater afhankelijk is. Ook Peru's buurlanden Ecuador en Bolivia overleven dankzij het smeltwater van hun vergletsjerde bergen. Quito, de hoofdstad van Ecuador, krijgt op dit moment een deel van zijn drinkwater van een gletsjer op een nabij gelegen vulkaan, de Antisana genaamd – waarop, zoals elders in de Andes, het ijs snel aan het slinken is. Al deze landen zijn ook voor hun stroomvoorziening afhankelijk van water in de bergen en als de rivieren in toekomstige droge seizoenen droog vallen, zal de bevolking lijden onder langdurig tekortschietende stroomvoorziening en zullen er alternatieve bronnen gevonden moeten worden, misschien door fossiele brandstoffen te gebruiken.

Hoe moeten de inwoners van een stad als Lima hiermee omgaan? De ervaring leert dat de armsten het eerst getroffen worden. De rijken kunnen het zich misschien veroorloven om duur, gebotteld water te kopen, dat per vrachtwagen van veraf wordt aangevoerd, water dat per pijpleiding vanuit de bergen wordt gehaald, of misschien uit een ontziltingsinstallatie wordt geperst die voor de armen te duur zou zijn. Ook de landbouw zou eronder lijden en daardoor zouden in het

hele kustgebied honderdduizenden mensen werkloos raken. En als er langdurig tekort aan water zou ontstaan, raken de straten van Lima misschien wel leeg, in een vreemd soort omgekeerde migratie. In plaats van naar de stad te komen, gaan mensen misschien wel terug naar hun bergdorpen, waar nog wel water is en waar ook nog gewassen te verbouwen zijn. De invloed van de stad zou sterk afnemen en de helft van Peru's bevolking die nu in de woestijn leeft zou gedwongen zijn om de bergen in te trekken – er vanuit gaand dat er ruimte en landbouwgrond voor hen te vinden zou zijn. Daarbij zullen waarschijnlijk onder vluchtelingen grote onlusten ontstaan en wijdverbreide conflicten tussen verschillende gebruikers van het water als van de rivier nog slechts druppelend stroompje over is. Het geografische plaatje van de beschaving van het Peruviaanse kustgebied zal er heel anders uitzien als de hoge Andes-gletsjers er eenmaal niet meer zijn.

### **Zon en sneeuw in Californië**

Omdat het buiten Alaska geen gletsjers heeft zou de Verenigde Staten kunnen denken dat het immuun is voor de watercrisis waar Peru mee te maken krijgt. Maar daarin heeft ze ten enen male ongelijk. Kleine en grote steden langs de hele Amerikaanse westkust zijn in grote mate afhankelijk van bevroren water in de bergen – al is het dit keer niet van gletsjerijs, maar van sneeuw in de winter. In de grote rivierbekkens in Californië, Washington en Oregon ligt in de lente en het begin van de zomer veel meer water opgeslagen in het sneeuwdek dan in kunstmatige stuwweren. Die sneeuw fungeert als een natuurlijke voorraad, waarin de neerslag in de winter wordt vastgehouden en in de drogere maanden van het jaar, wanneer de sneeuw geleidelijk smelt, langzaam wordt afgegeven. Maar als de mondiale en regionale temperaturen de komende decennia omhoog klimmen, zal er 's winters in de Sierra Nevada en de Rocky Mountains steeds

vaker regen vallen, en geen sneeuw. Dat is niet zomaar slecht nieuws voor de ski-industrie, dat is slecht nieuws voor iedereen die 's zomers zijn kraan wil opendraaien en er fris water uit wil zien stromen.

