

Vier graden

Dood op de Nijl

Alexandrië kent zacht gezegd een lange geschiedenis. Deze Egyptische stad is vernoemd naar haar stichter, Alexander de Grote, en groeide al snel uit tot één van de grootste en meest invloedrijke steden van de antieke wereld. Alleen Rome had meer macht en architectonische pracht. Het bekendste gebouw was de legendarische vuurtoren 'Pharos van Alexandrië' uit de derde eeuw voor Christus. Samen met de hangende tuinen van Babylon en de piramide van Cheops werd deze altijd als één van de zeven wereldwonderen beschouwd. Het gebouw van sneeuw witte zandsteen was in die tijd het hoogste ter wereld. 's Nachts werden er vuren ontstoken en overdag werd het zonlicht door holle spiegels weerkaatst, zodat zeelui de vuurtoren van Alexandrië al van vijftig kilometer afstand konden zien.

Bovenop de toren stond een beeld van Poseidon, Heer van de Zee, een god die over de oceanen heette te rijden in een wagen die was gemaakt van een enorme mosselschelp, getrokken door zeepaarden. De inwoners van Alexandrië aanbaden Poseidon uit goed begrepen eigenbelang: zijn macht om stormen en schipbreuken te veroorzaken kon mensen in een oogwenk met honderden tegelijk in het zeemansgraf storten. In dit land was de zee de grote macht.

Tegenwoordig herinnert er maar weinig aan die tijd, en Poseidon weet waarom. Anders dan in Rome, waar veel antiquiteiten bewaard bleven terwijl bovenop de ruïnes een bruisende moderne stad verrees, zijn van het oude Alexandrië alleen wat Romeinse baden, een paar catacomben en een enkele granieten pilaar overgebleven. De rest is grotendeels

door de zee teruggenomen, toen de Nijldelta waarop de stad was gebouwd, langzaam wegspoelde. Sommige van haar mooiste schatten zijn buitengaats geborgen, na eeuwen in de vochtige greep van Poseidon te zijn geweest.

De golven dringen nog steeds verder naar binnen door, nu de wereldwijde opwarming haar tol eist van het toch al terugtrekkende land. De gemeentelijke autoriteiten laten uit de woestijn bij Caïro enorme hoeveelheden zand aanrukken om te voorkomen dat de stranden wegspoelen. Ook zijn er kolossale waterkeringen gebouwd om het wassende water uit de stad te houden.

Er staat een hoop op het spel. Alexandrië is tegenwoordig een uitdijende metropool van vier miljoen zielen, met twee havens die de drukste van het land zijn en 40 procent van de Egyptische industrie bevoorraden. In de zomer komen daar nog eens een miljoen toeristische bezoekers bij. Daarmee is het na Caïro de tweede stad van Egypte.

Maar in de vier-gradenwereld ligt de waterspiegel een halve meter of meer boven het huidige niveau en komt een einde aan Alexandrië's lange leven. Zelfs in het huidige klimaat ligt een aanzienlijk deel van de stad onder de zeespiegel en tegen het eind van de eeuw zal zij alleen nog maar verder onder water komen te staan. Uit een studie door onderzoekers van de plaatselijke universiteit bleek dat een stijging van de zeespiegel met 50 centimeter in 2050 anderhalf miljoen ontheemden en 35 miljard dollar schade zou opleveren. En als de zee over steeds grotere stukken van de Nijldelta binnen begint te dringen, zullen in andere steden als Rosetta en Port Said nog eens miljoenen mensen uit hun huizen moeten vluchten. Strand en moerassen en landbouwgronden zullen allemaal overstroomd raken en een gebied dat de kern van de Egyptische economie vormt, zal te gronde gaan. Dit deel van de wereld, dat van Alexander de Grote tot Napoleon altijd al veroveraars aantrok, zal dan zijn laatste – en onoverwinnelijke – vijand in de ogen kijken.

Natuurlijk is Egypte niet het enige land dat te kampen heeft met de gevolgen van wereldwijde verschijnselen als de stijging van de zeespiegel. Verder naar het oosten zal Bangladesh eenderde van haar grondgebied kwijtraken, zodat tientallen miljoenen mensen de vruchtbare Meghnadelta zullen moeten ontvluchten. In de Verenigde Staten kan in 2075 na een vloedgolf als gevolg van de gestegen zeespiegel zelfs het zakencentrum van Boston overstroomd worden wat zo rond de 94 miljard dollar aan schade zou veroorzaken. Verder naar het zuiden, in New Jersey, zou 60 centimeter zeespiegelstijging 170 vierkante kilometer land onder water zetten. En als de zee twee maal zo veel zou stijgen, zou zelfs 3 procent van deze staat overstroomd worden, inclusief de dichtst bevolkte gebieden aan de kust.

Steden die laag in een delta liggen, van Mumbai tot Shanghai, worden net zo ernstig bedreigd als Alexandrië en Boston. Zoals we eerder al zagen, zijn steden als New York, London en Venetië alleen te redden als er gigantische hoeveelheden geld in nieuwe en steeds hogere stormvloedkeringen worden gestoken. Net als het hedendaagse New Orleans zullen de kuststeden van de toekomst geleidelijk vervallen tot gefortificeerde eilandjes, die grotendeels vanonder de zeespiegel het hoofd moeten bieden aan het water dat van alle kanten aandringt. Zo'n strategie zou onroerend goed ter waarde van duizenden miljarden dollars beschermen, maar zou evengoed gevaaren met zich mee brengen. Een flinke storm kan een kwetsbare stad in een paar uur van de kaart vegen en duizenden mensenlevens in gevaar brengen, zoals New Orleans zo pijnlijk heeft ervaren. Als het water eenmaal is weggepompt, kan herbouw van de stad een optie zijn zolang de verzekeringsmaatschappijen bereid en in staat zijn om de benodigde bedragen op te hoesten. Maar wie betaalt er om dezelfde stad twee keer te herbouwen? Of drie keer? Op de langere termijn is de enige oplossing dat honderden miljoenen kustbewoners verder het binnenland in trekken, terwijl de kaart van de

beschaving voortdurend opnieuw getekend moet worden om de veranderende geografische situatie weer te geven.

De druk die op samenlevingen komt te staan is gigantisch. Steden in het binnenland zullen een constante stroom vluchtelingen uit de kustgebieden op zich af zien komen. Die zullen met duizenden en wie weet zelfs met miljoenen toestromen, zodra er een grote storm losbarst. (Nogmaals, dit is niet zomaar een slag in de lucht. Zelfs twee jaar na de orkaan Katrina zaten er nog altijd honderdduizenden ontheemden in Texas en andere zuidelijke staten.) De beschikbare fondsen die gedupeerden in staat stellen een nieuw leven op te bouwen, zullen slinken. Dit als gevolg van de economische schokgolven die door het financiële systeem daveren: directe verliezen, sociale onrust, daling van het algemene vertrouwen en van uitkeringen van verzekeringen. Het stijgen van de zeespiegel is een onomkeerbaar proces, dat duizenden jaren doorgaat voordat er een nieuw evenwicht is bereikt, zelfs als de mens de hoeveelheid broeikasgassen onder controle krijgt. De steden waarheen men nu vlucht, kunnen de komende decennia en eeuwen op hun beurt zelf bedreigd worden en verdrinken. Vandaag de dag zijn veel van onze mooiste en dierbaarste gebouwen honderden jaren oud. In de toekomst zullen gebouwen langs de kust misschien al na enkele tientallen jaren door het wassende water worden bedreigd.

Eilandstaten lopen het grootste gevaar. Ringvormige koraaleilanden zullen helemaal verdwijnen, terwijl bergachtige eilanden zoals Fiji en Barbados het zwaar te verduren krijgen als de kuststrook slinkt en vluchtelingen naar hogere gebieden trekken om op ontboste hellingen een bestaan op te bouwen. Op veel eilanden ligt het vruchtbaarste land net boven de zeespiegel en de water- en voedselvoorziening wordt dan ook hard getroffen als zout water de zoetwaterhoudende aardlagen binnendringt en de landbouwgewassen verzilt.

