



Onzekerheden en klimaatverandering

Onzekerheden en klimaatverandering

A.M. de Gier en J.B. Opschoor (red.)

W.B.H.J. van de Donk

P. Hooimeijer

J. Jepma

J. Lelieveld

J. Oerlemans

A. Petersen

© 2008 Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW)

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, via internet of op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van rechthebbende, behoudens de uitzonderingen bij de wet gesteld.

Kloveniersburgwal 29, 1011 JV Amsterdam

Postbus 19121, 1000 GC Amsterdam

T 020 551 07 00

F 020 620 49 41

E knaw@bureau.knaw.nl

www.knaw.nl

ISBN 978-90-6984-567-8

Het papier van deze uitgave voldoet aan © iso-norm 9706 (1994) voor permanent houdbaar papier.

Herkomst foto op de omslag: KNMI

Inhoud

Voorwoord 7

Hans Opschoor *Inleiding* 9

Hans Oerlemans *De voorspelbaarheid van klimaatverandering is begrensd* 17

Arthur Petersen *Omgaan met onzekerheid over het klimaatsysteem* 25

Jos Lelieveld *Montreal Protocol ter bescherming van de ozonlaag* 29

Catrinus Jepma *Hoe robuust zijn recente IPCC werkgroep III conclusies?* 35

Wim van de Donk *Politiek als kunst van het onzekere? Omgaan met onzekerheid als politieke kwaliteit* 43

Pieter Hooimeijer *Onzekerheid en diversiteit* 55

Over de auteurs 59

Voorwoord

De Akademie organiseert geregeld discussiebijeenkomsten waarbij sprekers uit uiteenlopende disciplines hun licht laten schijnen over een actueel onderwerp. Deze zogenaamde themabijeenkomsten zijn bedoeld voor onderzoekers en een breder publiek. Bovendien zijn ze vaak ook interessant voor beleidsmakers.

Op 26 november 2007 organiseerde de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW) een themabijeenkomst *Onzekerheden en klimaatverandering*. In deze publicatie treft u de gebundelde voordrachten aan en enkele conclusies naar aanleiding van de discussie van deze drukbezochte bijeenkomst.

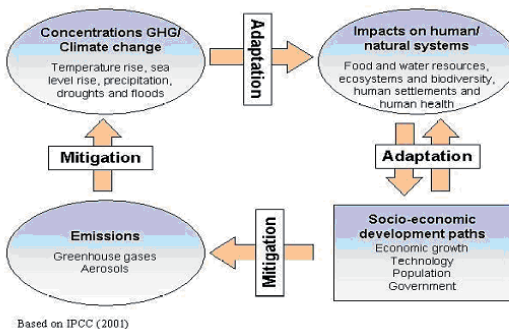
Het is niet geheel toevallig dat deze bijeenkomst plaatsvond in dezelfde maand als waarin het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) zijn eindrapport van de vierde zogenaamde ‘assessment’ van de stand van de kennis inzake klimaatverandering publiceerde. Over de natuurwetenschappelijke aspecten zoals die in deze (en eerdere) assessments naar voren komen, is altijd discussie geweest. Maar in de themabijeenkomst is ook aandacht geschonken aan een aantal sociaalwetenschappelijke aspecten, onzekerheden, en reacties daarop.

De voorbereidingscommissie voor de themabijeenkomst *Onzekerheden en klimaatverandering* bestond uit de Akademieleden prof. dr. J.B. Opschoor (voorzitter) prof. dr. ir. J. Bouma, prof. dr. P. Hooimeijer, prof. dr. R. Leemans, prof. dr. J. Oerlemans, mw. ir. A.M. de Gier (KNAW, secretaris).

Prof. dr. Robbert Dijkgraaf
president

Inleiding

Het 'systeem aarde' is een zeer complex, dynamisch systeem; een deel van die complexiteit en dynamiek hangt samen met menselijke activiteiten, met maatschappij-milieu-interacties. Klimaatverandering is een van de grote thema's – zo niet: kwesties – binnen het kader van de mondiale milieuveranderingen, of *'global environmental change'*. De analyse daarvan door klimaatwetenschappers volgt vaak het conceptuele kader van figuur 1. Uit maatschappelijke activiteiten komen emissies voort, die via veranderingen in concentraties tot opwarming kunnen leiden. Dat heeft effecten op maatschappelijke en natuurlijke systemen die op zich die activiteitenpatronen en -niveaus weer kunnen beïnvloeden, met gevolgen voor (onder andere) emissies.



Figuur 1: Een geïntegreerd conceptueel kader van klimaatverandering en reacties daarop.

Blijkens de recente *Summary for Policymakers* van de vierde wetenschappelijke evaluatie van de kennis inzake klimaatverandering (IPCC 2007), *[t]here is very high confidence that the net effect of human activities since 1750 has been one of warming' en 'high agreement and much evidence that with current climate change mitigation policies and related sustainable development practices, global ghg emissions will continue to grow over the next few decades.*' Die opwarming leidt tot andere effecten (ibid.), waaronder veranderde frequenties en intensiteiten van extreme weersomstandigheden, stijging van de zeespiegel, et cetera, (mede) samenhangend met scenario's van maatschappelijke ontwikkeling; de manifestatie ervan over de aardbol is ongelijk verdeeld. Antropogene opwarming zou ook tot abrupte en/of onomkeerbare veranderingen kunnen leiden zoals het smelten van de ijskappen op land aan de polen. Weliswaar wordt dat verwacht op een tijdschaal van duizenden jaren, maar dat dit al binnen eeuwen gebeurt *'cannot be excluded'*. Andere effecten in deze categorie zijn het uitsterven van soorten bij verdergaande opwarming, en het *'very likely'* trager worden van de meridionale omslaande circulatie (bij overigens een *'very unlikely'* daadwerkelijke omslag daarvan in de 21e eeuw). De genoemde gevolgen zijn onderdeel van een veel groter scala (IPCC 2007 b en d, Stern 2006). Duidelijk wordt dat die effecten verergeren met de mate van opwarming (in een range van 0-50 C ten opzichte van 1800), en elk verschillende- en onzekere vertrek- en eindpunten kennen. Andere onzekerheden doen zich voor bij de relatering van die effecten aan de concentraties van broeikasgassen 'achter' de temperatuurstijgingen waarmee ze in verband worden gebracht.

