



# Terra Incognita (3)

## 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 non-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](http://www.nature.com)) en Science ([www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)). Het is zeker niet 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’.<sup>1</sup>

37

#### De Chinese boom

In deze aflevering van ‘Terra Incognita’ opteer ik er voor de spits af te bijten met een opgemerkt overzichtsartikel van Jianguo Liu en Jared Diamond over de razendsnelle ontwikkeling van China.<sup>2</sup> Diamond is de auteur van het recent verschenen en opzienbarende boek *Collapse: How Societies Choose to Fail or Survive* (2005). Dat de Noord-Zuidkloof qua inkomen, consumptie en milieu-impact al lang niet meer via louter geografische grenzen loopt, is inmiddels goed gedocumenteerd. Zo kan men lezen in het rapport *State of the World 2004* van het prestigieuze *Worldwatch Institute* dat vandaag zo’n 362 miljoen Chinezen en Indiërs door het leven gaan met

dezelfde milieudruk als de ‘gemiddelde’ Europese, Noord-Amerikaanse en Japanse consument. Het artikel van Liu en Diamond handelt dus over China. De kern van hun verhaal is tweërlei. China’s economie groeit zodanig snel dat het in eerste instantie zelf wordt geconfronteerd met een waslijst aan zowel acute als langdurige milieu- en gezondheidsproblemen. Daarenboven heeft dit ‘economisch mirakel’, als gevolg van de immense schaal waarop deze economie plaatsgrijpt, ook wezenlijke gevolgen voor de andere naties in deze wereld en voor de toekomstige generaties. De cijfers die Liu en Diamond presenteren spreken voor zich. China’s bevolking (thans 1,3 miljard mensen) is de voorbije halve eeuw meer dan ver-



dubbeld. De politiek van de geboortebeperving is dus broodnodig om dit probleem in te dijken, hoe groot ook de ethische vragen die men zich hier bij kan (moet) stellen. Anderzijds is het aantal gezinnen drie maal zo snel toegenomen als de bevolking tijdens de periode 1985-2000. Zo daalde de gemiddelde grootte van een Chinees gezin van 4,5 naar 3,5 'mensen'. Aangezien kleinere gezinnen per capita meer grondstoffen consumeren dan grote gezinnen brengt dit – voor éénzelfde totale bevolking – een serieuze stijging in totale milieu-impact met zich mee. Wat meer is, China's economie groeit drie keer zo snel als het wereldgemiddelde (uitgedrukt in BNP). Het is evident dat dit ook belangrijke implicaties heeft voor het energieverbruik. China moet momenteel enkel 'onderdoen' voor de VS als het aankomt op de totale energieconsumptie. Nochtans bedroeg het per capita verbruik in 2001 slechts één negende van dat van de VS. Opvallend is dat China's werelds grootste producent én consument is van steenkool. Deze fossiele energiebron is dan ook de primaire energiebron voor dit land én tevens de grootste oorzaak van zure regen en een immense luchtverontreiniging. Bodemerisatie heeft dan weer nadelige gevolgen voor ongeveer 19% van China's landoppervlakte waardoor de voedselveiligheid in vele gevallen gecompromitteerd wordt. Andere problemen zijn er met de buitengewoon slechte kwaliteit van zowel het oppervlakte- als het grondwater. Dit is het gevolg van industriële en huishoudelijke lozingen in combinatie met de gevolgen van chemische landbouw en aquacultuur die grote hoeveelheden kunstmest, pesticiden en compost in de waterstromen doen terechtkomen. Niet minder dan 75% van de meren zijn verontreinigd. Bovendien is het beschikbare water geografisch ook zeer ongelijk verdeeld

waardoor vooral de steden in het Noorden geregeld geconfronteerd worden met waterschaarste. Daarbij komt dat, mede door de intensieve aquacultuur, China's kusten en mangrovebossen zwaar zijn verontreinigd en aangetast. Na een overzicht te bieden van China's milieu-problemen, gaan Liu en Diamond dieper in op de gevolgen van dit alles. Wat de Chinese bevolking betreft, wijzen zij op de enorme socio-economische verliezen (7-20% van het BNP gaat verloren door pollutie en milieuaantasting), gezondheidskosten (bv. 300.000 doden per jaar als gevolg van luchtverontreiniging) en 'natuurrampen' (stormen, aardverschuivingen, droogte en overstromingen). De gevolgen gaan uiteraard verder dan de Chinese staatsgrenzen. In de geglobaliseerde wereld van vandaag is het lot van China intrinsiek verbonden met de rest van de wereld. Liu en Diamond beklemtonen onder andere het mondiaal gevoelde effect van China's stijgende energie- en houtconsumptie net als haar export van 'invasieve' soorten die allerlei vormen van schade kunnen aanrichten in lokale ecosystemen. Hoewel China een per capita uitstoot heeft van 'slechts' 2,2 ton CO<sub>2</sub> (vergelijk met het cijfer voor de VS: 19,8 ton/capita), neemt de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van dit immense land vandaag al 12% van het mondiale cijfer voor zijn rekening. De projecties voor de toekomst tonen aan dat China's milieu-impact zal blijven stijgen: de totale impact is immers het product van de *totale bevolking* (die al groot is en verder zal stijgen tot 1,5 miljard in 2030) vermenigvuldigd met de *gemiddelde milieu-impact per capita* (die nog sneller lijkt toe te nemen aangezien China zich ontwikkelt volgens een westers (lees: consumeristisch) ontwikkelingspad). En toch zijn er ook hoopgevende signalen: China's leiders beginnen te beseffen dat zij iets moeten doen om deze proble-

men op zijn minst te temperen. De vraag is natuurlijk of de milieubewuste leiders het zullen halen van de sirenenzang der economische groei en dito *Realpolitik*. Liu en Diamond besluiten als volgt: 'In the past two decades, China has created an economic miracle. We hope that, over the next decades, China can also create an environmental miracle and set a good example for other nations to achieve both socioeconomic and environmental sustainability. The outcome will affect not just China, but the entire world.'