Zelfs in het huidige klimaat staat de watervoorziening in het droge westen van de vs op springen. Ondanks al zijn stuwdammen en irrigatiekanalen is de rivier de Colorado leeggezogen tegen de tijd dat hij de Golf van Californië bereikt; de meeste tijd komt er geen druppel water bij zee aan. (Wat ooit een productief wetland-ecosysteem was met moerassen, vogels en vissen is als gevolg daarvan vrijwel geheel vernietigd.) Het water van de Colorado wordt niet slechts gebruikt om golfbanen in Las Vegas te bevoeien; het voorziet ook grote delen van Zuid-Californië en Arizona van drinkwater en waterkracht. Er zijn tussen verschillende staten al gevechten over uitgebroken: in augustus 2005 ging men in Salt Lake City de straat op om te protesteren tegen een plan van de Southern Nevada Water Authority om grondwater voor Las Vegas via 800 kilometer pijpleiding naar het zuiden te pompen.

Het water van de San Joaquin wordt afgetapt om in Californië de vruchtbare akkers van de Central Valley te irrigeren en langs zijn natuurlijke bedding haalt de rivier maar net de zee. Zoals een journalist van Associated Press stelde: "Waar het eens ritselde van de koningszalmen, wordt de rivierbedding nu bewoond door hagedissen en tumbleweeds en staat hij soms jaren achter elkaar droog." De rivier voedt nu geen zalmen meer, maar sinaasappelbomen: 80 procent van de Amerikaanse handsinaasappels worden in deze staat geteeld. En met grote steden als Los Angeles en Sacramento die voor hun water allemaal afhankelijk zijn van een netwerk van pijpleidingen en kanalen is de hydrologie van Californië eerder het reusachtige werk van een loodgieter, dan een stelsel van natuurlijke rivierdalen.

Maar hoe uitgekookt de staats-wateringenieurs ook mogen zijn, wanneer de wereld warmer blijft worden, gaan ze

het nog heel moeilijk krijgen om de botsing tussen een snel groeiende bevolking en een tanende watervoorziening te voorkomen. Een belangrijk recent onderzoek, dat in 2004 in het tijdschrift *Proceedings of the National Academy of Sciences* verscheen, voorspelde dat het sneeuwdek in de twee-gradenwereld eenderde tot driekwart kleiner zal worden. In Los Angeles zal de frequentie van hittegolven vier keer zo hoog komen te liggen, terwijl verlamdende droogtes 50 procent vaker zullen voorkomen, wat de vraag naar het schaarse water zal opdrijven. Doordat het sneeuwdek in de Sierra Nevada slinkt en de afsmelting eerder begint en dus eerder in de lente smeltwater produceert, zal er voor 85 procent van de Californiërs – zowel sinaasappelboeren als stadsbewoners – minder oppervlaktewater beschikbaar zijn.

De veranderingen zouden overigens niet tot Californië beperkt blijven. Een tweede onderzoek voorspelt ook voor Oregon en Washington een afname van het sneeuwdek, dat in de Rocky Mountains en het Kustgebergte met 20 tot 70 procent minder wordt. Meer regen en een eerdere afsmelting verhogen tevens de kans op overstromingen in de winter, zelfs wanneer er 's zomers tekort aan water komt doordat er minder smeltwater is. Bergachtige gebieden als de California Coastal-keten en de Sierra Nevada zullen het meest te lijden hebben van de toegenomen overstromingen. Verder naar het noorden, in het stelsel van de Columbia-rivier, betekenen de vervroegde smeltwaterpieken dat waterbeheerders moeten gaan kiezen om water op te slaan in reservoirs om 's zomers waterkracht te kunnen opwekken, of om het de rivier in te laten stromen om te voorkomen dat de zalm uitsterft. Bij die onaangename keuze tussen het licht aanlaten of de zalm tevreden houden, is het niet moeilijk voor te stellen waar de meeste mensen voor zouden stemmen.

Daar komt bij dat de bossen in droge zomers kurkdroog worden en steeds meer gevaar lopen in vlammen op te gaan. In het noorden van de Rocky Mountains, het Grote Bek-

ken en de Sierra Nevada kan het seizoen voor bosbranden, dat nu al jaarlijks zijn dodelijke tol eist, wel eens twee tot drie weken langer worden. Onheilspellend concludeert het onderzoek: "Aan de huidige aanspraak op waterhulpbronnen in grote delen van het westen zal onder de voorspelbare toekomstige klimaatsomstandigheden niet kunnen worden voldaan, laat staan aan die van een grotere bevolking en een grotere economie".

