



Terra Incognita (VIII)

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

Peter Tom Jones*

Het uitgangspunt van deze 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 planeet¹ – 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 hierbij 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 elke vorm van ‘onredelijk milieuoptimisme’².

49

Uit *Science* en *Nature*, augustus-oktober 2006

In oktober 2006 verscheen het tweemaaljaarlijkse *Living Planet Report* van het Wereldnatuurfonds.³ De trend die al enkele jaren bezig is, zet zich schier onverstoord verder. Op mondiaal niveau bedraagt de ecologische overshoot nu 25%, of 5% meer dan in het rapport in 2004 (cijfers hebben betrekking op respectievelijk 2001 en 2003). Dat betekent dat het milieubeslag de beschikbare biocapaciteit overtreft, of zoals het in *De Morgen* terecht werd omschreven: “De mens zaagt almaar ijveriger aan de tak waarop hij zit”.⁴ Sinds het moment dat duurzame ontwikkeling resoluut op de internationale agenda is geplaatst op de top van Rio in 1992, is de gemiddelde

voetafdruk van de inwoners uit arme en iets minder arme landen ongeveer ongewijzigd gebleven. De voetafdruk van de burger-consumenten uit de rijke landen is daarentegen blijven stijgen, meer bepaald met 18% t.o.v. 1992. En dit ondanks alle retoriek van politici links en rechts over het belang van een gezond evenwicht tussen economie en ecologie. De situatie voor België is zo mogelijk nog problematischer. Inmiddels staat dit land met zijn gemiddelde voetafdruk van 5,6 globale hectaren (gha) op de 13de plaats in de lijst van slokoppen. In het rapport van 2004 was die Belgische voetafdruk 4,9 gha/hoofd. Die cijfers moeten vergeleken worden met het Eerlijke Aarde-aandeel (slechts 1,8 gha/hoofd beschikbaar) en de biocapaciteit van dit land (1,2 gha/hoofd).

Simplistisch en enigszins vulgair gesteld, komt dit erop neer dat de gemiddelde Belg 'op de kap' leeft van de rest van de wereld en de toekomstige generaties.

Wat is nu het gevolg van een ecologische *overshoot*? In principe kan een *overshoot* tijdelijk standhouden zonder dat er een plotse implosie plaatsvindt (geen *big bang*). Dit neemt niet weg dat een aangehouden *overshoot* tot aanzienlijke degradatie van het 'natuurlijke kapitaal' zal leiden. Naarmate meer kritische drempelwaarden worden overschreden en de veerkracht onomkeerbaar is afgenomen, lijkt het waarschijnlijk dat allerlei kettingreacties in gang worden gestoken. Dit kan leiden tot een cascade van negatieve verschijnselen, waarbij de sociaal-economische schade exponentieel dreigt toe te nemen. Op mondiaal niveau laat dit zich wellicht het duidelijkst merken in het snelle biodiversiteitverlies en de destabilisatie van het klimaat. Laten we het nu hebben over dat laatste probleem.

An Inconvenient Truth

Met de lancering van Al Gore's opzienbarende film *An Inconvenient Truth* staat het thema van de klimaatwijzigingen weer helemaal in het middelpunt van de belangstelling. En ook in de dagbladen dringt de 'waarheid' van dit indringende en allesdeterminerende fenomeen langzaam maar zeker door. Een bloemlezing uit recente krantenkoppen illustreert dit op glasheldere wijze: "The Century of drought" (*The Independent*, 4/10), "Global warming devastates sea ice in Arctic Circle" (*The Independent*, 4/10/2006), "Noordpoolkap krimpt dramatisch in een jaar tijd" (*De Morgen*, 15/9/2006), "Immense barsten in de ijskap" (*De Standaard*, 20/9). Eens te meer wordt het duidelijk dat de 'klimaatontkenners' het bij het verkeerde eind hebben. In zijn nieuwe boek *Heat*

heeft de Britse milieujournalist George Monbiot overschot van gelijk wanneer hij erop wijst dat het lobbywerk van deze "*Professional Denial Industry*" de uitvoering van effectieve maatregelen ter bestrijding van mondiale opwarming ettelijke jaren heeft uitgesteld.⁵ Om de motieven van die ontkenners beter te begrijpen, kan het volgende citaat van Al Gore verhelderend werken: "It is difficult to get a man to understand something when his salary depends upon his not understanding it."⁶ Het kan niet voldoende onderstreept worden hoe groot de maatschappelijke invloed van de ontkenners anno 2006 nog steeds is, ondanks de verbluffende wetenschappelijke consensus over de aard en de ernst van de klimaatkwesatie. De povere vertaling van de wetenschappelijke consensus naar een krachtdadige maatschappelijke repliek ten aanzien van de opwarming vormt dan ook een immens probleem. Daarover zijn zowat alle klimaatwetenschappers het roerend eens. Hoe langer krachtdadige actie uitblijft, hoe kleiner de kans wordt dat 'gevaarlijke antropogene interferentie met het klimaat' kan worden vermeden. De keuzes die in de komende tien a vijftien jaar(?) worden gemaakt, zullen naar grote waarschijnlijkheid beslissen welke richting het uitgaat met die klimaatwijzigingen.