### Globale opwarming en politieke inertie

China vormt dus een brandend actueel vraagstuk. De onstilbare honger naar energie dreigt op termijn het klimaat van onze planeet in chaos onder te dompelen, althans dat stelt Peter Aldhous in een nieuwsartikel in *Nature*.<sup>3</sup> Mede door de snel stijgende energieconsumptie in China, neemt de globale CO<sub>2</sub>-uitstoot schrikbarend toe. In *World Energy Outlook 2004* schat het Internationaal Energie-Agentschap dat deze tegen het jaar 2030 met maar liefst 60% zal zijn aangedikt. En dit terwijl het inmiddels genoegzaam bekend is dat de broeikasgasuitstoot binnen enkele decennia moet dalen met minstens 70 à 80%. Afgelopen maanden is er dan ook (eens te meer) een stortvloed geweest aan publicaties in wetenschappelijke tijdschriften die het mondiale klimaatvraagstuk aankaarten. Hopelijk is dit aantal niet recht evenredig met de graad van globale opwarming die ons te wachten staat. Als er echter te midden van deze stroom aan nieuwe wetenschappelijke inzichten één constante op te merken valt, dan is het wel de aanhoudende politieke inertie ten aanzien van dit acute probleem. De twee volgende voorbeelden spreken boekdelen. Tij-

dens de informele klimaatgesprekken die de VN organiseerde in Bonn (16-17 mei) is opnieuw gebleken dat de regeringen van de verschillende machtige landen niet zinnens zijn een krachtdadig klimaatakkoord uit te werken voor de periode na Kyoto (vanaf 2012 dus). Het is bekend dat de EU alle grote broeikasgasuitstoters, waaronder de VS en opkomende landen zoals China en India, poogt te betrekken in een nieuw internationaal klimaatverdrag dat harde streefcijfers zou vooropzetten inzake de reductie van de emissies van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> (methaan). De VS-onderhandelaars weigeren echter pertinent om in deze logica mee te stappen: de VS blijft vasthouden aan de promotie van technologische uitwegen teneinde de (relatieve) broeikasgasuitstoot per eenheid BNP terug te dringen. Tezelfdertijd weigert de VS concrete (absolute) cijfers aan emissiereducties voorop te stellen. Aan *The American Way of Life* mag niet geraakt worden. Anderzijds blijft de uitstoot van landen zoals India en vooral China (zie *supra*) met rasse schreden toenemen: tot zover weigeren zij (om begrijpelijke redenen) maatregelen te treffen om hun snel groeiende, energieopslopende economieën enigszins af te remmen. Bovendien tonen recente cijfers van het Europees Milieu-Agentschap ook aan dat Europa niet veel redenen heeft om met het vingertje te wijzen: in plaats van gezwind af te nemen, steeg de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de EU in 2003 met 53 miljoen ton. Voor de EU-15 bedraagt de vooruitgang sinds 1990 amper 1,7% terwijl ze tegen 2003 een gemiddelde reductie had moeten boeken van 5,2 om de eindmeet in 2010 te halen: *i.e.* een reductie van 8% volgens het Kyoto-Protocol.

Zoals (helaas) te verwachten viel, kon ook de recente top van de G8 in Gleneagles (Schotland, juli 2005), ondanks



de wellicht oprechte pogingen van Tony Blair, niet veel zoden aan de dijk brengen. In hun communiqué van 8 juli erkennen de G8-leiders nochtans dat “*climate change is a serious and long-term challenge that has the potential to affect every part of the planet*”. Bovendien geeft dit gezelschap, inclusief ‘klimaatnegationist’ George W. Bush dus, voor de eerste keer expliciet toe dat menselijke activiteiten “*contribute to a large part to increases in greenhouse gases*”. Tot daar het ‘positieve’ nieuws. Verontrustend is dat de G8-leiders op geen enkele manier vooruitgang boekten inzake het vooropstellen van harde cijfers voor de reductie van de mondiale broeikasgasuitstoot. Dat dit geen overbodige luxe is, wordt zonneklaar als we een blik werpen op de evoluties in de wereld der klimaatwetenschap. En de nieuwe signalen die we vanuit die hoek ontvangen kunnen we – verontschuldig me, de wetenschappelijke realiteit is wat ze is – niet bepaald voorzien van het etiket ‘rooskleurig’.

### Het maskerende effect van *global dimming*

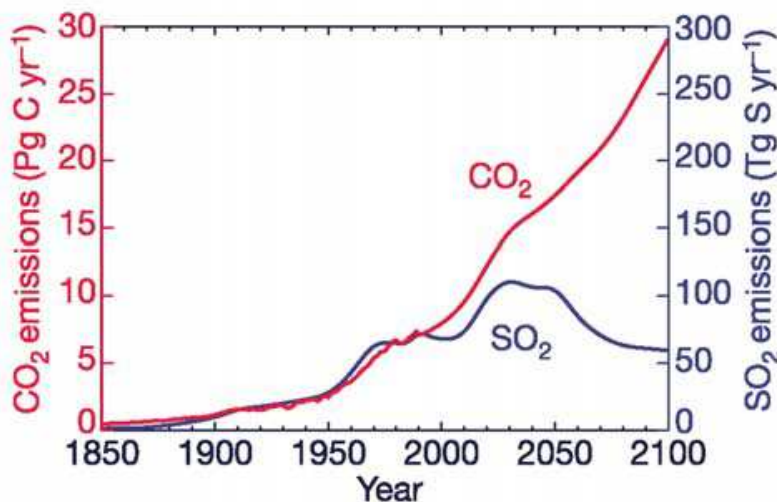
Naar mijn mening is de meest gewichtige klimaatstudie die *Nature* en *Science* tijdens de afgelopen periode wereldkundig hebben gemaakt, die van Meinrat Andreae, Chris Jones en Peter Cox over het fenomeen *global dimming*.<sup>4</sup> De auteurs zijn wetenschappers van gerenommeerde instituten zoals, respectievelijk, het *Max Planck Institut* (Mainz), het *Hadley Centre for Climate Prediction and Research* en het *Centre for Ecology and Hydrology* (Dorset). De centrale boodschap die in deze publicatie uit de doeken wordt gedaan, luidt dat aerosolen in de atmosfeer (deeltjes die vrijkomen bij de verbranding van fossiele brandstoffen en biomassa) vanwege hun

koelende invloed ons gedurende de laatste honderd jaar hebben beschermd van nog grotere globale opwarming dan diegene die empirisch werd waargenomen (+ 0,6°C sinds het einde van de 19<sup>e</sup> eeuw). Zoals al aangehaald in ‘*Terra Incognita* (II)’<sup>5</sup> luistert dit maskerende effect naar de naam *global dimming*: de aerosoldeeltjes zorgen er immers voor dat er netto gezien minder zonne-energie het oppervlak van de aarde bereikt. Wetenschappelijk onderzoek heeft aangetoond dat dit *dimming*-effect aanzienlijk is geweest, vooral tijdens de tweede helft van de twintigste eeuw. Wild *et al.*<sup>6</sup> schatten dit effect in *Science* op zo’n 4 à 6% over 30 jaar (1960-1990).