Hierbij spelen grote onzekerheden mee: als het landijs in Antarctica stabiel blijft, is er wellicht nog veel te redden door een langzame, afgemeten terugtocht. Als de ijsvlaktes echter

zo snel op de klimaatverandering blijven reageren als ze tot nu toe hebben gedaan, staat er een snelle zeespiegelstijging van vele meters op stapel. Zoals ik in het vorige hoofdstuk al liet zien, blijkt uit paleoklimatologische gegevens uit het Pliocen dat een uiteindelijke stijging van 25 meter vanuit Groenland en het Zuidpoolgebied in feite onvermijdelijk zal zijn, zodra de temperatuur wereldwijd de twee graden passeert. En zelfs als dit in de loop van vele eeuwen gebeurt, gaat dat het menselijk aanpassingsvermogen verre te boven. Kustgebieden zullen permanent in beweging zijn en hun inwoners zullen zich onveilig en bedreigd weten terwijl de golven elk jaar dichterbij komen rollen.

Niet voor niets deden de inwoners van het oude Alexandrië zoveel moeite om Poseidon gunstig te stemmen. Met een eenvoudige beweging van zijn drietand kon deze god stormen oproepen en schepen laten zinken. De hedendaagse kustbewoners hebben hun respect voor Poseidon verloren en verwachten van regeringen en gemeentes dat zij de gebouwen beschermen die veel te dicht bij de kust zijn gebouwd. De meesten van ons nemen aan dat de zee te temmen en in bedwang te houden zal zijn, net zoals enorme dammen ooit grote rivieren als de Yangtze en de Colorado hebben getemd. Maar Poseidons toorn is gewekt door de arrogante beledigingen van eenvoudige stervelingen zoals wij. Wij hebben hem wakker gemaakt uit een duizendjarige sluimering en dit keer zal zijn toorn grenzeloos zijn. De inwoners van het moderne Alexandrië zullen bij de eersten horen die moeten vluchten voor de onstuitbare opmars van zijn oceaan. Strijd, verzet, of zelfs een tijdelijke controle over de situatie – alles is te proberen, maar deze veroveraar laat zich nimmer verslaan.

Het hart van Antarctica

Vanuit Alexandrië gezien ligt Poseidon's grootste arsenaal aan de andere kant van de wereld, uitgestrekt over de Zuidpool:

Antarctica. Het grote antarctische ijsdek, dat door krachtige koude winden en stromingen ligt afgescheiden van de rest van de wereld, heeft tot nu toe maar langzaam gereageerd op de menselijke bemoeienis met het klimaat. Maar nu, om directeur Chris Rapley van British Antarctic Survey aan te halen, wordt de sluimerende reus wakker. Het continentale landijs van West-Antarctica heeft een zwak punt, een achilleshiel die al in 1978 door glaciologen met een vooruitziende blik herkend werd. Anders dan de ijskap van Groenland, die stevig is verankerd op een continentale landmassa, ligt een groot deel van de bodem van het ijs van West-Antarctica onder zeeniveau en daardoor kan het makkelijk in elkaar storten.

De eerste tekenen daarvan zijn alom zichtbaar. De monumentale gletsjers die het ijs vanuit het centrum van het continent afvoeren, beginnen sneller te bewegen en zich terug te trekken. Daarbij krimpt het landijs tussen de 90 en 150 kubieke kilometer per jaar. Deze uitdunning gaat bovendien tot ver in het binnenland door. Tot 300 kilometer uit de kust is de ijskap een meter dunner geworden. Toen wetenschappers dit verdwijnende ijs aftrokken van de jaarlijkse sneeuwval over heel West-Antarctica, concludeerden ze dat de gletsjers wereldwijd jaarlijks 0,14 millimeter aan het niveau van de zeespiegel toevoegen – een klein maar groeiend wapen in het arsenaal van Poseidon.

Met het afkalven van de westelijke randen van Antarctica staat de stabiliteit van de gehele ijskap ter discussie. Water stroomt bergafwaarts en ijs drijft op water. Aangezien een groot deel van het midden van de ijsmassa nog verder onder het zeeniveau ligt dan de randen, zou binnendringend zeewater in principe het landijs vanaf de zeebodem kunnen optillen. Daarmee zou binnen slechts enkele decennia het niveau van de wereldzeeën met vijf meter stijgen. Dat proces zou niet alleen door dit fysieke krachtenspel zo snel gaan, maar ook omdat water een goede warmtegeleider is. Ijs smelt sneller door warm water dan door warme lucht, en de opwar-

mende Zuidelijke Oceaan vormt daarom een dolk die op het hart van Antarctica is gericht.

West-Antarctica heeft nog een laatste verdedigingslinie. Twee gigantische ijsschotsen, Ross en Ronne, elk minstens zo groot als Frankrijk, beschermen het landijs als een versterkt fort. Zij voorkomen dat er binnentrekkend zeewater onder de ijskap kan kruipen. Al drijven ze beide, ze hebben aan hun noordkant, waar ze de deining van de open zee tegenkomen, enorme ijsbolwerken van tussen de 200 en 400 meter dik. Beide zijn nu nog veilig, omdat ze ver buiten het gebied liggen waar de oppervlakte smelt: hun temperatuur blijft het hele jaar door ruimschoots onder nul.

Tenminste, dat dacht iedereen tot voor kort. In mei 2007 rapporteerden NASA-wetenschappers dat hun QuickSCAT-satelliet onweerlegbaar bewijs had gevonden voor de eerste uitgebreide dooi die ooit in Antarctica is geregistreerd. In januari 2005, toen het daar midden in de zomer was, begon een gebied zo groot als Californië te smelten. Deze dooi beperkte zich niet tot de kust, maar drong 900 kilometer het binnenland in, kroop 2.000 meter omhoog langs de hellingen van de antarctische bergen en kwam zelfs tot op 500 kilometer afstand van de Zuidpool zelf. De temperaturen stegen tot maar liefst 5°C en bleven nog een week boven het vriespunt. Wellicht was deze plotselinge antarctische smelt-partij een eenmalige gebeurtenis, want tot maart 2007 werd geen verdere dooi waargenomen. Maar het is “van levensbelang om dit gebied in het oog te blijven houden, om te zien of zich geen lange-termijntendens aan het ontwikkelen is”, aldus Son Nghiem, een van de wetenschappers die bij de studie betrokken was.

Een groot deel van deze dooi vond plaats aan de noordelijke rand van de Ronne-ijsschots, wat de indruk wekt dat één van West-Antarctica's belangrijkste verdedigingslinies binnenkort wel eens kan gaan afbrokkelen. Aanwijzingen voor Ronne's mogelijke lot komen van verder naar het noorden op het continent. Hier, op het Antarctisch Schiereiland,

steekt een met ijs bedekte bergkam uit in de richting van Patagonië, het uiterste puntje van Zuid-Amerika. Glaciologen beweren al langer dat het verdwijnen van het ijs voor de kust er wel eens toe zou kunnen leiden dat gletsjers hogerop sneller gaan bewegen, ongeveer zoals het weghalen van de kurk er voor zorgt dat champagne vrij uit de fles kan stromen. Drie belangrijke ijsschotsen aan beide zijden van het Antarctisch Schiereiland zijn inmiddels uit elkaar gevallen; de Wordie, de Larsen A en de Larsen B. Deze laatste is in maart 2002 op spectaculaire wijze bezweken, in slechts een paar dagen tijd. In al die drie gevallen zijn de ijs aanvoerende gletsjers erachter sneller gaan bewegen, precies zoals voorspeld was.

Wanneer de aarde vier graden opwarmt zou dat meer dan genoeg zijn om de dooilijn over de ijsmassa van zowel Ross als Ronne heen te leggen. En smeltwater dat wiggen in het ijs drijft, zou hun samenhang een fatale slag toebrengen. Als één van de twee in stukken zou breken, net als de Larsen en de Wordie verder naar het noorden al deden, zou niets een totale ineenstorting van het volledige landijs van West-Antarctica en een snelle overstroming van alle kustlijnen ter wereld nog in de weg staan.

De teloorgang van het ijsdek op West-Antarctica zou echter slechts de eerste slag zijn in een langer durende oorlog. Zijn veel grotere buurman, het ijsveld van Oost-Antarctica, is op sommige plekken wel vier kilometer dik. Het bevat genoeg water om de zeespiegel wereldwijd 50 meter te laten stijgen. Samen met het bezwijken van Groenland zou dat er voor zorgen dat mijn woning in Oxford, op 65 meter hoogte, aan de kust komt te liggen. Groot-Brittannië zou tot een archipel van heuveltop-eilandjes opgesplitst raken en de huidige kustlijnen van de continenten zouden amper nog herkenbaar zijn.