In het vorige hoofdstuk zagen we hoe het westelijke binnenland van de Verenigde Staten, van Nebraska tot aan Texas, te maken zou kunnen krijgen met een rampzalige droogte die vele malen erger is dan de Dust Bowl in de jaren '30, zelfs als de temperatuur maar een heel klein beetje extra omhoog gaat. In die jaren van de Dust Bowl vormden staten aan de Stille Oceaan, zoals Californië, een toevluchtsoord voor diegenen die door de droogte ontheemd waren geraakt. Maar in de twee-gradenwereld krijgen deze vluchthavens ook zelf te maken met kritieke watertekorten. De veranderingen in het sneeuwdek betekenen niet dat uitsluitend golfbanen en ski-oorden in het stof zullen bijten. Ze zetten vraagtekens bij het vermogen van de hele regio om grote steden en landbouwgebieden in stand te houden. Wanneer de wereldwijde opwarming eenmaal begint te schrijven zal Californië niet langer de 'gouden' staat zijn.

### Voedsel voor acht miljard mensen

Hoe ernstig de watercrisis ook mag worden, het is uiterst onwaarschijnlijk dat er in het westen van de Verenigde Staten iemand door de wereldwijde opwarming zal verhongeren. Sommige delen van het continent zullen wellicht zelfs profiteren van een beter groeiklimaat. Bovendien kan Amerika als het rijkste land ter wereld zijn koopkracht op de wereldvoedselmarkt inzetten om ervoor te zorgen dat zijn inwoners voorlopig zelfs de ergste droogtes overleven.

Uiteraard is dat alleen maar waar, zolang er voedsel op de wereldmarkt te koop is, en in de twee-gradenwereld zullen voedselproducerende gebieden het steeds moeilijker krijgen om zich aan te passen aan een warmer klimaat. Intussen zullen de landen die er het meest onder lijden en geen enorme koopkracht hebben, onherroepelijk afglijden naar structurele hongersnood en crisis. Door een wrede ironie zitten daar veel landen tussen die het minst aan de klimaatverandering hebben bijgedragen.

Toch is er wel wat goed nieuws. Het centraal-noordelijke deel van de Verenigde Staten, inclusief staten als Indiana, Illinois, Ohio, Michigan en Wisconsin, zal een steeds belangrijker gebied voor wintertarwe worden. Op dit moment is het er vanwege de lage temperaturen in het koude seizoen maar een marginaal gewas, maar met warmere winters is een verdubbeling van de oogst te verwachten. De maïsteelt in Noord-Dakota en Minnesota zal sprongen gaan maken, terwijl het hele noordelijke deel van het land een verhoging van de aardappelteelt kan verwachten, tenminste als de regen betrouwbaar blijft. Citrustelers in staten als Florida lijden in het huidige klimaat soms grote verliezen doordat het er af en toe heel koud is, maar zij zullen beter af zijn omdat de vorst minder vaak zal optreden. Aan de andere kant van de Atlantische Oceaan zal Groot-Brittannië weliswaar nog geen citroenen gaan telen, maar het zal wel met toenemend succes suikermaïs, zachtfruit zoals aarbeien, en populaire groentes als uien en courgettes weten te oogsten. Wanneer de winters zachter en natter worden, zal wintertarwe het goed gaan doen, net als warmteminnende peulvruchten als witte bonen (de traditionele *baked bean*), die in het zuiden van Engeland wel eens een hoofdgewas zouden kunnen worden. Veel van deze gewassen profiteren misschien ook van het bemestende effect van een atmosfeer met meer kooldioxide en over heel Europa zullen warmteminnende gewassen als zonnebloemen en sojabonen veel verder naar het noorden kunnen groeien. Misschien verspreiden tarwe en maïs zich wel in nieuwe ge-

bieden in het westen van Rusland en het zuiden van Scandinavië.