In de vorige afleveringen van deze rubriek is al uitvoerig aan bod gekomen hoe de vakliteratuur tot een consensus is gekomen dat die *feeble greenhouse warming*-hypothese – de stelling die zegt dat de opwarming al bij al zal meevallen – nu voor eens en voor goed weerlegd is. De opwarming is bezig en lijkt bovendien in een fase van versnelling terecht te komen. In een artikel in het vakblad *PNAS* wordt aangetoond dat de globale opwarming sinds de laatste dertig jaar met een snelheid van + 0,2°C/decennium aan het optreden is.⁷ Het jaar

2005 staat nu geboekstaafd als wellicht het warmste jaar – dus warmer dan het hittejaar 1998 – sinds het begin van de industriële revolutie. Dit is opmerkelijk omdat de mondiale gemiddelde temperatuur in 2005 geen extra zetje kreeg van een El Niño⁸. Dit staat in schril contrast met 1998, toen de temperatuur 0,2°C boven de trendlijn lag als gevolg van een ‘super El Niño-jaar’. De opwarming verloopt anderzijds niet overal even gelijkmatig; landoppervlaktes vertonen hogere temperatuuroenames dan de luchtlagen boven de oceanen en de opwarming is vooral uitgesproken aan de Noordpool en in mindere mate aan de Zuidpool. Wetenschappers kunnen ook bevestigen dat de hoofdoorzaak van de versnellende opwarming antropogeen is. Klimaatsceptici hebben bijvoorbeeld lang gefocust op de idee dat de opwarming van de aarde veroorzaakt zou worden door veranderingen in zonne-activiteit. Die stelling wordt echter al lang in vraag gesteld door klimaatwetenschappers. Officieel heette het dat dit fenomeen in het beste geval slechts een extra stimulans zou kunnen geven aan de opwarming. Inmiddels verscheen een nieuwe studie die bevestigt dat dit effect beperkt is. Zo voeren Foukal *et al.* in *Nature* aan dat het “onwaarschijnlijk” is dat een toegenomen energieoutput (luminositeit) van de zon een “significante” invloed zou kunnen hebben gehad op de moderne globale opwarming.⁹

In kringen van klimaatwetenschappers stelt men dat het klimaat van de 21ste eeuw te maken zal krijgen met een drievoudig probleem:

- een verdere opwarming vanwege de stijgende atmosferische CO₂-concentratie;
- een verminderd koeffect vanwege de dalende aerosoluitstoot;
- een verhoogde broeikasgasuitstoot als gevolg van een positieve terug-

koppeling vanuit de koolstofcyclus bij oplopende temperaturen.

De consequenties hiervan zijn reeds vandaag te merken en lijken in omvang en snelheid toe te nemen. Al Gore slaat de spijker op de kop wanneer hij stelt dat we nu in een tijdvak zijn gekomen waar we de consequenties van de globale opwarming beginnen zien en voelen. In wat volgt bespreek ik enkele van deze elementen aan de hand van recente artikels in de vakliteratuur. Daarbij gaat ook aandacht naar potentiële maatregelen ter bestrijding van de opwarming.

Ontwakende permafrost

Dat globale opwarming geen eenvoudig fenomeen is, zal inmiddels wel duidelijk zijn. Een van de belangrijke redenen waarom het zo moeilijk is om accurate voorspellingen te doen, ligt in het bestaan van een hele rits terugkoppelingsmechanismen in het klimaatstelsel die vaak onvoldoende gekend zijn en begrepen worden. Zoals al vaak aangegeven in deze rubriek zorgt het bestaan van een positieve (dit is een versterkende) terugkoppeling vanuit de koolstofcyclus voor grote onrust bij klimaatwetenschappers. Dit thema blijft dan ook het onderwerp van vele studies. Positieve koolstof terugkoppeling 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. Het fenomeen heeft zowel betrekking op koolstof aanwezig in planten (vegetatie) als in bodems. In de twee vorige afleveringen van deze rubriek, kwamen beide potentiële koolstofbronnen al aan bod. Meer recente projecties (zie verder) suggereren dat bij een temperatuuroename van meer dan 3°C ten opzichte van de preindustriële periode, de aardse opname van CO₂ via vegetatie