In bovenstaande citaten en voorbeelden komt herhaaldelijk een kwalificatie voor van de onzekerheden waarmee de genoemde verschijnselen volgens het IPCC omgeven zijn; niet valt uit te sluiten dat ook die kwalificaties zelf met marges moeten worden omgeven – daarover is de laatste jaren diepgaand gediscussieerd. Maar ook als we die discussies hier niet herhalen, blijft er genoeg aan onzekerheden over die aandacht vergen. Gesteld kan worden, dat de discussies over onzekerheden rond de klimaatverandering verschuift van kwesties als: 'is er klimaatverandering en komt die wel door de mens?' naar die over 'welke gevolgen heeft die (en waar) bij verschillende niveaus van opwarming?' en vooral naar de onzekerheden bij het beantwoorden van de vraag: 'moeten we de klimaatverandering tegengaan, ons eraan aanpassen of gewoon maar ondergaan?'

VN-Klimaatverdrag en onzekerheid

De in 1992 in Rio getekende United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) noemt als het uiteindelijke doel van het verdrag: '...het bewerkstelligen van een stabilisering van de concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer op een niveau waarop gevaarlijke antropogene verstoringen van het klimaatsysteem worden voorkomen, ... binnen een tijdsbestek dat toereikend is om ecosystemen in staat te stellen zich op natuurlijke wijze aan te passen.... en de economische ontwikkeling op duurzame wijze te doen voortgaan' (UNFCCC, Art 2). Over dat ongevaarlijke niveau (en

de technische mogelijkheden om dat te realiseren) is nogal veel onzekerheid, waarbij het ook (misschien wel vooral) gaat om onzekerheden die te maken hebben met prioritering op internationaal niveau van de effecten van klimaatverandering ten opzichte van die van andere vormen van mondiale verandering.

Het gaat in deze publicatie om onzekerheden en hoe daarmee om te gaan. Het verdrag zelf spreekt daar ook over, en wel in artikel 3 van de beginselen waarop het is gebaseerd. Daar is te vinden dat de verdragspartijen voorzorgsmaatregelen dienen te nemen om te anticiperen op de oorzaken van klimaatverandering, dan wel deze te voorkomen of in te perken, en de nadelige gevolgen daarvan te beperken; wanneer ernstige of onherstelbare schade dreigt te ontstaan, ‘... mag gebrek aan volledige wetenschappelijke zekerheid niet als grond dienen voor uitstel van die maatregelen, daarbij in aanmerking nemend dat het beleid en de maatregelen mondiaal voordelen opleveren tegen zo laag mogelijke kosten’ (UNFCCC art.3, lid 3). Dit correspondeert met wat in de Duurzame Ontwikkelings-literatuur het *Precautionary Principle* is genoemd. In de zogenaamde Verklaring van Rio de Janeiro over Milieu en Ontwikkeling zijn 27 beginselen vastgelegd; het 15e daarvan luidt dat staten, teneinde het milieu te beschermen, naar hun vermogen ‘... de voorzorgsbenadering moeten toepassen. Daar waar ernstige of onomkeerbare schade dreigt, dient het ontbreken van volledige wetenschappelijke zekerheid niet als argument te worden gebruikt voor het uitstellen van kosteneffectieve maatregelen om milieuaantasting te voorkomen’. Tenaars van de Klimaatconventie zijn dus gehouden tot een voorzorgsbenadering. Of dat op zich eenduidig is, kan worden betwijfeld (ondanks de heldere tekst): er wordt in elk geval een meerduidige uitwerking gegeven aan het begrip. De WRR heeft in zijn advies over de klimaatstrategie daarover ook stelling genomen (WRR 2006: 48).

Risicomaatschappij

De onzekerheden rondom hun inschattingen en voorspellingen krijgen in IPCC-documenten uitvoerig aandacht. De eerste twee hoofdstukken zullen uitvoerig stilstaan bij de voorspelbaarheid überhaupt van klimaatverandering (Oerlemans) en hoe daarmee wordt omgegaan (Petersen).

Die onzekerheden maken de individuele en collectieve besluitvorming hoe met klimaatverandering om te gaan, niet eenvoudiger. Klimaatverandering is een voorbeeld van in maatschappelijke ontwikkeling verankerde, door menselijk handelen ‘geproduceerde onzekerheid’.

Er zijn naast klimaatverandering en milieudegradatie natuurlijk ook andere problemen met mondiale betekenis. Denk aan de volatiliteiten die samenhangen met internationale financieel-economische systemen, denk aan de risico’s van internationaal terrorisme en de backlash van reacties daarop. Die alle laten we buiten beschouwing. Sociale wetenschappers spreken in navolging van Ulrich Beck wel van een zogenaamde ‘risicomaatschappij’. De risicomaatschappij is een maatschappij die is georganiseerd vanuit de realisatie van het op grote schaal aanwezig zijn van risico’s en als respons op

die risico's. Dat heeft een paar consequenties, die ook van belang zijn in het klimaatdiscours.

Ten eerste: Beck maakt aannemelijk dat beleid en politiek alleen niet meer in staat zijn om in te staan voor alle risico's van de moderne maatschappij. Dat zou ertoe moeten leiden dat in een risicomaatschappij zogenaamde 'sub-politieke gebieden' ontstaan waar beleidsmakers, wetenschappers, burgers of hun organisaties, bedrijven, etcetera, elkaar ontmoeten. Meer betrokkenheid van maatschappelijke organisaties blijkt in een risicomaatschappij een noodzakelijke factor in het opbouwen van institutionele geloofwaardigheid. Ten tweede: in een maatschappij gekenmerkt door onzekerheid en gebrek aan consensus kunnen keuzen niet langer louter worden gebaseerd op rationele kosten-baten-analyses of het zoeken naar betere technologische oplossingen (Hajer 2007). Dat wil niet zeggen dat die niet belangrijk blijven, maar eerder als input in een bredere reflectie. Petersen en Van Asselt vatten een studie die door de RMNO is georganiseerd over omgaan met onzekerheid als volgt samen: 'Onze belangrijkste aanbeveling voor experts en instituten, die zich bewegen in contexten waar wetenschappelijke onzekerheid een probleem wordt, is dat methoden van onzekerheidsanalyse en dergelijke gebruikt moeten worden als middel tot reflectie. De onzekerheidsbewuste houding, die in principe een wetenschapper eigen is, zou door experts en beleidsondersteunende instituten (nog) meer dan nu het geval is ook in beleidscontexten gekoesterd en uitgedragen moeten worden (RMNO, 2003). Daar wil deze themabijeenkomst vanuit de KNAW toe bijdragen.