Maïs is een van de hoofdvoedselgewassen op de wereld en in veel ontwikkelingslanden is het van essentieel belang voor zowel het familie-inkomen als de voedselzekerheid. En dat is waar de problemen beginnen. In Midden- en Zuid-Amerika, het gebied waar maïs door de vroegere Maya's voor het eerst als voedselgewas werd verbouwd, worden overal verliezen verwacht, behalve in Chili en Ecuador. Deze verliezen zijn misschien te compenseren door toekomstige technische verbeteringen, maar kleine boeren die met hun familie moeten leven van hun eigen opbrengst zullen zich minder gemakkelijk kunnen aanpassen dan grote, gemechaniseerde bedrijven.

Ook het overgrote deel van Afrika zal volgens verwachting met aanzienlijk kleinere oogsten te maken krijgen. In 29 Afrikaanse landen wordt een grotere kans op mislukking van de oogst en op hongersnood voorzien. Landen als Burkina Faso, Swaziland, Gabon en Zimbabwe, die nu al kwetsbaar zijn voor honger, zullen tot de zwaarst getroffen behoren. Alleen Afrikaanse landen die over hooglanden beschikken, zoals Lesotho en Ethiopië, kunnen hogere opbrengsten verwachten in gebieden die voor een behoorlijke maïsteelt nu te koud zijn. Door de klimaatverandering kan maar liefst driekwart van de bevolking van Mali het risico lopen honger te lijden, tegen eenderde nu, terwijl in Botswana tot eenderde van de oogst aan maïs en sorghum verloren gaat door gebrek aan regen. In Congo, dat in de zone rond de evenaar ligt en in een warmere wereld meer neerslag kan verwachten, kan de voedselproductie toch nog afnemen omdat boeren een echt droog seizoen nodig hebben om hun land af te branden voor het volgende jaar.

Ook de Verenigde Staten zullen er gevolgen van ondervinden. In het zuidoosten van Amerika kan de opbrengst van sojabonen met de helft teruglopen doordat er 's zomers minder neerslag valt terwijl er zinderende temperaturen heersen;

voor sorghum geldt een aanslag van dezelfde orde. En hoewel hogere temperaturen de landbouw in Canada nieuwe mogelijkheden zullen bieden, zullen traditionele voedselbronnen als suikeresdoorn en zalm er in een twee-gradenwereld bij inschieten. Ook vispopulaties zullen er aan beide kanten van de Atlantische Oceaan onder lijden; terwijl de zalmpopulaties in Canada teruglopen, zal de kabeljauw in de Noordzee door het warmere water volledig worden weggevaagd, tenzij er een totaalverbod op de visserij wordt ingesteld.

In de gevoelloze loterij van de wereldwijde opwarming hangt het er vanaf waar je woont of je te eten krijgt. Als dat in een rijk land is, waar het toch wel blijft regenen, zul je geen honger hoeven te lijden, ook al moeten traditionele gerechten als *fish and chips* met hun tijd mee zien te gaan. Maar als dat in de droge subtropen is, wordt het leven steeds wisselvalliger.

Natuurlijk komt er in de huidige wereld ook al hongersnood voor, ook al is er in mondiale zin voor iedereen genoeg te eten. Zoals de klacht van hulporganisaties luidt, is niet alleen droogte, maar ook armoede het probleem. Maar als er één ding zeker is, dan is het dat de kans op hongersnood groter wordt in een wereld waarin er om te beginnen al niet genoeg te eten is. Door toenemende concurrentie om afnemende opbrengsten zullen in de magere jaren de prijzen op de wereldmarkt de pan uit rijzen. In de twee-gradenwereld zal de stabiliteit van voedselprijzen ervan afhangen of gebieden in het noorden snel genoeg voor nieuwe gewassen worden ontsloten om verloren gegane landbouwgebieden in het zuiden te vervangen.

