

DEEL ZES

Tropische hitte

26 De zondeval

Het einde van Afrika's gouden eeuw

Als er een gouden eeuw geweest is voor de mens op aarde – een Hof van Eden overvloeiende van melk en honing – dan was het wel op het hoogtepunt van het holoceen, het tijdperk volgende op het einde van de laatste ijstijd. Vanaf ongeveer 8000 tot 5500 jaar geleden was de wereld even warm als nu, maar er schijnen minder sterke orkanen te zijn geweest en weinig ontwrichtende El Niños, en in elk geval was het een wereld waarin de gebieden die nu grote woestijnen zijn – in Azië, in Amerika en vooral in Afrika – veel natter waren dan nu. Optimisten zeggen dat die omstandigheden ons wel eens weer te wachten zouden kunnen staan in de broeikaswereld. Zoals we zullen zien zijn er kosmische redenen waarom dat onwaarschijnlijk is. Maar uit het holoceen, en zijn abrupte einde, kunnen we misschien wel belangrijke lessen trekken voor ons toekomstige klimaat.

Geen plaats op aarde is zo'n goed voorbeeld voor de val uit deze gezegende klimaatomstandigheden als de Sahara. De grootste woestijn ter wereld was niet altijd zo droog. Waar nu zeeën van zand in de zon zinderen lagen ooit uitgestrekte meren, moerassen en rivieren. Het Tsjaadmeer, dat tegenwoordig een schamele paar honderd vierkante kilometer groot is, was toen een uitgestrekte binnenzee, door wetenschappers het 'Megatsjaadmeer' gedoopt. Het was even groot als Frankrijk, Spanje, Duitsland en Groot-Brittannië bij elkaar. Tegenwoordig ligt het meer in de woestijnzon te verdampen, maar in die tijd trad het buiten zijn oevers en ontwaterde nu eens zuidwaarts door Nigeria in de Atlantische Oceaan, en dan weer oostwaarts door een uitgestrekte wadi in de Nijl.

Het verschil is dat het toen op gezette tijden regende in de Sahara. Heel Noord-Afrika werd bevoeid door een moessonsysteem dat erg leek op wat tegenwoordig het grootste deel van Azië van regen voorziet. Regendragende winden reikten tot diep in het binnenland. Van Senegal aan de Atlantische kust tot de Hoorn van Afrika in het oosten, en van de stranden van de Middellandse Zee in het noorden tot de rand van het Centraal-Afrikaanse regenwoud stroomden grote rivieren over duizenden kilometers. Aan de oevers lagen moerassen, bossen en groene velden met struiken.

Ten zuiden van de Algerijnse woestijn hebben archeologen onlangs de onder het zand begraven wadi's gevonden die ooit over een afstand van 1000 kilometer water afvoerden van het Ahaggargebergte naar de Middellandse Zee. En in Zuid-Libië, een gebied zo droog dat er zelfs geen kameelkaravanen doorheen rijden, komen archeologen de beenderen van krokodillen en nijlpaarden, olifanten en antilopen tegen. Als er toen al een echte woestijn was in het hart van Noord-Afrika, dan was die in elk geval een stuk kleiner dan nu. En natuurlijk woonden er mensen: herders en vissers en jagers, en sommige van de oudst bekende landbouwgronden lagen er, waar graansoorten op werden verbouwd zoals sorghum en gierst. Archeologen die opgravingen doen in het zand van noordelijk Tsjaad, op dit moment de stoffigste plaats op aarde, hebben menselijke nederzettingen gevonden aan de verdwenen oevers van het Tsjaadmeer. Rotstekeningen in grotten diep in de woestijn schilderen het leven van de inwoners van de groene Sahara van het holoceen.

Er zijn ook andere, nuttiger resten uit die tijd. De rotsbodem onder de Sahara bevat het grootste ondergrondse reservoir van zoetwater in de wereld. Het werd grotendeels gevuld door lekkende wadi's in het holoceen. Dat water wordt tegenwoordig door woestijnnederzettingen in oases afgetapt. Kolonel Gadaffi heeft pompen geplaatst en een groot netwerk van pijpleidingen aangelegd om het ondergrondse water van Zuid-Libië naar de landbouwbedrijven aan de kust

te pompen. Hij noemt dat netwerk zijn Grote Kunstmatige Rivier, hoewel het een zwakke imitatie is van de echte rivieren die hier ooit stroomden.

De natte Sahara en het tijdperk dat bekendstaat als de Afrikaanse Vochtige Periode begon rond de 13.000 jaar geleden, toen de ijstijd afliep, en het duurde, met een onderbreking van het Jonge Dryas, helemaal tot het einde van de 'paradijselijke periode'. In die tijd was de precessie van de aardas zodanig dat de zon in de zomer met volle kracht op de Sahara scheen. Het land stoomde en de convectiestromen in de lucht waren krachtig. Met het opstijgen van de warme lucht werd vocht boven de Atlantische Oceaan aangezogen. Precies hetzelfde proces zorgt tegenwoordig voor de moessonregens in Azië. De moessonregens werden vervolgens gerecycled door de weelderige vegetatie in heel Noord-Afrika. Ongeveer zoals tegenwoordig in het Amazonegebied, voedde de regen de weelderige plantengroei die er op zijn beurt voor zorgde dat het meeste vocht weer in de lucht verdampte. De continue bevochtigde winden voerden regen naar het hart van de Sahara.

Maar er kwam een einde aan de Afrikaanse Vochtige Periode, en wel abrupt. In de tijd van een eeuw, misschien wel, stroomden de rivieren van de Sahara leeg, de moerassen verdroogden, de struiken verdorpen en in de plaats van de regenwolken van de moessons kwamen de stofstormen. Het klimaatsysteem had een drempel overschreden die een massieve verandering op gang bracht. Wat was er gebeurd? Ten eerste verschoof de zon. Of beter gezegd: de precessie van de aardas zette zijn gestage rondje voort en nam gaandeweg de buitengewoon gunstige condities voor de Sahara-regens weg. En naarmate de zomerhitte als gevolg van de veranderingen in de baan van de aarde verminderde, steeg de warme lucht een beetje minder op en drongen de moessonwinden van de oceaan een aantal jaren een beetje minder ver tot in het binnenland door. Het was een geleidelijk proces en het had 3000 jaar lang geen merkbaar effect op de regenval in het groot-

ste deel van de Sahara. De feedback van de vegetatie zorgde ervoor dat de regen de meeste jaren gewoon bleef komen. Misschien dat het Tsjaadmeer iets kleiner werd, maar daar hebben we geen aanwijzingen voor.

Op een bepaald punt echter begon de feedback te haperen. Misschien kwam er een toevallige variatie in de regenval die de bush een jaar of twee droog legde. De zon was niet krachtig genoeg meer om de zaak te herstellen en de regen weer op te wekken. Ineens veranderde een feedback die de Sahara nat had gehouden in een feedback die de Sahara uitdroogde. De veranderingen in de omloop van de aarde verliepen heel geleidelijk, maar de respons van het moessonsysteem was erg snel, en toen het eenmaal een kritische drempel had overschreden, herstelde het nooit meer. De groene Sahara was een bruine Sahara geworden. De Noord-Afrikaanse moesson was uitgedoofd.

Niet iedereen is het erover eens dat de vegetatiefeedback de enige trigger was voor de stervende Sahara. Misschien dat er ook enige invloed was van Gerard Bonds zonnepulsen. Maar zowel de archeologische vondsten als de klimaatmodellen wijzen erop dat deze omschakeling in het klimaat van de Sahara heel plotseling kwam. Martin Claussen van het Potsdam Institute for Climate Impact Research heeft deze tragedie gedetailleerd in zijn model gesimuleerd. Hij zet de tijd voor- en achteruit, hij reproduceert de subtiele veranderingen in de omloop van de aarde en regelt de vegetatiefeedbacks. Wat hij ook doet om de omstandigheden van 5500 jaar geleden min of meer na te bootsen, het resultaat is altijd hetzelfde. Het systeem gaat abrupt in een andere toestand over: oerwoud wordt woestijn en zeeën van water worden zeeën van zand.

Andere wetenschappers krijgen dezelfde uitkomsten. Peter deMenocal van het Lamont-Doherty Laboratory berekent dat het systeem omsloeg toen de zonnestraling in de Sahara de drempel van 470 watt per vierkante meter overschreed. Jon Foley van de University of Wisconsin vond dat een af-

koeling van de holoceense zomer met maar 0,4 graden C al voldoende zou zijn geweest om de regenval in de Sahara met een kwart te verminderen – en met veel meer diep in het binnenland. Hij zegt dat als een gebied zoals de Sahara eenmaal droog en bruin wordt, er uitzonderlijke regenval voor nodig is om het weer groen te laten worden. Voorbij een bepaald punt – zoals het punt dat 5500 jaar geleden bereikt werd – is vrijwel geen enkele hoeveelheid extra regen voldoende. Het gebrek aan vegetatie ‘fungeert als een rem en versterkt de droogte’.

In die tijd konden de inwoners van de Sahara niet weten of de droogtes die hen onverwacht overvielen permanent waren of niet. Maar toen de woestijn bezit nam van de hele regio en de meren en waterwegen opdroogden, hadden ze geen andere keus dan te vertrekken. In die exodus werden de nederzettingen vlak bij de Soedanese grens in Egypte allemaal tegelijkertijd verlaten. Een van die nederzettingen was Nabta, inmiddels beroemd als de plaats met de oudste stenen sterrenwachten in de wereld. Ze zijn ongeveer 1000 jaar ouder dan Stonehenge in Engeland. De zichtstenen wijzen naar het punt waar de zon 6000 jaar geleden tijdens de zomerzonnenuwende onderging. Onder een aantal stenen liggen graven voor het vee. Niemand kan met zekerheid zeggen waar die bouwwerken precies voor dienden, maar het is intrigerend te veronderstellen dat ze werden gebruikt om de veranderingen aan het uitspansel te lezen die de regens hadden verstoord en die hun weidegronden in woestijn hadden veranderd.