Over het omgaan met onzekerheden als 'politieke kwaliteit' schrijft Van de Donk, wiens achtergrond mede wordt gevormd door het recente WRR-rapport aan de Nederlandse regering over de te voeren klimaatstrategie (WRR 2006). Lelieveld zal vanmiddag meer speciaal stilstaan bij de rol van modelvoorspellingen, waarbij hij zijn uitgangspunt kiest in een ander protocol dan het klimaatprotocol: dat van Montreal over stoffen die de ozonlaag uitputten. Misschien dat we daarvan ook in de klimaatsaanpak kunnen leren – een vorm van positief omgaan met beleidsmatige variabiliteit.

Oorzaken en aanpak van milieu- en klimaatverandering

In de milieukundetak van de milieuwetenschappen is al zo'n kleine 40 jaar de identiteit 'I = PAT' in gebruik. Daarin staat I voor milieueffecten, P voor bevolkingsomvang, A voor welvaart en T voor technologie. Die factoren corresponderen met wat sinds de herontdekking van milieuproblematiek in de jaren '60 van de vorige eeuw aan oorzaken was geïdentificeerd van milieudegradatie. Dat het hier om een identiteit gaat – of zelfs een tautologie – wordt duidelijk in de volgende 'decompositie' van I:

$$I = P \times Y/P \times I/Y$$

waarin Y staat voor inkomen (en A een weergave is van Y/P en T is vervangen door I/Y). In het klimaatonderzoek komt men een variant hierop tegen (van Kaya):

$$C = P \times Y/P \times C/Y = P \times Y/P \times C/E \times E/Y$$

Hierin staat C voor koolstof en E voor energie. (Men beperkt zo de analyse van de klimaatverandering tot aspecten die met energieverbruik samenhangen, maar laten we dat gemakshalve maar even volgen.) De technologiecomponent wordt dan ontleed in een element dat de koolstofintensiteit van energie omvat, en een term voor de energie-intensiteit van het productieproces. Op middellange termijn – zo redeneert men dan soms verder – valt aan P niet zo veel te doen. Sleutelen in neerwaartse richting aan Y/P is in mondiaal verband geen realiseerbare optie. Dus als wij klimaatverandering willen terugdringen dan moeten we in dit simpele model gaan mitigeren door de energie-intensiteit van de productie en de C-intensiteit in het energieverbruik omlaag te brengen. Afhankelijk van de relatie tussen C-emissies en temperatuurstijging, is dat een meer of minder zware opdracht. Bij de veronderstelde toenames van de wereldbevolking en het inkomen per hoofd in 2100 kon dit weleens de kant uitgaan van decarbonisaties tot 80 of 90% van wat er zou ontstaan als C/E-waarde bij ongewijzigd beleid, indien men in 2100 binnen de 2-dan wel 3 graden temperatuurstijging wenst te blijven (Banuri and Opschoor 2007). Dat is heel wat – het zou neerkomen op een vrij ingrijpende ‘decarbonisatie’. Geen wonder dat sommige regeringen liever praten over inzet op technologische innovatie dan over het redeneren vanuit doelstellingen en tijdspaden daarbij.

In feite is dit I=PAT verhaal (of de klimaatvariant daarop) niet veel meer dan een wat somber stemmende top van een ijsberg aan onderliggende krachten: wat zijn de determinanten van ΔP , ΔY , ΔC en ΔE ? Daarbij spelen naast economische krachten institutionele factoren, politieke strategieën een rol, en op een nog dieper niveau zelfs die van culturen en ideologieën. Die determinanten van I of C bieden aanknopingspunten voor beleid. In de IPCC-rapporten wordt al jaren gekeken naar de kennis van innovatie, beleidsinstrumenten en wat dies meer zij, en dit jaar is voor het eerst in Werkgroep III ook gekeken naar de rol van instituties, leefstijlen, et cetera, en zelfs naar alternatieve ontwikkelingspaden (IPCC 2007c).

Maatschappelijke respons

Wat doen mensen en maatschappijen in het zicht van klimaatverandering? Klimaatverandering kan door mensen worden ondergaan op de plekken waar ze zich bevinden, maar ze kunnen er zich ook aan aanpassen om de gevolgen ervan te verminderen (adaptatie). Dus: in de plas onder de kraan blijven zitten, of dweilen. Daarnaast kan men proberen de emissies terug te dringen, dus de kraag dicht te draaien voor wat betreft de antropogene opwarming (mitigatie). Hoe eerder en hoe meer mitigatie, hoe minder de noodzaak voor adaptatie of hoe geringer de schade. Maar hoe eerder en hoe meer mitigatie, hoe hoger – kort door de bocht – de mitigatiekosten. De kosten van mitigatie zijn min of meer raambaar – ondanks grote onzekerheden. We zullen van Jepma vernemen hoe deze en hiermee verwante kwesties in het IPCC hebben gespeeld en hoe het nu staat met onzekerheden terzake.

Een afweging van die kosten tegen eventuele voordelen daarvan in de vorm van verminderde schade en/of adaptatiekosten, valt moeilijk te maken omdat daarvoor de gegevens grotendeels ontbreken. Technisch en economisch bezien, zou het mogelijk zijn om via mitigatie aan het eind van de eeuw op concentraties te zitten die corresponderen met bepaalde opwarmingsniveaus (2 of 3 graden, bijvoorbeeld).

De *IPCC-Summary for Policymakers* (IPCC 2007d) vat de stand van kennis en kunde op dit punt samen in punten als:

- A wide array of adaptation options is available, but more extensive adaptation is required to reduce vulnerability to climate change.
- ... there is high agreement and much evidence of substantial economic potential for the mitigation of global GHG emissions over the coming decades that could offset the projected growth of global emissions...
- Decisions about macroeconomic and other non-climate policies can significantly affect emissions, adaptive capacity and vulnerability.
- There is high confidence that neither adaptation nor mitigation alone can avoid all climate change impacts; however, they can complement each other and together can significantly reduce the risks of climate change.