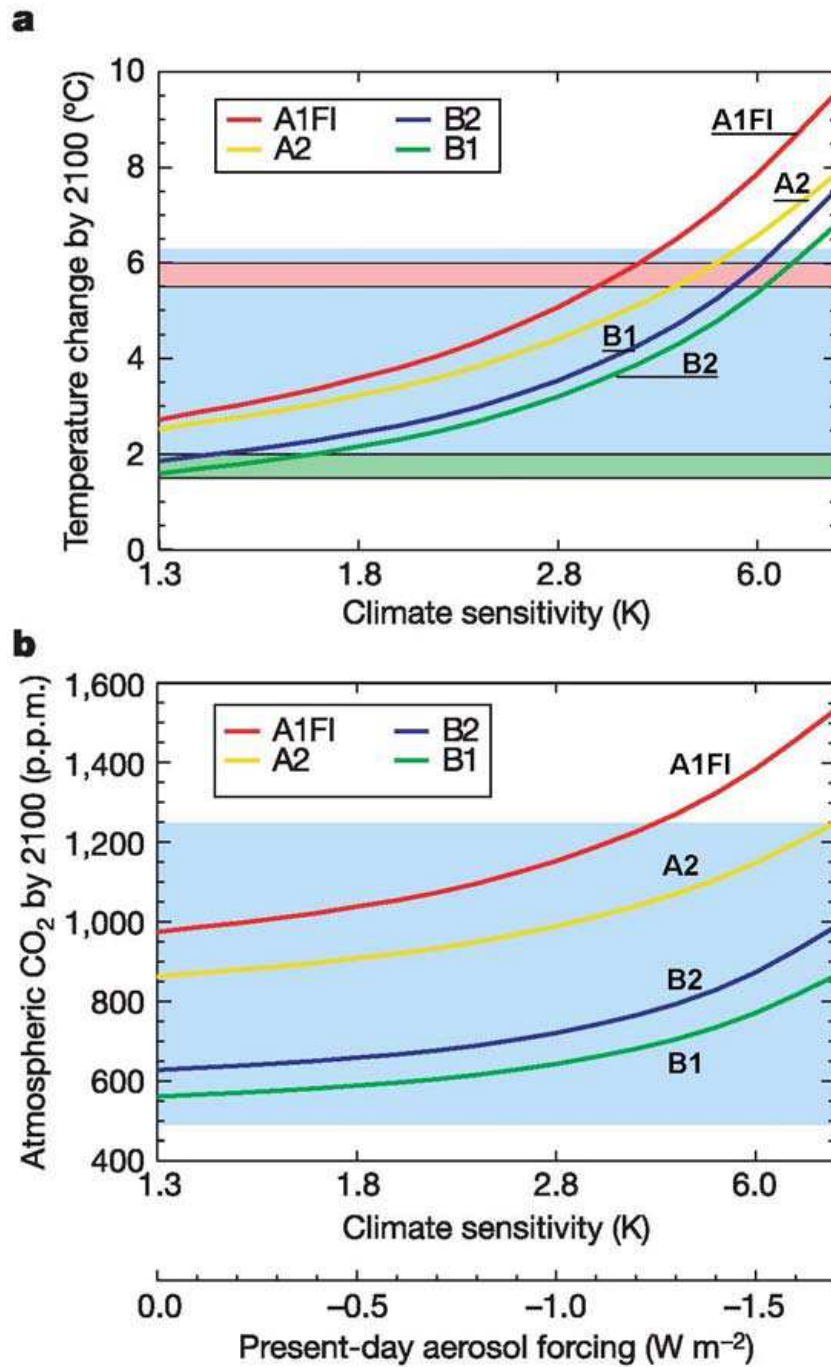
De hamvraag in deze context is: hoe sterk is de invloed van dit koelende effect geweest in het licht van de totaal geobserveerde (netto) globale opwarming? Het antwoord op deze vraag zal mede bepalen hoe ernstig de opwarming tijdens de komende decennia zal zijn. Aangezien de leeftijd van aerosolen zeer beperkt is én deze als gevolg van technologische ontwikkelingen vandaag en in de toekomst minder worden uitgestoten dan vroeger (zie Fig. 1 voor SO<sub>2</sub>, één van de belangrijkste basisbestanddelen voor aerosolen), zal de koelende invloed van deze partikels niet langer het opwarmende effect van de menselijk uitgestoten broeikasgassen kunnen temperen. Recent onderzoek van Wild *et al.* heeft inderdaad aan het licht gebracht dat de episode van *global dimming* inmiddels voorbij is – behalve dan in India waar grote bruine wolken nog voor *dimming* zorgen – en heeft moeten plaatsmaken voor *global brightening*. Het wetenschappelijke probleem dat zich in dit kader stelt, is dat er aanzienlijke onzekerheid bestaat over de juiste grootte van het aerosoleffect. Dit neemt niet weg dat alle onderzoekers het erover eens zijn dat het effect negatief is, *i.e.*

koelend. Indien men projecties wenst te maken voor de gemiddelde temperatuur in de toekomst moet men rekening houden met dit onzekerheidsinterval (variërend van een zogenaamde *climate forcing*<sup>7</sup> van 0 tot  $-4,4 \text{ Wm}^{-2}$  en een 'meest waarschijnlijke' waarde van  $-1,5 \text{ Wm}^{-2}$ ). De grootte van dit koelend effect bepaalt in welke mate het klimaatsysteem – de combinatie van de atmosfeer, de oceanen, het land, het leven en het ijs – gevoelig is voor een verhoging van de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer. De onzekerheid over de precieze invloed van de door de mens uitgestoten aerosolen zorgt dus voor een gelijkaardige onzekerheid over de reële klimaatgevoeligheid, die volgens een recente paper in *Nature* kan variëren van een uiteindelijke temperatuurtoename van 2 tot  $11^\circ\text{C}$  bij een verdubbeling van de  $\text{CO}_2$ -concentratie ten opzichte van het pre-industriële niveau.<sup>8</sup> (Voor een meer uitvoerige bespreking van de betekenis en verschillende schattingen van de klimaatgevoeligheid, verwijs ik naar 'Terra Incognita (II)')