zou worden stopgezet.¹⁰ De koolstofput zou dan een koolstofbron worden, een positieve terugkoppeling. Daarnaast heeft men ook vastgesteld dat vegetatie een bron is van CH_4 – een effect dat normaal gezien ruimschoots wordt gecompenseerd doordat de vegetatie CO_2 uit de atmosfeer weghaalt via het fotosyntheseproses. Het feit dat vegetatie methaan produceert, een proces dat gevoelig is voor temperatuuroenames, resulteert evenwel in een bijkomend positief terugkoppelingsmechanisme, zoals recent werd aangegeven in *Nature*.¹¹ Een gelijkaardig probleem geldt ook voor de koolstof die zich in de bodems bevindt. Bijzondere aandacht gaat daarbij uit naar de impact van klimaatwijzigingen op de koolstof in moeraslanden, turfgronden en permafrostgebieden (Siberië). Het zijn immers juist die (relatief instabiele) koolstofmagazijnen die kwetsbaar zijn ten aanzien van klimaatwijzigingen (temperatuuroename, neerslagevoluties, drainage). De onzekerheid over de toekomstige bijdrage van deze reservoirs in een opwarmende wereld is aanzienlijk.¹² Het staat alleszins buiten kijf dat het gevaar niet kan worden onderschat omdat deze koolstofmagazijnen groot zijn: 400-500 Gton voor de moerasgebieden en turfgronden en 400 Gton voor de permafrost (cijfers geven enkel grootteorden aan). Vergelijk deze cijfers met de jaarlijkse antropogene uitstoot van ongeveer 6,5 Gton koolstof (voornamelijk als CO_2) naar de atmosfeer via de verbranding van fossiele brandstoffen. De koolstofvrijgave vanuit de moerassen en turfgronden treedt op wanneer te droge condities grote hoeveelheden koolstof blootstellen aan aërobe ontbinding (d.i. in de aanwezigheid van zuurstof). Vroeger werk heeft al geïllustreerd dat turfbodems in Engeland en Wales als gevolg van dit fenomeen grote hoeveelheden CO_2 hebben vrijgezet tijdens de laatste 25 jaar.¹³

Idem dito voor Indonesië waar in 1997 als gevolg van immense branden (als gevolg van hogere temperaturen en droogte) ongeveer 0,6 à 0,8 Gton C de lucht werd ingepompt (dit is 10% van de jaarlijkse menselijke koolstofuitstoot).¹⁴

Wat de permafrost betreft, ligt het gevaar in de ontdooiing van deze koolstofrijke grondlagen. Dit is een fenomeen dat meer en meer in de praktijk wordt vastgesteld en dat aanleiding geeft tot een sterke koolstofterugkoppeling. Men moet in deze context een onderscheid maken tussen de permafrostmeren (*thermokarst lakes* in vakjargon: overstromingsgebieden met onderaan ontdooide yedoma-sedimenten, koolstofrijke relictten uit de laatste ijstijden) en drogere ontdooide gebieden. Terwijl in het eerste geval hoofdzakelijk methaanemissies plaatsvinden onder zuurstofarme of anaërobe voorwaarden, gaat het in het tweede geval vooral om snelle zuurstofrijke of aërobe koolstofontbinding met vrijgave van CO_2 . Vooral de methaanemissies uit de permafrostmeren zijn het onderwerp van heel wat onderzoek. In een recente paper in *Nature* zijn onderzoekers erin geslaagd om een weliswaar ruwe schatting te maken van de totale methaanuitstoot van de Noord-Siberische permafrostmeren.¹⁵ Daarbij kwam men voor de grote verrassing te staan dat deze flux vijf keer groter zou zijn dan gedacht. De link met globale opwarming, die in Siberië intensiever is dan het mondiale gemiddelde, is duidelijk. Hoe sneller het verder opwarmt, hoe groter de kans is op extra permafrostontbinding. Men schat dat ongeveer 100 Gton (koolstof) permafrost tegen 2100 zou kunnen vrijkomen; een cijfer dat moet worden vergeleken met de hedendaagse antropogene uitstoot van 6,5 Gton koolstof/jaar. Het gaat hier met andere woorden om een zeer aanzienlijke positieve koolstofterugkoppeling.

IJzingwekkend verlies aan Noordpool- en Groenlandijs

In de vorige editie van "*Terra Incognita*" werd al beschreven waarom de Noordpool één van de gevoelige schakels is in het klimaat van de toekomst: klimaatwijzigingen zullen zich het eerst en het snelst voordoen in die streek van de wereld.¹⁶ Dit is één van de redenen waarom grote monitoringprogramma's worden uitgevoerd om de toestand van de Noordpool op te volgen. Los van de zopas beschreven permafrostontbinding, zijn er minstens twee andere 'tere punten': de toekomst van zowel het zee-ijs aan de Noordpool als de Groenlandse ijskap. Wat het eerste betreft, is de recente krantenkop in *The Independent* (4/10/2006) veelzeggend: "*Global warming devastates sea ice in Arctic Circle*". Satellietmetingen hebben namelijk aangegeven dat de totale oppervlakte aan zee-ijs in dit gebied drastisch begint te dalen, wat meteen rampzalige gevolgen heeft voor de plaatselijke diersoorten zoals ijsberen. Terzelfdertijd vormt dit een indicatie dat deze zone in de wereld ingesloten dreigt te worden in een destructieve cyclus van onomkeerbare klimaatwijzigingen. Het systeem kan zichzelf immers voeden via een positieve terugkoppeling: minder ijs betekent dat er meer zonne-energie wordt geabsorbeerd door het (donkere) water, waardoor de temperatuur verder toeneemt, wat dan weer tot gevolg heeft dat er nog meer ijs smelt. Als de huidige trend zich voortzet zou de regio al vanaf 2030 volledig ijsvrij kunnen zijn tijdens de zomermaanden. De kans is met andere woorden niet verwaarloosbaar dat een kritische drempelwaarde in het complexe klimaatsysteem vandaag al overschreden is.

Het Arctische zee-ijs is niet het enige ijs dat in zijn voortbestaan bedreigd wordt.