Oost-Antarctica heeft een nog geduchtere verdedigingslinie dan het westelijk deel, en wel een hoge bergketen, het Transantarctisch Gebergte. Het zeewater komt daar natuurlijk niet overheen, hoe warm het ook zou worden. Maar via

de achterdeur zou de ijskap van Oost-Antarctica gevaar kunnen lopen omdat ook hij daar onder zeeniveau verankerd ligt. De meeste wetenschappers beseffen het niet eens, maar deze weinig bekende onderzeese beddingen lopen door tot in het midden van het ijsdek. Ik wil niet suggereren dat de boel in één klap in elkaar zou storten. Het zou feitelijk eeuwen en vermoedelijk zelfs millennia duren voordat al het ijs op Antarctica gesmolten is. Maar de destabilisatie van de twee grote ijskappen van Antarctica zou een zeespiegelstijging van pakweg 1 meter per 20 jaar teweeg brengen, en dat gaat het aanpassingsvermogen van de mensheid verre te boven.

Of het ooit zover zal komen? Ook hier brengen geologische gegevens uitkomst. Toen de aarde voor het laatst vier graden warmer was dan nu, was er op geen van de beide polen ijs. De wereldwijde opwarming kan op deze schaal resulteren in een planeet zonder ijs, voor het eerst in bijna veertig miljoen jaar.

Kapitalisme met een Chinees karakter

De mensheid staat voor meer ecologische uitdagingen dan alleen de klimaatverandering, hoewel deze zonder twijfel de meest ernstige en urgente is. De wereldwijde opwarming krijgt gezelschap van andere aanzwellende bedreigingen zoals bevolkingsgroei, het verloren gaan van vruchtbare bodems, het opraken van fossiele watervoorraden en de algehele vernietiging van ecosystemen. Elk van deze kwesties op zich kan al escaleren tot een punt waarop het overleven van de moderne samenleving op het spel komt te staan. Nergens is dit beter te zien dan in het razendsnel industrialiserende China, dat in minder dan twee decennia een gedaanteverwisseling heeft ondergaan van een voornamelijk agrarisch land naar een economische krachtcentrale. Zodra voorzitter Mao zijn laatste adem uitblies en de economische hervormers onder leiding van Deng Xiaoping het roer overnamen, gingen

het land en haar leiders een hyperkapitalistische koers varen. “Rijk worden is prachtig” heette het al snel.

Dat mag inderdaad prachtig zijn voor de nieuwe miljonnairs, die in de hippe buurten van Shanghai en Beijing aan de zwier gaan en als filmsterren opvallend te koop lopen met hun welstand en opzichtige consumptiementaliteit. Het is ook prachtig voor de tientallen miljoenen gewone Chinezen, die niet meer in bittere armoede leven en nu voor het eerst wat eigen bezit hebben. Maar voor China's ecologisch kapitaal is de economische groei faliekant rampzalig. Een vijfde deel van 's lands inheemse biodiversiteit wordt nu bedreigd. Driekwart van de meren is vervuild door de landbouw of industrieel afval en de Gele Rivier wordt grotendeels leeggehaald en is in grote delen van de benedenloop in wezen giftig. Bijna alle Chinese kustwateren zijn vervuild door riolen, landbouwgif of olielekken, waardoor er gemiddeld 90 keer per jaar een uitbraak van giftige algenwildgroei plaatsvindt. Ongeveer 15.000 vierkante kilometer grasland verarmt jaarlijks door overbegrazing en droogte. Op een kwart van de steden valt zure regen. Drie van elke vier stedelingen ademt lucht in die aan geen enkele gezondheidsnorm voldoet. Zodoende moesten er tijdens de marathon van Hong Kong in 2006 verschillende lopers naar het ziekenhuis; één van hen overleed, na het complete parcours in hardnekkige smog te hebben afgelegd.

Alleen al door de omvang van haar bevolking ligt China op ramkoers met de planeet. Het olieverbruik van het land is de laatste tien jaar verdubbeld. Als de Chinezen in 2030 net zoveel olie verbruiken als de Amerikanen nu, heeft China 100 miljoen vaten olie per dag nodig. De huidige olieproductie is echter maar 80 miljoen vaten per dag en het is onwaarschijnlijk dat deze nog veel verder zal stijgen voordat de top in de olieproductie wordt bereikt. Er zit gewoonweg niet genoeg olie in de grond om de Chinese olieconsumptie op westers niveau te brengen. Nu al worden wereldwijd de grenzen van deze grondstof bereikt.

Hetzelfde verhaal geldt voor voedsel. Als de Chinezen meer vlees en zuivel gaan eten, moet er meer graan komen. Als de Chinezen in 2030 net zo gulzig zouden zijn als de Amerikanen nu, zouden ze het equivalent van tweederde van de wereldwijde oogst opeten. Als het autobezit op hetzelfde niveau komt als het huidige in de Verenigde Staten, te weten drie auto's op vier personen, zou China in 2030 een miljard auto's herbergen. Dat is aanzienlijk meer dan het huidige aantal van 800 miljoen auto's wereldwijd.

In zo ongeveer elke grondstofsector zal China's opmars tot op een westers consumptieniveau onmiskenbaar meer vergen dan één aarde kan verschaffen. Als alle Chinezen net zo zouden leven als de Amerikanen, zou dat de impact van de mens op het milieu verdubbelen en deze impact is alle grenzen van wat duurzaam is nu al ver voorbij. Zelfs als we de klimaatverandering even buiten beschouwing laten, verandert de Chinese droom van snelle rijkdom al vrij snel in een wereldwijde nachtmerrie.

Maar de klimaatverandering kán niet buiten beschouwing blijven en daarvan zal China ernstige gevolgen ondervinden. Dat wordt alleen maar erger als het land en onze planeet op de grens van de ecologische mogelijkheden stuiten. Een onderzoek door de overheden van Groot-Brittannië en China samen oppert dat in de laatste dertig jaar van deze eeuw de Chinese landbouw instort als de temperatuur op aarde meer dan drie graden hoger ligt dan nu. De oogsten van voedselgewassen als rijst, graan en maïs zullen met bijna 40 procent dalen – en misschien nog meer, als de watervoorraden voor irrigatie opraken. China komt voor de weinig benijdenswaardige taak te staan om een bevolking van anderhalf miljard (veel rijkere) mensen – 300 miljoen meer dan nu – te voeden met tweederde van de huidige voorraden.

Natuurlijk kan de wereldmarkt in theorie het gat wel vullen, maar de graanschuren van de wereld zullen juist rond deze tijd flinke klappen krijgen wanneer het ene productiegebied na het andere onderuit zal gaan. Daaronder zijn aanzienlijke

delen van het westen van Noord-Amerika, de Pacifische kust van Zuid-Amerika, Zuidelijk Afrika en de westelijke helft van het Indiase subcontinent. In al die gevallen ligt de oorzaak in de afname van rivierwater en het oprukken van de woestijn, zoals in eerdere hoofdstukken is uitgelegd.

In de vier-gradenwereld zal er bovendien op het Australische continent, mogelijk met uitzondering van het uiterste noorden en Tasmanië, als gevolg van hittegolven en verminderde regenval geen sprake meer zijn van voedselproductie van enige betekenis. In India zal een heviger zomermoeson in de meeste gebieden tot meer verdamping leiden. Met temperaturen die in het binnenland minstens 5°C boven het huidige niveau komen te liggen, wordt het voor de meeste gewassen domweg te heet om te overleven. Bovendien maakt de snellere verdamping in het warmere klimaat de grond in veel gebieden droger. In de westelijke delen van het subcontinent en dan met name in Rajasthan, Punjab en buurland Pakistan, worden gebieden, die toch al gortdroog zijn, nog droger. De waterschaarste die voortvloeit uit het verdwijnen van de gletsjers in de Himalaya en de Karakoram komt daar nog bij. In al die gebieden zullen honderden miljoenen mensen op drift raken en op zoek gaan naar voedsel en water. Het wordt de grootste volksverhuizing aller tijden.