Aan de hand van een eenvoudig gekoppeld klimaat-koolstofmodel maken Andreae *et al.* een aantal projecties voor de toekomst, rekening houdend met de onzekerheid omtrent de sterkte van het aerosoleffect. Hoe kleiner dit effect, hoe minder gevoelig het klimaat is en de verwachte opwarming zal zijn. Anderzijds, hoe groter het voorbije aerosoleffect, hoe gevoeliger ook het klimaat is en hoe groter en hoe sneller de opwarming in de 21<sup>ste</sup> eeuw zal zijn. Het resultaat van deze berekeningen wordt weergegeven in Figuur 2. Hierin plotten de auteurs de geprojecteerde temperatuurstijging en de atmosferische  $\text{CO}_2$ -samenstelling tegen het jaar 2100 in functie van het huidige aerosol-effect (en daarmee samenhangend de klimaatgevoeligheid). Zij doen dit voor verschillende broeikasgasemissiescenario's (A1FI, A2, B1 en B2) van het laatste rapport van het VN-klimaatpanel (IPCC-TAR). De twee horizontale banden ( $1,5\text{-}2^\circ\text{C}$  en  $5,5\text{-}6^\circ\text{C}$ ) in de bovenste figuur komen overeen met, respectievelijk, de maximaal toelaatbare opwarming om



**Figuur 1** – Historische emissies van  $\text{CO}_2$  en  $\text{SO}_2$  (1850-2000) gevolgd door de projecties tot 2100 uitgaande van het SRES A2 scenario (overgenomen van Andreae *et al.*, *Nature*, 435:1188 (2005)).



**Figuur 2** – Gemodelleerde (a) temperatuurwijziging en (b) CO<sub>2</sub>-toename tegen 2100, uitgaande van diverse ontwikkelingsscenario's (bewerkt van Andreae *et al.*, *Nature*, 435:1189 (2005)).

‘gevaarlijke antropogene interferentie met het klimaat’ te voorkomen<sup>9</sup> en het verschil in gemiddelde temperatuur tussen ijstijden en interglacialen. Wat opvalt in deze figuur is dat bij ‘de meest waarschijnlijke’ aerosolinvloed (centrale waarde van  $-1,5 \text{ Wm}^{-2}$ ), in drie van de vier VN-emissiescenario’s de kaap van  $6^\circ\text{C}$  wordt overschreden. En zelfs in het meest optimistische scenario (lage klimaatgevoeligheid en B1-emissiescenario) zal de mensheid tegen het einde van de huidige eeuw flirten met de mythische grens van  $2^\circ\text{C}$  opwarming, waarmee meteen vroegere studies bevestigd worden.<sup>10</sup> Deze berekeningen illustreren tegelijkertijd dat de projecties in het vorige VN-klimaatrapport (IPCC-TAR) –  $2,3\text{-}4,9^\circ\text{C}$  opwarming tussen 1850 en 2100 – inmiddels achterhaald zijn wegens ‘te optimistisch’.

### Positieve koolstofterugkoppeling

Wat de paper van Andreae *et al.* ook aantoonde, is dat begin jaren '90 het begrip van het klimaatvraagstuk veel te simplistisch was. Daar waar men in die periode uitsluitend oog had voor de opwarmende invloed van broeikasgasen, komt nu een nieuw, complexer beeld tot wasdom. Dit incorporeert niet alleen het opwarmingspotentieel van menselijk veroorzaakte  $\text{CO}_2$ - en  $\text{CH}_4$ -emissies, maar houdt eveneens rekening met het koelingspotentieel van aerosolen én de positieve terugkoppeling vanuit de koolstofcyclus (zie ook ‘*Terra Incognita (II)*’).

Andreae *et al.* berekenden dat bij klimaatgevoeligheden groter dan  $3^\circ\text{C}$  de positieve terugkoppeling vanwege de koolstofcyclus de toename van de  $\text{CO}_2$ -concentratie met meer dan 50% zou versterken. Zij gingen hierbij uit van een gemiddelde waarde voor de gevoelig-

heid van bodemontbinding voor toegenomen temperaturen. In dat geval kan de aardse biosfeer evolueren van een koolstofmagazijn (*sink*, opslag van  $\text{CO}_2$ ) in een bron van  $\text{CO}_2$  (*source*). In wezen ligt dit resultaat in dezelfde lijn als een mijlpaalpublicatie in *Nature* enkele jaren geleden. Hierin schatten Cox *et al.* van het *Hadley Centre* dat in een *business as usual*-emissiescenario (IS92A, IPCC-SAR) de aardse biosfeer vanaf 2050 een netto bron van  $\text{CO}_2$ -uitstoot zal worden, met een versnelde globale opwarming tot gevolg.<sup>11</sup> Deze omslag is hoofdzakelijk te wijten aan het feit dat bij hogere temperaturen en  $\text{CO}_2$ -concentraties de bodemgasstofwisseling aanzienlijk versnelt terwijl de efficiëntie van het fotosyntheseproces verzadigd geraakt bij te hoge hoeveelheden  $\text{CO}_2$  in de atmosfeer (zie ook Knorr *et al.*<sup>12</sup>).

Netto gezien laat dit zich vertalen in een  $\text{CO}_2$ -uitstoot van de aardse biosfeer naar de atmosfeer. Bijzonder relevante ‘koolstofmagazijnen’ om in het oog te houden zijn de tropische regenwouden en de Siberische taigagebieden. Beide *sinks* zijn volumineus maar relatief instabiel. In het geval van het tropisch regenwoud zorgt momenteel vooral de houtkap voor een belangrijke verstoring van de koolstofcyclus. In de toekomst vreest men echter voor het effect dat extreme droogte zou hebben op de levensvatbaarheid van de tropische regenwouden. Onderzoekers zijn momenteel bezig met experimenten om na te gaan hoe deze wouden reageren op een aanhoudend gebrek aan water.<sup>13</sup> Door een gebied van 1 hectare met 5600 plastic panelen te bedekken, stelden zij in het vierde jaar van het experiment vast dat vooral de hoge bomen begonnen te sterven. Het gevolg hiervan was dat er meer licht de bodem van het woud bereikte waardoor bladafval droger werd en de kans op bosbranden verhoogde.