Met de meeste planning en aanpassing hoeft de wereld niet zonder meer tot ernstige voedseltekorten te vervallen. Wanneer de temperatuur echter meer dan twee graden hoger wordt, zal het steeds moeilijker worden om massale verhongering te voorkomen, zoals de komende hoofdstukken laten zien. Eerst miljoenen, en dan miljarden mensen komen voor een hevige overlevingsstrijd te staan, omdat de stijgende tem-

peraturen het steeds moeilijker maken om voldoende voedsel te verbouwen.

### **Dode zomer**

De meeste lezers zullen inmiddels wel tot de conclusie zijn gekomen dat twee graden wereldwijde opwarming – mits onaangename verrassingen uitblijven – voor het grootste deel van de mensheid waarschijnlijk wel te overleven is. Daar ben ik het mee eens. Helaas geldt dit niet voor een groot deel van de natuurlijke biodiversiteit: de planten en dieren die deze planeet met ons delen. Door de aanhoudende bevolkingsgroei en economische activiteit zijn ecosystemen inmiddels toch al gefragmenteerd en gemarginaliseerd, en het lijkt erop dat de klimaatverandering een hele zware wissel zal gaan trekken op wat er nog van de natuur over is.

De bedreiging van symbolische soorten als de fluithaas is al genoemd in het voorgaande hoofdstuk, net als van extra kwetsbare ecosystemen als koraalriffen en het Queensland Wet Tropics regenwoud. In de twee-gradenwereld zullen die allemaal nog veel verder achteruitgaan. De majestueuze suikerbossies van Zuid-Afrika zullen grote stukken van hun leefgebied kwijtraken en tegen het jaar 2050 zou tien procent uitgestorven kunnen zijn. In het regenwoud in Queensland zal ongeveer eenderde van alle soorten een flink eind op weg zijn naar hun ondergang wanneer de temperatuur de twee graden aantikt. In alle gevallen zijn luide protesten te verwachten wanneer geliefde soorten aan hun einde komen. Maar wie zal er een traan laten voor de Monteverde boomkikker uit Costa Rica, de Canadese gekraagde lemming, de Hawaïaanse honingkruiper of voor al die andere duizenden minder bekende soorten, die in hun bestaan bedreigd worden omdat de wereldwijde opwarming ze achterlaat in een klimaatzone die niet meer aansluit bij hun behoeften?

Gezien de druk waaronder de natuur door alle menselijke activiteit toch al staat, had de klimaatverandering niet op een slechter moment kunnen komen. Los van welke verandering in het klimaat dan ook, bevinden we ons nu al in wat door biologen de zesde massale uitsterving op aarde is genoemd – de vijfde was de uitroeiing van de dinosaurussen en de helft van al het andere leven, die optrad op de overgang van het Krijt naar het Tertiair. Door de gecombineerde menselijke druk van het verlies aan leefgebied, de jacht, de vervuiling, het gebruik van hulpbronnen en de introductie van zich snel verspreidende soorten in nieuwe gebieden, zijn natuurlijke soorten al 100 tot 1000 keer zo snel aan het uitsterven als er in de loop van de evolutie normaal gesproken op de achtergrond verloren gaat. In het meest omvattende onderzoek naar de gezondheid van de aarde dat ooit is gedaan, de Millennium Ecosystem Assessment van de Verenigde Naties, kwamen 1.360 experts uit 95 landen bij elkaar. Zij concludeerden dat van de ecosystemen waarvan mensen afhankelijk zijn maar liefst tweederde op dit moment achteruitgaat, of niet duurzaam wordt gebruikt. En op basis van veel verschillende breed opgezette studies is het duidelijk dat de natuur nu al onder de klimaatverandering lijdt. Eén daarvan keek naar 100 verschillende soorten over de hele wereld en ontdekte dat deze elke tien jaar gemiddeld 6 kilometer in de richting van de polen waren verhuisd en 6 meter omhoog de berg op. Sommige vlindersoorten hebben hun leefgebied al 200 kilometer verlegd. Ook wordt het eerder lente; vogels leggen hun eieren eerder, kikkers hun kikkerdril en boomknoppen springen eerder open. Een tweede wereldwijde analyse kwam duidelijke klimaatgerelateerde veranderingen tegen in leefgebied en gedrag van honderden soorten, van mosselen tot zoogdieren en van grassen tot bomen.