In een mondiale analyse voor het IPCC-rapport uit 2007 worden verschillende 'hotspots van toekomstige droogte' geïdentificeerd: het zuidwesten van Noord-Amerika, Centraal-Amerika, het Middellandse Zeegebied, Zuid-Afrika en Australië. Gedurende de wintermaanden is Zuidoost-Azië een droogtegebied, terwijl de Amazone, Siberië en delen van West-Afrika in de zomer het meest te lijden hebben. Zelfs gebieden die gemiddeld meer regen krijgen, zoals die op de hogere gematigde breedtegraden, krijgen die extra neerslag in de winter. Omdat die buiten het voornaamste groeiseizoen valt, hebben de meeste gewassen daar bar weinig aan. De studie vat het onheilspellend samen als een "wereldwijde droogte in de landbouw".

Waarschijnlijk zullen nieuwe productiegebieden nabij de poolcirkel in Canada en Rusland de tekorten gedeeltelijk kunnen afdekken, hoewel een hogere temperatuur boven een ontdooide toendra niet automatisch betekent dat er meer neerslag valt of behoorlijke landbouwgrond ontstaat. Het zou daarnaast goed kunnen zijn dat nieuwe technologische ontwikkelingen, resulterend in meer droogtebestendige rassen van voedselgewassen, en het vruchtbare effect van een hogere CO₂-concentratie in de lucht, wat soelaas bieden en de ramp nog even uitstellen. Maar niets van dat alles weegt op tegen het verlies van de belangrijkste landbouwgebieden op onze planeet. De conclusie dat grootschalige hongers in de vier-gradenwereld een permanent gevaar is voor de meeste mensen, lijkt onontkoombaar, en zoals eerder betoogd dreigt dit mogelijk al veel eerder. Een groeiende vraag zal het snel teruglopende aanbod op de hielen zitten, terwijl de belangrijkste graanschuren van de wereld er stoffig en verlaten blijven.

Het valt onmogelijk te voorspellen welke vormen deze voedselcrisis op verschillende plaatsen zal aannemen. Maar in de geschiedenisboekjes liggen de voorbeelden voor het oprapen van samenlevingen die instortten op het moment dat er teveel van het milieu werd gevraagd en de voedselproductie in het nauw kwam. Het geval van de Maya's is daarvan het bekendste, maar ook in de Chinese oudheid kwamen beschavingen op en gingen ze weer ten onder, parallel aan de golfbewegingen van neerslag en droogte. En waarschijnlijk heeft de beschaving van de Harappan in de Indusvallei de geest gegeven als gevolg van een uitzonderlijk zware droogte 4.200 jaar geleden.

Een vergelijkbaar lot lijkt de koninkrijken in het Midden-oosten parten te hebben gespeeld, die verdwenen zijn terwijl ze zich indertijd oppermachtig achtten, eigenlijk net als wij nu. Het doet denken aan het gedicht 'Ozymandias' van Shelley over het verbrijzelde beeld van een koning die al lang dood is. Een inscriptie bijt de voorbijgangers spottend toe:

“Ziet mijn werk, o mens, en beeft!”. Het gedicht eindigt als volgt:

*Maar niets is meer te zien. Vanaf de voet
van dit gevallen koningsstandbeeld streeft
breed, eenzaam zand de einder tegemoet.*

Vertaling: Jaap Verduyn

Het zand van Europa

De ondergang van alle beschavingen die hiervoor genoemd werden was een kwestie van relatief kleine veranderingen in het klimaat. Die veranderingen zijn niets in vergelijking met de enorme verschuivingen die we kunnen verwachten in de eeuw die voor ons ligt. Als een paar tienden van een graad de Maya's en de Harappanen al de das om deden, moet je je voorstellen wat tien keer zo veel teweeg kan brengen in onze fragiele en innig verbonden wereld van vandaag. In zekere zin is het nu zelfs erger, want de ecologische crisis is met recht mondiaal. Toen de Maya's alle bomen op hun grondgebied hadden omgekapt en de voedselreserves waren uitgeput, konden de armzalige overlevenden van de resulterende oorlog en chaos tenminste nog ergens naar toe vluchten. Wegtrekken is het traditionele antwoord van mensen op noodsituaties, maar vluchten kan niet meer; ik zou niet weten waar naar toe. De instorting van samenlevingen zal als de schokgolf van een neutronenbom over de hele wereld denderen.

Ergers nog, deze calamiteiten krijgen de planeet in hun greep op een moment dat haar natuurlijke verdedigingsmechanismes door menselijke activiteiten toch al ernstig verzwakt zijn. In hun oorspronkelijke staat spelen ecosystemen een rol van levensbelang in de regulering van het klimaat en zo houden zij de aarde leefbaar. Plankton geeft bijvoorbeeld een gas af dat wolken helpt vormen, terwijl bomen in

het Amazone-regenwoud hun eigen onweer genereren door water over grote afstand te recyclen. Op de lange termijn helpt de oceaan om het gehalte kooldioxide in de lucht op een aanvaardbaar niveau te houden, door koolzuur neer te laten slaan in sedimenten, die vervolgens carbonaathoudende gesteentes zoals kalk en zandsteen vormen. Op het land versnellen planten het chemische verweringsproces van de bodem en ook daarbij wordt koolstof gebonden.

Maar deze natuurlijke ecosystemen zijn ernstig in hun omvang beknot. Het grootste deel van de vruchtbare bodem op deze planeet is beroofd van zijn oorspronkelijke bomen en planten en bestemd tot landbouwgrond om mensen te voeden. Van spiering tot kabeljauw is alles door gigantische fabrieksschepen uit de wereldzeeën gevestigd. In totaal heeft de mens zich inmiddels veertig procent van alle fotosynthetische productiviteit op de planeet toegeëigend. De rest van alle leven mag wat scharrelen in de marge, in gebieden die voorlopig nog te warm, te koud, te hoog of te diep zijn om voor ons van nut te zijn.

In dit verband heeft James Lovelock het in zijn boek *The Revenge of Gaia* (in het Nederlands verschenen als *De wraak van Gaia*) over 'dubbelpesch'. Het is zo ongeveer als de ingenieurs van Tsjernobyl die zo onverstandig waren om de temperatuur op te schroeven nadat ze de veiligheidssystemen van de reactor buiten werking hadden gesteld: we hebben de thermostaat van de aarde buiten werking gesteld door de bossen te kappen en de zee te vervuilen, net op het moment dat we er de grootste behoefte aan hebben. Het is een experiment van de mens om de temperatuur omhoog te draaien met miljarden tonnen broeikasgas en tegelijk de natuurlijke ecosystemen buiten werking te stellen die het klimaat nog kunnen reguleren. Het gevolg voor de aarde is volgens Lovelock even voorspelbaar als dat van de Sovjet-technici in hun experiment met de reactor van Tsjernobyl. De boel imploedeert.

Tegen de tijd dat de temperatuur wereldwijd vier graden hoger klimt, is dat rampzalige proces al een flink eind op streek. Op Groenland krimpt de ijskap jaar na jaar verder richting het midden, terwijl enorme hoeveelheden water in de stijgende zeeën stromen. Tegelijkertijd vinden er dramatische veranderingen plaats in het Zuidpoolgebied, zoals eerder in dit hoofdstuk werd beschreven. De circulatie in de Atlantische oceaan – gesteld dat die de huidige bliepjes overleeft – zal uiteindelijk afremmen en stil komen te staan. (Dat zou te laat zijn om Europa kouder te maken dan het nu is. Hooguit zou het de extreme opwarming op plekken als Groot-Brittannië wat kunnen temperen.) Wereldwijd raakt het weer verder in de war, met steeds woestere stormen die met onvoorstelbare felheid over steeds grotere gebieden zullen toeslaan. De lange zomermaanden worden nog langer en daarin verschroeien de stijgende temperaturen de bossen tot as en de steden tot kokende mortuaria.