Het zou kunnen dat de mythen en legenden over gouden tijden in het verleden en over de Hof van Eden op zulke plaatsen ontstonden. De mensen die uit de Sahara wegtrokken om zich aan de oevers van de Nijl te vestigen, of nog verder weg, zullen herinneringen hebben gehad aan een gouden verleden. Het is interessant te weten dat bijbelkenners de verdrijving van de mens uit de Hof van Eden op 6000 geleden hebben geschat, toen waarschijnlijk in de hele Sahara koninkrijken ten onder gingen. Dat was, in hun taalgebruik,

‘de zondeval’. Maar de Hof van Eden hoeft niet in de Sahara te hebben gelegen, omdat ook elders soortgelijke verhalen zijn ontstaan. Arabië verdroogde in dezelfde tijd en liet een gigantisch ondergronds zoetwaterreservoir achter dat niet veel kleiner is dan dat van de Sahara, Claussen berekende dat de verwoestijning van Arabië veroorzaakt kan zijn door dezelfde combinatie van geleidelijke veranderingen in de omloop van de aarde en een dramatische vegetatiefeedback.

De aanwijzingen zijn nog summier, maar het dramatische opdrogen van de Sahara en Arabië lijkt samen te vallen met andere klimaatveranderingen over de hele wereld. In de Stille Oceaan schakelde El Niño in ongeveer dezelfde tijd over op een actievere modus. Er waren koudeperiodes van de Andes tot de Europese Alpen. In beide gevallen drongen de gletsjers tot diep in de dalen door, en vele daarvan trekken zich nu pas naar hun voormalige posities terug. Een van de slachtoffers in de Oostenrijkse Tirol was de ‘ijsman’, die Ötzi werd genoemd en wiens gevriesdroogde stoffelijke resten in 1991 uit het smeltende ijs tevoorschijn kwamen. In Ierland heeft men aan de hand van jaarringen in bomen het temperatuurverloop over een periode van 7000 jaar kunnen vaststellen, en we zien dat er toen koudeperiodes waren, met onder andere de koudste zomer van die tijd.

Dat is allemaal heel intrigerend, want in tegenstelling tot de voorgaande klimaatgebeurtenissen in de ijstijden zijn er weinig aanwijzingen dat de primaire activiteit iets te maken had met de poolstreken. Het schijnt een abrupte klimaatverandering te zijn geweest die in de tropen ontstond en daar zijn grootste invloed had, met daarbuiten wat rimpels. Een klap voor Wally Broecker, schijnen sommige wetenschappers te vinden – we komen er nog op terug.

Maar wat zegt dat over de toekomst van de Sahara? Zou de opwarming van de eenentwintigste eeuw voor een groenere en nattere Sahara kunnen zorgen? Dat is een intrigerend idee waarvoor veel aanhangers te vinden zijn. Reindert Haarsma, een klimatoloog van het Nederlandse KNMI, zegt

dat er wel eens vijftig procent meer regen zou kunnen gaan vallen in de Sahara – voldoende om een terugkeer in gang te zetten naar de ‘paradijselijke periode’, toen krokodillen in de moerassen zwommen waar nu de sprinkhanen zwermen. Claussen, wiens model als eerste dit idee simuleerde, is sceptischer. Hij wijst erop dat de stand van de aarde nu heel anders is dan toen; de zonnestraling in de zomer is niet groot genoeg om de Afrikaanse moesson weer tot leven te wekken. DeMenocal zegt dat de zonnestraling in de Sahara op dit moment 4 procent lager is dan in de tijd van ‘de zondeval’. Maar aan de andere kant, geeft hij toe, kan de veel hogere concentratie kooldioxide in de lucht dit misschien compenseren door een vroeg herstel van de plantengroei in de Sahara.

Optimisten wijzen erop dat de regen en de vegetatie in de Sahara al op zeer bescheiden schaal bezig zijn zich te herstellen – zij het vanuit de diepte van de droogte die het gebied in de zeventiger en tachtiger jaren van de vorige eeuw trof. Het gebeurt niet overal, en op sommige plaatsen is de ontwikkeling weer teruggedraaid. Maar volgens Chris Reij van de Vrije Universiteit van Amsterdam zou het wel eens kunnen dat betere landbouwmethoden, zoals terrasbouw en technieken om water in de grond vast te houden, voor een bescheiden terugkeer van de vegetatie in delen van de Sahara heeft gezorgd, en dat de vegetatiefeedback die daaruit volgt wel eens de reden zou kunnen zijn voor een terugkeer van de regen. Maar vandaar zou het wel een erg grote stap zijn naar de voorspelling dat de dagen van de ‘Hof van Eden’ weer terugkomen.

Sommige mensen in de Sahara mogen zich dan misschien verheugen op groenere en nattere tijden, de vooruitzichten voor veel andere droge gebieden in de wereld zijn niet zo goed. De grote angst, van het Amerikaanse westen tot Noord-China en van zuidelijk Afrika tot de Middellandse Zee, is dat de eenentwintigste eeuw beheerst zal worden door langere en intensere droogtes.

Opnieuw is de geschiedenis hier onze voornaamste gids. DeMenocal heeft de geschiedenis van droogteperioden en beschavingen in Noord- en Zuid-Amerika onderzocht en krachtige aanwijzingen gevonden voor langere perioden van droogte dan ooit in de moderne tijd. 'Er zijn solide wetenschappelijke aanwijzingen dat grote delen van Noord-Amerika in het afgelopen millennium verscheidene van zulke perioden hebben doorstaan, met vernietigende gevolgen voor de cultuur,' zegt hij. 'Die megadroogtes kunnen een eeuw of langer duren.'

De zes jaar durende *dust bowl* in de jaren 1930 in de Verenigde Staten, die voor een volksverhuizing naar het westen zorgde, was 'haast niets vergeleken met zijn voorgangers'. Door droogtes kwamen in de negentiende eeuw veel indianenstammen én hun bizens om. Aan het eind van de zestiende eeuw werd een van de eerste Engelse kolonies in Raonoke, Virginia, door een droogteperiode van tweeëntwintig jaar om zeep geholpen. Hij kwam bekend te staan als de 'verloren kolonie' toen alle bewoners in de tijd tussen hun aankomst in 1587 en de terugkeer van hun bevoorradingschip, vier jaar later, waren verdwenen. Aan de hand van jaarringen kan worden vastgesteld dat er een vrijwel permanente droogte heerste van 900 tot 1300 n.Chr. ten westen van de Mississippi en in heel Midden-Amerika – de droogte die de beschaving van de Maya's en de Anasazi ten val bracht. DeMenocal concludeert dat georganiseerde, complexe samenlevingen korte perioden van droogte kunnen doorstaan: ze hebben watervoorraden en ze kunnen zich enige tijd redden. Maar weinige kunnen megadroogtes aan. Als ze niet door hongersnood worden geveld, dan wel door opstand en beroering.

En er zijn tekenen dat steeds ergere droogtes opnieuw regel worden in gebieden die in het verleden van megadroogtes te lijden hebben gehad. In het Amerikaanse westen is de grootste rivier, de Colorado, nog maar een schim van wat hij was. In het begin van de twintigste eeuw stroomde er gemiddeld 16 kubieke kilometer water doorheen. Van 1999

tot 2003 zakte het gemiddelde naar 8,7 kubieke kilometer – nog minder dan in de tijd van de *dust bowl* in het midden van de jaren 1930. In 2002 was het maar 3,7 kubieke kilometer. In Midden-Azië werd de oorlog in Afghanistan in 2002 gestreden tijdens een droogte die even erg was als de tirannie van de Taliban. Het gebied van de Hamoun-meren, dat 4000 vierkante kilometer beslaat op de grens tussen Afghanistan en Iran, is duizenden jaren lang in moeilijke tijden een toevluchtsoord geweest voor de bevolking van beide landen. Maar in dat jaar droogde het op en veranderde het in zoutvlaktes. Gegevens over de huidige toestand van de Hamoun-meren zijn niet erg hard maar de meeste rapporten stellen dat het er droog blijft. Zuid-Europa wordt intussen steeds meer geteisterd door bosbranden, verdorde oogsten en een tekort aan water.

Richard Seager van Lamont–Doherty zegt dat er over lange termijn gemeten een correlatie is tussen de droogtes in de westelijke Verenigde Staten, Zuid-Amerika, delen van Europa en Midden-Amerika. En dat is een patroon dat we ook nu weer zien in de eenentwintigste eeuw, met de Arizona-woestijn die gestaag noordwaarts opschuift, Zuid-Europa dat steeds meer op Noord-Afrika gaat lijken, en Midden-Azië dat eruitziet als Irak of het Arabisch Schiereiland. Kevin Trenberth van het National Center for Atmospheric Research in Boulder, Colorado, zegt dat het percentage land dat door ernstige droogte wordt getroffen in dertig jaar meer dan verdubbeld is, het is gestegen van 15 naar 30 procent. ‘De klimaatmodellen voorspellen steeds meer droogte op het land. Onze analyses wijzen uit dat dit proces misschien al begonnen is,’ zegt hij.

Dat schijnt iedereen te denken. Mark Cane, een meteoroloog van Lamont-Doherty die gespecialiseerd is in het weer van de Stille Oceaan, zegt geschrokken: ‘De middeleeuwse warme periode van duizend jaar geleden was een kleine forcering vergeleken met wat er nu door de opwarming van de aarde gebeurt. Maar die was toch krachtig genoeg om drie-

tot vierhonderd jaar droogte in het westen van de Verenigde Staten te brengen. Dat zou wel eens een voorbeeld kunnen zijn voor wat er gebeurt als gevolg van de opwarming door de mens. Als het mechanisme zoals wij denken dat het in elkaar zit werkelijkheid is, dan krijgen we weer grote droogtes in het westen.' De Hof van Eden is het niet.