Zelfs zonder bosbranden zullen dode bomen grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> de lucht inpompen wanneer het hout en de wortels ontbinden. De droogte zorgde algemeen voor een drastische daling van de mogelijkheid van het woud om koolstof op te slaan als gevolg van de veel tragere plantengroei.

Hoe zit het met de veerkracht van de taigagebieden in Siberië? Quirin Schiermeier stelt dat in tegenstelling tot de tropische regenwouden deze ecosystemen nog veel gevoeliger zijn voor klimaatwijzigingen.<sup>14</sup> Siberië heeft een klimaat met grote extremen: korte, hete zomers en zeer lange, koude winters wisselen elkaar af. Sinds 1960 is de gemiddelde oppervlaktetemperatuur er met zo'n 3°C gestegen, veel meer dus dan de gemiddelde globale opwarming. Een warmer klimaat in Siberië zou kunnen leiden tot toegenomen bodemgasstofwisseling, ontdooiende permafrost en de ontbinding van organisch materiaal in turf en moerassen. Opnieuw lijkt dit in de richting te gaan van de potentiële omschakeling van een netto put van koolstof in een bron van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub> (methaan).

#### Graduele affecten...

Samengevat: het klimaat van de 21<sup>ste</sup> eeuw zal gebukt gaan onder een driedubbel probleem: een verdere opwarming vanwege de stijgende atmosferische broeikasgasconcentraties, een verminderd koeffect vanwege de dalende aërosoluitstoot én een verhoogde CO<sub>2</sub>-uitstoot als gevolg van een versnelde ontbinding van organische koolstof bij oplopende temperaturen. De te verwachten klimaatwijzigingen liggen zover buiten het gebied van onze voorbije ervaringen en het huidige wetenschappelijk begrip dat het schier onmo-

gelijk is om te kunnen voorspellen wat dit concreet zal betekenen voor het Ecosysteem Aarde en de mensheid. De titel van deze *Oikos*-rubriek komt dus heus niet uit de lucht vallen. Om te begrijpen hoe het in deze 'no-analogue' omstandigheden verder moet met het Ecosysteem Aarde loont het de moeite een opsplitsing te maken tussen graduele en abrupte klimaatwijzigingen. Daar waar abrupte klimaatfenomenen – uitschakeling Golfstroom, catastrofale uitstoot van methaan, smelten ijskappen in Groenland, afbreken West-Antarctische ijskap etc. – voer waren (en gelukkig nog steeds zijn) voor speculatie, staat het buiten kijf dat de bestaande opwarming voor aanzienlijke graduele verschuivingen zal zorgen. *Nature* en *Science* staan bol van artikels die een heel scala aan fenomenen beschrijven. Deze studies illustreren dat additioneel bewijsmateriaal zich blijft opstapelen voor het naakte feit dat de globale opwarming bezig is en nu reeds concrete, vaak sluipende gevolgen heeft. We overlopen ze in vogelvlucht.

#### Het lot van Antarctica

Het is bekend dat de zeespiegel momenteel a rato van zo'n 1,8 mm per jaar aan het stijgen is. Een deel van deze stijging is te wijten aan het verlies aan ijsmassa in Groenland (kustzones) en West-Antarctica. Wat het geheel van Antarctica betreft, is de situatie minder duidelijk. Opheldering kwam er via enkele recente publicaties. Cook *et al.*<sup>15</sup> gingen de evolutie na van de gletsjerfronten op het Antarctische schiereiland (een deel van Antarctica in de buurt van de West-Antarctische ijskap, zie Fig. 3) tijdens de voorbije 61 jaar. Van de 244 mariene gletsjerfronten hadden er 87% zich teruggetrokken. Hoewel dit patroon compatibel is met de opwar-

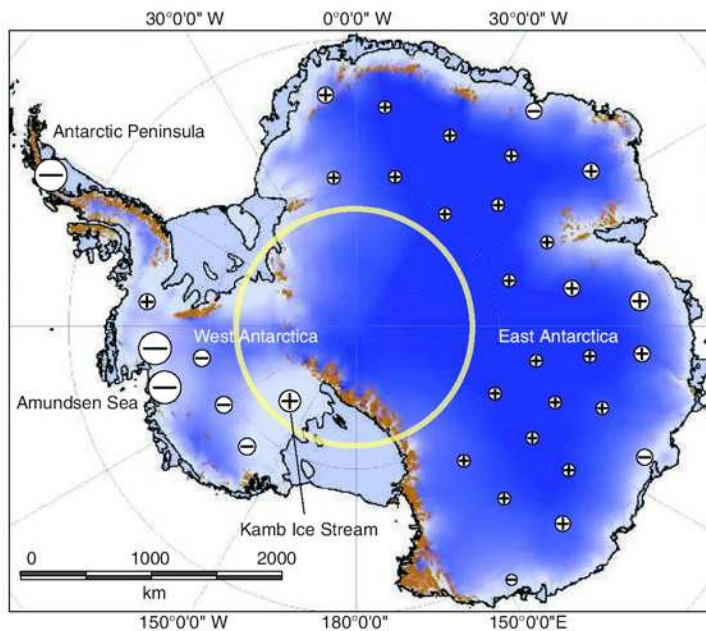


ming van de atmosfeer – *i.e.* + 2°C sinds 1950 in deze zone van de aardbol – is de toename van de temperatuur wellicht niet de enige drijver van de terugtrekking van het ijs in deze regio. In een andere studie in *Science* tonen Davis *et al.*<sup>16</sup> evenwel aan dat in de grootste delen van de Oost-Antarctische ijskap het ijs dikker aan het worden is, waarschijnlijk als gevolg van de toegenomen sneeuwval.