In Zuid-Europa breiden zich nieuwe woestijnen uit. Het gedicht van Shelley slaat nu nog op het Midden-Oosten, maar roept straks in de vier-gradenwereld eerder beelden op van Italië, Spanje of Griekenland. Wetenschappelijke onderzoeken zijn vrijwel eenstemmig in hun voorspelling van drogere en veel hetere klimaten in de mediterrane rand van Europa. Een rekenmodel dat onlangs door wetenschappers in Zweden en Finland werd ingezet, voorspelde een inzinking in de neerslag in het hele gebied. In de zomer zou er tot 70 procent minder regen kunnen vallen. Een tweede studie voorspelt dat hittegolven tot 65 dagen langer zouden kunnen duren in alle belangrijke toeristentrekpleisters van het Middellandse Zeegebied: Spanje, Portugal, Zuid-Frankrijk, Italië, Griekenland en Turkije, met uitstralingseffecten tot in zuidelijk Rusland en de Oekraïne aan toe. Weer een ander onderzoek, gepubliceerd in juni 2007, voorziet een toename van 200 tot 500 procent in het aantal gevaarlijk hete dagen, waarbij vooral Frankrijk en Spanje worden getroffen. Bepaald zorgelijk is daarbij dat het epicentrum van deze toenemende hitte pre-

cies het gebied is, dat het zwaarst werd getroffen door de hittegolf van 2003, waarbij in Frankrijk 15.000 mensen om het leven kwamen. De hittegolven die ons in de toekomst te wachten staan zullen veel intenser zijn dan zelfs de warmste dagen van 2003. Het komt erop neer dat de subtropische klimaatzone die nu in Noord-Afrika ligt, zich naar het noorden zal uitbreiden, tot in het hart van Europa.

Zelfs in het gematigde klimaat aan de andere kant van de Alpen zal het kwik tot ongekende hoogte stijgen. In Zwitserland zal de extreme zomer van 2003 nog heerlijk koel lijken in vergelijking met de hittegolven die de bergellingen geblakerd zullen achterlaten, en de valleien die ooit bekend stonden om hun groene weelderigheid, zullen verschroeien. In juli en augustus zou de temperatuur wel eens tot 48°C op kunnen lopen – meer iets voor Bagdad dan voor Bazel. Bosbranden houden huis op de Alpenhellingen en watervoorraden slinken weg als de gletsjers van de hoogste toppen verdwijnen. Zelfs in Engeland, waar op 11 augustus 2003 met 38°C de hoogste temperatuur ooit werd gemeten, zou het kwik tijdens zomerse hittegolven in Londen en omgeving de 45°C kunnen halen. Dat soort temperaturen kennen we nu alleen van plaatsen als Marrakesh, in Marokko. De dichtbevolkte gebieden in het zuidoosten van Engeland komen door zomerse droogtes op het lijstje van plekken met waterproblemen, terwijl boeren en steden elkaar beconcurreren om de opdrogende watertoevoer uit rivieren en bassins.

Rusland's strenge winters worden een vage herinnering, als de temperatuur er van december tot februari gemiddeld zeven graden hoger komt te liggen. Zelfs in het voorheen toch behoorlijk frisse Oost-Europa zal er in de meeste winters geen sneeuw meer vallen. De totale sneeuwval op het continent kachelt vermoedelijk minstens 80 procent achteruit. Alleen het binnenland van het uiterste noorden van Scandinavië kan 's winters op sneeuw rekenen. Dit sneeuwloze bewind maakt overstromingen in de winter nog erger, omdat er meer neerslag als regen valt, dat direct de rivieren

in spoelt. Zonder sneeuw die tot ver in de lente geleidelijk weg kan dooien worden de zomers een stuk droger en zo zal de temperatuur op het continent tot 9°C boven het huidige niveau komen te liggen. Deze 9°C is echter slechts een *gemiddelde* en in extreme jaren zullen hittegolven dan ook onvoorstelbaar zwaar worden. In de Kaspische zee, die het meeste van haar water uit Rusland krijgt aangevoerd, zal de waterspiegel vermoedelijk met bijna tien meter dalen, en daarmee lager uitkomen dan op enig moment in de afgelopen 25 eeuwen. Met zulke dramatische weersveranderingen is het nauwelijks een verrassing dat Noordoost-Europa en het Middellandse Zeegebied worden aangemerkt als de twee opvallendste 'hot spots' van de toekomstige klimaatsverandering.

In de vier-gradenwereld is de zomer, en niet de winter, het meest geveerde jaargetijde in Europa. Net als nu in het zuiden van de Verenigde Staten zullen Europeanen die een beetje verkoeling zoeken allemaal een airconditioning moeten hebben. Dat geeft weer extra druk op de energievoorziening. Als er meer kolen- en gascentrales gebruikt worden omdat er onvoldoende waterkracht is en alternatieve energiebronnen ook niet in de groeiende vraag kunnen voorzien, geeft dat ook weer een grotere uitstoot van broeikasgassen. Nog meer vervuiling komt van ontziltingsinstallaties in landen als Frankrijk en Spanje, die langzaam in woestijnen veranderen, tenzij het lukt om deze uitsluitend op zonne-energie te laten draaien. Maar politici hebben vermoedelijk wel wat anders aan hun hoofd dan het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen, omdat ze wanhopig op zoek zijn naar drinkwater om de steden leefbaar te houden en het platteland productief.

De hittegolf van 2003 duurde de hele zomer en de eraan gekoppelde massale sterfte laat enigszins zien hoe een warmer Europa eruit zou kunnen zien. Maar zelfs als alle zomers zo heet of nog heter zijn als die van 2003, is het moeilijk voor te stellen hoe samenlevingen dat op de langere termijn

kunnen volhouden. Hele stukken van het Middellandse Zeegebied, dat vandaag de dag toch behoorlijk dicht bevolkt is, zouden ontvolkt kunnen raken. De mediterrane bevolking zou naar het noorden trekken, naar overbevolkte vluchtelingenkampen rond de Baltische zee, in Scandinavië of op de Britse eilanden. Of het continent kans zal zien om de boel bij elkaar te houden, hangt af van de kracht van de instituties en de vastberadenheid van de mensen om de noodsituatie te overleven. Maar als bewoonbare gebieden dichter en dichter bevolkt raken, kan er op den duur ook in het bedaagde, beschaafde Europa, chaos en strijd uitbreken.

Ijs en weder dienende

Boven de boomgrens doorbreken alleen een paar grillige struiken de monotone aanblik. Verspreid over de wat lagere, kale hellingen staan plukjes gras, maar daarboven is er enkel een maanlandschap met stenen en rotsen. Geiten zoeken hun weg tussen de schaarse stukjes groen. Ze knabbelen aan alles wat ze maar kunnen vinden: mos, schors of doornstruiken, niets is beneden hun waardigheid. Daarboven liggen bergruggen, zover het oog reikt, en hun verschillende tinten bruin, grijs en rood vloeien aan de horizon samen. Alleen op de allerhoogste toppen plakt nog een enkel spatje sneeuw, terwijl daaronder in bergkommen en hogere valleien aan de gebogen randen en het grind van de eindmorenen nog net zichtbaar is waar er lang geleden gletsjers moeten hebben gelegen. De lagere dalen zijn doorsneden met kloven; bij storm sleurden de watermassa's daar het puin van de berghellingen doorheen, waarna grote rotsblokken her en der verspreid in waaiers van neerslag achterbleven. De kloven zijn leeg, op een enkele modderige poel na, als herinnering aan de meest recente wolkbreuk. De lucht trilt van de hitte en daar doorheen zijn verder overal alleen maar naakte rotspartijen te zien. De bergen zijn volledig kaal.

Dit is een bekend beeld voor iedereen die wel eens in het Marokkaanse Atlasgebergte heeft gewandeld. Deze 4.000 meter hoge bergketen scheidt de mediterrane kustvlakte van de Sahara. Het zou ook het uitzicht kunnen zijn dat je krijgt als je aan het eind van de 21e eeuw op stap gaat in de Alpen. Wat nu nog een Noord-Afrikaans klimaat is, zal dan in Europa vaste voet gekregen hebben. Tegen de tijd dat wereldwijd de temperaturen vier graden boven het huidige niveau liggen, wordt sneeuw in de Alpen onder de 1.000 meter een zeldzaamheid. En dat zijn plekken die nu elke winter nog 50 tot 100 dagen lang op een flink pak sneeuw kunnen rekenen. Op 2.000 meter zal het sneeuwseizoen met twee maanden zijn bekort, terwijl de hoeveelheid sneeuw die zich 's winters ophoopt gehalveerd zal zijn. Zelfs op 3.000 meter hoogte, waar in het huidige klimaat vaak het hele jaar door sneeuw ligt, zal naar verwachting in de jaren '70 van deze eeuw eenderde weggesmolten zijn. Nog opvallender is het verdwijnen van de gletsjers van zelfs de hoogste toppen. Daarmee zullen de Alpen voor het eerst in miljoenen jaren bijna helemaal geen ijs meer hebben. Alleen rond de hoogste pieken boven de 4.000 meter, zoals de Monte Rosa en de Mont Blanc, hangen nog wat minuscule gletsjerresten.