Velen van ons zijn dit soort veranderingen al in onze eigen leefomgeving op gaan merken. De appelbomen in de boomgaard in mijn buurt waren bijvoorbeeld zo onverstandig om eind oktober 2006 in bloei te schieten, nadat temperaturen

die voor de tijd van het jaar veel te hoog waren, hen wijs hadden gemaakt dat de lente al was aangebroken. Daarnaast heb ik ook gemerkt dat er vreemd genoeg geen vogels waren; maandenlang is het in de tuin bijna helemaal stil geweest. In een paar jaar tijd is het Engelse weer dramatisch veranderd. Uit mijn kindertijd herinner ik mij bijvoorbeeld dat het met Halloween vroom dat het kraakte, maar dit jaar is de temperatuur zelfs begin november nog niet onder nul geweest. De bomen in het stukje bos tussen ons terrein en het Oxford-kanaal vlak daarachter bleven vastberaden donkergroen, tot twee maanden nadat de herfstkleuren hadden moeten verschijnen. Vrijwel elke lezer zal nu wel zelf zulke anekdotische observaties hebben.

Voor natuurlijke soorten is het van cruciaal belang hoe snel de temperatuur omhoog gaat. Een stijging van 2°C over duizend jaar betekent niet meer dan 0,02°C over elke tien jaar; een langzame verandering waaraan – gesteld dat er verder niets verandert – de meeste soorten zich waarschijnlijk wel zullen weten aan te passen. Maar als dezelfde verandering zich over een periode van 50 jaar zou voltrekken – dus met 0,4°C per tien jaar, wat een veel waarschijnlijker scenario is – dan zouden de gevolgen rampzalig zijn. Je zou kunnen denken dat mobiele soorten zoals vlinders zich als reactie op temperatuurveranderingen gemakkelijk ergens anders heen kunnen verplaatsen. Maar uit onderzoek van professor Jeremy Thomas naar het Engelse blauwtje bleek dat deze zich met de gletsjerachtige snelheid van 2 kilometer per tien jaar naar nieuw leefgebied verspreidt, terwijl andere insecten zoals loopkevers zich met een tiende van die snelheid verplaatsten. Wanneer ze voor hun verplaatsing over tien jaar 30 kilometer zouden moeten halen om de verschuivende temperatuurzones bij te houden, oftewel 3 kilometer per jaar, dan komen deze sedentaire soorten duidelijk in de problemen. Net als planten met wortels, uiteraard, die zich fysiek al helemaal niet kunnen verplaatsen, en dus afhankelijk zijn van de verspreiding van hun zaden om als populatie

geleidelijk te verkassen. Voor veel boomsoorten in het bos ligt de bovengrens van de verspreidingssnelheid van hun zaden bij minder dan een kilometer per jaar. Sneller kan het bos zich dus niet verplaatsen en daarom zal het al gauw worden ingehaald door het snel veranderende klimaat.

Temperatuurstijging is natuurlijk niet de enige variabele; de grootste bedreiging voor de beukenbossen bij mij in Oxford in de buurt is niet zozeer warmte, maar droogte. Wanneer ecosystemen uit elkaar getrokken worden, verdwijnt de synchronisatie tussen soorten die fijn op elkaar afgestemd waren. In Nederland is over de afgelopen twintig jaar de populatie van de bonte vliegenvanger met 90 procent gedaald, omdat het moment waarop hun jongen uit het ei kruipen niet meer samenvalt met het begin van de lente. Tegen de tijd dat hun hongerige jongen het meeste voedsel nodig hebben, is de rupsenpopulatie waarvan ze het moeten hebben al over zijn top heen, en de vogelbabies hongeren dan ook langzaam dood.