Veel mensen denken dat El Niño en het patroon van oceaantemperaturen in de Stille Oceaan sterk verband houden met de historische megadroogtes, wellicht als onderdeel van een wereldwijde reorganisatie van klimaatsystemen gekoppeld aan de pulsen van Bond. En dat zou bij ons de alarmbellen moeten doen rinkelen, zegt Ed Cook, een vooraanstaande jaarringenexpert van Lamont-Doherty. 'Als opwarming boven de tropische Stille Oceaan droogtes veroorzaakt in het westen van de Verenigde Staten... dan zou elke trend naar hogere temperaturen kunnen leiden tot een ernstige toename op lange termijn van de droogte in Noord-Amerika.' Martin Hoerling van de National Oceanic and Atmospheric Administration in Boulder, Colorado, denkt dat dit proces al op gang gekomen is. Hij wijt de toegenomen droogte in de tropen aan een voortdurende opwarming van de Stille Oceaan, die volgens hem 'zijn weerga niet kent in de twintigste eeuw'. Het droogtepatroon begint steeds minder te lijken op een lokale, kortetermijnverstoring en steeds meer op een ontwikkeling op lange termijn, zegt hij, en hij voorspelt dat de opwarming van de aarde 'wel eens een voorbode zou kunnen zijn van grote, ernstige droogtes in de toekomst'.

Het zal natuurlijk niet overal gebeuren. De klimaatmodellen voorspellen dat een warmere aarde gemiddeld een vochtiger atmosfeer heeft en dat in het algemeen de natte gebieden natter zullen worden en de droge gebieden droger. Ze voorspellen dat in gebieden waar de lucht opstijgt en waar regenwolken met veel neerslag worden gevormd, dit proces zich zal intensiveren. Maar in gebieden waar de lucht daalt, de traditionele woestijngebieden van de aarde, zal juist de luchtdaling intensifieren en zal het nog droger worden.

In veel delen van de wereld zal dit 'hyperweer' waarschijnlijk tegengestelde krachten tegen elkaar uitspelen. Er zullen sterkere zeestormen komen en op sommige plaatsen kunnen weer opnieuw moessons ontstaan. Maar de regendragende winden zullen vaak botsen op intensere droge zones van dalende lucht in de binnenlanden van de continenten. Het is niet duidelijk welke krachten het zullen winnen en waar.

Zal de Sahara groter en nog droger worden, zoals de droogtedeskundigen zeggen? Of zal Noord-Afrika teruggewonnen worden door een heropleving van de Afrikaanse moesson? Megadroogte of Hof van Eden? Niemand weet het antwoord nog op die vraag. Het meest waarschijnlijke is misschien wel dat er op veel plaatsen, van de Sahara tot het Amerikaanse westen en Arabië, meer en langere droogtes zullen komen, onderbroken door korte maar vernietigende stormen en overstromingen.

27 Wippen over de oceaan

Hoe de Sahara de Amazone groen maakt

Twee van de grootste en kwetsbaarste ecosystemen ter wereld liggen recht tegenover elkaar aan weerszijden van de Atlantische Oceaan. Aan de ene kant ligt het Amazoneregenwoud en aan de andere kant ligt de Sahara. Ze lijken geen verband met elkaar te houden, ze zijn ecologische tegengesteld. In de Sahara valt geen regen en er is vrijwel geen plantengroei. De Amazone is een van de vochtigste gebieden in de wereld, en zeker biologisch het meest divers, met misschien wel de helft van alle soorten onder zijn bladerdak. Maar die twee tegengestelden liggen niet zo ver uit elkaar. Ten eerste is de onderlinge afstand verrassend klein. De Atlantische Oceaan is smal bij de evenaar en de twee werelden liggen maar half zo ver van elkaar als Londen en New York. En ten tweede hebben ze volgens velen een verbluffende symbiose. Hun lot zou wel eens onverwacht verknoopt kunnen zijn, en wel zodanig dat het in de komende decennia belangrijke consequenties heeft.

De sleutel tot de symbiose ligt diep in het hart van de Sahara, in een streek die Bodélé heet, in het noorden van Tsjaad. Er komen daar maar weinig mensen. Het ligt er vol met blindgangers en landmijnen uit de jaren 1980, toen Tsjaad een invasie van Libië te verduren kreeg. Op satellietfoto's is te zien dat er het hele jaar door stofstormen woeden die in de atmosferische circulatie worden opgenomen. Volgens Richard Washington van Oxford University komt twee vijfde van al het stof in de atmosfeer van de Sahara, en de helft daarvan komt weer van Bodélé.

Een deel van het stof blijft in de regio. Maar het grootste deel wordt westwaarts met de heersende winden meegevoerd, over de woestijnen van Nigeria, Mali en Mauretanië en vandaar over de Atlantische Oceaan. De rode stofwolken zijn soms wel 3 kilometer hoog als ze in Zuid-Amerika aankomen. Ze zorgen voor spectaculaire zonsopgangen in Miami, waarna het stof met de regen naar beneden komt in het Caribisch gebied en de Amazone. En de afgelopen decennia zijn er heel wat spectaculaire zonsopgangen geweest. De hoeveelheid stof die de Atlantische Oceaan overging nam tussen de natte jaren 1960 en de droge jaren 1980 vijfvoudig toe.

Het stof van de Sahara heeft een onverwachte uitwerking in Amerika. Volgens orkaandeskundigen in Florida zijn er in droge, stoffige jaren in de Sahara minder orkanen aan de andere kant van de Atlantische Oceaan. Het schijnt dat het stof in de lucht de cruciale opwaartse stroom van warme, vochtige lucht verstoort die tot stormen leidt. Even verrassend is dat de bacteriën die op de wind uit de woestijn worden meegevoerd nieuwe ziektes teweegbrengen in de Caribische koraalriffen, en zelfs de kinderen in dat gebied astma bezorgen.

En er is een derde belangrijke link. De stofstormen in de Sahara voeren enorme hoeveelheden mineralen mee: ijzer en organische stoffen die overal in Amerika de bodem verrijken. Vooral het stof van Bodélé schijnt waardevol te zijn. De duinen van dat gebied zijn de uitgedroogde overblijfselen van het uitgestrekte Megatsjaadmeer dat het hele midden van de Sahara besloeg, tot het 5500 jaar geleden plotseling begon op te drogen en het gebied in een woestijn veranderde. De duinen bestaan niet uit zand of steentjes. Het zijn grotendeels de resten van biljoenen diatomieten, microscopische zoetwaterdiertjes die ooit in gigantische aantallen in het meer leefden. Die fragmenten zijn licht genoeg om gemakkelijk met de wind te worden meegevoerd. Daarom maken ze zoveel stofstormen. En daarom zijn het zulke goede bemesters. Als het in Bodélé ooit regende, zouden de diatomieten rijke landbouwgronden vormen. Maar in plaats daarvan is Tsjaad z'n

dood Amerika z'n brood, zegt Hans Joachim Schellnhuber, een Duitse fysicus die is overgeschakeld op aardsystemen en die als directeur van het Britse Tyndall Climate Centre in Norwich een studie heeft gemaakt van die onwaarschijnlijke connectie. 'Het klinkt bizar, maar de dorre, onvruchtbare Sahara bemest het Amazoneregenwoud. Dit proces is al duizenden jaren aan de gang en het is een van de redenen waarom het in het Amazonebekken zo wemelt van leven.'

De twee unieke habitats zitten op een soort wip, zegt hij. Als de Sahara droog is, wat de afgelopen kwarteeuw grotendeels het geval is geweest, dan gaan er grote hoeveelheden stof de Atlantische Oceaan over die de Amazone bemesten en het leven daar welig doen tieren. Als de Sahara nat is, nemen de stofstormen af en lijdt de Amazone honger. Het feit dat de Sahara maar twee toestanden kent, nat of droog, is een aanwijzing dat ook de Amazone maar twee toestanden kent. De laatste grote verandering in de Amazone kwam 5500 jaar geleden, toen het gebied in één klap van nat droog werd, waarschijnlijk binnen een paar decennia. Maar we weten weinig over hoe de Amazone in die tijd veranderde. Als Schellnhuber gelijk heeft, dan was het verlies van de Sahara misschien de winst van de Amazone. Misschien dat het regenwoud er wel bij voer.

In de eenentwintigste eeuw zou de wip wel weer eens naar de andere kant kunnen doorslaan. Er zijn tekenen dat de Sahara natter wordt, zegt Schellnhuber. En als die bevochtiging tot vegetatie leidt en de vegetatiefeedback in werking komt, dan zou heel Noord-Afrika wel eens spectaculair kunnen veranderen. Dat zou goed nieuws zijn voor de Sahara, natuurlijk. Maar misschien is het slecht nieuws voor de Amazone, die toch al dicht bij zijn eigen omslagpunt schijnt, nu het klimaat droger wordt en de regenwouden hun koolstof prijsgeven. Zou een nattere Sahara de doodklap voor de Amazone kunnen betekenen? Schellnhuber denkt van wel.

28 Tropische hoogte

Waarom een ijsman de klimaatgeschiedenis herschrijft

Twee dingen zijn speciaal aan Lonnie Thompson. Ten eerste denken de dokters dat hij meer tijd in de bergen boven de 6000 meter heeft doorgebracht dan welke laaglander op aarde dan ook. En ten tweede heeft hij in zijn diepvriezer in Columbus, Ohio, waar hij woont, waarschijnlijk de meest gedetailleerde fysische informatie over de klimaatgeschiedenis van de aarde over de afgelopen 20.000 jaar. Niet slecht voor de zestigjarige zoon van een keuterboertje uit Gassaway, een klein spoorwegstadje in West-Virginia.

Bij nader inzien zijn het er drie. Want Thompson is op zijn eigen milde maar vastberaden manier een revolutionair in de wereld van de glaciologie. Veertig jaar boren klimatologen nu al in het ijs van de poolstreken op zoek naar de geheimen van het klimaat in het verleden. Ze hebben een heleboel gevonden en ze hebben een aantal indrukwekkende theorieën opgesteld over hoe het aardse klimaatsysteem vanuit die koude woestenijen wordt aangedreven. Maar dertig jaar geleden, toen Thompson nog geologie studeerde en een tijdelijke aanstelling had om in het ijs van de Zuidpool te boren, nam hij zich voor te bewijzen dat ze het mis hadden en dat de motor van het klimaatsysteem zich elders bevond.