Men heeft gepoogd ramingen te maken van de ordes van grootte van de gevolgen die met name mitigatie zou hebben op de wereldeconomie (in GWP of equivalenten daarvan). Mitigatie tot een gegeven maximumniveau van temperatuurstijging zal in de loop van de tijd een groter offer vragen. De ramingen zijn op zich weer aan onzekerheid onderhevig. Teruggaan tot een temperatuurstijging van 30 C zou in 2050 ongeveer 1,5% GWP-verlies betekenen (maar het kan ook een pieklein GWP-winstje opleveren of een verlies van 4%). Teruggaan tot 20 zou een verlies ter grootte van 5,5% opleveren. Maar heeft het ook zin om dat te doen? Daar zijn verschillende reacties op mogelijk. Allereerst: blijkens het Stern-plaatje van de gevolgen hiervan (Stern 2006) zou je je dan begeven in de zone met de grotere risico's. Sommigen zeggen: dat is sowieso ongewenst, en de maatschappij kan nog verder teruggaan, als het gemiddeld toch maar zo weinig zou kosten. Anderen – zoals Lomborg – zeggen: geef dat geld liever uit aan malaria of directe armoedebestrijding. Men kan daarvoor als argumenten in stelling brengen dat dit wellicht in vergelijking tot het resultaat van die mitigatie voor mensen een per saldo positief effect heeft op hun uiteindelijke welvaartsniveau. Men dient evenwel ook eventuele nadelige toekomstige gevolgen van het nalaten van mitigatie te beschouwen: de hogere kosten van het dragen van de gevolgen van klimaatverandering en/of adaptatie daaraan. Dat soort kosten kunnen, als we moeten gaan rekenen met zeven meter zeespiegelstijging er voor onze kleinkinderen en hun nageslacht wel eens een slagje meer toe doen. Van die kosten van adaptatie of compensatie weten we nog veel te weinig (onderzoek ernaar is gaande). Enkelingen steken hun nek uit om die onzekerheid te trotseren. Stern et al (2006) zijn daar een voorbeeld van.

Zij komen over de hele lange termijn tot welvaartsbaten van het gaan tot niet meer dan zo'n drie graden opwarming, die wel vijf tot twintig keer hoger kunnen liggen (afhankelijk van wat men meerekent en van hoe wordt gerekend) dan de kosten van mitigatie om dat doel te bereiken.

Wat ook de adaptatiekosten zullen blijken te zijn en hoeveel mitigatie-inspanning erdoor ook zou worden gemotiveerd, mitigatie nu zou temperatuurstijging gedurende de decennia voor ons niet meer kunnen stoppen. Het is dus prudent om met voortgaande schadelijke klimaatverandering te rekenen en sterk in te zetten op adaptatie – zowel nationaal als ook internationaal. Sommige landen kunnen zelfs niet anders. Ondertussen dient onderzoek zich niet alleen te richten op het ontwikkelen van opties voor verbeterde adaptatie, maar ook op verbeterde mitigatietechnologie: alternatieve broeikasvrije energie. Ik wil deze inleiding eindigen met een zekerheid: diversificatie in de portefeuille van strategieën is de beste manier om met de onzekerheden van ijs en weder om te gaan.

Referenties

- Banuri T. en J.B. Opschoor (2007) *Climate Change and Sustainable Development*. UN/ Ecosoc, Division of Economic and Social Analysis (DESA), DESA Working Paper No. 56; Oct. 2007.
- Beck, U. (1992) *Risk Society – Towards a new modernity* (Suhrkamp 1996 / Sage 1992).
- Hajer M.A. (2007) *Naar een samengesteld begrip van democratie: of hoe aan representatie nieuwe inhoud kan worden gegeven*. Eburon Delft 2007.
- IPCC 2007a. *Climate Change: The Physical Science Basis*. www.ipcc.ch.
- IPCC 2007b. *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. www.ipcc.ch.
- IPCC 2007c. *Mitigation of Climate Change*. www.ipcc.ch.
- IPCC 2007d. *Summary for Policymakers of the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report* draft 16 november 2007 (www.ipcc.ch)
- Lomborg (2007) *Cool it! Zin en onzin in het debat over de klimaatverandering*. Uitgeverij Het Spectrum.
- RMNO (2003) *Niet bang voor onzekerheid; uitleiding Petersen en Van Asselt*. Den Haag: RMNO.
- Stern, N. (eds.) (2006) *Stern Review: The economics of climate change*. Cambridge University Press.
- Wackernagel, M. Onisto L., Callejas Linares A., et al. (1997): *Ecological Footprints of Nations. Study for the Rio+5 Forum*, Center for Sustainability Studies, University Anahuac de Xalapa, Xalapa, Mexico.
- WRR (Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid) (2006) *Klimaatstrategie – tussen ambitie en realisme*. WRR Rapporten aan de Regering No. 74. Amsterdam University Press.

De voorspelbaarheid van klimaatverandering is begrensd

De Brownse beweging werd voor het eerst beschreven door, men kan het vermoeden, Robert Brown (1773-1858). In 1827 bestudeerde hij het gedrag van stuifmeelkorrels in een vloeistof, en stelde vast dat ze een onregelmatige beweging vertoonden terwijl het toch 'dode materie' betrof. Later werd duidelijk dat het gaat om de voortdurende, maar onregelmatige beweging van moleculen, die door overdracht van impuls het Brownse deeltje een willekeurige pad laten beschrijven. Einstein ving het allemaal netjes in een wiskundige formulering en liet onder andere zien, dat de standaardafwijking van de positie ten opzichte van de uitgangssituatie toeneemt met de wortel uit de verstreken tijd.

Wat heeft dit nu te maken met de klimaatproblematiek? Stilstaan bij de Brownse beweging is een goede manier om ons te realiseren, dat begrip niet automatisch leidt tot voorspelbaarheid. Het mechanisme van de Brownse beweging begrijpen we tot in detail, maar we kunnen de baan van een individueel deeltje niet voorspellen.

Edward N. Lorenz, die in 2005 de Buys Ballotmedaille kreeg, heeft uitgebreid onderzoek gedaan naar de voorspelbaarheid van weer en klimaat (e.g. Lorenz, 1976). Hij ontdekte onder andere dat een dynamisch systeem met maar drie toestandvariabelen, gekoppeld door betrekkelijk simpele differentiaalvergelijkingen, chaotisch gedrag kan vertonen. Het voert hier te ver om een samenvatting van Lorenz' studies te geven, maar enkele aspecten kunnen wel genoemd worden. Zo vond Lorenz dat in een systeem, waarin veel instabiliteiten optreden, kleine veranderingen in een begintoestand, of kleine veranderingen in de modelparameters, kunnen leiden tot een sterk afwijken-

de evolutie. Voortbordurend op de ideeën van Lorenz worden in de weersverwachting tegenwoordig zogenaamde ensemble-forecasts gemaakt, waarbij de ontwikkeling van de toestand van de atmosfeer voor de komende tien dagen maar liefst 51 keer uitgerekend wordt met licht verschillende begincondities. Het resultaat hiervan is op de website van bijvoorbeeld het KNMI dagelijks te zien. Soms lijken de 51 verwachtingen op elkaar, soms lopen ze erg uiteen: de voorspelbaarheid varieert blijkbaar sterk.

