



Artikel

Terra Incognita (VI)

Hoe is het gesteld met onze planeet? Een bloemlezing uit *Science & Nature*

Peter Tom Jones

Het uitgangspunt van deze vaste Oikos-rubriek is dat het Ecosysteem Aarde in een no-analogue state verkeert. Zowel de snelheid, de grootte als de ruimtelijke schaal van de menselijk veroorzaakte wijzigingen zijn zonder weerga in de geschiedenis van deze planeet – zodat er dus geen ‘analoog’ geval meer is waarmee men het huidige tijdvak kan vergelijken. We begeven ons op onbekend terrein. Deze rubriek besteedt daarom uitvoerig aandacht aan een aantal relevante milieuwetenschappelijke discussies. Ik beperk me daartoe tot de vaktijdschriften Nature (www.nature.com) en Science (www.sciencemag.org). Geenszins is het mijn betrachting een exhaustief overzicht te bieden van alle recente ontwikkelingen; wel is het een poging de aandacht van de lezer te vestigen op enkele markante evoluties. Deze kunnen hopelijk een ander licht laten schijnen op de wetenschappelijke én maatschappelijke onverantwoordelijkheid van ‘onredelijk milieuoptimisme’.

28

Uit *Science & Nature*, februari-april 2006

20 jaar Tsjernobyl

Op 26 april 1986 ontstond er een runaway kernreactie in Reactor 4 in Tsjernobyl. Hierdoor vond een catastrofale temperatuurstijging plaats in de kern van de reactor, wat nadien tot een afschrikwekkende ontploffing leidde. Ongeveer 6,7 ton radioactief materiaal verspreidde zich over een gebied van honderden kilometers rond de site. De twee belangrijkste elementen in de chemische cocktail waren jodium en cesium. Het was niet het eerste nucleaire ongeval. Enkele jaren voordien vond er al een ernstig incident plaats in Three Mile Island, Pennsylvania.

Tsjernobyl was echter een ander paar mouwen. Zoals te verwachten viel, traden de ergste gevolgen op binnen een straal van enkele tientallen kilometers rond de reactor, in het grensgebied rond Wit-Rusland, Rusland en Oekraïne. Vandaag, twintig jaar na de ramp, is er evenwel volstreekte onenigheid omtrent de netto balans van deze ‘allergrootste industriële catastrofe aller tijden’. In een samenvattend rapport, in september 2005 vrijgegeven door het VN-Tsjernobyl Forum en de regeringen van Wit-Rusland, Rusland en Oekraïne, stelde men dat er in totaal “niet meer dan 4000 slachtoffers” zouden vallen ten gevolge van de ramp. Die schatting creëerde een storm van protest bij milieubewegingen. Zij beschuldigen het Internationaal Atoomener-

gieagentschap (IAEA), dat instond voor de coördinatie van de publiciteit voor het rapport, van regelrechte wiskaspraktijken. En ook wetenschappers (bv. Elizabeth Cardis van het Internationaal Agentschap voor Kankeronderzoek in Lyon) wiens werk geciteerd werd in het rapport, stelden zich ernstige vragen bij de manier waarop hun cijfers gepresenteerd werden, aldus Mark Peplow in *Nature*. Zij wezen erop dat de echte kost van de ramp niet in te schatten valt tot binnen enkele decennia, voor zover dit al mogelijk zou zijn. In een alternatief 'onafhankelijk' rapport – "Het andere rapport over Tsjernobyl", een studie in opdracht van Rebecca Harms, groen europarlementslid – wordt dan weer gesteld dat de Tsjernobyl-ramp zal leiden tot 30.000 tot 60.000 bijkomende doden alleen als gevolg van kanker.

Hoe zit de vork hier aan de steel? De onenigheid houdt verband met de onzekerheid omtrent de gezondheidseffecten van lage stralingsdosisen. Bewijsmateriaal op basis van de levenscyclus van overlevenden van de atoombommen in Nagasaki en Hiroshima heeft het mogelijk gemaakt om een inschatting te maken van de effecten van hoge stralingsdosisen (zie verder). Naarmate het blootstellingsniveau daalt, worden de voorspellingen ook moeilijker. Toch neemt men aan dat zelfs geringe stralingsdosisen niet als 'veilig' beschouwd kunnen worden. Dit staat in schril contrast met de resultaten van het VN-rapport dat zich slechts richtte op de (maximaal 4000, zie boven) slachtoffers onder de 600.000 mensen die aan de zwaarste straling werden blootgesteld. Van de andere 6,8 miljoen mensen die verder van de reactor woonden, zouden er nog eens – volgens hetzelfde rapport – 5000 sterven (een cijfer dat niet werd