Samen met zijn mentor, de legendarische Britse glacioloog John Mercer, liet Thompson de polen links liggen en begon in gletsjers hoog in de Andes, de Himalaya en andere tropische gebergten te boren. Dat was ongehoord in die tijd. Het was moeilijk om het werk gefinancierd te krijgen, want niemand had er een budget voor. Maar hij had een nieuwe, volstrekt verrassende wereld van tropische klimaatverande-

ring ontdekt. En nu, na vijftig expedities naar vijf continenten, en met 6 kilometer ijskernen in zijn vriezer, is hij ervan overtuigd dat hij kan bewijzen dat de ware triggers en aandrijvers en Achilleshielen en drempels en omslagpunten van het wereldklimaat in de tropen liggen.

Voor mensen als Broecker, mensen van de polaire school, is dit heiligschennis. Maar ofschoon hij de bewijsvoering nog niet rond heeft, heeft Thompson al een aantal keren bijval uit onverwachte hoek gekregen. Richard Alley, die carrière heeft gemaakt in de polaire school, is een bewonderaar van de senior uit Gassaway. Glimlachend zei hij tegen me: 'Lonnie is een legende en het kan heel goed zijn dat hij gelijk heeft.' Of hij gelijk heeft of niet, de ijskernen van Thompson en de informatie die hij daar nauwgezet uit heeft gehaald, vormen de grondslag van een opkomend debat tussen de polaire en de tropische school – een debat dat zonder hem misschien niet zou plaatsvinden.

Thompson is een einzelgänger. Hij heeft altijd de grote organisaties en fondsen gemedend die de klimaatwetenschap domineren. Vaak had hij geen keus, maar nu ziet hij het als een voordeel. Het heeft hem de vrijheid geboden zijn eigen weg te gaan. Samen met zijn vrouw Ellen Mosley-Thompson, die ook onderzoekster is, organiseerde hij een klein team op het Byrd Polar Research Institute, een onderdeel van Ohio State University. 'We begonnen klein en we proberen onszelf te bedruipen,' zegt hij. 'Daardoor zijn we flexibel. We hoeven niet in de rij te staan voor een analyse van boorkernen of voor materialen. En we hebben onze eigen werkplaatsen waar we alles maken.'

Het team van Thompson bouwde zijn eigen lichtgewicht boren en fotovoltatische generatoren, want de enige manier om de juiste uitrusting de lange hellingen van 's werelds hoogste bergen op te krijgen is te paard. En ze hebben hun eigen vier massaspectrometers die 24 uur per dag, 365 dagen per jaar, werken om de monsters te analyseren die van over de

hele wereld worden binnengebracht. Thompson vertrouwt de grote wetenschapsinstituten niet eens de zorg van zijn ijskernen na zijn dood toe. Van het prijzengeld dat hij de afgelopen jaren heeft gewonnen, heeft hij een trustfund opgericht om de vriezers voor altijd draaiende te houden.

Het feit dat hij onafhankelijk is betekent dat hij elk moment zijn koffers kan pakken en de wereld afreizen als er ergens een ijskern te halen valt. In 1997 maakte hij gebruik van een korte dooi in de diplomatieke betrekkingen tussen Moskou en Washington om naar Franz Josef Land in de Siberische Noordpool te reizen. Daar boorde hij 315 meter ijs uit de kap vlak bij een Russische militaire vliegbasis voor atoombommenwerpers, en hij kreeg de piloten zover dat ze die voor hem naar Moskou vlogen. Meer recentelijk, na jaren traineren door de Tanzaniaanse autoriteiten, ging hij met zijn boorkit op een toeristische vlucht naar Dar es Salaam en smoesde zich een weg naar de Kilimanjaro om belangrijk materiaal over de teloorgang van de ijskap daar te verzamelen.

Thompson heeft zijn halve leven met zijn ijspik, ijskrappen en boren de Andes en de Himalaya beklommen, hij is naar Tibet en de Russische poolstreek geweest, naar Alaska en Oost-Afrika. Weer terug in Columbus onderzocht hij het ijs en de luchtbellens daarin op tekens van stof, metalen, zouten en zuurstof- en koolstofisotopen, die op hun beurt niet alleen de temperatuur verraadden, maar ook het komen en gaan van El Niño's, bosbranden, droogtes en moessons.

Zijn eerste liefde, zegt hij, is Quelccaya, de eerste ijskap die hij in Peru beklom met John Mercer. Daar kan hij de hele wereld zien evolueren, zegt hij, van de wederopkomst van El Niño's in de Stille Oceaan rond 5500 jaar geleden, tot de decennialange droogte die een einde maakte aan het precolumbiaanse Moche-rijk, van de eerste tekenen in de tropen van de kleine ijstijd, tot de recente vingerafdruk van de opwarming van de aarde. Daar, en ook elders in de tropen, heeft hij een 'stofpiek' in het ijs gevonden die laat zien

dat er 4200 jaar geleden stofstormen over de tropen raasden – een kennelijk teken van een plotselinge, haast wereldwijde megadroogte.

Wat de glaciologen het meest intrigeert is dat Thompson met zijn ijskernen van over de hele wereld een tot dan toe onbekend patroon heeft ontdekt met betrekking tot de formatie van gletsjers in de tropen. Die formatie schijnt onafhankelijk te zijn van het grote aangroeien en afsmelten van de ijskappen in de poolstreken en uitsluitend samen te hangen met de breedtegraad, te beginnen op het zuidelijk halfrond dicht bij de Steenbokskeerkring, waar – in Bolivia – aanwijzingen zijn gevonden dat zich 25.000 jaar geleden gletsjers begonnen te vormen. Alsof de klok erop gelijk was gezet, begonnen zich vervolgens andere gletsjers te vormen, en een voor een verschenen ze in Peru en Ecuador. Daarna, 12.000 jaar geleden, werd een continent verder naar oosten, maar volgens hetzelfde noordwaartse traject, een ijskap gevormd op de top van de Kilimanjaro, die op de evenaar ligt. Weer verder naar het noorden, in de Himalaya, begonnen pas 8000 jaar geleden gletsjers te groeien ter hoogte van de Kreeftskeerkring. Over heel die drie continenten was de gletsjerformatie volstrekt ongevoelig voor de lengtegraad of de evenaar of wat dan ook. De breedtegraad was allesbepalend.

Hoe kwam dat? Thompson heeft die uitzonderlijke voortgang gekoppeld aan de onregelmatigheid in de aardbaan die precessie wordt genoemd en die ervoor zorgt dat de plaats waar de aarde het sterkst door de zon wordt verwarmd geleidelijk aan naar het noorden of het zuiden opschuift. Het gaat om dezelfde trage wiebel die de Afrikaanse moesson boven de Sahara in stand hield, omdat de zon toen, in het vroege holoceen, recht boven dat gebied stond, terwijl later de regens ophielden omdat hij van positie veranderde. In de tropische gebergten, zegt Thompson, begonnen in het algemeen de gletsjers te groeien toen de zon op zijn felst was. De zonnestraling was in het begin van die periode het meest intens boven de Steenbokskeerkring en daarna verplaatste de

zone van meest intense opwarming zich naar het noorden, om te eindigen op de Kreeftskring.

Dat lijkt vreemd, op het eerste gezicht. Waarom zouden er gletsjers ontstaan als de zon op zijn felst is en de temperatuur het hoogst? Thompson heeft een eenvoudige verklaring. De zone van maximale zonneschijn in de tropen is ook de zone van maximale regenval, en dat betekent in de hoogste bergen de zone van maximale sneeuwval. Op die hoogte, zegt hij, is het altijd koud genoeg geweest voor de vorming van gletsjers. Dus de temperatuur is het punt niet. Waar de hooggelegen valleien vaak gebrek aan hadden was vocht om de groei van de gletsjers te voeden. De zon bracht het vocht en daarmee de sneeuw en de gletsjers.

Wat moeten we hiermee? Velen zouden betogen dat heel het scala van natuurlijke variatie in het tropische klimaat die Thompson aan het licht heeft gebracht de geruststelling biedt dat de aarde en de menselijke maatschappij wel eerder klimaatverandering hebben doorstaan. Maar Lonnie niet. Zijn analyse brengt verborgen drempels in het klimaatsysteem aan het licht, zegt hij. Als je die verstoort, slaat het hele systeem op hol, met grote afkoelingen of opwarmingen, grote droogtes en El Niño's die eeuwenlang ofwel op volle sterkte razen, of volledig worden uitgeschakeld. 'Moeten we ons niet evenveel zorgen maken dat de kooldioxide ons over een drempel heen jaagt?' Als dat gebeurt, zegt hij, 'krijgen we geen geleidelijke klimaatverandering, zoals voorspeld, maar een abrupte verandering.'

Thompson volgt bezorgd de smelting van zijn gletsjers als gevolg van het moderne klimaat. In 1976 boorde hij in het ijs op de top van de Quelccaya. Vijftienhonderd jaar lang was er elk jaar een laagje ijs afgezet. Toen hij in 1991 terugkeerde om zijn gegevens te updaten, zag hij dat de jaarlijkse aangroei was gestopt en dat de bovenste 20 meter van het ijs waren weggesmolten – een overduidelijke aanwijzing voor een recente, plotselinge verandering in de toestand van een oeroude ijskap. In de vallei daaronder trekt de grootste glet-

sjer van de Quelccaya, de Qori Kalis, zich met 150 meter per jaar terug en heeft sinds 1963 een vijfde van zijn oppervlak verloren. In Peru is in dertig jaar een kwart van het ijsoppervlak verdwenen. Op een andere plek in de Andes heeft de Chacaltaya-gletsjer in de jaren 1990 twee derde van zijn ijs verloren, en Venezuela is sinds 1975 vier van zijn zes gletsjers kwijtgeraakt.