Begrip leidt niet altijd tot voorspelkracht

Het werk van Lorenz laat zien, dat er in niet-lineaire systemen vaak sprake is van quasi-chaotisch gedrag. In de oplossingsruimte bestaat dan een structuur met gebieden, waarin het systeem zich bij voorkeur bevindt. Het is echter moeilijk te voorspellen wanneer het systeem van de ene voorkeurstoestand naar de andere overgaat. De 'voorspelhorizon' is dan beperkt, dat wil zeggen dat, ondanks een goede beschrijving van de begintoestand, de evolutie van een systeem slechts voor een relatief korte tijd voorspeld kan worden. Voor de dynamica van de atmosfeer op tijdschalen van dagen tot maanden is dit evident. Als we naar langere tijdschalen kijken (het klimaat), ligt het wat genuanceerder.

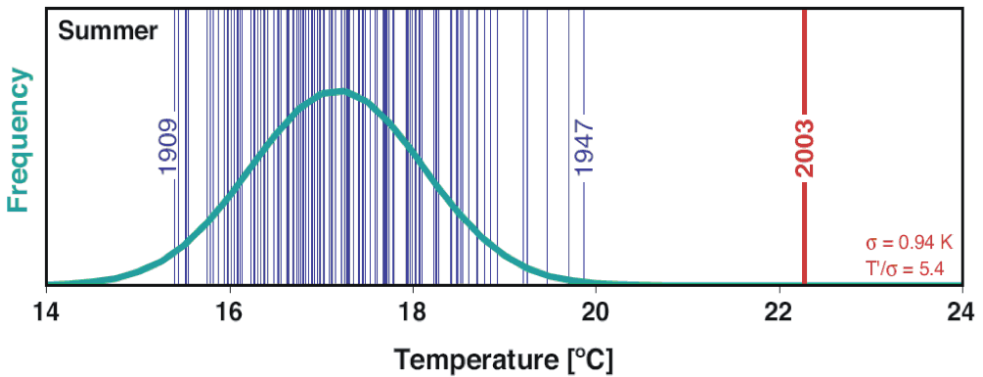
In het geval van het klimaatsysteem kan men misschien optimisme putten uit het feit, dat kleine veranderingen in de externe forcering wellicht slechts leiden tot kleine verschuivingen van de voorkeursgebieden in de oplossingsruimte. De structuur van de oplossingsruimte blijft dan grotendeels intact en het systeem wordt ook niet onmiddellijk in een andere voorkeurstoestand gedwongen. Maar het is moeilijk vast te stellen wat 'klein' in dit verband nou eigenlijk is!

Verrassingen zullen blijven komen

Extreme weersomstandigheden worden tegenwoordig breed uitgemeten, en ook al gauw uitgelegd als een bewijs voor het voorspelde patroon van klimaatverandering. In vrijwel alle gevallen ontbreekt daarvoor wetenschappelijk bewijs. Het voorspellen van veranderingen in de statistiek van extreme weersomstandigheden is een hachelijke zaak, en hier is het vertrouwen in modelresultaten misplaatst. Een kritische beschouwing leert dat klimaatmodellen moeite hebben met het genereren van langdurige 'afwijkingen van het gemiddelde' weer met een tijdschaal van 10 tot 50 jaar. Ik geef twee voorbeelden om dit punt te illustreren.

Sinds ongeveer 1982 zijn de zomertemperaturen in midden-Europa opvallend hoog geweest, met als absolute uitschieter de zomer van 2003. In Zwitserland lag de gemiddelde zomertemperatuur voor de periode 1981-2005 meer dan een graad hoger dan in de periode 1955-1980. De gevolgen zijn bekend: sterk terugtrekkende gletsjers en ontdooiende permafrost met alle gevolgen van dien. Figuur 1 is een fascinerend plaatje. Het laat de gemiddelde zomertemperaturen in Zwitserland zien voor een groot aantal jaren, en een normale verdeling die het best bij deze waarnemingen past. De anomalie in de zomertemperatuur van 2003 was 5.4 maal de standaardafwijking. Mijn tabel van

de error-functie is te onnauwkeurig om de bijbehorende overschrijdingskans te geven, maar deze ligt zeker in de orde van één op de paar honderdduizend jaar. Zijn we dan getuige geweest van een zeer uitzonderlijke gebeurtenis? Of is een extreme zomer eigenlijk veel waarschijnlijker dan we denken, bijvoorbeeld omdat er positieve terugkoppelingen aan het werk zijn die we niet kennen? [Achteraf is gesuggereerd, dat in het geval van de hete zomer van 2003 de koppeling tussen energiebalans en bodemvocht van doorslaggevende betekenis is geweest]. Het is mij een raadsel, hoe sommige wetenschappers menen te kunnen concluderen dat de extreme zomer van 2003 voor 75% het gevolg is van menselijke invloed op het klimaat (Anderson and Bausch, 2006).



Figuur 1: Verdeling van de zomertemperatuur in Zwitserland (Schär et al., 2004). De groene curve geeft de normale verdeling met de waargenomen gemiddelde temperatuur en standaardafwijking.

Mijn tweede voorbeeld betreft het zeeijs in de Arctische oceaan. De sterke afname van de omvang van het zeeijs aan het eind van de zomer gedurende de laatste jaren is dramatisch te noemen. De droom van Willem Barentsz (de arctische route naar Japan) gaat hiermee toch nog tamelijk onverwacht in vervulling. De snelheid, waarmee het ijsoppervlak afneemt, is ruwweg drie maal zo groot als wat klimaatmodellen hebben voorspeld op grond van realistische broeikasforcering. Ook hier geldt blijkbaar dat er terugkoppelingenmechanismen zijn die we niet kennen, of waarvan we de sterkte in ieder geval flink onderschatten. Overigens zullen er nu spoedig modellen komen die de afname wel kunnen simuleren, want klimaatmodellen bieden voldoende 'vrijheid' om ze hiertoe af te regelen. In principe kunnen klimaatmodellen op deze manier verbeterd worden (en dat is eigenlijk ook de gangbare aanpak), maar deze methodiek is pragmatisch en leidt er niet toe dat we verrassingen vóór kunnen zijn.

Al met al zullen we rekening moeten houden met het feit, dat klimaatschommelingen van regionale aard op een tijdschaal van enkele tientallen jaren nauwelijks voorspelbaar zijn. Dit geldt voor een wereld met of zonder versterkt broeikas effect.