aangegeven tijdens de persvoorstelling en de samenvatting van het rapport). Het alternatieve rapport gaat er echter prat op dat men de pan-Europese langetermijnimpact moet opvolgen. Dat is ook de stelling van Elizabeth Cardis. Zij concludeert dat, van alle 570 miljoen toenmalige inwoners in Europa, er 16.000 uiteindelijk zullen sterven als het gevolg van het kernongeluk. Dat is 0,01% van alle kankerdoden. Zij voegt er evenwel aan toe dat het schier onmogelijk is om het uiteindelijke totaalcijfer te kennen. Aangezien kanker verantwoordelijk is voor 25% van de sterfgevallen in Europa, is het bijzonder moeilijk om met enige statistische betrouwbaarheid de 'Tsjernobylkankers' te onderscheiden van de andere. Een gelijkaardige conclusie staat ook te lezen in het commentaarstuk van Dillwyn Williams en Keith Baverstock in *Nature*. Zij plaatsen vooral de focus op het verschillende stralingseffect van de atoombommen in Japan (gammastralen, neutronen) en de nucleaire ramp in Tsjernobyl (neerslag van radioactieve isotopen). In 1965, 20 jaar na de bommen, stelde men significante toenames vast in slechts twee kankertypes (schildklierkanker en leukemie). 10 jaar later vond men ook andere kankers terug. En 45 jaar na de aanvallen stelde men onverwachte en significante toenames vast van andere ziekten. Nog 5 jaar later werden al 10 verschillende kankertypes gesignaleerd. Op basis van deze empirische gegevens stellen Williams en Baverstock dat, in het geval van Tsjernobyl, de kans groot is dat binnen de komende decennia nog tal van verrassingen zullen opduiken. Dit ligt in de lijn van de kritiek ten aanzien van een andere conclusie van het VN-rapport, namelijk dat er geen erfelijke effecten zouden plaatsgrijpen in kinderen die na het ongeluk werden geboren. Cardis zegt daarover: "The fact that we

haven't seen anything doesn't mean there isn't an effect. It's just too early to see an increase”.

Nucleaire Renaissance

Uit het voorgaande kan men afleiden dat het debat omtrent de gevolgen van Tsjernobyl wellicht nog lang zal nazinderen. Voor- en tegenstanders van kernenergie zullen op gespannen voet met elkaar blijven leven. Dat is ergens ook logisch, gezien het verschillende uitgangspunt waarvan men vertrekt. Wat er ook van zij, vandaag stelt men vast dat de nucleaire energie een tweede adem aan het vinden is. Sommigen spreken zelfs van een nucleaire renaissance. Het argument dat de kernlobby nu aanvoert, is dat nucleaire energie noodzakelijk is om het klimaatprobleem in te dijken. Inmiddels is dat blijkbaar ook het officiële standpunt geworden van de CD&V. Amper vier dagen nadat vele familieleden van slachtoffers van de kernramp in Tsjernobyl de 20e verjaardag van dé nucleaire catastrofe herdachten, pretendeerde de CD&V dat de kern-uitstapwet ongedaan moet worden gemaakt. Anders zou de energieprijzen stijgen, onze stroombevoorrading in het gedrang komen en zouden we onze klimaatdoelstellingen niet halen. Het is een vandaag vaak gehoorde argumentatie. Ook in *Nature* hield men in een speciaal nummer (20 april 2006) een voorzichtig pleidooi voor een (bescheiden) rol voor kernenergie. In het edito in *Nature* voegt men er wel aan toe dat dit niet ten koste mag gaan van de ontwikkeling van hernieuwbare energiebronnen. Men is wel zo ootmoedig om impliciet toe te geven dat het technologisch optimisme van ingenieurs door sommigen bevestigd zal worden: “Nuclear energy’s technical elegance has always appealed to the heart and

minds of scientists and engineers, who have been unusually prominent among its public advocates have promised to present to the public a clean and complete nuclear fuel cycle. Now it is time to stand and deliver.”

In wat volgt tracht ik evenwel aan te geven waarom het nucleair pad, mijns inziens althans, veeleer moet worden afgebouwd dan wel nieuw leven ingeblazen. In het beste geval is het iets waarmee we op korte termijn een noodzakelijke overbruggingsperiode kunnen inlassen op zoek naar waarachtig ecologisch duurzame paden, evenals levenswijzen die erkennen dat de hoogte van de energiefactuur niet synoniem staat voor menselijk welzijn of geluk. Afgezien van de kortetermijnvoordelen die kernenergie lijkt te bieden, is deze technologie een schoolvoorbeeld van een maatschappelijk-technologische keuze die de huidige en toekomstige generaties met niet geringe problemen opzadelt. De hamvraag die men zich in alle eerlijkheid moet stellen, luidt: wegen de baten op ten opzichte van de kosten en de gevaren?

Argumenten tégen kernenergie

Wat zijn de argumenten tégen kernenergie? Een eerste bedenking is puur economisch. Zoals Jim Giles beschrijft in *Nature* is kernenergie – ondanks de oorspronkelijke belofte van bijna gratis elektriciteit te leveren: “too cheap to meter” – (vooralsnog) verschrikkelijk duur ten opzichte van klassieke fossiele brandstoffen, zo duur dat geen enkele privé-investeerder er zelfs maar aan zou denken een dergelijk project op te starten. Een groot deel van de nucleaire kost is toe te schrijven aan de constructiekosten en de schulden die moeten worden afbetaald om de bouw te kunnen financieren. Een 1000 MW-

reactor vereist typisch immers vijf jaar voor de constructie ervan. Zodra een reactor energie produceert, vallen de kosten relatief mee. Anderzijds gaat dat niet op voor de opslag van het radioactief afval en de uiteindelijke ontmanteling van de reactor. De onzekerheid omtrent die kosten vormt een demper op het vertrouwen van vele investeerders.