In Afrika is in negentig jaar 80 procent van het ijs op de Kilimanjaro weggesmolten. Mount Kenya heeft sinds 1900 zeven van zijn achttien gletsjers verloren en het merendeel van het ijs in het Rwenzorigebergte tussen Oeganda en Congo is ook weg. In Nieuw-Guinea, aan de andere kant van de Indische Oceaan, is de West Meren-gletsjer aan het eind van de jaren 1990 geheel verdwenen en is zijn nabuur, de Carstensz, in zestig jaar 80 procent gekrompen. Thompson heeft dezelfde trends gesignaleerd in de Himalaya en in Tibet. 'Vrijwel alle tropische gletsjers trekken zich terug,' zegt hij. Op sommige plaatsen kunnen het lokale factoren zijn. Soms is verminderde sneeuwval de boosdoener. Maar hij stelt beslist dat sneeuwval op grote hoogte weliswaar cruciaal is voor het ontstaan van gletsjers, maar zelden een doorslaggevende factor in hun verdwijning, want die begint lager op de helling. Wereldwijd gezien, zegt hij, is er geen andere verklaring voor het alom verdwijnen van de gletsjers dan de opwarming van de aarde.

Thompson denkt dat hij nog maar net begonnen is met het aanboren van het potentieel van zijn ijskernen om vragen over de tropen te beantwoorden. Hij wil in het ijs boren dat zich nog op de Nevado del Ruiz bevindt, een vulkaan in Noord-Colombia. De berg explodeerde in 1985 en verzwolg 20.000 mensen in een modderlawine. 'Ik denk dat we kunnen achterhalen hoe vaak die vulkaan uitbarst,' zegt hij. Hij trekt zich kennelijk niks aan van de risico's die zo'n expeditie met zich meebrengt. Hij denkt dat het ijs van de Quelccaya de geschiedenis bevat van de branden en droogtes in het nabije Ama-

zonegebied. En hij kijkt naar stof uit China dat zich in het ijs van Alaska heeft verzameld. Dat verraaft al een geschiedenis van het gebruik van pesticiden in China en kan uiteindelijk aan het licht brengen of stof uit Azië, naast stof uit de Sahara, de bodem van Noord- en Zuid-Amerika heeft bemest.

Door de verborgen klimaatgeschiedenis van de tropen aan het licht te brengen heeft Thompson de klimatologie bevrijd van een ongezonde fixatie op de gebeurtenissen dicht bij de thuisbasis van de onderzoekers – de noordelijke Atlantische Oceaan. ‘Een belangrijke reden waarom we denken dat Groenland en dat soort plaatsen zo belangrijk zijn voor het wereldklimaat, is dat daar zoveel research is gedaan – en dat komt voornamelijk omdat het makkelijker is om daarheen te gaan dan naar Tibet of Patagonië.’ Hij denkt dat die fixatie op het bekende de onderzoekers afleidt van de plek waar de echte klimaatactie is: in de tropen, in de wereld van El Niño en de Aziatische moesson en de megadroogtes en de dramatische feedbacks die de Sahara drooglegden. Dat alles beschouwt hij als ‘minstens zo belangrijk als de dingen die Wally Broecker heeft bekookstofd in de noordelijke Atlantische Oceaan’.

Voor Thompson is het altijd zo klaar als een klontje geweest dat ‘het wereldklimaat wordt aangedreven door de tropen’. Het grootste oppervlak van de aarde ligt in de tropen, zegt hij. ‘Daar bereikt het merendeel van de warmte de aarde en vandaar wordt die over de aarde verspreid. Dat is de thuisbasis van grote klimaatsystemen als de moesson en El Niño.’ Hij betoogt dat echte wereldwijde klimaatprocessen alleen kunnen beginnen op plaatsen waar warmte en vocht zowel naar het noorden als naar het zuiden worden gedistribueerd. Er kunnen wel feedbacks werkzaam zijn in de noordelijke Atlantische Oceaan, maar de grote drijfveren liggen in de tropen.

Thompson heeft zijn eigen helden. Mercer is er een van. Een andere is James Croll, de Victoriaanse Schot van lage komaf

die zich in leven hield met baantjes als kelner, conciërge en timmerman om de astronomische krachten achter de ijsstijden te kunnen onderzoeken. En Thompson heeft een simpel advies voor jonge wetenschappers: ga je eigen weg. 'Ga ergens naartoe of doe iets waar nog nooit iemand aan gedacht heeft.' Academici van de verkeerde kant van het spectrum zouden zich comfortabel genesteld hebben in een baan aan de universiteit en dankbaar zijn geweest voor hun sociale vooruitgang. Maar niet Lonnie. Hij doet onderzoek op de moeilijke manier. 'Op een van die tochten zaten we drie maanden op de Quelccaya. We moesten de ijskernen met de hand in 6000 monsters zagen, ze op onze rug naar beneden sjouwen en vervolgens smelten en het water in met was afgesloten flessen doen.' Bij een andere gelegenheid kwam hij in Nieuw-Zeeland aan een touw te hangen boven een ravijn van 600 meter diep.

Jaren geleden overleed een student van Thompson aan de gevolgen van hoogteziekte. Zijn vader deed hem een proces aan. Dat doet nog steeds pijn. Thompson zou de laatste hoogleraar op aarde zijn om zijn studenten ergens naartoe te sturen waar hij niet zelf heen zou gaan. Hij is nog steeds bereid maandenlang onder een tentdoek in de vrieskou te bivakkeren en lucht in te ademen zo ijl dat het pijn doet aan je longen. Hij was pas zestig geworden toen we elkaar ontmoetten, en hij was net terug van zijn tweejaarlijkse trip naar de Andes. In zijn agenda stonden tochten naar de top van de Kilimanjaro en naar de 'maanbergen' in Centraal-Afrika. Hij had plannen voor expedities naar de laatste gletsjers van Nieuw-Guinea en een Siberisch eiland in de nabijheid waarvan 5000 jaar geleden de laatste mastodont van de kou was omgekomen.

Hij vertelde me dat hij dacht dat zijn technieken ooit van nut konden zijn om de resten van leven in de ijskappen op Mars te achterhalen. En ik zweer dat zijn ogen oplichtten toen ik opperde dat hij misschien de eerste passagier zou zijn op een vlucht naar de Rode Planeet.

29 De vloek van Akkad

De vreemde revival van het ecologisch determinisme

Rond 4200 jaar geleden werd het grootste imperium ter wereld geregeerd door Sargon, de despotische maar anderszins ongewone heerser van het Akkadische rijk. Sommigen zeggen dat dit het eerste echte imperium in de wereld was. Het lijkt zeker een heel nieuwe maatschappijvorm te zijn geweest, ontstaan uit voorheen autonome stadstaten op de alluviale vlakten van de Tigris en de Eufraat in Mesopotamië, het tegenwoordige Irak. De heerschappij van het rijk strekte zich uit van de oorsprong van die twee rivieren in het moderne Turkije tot over het grootste deel van Syrië en zuidwaarts helemaal tot aan de Perzische Golf. Maar het rijk van Sargon bestond nog maar ongeveer een eeuw toen het opeens ineens stortte. Aanvankelijk dachten de archeologen dat dit kwam door een invasie van barbaarse horden uit de omringende gebergten. Maar een energieke veldarcheoloog, een zekere Harvey Weiss van Yale University, ondergroef die gemakzuchtige theorie – en veranderde daarmee grotendeels onze visie op het ontstaan en verdwijnen van beschavingen in het verleden.

Aan het eind van de jaren 1970 ontdekte Weiss in Syrië, dicht bij de grens met Irak, een ‘verloren stad’ onder het woestijnzand. Gedurende meer dan tien jaar groef hij de resten op van de nederzetting die Tell Leilan heette. Uit de stukjes en beetjes reconstrueerde hij de geschiedenis van een strak georganiseerde stad die in de loop van duizend jaar was uitgegroeid van een klein dorp tot een welvarende buitenpost van het Akkadische rijk. Maar er was een raadsel. Het scheen dat de stad driehonderd lang verlaten was geweest en dat

de straten toen gevuld waren met door de wind aangevoerd stof.

Hij koppelde de informatie over Tell Leilan aan een tekst in spijkerschrift uit die tijd, die de titel droeg 'De Vloek van Akkad'. Daarin werd een grote droogte beschreven waardoor de landbouwgronden van Noord-Mesopotamië grotendeels abrupt werden verlaten. De graanschuren raakten leeg, de fruitbomen stierven in de boomgaarden en zelfs de vissen trokken met het opdrogen van de rivieren naar elders. Vluchtelingen gingen naar het zuiden en de inwoners van Zuid-Mesopotamië bouwden een muur van 180 kilometer om ze tegen te houden. Voorheen hadden de archeologen 'De Vloek van Akkad' altijd afgedaan als een mythe. Het idee dat veranderingen in het klimaat en het milieu de sociale ontwikkeling beïnvloedden was totaal uit de mode. De heersende zienswijze was dat de politiek, de economie, oorlogen en dynastieën, rijken konden maken en breken en dat het klimaat alleen maar een meer of minder aangenaam decor was.

Weiss was er echter van overtuigd dat alleen een grote klimaatverandering een neergang die driehonderd jaar duurde kon verklaren. Daarna verbeterde het klimaat kennelijk weer zover dat de vlakten opnieuw bevolkt werden. Toen hij zijn bevindingen publiceerde, wekten ze consternatie in de archeologische wereld, maar grote belangstelling onder klimatologen. Van wie Peter deMenocal van het Lamont-Doherty Laboratory niet de minste was. 'Na de publicatie van Weiss beleefde het ecologisch determinisme een enorme revival,' zegt hij. Vooral toen bleek dat de stofstormen van Mesopotamië onderdeel waren van een weidser proces van verdroging in het hele Midden-Oosten en elders, waaronder ook andere samenlevingen waren bezweken.