Soorten zijn geëvolueerd om bepaalde ecologische niches te vullen en deze kunnen verdwijnen wanneer andere soorten uitsterven of migreren. Ook zijn dieren en planten doorgaans in hoge mate aangepast aan hun geografische leefgebied. Zo zullen kalkgraslanden bijvoorbeeld niet met veel succes naar het noorden kunnen verhuizen, als de ondergrond in koelere luchtstreken overal uit klei of graniet bestaat. Nog zo'n probleem is de fragmentatie van leefgebieden: steden, agrarische monocultuur-'woestijnen' en grote snelwegen vormen onoverbrugbare obstakels voor de migratie van soorten. In Zuid-Engeland durft de schuwe zevenslaper al geen open veld over te steken, laat staan dat hij op zijn vermeende verhuizing naar het noorden door de drukke straten van Birmingham zou gaan hollen. Als gevolg daarvan wordt door de klimaatverandering de hele basis van plaatsgebonden natuurbescherming twijfelachtig. Het is volstrekt zinloos om een plek tot natuureservaat te verklaren als alle soorten die er leven de komende decennia naar het noorden moeten vluchten om te voorkomen dat ze uitsterven.

Al deze vragen richten zich op het klimatologische ‘kader’ waarin soorten leven en dit idee verschaft ons tegelijk de benadering voor wat wel eens één van de belangrijkste wetenschappelijke artikelen kan blijken te zijn die ooit zijn geschreven. In een onderzoek dat in 2005 in *Nature* werd gepubliceerd, maakten de ecooloog Chris Thomas en zo’n vijftien andere experts bekend dat volgens hun modellen meer dan eenderde van alle soorten “tot uitsterving zal zijn veroordeeld” tegen de tijd dat de temperatuur in 2050 wereldwijd twee graden is gestegen. “Ruim een miljoen soorten zou als gevolg van klimaatverandering met uitsterven bedreigd kunnen worden”, liet Thomas de pers weten.

Daaronder zou de betoverend blauwe *western jewel butterfly* te vinden zijn, die voorkomt in Zuid-West Australië; de hoekkop-agame, een spectaculaire gekraagde hagedis uit het bedreigde regenwoud in de Queensland Wet Tropics; de helft van de huidige 163 boomsoorten die nu op de Braziliaanse Cerrado-savanne groeien; in Europa tussen de 11 en 17 procent van alle plantensoorten en een kwart van de vogelsoorten, waarvan de rode wouw, heggemus, kuifmees, de Schotse kruisbek en de zwarte spreeuw bovenin de lijst staan; de rookwangzakrat en de Jico hertmuis uit de vlakke Chihuahuan-woestijn in Mexico; en 60 procent van de soorten die op dit moment in het beroemde Kruger National Park in Zuid-Afrika leven – om er maar een paar te noemen.

Het is de moeite waard om even stil te staan bij de werkelijke betekenis van deze voorziene mondiale slachting. Als een beklemmende echo uit recente onschuldige tijden doet het artikel van Thomas en zijn collega’s mij denken aan *The Origin of Species* van Charles Darwin, maar dan omgekeerd. Terwijl Darwin in zijn werk de theorie uiteenzette over de evolutie van soorten in de loop van de tijd, brengt het artikel in *Nature* uit 2004 hun voorspelde ondergang in kaart. Als Darwin het vandaag de dag geschreven had, dan had hij het wellicht *The End of Species* genoemd.

Sta eens stil bij de gedachte dat levende soorten, die er miljoenen jaren over gedaan hebben om op deze planeet te evolueren, binnen één enkele generatie mensen voorgoed vernietigd zouden kunnen worden. Dat het leven met al zijn fascinerende uitbundigheid zo snel zou zijn uit te wissen en zo deprimerend definitief. Zoals de bioloog Edward O. Wilson suggereerde zou de volgende eeuw wel eens een ‘Eeuw van Eenzaamheid’ kunnen worden, waarin de mensheid haast moederziel alleen rondloopt op een verwoeste planeet. Als eerbetoon aan Rachel Carson, die met haar boek *Dode Lente* (*Silent Spring*) het hedendaagse natuur- en milieubewustzijn op gang bracht, noem ik dit onze ‘Dode Zomer’ – een eindeloze hittegolf zonder kwinkelerende vogels, zoemende insecten en al die andere eigenaardige en wonderlijke geluiden die ons onbewust gezelschap houden.