Los van de economische argumentatie, zijn er een heel aantal andere bedenkingen bij kernenergie. In eerste instantie betreft het de grote 'foutonvriendelijkheid' van de bestaande nucleaire technologie (dit zijn conventionele watergekoelde reactoren). Dat werd hierboven al duidelijk via de beschrijving van de (weliswaar omstreden) gevolgen van de ramp in Tsjernobyl. Hoewel ingenieurs claimen dat de nieuwe pebble bed-technologie niet onderhevig zal zijn aan deze gevaren, is bedachtzaamheid hier geboden. Getuigt het niet van hoogmoed te stellen dat (andere) ontwerpfouten of menselijke flaters zich in de toekomst niet kunnen voordoen? Bovendien mag men niet uit het oog verliezen dat de bestaande en de reeds geplande reactoren bijna allemaal van het conventionele thermische reactortype zijn.

Wat velen ook veronachtzamen, is dat kernenergie (kernsplijting) eveneens een fossiele energiebron is waarvoor men kritisch afhankelijk is van uranium, een grondstof waarvoor landen als België 100% aangewezen zijn op andere naties of regio's (Siberië, Kazachstan, Namibië, Australië). Hoewel tot hertoe slechts een fractie (< 2%) van de gekende uraniumreserves opgebruikt zijn, blijven de voorraden eindig. Om voor de productie van elektriciteit klassieke fossiele brandstoffen te vervangen door kernenergie

wou men een fenomenaal groot aantal nieuwe reactoren nodig hebben. Drie wetenschappers, waaronder Jean-Pascal Van Ypersele, klimatoloog en professor aan de UCL, trokken die redenering door in een opiniestuk in *Le Monde* (10 juni 2004). Hun conclusie luidt dat, als men klassieke elektriciteitscentrales zou vervangen door kerncentrales, opdat in 2050 90% van de elektriciteit afkomstig zou zijn van kernenergie, dan zou men elk jaar 400 nieuwe kerncentrales uit de grond moeten stampen, terwijl er nu één of twee per jaar gebouwd worden. Om evidente redenen zou dit een aantal wezenlijke problemen oproepen, zoals bijvoorbeeld de verhoogde kwetsbaarheid voor terroristische aanslagen. Volgens de internationaal geldende 'ten miles-regel' (afstand centrale tot stedelijke agglomeratie) zou er in ons land nergens nog een nieuwe reactor kunnen verrijzen. Bij een dergelijk massaal gebruik van kernenergie zou de eindigheid van de uraniumvoorraden wél een issue worden, zelfs op relatief korte termijn.

Dat impliceert tegelijkertijd dat de berging van het eerst gebruikte nucleair materiaal pas van start kan gaan tegen de tijd dat we de laatste grondstof delven. Vooraleer nucleair afval definitief geborgen kan worden, moet het immers zestig jaar afkoelen. Daarbij komt dat de technologie om kernafval definitief en veilig op te slaan (in geologisch 'stabiele' ondergrondse gebieden) nog helemaal niet op punt staat. Dat wordt althans schoorvoetend toegegeven door Geoff Brumfiel in een nieuwsartikel in *Nature*. Hoe zal men kunnen garanderen dat in een periode van verschillende honderdduizenden jaren er geen gevaarlijke interactie ontstaat? In het geval van het Yucca Mountain-project in de Staat Nevada

(VS) heeft onderzoek aangewezen dat het radioactief afval sneller dan verwacht kan migreren naar de watertafels. Andere studies hebben gesuggereerd dat jonge vulkanen in de buurt van de site breuken zouden kunnen veroorzaken. Dit stelt zowel intra- als intergenerationele conflicten. De vraag is dan ook: wie is bereid om dit goedje in de buurt van zijn gemeenschap te laten beragen (voor een overzicht van geplande/onderzochte sites wereldwijd, zie Brumfiel)? En, bekeken vanuit een andere invalshoek, schuiven we de verantwoordelijkheid voor de berging en het beheer van het kernafval niet grotendeels door naar generaties die nooit van (alleszins dit type van) kernenergie gebruik gemaakt zullen hebben? De veertig jaar dat de conventionele kerncentrales nuttige stroom leveren, zadelen de toekomstige generaties op met een heuse nucleaire schuld.

Bovendien is het flink overdreven om te stellen dat kernenergie het 'broeikasprobleem' zal oplossen. Primo. De potentieel te vermijden CO₂-emissies als gevolg van het gebruik van fossiele brandstoffen, zijn enkel relevant inzake de productie van elektriciteit. Het betreft met name slechts 21% van onze CO₂-emissies. Het respecteren van, bijvoorbeeld, het huidige Kyoto-Protocol, vergt daarom vooral inspanningen van andere sectoren als transport, industrie en verwarming bij gezinnen, kantoren en bedrijven. Secundo. Bovendien wordt er ook veel CO₂ geproduceerd bij het delven van uranium en de bouw van de centrales: indien men de volledige productiecyclus in ogenschouw neemt, dan is kernenergie minder koolstofarm dan velen vermoeden.