Ook in Groenland wordt de situatie penibel. Het is bekend dat het volledig wegsmelten van het Groenlandijs zou leiden tot een verhoging van het zeeniveau met ongeveer zeven meter. Daarbij komt dat de hiermee gepaard gaande vrijgave van zoetwater tot gevolg kan hebben dat de Golfstroom zou verzwakken of zelfs uitschakelen met verregaande gevolgen voor het klimaat in de Noordelijke hemisfeer. De evolutie van de ijsmassa in Groenland moet bijgevolg nauwgezet opgevolgd worden. Dit gebeurt onder andere in het GRACE-project (*Gravity Recovery and Climate Experiment*), dat wordt gefinancierd door de NASA en het Duitse Ruimtecentrum (DLR). In twee complementaire studies in *Science* en *Nature* heeft men recente schattingen gemaakt voor de evolutie van het Groenlandijs.¹⁷ Tussen april 2002 en april 2006 is er jaarlijks tussen 192 en 258 miljoen ton ijs verloren gegaan. Dit komt overeen met een zeespiegelstijging van ongeveer 0,5 mm per jaar, dewelke hoger is dan tot nu toe werd verondersteld. Daarenboven tonen beide artikels aan dat de snelheid van ijsverlies "dramatisch" is toegenomen gedurende de tijdsperiode van de studie: de afname gebeurde in de periode 2004-2006 2,5 keer sneller dan in 2002-2004. De GRACE-data laten ook toe om vast te stellen dat het ijsverlies vooral optrad in het Zuiden en Zuidoosten van Groenland. Anderzijds dikte het ijs aan in het centrum van Groenland als gevolg van toegenomen sneeuwval. Netto gezien was er echter een verlies aan ijsmassa. Een belangrijke reden hiervoor is de versnelling van de gletsjers die in de zee uitlopen (de zogenaamde *outlet glaciers*). Rignot en Kanagaratnam¹⁸ hadden eerder al in *Science* aangetoond dat de snelheid van diverse gletsjers in Groenland op enkele jaren tijd verdubbeld is, tot 12 km/jaar. Dit alles suggereert dat

de dynamiek van de gletsjers aan het wijzigen is. De modellen van het VN-klimaatpanel voorspelden in 2001 een totale zeespiegelstijging van $0,5 \pm 0,4$ m tijdens de 21ste eeuw. Die modellen bevatten echter slechts een fractie van de dynamische respons van gletsjers. De GRACE-data geven bijgevolg aan dat snellere wijzigingen aan het optreden zijn dan eerder aangenomen.

Verzuring van oceanen

Dat de verhoging van de atmosferische CO_2 -concentratie (van 280 deeltjes per miljoen vóór de industriële revolutie tot 380 deeltjes per miljoen vandaag) ook parallel leidt tot een verzuring van de oceanen, is al langer geweten. Ongeveer de helft van de antropogene CO_2 -uitstoot gedurende de voorbije twee eeuwen is namelijk opgezogen door de oceanen. Wanneer CO_2 oplost in water dan vormt er zich koolzuur wat leidt tot een verzuring van de oceanen. De scheikunde hiervan is duidelijk. Nochtans is er relatief weinig kennis over de langetermijneffecten hiervan. Dit is de reden waarom er meer en meer onderzoek in die richting gebeurt. In een nieuwsartikel in *Nature* heeft men recent nog een overzicht gegeven van de stand van zaken.¹⁹ Wat sterk beklemtoond wordt, is dat de huidige verzuring van de oceanen wellicht haar weerga niet kent in de geschiedenis. Zo evolueerde de gemiddelde zuurtegraad (pH) van 8,16 in 1800 naar 8,05 vandaag. Dit is een verzuring die ongeveer 100 keer sneller is dan wat er zich ooit in de afgelopen honderden millennia heeft voorgedaan. Deze *no-analogue state* (een term die zegt dat er geen analoge toestand is in het verleden waarmee de situatie vandaag zou kunnen worden vergeleken) impliceert dat de hedendaagse zeebewoners worden geconfronteerd met omstandigheden die hun voorouders nooit hebben

gekend. Zure wateren zijn chemisch agressief ten opzichte van de skeletten van vele mariene organismen. Zo is vastgesteld dat het calcieteraamte van phytoplankton gevoelig is voor sterke verzuring, wat ook gevolgen heeft voor de voedselwebben die het plankton ondersteunt. Vandaag worden tal van experimenten uitgevoerd op de effecten van verzuring op krabben en grotere dieren. Daarbij kwam aan het licht dat diepzeeorganismen waarschijnlijk veel gevoeliger zijn dan dieren die in ondiepe wateren leven. Omdat koolzuur beter oplost in koude wateren en onder grotere druk, neemt het effect van oceaanzuurtoename immers toe met de diepte. Andere onderzoekers stellen daarom dat koudwaterkoraalriffen uiterst kwetsbaar zullen zijn voor een verdere verzuring van de oceanen. Koudwaterkoralen bestaan uit aragoniet, een mineraal dat meer oplosbaar is dan het calciet van plankton. Projecties geven aan dat tegen het einde van de 21ste eeuw twee derden van alle diepwatorkoralen blootgesteld zullen zijn aan zeewater dat corrosief is ten opzichte van aragoniet. De achteruitgang van koraalriffen heeft om evidente redenen ook negatieve gevolgen voor de soorten die afhankelijk zijn van deze complexe ecosystemen.