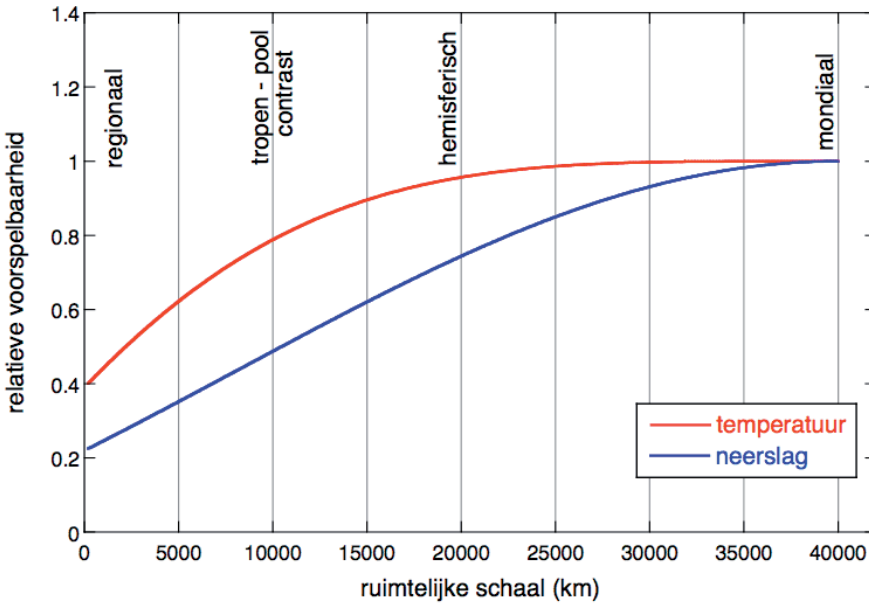
Klimaatvoorspellingen

Er worden tegenwoordig zeer veel studies gedaan naar de impact van klimaatveranderingen op natuurlijke systemen en de gevolgen hiervan voor de maatschappij. In eerste instantie werden dit soort studies gepresenteerd als ‘scenario-studies’, dat wil zeggen studies waarin voorzichtig onderzocht wordt wat er eventueel zou kunnen gebeuren. Dit stadium is echter al lang gepasseerd, en er worden nu allerlei complexe modellen, die sociaal-economische processen koppelen aan beschrijvingen van infrastructuur, waterhuishouding, energievoorziening, stofstromen enz., aangedreven met projecties van het toekomstige klimaat. De resultaten van deze aanpak worden meer en meer gebruikt als instrument voor beleid. De vraag, of dit zin heeft, wordt te weinig gesteld. Ik wil twee kanttekeningen maken.

(1) De gebruikte modellen zijn complex in de zin dat er zeer veel niet-lineaire koppelingen zijn tussen allerlei variabelen. De voorspelbaarheid wordt hierdoor fundamenteel begrensd (zoals eerder betoogd voor atmosferische modellen). Dit wordt echter nauwelijks onderzocht, omdat de uitkomst wel eens haaks zou kunnen staan op het idee, dat de maatschappij ook op langere termijn maakbaar is. De uitkomst zou ook het geloof aan kunnen tasten, dat deterministische modellen zullen leiden tot een recept, dat via economisering en marktwerking het klimaatprobleem voor ons op zal lossen. Ik maak graag een vergelijking met de historische wetenschap. Duizenden historici hebben de geschiedenis van de mensheid bestudeerd, vastgelegd en geanalyseerd. Toch zijn er maar weinigen onder deze historici, die het aan zouden durven om een gedetailleerde voorspelling te doen over hoe het met deze mensheid in de komende honderd jaar zal gaan. Uitspraken beperken zich tot zeer algemene, zoals de mondiale demografische ontwikkeling in de komende 50 jaar (analogon: ‘de wereldgemiddelde temperatuur’), of een geleidelijke verschuiving van economische machtsblokken (analogon: ‘de polen warmer sterker op dan de rest van de aarde’). De historicus weet dat er steeds weer onvoorziene gebeurtenissen plaatsvinden, die in eerste instantie onbelangrijk lijken, maar dan soms een proportie krijgen waardoor de loop der geschiedenis op zijn kop gezet wordt.

(2) De antwoorden van modellen, waarmee de impact van klimaatverandering wordt bestudeerd, kunnen nooit beter zijn dan de input. Hier lopen we aan tegen het probleem, dat de voorspelbaarheid van klimaatverandering afhangt van de ruimtelijke schaal. Op mondiale schaal bekeken kunnen we er vrij zeker van zijn dat de temperatuur zal toenemen, en dat de hydrologische cyclus zal intensiveren. Maar zodra het komen en gaan van depressies en hogedrukgebieden de dienst uitmaakt wordt het allemaal een stuk onzekerder. Regionale klimaatvoorspellingen, waarbij gepoogd wordt om verschillen over een afstand van duizend tot enkele duizenden kilometers te voorspellen, zijn niet betrouwbaar (er zijn althans geen wetenschappelijk argumenten of harde empirische gegevens waarmee aannemelijk gemaakt kan worden dat ze betrouwbaar zijn). Voor de variatie van veranderingen in neerslag en temperatuur met de breedte ziet het er wellicht iets gunstiger uit (Figuur 2). In het algemeen moet de

betrouwbaarheid van voorspelde neerslagveranderingen veel lager worden ingeschat dan de betrouwbaarheid van voorspelde temperatuur-veranderingen. Dit is inherent aan de manier waarop de dynamica van de atmosfeer werkt. Het hardnekkige idee, dat we min of meer zeker weten dat natte gebieden natter worden en droge gebieden droger, mist een degelijke onderbouwing. Veel impact-studies worden nu gebaseerd op uitvoergegevens van klimaatmodellen op een regionale schaal. Een typisch voorbeeld is de neerslag in een stroomgebied van een middelgrote rivier zoals de Rijn. Het is best interessant om het allemaal eens door te rekenen, maar de resultaten moeten toch als zeer vrijblijvend worden beschouwd.



Figuur 2: Een schematische weergave van de betrouwbaarheid van klimaatvoorspellingen op een tijdschaal van 100 jaar, als functie van de ruimtelijke schaal. De curves tonen de relatieve voorspelbaarheid (dat wil zeggen ten opzichte van de waarde voor mondiaal gemiddelde grootheden).

Ruime marges, een grote rol voor de overheid

Hoe moeten we dan met klimaatverandering omgaan? Klimaatmodellen zullen beter worden, maar dit zal een langzame ontwikkeling zijn en de betrouwbaarheid van de projecties zal slechts geleidelijk beter worden. Verrassingen van het type zoals eerder besproken, zullen blijven komen. Hierbij komt de enorme onzekerheid, die samenhangt met sociaal-politieke factoren op wereldschaal.