Ten slotte is er ook nog het gevaar voor nucleaire proliferatie, nu dat een groeiend aantal landen beschikt over

opwerkingsprogramma's en/of in staat zijn om plutonium te produceren. Voeg daarbij ook nog de mondiale handel in plutonium en het kan op geen enkele manier ontkend worden dat we de wereld blootstellen aan een toenemend gevaar.

Beheersing van de vraag en vergroening van het aanbod

In combinatie met de mondiale bevolkingsgroei zorgt de razendsnelle economische groei in landen als China ervoor dat het energievraagstuk zich in de nabije toekomst wellicht steeds scherper zal stellen. Het geloof in een snelle technofix – hetzij groen, hetzij nucleair – is helaas een fata morgana. Welke 'oplossingen' kan men dan naar voren schuiven inzake het energievraagstuk? In die context is het gepast te verwijzen naar Gandhi's bekende citaat: "The world has enough for everyone's need, but not enough for everyone's greed". Neen, het is inderdaad onmogelijk om met hernieuwbare energiebronnen de westerse consumptieniveaus van fossiele brandstoffen (die het resultaat zijn van miljoenen jaren energieopslag) verder te zetten, laat staan te veralgemenen naar de totale wereldbevolking; de aarde is nu eenmaal biofysisch begrensd. In *Energy at the Crossroads* (2003) stelt Vaclav zich in zijn zoektocht naar een alternatieve omgang met het energievraagstuk twee fascinerende vragen. Wat is het maximale primaire energieverbruik dat nog verenigbaar is met de voorziening van de vitale milieufuncties vanwege deze planeet én wat is het minimale per capita energieverbruik dat noodzakelijk is om een fatsoenlijke, menswaardige levenskwaliteit te garanderen? Uitwegen uit het energievraagstuk moeten we dus zoeken in combinaties van forse investeringen in schone, hernieuwbare ener-

giebronnen gekoppeld aan een goed georganiseerd nucleair uitdoofscenario. Dit moet worden aangevuld met wijzigingen in onze levensstijl, waardoor ook de vraag naar energie beheerst kan worden. Dit type van evoluties (eco-efficiëntie & sufficiëntie) is bovendien ook noodzakelijk om het meer omvattende klimaatvraagstuk in te dijken. In de vorige afleveringen van deze rubriek werd al heel wat aandacht besteed aan het fenomeen van globale opwarming, wellicht het meest complexe mondiale milieuprobleem van het 'Derde Millennium'.

Het klimaat(non)debat: Knack versus *Nature/Science*

In kringen van klimaatwetenschappers is men anno 2006 de mening toegedaan dat een opwarming met 2°C (tegen het jaar 2100) wellicht niet meer tegen te houden is. Naarmate de temperatuurstijging de 2°C-drempelwaarde verder achter zich laat, vergroot de kans op fundamenteel ontwrichtende klimaatgevolgen. Metaforisch uitgedrukt: het is inmiddels 'vijf na twaalf', wat nog niet hetzelfde is als 'kwart na twaalf': Daarom bestaat er een groeiende wetenschappelijke consensus die stelt dat drastische maatregelen hic et nunc vereist zijn om 'gevaarlijke antropogene interferentie' met het klimaat alsnog te voorkomen.

En toch blijft het debat omtrent de ernst van het klimaatvraagstuk in de populaire pers maar aanhouden. Het is dan ook hemeltergend om te moeten vaststellen hoe een kleine schare klimaatsceptici, waaronder SF-schrijvers (cf. Michael Crichton) en niet-klimaatwetenschappers, schijnbaar meer te vertellen hebben over het klimaat dan de rigoureuze tot stand gekomen onderzoeksresultaten van 's werelds

beste klimaatwetenschappers. Van alle bekende 'klimaatsceptici' is de Deense statisticus (mijn benadrukking) Bjorn Lomborg wellicht de invloedrijkste. Met zijn *The Sceptical Environmentalist* (2001) is hij er wonderwel in geslaagd om een hardnekkig rookgordijn op te trekken rond de aard en de ernst van het klimaatvraagstuk.