Zelfs in de winter zullen hittegolven toeslaan; tussen december en februari kan de temperatuur tot wel 20°C oplopen, waardoor de sneeuw zelfs op de hoogste toppen smelt. Nu zal er niemand bezwijken aan een temperatuur van twintig graden in de winter, maar zulke winterse hitte kan dramatische gevolgen hebben voor het landschap en de samenleving. Plotseling oplopende temperaturen maken de hoger gelegen sneeuwellingen instabiel. Daardoor neemt het risico van een lawine toe, waarbij plotsklaps miljoenen tonnen verstikkende natte sneeuw op de dorpen in het dal kunnen storten. Dramatische smeltpartijen laten massa's modderig water de helling afgutsen, waardoor dodelijke maalstromen gebouwen en bruggen in hun ontoombare modderrivieren kunnen meesleuren. Planten raken in ver-

warring door de hogere temperaturen en beginnen te vroeg aan de lente, om in de dagen of weken daarna, als de kou weer terugkeert, hun prille knoppen en tere bladeren weer te zien wegvriezen.

De Alpen spelen een cruciale rol als de ‘watertoren van Europa’. Belangrijke rivieren zoals de Rijn en Donau vinden hier hun oorsprong, en zodoende is de *impact* van veranderingen in het sneeuwpak en van het wegwijnen van de gletsjers overal op het continent voelbaar. In Zwitserland zelf komt 60 procent van de energievoorziening uit waterkrachtcentrales. Die energiebron zou in de zomermaanden wel eens weg kunnen vallen als de beken en rivieren droog komen te staan. Net als in de Rocky Mountains in Canada en de Verenigde Staten gaat het hier om een probleem met de timing. Zelfs al zou de totale hoeveelheid neerslag gelijk blijven (en dat is nog helemaal niet gezegd), dan nog valt er meer als regen dan als sneeuw. En dat betekent dat het eerder in het jaar de bergen afstroomt en dat er ’s zomers gewoon minder water voor menselijk gebruik beschikbaar is.

Zonder smeltwater of regen verkommt de vegetatie en naarmate de droogte het land meer in zijn greep krijgt, verandert het groen van het huidige landschap geleidelijk in het bruin van gebakken aarde. Net zoals vandaag de dag in het Atlasgebergte, zullen de Alpen hun gletsjertooi in de toekomst kwijt zijn en geen enkele begroeiing zal de monotonie van de hogere rotshellingen nog doorbreken. De bergen zelf worden er niet hoger of lager van, maar hun karakter zal totaal zijn veranderd. Alle bergbewoners – planten, dieren en mensen – zullen zich moeten aanpassen om te kunnen overleven. Het belangrijkste is dat de watertoren van het continent droog zal vallen, net wanneer Europa ligt te smoren in de zomerse hitte.

Engeland krijgt een oplawaai

Als mensen vanuit de verzengende hitte van het Sahara-achtige zuiden van Europa naar het noorden trekken, worden de Britse eilanden aantrekkelijk. Het is er relatief koel en dat maakt van de dichtbevolkte eilanden één van de interessantste vestigingsplaatsen op de planeet. Ook al hebben het zuiden en oosten een probleem met droogte, toch lijkt het er op dat het noorden en westen dankzij de Atlantische weersystemen een behoorlijke hoeveelheid water blijven krijgen. Dat zou op zich aardig zijn, ware het niet dat de Atlantische stormen steeds kwaadaardiger worden. Onder invloed van subtropische droge luchtgordels die opschuiven vanaf de evenaar, beweegt de loop van orkanen zich in de richting van de polen. Groot-Brittannië ligt zodoende precies waar het allemaal gaat gebeuren, want stormen komen niet langer over het drogere Middellandse-Zeegebied aan, maar trekken over het noorden van Europa. Vooral Schotland krijgt het te verduren, terwijl het ook nu al de hardste wind en de zwaarste regen in het hele land krijgt. Met krachtiger lagedrukgebieden en hardere wind deelt elke depressie een zwaardere klap uit dan zelfs de heftigste winterstorm in het huidige klimaat weet te doen.

In gebieden die blootstaan aan westerstormen betekent dat meer overstromingen als gevolg van vloedgolven en verder levert dat meer erosie aan de kust op en meer windschade aan infrastructuur. De kosten hiervan zouden zowel in Groot-Brittannië als in Duitsland kunnen stijgen tot 37 procent boven het huidige niveau en daarbij gaan verzekeringsbedrijven failliet door de terugkerende schadeposten van tientallen miljarden. Het is misschien verrassend, maar hoewel de individuele stormen zwaarder zullen zijn, zouden het er in aantal wel eens minder kunnen worden. Dat geeft de nood- en hulpdiensten tenminste een kans om de gewonden weg te halen en wat noodreparaties uit te voeren aan daken, hoogspanningsmasten en stormvloedkeringen, voordat de volgende orkaan zijn opwachting maakt.

Het is zonneklaar dat deze stormen ook zwaardere regenval met zich mee zullen brengen. Meer wolkbreuken veroorzaken uitgebreidere overstromingen, waarbij het zwaarst getroffen deel van Groot-Brittannië in dit geval niet Schotland zal zijn, maar het dichtbevolkte zuiden en oosten van Engeland. Een deel van het extra water is weliswaar van levensbelang om de reservoirs bij te vullen die tijdens de droge zomermaanden onrustbarend leeg zijn geslurpt, maar een te groot deel van deze neerslag valt in de vorm van zware hoosbuien. Deze stromen snel van het land of de wegen af, in plaats van geleidelijk door de bodem opgezogen te worden en zo de grondwatervoorraad aan te vullen. Gemeentes krijgen het zwaar te verduren als de zomerse droogte plaats maakt voor winterse stortregens, die zich als een vloedgolf door dorpen en steden storten en rivieren buiten hun oevers laten treden. Zelfs in het huidige klimaat lopen in Groot-Brittannië al vier miljoen mensen en twee miljoen stuks onroerend goed het risico op overstroming. In een wereld van rond de vier graden warmer verwacht men dat die kans vier keer zo hoog komt te liggen; de jaarlijkse schade zal dan zo'n veertig miljard euro gaan bedragen.

Als vlak land met een hoog overstromingsrisico vaker onder water komt te staan, komt er waarschijnlijk een algehele terugtrekking uit dergelijke gebieden op gang. Dat is het omgekeerde van de huidige trend, waarbij vaak nieuwe woongebieden worden gebouwd zonder rekening te houden met het overstromingsgevaar. Miljoenen mensen raken het spaargeld kwijt dat ze in hun huizen gestoken hebben, omdat die onverzekerbaar en daarmee onverkoopbaar worden. De 'vloedvloek' zou wel eens een gangbaar begrip in de onroerend goed-branchen kunnen worden. Volgens het Office of Science and Technology van de Britse overheid zijn er onder meer in het gebied tussen Lancashire en Humber de meeste problemen te verwachten, net als in de Theemsvlei, het oosten van Devon, en steden als Monmouth en Bristol, waar langs de oever van de Severn toch al een verhoogd overstromingsrisico is.

Veel van deze plaatsen zullen volgens de verwachting ook het meest te lijden hebben onder de afkalving van de kust, die een gevolg is van zowel stormachtiger weer als van een stijgende zeespiegel. In dit toekomstige klimaat komt de hele Engelse kust, van het eiland Wight in het zuiden tot Middlesbrough in het noordoosten, in de categorieën met 'zeer hoge' tot 'extreme' risico's terecht, evenals de hele kust van Cardigan Bay in Wales.