Dit laatste fenomeen is een reactie op de recente globale opwarming die ook perfect voorspeld wordt door de hedendaagse klimaatmodellen. De situatie is volstrekt anders in de West-Antarctische ijskap waar een substantieel deel aan het dunner worden is, ten gevolge van de versnelling en verbreding van de gletsjers. Op zijn beurt is dit dan weer een reactie op wijzigingen in stromingen en temperatuur van de omringende

ocean. In het begeleidende artikel bij de studie van Davis *et al.* stelt David Vaughan<sup>17</sup> dat de netto invloed van het totale Antarctische systeem op de stijging van het zeeniveau nog onduidelijk blijft. De huidige aandikking in Oost-Antarctica is niet voldoende om de globale zeespiegelstijging tegen te gaan.

Op korte termijn kan dit fenomeen evenwel één van de andere contributies – het smelten van het kustijs in Groenland – temperen. Andere effecten zoals het smelten van (het merendeel van) de niet-polaire gletsjers vanwege de globale opwarming<sup>18</sup>, de thermische uitzetting van de oceanen en grondwaterwijzigingen zullen ervoor zorgen dat de zeespiegel tijdens de komende decennia en eeuwen zal blijven stijgen, ongeacht een netto aandikking van het ijs in Oost-Antarctica.



**Figuur 3** – Evolutie van Antarctica: op sommige plaatsen dikt het ijs aan (+ symbol); op andere neemt het af (- symbol) (overgenomen van Vaughan, *Science*, 308:1877 (2005))



### Warmere oceaan en de invloed op de vispopulaties

Globale opwarming leidt niet alleen tot hogere gemiddelde oppervlaktetemperaturen maar heeft eveneens een invloed op de oceanen. In een studie in *Science* stellen Barnett *et al.*<sup>19</sup> dat observaties aantonen dat 84% van de totale opwarming van het Ecosysteem Aarde sinds de jaren '50 van de vorige eeuw opgeslagen is in de oceanen. Belangrijk is dat deze auteurs kunnen aantonen dat natuurlijke factoren (interne variabiliteit, wijzigingen in zonne-activiteit, vulkanische uitbarstingen etc.) niet verantwoordelijk kunnen zijn voor deze opwarming. Met klem stellen zij: "...human influences are largely responsible for the warming signal". De toegenomen energie-inhoud van de oceanen heeft geleid tot een thermische uitzetting van de oceanen die verantwoordelijk wordt gesteld voor minstens 25% van de geobserveerde zeespiegelstijging in dezelfde periode. Deze opwarming van de oceanen brengt ook een grotere stratificatie (gelaagdheid) van de oceanen met zich mee, die geacht wordt te leiden tot een verzwakking van de thermohaliene circulatie (zie verder). Daarnaast vormen de oceanen ook een essentieel onderdeel van de mondiale koolstofcyclus aangezien zij sinds het beginpunt van de industriële revolutie ongeveer 50% van de menselijke CO<sub>2</sub>-emissies hebben opgeslagen en daardoor dus de reële atmosferische CO<sub>2</sub>-concentraties enigszins in het gareel hebben kunnen houden. Vandaag bedraagt deze concentratie 380 ppm, 100 ppm meer dan vóór de industriële revolutie. Het is echter helemaal niet zeker hoe het gedrag van de oceanen (water en aquatische leven) als koolstofmagazijn zal evolueren onder invloed van hogere temperaturen. Daarom is het van vitaal belang om dit onderzoek verder te zetten.

Dat de oceanen aan het opwarmen zijn, wordt indirect ook bevestigd door de vaststelling dat tal van vispopulaties zich gedurende de laatste 25 jaar gestaag verplaatsen naar meer Noordelijke en diepere oorden. In een studie in *Science* tonen Perry *et al.*<sup>20</sup> aan dat bijna twee derden van zowel 'commerciële' als 'niet-commerciële' vissoorten in de Noordzee, als gevolg van de warmere zeetemperaturen, gedurende de voorbije kwart eeuw opgeschoven zijn naar het Noorden. Zij voegen eraan toe dat dit fenomeen een rem kan zetten op de *revival* van overbeviste soorten en schadelijke effecten kan hebben op de bewuste ecosystemen. Dat laatste houdt verband met het feit dat sommige soorten niet en andere wel verschuiven, waardoor langetermijnevenwichten op de helling kunnen worden gezet. Ander onderzoek aan de Oostkust van de VS heeft volgens de auteurs al aangetoond dat vissoorten die het meest gevoelig zijn voor temperatuurwijzigingen het voedsel vormen voor roofvissen die juist niet de noodzaak hebben om zich Noordwaarts te bewegen. Dergelijke evoluties kunnen onvoorspelbare effecten creëren in ecosystemen die nu al onder zware menselijke druk staan.

### Abrupte verschijnselen

Hoe kunnen we nu de mogelijkheid inschatten dat zich in de toekomst een aantal abrupte klimaatfenomenen voltrekken. Ook in *Nature* en *Science* blijft deze kwestie de gemoederen beroeren. In een reactie op een artikel van Wu *et al.*<sup>21</sup> in *Geophysical Research Letters*, operen Thomas Stocker en Cristoph Raible<sup>22</sup> dat discussies omtrent klimaatwijzigingen zich te nadrukkelijk focussen op stijgende oppervlaktetemperaturen en te weinig oog hebben voor grondige wijzigingen in de watercyclus (neerslag,

verdamping en rivierstromingen). Deze kunnen nochtans uitgesproken effecten ressorteren in het klimaat van onze planeet: het natuurlijke broeikas effect wordt gedomineerd door waterdamp, de stralingsbalans van de oppervlakte van de Aarde wordt gewijzigd door veranderingen in sneeuw- en ijsmassa's, de verdeling van vegetatietypes is zeer gevoelig voor de lokale waterbalans en, tenslotte, regionale klimaatpatronen zijn afhankelijk van oceaanstromingen. Wu *et al.* maakten computersimulaties tot het einde van de 21<sup>ste</sup> eeuw uitgaande van twee standaardemissiescenario's voor broeikasgassen. Wat opvalt in hun conclusies is dat de versterking van zoetwatertoevoer in de Noordpool, die ongeveer 30 jaar geleden van start ging, verder blijft duren. Dit bevestigt de voorspellingen die stellen dat fundamentele milieuevoluties zich zullen voltrekken in de Noordelijke hemisfeer. De opwarming zou de permafrost kunnen doen smelten en de seizoensgebonden sneeuwbedekking beïnvloeden. Beide effecten leiden tot meer opwarming en een versnelling van de watercyclus. Hoewel de toevoer van zoetwater in beide hemisferen van de planeet zou versnellen, zou dit effect meer uitgesproken zijn in het Noorden wat zou leiden tot een netto transfer van zoetwater van de Zuidelijke naar de Noordelijke hemisfeer.