Een nieuwe klimaatoptimist gesignaleerd

Sinds enkele maanden is er nu een nieuwe scepticus opgestaan. Zijn naam is Salomon Kroonenberg, een geoloog uit Nederland. Bij een analyse van zijn standpunten valt op dat hij in zijn klimaatoptimisme zelfs Bjorn Lomborg overtreft. De man kreeg recent een 7-pagina tellend interview in Knack dat doorspekt is met halve waarheden, wetenschappelijke onjuistheden en bedrieglijke zinsneden. Het gesprek werd opgenomen door Joël De Ceulaer, de journalist die er blijkbaar een sport van maakt om de wereld af te schuimen naar de meest opzienbarende milieuoptimisten. Qua spektakelgehalte scoort een interview met een Lomborg of een Kroonenberg immers beter dan met een 'pessimistische' klimaatwetenschapper. De begeleidende titels bij het stuk kunnen tellen: "Kroonenberg nuanceert de paniek", "een interessante dissident in het erg verhitte klimaatdebat", "Help, de aarde gaat afkoelen!". Van suggestieve journalistiek gesproken... Maar wat zegt Kroonenberg dan eigenlijk? Opvallend is dat een groot aantal van zijn stellingen gewoonweg wetenschappelijk fout of tenminste achterhaald zijn (zie verder). Is dit het gevolg van een gebrekkige kennis van de beschikbare literatuur (ook die van het laatste jaar); of gaat het hier over opzettelijke verdraaiingen?

Warmt de aarde op en is de mens hiervoor (mede)verantwoordelijk?

Voor een goed begrip is het in deze context belangrijk enkele verschillende klimaatvragen van elkaar te onderscheiden. De eerste vraag houdt verband met het feit of de aarde wel degelijk opwarmt. Op dat vlak erkent Kroonenberg, net als Lomborg trouwens, dat het antwoord onomstotelijk 'ja' is. Het zou anno 2006 heel wat moed vergen om iets anders te beweren. Een tweede kwestie gaat over de vraag in welke mate de opwarming toegeschreven kan worden aan menselijke activiteiten. Daar waar Lomborg in dit tweede debat ergens een tussenpositie inneemt, neigt Kroonenberg veeleer naar een bagatellisering van de menselijke invloed. Hij sluit zich hierbij aan bij een kleine (en afslankende) schare klimaatsceptici die hardnekkig weerstand blijft bieden aan de wetenschappelijke consensus inzake de oorzaken van de klimaatopwarming. Ik verwijs daarbij naar het befaamde 'Hockeystickdebat' dat begin 2005 werd gelanceerd door een publicatie van twee Canadese onderzoekers – die zelf geen klimaatwetenschappers zijn en overigens door de olie-industrie gesponsord werden – in het vakblad *Geophysical Research Letters*. Ook het Nederlandse populair-wetenschappelijk tijdschrift *Natuurwetenschap & Techniek* bracht het nieuws 'groot' en insinueerde dat het bewijs dat wij de aarde opwarmen, niet deugt. Enkele maanden voordien stelden Hans von Storch et al. in *Science*, op basis van andere argumenten, dat de bekende hockeystickcurve van Mann et al. de temperatuurwijzigingen tijdens de voorbije duizend jaar onderschat en bijgevolg ernstig in gebreke blijft. Klimaatsceptici wreven zich in de handen; ook Kroonenberg verwijst

nu naar dit onderzoek. Nader onderzoek toont echter aan dat zij hier geen reden toe hebben. Opheldering kwam er al in 2005 met de publicatie van het onderzoek van Moberg et al. in *Nature*. Net zoals Mann et al. maakten zij gebruik van indirecte temperatuurgegevens ('proxies') via jaarringen in bomen, isotopenverhoudingen in ijsboringen, sedimenten, pollen, koraalgroei etc. om een reconstructie te maken van het temperatuurverloop van de laatste 2000 jaar. Via een aangepaste wiskundige methode kwamen zij tot het besluit dat de natuurlijke wisselvalligheid van het klimaat aanzienlijk hoger was dan eerder aangenomen. Zij concludeerden ook dat de temperatuur tijdens de 'Kleine ijstijd' in de zeventiende eeuw lager was dan in de reconstructie van Mann et al., terwijl de warmere periode in de Middeleeuwen ongeveer overeenkwam met de temperaturen tijdens het grootste deel van de twintigste eeuw. Belangrijk evenwel is dat noch de schaal, noch de snelheid van de plotse temperatuurstijging vanaf het einde van de twintigste eeuw verklaard kan worden door alleen natuurlijke factoren in rekening te brengen (bv. verandering zonneactiviteit). Het laatste deel van de hockeystick is dus zonder enige twijfel mee toe te schrijven aan de activiteiten van de mens. Tot dezelfde conclusie kwamen ook de klimaatwetenschappers Timothy Osborn en Keith Briffa in een nog recentere studie: "Comparison with instrumental temperatures shows the spatial extent of recent warmth to be of greater significance than that during the medieval period. (...) providing unequivocal evidence for continuing geographic expansion of anomalous warmth through the present time." Het feit dat de geobserveerde klimaatfluctuaties sterker zijn dan tot op heden gedacht zou erop kunnen wijzen dat de

klimaatgevoeligheid groter is dan tot nu toe werd aangenomen (zie verder). Timothy Osborn en Keith Briffa suggereren met recht en reden dat “greater past climate variations imply greater future climate change”.