In New York werkte deMenocal samen met zijn studente Heidi Cullen aan een analyse van mariene sedimenten die uit de bodem van de Golf van Oman, 2500 kilometer ten zuiden van Tell Leilan, geboord waren. Ze besloten te zoeken naar tekenen van stofstormen in de kernen. 'We dachten dat het

stof daarin zichtbaar moest zijn en Heidi begon ze te doorzoeken. Het was heel nauwkeurig werk en om eerlijk te zijn stond ze op het punt het op te geven. En pats-boem! Op een dag vond ze het. De 300-jarige laag stof van 4200 jaar geleden, en het meeste daarvan kwam duidelijk uit Mesopotamië. We stuurden het naar Harvey en hij was in de wolken.'

Het nieuws deed als een lopend vuurtje de ronde. Lonnie Thompson en zijn team keken opnieuw naar hun tropische ijskernen en vonden soortgelijke lagen zwart stof. Toen ik hem ernaar vroeg lichtten zijn ogen op. 'Het was een enorme wereldwijde stofpiek,' zei hij. In het ijs op de top van de Kilimanjaro in Oost-Afrika komt maar één 'stofpiek' voor in de hele 12.000-jarige geschiedenis. En die valt precies op 4200 jaar geleden, zei hij. Aan de andere kant van de aarde tegenover Syrië, op de Quelccaya in Peru, zit op precies dezelfde tijdlaag in de ijskernen 'de grootste stofafzetting uit een geschiedenis van 17.000 jaar'. De neerslag van stof op de gletsjer was honderd keer hoger dan normaal. 'En hij is ook te zien in het Aziatische moessongebied van de Himalaya,' zegt Thompsons stofdeskundige Mary Davis.

Van het Vanmeer in Turkije tot de Dode Zee in Palestina, en in de Afrikaanse meren van Kenia tot Marokko, zakte de waterspiegel 4200 jaar geleden tientallen, ja zelfs honderden meters. Overal gingen beschavingen ten onder. In Egypte vond de desintegratie plaats die de overgang markeerde van de oude naar de middenrijken. 'De inscripties op de graven van de farao's getuigen van een expansie die duurde tot 4200 jaar geleden, toen er droogtes kwamen en volksverhuizingen, en toen zandduinen de Nijl overstaken,' zegt Thompson. In Palestina was de situatie nog erger volgens Arie Issar, een Israëlische hydroloog en auteur van een gedetailleerde studie over klimaatverandering en beschavingen in de regio. De waterspiegel van de Dode Zee zakte 100 meter. 'Alle stedelijke centra werden verlaten en de steden, die honderden jaren oud waren, vielen in puin. Pas vijfhonderd jaar later werden ze weer bewoond.' Verder naar het oosten, in de Indusvallei

van het huidige Pakistan, bezweken de stedelijke centra van de Harappan-beschaving in dezelfde tijd.

Wat was de oorzaak van dit alles? Niemand weet het zeker. Jeffrey Severinghaus van het Scripps Institution of Oceanography in California heeft voor een stofsignaal van 4200 jaar geleden in de Groenlandse ijskernen aanwijzingen gevonden om van te watertanden. Maar in plaats van meer stof dan daarvoor, vond hij juist minder. Er was tevens een vermindering van het zeeijs in de noordelijke Atlantische Oceaan. Dat werd geïnterpreteerd als een aanwijzing voor een verandering in de oceanische transportband. Dreef de transportband van Broecker de zaak weer eens aan? Op het eerste gezicht lijkt dat niet waarschijnlijk. Want het ziet ernaar uit dat bij die gelegenheid, net als bij de vorige grote klimaatstoring van 5500 jaar geleden, de gebeurtenissen in het noorden louter randverschijnselen waren van veel grotere gebeurtenissen in de tropen.

Peter deMenocal beschouwt dat als een extra aanwijzing dat klimaatomschakelingen evenzeer in de tropen als aan de polen op de loer liggen. Een overwinning voor de tropische school? Misschien. Richard Alley zoekt alweer naar een compromis. Misschien, zegt hij, waren de feedbacks van de Noordpool het sterkst tijdens en direct na de ijstijden, maar boetten ze aan invloed in toen het grootste deel van het ijs gesmolten was. Op zijn minst tijdens het hoogtepunt van het holoceen zullen het de tropen zijn geweest die de meeste invloed hadden. Maar als dat juist is, wat drijft de feedbacks van de tropen dan aan? Waar zijn de tropische equivalenten van Broeckers transportband, van Alley's 'zink-of-bevries'-schakelaar en Juergen Mienerts clathraatkanon?

30 Een brok koraal

Op zoek naar het verborgen leven van El Niño

Er zijn onderzoekers die het nuttige met het aangename weten te verenigen. Voor Dan Schrag geen zware tochten naar de ijle, koude lucht van de tropische gletsjers. In 1997 maakte hij zijn vierde reis naar de paradijselijke eilanden van Oost-Indië, op zoek naar oude koralen. Op een dag slenterde hij over het strand van het eiland Bunaken, een piepklein atolletje voor de kust van het Indonesische eiland Sulawesi. ‘We hadden net een goddelijke duik gemaakt en een enorme school barracuda’s gezien,’ vertelt hij. ‘We gingen lunchen en ik maakte een strandwandeling achter de mangrove. Het was de laatste dag van mijn reis. We hadden niets bruikbaar gevonden en ik maakte me op om naar huis te gaan. Toen zag ik die massieve koraalkop op het strand, ongelooflijk goed geconserveerd.’ Hij hakte er een stuk uit en stapte op zijn vliegtuig.

In het laboratorium van Harvard ontdekte Schrag dat die gefossiliseerde brok koraal 12.500 jaar oud was en vijftien-zestig jaarringen bevatte uit die periode, wat hem een klein ‘venstertje’ verschafte op het klimaat in de westelijke Stille Oceaan van vóór de laatste ijstijd. ‘Het was een fantastische ontdekking,’ zei hij. ‘Ik heb echt heel erg veel geluk gehad.’ De koraal die hij had gevonden was het eerste stuk ooit gelokaliseerd dat groot genoeg was en goed genoeg geconserveerd om een duidelijke blik te vergunnen op oeroude El Niño’s. Meer nog, zegt Schrag, hij is afkomstig uit een streek die in ‘het oog’ van El Niño ligt, midden in Indonesië. Zijn lastminute-vondst zorgt er mede voor dat we een andere kijk krijgen op de rol van El Niño’s in het klimaatsysteem.

Tot voor kort beschouwden de klimatologen El Niño als een kleine verstoring in de tropische Stille Oceaan die slechts een vluchtige invloed had op de rest van de wereld. Maar in de afgelopen twintig jaar is hij de vijfde ruiter van de Apocalyps geworden: hij heeft verwoestende overstromingen, branden en hongersnoden gebracht, van Ethiopië tot Indonesië tot Ecuador, en hij heeft over de hele wereld voor uitzonderlijk weer gezorgd. Hij komt steeds vaker voor en zijn invloed is heftiger en langduriger. Zijn huidige niveau van activiteit kent zijn weerga niet in de geschiedenis. Maar de geschiedenis van het weer gaat niet zo ver terug, dus niemand weet zeker of dit een volkomen normale ontwikkeling is of een alarmerend gevolg van de wereldwijde klimaatverandering. De koraal van Schrag kan helpen bij het vinden van een antwoord. Die vormt een krachtige indicatie dat de opwarming van de aarde een diepgaand effect heeft op wat de klimatologen zijn gaan beschouwen als het vliegwiel van het wereldklimaat.

El Niño is een periodieke omkering van oceaanstromingen, windrichtingen en weersystemen in het equatoriale gebied van de Stille Oceaan, dat de helft van de aarde omspant daar waar de omtrek het grootst is. Hij distribueert de warmte en de energie in het heetste deel van de wereldzeeën en treedt in werking als de gewone circulatiesystemen de boel niet langer aankunnen. Normaal stromen de lucht en het oppervlaktewater van de tropische Stille Oceaan als gevolg van de rotatie van de aarde van Amerika in het oosten naar Indonesië in het westen. In de tropische hitte warmt het water onderweg op. Het resultaat is een geleidelijke opbouw van warm water aan het oceaanooppervlak rond Indonesië. Daar kan het water wel 8 graden C warmer zijn dan aan de andere kant van de oceaan en meer warmte-energie bevatten dan de hele atmosfeer. Al die warmte veroorzaakt stormwolken die de regenwouden van Zuidoost-Azië vochtig houden.

Maar de constante stroom naar het westen drijft het water ook op. Gevangen in de Indonesische archipel stijgt de

warme poel soms wel tot 40 centimeter boven de zeespiegel verder naar het oosten. Het is duidelijk dat die toestand niet blijvend is. En om de paar jaar, meestal als de wind gaat liggen, breekt die hoge poel van warm water los en stroomt langs de evenaar aan de oppervlakte van de oceaan terug. Met het oostwaarts stromende warme water volgen de winden en de weersystemen die daardoor worden gecreëerd. Dat is El Niño.

Verstoken van hun regenbrengende weersystemen verdrogen Indonesië en een groot deel van het land in de westelijke Stille Oceaan, waaronder een flink stuk van Australië. Er komen bosbranden en de gewassen verdorren op het veld. Intussen overspoelen de oostwaarts getrokken natte en stormachtige weersystemen de normaal droge Pacifische eilanden met regen en bereiken vaak de kustwoestijnen van Amerika. Deze enorme verplaatsing van water en vocht zendt rimpels over de hele aarde, die naar het westen door de Indische Oceaan lopen, waar ze de moesson verstoren en in Afrika regen of droogte brengen, afhankelijk van het jaargetijde. En ze lopen naar het oosten. Voorbij de plenspartijen op de Pacifische kust van Amerika brengt El Niño droogte in het Amazoneregenwoud. Zijn onzichtbare hand wijzigt de stroming van de Nijl, brengt regen in de heuvels van Palestina en dempt de vorming van orkanen in het noorden van de Atlantische Oceaan.