Projecties naar de toekomst

Uit het voorgaande is al gebleken dat de opwarming van de planeet over veel meer gaat dan over een toename van de gemiddelde temperatuur. Veel studies zijn ook gemaakt om na te gaan wat de effecten voor de mens zullen of kunnen zijn. Het valt buiten het bestek van dit artikel om alle recente bevindingen in deze context te behandelen. In een notendop komt het erop neer dat er verbanden worden gelegd tussen opwarming enerzijds en meer intense tropische orkanen,²⁰ meer en langer

durende bosbranden,²¹ grotere periodes van droogte en hittegolven²² anderzijds. Juist omwille van de kans op dergelijke ontwrichtende evenementen, worden er in die context ook meer studies verricht om verschillende projecties te kunnen maken voor de toekomst. In één van dat type van onderzoeken heeft men een risicoanalyse uitgevoerd voor 's werelds ecosystemen.²³ Centraal stond de idee van het voorkomen van "gevaarlijke antropogene interferentie" met het klimaat. Hiermee refereert het VN-raamwerk inzake klimaatwijzigingen (UNFCCC) aan een atmosferisch CO₂-stabilisatieniveau waarbij ecosystemen zich "op natuurlijke wijze kunnen aanpassen aan de klimaatwijzigingen". Men kan zich echter de vraag stellen wat "gevaarlijke antropogene interferentie" eigenlijk betekent. In de wetenschappelijke literatuur wordt het begrip meestal geïnterpreteerd in de context van kritische drempelwaarden die abrupte klimaatfenomenen op gang kunnen brengen. Nochtans stapelt het bewijsmateriaal zich op dat zegt dat lokale, "gevaarlijke" ecologische reacties al kunnen optreden bij relatief kleine klimaatwijzigingen. De onderzoekers gebruikten een klimaatmodel met diverse scenario's die verschillende niveaus van globale opwarming simuleerden: < 2°C (klimaatwijzigingen louter als gevolg van reeds uitgestoten broeikasgassen), 2-3°C en > 3°C-opwarming. Men onderzocht hoe de risico's evolueerden voor de verschillende regio's in de wereld. De conclusies waren als volgt. Niet-triviale risico's treden al op bij opwarming < 2°C. Risico's die zich manifesteren bij < 2°C-opwarming worden groter en aanzienlijk groter bij respectievelijk 2-3°C en > 3°C-opwarming. Uit de studie bleek dat het Amazonegebied, de boreale wouden en Arctische toendra's bijzonder kwetsbaar zijn. In het Amazonegebied bestaat er een grote

kans op droogte,²⁴ klimaatgeïnduceerde bosafsterving en bosbranden. De eerder vermelde krantenkop over "The Century of Drought", op basis van een onderzoek van het toonaangevende Britse Hadley Centrum, is met andere woorden niet uit de lucht gegrepen. Bij een opwarming > 3° bestaat er zelfs een reële kans dat tegen het einde van de 21ste eeuw de aardse biosfeer een koolstofbron wordt in plaats van een koolstofput. Dit impliceert opnieuw een sterke positieve koolstofterugkoppeling (zie *supra*). En ook in een studie in PNAS kwam men tot de conclusie dat verdere globale opwarming moet beperkt worden tot een extra 1°C (dit is zelfs iets minder dan +2°C sinds het begin van de industriële revolutie).²⁵

Opwarming bestrijden via geo-engineering

Uit het voorgaande blijkt dat de uitdagingen enorm zijn. Om de totale opwarming te beperken tot een maximale 2°C moet de CO₂-concentratie gestabiliseerd worden op een voldoende laag niveau. Zo heeft men in het befaamde *Meeting the Climate Challenge*-rapport²⁶ de 2°C-grens vertaald naar een maximaal toelaatbare CO₂-stabilisatieconcentratie (of bij uitbreiding een equivalente CO₂-concentratie om ook de korf van andere broeikasgassen zoals bijvoorbeeld methaan in rekening te brengen) van 400 ppm CO₂-equivalent, merkbaar lager dan de richtwaarde die het VN-klimaatpanel tot op heden opgaf, namelijk 550 ppm CO₂-equivalent. Bedenk dat de huidige CO₂-concentratie (op zich al) 380 ppm bedraagt en met ongeveer 2 ppm per jaar stijgt. Dit laat zich vertalen in een drastische terugging van de mondiale CO₂-uitstoot, in de orde van grootte van 60% in enkele decennia. Voor de landen in het Westen komt dit neer op een daling van de broeikasgasuitstoot met ongeveer 90%

(Factor 10 in vakjargon). Het spreekt voor zich dat deze opdracht niet bepaald evident is, zeker niet als men rekening houdt met het armetierige politieke én maatschappelijke draagvlak. Dit is één van de redenen waarom in bepaalde kringen meer en meer wordt nagedacht over enkele drastische *high-tech* noodscenariò's.