#### **Verzwakking van de Atlantische thermohaliene circulatie?**

Als dit lang genoeg blijft duren, dan is het niet uit te sluiten dat dit de balans van 'diepwatervorming' (*deep water formation*) zou beïnvloeden en dit zowel in het uiterste Noorden als het uiterste Zuiden. Dit hangt nauw samen met het lot van de Atlantische thermohaliene circulatie waarvan de Golfstroom – die

onder andere zorgt voor een gematigd klimaat in onze contreien – deel uitmaakt (zie ook 'Terra Incognita (I)'<sup>23</sup>). Als gevolg van een grotere influx van zoetwater ter hoogte van de Noordpool, kan de vorming van diepwater in het gedrang komen. De vorming van diepwater is van cruciaal belang om de 'transportbandstroming' in de Atlantische oceaan te onderhouden. Via deze cyclus stroomt zout en warm oppervlaktewater van Zuid naar Noord, dit koelt langzaam af terwijl het zijn energie afgeeft, wordt zwaarder en daalt vervolgens ter hoogte van de Noordpool om nadien op grote diepte terug te stromen van Noord naar Zuid om de cyclus rond te maken.

Zoals steeds is het belangrijk te wijzen op de grote onzekerheid die nog steeds bestaat inzake het optreden van ontwrichtende abrupte verschijnselen en de precieze gang van zaken bij een verdere opwarming. De studie van Wu *et al.* toont volgens Stocker en Raible alleszins aan dat het duidelijk is dat meer én snellere opwarming de kwetsbaarheid van de thermohaliene circulatie in de Atlantische Oceaan alleen maar zal vergroten. Het gaat in deze kwestie immers niet alleen over de *grootte* van de atmosferische CO<sub>2</sub>-concentratie maar eveneens over hoe *snel* deze stijgt. De juiste gevolgen van het uitschakelen van de Golfstroom – die abrupt zou optreden wanneer een (niet exact gekende) kritische drempelwaarde overschreden wordt – zijn vrij moeilijk te voorspellen; alleszins heerst er een consensus dat deze niet te onderschatten zouden zijn. Een zeer recente studie in *Nature* heeft bijvoorbeeld aangetoond dat zelfs in het geval van een verzwakking van de thermohaliene circulatie (dus nog geen uitschakeling) er zich een ineenstorting van de Noord-Atlantische planktonstocks zou voordoen tot minder dan de



helft van hun initiële biomassa, met alle gevolgen van dien voor de vispopulaties en de mensen die afhankelijk zijn van de visvangst.<sup>24</sup> Anderzijds verwacht men dat een volledige uitschakeling van de Golfstroom onder invloed van versnelde globale opwarming, paradoxaal genoeg, zou leiden tot een sterke afkoeling in het Noordelijk Halfrond, een lokale afkoeling die evenwel plaatsvindt te midden van een gemiddelde globale opwarming. *Terra Incognita revisited* want vandaag bevinden we ons in een interglaciaal, niet in een ijstijd toen abrupte wijzigingen in de thermohaliene circulatie zich veelvuldig voordeden. We begeven ons op onbekend terrein. Hoe zal het Ecosysteem Aarde in deze gewijzigde context precies reageren op de gigantische, menselijk geïnduceerde wijzigingen? Niemand kan het met enige zekerheid zeggen. Gelukkig geeft voorlopig geen enkel klimaatmodel aan dat de Golfstroom effectief zou uitschakelen tijdens de éénnentwintigste eeuw. Anderzijds blijft de kans reëel dat dit wel zou gebeuren ná de éénnentwintigste eeuw, ook al is dit sterk afhankelijk van de keuzes die de mensheid *vandaag* maakt.

Ik herhaal het nogmaals. Hoewel dit doemscenario nog steeds relatief onwaarschijnlijk is, valt het helemaal niet uit te sluiten dat er een permanente wijziging optreedt in het gekoppelde atmosfeer-oceaanstelsel, met in het meest extreme geval een abrupte uitschakeling van deze transportbandstrooming in de Noord-Atlantische Oceaan

of, een andere mogelijkheid, het volledig wegsmelten van het ijs in Groenland. Stocker en Raible merken terecht op dat de abrupte klimaatwijzigingen gestaag aan het verschijnen zijn op het radarscherm van klimaatmodelleerders. Daarom zullen deze fenomenen – *surprises* in het jargon van het VN-klimaatpanel – ook één van centrale onderwerpen worden van het nieuwe IPCC-evaluatierapport dat in 2007 zal verschijnen. Eens te meer kan niet voldoende onderstreept worden dat, in het licht van de (kleine, maar steeds groter wordende) mogelijkheid dat dergelijke catastrofale scenario's optreden, het voorzorgsprincipe het moet halen van stuisvogelpolitiek en *business as usual*: gedragswijzigingen en structurele politiek-economische maatregelen moeten onverwijld in gang worden gestoken.<sup>25</sup> Hoe langer we wachten om in actie te schieten, hoe moeilijker het wordt om gevaarlijke antropogene interferentie met het klimaat te voorkomen, en dit als gevolg van de intrinsieke inertie van het klimaatstelsel. Wachten op nog straffer bewijsmateriaal is dus geen optie: tegen dan is het waarachtig te laat om gevaarlijke kettingreacties een halt toe te roepen. Ik wil deze aflevering van *Terra Incognita* dan ook eindigen met de wijze woorden van Raymond Pierrehumbert, één van 's werelds meest vermaarde klimaat specialisten: “*If one is tugging on the dragon's tail with little notion of how much agitation is required to wake him, one must be prepared for the unexpected*”.<sup>26</sup>

## [Noten]

- 1 Zie bijvoorbeeld Jones, P.T., Jacobs, R., 'Pleidooi tegen *onredelijk* milieuoptimisme', *Oikos*, (29), 2004, 15-33.
- 2 Liu, J., Diamond, J., 'China's environment in a globalizing world', *Nature*, 435, 2005, 1179-1186.