Hiermee zijn we meteen aanbeland bij de derde klimaatdiscussie: die gaat over de vraag hoe sterk en hoe snel de opwarming zal zijn in de 21e en de daaropvolgende eeuwen. In dit debat verdedigt (of verdedigde) Lomborg de zogenaamde feeble greenhouse warming-hypothese, de idee dat de klimaatdestabilisatie al bij al binnen de perken zal blijven en heus niet zo veel schade zal aanrichten. Dat is één van de redenen waarom het volgens Lomborg weinig zin heeft ‘schaarse’ middelen te spenderen aan de uitvoering van Kyoto-akkoord, een stelling die ook wordt bijgetreden door Kroonenberg: “Het Kyoto-protocol is eigenlijk geldverspilling.” In *Terra Incognita: Globalisering, ecologie en rechtvaardigheid* (2006) kwam al uitvoerig aan bod hoe de vakliteratuur tot een consensus is gekomen dat die feeble greenhouse warming-hypothese met de dag minder waarschijnlijk is. Het klimaat van de eenentwintigste eeuw zal te maken krijgen met een drievoudig probleem: (1) een verdere opwarming vanwege de stijgende atmosferische CO₂-concentratie, (2) een verminderd koeffect vanwege de dalende aërosoluitstoot én (3) een verhoogde broeikasgasuitstoot als gevolg van een positieve terugkoppeling vanuit de koolstofcyclus bij oplopende temperaturen. Omdat aan het effect van een dalende aërosoluitstoot in deze rubriek al veel aandacht werd besteed, concentreer ik me nu op de twee andere aspecten. Tijdens de laatste maanden zijn een aantal belangwekkende studies gepubliceerd, zowel wat positieve koolstofterugkop-

peling als de impact van hogere CO₂-concentraties betreft.

Het gevaar vanuit de bodems

Het begrip ‘positieve koolstofterugkoppeling’ verwijst naar het fenomeen waarbij hogere temperaturen tot de uitstoot van extra CO₂ en methaan leiden, waardoor de temperatuur verder toeneemt, met als gevolg dat er nog meer emissies komen etc (zie ‘*Terra Incognita* (4)’). Het fenomeen heeft zowel betrekking op koolstof aanwezig in planten als in bodems. Wat het effect van opwarming ten aanzien van planten betreft, bestaat er de vrees dat hogere temperaturen hun ademhaling zouden versnellen. Als gevolg van het metabolisme van planten (biosynthese en biochemische cycli) schat men dat er mondiaal een jaarlijkse hoeveelheid van 60 gigaton koolstof naar de atmosfeer overgedragen wordt. Terzelfder tijd wordt er via het fotosyntheseprocess uiteraard een nog grotere hoeveelheid CO₂ uit de atmosfeer weggehaald, zodat de biosfeer netto gezien een koolstofput vormt. Wanneer echter de temperatuur toeneemt, dan zouden de ademhalingsprocessen in omvang toenemen waardoor er netto gezien minder CO₂ uit de atmosfeer wordt opgenomen. Dit leidt dan tot nog hogere temperaturen waardoor er nog minder koolstof opgeslagen wordt. Op die manier zou er een positieve terugkoppeling ontstaan. In een recent ‘perspectiefartikel’ in *Science* hebben King et al. evenwel gesuggereerd dat, bij manier van spreken, de soep niet zo heet wordt gegeten als ze wordt opgediend. De toename in ademhalingsnelheid zou slechts een beperkte tijd optreden: in vakjargon spreekt men dan van een transiënte respons (overgangssituatie). Op langere termijn zouden planten zich acclimatiseren waardoor de positieve terug-

koppeling gedempt zou worden. Meer onderzoek omtrent de precieze tijdsafhankelijkheid van acclimatisatieprocessen blijft evenwel onontbeerlijk.

In de wetenschappelijke literatuur heeft er eveneens een intens debat plaatsgevonden omtrent het precieze effect van de klimaatwijzigingen op de mondiale voorraden aan koolstof in de bodems (met inbegrip van moerassen, turfgronden en permafrostgebieden). Het is evident het antwoord op de vraag hoe groot het effect is van hogere temperaturen op de potentiële vrijgave van koolstof naar de atmosfeer (als CO₂ en/of methaan) van enorm gewichtig belang is. Een blik op de literatuur toont evenwel aan dat er nog geen volledige consensus bestaat omtrent de temperatuurgevoeligheid van bodemontbinding. Dit is één van de redenen waarom *Nature* in maart 2006 een uitgebreide overzichtspaper van Eric Davidson en Ivan Janssens wereldkundig heeft gemaakt. Janssens is een (internationaal) gerenommeerd wetenschapper van de Universiteit Antwerpen. In deze studie gingen de auteurs gedetailleerd na wat de stand van kennis is op het vlak van koolstofterugkoppeling vanuit de bodems. Centraal in dit onderzoek staat de vraag hoe gevoelig de ontbindingsprocessen zijn voor temperatuurtoenames. Dit is echter gemakkelijker gezegd dan gedaan omdat de 'echte' temperatuurgevoeligheid gemaskeerd kan worden door intrinsieke milieubeperkingen (bv. bevroren bodems, non-beschikbaarheid van zuurstof) die op hun beurt zelf gevoelig zijn voor klimaatwijzigingen. Davidson en Janssens brengen de beschikbare studies in kaart, leggen dwarsverbanden en maken voorzichtige conclusies voor het effect van de diverse types van bodems ten aanzien van een positief terugkoppelingsme-