Er is maar één antwoord mogelijk: het hanteren van ruime marges bij kustverdediging, waterhuishouding, energievoorziening, infrastructuur en landinrichting. Deze

marges kunnen niet bereikt worden door ‘economiseren’, waarbij uit een allesomvattend model en een beschikbaar budget rolt hoe de zaak aangepakt moet worden. Het heeft ook geen zin om honderden studies uit te laten voeren, en honderden rapporten te laten schrijven, over de invloed van regionale klimaatveranderingen die misschien wel, en misschien niet komen. Men moet niet de illusie hebben, dat het nut van grote investeringen op het gebied van kustverdediging, waterhuishouding, energievoorziening, infrastructuur en landinrichting economisch aan te tonen is.

Kortom, een overheid moet durven te investeren op grond van een algemene visie en haar gezag. Hiervoor heeft ze kennis nodig en moet ze deze ook zelf onderhouden. De adviesbureau-cultuur helpt hier niet, en privatiseren al evenmin.

Wat moet de wetenschap dan doen? Vooral meten!

Verrassingen kunnen minder verrassend zijn als er een goed monitoring-systeem is om kritische componenten van het klimaatsysteem in de gaten te houden. Hiermee kan de voorspelbaarheid op een termijn van enkele tientallen jaren wezenlijk vergroot worden. Hierbij moet vooral gedacht worden aan (i) de chemische samenstelling van de atmosfeer, (ii) de toestand van de bodem wereldwijd, (iii) de dynamica en warmtehuishouding van de oceanen, (iv) het massabudget van gletsjers en ijskappen (zeespiegel). Men zou denken dat de bestaande meetprogramma's in de behoefte voorzien – niets is minder waar. Vooral wat betreft (ii) en (iv) zijn de huidige programma's beperkt.

Om een voorbeeld uit mijn eigen vakgebied te geven: er is in het afgelopen jaar veel commotie geweest over de Groenlandse ijskap: meer afsmelting, sneller stromende gletsjers waarmee het ijs naar zee gevoerd wordt. De commotie is op zich terecht, maar gebaseerd op beperkte en onvolledige datasets. Een inschatting van de bijdrage van de Groenlandse ijskap aan zeespiegelrijzing in de komende 50 jaar kan veel aan betrouwbaarheid winnen door nu te investeren in meetprogramma's (in situ, maar ook vanuit de ruimte).

De veelheid aan meettechnieken vergt een goede methode voor data-assimilatie. Hierbij moeten klimaatmodellen een belangrijke rol spelen. Van technieken, die ontwikkeld zijn voor de numerieke weersverwachting (het zo goed mogelijk beschrijven van de toestand van de atmosfeer op een bepaald tijdstip binnen de context van een fysisch-mathematisch model), is nog veel te leren.

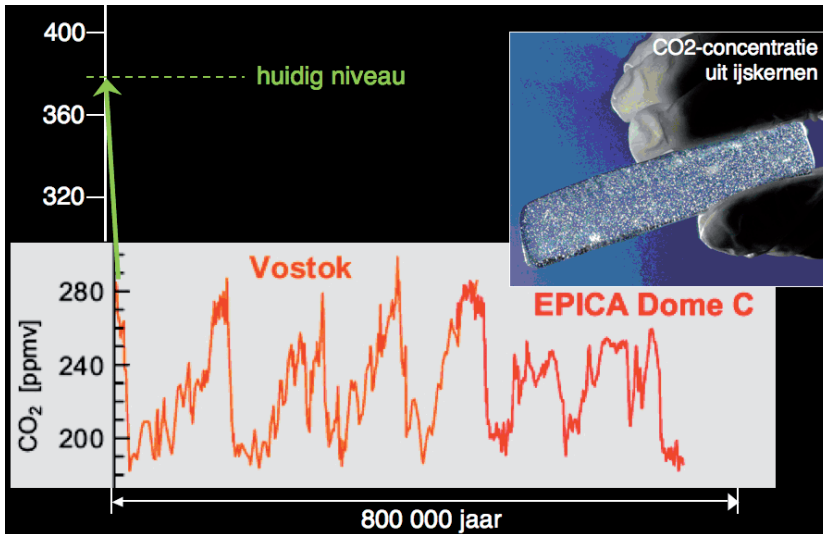
Er is wel een klimaatprobleem!

In dit betoog heb ik vooral kritische geluiden laten horen, en mijn twijfel geuit over de manier waarop het klimaatbeleid tot stand komt. De indruk zou kunnen ontstaan dat ik vind dat er geen klimaatprobleem bestaat. Maar dat is er natuurlijk wel. De mens beïnvloedt de samenstelling van de atmosfeer enorm (in Figuur 3 geïllustreerd voor CO_2). Dat is per definitie riskant, omdat we uit palaeoklimatologisch onderzoek weten dat kleine duwtjes tegen het klimaatsysteem soms enorme gevolgen kunnen hebben. Voorzichtigheid is dus geboden, en de wereldeconomie zal linksom of rechtsom zo

ingericht moeten gaan worden, dat de emissie van broeikasgassen sterk (en niet een beetje) beperkt wordt.

De afgelopen jaren is de aandacht voor het klimaat enorm toegenomen, maar veel meer dan de opbouw van een klimacratie heeft dat niet opgeleverd. In een tijd dat het accent steeds meer verschuift van inhoud naar verpakking, ook in de wetenschap, wordt het klimaatprobleem al snel omarmd door bedrijven en instanties, die weer een nieuwe smaak aan hun sauzenpalet kunnen toevoegen om hun product te verkopen.

Zoals gezegd is er daadkracht nodig van sterke overheden. Er bestaat niet zoiets als beheersbaarheid van het klimaat, daarvoor weten we veel te weinig van het systeem en is het waarschijnlijk ook te onvoorspelbaar. Het is ook niet vol te houden, om maatregelen te verkopen door het economisch nut ervan met zogenaamde harde cijfers aan te tonen. Het voorzorgprincipe is de laatste jaren nogal verguisd ('te weinig concreet om draagvlak te krijgen'), maar dat is onterecht. De motivatie om echt wat te doen kan toch alleen maar voortkomen uit een visie, gebaseerd op de wetenschap dat we hard tegen een systeem aan duwen dat misschien in een delicate balans is.



Figuur 3 Ontwikkeling van de CO₂-concentratie in de atmosfeer gedurende de laatste 800 000 jaar, zoals gemeten in de luchtbelletjes van ijskernen (Siegenthaler et al., 2005). Het huidige niveau is ongeveer 375 ppmv (part per million by volume). Tijdens het Pleistoceen schommelde de concentratie tussen ~200 ppmv (ijstijd) en ~280 ppmv (inter-glaciaal).