Er gaat nog iets in het winterweer veranderen dat iedereen zal merken, al is de directe invloed minder duidelijk. Datgene waar door generaties schoolkinderen elke winter zo gretig naar wordt uitgezien – sneeuw – zal waarschijnlijk compleet uit de Britse weersverwachtingen verdwijnen. In het laaggelegen zuiden en oosten van Engeland zal in de vier-gradenwereld een pak sneeuw een vrijwel onbekend verschijnsel worden. Zelfs in de Schotse bergen zal de sneeuwlaag hoogstens nog half zo dik zijn. Zo nu en dan zal het in Engelse winters nog wel eens sneeuwen, maar dat is dan echt uitzonderlijk, net zo bizar als bolbliksems, of hagelstenen zo groot als kniekers. Als ze dat willen, kunnen kinderen nog altijd sneeuwpoppen maken, maar dan moeten ze wel eerst in januari naar Ben Nevis, de hoogste top van Schotland.

Een ondergrondse tijding uit Texas

In het golvende kalksteenlandschap van het centrale zuiden van Texas ligt op de boerderij van veehouders T.D. en Billie Hall een ongebruikelijke grot verborgen. Rondom de ingang ligt de grond bezaaid met stenen en een eenzame zwepenboom lijkt er op wacht te staan om indringers weg te jagen. In de hele wijde omgeving is alles kurkdroog en hier en daar ligt de rotsachtige ondergrond bloot. Alleen een paar groenblijvende eiken, her en der verspreid, doorbreken de aanblik van de golvende savanne. Een paar kilometer verder naar het zuiden kronkelt een arm van de rivier de Guadalupe zich

door het rotsige plateau richting de Golf van Mexico. Er scharrelen wat runderen rond, maar de veedichtheid is laag; de dunne bodems hier kunnen niet de grote kudde aan, die grazen op de prairies verder naar het noorden.

In de grot van de familie Hall was Jennifer Cooke, promovenda van de University of Texas, al weken heel secuur met forensische opgravingen bezig, toen ze een verrassende ontdekking deed. Begraven in het bezinksel op de bodem van de grot lagen tanden en botten – maar niet van één of andere, lang geleden vermoorde cowboy. Het ging om grondeekhoorns en andere zoogdieren, die hier ruim twintigduizend jaar geleden de grond omwoelden om aan voedsel te komen. De vondst was een verrassing, omdat geen van deze dieren hier nu in de buurt leeft: de bodem is er gewoon te dun voor. Voor Cooke was dit een van de puzzelstukjes in een verhaal dat zich begon af te tekenen. Lang voordat mensen het landschap binnentrokken moet er door klimaatverandering een aanzienlijke hoeveelheid bodem verloren zijn gegaan, waardoor het eens zo vruchtbare plateau veranderde in de dorre, rotsige woestijn die het nu is.

De oorzaak van de erosie was een goede bekende: regen. Door geselende onweersbuien, afgewisseld met steeds langere droogtes, begon de bodem die in de loop van millennia was gevormd, weg te spoelen. In het opwarmende klimaat na de ijstijd kwamen er blijkbaar heftige wolkbreuken voor, die zich op het droge landschap stortten en het sediment van de bodem de rivieren in spoelden. Cooke vond ook dikke lagen oude bodem in de grot zelf, waar ze door de hevige regen waren neergelegd. Nadat haar proefschrift uit was, kortte ze het in en bewerkte het voor een artikel in het tijdschrift *Geology*. Hierin waarschuwt ze dat de zomers door toekomstige klimaatveranderingen veel droger zullen zijn en de regenbuien frequenter en heviger. En dat zou wel eens het soort ontwikkelingen kunnen ontketenen die er vele duizenden jaren geleden in Texas voor zorgden, dat de vruchtbaarheid van enorme stukken land verloren ging.

Voor wie vertrouwd is met klimaatonderzoek op basis van computermodellen klinkt dat vast allemaal nogal onheilspellend. Een recente publicatie, eind 2005 gepubliceerd in de *Geophysical Research Letters*, spitste zich toe op de Verenigde Staten. Daarin wordt voorspeld dat er als gevolg van convectie waarschijnlijk meer regen komt en dat de regenval in het hele land intenser wordt. (Convectieregen valt in de vorm van korte, hevige wolkbreuken zoals onweersbuien, heel anders dan de veel zachtere regen die ontstaat als gevolg van een frontale depressie.) De auteurs waarschuwen dat “hevige stortbuien vaker zullen voorkomen”. Regen zou bovendien “zeldzamer worden en per dag grotere hoeveelheden water bevatten”, maar dan wel met langere droge tussenperiodes.

In de vier-gradenwereld wordt het hele landoppervlak op de aardbol door deze veranderende neerslagpatronen getroffen. In Centraal- en Noord-Europa gaat er veel zwaardere neerslag komen, met name in de Scandinavische winters. Deze toename gaat gepaard met een afname in het zuidelijke deel van het continent, en zoals we eerder zagen, leidt dat daar tot droogte en verwoestijning. Winterorkanen worden heviger en destructiever, zowel op het noordelijk als het zuidelijk halfrond, ook al daalt hun frequentie. Het aantal tropische wervelstormen zal naar verwachting niet zo veel veranderen. Zoals we in het vorige hoofdstuk zagen zal hun intensiteit echter sterk toenemen. In een onderzoek dat het oosten van Australië simuleerde bleek dat het aantal harde stormen met meer dan 50 procent zou stijgen. Krachtige wervelstormen zouden verder naar het zuiden toeslaan en zelfs Sydney zou in de vuurlinie komen te liggen (hoewel men er voor de regen wellicht dankbaar zal zijn). In Korea neemt de hoeveelheid regen met een kwart toe. Maar omdat de temperatuur op het land zes graden oploopt, treedt er meer verdamping op en droogt het land sterker uit dan daarvoor.

In de vier-gradenwereld is het bij uitstek de temperatuurstijging zelf die al het andere begint te overheersen. Hittegol-

ven van een onvoorstelbare heftigheid verschroeien de aarde, terwijl het klimaat heter wordt dan de mensheid in de hele geschiedenis van haar evolutie ooit heeft meegemaakt. Zoals we al eerder zagen lijkt de temperatuur in Europa tegen die tijd meer op die in het Midden-Oosten dan op het gematigde klimaat dat we nu gewend zijn. De Sahara steekt de Straat van Gibraltar over en trekt verder naar het noorden, naar het hart van Spanje en Portugal. Zelfs waar nog vruchtbare bodems zijn, versnellen hevige wolkbreuken de erosie. Zo veranderen eens zo vruchtbare akkers in doorgroefde woestenijen, net als in Texas. Terwijl wereldwijd de voedselvoorraden ineenstorten, raakt de mensheid haar greep op de toekomst steeds meer kwijt.

Siberische roulette

In de vorige hoofdstukken zagen we een langzaam verbrokkelend Noordpoolgebied. Op het moment dat wereldwijd de temperatuur zo'n drie graden hoger komt te liggen, is het pakijns in de zomer geslonken tot wat resterende stukken bij de pool en het verre noorden van Groenland. Zelfs de meest voorzichtige computermodellen voorspellen dat het pakijns helemaal verdwijnt als de temperatuur voorbij het streepje van drie graden naar de vier graden loopt. Voor het eerst in drie miljoen jaar zal er 's zomers bij de Noordpool niets dan open zee zijn. Zelfs in de lange winterse poolnachten zal het meeste ijs zich niet meer herstellen. In de hele regio stijgt de temperatuur in de wintermaanden tot 14 graden boven het huidige niveau.

In de continenten rond de Noordelijke IJszee komen er net zulke ingrijpende veranderingen aan. De zuidelijke grens van de permafrost verschuift honderden kilometers naar het noorden. In oppervlakte krimpt het permafrostgebied tegen het eind van de eeuw van de huidige tien miljoen vierkante kilometer naar slechts één miljoen vierkante kilometer. Wan-

neer het proces zich versnelt, komen grote stukken van Siberië, Alaska, Canada en zelfs zuidelijk Groenland binnen de dooizone te liggen. Onstabiele grondlagen gaan schuiven en zullen steeds vaker instorten onder wegen, huizen en andere infrastructuur. In het verre oosten van Rusland zullen plaatsen als Jakoetsk, Noril'sk en Vorkoeta gaan beseffen dat ze op drijfzand zijn gebouwd. Langs het hele traject van de Transsiberische Spoorlijn vinden uitgebreide verzakkingen plaats en die veranderingen bedreigen zelfs de kerncentrale bij Bilibino. Overal rond de Noordelijke IJszee neemt de erosie toe als gevolg van stormen en de gestegen zeespiegel, waardoor dorpen en nederzettingen aan de kust te gronde gaan.