chanisme. Bijzondere aandacht ging daarbij uit naar de impact van klimaatwijzigingen op de koolstof die aanwezig is in moeraslanden, turfgronden en permafrostgebieden. Het zijn immers juist die (relatief instabiele) koolstofmagazijnen die kwetsbaar zijn ten aanzien van klimaatwijzigingen (temperatuuroptename, neerslagevoluties, drainage). Als men veronderstelt dat ongeveer 25% van de koolstofvoorraden in turfgronden en permafrostzones vatbaar is voor ontbinding als gevolg van globale opwarming in de 21e eeuw, dan is het potentiële koolstofverlies twee tot drie keer zo sterk dan de gesimuleerde koolstofvrijgave uit de minerale koolstofbodems. Toch blijft er nog grote onzekerheid bestaan omtrent de precieze impact van een warmere wereld op de diverse types van bodemkoolstofmagazijnen. Dit neemt niet weg dat het van enorm belang is om de mondiale (antropogene) uitstoot van broeikasgassen in te dijken. De hiermee gepaard gaande opwarming verhoogt immers de kans dat de positieve terugkoppeling vanuit de koolstofcyclus (door een extra vrijgave van methaan en CO₂ vanuit de bodems) aan kracht wint.

Hoe gevoelig is het klimaat?

Zoals hierboven al aangegeven, blijft het onontbeerlijk om een accurate inschatting te maken van het opwarmende effect van hogere broeikasgasconcentraties. De toename in atmosferische broeikasgassen zorgt immers voor een versterkt broeikaseffect. Dit impliceert dat er een onevenwicht ontstaat tussen de hoeveelheid zonne-energie die de aarde absorbeert en de mate waarin ze die opnieuw uitstoot in de ruimte. Het verschil tussen deze twee factoren wordt uitgedrukt in een hoeveelheid Watt per vierkante meter (Wm⁻²). Met een wetenschappelijke term noemt men dit

climate forcing. De positieve forcing zorgt voor de opwarming, al gebeurt dit met significante vertraging dankzij de traagheid in het klimaatsysteem. Tot daar de fysica. De vraag blijft echter: hoe snel en hoe groot is de opwarming als gevolg van een hogere uitstoot aan broeikasgassen. Op dit vlak is enorm veel onderzoek gebeurd. De betrachting van die studies is onder andere om een meer accurate kwantificering van de klimaatgevoeligheid te bekomen. Hiermee verwijst men naar de uiteindelijke temperatuurstijging bij een verdubbeling van de atmosferische CO₂-concentraties ten opzichte van de pre-industriële periode. Tot op heden werkte het VN-klimaatpanel met een onzekerheidsinterval voor de klimaatgevoeligheid van 1,5-4,5°C, gaande van een zeer gematigde opwarming tot een redelijk destabiliserende temperatuuroptuening. Nieuwere studies suggererden echter dat deze 25-jaar oude schatting van de klimaatgevoeligheid grondig herzien moest worden. Daar waar iedereen het er over eens was dat de kans op een verwaarloosbare opwarming – die klimaatsceptici verdedigen – extreem klein was, gingen er stemmen op dat de bovengrens (4,5°C) gevoelig moest verhoogd worden. In één (inmiddels bekende) studie vond men een mogelijke temperatuurstijging van maximaal 11°C bij een verdubbeling van de atmosferische CO₂-concentratie. De onzekerheid bleef dus groot. Via een statistische methode maakten Hegerl et al. in *Nature* een betere schatting van het klimaatgevoeligheidsinterval. Het slechte nieuws is dat er een bevestiging is gekomen dat de kans op een minimale opwarming te verwaarlozen is; het goede nieuws is dat de mogelijkheid van een extreme temperatuuroptuening van 11°C verworpen kan worden. De onderzoekers schuiven nu een klimaatgevoeligheidsinterval (pro-

bability density function) naar voren van 1,5-6,2°C (5-95% waarschijnlijkheidsverdeling). In het begeleidende artikel vat Richard Kerr deze conclusie als volgt samen: de klimaatgevoeligheid is minstens 'gematigd sterk', maar 'matig genoeg' om de kans op een verschroeiende (scorching) opwarming uit te sluiten. Dit is ook de conclusie die in het nieuwe evaluatierapport (verschijnt officieel in 2007) van het VN-klimaatpanel te lezen zal staan. In een eerste ontwerpversie – die door de regering van de VS, grotendeels tot ongenoegen van de betrokken wetenschappers, zopas on-line beschikbaar is gemaakt – suggereren de wetenschappers van dit panel dat de 'meest waarschijnlijke' klimaatgevoeligheid in de ordegruotte van 3°C ligt.

Smelten de ijskappen nu of niet?