Een eerste 'oplossing' die men nu naar voren schuift, is om massaal gebruik te beginnen maken van een proces dat men in het Engels *carbon sequestration* (koolstofverwijdering) noemt. Het behelst een techniek om bij de opwekking van elektriciteit via de verbranding van fossiele brandstoffen (vooral steenkool) de geproduceerde CO₂ via gaswassers af te scheiden van de rest van de gasstroom en deze vervolgens weg te pompen naar ondergrondse geologische opslagzones. In een edito in *Nature* heeft men een genuanceerd beeld geschetst van de voor- en nadelen van deze techniek.²⁷ In de eerste plaats is het zo dat het Internationaal Energieagentschap voorspelt dat tijdens de komende 25 jaar nieuwe steenkoolcentrales in werking zullen treden met een totaal vermogen van 1400 GW. Zonder politieke maatregelen zal het merendeel van die centrales zonder koolstofverwijdering opereren. Dit geeft onmiddellijk het immense belang aan van mondiale politieke actie zodat de vereiste investeringen voor *carbon sequestration* haast verplicht worden. Anderzijds is men in *Nature* ootmoedig genoeg om toe te geven dat deze techniek helemaal geen panacee is. Koolstofverwijdering verlaagt de efficiëntie van steenkoolcentrales omdat er een grote hoeveelheid brandstof nodig is (10 à 40% volgens het VN-klimaatpanel) om de CO₂ af te scheiden en te verpompen naar de ondergrondse reservoirs. Om de efficiëntie niet verder te verlagen mag de afstand tussen de

centrale en de reservoirs niet te groot zijn. Bovendien bestaat er geen garantie dat de opslag van die CO₂ volledig stabiel zal zijn. Lekken kunnen niet uitgesloten worden. *Nature* concludeert dan ook dat *carbon sequestration* zelfs in het meest optimistische scenario minder dan de helft van de antropogene CO₂-uitstoot zal kunnen dekken. Zoals steeds betreft het slechts een klein deeltje van de oplossing. Bovendien blijft zij in gebreke als het totale energiegebruik zou blijven stijgen.

Om de globale opwarming krachtiger te bestrijden, zijn er daarom ook andere en radicalere voorstellen geformuleerd. In vakjargon spreekt men dan van *geo-engineering*: dit heeft betrekking op grootschalige projecten om via technologie globale wijzigingen in het Ecosysteem Aarde aan te sturen. Enkele maanden geleden was er sprake van grote opschudding toen Paul Crutzen, voormalig Nobellaureaat, in het tijdschrift *Climatic Change* voorstelde om de planeet opzettelijk te vervuilen met een immense hoeveelheid zwavelafval.²⁸ Om dit *geo-engineering*-project wetenschappelijk te duiden is het zinvol om het werk van Meinrat Andreae, Chris Jones en Peter Cox over het fenomeen *global dimming* eventjes terug onder de aandacht te brengen.²⁹ De centrale boodschap die in deze publicatie uit de doeken werd gedaan, luidt dat aërosolen in de atmosfeer vanwege hun koelende invloed ons gedurende de laatste honderd jaar hebben beschermd voor nog grotere globale opwarming dan wat empirisch werd waargenomen. Aërosolen zijn deeltjes die eveneens vrijkomen bij de verbranding van fossiele brandstoffen en biomassa en die ervoor zorgen dat er netto gezien minder zonne-energie het oppervlak van de aarde bereikt. Wetenschappelijk onderzoek heeft alleszins aangetoond dat het *dimming*-effect aanzienlijk is geweest, vooral tijdens

de tweede helft van de twintigste eeuw. Crutzen stelt daarom voor om het aërosolgehalte in de atmosfeer kunstmatig te verhogen, zodat een afkoelend effect wordt veroorzaakt dat de opwarming vanwege de broeikasgassen gedeeltelijk zou compenseren.

In oktober verscheen er over dit thema een opvolgartikel in *Science*,³⁰ wat met een illustreert dat deze piste, althans door sommige klimaatwetenschappers, ernstig wordt genomen. Het spreekt voor zich dat bedachtzaamheid geboden is bij dit type van voorstellen. Persoonlijk beschouw ik ze als reductionistische, lineaire ‘oplossingen’ voor immens complexe en per definitie niet-lineaire problemen.³¹ Dat wordt ook erkend door een heel aantal klimaatwetenschappers in *Science*. De opzettelijke vervuiling van de atmosfeer met SO₂ zou bijvoorbeeld leiden tot een versterking van het probleem van de zure regen. Een ander gevaar is dat de promotie van de idee van een grootschalige SO₂-geo-engineering-strategie net zou verhinderen dat we de kern van de klimaatproblematiek onder ogen zien. Of zoals Meinrat Andreae van het Duitse Max Planck Instituut stelt: “*You’re papering over the problem so people can keep inflicting damage on the climate system without having to give up fossil fuels. [That option could be so attractive that] the biggest risk of geo-engineering is it eliminates pressure to decrease greenhouse gas emissions.*”³² Het resultaat is dan een continue verhoging van de CO₂-concentratie in de atmosfeer, wat ook andere, niet onmiddellijk klimaatgerelateerde gevolgen zou hebben, zoals bijvoorbeeld een verdere verzuring van de oceanen (zie *supra*). Dit is de reden waarom sommige klimaatwetenschappers in het beste geval willen nadenken over een strategie waarbij maatregelen ter terugdringing van de broeikasgasuitstoot gecombineerd zouden worden met *geo-engineering*. Nochtans blijft ook dit

een immens gewaagde optie. Het ware beter om de reële oorzaak (onze energieverlating) van het klimaatprobleem kordaat aan te pakken veeleer dan aan ultra-riskante symptoombestrijding te doen. Dit hoeft overigens niet te verhinderen dat er fundamenteel onderzoek zou gebeuren naar *geo-engineering*, als stok achter de deur indien de situatie ooit helemaal uit de hand zou lopen.