Een gemiddelde El Niño duurt twaalf tot achttien maanden. Nadat hij is weggeëbd, schakelt het systeem meestal abrupt om en wordt het uitzonderlijk nat in Indonesië en kurkdroog verder naar het oosten. Dat wordt La Niña genoemd. El Niño en zijn zus vormen samen een gigantische oscillatie van de oceaan en de atmosfeer die in de afgelopen jaren de heftigste fluctuatie in het wereldklimaatstelsel is geweest.

De wetenschappers werden zich voor het eerst in de negentiende eeuw bewust van de oscillatie die we nu El Niño noemen. Maar ze wisten nooit tot hoever terug in de tijd El Niño gaat. Is het een permanent verschijnsel van het klimaatstelsel?

teem of een aberratie? Vertoont het een variatie op lange termijn die gekoppeld is aan de verandering van het klimaat? Komt de Stille Oceaan ooit 'vast' te zitten in een permanente El Niño of La Niña?

Betrouwbare informatie over het klimaat en de oceanen gaat maar een paar eeuwen terug. Om verder de geschiedenis in te duiken moeten we andere bronnen van informatie aanboren. Met dat doel groef Donald Rodbell van Union College in Schenectady, New York, in de bedding van een meer in Zuid-Ecuador om de overstromingen in kaart te brengen, in de verwachting dat die net als tegenwoordig samen zouden hangen met El Niño's. In 1998 publiceerde hij zijn gegevens over 12.000 jaar van overstromingen van het meer. Die toonden aan dat ze in de eerste helft van die periode ruwweg om de vijftien jaar kwamen, wat wijst op een vrijwel slapende El Niño. Maar daarna neemt de frequentie abrupt toe, tot een gemiddelde van om de zes jaar ongeveer – het klassieke patroon van El Niño's tot voor kort. Dat patroon wordt bevestigd door Lonnie Thompsons ijsboringen in nabijgelegen gletsjers.

De verandering van vijftien naar zes jaar in de frequentie van het overstromingspatroon lijkt samen te vallen met dezelfde precessie van de aardas die ook de Sahara tot een woestijn maakte en die de tropische gletsjers deed oprukken waar Thompson melding van maakte. Dat was een belangrijke doorbraak, waarbij langetermijntrends van El Niño werden gekoppeld aan een cruciaal aandrijfmechanisme in het wereldklimaatstelsel. El Niño was niet langer een kortetermijnscyclus die zich in de loop van een paar maanden afspeelde in één oceaan, maar had een wereldwijde betekenis op lange termijn. En toen kwam het brok koraal van Schrag.

Met behulp van isotopenanalyse ontdekte Schrag een El Niño-sigitaal in zijn brok aangespoelde koraal. Bij het verdampen van water zijn het de lichtere zuurstofisotopen – zuurstof-16 – die het snelst de lucht in gaan, waardoor het zeewater op den duur relatief meer van het zwaardere

zuurstof-18 bevat. Als het regent, keert de zuurstof-16 naar het zeewater terug. Dus in de Indonesische archipel bevat zowel het zeewater als het koraal tijdens El Niño's, wanneer de regen wegblijft, meer zuurstof-18. Schrag mat de relatieve hoeveelheid van de twee zuurstofisotopen in de vijftienjarige jaarringen van zijn oude brok koraal. Hij vond twee belangrijke dingen. Ten eerste vond hij dat er in die tijd inderdaad een El Niño-cyclus was. Dat betekende dat het verschijnsel al vóór de laatste ijstijd bestond en het bevestigde het vermoeden dat het een permanent aspect is van het klimaatstelsel. En ten tweede ontdekte hij dat de El Niño-cyclus exact hetzelfde leek als in de moderne periode van het midden van de negentiende eeuw tot halverwege de jaren 1970, waarin El Niño gemiddeld om de zes jaar terugkeerde. Dat bevestigde het idee dat zes jaar de natuurlijke periode is van de cyclus – en dat maakt de periode na 1976, waarin El Niño gemiddeld om de 3,5 jaar komt, des te ongebruikelijker.

Het gevoel dat El Niño misschien wel fundamenteel is veranderd in de afgelopen dertig jaar wordt nog versterkt door een andere waarneming. De oudste gegevens over het fenomeen El Niño zijn afkomstig van de Zuid-Amerikaanse Stille-Oceaan kust, waar normaal een koude stroming noordwaarts gaat met water dat rijk is aan voedingsstoffen en dat een van de grootste visgronden ter wereld, voor de kust van Peru, in stand houdt. Maar tijdens El Niño's wordt deze koude stroom tijdelijk weggedrukt door de toevloed van warm water uit het westen en trekt de vis weg. Dat is het klassieke patroon. Sinds 1976, echter, is de basistoestand veranderd. De koudere stroming is naar een grotere diepte gedrukt, ook in normale tijden. Het oceaansysteem schijnt nu vast te zitten in een quasi permanente El Niño-toestand.

Wat zit er achter deze recente veranderingen? Sommigen zeggen dat El Niño alleen maar voor korte tijd aan de zwier is gegaan. Ze wijzen erop dat er altijd periodes zijn geweest waarin het weersysteem ongewoon rustig of druk of simpelweg bovennatuurlijk was. Schrag zegt dat dat moeilijk de

recente gebeurtenissen kan verklaren. In het artikel over zijn vondst op Sulawesi zei hij: 'In 1982-83 hadden we de ergste El Niño van de twintigste eeuw. Op grond van historische gegevens zou je een andere El Niño van die kracht pas weer over honderd jaar verwachten. Maar 15 jaar later, in 1997-98 hadden we een nog grotere.' En sindsdien, in 2002 en 2004, zijn er nog twee kleinere El Niño's geweest, niet zulke krachtige als daarvoor, maar ze komen steeds vaker voor.

Kevin Trenberth, hoofd van de afdeling klimaatanalyse bij NCAR, was een van de eerste onderzoekers die beweerden dat de Stille Oceaan na 1976 in een ongebruikelijke toestand was gekomen. Hij denkt dat de recente vloed van krachtige en frequente El Niño's wel eens het gevolg zou kunnen zijn van ingrijpen door de mens. Het lijkt erop dat de opwarming van de aarde, die pas in de jaren 1970 echt op gang kwam, zoveel warmte genereert in de tropische Stille Oceaan dat het oude 'vliegwielpatroon', waarbij El Niño's zo nu en dan de warmte verdelen die zich rond Indonesië ophoopt, de hoeveelheid energie niet meer aankan.

Men heeft met modellen de theorie getest en de uitkomsten zijn interessant. Mojib Latif van het Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg heeft het eerste wereldwijde klimaatmodel ontwikkeld dat gedetailleerde genoeg is om een El Niño te reproduceren. Zijn model voorspelt dat het klimaat in de eenentwintigste eeuw gemiddeld meer zal lijken op de gemiddelde El Niño-condities van de twintigste eeuw. Koude La Niña's zullen nog steeds af en toe voorkomen en kunnen zelfs intenser zijn. Maar het worden 'uitbraken', terwijl de 'normale' toestand meer El Niño-trekjes zal krijgen.

Het zou verkeerd zijn te veronderstellen dat de wetenschap het raadsel van El Niño nu helemaal gekraakt heeft. Er zijn nog veel mysteries. In elk geval zou het een grove simplificatie zijn te denken dat een krachtige El Niño noodzakelijk gepaard gaat met warme tijden. Het koraal van Schrag, evenals andere gegevens, wijst erop dat El Niño gewoon doorging in de laatste ijstijd, toen zelfs in de westelijke Stille Oceaan

de temperatuur verscheidene graden lager was dan nu. Er zijn zelfs aanwijzingen dat El Niño's vaker voorkwamen in de koudere fase van de ijstijd, terwijl La Niña's de boventoon voerden in de warmere perioden. Ook namen de El Niño's in het warme begin van het holoceen, ruim 6000 jaar geleden, af en herstelden ze zich in een koelere periode.

El Niño is duidelijk geen simpele planetaire thermostaat. Maar zijn werking kan in het verleden meer te maken hebben gehad met veranderingen in de zonnestraling die hun weerslag hadden in een gewijzigde watercirculatie van de tropen dan met temperatuurschommelingen. Je kunt je een klimaatstelsel voorstellen waarin die veranderingen op verschillende tijdstippen verschillende temperatuursignalen afgeven. Pogingen om El Niño's te koppelen aan temperatuurtrends is misschien dan ook niet zo'n goede leidraad om tot een beter begrip te komen van wat er gebeurt in een wereld met hogere concentraties broeikasgassen.

Wat echter wel duidelijk wordt, is dat El Niño een verschijnsel is dat fundamentele planetaire processen beïnvloedt, zoals de distributie van grote hoeveelheden warmte en vocht vanuit de tropen. Dat het in grote golven komt met tussentijden variërend van maanden tot duizenden jaren. Dat het zijn visitekaartje op verschillende manieren over de hele aarde achterlaat. En dat de variabiliteit van het verschijnsel schijnt samen te hangen met cruciale externe factoren die het klimaat in het verleden beïnvloedden, zoals de precessie van de aardas en de 1500-jarige zonnecyclus van Bond. En reken er ook maar op dat het een even belangrijke rol speelt in het temperen of juist versterken van de opwarming van de aarde als gevolg van broeikasgassen. Nog niet duidelijk is welke kant het op zal springen.

Misschien dat de wetenschappers eens even hun modellen aan de kant moeten zetten en naar kennis over El Niño zoeken bij de Peruaanse boeren die al duizenden jaren aardappelen verbouwen in de hoge Andes. In die tijd zijn de El

Niño's sterker en zwakker geworden, frequenter en minder frequent, en al die tijd hebben ze de kweek van aardappelen beïnvloed. Al eeuwenlang komen de boeren half juni (winter op het zuidelijk halfrond) bijeen om in de nachtelijke hemel boven de Andes te kijken naar het uit elf sterren bestaande sterrenbeeld Pleiaden, ofwel de Zeven Zusters. Als de sterren helder schijnen, gaan ze de aardappelen vroeg poten, in het volste vertrouwen dat er voldoende regen komt en dat ze een goede oogst krijgen. Als de sterren dof zijn, stellen ze het poten uit.