Zoals al aangegeven impliceert dit alles dat de te verwachten opwarming 'zeer waarschijnlijk' boven de 2°C zal liggen. Terzelfder tijd zullen er ook andere fenomenen plaatsvinden. Dat de opwarming ook zal leiden tot een aanzienlijke stijging van het zeeniveau, staat inmiddels – zelfs in het meest optimistische scenario – buiten kijf. Het IPCC werkte tot recent met een schatting van een stijging van 0,5 ± 0,4 meter tegen 2100. Het zeeniveau wordt niet alleen bepaald door de hoeveelheid extra water die er na (partieel) smelten van ijskappen en (berg)gletsjers in de oceanen terecht komt, maar ook door de (thermische) uitzetting van het water als gevolg van de opwarming. Toch is het niet meteen duidelijk hoe snel en hoe hoog het zeeniveau zal stijgen. De wijziging in massa van de grote ijskappen in Antarctica en Groenland vormt de grootste onbekende factor bij de voorspelling van de zeespiegelstij-

ging. Van de ijsmassa in Groenland is geweten dat het volledig wegsmelten ervan het mondiale zeeniveau met ongeveer 7 meter zou kunnen doen stijgen. Tot op heden nam men aan dat dit proces bijzonder traag zou verlopen: in de ordegröote van enkele duizenden jaren. Dat is echter in de veronderstelling dat het verlies aan ijsmassa enkel zou optreden via het smelten van ijs. Inmiddels stelt men echter vast dat er een nieuw element in het verhaal is geslopen: zowel in Groenland als in West-Antarctica is er een dramatische versnelling vastgesteld van de gletsjers die in de zee uitlopen (de zogenaamde outlet glaciers). Rignot en Kanagaratnam hebben in *Science* aangetoond dat de snelheid van diverse gletsjers in Groenland op enkele jaren tijd verdubbeld is, tot 12 km/jaar. Dit wordt onrechtstreeks ook bevestigd door het werk van Göran Ekstrom et al. Zij stelden vast dat gedurende de laatste vijf jaar de frequentie aan Groenlandse 'ijsaardbevingen' – die samenhangen met snellere bewegingen van gletsjers en ijsstromen – verdubbeld is.

Een gelijkaardig proces van versnellende gletsjers wordt ook waargenomen in West-Antarctica. Dit impliceert dat het verlies aan ijsmassa van die twee ijskappen groter is dan tot nu toe aangenomen, wat ook betekent dat het zeeniveau wellicht sneller zal stijgen dan door het IPCC verondersteld werd in 2001. Wetenschappers stonden perplex bij die observaties. Men nam aan dat ijskappen traag en gradueel reageren op temperatuurstijgingen; nu blijkt echter dat het proces 'niet gradueel' verloopt. De relevante tijdschaal voor verlies aan ijsmassa is dus niet in de ordegröote van millennia maar wellicht honderden jaren. Dat is ook de

conclusie van de klimaatwetenschapper Oppenheimer: "The apparent sensitivity of ice sheets to a warmer world could prove disastrous. The greenhouse gases that people are spewing into the atmosphere this century might guarantee enough warming to destroy the West Antarctic and Greenland ice sheets, possibly as quickly as within several centuries". Het is dan ook ergerlijk om te moeten lezen in het Knack-interview met Kroonenberg dat er geen uitsluitel zou bestaan over de totaalbalans van de ijskappen in Groenland en Antarctica. Wetenschappelijk gezien is dat dus manifest onjuist: de massabalans voor Groenland en West-Antarctica is duidelijk negatief. Wel is het zo dat Oost-Antarctische ijskap ijsmassa aan het bijwinnen is als gevolg van een verhoogde sneeuwval. Maar, netto gezien, kan die positieve bijdrage het verlies aan ijs in Groenland en West-Antarctica niet compenseren. Dat werd, voor Groenland althans, recent ook toegegeven door glacioloog Jay Zwally, wiens eerdere resultaten in *Journal of Glaciology* (over de neutrale nettobalans tijdens de jaren 90 van de vorige eeuw) gretig gebruikt werden door klimaatsceptici. Diezelfde onderzoeker erkent de nieuwe gegevens omtrent de omslag in de daaropvolgende jaren: "I would say that right now the current loss [in Groenland] is 30 to 40 cubic kilometers per year". Blijkbaar zijn de nieuwe gegevens nog niet doorgedrongen bij Kroonenberg, die er inmiddels wel in geslaagd is om foutieve informatie bij de leek te laten doorsijpelen. Dit is bijzonder jammer want er bestaat wel degelijk een consensus dat in een opwarmende wereld de bijdrage aan zeeniveaustijging vanwege de ijskappen verder zal toenemen.

[Bio]

Peter Tom Jones (1973) is Burgerlijk Ingenieur Milieukunde, Doctor in de Materiaalkunde en werkzaam als post-doctoraal onderzoeker aan de KULeuven. Hij publiceerde in diverse

tijdschriften omtrent thema's als (anders)globalisering en ecologie. In april 2006 verscheen zijn boek (samen met Roger Jacobs) Terra Incognita: Globalisering, ecologie en rechtvaardige duurzaamheid (GINKGO peer review reeks, Academia Press, Gent).