- 3 Aldhous, P., 'China's burning ambition', *Nature*, 435, 2005, 1152-1154.
- 4 Andreae, M.O., Jones, C.D., Cox, P.M., 'Strong present-day aerosol cooling implies a hot future', *Nature*, 435, 2005, 1187-1190.
- 5 Jones, P.T., 'Terra Incognita (II): Hoe is het gesteld met onze planeet?', *Oikos*, (33), 2005, 40-49.
- 6 Wild, M., *et al.*, 'From Dimming to Brightening: Decadal Changes in Solar Radiation at Earth's Surface', *Science*, 308, 2005, 847-850.
- 7 *Climate forcing* hangt samen met het onevenwicht tussen de 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 ( $Wm^{-2}$ ). Broeikasgassen zorgen voor een positieve *forcing* terwijl aerosolen netto gezien een negatieve *forcing* met zich meebrengen. Hansen *et al.* hebben aangetoond dat het totale effect in 2003 zo'n  $+ 1,8 Wm^{-2}$  bedraagt ten opzichte van 1880. Het is deze *forcing* die voor de opwarming zorgt, al gebeurt dit met significante vertraging dankzij de inertie in het klimaatstelsel. Zie Hansen, J., *et al.*, 'Earth's Energy Imbalance: Confirmation and Implications', *Science*, 308, 2005, 1431-1435.
- 8 Stainforth, D.A., *et al.*, 'Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases', *Nature*, 433, 2005, 403-406.
- 9 Zie bv. Jones, P.T., 'Klimaatcrisis eist onverwijld maatregelen', *Samenleving & Politiek*, (3), 2005, 31-40 ([http://www.yabasta.be/article.php3?id\\_article=248](http://www.yabasta.be/article.php3?id_article=248))
- 10 Byers, S., *et al.*, *Meeting the Climate Challenge: Recommendations of the International Climate Change Taskforce*, januari 2005. Downloadbaar via: [http://www.tai.org.au/Publications\\_Files/Papers&Sub\\_Files/Meeting%20the%20Climate%20Challenge%20FV.pdf](http://www.tai.org.au/Publications_Files/Papers&Sub_Files/Meeting%20the%20Climate%20Challenge%20FV.pdf). Voor een uitgebreide bespreking van dit rapport, zie Jones, P.T., 'Klimaatcrisis eist onverwijld maatregelen', *Samenleving & Politiek*, (3), 2005, 31-40 ([http://www.yabasta.be/article.php3?id\\_article=248](http://www.yabasta.be/article.php3?id_article=248)). Zie ook Kintisch, E., 'Panel Urges Unified Action, Sets 2° Target', *Science*, 307, 2005, 496; Wigley, T., 'The Climate Change Commitment', *Science*, 307, 2005, 1766-1769; Meehl, G., *et al.*, 'How Much More Global Warming and Sea Level Rise?', *Science*, 307, 2005, 1769-1772.
- 11 Cox, P.M., *et al.*, 'Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model', *Nature*, 408, 2000, 184-187.
- 12 Knorr, W., *et al.*, 'Long-term sensitivity of soil carbon turnover to warming', *Nature*, 433, 2005, 298-301.
- 13 Stokstad, E., 'Experimental Drought Predicts Grim Future for Rainforest', *Science*, 308, 2005, 346-347.
- 14 Schiermeier, Q., 'That sinking feeling', *Nature*, 435, 2005, 732-733.
- 15 Cook, A.J., *et al.*, 'Retreating Glacier Fronts on the Antarctic Peninsula over the Past Half-Century', *Science*, 308, 2005, 541-544.
- 16 Davis, C.H., 'Snowfall-Driven Growth in East Antarctic Ice Sheet Mitigates Recent Sea-Level Rise', *Science*, 308, 2005, 1898-1901.
- 17 Vaughan, D.G., 'How Does the Antarctic Ice Sheet Affect Sea Level Rise?', *Science*, 308, 2005, 1877-1878.
- 18 Oerlemans, J., 'Extracting a Climate Signal from 169 Glacier Records', *Science*, 308, 2005, 675-677.
- 19 Barnett, T.P., 'Penetration of Human-Induced Warming into the World's Oceans', *Science*, 309, 2005, 284-287.
- 20 Perry, A.L., 'Climate Change and Distribution Shifts in Marine Fishes', *Science*, 308, 2005, 1912-1915.
- 21 Wu, P., Wood, R., Stott, P., 'Human influence on increasing Arctic river discharges', *Geophysical Research Letters*, 32, 2005.
- 22 Stocker, T.F., Raible, C.C., 'Water cycle shifts gear', *Nature*, 434, 2005, 830-833.
- 23 Jones, P.T., 'Terra Incognita (I): Hoe is het gesteld met onze planeet?', *Oikos*, (32), 2005, 41-48.
- 24 Schmittner, A., 'Decline of the marine ecosystem caused by a reduction in the Atlantic overturning circulation', *Nature*, 434, 2005, 628-633.
- 25 Ik verwijst naar enkele andere artikels waar er een aanzet is gegeven voor mogelijke uitwegen uit de crisis, zowel op het vlak van economische als persoonlijke evoluties. Zie bv. Jones, P.T., 'Klimaatcrisis eist onverwijld maatregelen', *Samenleving & Politiek*, (3), 2005, 31-40 ([http://www.yabasta.be/article.php3?id\\_article=248](http://www.yabasta.be/article.php3?id_article=248)) en de artikels/boeken over ecologische economie van figuren als Herman Daly. Zie ook Jones, P.T., Jacobs, R.,



- 'Pleidooi voor een ecologische economie (Deel I)', *Vlaams Marxistisch Tijdschrift*, 39 (2), 2005, 71-81 ([http://www.yabasta.be/article.php?id\\_article=310](http://www.yabasta.be/article.php?id_article=310))
- 26 Pierrehumbert, R.T., 'Climate change and the tropical Pacific: The sleeping dragon wakes', *PNAS*, 97 (4), 2000, 1355-1358.

### [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 over thema's als (andere)globalisering en ecologie. Hij is coauteur van *Ya Basta! Globalisering van onderop* (2002) en coredeacteur van *Esperanza! Praktische theorie voor sociale bewegingen* (2003), en werkt momenteel met Roger Jacobs aan een boek over de sociaal-ecologische crisis. Cf. [www.yabasta.be](http://www.yabasta.be)