Arctische ecosystemen raken steeds verder ontwricht. Door onverwachte branden en insectenplagen worden bossen ver ten noorden van de poolcirkel van de kaart geveegd. Populaties van dieren als woelmuizen en lemmingen gaan achteruit omdat zij 's winters hun voedsel verzamelen in gangen door de sneeuw en er in de hele regio 20 procent minder sneeuw gaat vallen. Zelfs waar er nog wel een sneeuwdek over hun fourageergebied ligt, wordt de isolerende werking van de sneeuw ondermijnd door incidentele dooi, regen of ijskorsten. Kleine dieren die er huizen sterven daarom van de kou. En omdat lemmingen zelf weer prooi zijn voor vossen, sneeuwuil, wezels, jagers en hermelijnen, krijgen deze roofdieren op hun beurt ook met een voedseltekort te maken.

Terwijl de dieren vechten voor hun leven, verandert het landschap overal om hen heen. Meren lopen leeg en rivieren verleggen hun loop en daarbij komt er door extra regenval en ontdooiende grond 30 procent meer water in de Noordelijke IJszee terecht. Terwijl sneeuw en ijs zich terugtrekken, schieten er bomen in de zompige toendra op. Nieuwe laagveengebieden verschijnen op plekken die ooit zo hard bevroren waren als gewapend beton.

En uit deze ontdooiende arctische bodem stijgt een nieuwe bedreiging op, één van de gevaarlijkste versterkende mechanismes van allemaal. Van de weeromstuit is het ef-

fect van de klimaatverandering in het poolgebied voelbaar in alle uithoeken van de aarde met een toenemende kracht en destructiviteit. Net als bij de versterkende reactie van de bodem ontstaat deze dreiging doordat er als gevolg van de opwarming van de aarde nog meer broeikasgassen vrijkomen uit de grond. Dat veroorzaakt een verergerende vicieuze cirkel, omdat die broeikasgassen dan weer meer opwarming opleveren.

Men schat dat er momenteel zo'n 500 miljard ton koolstof opgesloten zit in de permanent bevroren bodem van het Noordpoolgebied. Als het eenmaal begint te dooien, kan veel hiervan ontsnappen. Op plaatsen waar het leeglopen van meren en moerassen de bodem droog achterlaat, kan het in de vorm van kooldioxide direct de atmosfeer in, omdat bodembacteriën het afbreken. Waar de grond nog te nat is voor ontbinding door zuurstof, doen anaërobe bacteriën het werk, waarbij ze enorme hoeveelheden methaan produceren. En dat is vanwege zijn sterke korte termijn effecten een nog veel gevaarlijker broeikasgas dan CO₂. In andere gebieden kan de koolstof direct in water oplossen en komt dan in de vorm van CO₂ vrij uit rivieren, meren en de Noordelijke IJszee. Phil Camill, een in de Verenigde Staten gevestigde ecooloog, bestudeert de snelheid waarmee de Canadese permafrost aan het ontdooien is. Hij zegt hierover: "We trekken de stekker uit de ijskast van het verre noorden. Alles wat daarin bewaard wordt zal gaan liggen rotten."

Zelfs in het huidige klimaat is die verrotting al waar te nemen, zij het op beperktere schaal en op die plekken in de poolgebieden waar de permafrost al aan het krimpen is geslagen. Tussen 1999 en 2001 trokken de Californische geografen Karen Frey en Larry Smith drie jaar lang door afgelegen gebieden in West-Siberië. Daar namen zij uit stroompjes en rivieren bijna honderd monsters van 'opgeloste organische koolstof'. Uit de analyse van de watermonsters in het laboratorium kwam een duidelijk patroon naar voren. Frey en Smith ontdekten dat de waterlopen die de ontdooide

veengebieden ontwaterden, een veel hoger koolstofgehalte hadden dan de rivieren die door stijfbevoren permafrostgebieden stroomden. Vervolgens lieten ze de toekomstige opwarmingsscenario's los op de huidige verspreiding van de permafrost in Siberië. Daarbij kwamen ze tot de ontdekking dat er door het grote dooien een verbijsterende 700 procent meer koolstof vrij zou kunnen komen.

Honderden kilometers verderop probeerden wetenschappers intussen om in het Abiskogebied van het subarctische Zweden de hoeveelheid extra methaan te meten, die vrijkomt uit ontdooiende veengebieden. De uitstoot van een onlangs ontdooid moeras werd 20 tot 60 procent hoger geschat dan in de jaren '70. Recenter onderzoek in Siberië toonde aan dat er al vijf keer zoveel methaan uit ontdooide meren omhoog komt borrelen als daarvoor werd aangenomen. De conclusie is onvermijdelijk: hoe meer bevroren land tot modderig moeras vervalt, hoe meer methaan er vrijkomt. En aangezien deze ontdooiing van de permafrost nu, terwijl ik dit schrijf, in het hele arctische gebied aan het versnellen is, zal dit proces al een flink eind op weg zijn lang voordat de temperatuur vier graden hoger dan nu aantikt.

Ondanks de ontzuisterende conclusies uit dit en ander onderzoek dat het smelten van de Noordpool zo'n dramatisch versterkend effect heeft op de opwarming, is de omvang van deze vicieuze cirkel nog niet gekwantificeerd. Daarom is het ook nog niet meegenomen in de huidige voorspellingen over klimaatveranderingen. Maar de gevolgen zijn duidelijk: dit verraderlijke proces zou wereldwijd wel eens van meer belang kunnen zijn dan de veranderingen in de koolstofcyclus die in het vorige hoofdstuk zijn besproken. Het ontdooien van de permafrost is in de woorden van Lawson Brigham, de poolspecialist uit Alaska, een "echte joker in het spel van de koolstofcyclus".

Hoeveel zal het smelten van de Noordpool bijdragen aan de verdere opwarming van de aarde? Een halve graad? Eén? Meer? Daar is nog geen duidelijk antwoord op. Walter

Oechel, expert op het gebied van Arctische ecosystemen, bekend dat “men de puzzelstukjes nog niet echt bij elkaar heeft gelegd. Maar wat we wel weten is dat de potentiële hoeveelheden gigantisch zijn, en dat is heel, heel erg beangstigend.” Niet iedereen is het erover eens dat de permafrost-tijdbom binnen afzienbare tijd zal afgaan. Een onderzoek uit 2007 beweert dat de dooïselheden die voor de komende eeuw zijn berekend, overdreven zijn. Maar omdat de hoeveelheden koolstof die hier in het spel zijn zo gigantisch zijn, kunnen ook kleine veranderingen grote gevolgen hebben. Phil Camill zegt, dat zelfs als er maar één procent van deze potentiële koolstofvoorraad per jaar zou ontbinden, “het zou zijn of we onze huidige uitstoot verdubbelen”.

Dat is de beangstigende conclusie van de vier-graden-wereld: het is, vanwege het vrijkomen van koolstof uit de arctische permafrost, waarschijnlijk niet mogelijk om de mondiale temperatuur op vier graden boven het huidige niveau te stabiliseren. Het is eenzelfde soort verhaal als met de voorspelde ondergang van de Amazone en het versterkende effect daarvan op de koolstofcyclus in de drie-gradenwereld. Als we volgens dit scenario de drie graden bereiken, zal dat onverbiddelijk tot vier graden kunnen leiden, wat vervolgens weer onverbiddelijk tot vijf graden zou leiden. En zoals we in het volgende hoofdstuk zullen zien, komt er met vijf graden zelfs een nog grotere bron van methaan in het spel. Deze keer komt de dreiging niet van het land, maar uit zee. En alweer zou de mens wel eens machteloos kunnen staan om in te grijpen in dit op hol geslagen proces van wereldwijde opwarming. Dat gaat door met de wereld in een extreme en steeds apocalyptischer broeikastoestand te brengen.