Moeten wij dat lot aanvaarden? vraagt Wilson. Moeten wij bewust de levende geschiedenis van de aarde uitwissen? “Verbrand dan ook de bibliotheken en kunstgalerieën maar”, zo gelast hij, “maak brandhout van de muziekinstrumenten, pulp van de partituren en wis Shakespeare, Beethoven, Goethe en de Beatles ook maar uit, want die kunnen allemaal opnieuw geschapen worden, of althans heel goed nagemaakt.” Maar dat geldt niet voor de hoekkop-agame of voor de gouden pad; de eerste wordt ernstig bedreigd, en de tweede is al voor altijd uitgestorven, dankzij de klimaatverandering.

Het verloren gaan van biodiversiteit is overigens bepaald niet alleen een esthetische kwestie. Terwijl ik net als vele anderen aanvoel dat de natuur en haar biodiversiteit een intrinsieke waarde hebben, die losstaat van hun nut voor ons mensen, is de hele menselijke samenleving uiteindelijk afhankelijk van natuurlijke ecosystemen. Dat mag dan nieuws zijn voor de gemiddelde stedeling die voor de tv eens lekker aanvalt op een kant-en-klaar maaltijd, maar dat maakt het nog niet minder waar. Van vis tot brandhout, de overvloed van de natuur schenkt ons voedsel, onderdak, warmte en kleding. De bodem zou ongeschikt voor landbouw zijn als de bacteriën

de organische stof daarin niet zouden afbreken. Gewassen zouden niet in het zaad schieten als ze niet door bijen werden bestoven. We zouden de lucht niet kunnen inademen als bomen en plankton niet voor fotosynthese zouden zorgen. Water zou ondrinkbaar zijn als het niet door bossen en wetlands zou worden gezuiverd. Veel van de medicijnen waarmee we onze levensduur oprekken werden in eerste instantie samengesteld uit natuurlijke stoffen uit planten en dieren, en ongetwijfeld zijn er daarvan nog veel meer te ontdekken. Het leven reguleert zelfs de kringloop van voedingsstoffen op aarde; als organismes in de oceaan niet in de loop van miljoenen jaren de overtollige koolstof in krijt en kalksteen hadden vastgelegd, dan zou onze bewoonbare planeet lang geleden in een soort Venus zijn veranderd, waar gloeiende oppervlaktetemperaturen van 500°C heersen – hoog genoeg om lood te smelten – dankzij een ongestuvde atmosfeer die voor 96 procent uit kooldioxide bestaat.

Sommige van de functies die ecosystemen nu vervullen zijn door technologie te vervangen, zoals veel economen wellicht zullen suggereren. Denk maar aan hydrocultuur: het vervangen van een natuurlijke bodem door een synthetisch materiaal waarin wortels kunnen groeien, plus een cocktail van chemicaliën. Maar de ecologie is zo'n gecompliceerd netwerk, dat we veel levende interacties die zich in ecosystemen afspelen überhaupt niet kunnen begrijpen, laat staan dat we ze op een of andere manier zouden kunnen herontwerpen of vervangen. Wetenschappers hebben ooit geprobeerd om in de woestijn van Arizona vanuit het niets een verzegelde, levende wereld na te bouwen, bijgenaamd *Biosphere 2*. Dat is ze niet gelukt. Toen het gehalte kooldioxide in de afgesloten broeikassen opliep, moesten de bewoners van *Biosphere 2* – happend naar adem – wel hebben nagedacht over de lessen die ze leerden. Functionerende ecosystemen kunnen niet kunstmatig worden nagebouwd. Het leven houdt ons in leven en wij zijn het op eigen risico aan het vernietigen.