Jarenlang werd die volkswijsheid door landbouwingenieurs als bijgeloof afgedaan. Tot Mark Cane, een van de meest vooraanstaande modelmakers van El Niño het verhaal tijdens een tocht door de Andes van een gids hoorde. Nieuwsgierig controleerde hij de meteorologische gegevens en ontdekte dat er een halfjaar voor de komst van een El Niño altijd een haast onzichtbare sluierbewolking boven de Andes hangt die de sterren dof maakt. Dus een dof sterrenbeeld betekent een droge lente, terwijl een heldere hemel en een sprankelend sterrenbeeld goede regens voorspelt.

Het schijnt dat die boeren vele honderden jaren geleden een methode hadden geperfectioneerd die klimatologen zoals Cane pas in de afgelopen twintig jaar met vallen en opstaan hebben ontwikkeld – een manier om El Niño te voorspellen. Cane zegt dat de voorspelling van die Peruaanse boertjes beter is dan de zijne. 'Het is een briljant middel, werkelijk een hele prestatie. Ik vraag me nog steeds af hoe ze dat hebben uitgevogeld.' Misschien, overpeinst hij, hebben die Peruaanse aardappelboertjes de sleutel tot het raadsel van het wereldklimaat altijd al in handen gehad.

31 Eten voor Azië

Wat gebeurt er als de regen wegblijft?

Meer dan 3 miljard mensen ontvangen water en voedsel dankzij de Aziatische moesson. Het is de grootste regenmachine ter wereld – en mogelijk ook een van de gevoeligste voor klimaatverandering. Hij werkt uiterst simpel. Het is een enorme zeewind die over 's werelds grootste continent waait. In de winter wordt de uitgestrekte landmassa van Azië koud – bitter koud bij de ijskappen hoog in de bergen van Tibet, de grootste ijsstreek buiten de polen. Die koelt de lucht af. De lucht daalt, waardoor er droge, koude afluende winden gaan waaien over de Indische en Stille Oceaan. Negen maanden lang regent het vrijwel niet in Azië. Maar in de zomer warmt het land veel sneller op dan de zee. Warme lucht stijgt op en daarmee keert de wind om en gaat er een aanlandige wind van zee waaien. Ongeveer honderd dagen lang vallen in heel Azië de moessonregens. Rivieren treden buiten hun oevers, de irrigatiekanalen en de rijstvelden lopen vol en over het hele continent grijpen de rijstkwekers hun kans om het gewas te verbouwen dat de helft van de wereldbevolking voedt.

Als de moesson wegblijft, dan heeft dat vernietigende consequenties. Het is herhaaldelijk gebeurd in de negentiende eeuw. Britse koloniale bestuurders keken verbijsterd toe hoe tientallen miljoenen mensen stierven in de hongersnood van 1837-38, en opnieuw in 1860-61, 1876-78 en 1896-1902. De Aziatische moesson is de hele twintigste eeuw een ongedurig beest gebleven. Maar ondanks een tienvoudige toename van de bevolking in de meeste moessonlanden is het aantal slachtoffers als gevolg van hongersnood gedaald. Daar zijn veel verklaringen voor, en één is dat de regen betrouwbaar-

der was in de twintigste dan in de negentiende eeuw. Dat is goed nieuws. De vraag is: blijft dat zo? De afgelopen eeuw leek de Aziatische moesson een autonoom en onkwetsbaar systeem te zijn. Maar net als andere grote subsystemen van het wereldwijde klimaatsysteem heeft het misschien een achilleshiel. Als de moesson onbetrouwbaarder wordt in de eenentwintigste eeuw, dan zouden er wel eens grote problemen kunnen komen – voor 3 miljard mensen.

De kwetsbaarheid van de moesson in de afgelopen eeuwen schijnt verband te houden met twee andere onderdelen van het wereldwijde klimaatsysteem. Het ene is El Niño. Krachtige El Niño's schijnen in het verleden de Aziatische moessons te hebben uitgeschakeld. Britse koloniale wetenschappers ontdekten ruim een eeuw geleden dat de grote Indiase hongersnoden merendeels samenvielen met geprononceerde fluctuaties in de Stille Oceaan. Het schijnt dat El Niño's warmte onttrokken aan Azië, en daardoor boette de moesson aan kracht in. Maar recentelijk schijnt dat verband te zijn opgeheven. El Niño is intenser geworden zonder dat de Aziatische moesson is verzwakt. Het opheffen van het oude verband is zowel een wetenschappelijke verrassing als een humanitaire meevaller. Maar niemand weet waardoor het komt en of het blijvend is. Als het klimaatsysteem in de Stille Oceaan doet wat velen voorspellen en in de eenentwintigste eeuw de kant op gaat van een permanente, El Niño-achtige toestand, en als de moesson zijn voormalige relatie herstelt, dan zullen de regens in Azië vaker wegblijven dan komen. We hopen van niet, maar we weten het niet zeker.

Het tweede verband is met de Atlantische Oceaan. Dat werd op spectaculaire wijze aangetoond in 2003, toen Indiase en Amerikaanse onderzoekers data over een periode van 10.000 jaar verzamelden over de kracht van de Indiase moesson. Dat deden ze door gefossiliseerd plankton te tellen in oude mariene sedimenten voor de kust van India. Het plankton tiert welig wanneer krachtige moessons de voedingsstoffen naar boven halen waarvan ze leven. Ze vonden een

enorme variatie in de kracht van de moesson. En het onderzoek bevestigde dat, gemeten over periodes langer dan individuele El Niño-jaren, 'zwakke zomermoessons samenvallen met koudeperioden duizenden kilometers verderop in de noordelijke Atlantische Oceaan'. Aldus Anil Gupta van het Indian Institute of Technology in Kharagpur, die aan het project meewerkte. Krachtige moessons gaan hand in hand met warm water voor de kust van Europa en Noord-Amerika.

Het is al een tijdje bekend dat de Indiase moesson tijdens de laatste ijstijd was uitgeschakeld, maar waarschijnlijk flikkerde hij een paar keer korte tijd op tijdens de warme episodes binnen de ijstijd. Het nieuwe onderzoek toont aan dat de kracht van de moesson ook afhing van de schommelingen in het systeem van de Atlantische Oceaan tijdens het post-glaciale tijdperk – zo viel hij stil tijdens het Jonge Dryas en de koudeperiode van 8.200 jaar geleden. De veranderingen volgden duidelijk de 1500-jarige zonnepuls van Bond. Dus de moesson viel voor het laatst stil tijdens de kleine ijstijd in Europa, en die eindigde in de laatste decennia van de negentiende eeuw.

Maar hoe indrukwekkend dit patroon ook is, het verklaart niet hoe het verband met de Atlantische Oceaan precies werkt. Dikteert de Atlantische Oceaan wat de moesson doet? Dikteert de moesson de processen in de Atlantische Oceaan? Dikteert de zonnepuls van Bond beide? Of is er nog iets anders waar we geen rekening mee hebben gehouden? Hoe past El Niño hier bijvoorbeeld in?

Jonathan Overpeck van de University of Arizona, een van de auteurs van de geschiedenis van de moesson, beweert dat de Atlantische Oceaan de overhand heeft. Hij zegt dat een warme Noord-Atlantische Oceaan warmte met de wind mee naar het oosten zendt, waardoor Azië in de lente opwarmt, de Tibetaanse hoogvlakte snel dooit en de regendragende moessonwinden vroeg op gang komen. Maar als de Atlantische Oceaan koud is, 'dan verbruikt de grotere hoeveelheid sneeuw op de Tibetaanse hoogvlakte in de lente en in

het begin van de zomer alle warmte van de zon, omdat die gesmolten en verdampt moet worden voordat het land kan opwarmen.' Als hij gelijk heeft en als in de komende jaren de oceanische transportband stil komt te liggen, dan zouden de gevolgen voor Azië nog wel eens veel erger kunnen zijn dan voor Europa. 'De moesson zou kunnen afzwakken en er zou minder water zijn voor alle mensen die ervan afhankelijk zijn,' zegt Overpeck.

Maar de tropische school is het met die analyse niet eens. Die stelt dat zowel het afkoelen van de Atlantische Oceaan als het afzwakken van de moesson waarschijnlijk in gang gezet wordt door een veranderde opwarming van de tropen. Volgens deze theorie verzwakt een afkoeling van de tropen de moessonwinden en -regens, terwijl tegelijk minder warmte met de Golfstroom naar het noorden wordt gevoerd.

De theorieën van de polaire en de tropische school sluiten elkaar in dit geval niet uit. In feite vullen ze elkaar aan. Op dit moment echter biedt geen van de twee theorieën aan de mensen in India enig soelaas over wat er in de komende decennia met de Aziatische moesson gaat gebeuren. De opwarming van de aarde als gevolg van accumulerende broeikasgassen heeft misschien een heel ander karakter en heel andere gevolgen dan de door de zon gedomineerde scenario's in het verleden. De zaak wordt verder gecompliceerd doordat de opwarming zelf in heel het deel van Azië dat door de moesson wordt bestreken ernstig verstoord en soms helemaal uitgedoofd is door de aerosols in de bruine mist. Zoals we gezien hebben, heeft de mist de grootste invloed op de stralingsbalans tussen het landoppervlak en de lucht daarboven – een factor die van vitaal belang is voor de kracht van de moesson. De vrees bestaat dat de mist wellicht de seizoensgebonden opwarmingscycli tussen het land en de zee doorbreekt en de moesson uitschakelt. Dat is nog niet gebeurd, maar het zou kunnen. En hoe waardevol gereconstrueerde geschiedenissen van de Aziatische moesson ook mogen zijn, die puzzel zullen ze waarschijnlijk nooit kunnen oplossen.