Naar een duurzaamheidstransitie

Het kan nochtans anders. Een drastische duurzaamheidstransitie van onze economie (cf. concepten als industriële ecologie, *zero-waste*, circulaire economie, etc.)³³ is niet onmogelijk. De kennis en de technologie bestaan reeds voor een groot deel. Helaas worden zij te weinig en te traag toegepast, wat recent nog eens werd onderstreept door Martin Rees, voorzitter van the *UK National Academy of Science*, in een editoriaal in *Science*.³⁴ Het is dan ook hallucinant te moeten vaststellen dat, naarmate de klimaatdreiging de laatste 20 jaar is blijven stijgen, het mondiale budget voor onderzoek en ontwikkeling inzake energie *de facto* is gedaald.³⁵ Vele wetenschappers roepen dan ook zeer sterk op om deze trend onmiddellijk om te buigen: een dramatische verhoging van het onderzoeksbudget voor hernieuwbare energiebronnen en schone technologieën dringt zich op. Daarnaast moet er ook massaal geïnvesteerd worden in de toepassing en verspreiding van die (fout- en toekomstvriendelijke) milieutechnologie. Nochtans zullen we de klimaatproblematiek niet oplossen met louter groene technologie en hernieuwbare energie. Daarvoor is de vereiste reductie in mondiale broeikasgasuitstoot te groot. Essentieel is dat de mensheid inziet dat Gandhi gelijk had: “*The world has enough for everyone’s need, but not enough for everyone’s greed*”. Neen, het

is inderdaad onmogelijk om met alternatieve milieutechnologieën de westerse (energie)consumptieniveaus verder te zetten, laat staan te veralgemenen naar de totale wereldbevolking. Anderzijds behoort het nochtans wél tot de mogelijkheden om iedere wereldburger een menswaardige levenskwaliteit te bieden, zonder het draagvlak van de aarde te overstijgen. Om dat te kunnen verwezenlijken zal het begrip eco-efficiëntie vergezeld moeten worden met dat andere cruciale begrip, sufficiëntie. In het licht van deze dubbele uitdaging, kan men ten aanzien van de energie-

kwestie en het ruimere milieuvraagstuk dan ook drie pistes suggereren. De voorgestelde oplossingen vormen een combinatie van drie essentiële principes: 'efficiëntie' (zelfde functie, minder milieudruk), 'minder' (lagere druk door matiging consumptie) en 'anders' (zelfde functie anders realiseren). Het is aan ons om duidelijk te maken dat een minder materialistische levenskeuze enorme kansen inhoudt op het vlak van subjectief welbevinden³⁶ en mondiale rechtvaardigheid. Daar ligt dan ook de uitdaging voor groene politiek in de 21ste eeuw.

[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).

[Extra]

Globaal ten onder?

Een belangrijk aspect van het boek *Terra incognita* (zie bespreking in Oikos 38) - de problematische relatie tussen economie en ecologie zoals die zich vandaag manifesteert, en de noodzaak van een 'ecologische economie' – wordt ook behandeld in een aparte brochure, uitgegeven door Attac:

Peter Tom Jones, 2006, *Globaal ten Onder? Pleidooi voor een ecologische economie*, Discussiecahier van de Wetenschappelijk Raad van Attac Vlaanderen ism Attac Nederland, Lousbergkaai 10, 9000 Gent, <http://vl.attac.be>.

[Noten]

¹ Voor meer recente gegevens, zie Spahni, R., *et al.*, 'Atmospheric Methane and Nitrous Oxide of the Late Pleistocene from Antarctic Ice Cores', *Science*, 310, 2005, 1317-1321; Osborn, T.J., Briffa, K.R., 'The Spatial Extent of 20th-Century Warmth in the Context of the Past 1200 Years', *Science*, 311, 2006, 841-844; Schiermeier, Q., 'A Sea Change', *Nature*, 439, 2006, 256-260.

² Zie bijvoorbeeld Jones, P.T., Jacobs, R., 'Pleidooi tegen onredelijk milieuoptimisme', *Oikos*, (29), 2004, 15-33.

³ Hails, C. (ed.), *Living Planet Report*, WWF, 2006.

⁴ Decoo, S., 'Wereld leeft ecologisch op te grote voet', *De Morgen*, 23/10/2006, 8-9.

⁵ Monbiot, G., *Heat: How to Stop the Planet Burning*, London, 2006.

⁶ Zie website van de film: <http://www.climatecrisis.net>

- ⁷ Hansen, J., *et al.*, 'Global temperature change', *PNAS*, 103 (39), 2006, 14288-14293.
- ⁸ Een El Niño laat zich karakteriseren door een opwarming van het oppervlaktewater in de Stille Oceaan, een fenomeen dat ongelijkmatig optreedt elke 3 à 7 jaar. In Zuidoost-Azië is men vooral bevreemd voor een hogere frequentie, intensiteit en duur van de warmere en droge El Niño-omstandigheden, hoewel er vandaag nog geen consensus bestaat over hoe de opwarming dit cyclische fenomeen precies zal beïnvloeden. De gevolgen van een El Niño-manifestatie zijn vaak dramatisch. Aanhoudende droogte kan ernstige branden met zich meebrengen die via positieve terugkoppeling op hun beurt tot meer opwarming leiden.
- ⁹ Foukal, P., *et al.*, 'Variations in solar luminosity and their effect on the Earth's climate', *Nature*, 443, 2006, 161-166.
- ¹⁰ Scholze, M., *et al.*, 'A climate-change risk analysis for world ecosystems', *PNAS*, 103 (35), 13116-13120.
- ¹¹ Lelieveld, J., 'A nasty surprise in the greenhouse', *Nature*, 443, 2006, 405-406; Bousquet, P., *et al.*, 'Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric variability', *Nature*, 443, 2006, 439-443.
- ¹² Davidson, E.A., Janssens, I.A., 'Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change', *Nature*, 440, 2006, 165-173.
- ¹³ Bellamy, P.H., *et al.*, 'Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003', *Nature*, 437, 2006, 245-248.
- ¹⁴ Page, S.E., *et al.*, 'The amount of carbon released during peat and forest fires in Indonesia during 1997', *Nature*, 420, 2002, 61-65.
- ¹⁵ Walter, K.M., *et al.*, 'Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming', *Nature*, 443, 2006, 71-75.
- ¹⁶ Zie Jones, P.T., 'Terra Incognita (7)', *Oikos*, (38), 2006, 46-59.
- ¹⁷ Velicogna, I., Wahr, J., 'Acceleration of Greenland ice mass loss in spring 2004', *Nature*, 443, 2006, 329-331; Chen, J.L., *et al.*, 'Satellite Gravity Measurements Confirm Accelerated Melting of Greenland Ice Sheet', *Science*, 313, 2006, 1958-1960.
- ¹⁸ Rignot, E., Kanagaratnam, 'Changes in the Velocity Structure of the Greenland Ice Sheet', *Science*, 311, 2006, 986-990.
- ¹⁹ Ruttiman, J., 'Sick seas', *Nature*, 442, 2006, 978-980.
- ²⁰ Landsea, C.W., *et al.*, 'Can We Detect Trends in Extreme Tropical Cyclones?', *Science*, 313, 2006, 452-454.
- ²¹ Running, S.W., 'Is Global Warming Causing More, Larger Wildfires?', *Science*, 313, 2006, 927-928.
- ²² Seneviratne, S.I., *et al.*, 'Land-atmosphere coupling and climate change in Europe', *Nature*, 443, 2006, 205-209.
- ²³ Scholze, M., *et al.*, 'A climate-change risk analysis for world ecosystems', *PNAS*, 103 (35), 13116-13120.
- ²⁴ Zie ook Giles, J., 'The outlook for Amazonia is dry', *Nature*, 442, 2006, 726-727.
- ²⁵ Hansen, J., *et al.*, 'Global temperature change', *PNAS*, 103 (39), 2006, 14288-14293.
- ²⁶ Byers, S., *et al.*, Meeting the Climate Challenge: Recommendations of the International Climate Change Taskforce, januari 2005. [http://www.tai.org.au/Publications_Files/Papers&Sub_Files/Meeting%20the%20Climate%20Challenge%20FV.pdf]
- ²⁷ 'Capturing carbon', *Nature*, 442, 2006, 601-602.
- ²⁸ Crutzen, P., 'Albedo enhancement by stratospheric sulfur injections: a contribution to resolve a policy dilemma', *Climatic Change*, 2006 [DOI: 10.1007/s10584-006-9101-y].
- ²⁹ Andreae, M.O., Jones, C.D., Cox, P.M., 'Strong present-day aerosol cooling implies a hot future', *Nature*, 435, 2005, 1187-1190.
- ³⁰ Wigley, T.M.L., 'A Combined Mitigation/Geoengineering Approach to Climate Stabilization', *Science*, 314, 2006, 452-454.
- ³¹ Voor meer uitleg hierover, zie Hoofdstuk 1 van Jones, P.T., Jacobs, R., *Terra Incognita: Globalisering, ecologie en rechtvaardige duurzaamheid*, Gent, 2006.
- ³² Geciteerd in Kerr, R.A., 'Pollute the Planet for Climate's Sake?', *Science*, 314, 2006, 401-403.
- ³³ Zie ook Deel III van Jones, P.T., Jacobs, R., *Terra Incognita: Globalisering, ecologie en rechtvaardige duurzaamheid*, Gent, 2006.
- ³⁴ Rees, M., 'The G8 on Energy: Too Little', *Science*, 313, 2006, 591.
- ³⁵ 'Energy shame', *Nature*, 443, 2006, 1.
- ³⁶ Zie bijvoorbeeld het boeiende werk van Prof. Tim Jackson aan de Universiteit van Surrey en de rapporten van de *New Economics Foundation* in Londen.