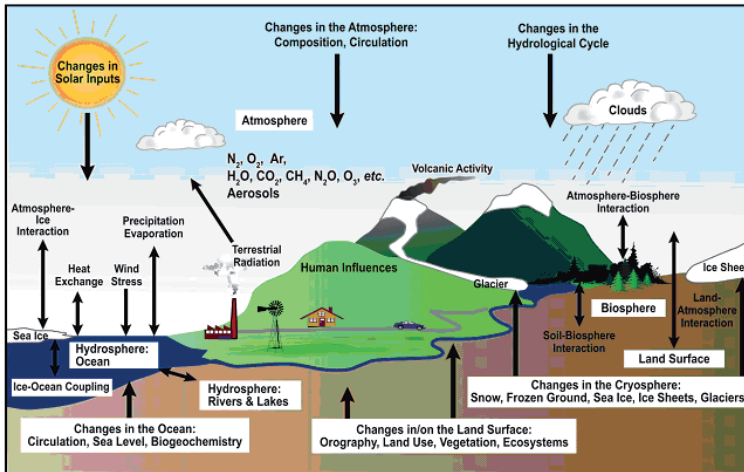
Referenties

Anderson J. and C. Bausch (2006) 'Climate Change and Natural Disasters: Scientific evidence of a possible relation between recent natural disasters and climate change'. *Briefing Note to the European Parliament* (IP/A/ENVI/FWC/2005-35).

- Lorenz E.N. (1976) 'Nondeterministic theories of climate change'. *Quaternary Research* 6, 495-506.
- Schär C., P.L. Vidale, D. Luthi, C. Frei, C. Haberli, A. Mark M.A. Liniger and C. Appenzeller (2004) 'The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves'. *Nature* 427, 332-336.
- Siegenthaler U. and 10 others (2005) 'Stable Carbon Cycle–Climate Relationship During the Late Pleistocene'. *Science* 310, 1313-1317.

Omgaan met onzekerheid over het klimaatsysteem

In dit hoofdstuk staat het natuurlijke klimaatsysteem centraal en gaat het om de processen (zowel door natuurlijke als menselijke oorzaken) die leiden tot veranderingen in het klimaat.



Figuur 1: Het klimaatsysteem (bron: IPCC, 2007).

In figuur 1 is dit systeem grafisch weergegeven. Wat opvalt is het grote aantal processen dat een rol speelt en de veelheid van interacties tussen deze processen. We kunnen met recht spreken van een zeer complex systeem! De belangrijkste onzekerheden in onze kennis over het klimaatsysteem zijn onder te verdelen in vier categorieën: onzekerheden in (1) menselijke en natuurlijke drijvende factoren; (2) waargenomen veranderingen; (3) attributie van veranderingen naar oorzaken en (4) toekomstprojecties. Ik schets enkele voorbeelden van onzekerheden uit deze vier categorieën, waarbij de lezer zich duidelijk voor ogen moet houden dat het hier slechts om een selectie gaat.

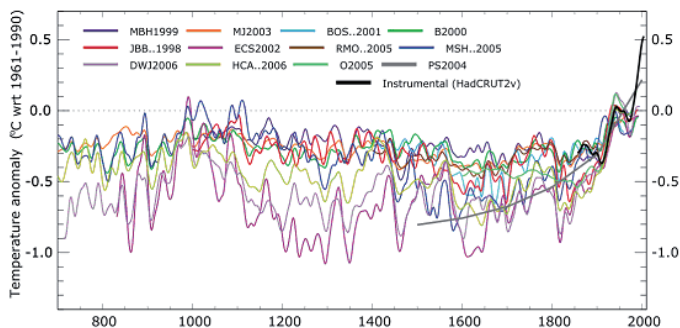
Onzekerheden in menselijke en natuurlijke drijvende factoren

In het klimaatonderzoek worden de veranderingen in menselijke (broeikasgassen, aërosolen, landgebruik) en natuurlijke (vulkanen, zonneactiviteit) drijvende factoren vertaald naar een ‘stralingsforcering’, de nettoverandering in opwaartse minus neerwaartse straling (uitgedrukt in W/m²) ter hoogte van de tropopauze (de grens tussen de troposfeer en stratosfeer, typisch liggend rond de 10 km). Klimaatwetenschappers hebben veel vertrouwen in hun kennis over de grote, positieve bijdrage van broeikasgassen, met relatief kleine statistische onzekerheid. De compenserende bijdrage van aërosolen (met name het indirecte ‘wolkenalbedo-effect’) is veel onzekerder. Over de bijdrage van veranderingen in zonneactiviteit wordt geconcludeerd door het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) dat de bijdrage van de zon – de statistische onzekerheid meegenomen – relatief klein is ten opzicht van andere factoren. Daar wordt echter wel bij aangetekend dat de ‘*Level of Scientific Understanding*’ (LOSU) nog laag is; de LOSU is echter wel toegenomen ten opzichte van het vorige IPCC-rapport uit 2001 (toen was de LOSU nog ‘zeer laag’).

Onzekerheden in waargenomen veranderingen in het klimaatsysteem

Een van de grote onzekere factoren in het klimaatsysteem is het gedrag van oceanen. De warmte-inhoud van de bovenste 700 m van de oceanen de afgelopen 50 jaar lijkt te zijn toegenomen. Echter, aangezien de decennium-variabiliteit van deze warmte-inhoud – die te maken heeft met warmte-uitwisseling met de diepere oceaan – nog niet goed begrepen wordt, kan de toename in warmte-inhoud aan de bovenkant volgens het IPCC slechts ‘met beperkte betrouwbaarheid’ worden vastgesteld.

Een tweede voorbeeld betreft de reconstructie van de gemiddelde oppervlaktetemperatuur op het Noordelijk Halfrond sinds het jaar 700. Het is zeer waarschijnlijk (>90% kans) dat de tweede helft van de 20e eeuw warmer was dan de afgelopen 500 jaar en waarschijnlijk (>66% kans) dat deze periode warmer was dan de afgelopen 1300 jaar. De onzekerheden die zichtbaar zijn gemaakt door het tonen van verschillende klimaatreconstructies in figuur 2, hebben te maken met verschillen in keuzes van *proxies* (indirecte methoden om historische temperaturen te bepalen, bijvoorbeeld via boomringen) en statistische technieken.



Figuur 2: Temperatuurverandering op het noordelijk halfrond vanaf het jaar 700 (bron: IPCC, 2007). Verschillend klimaatreconstructies.

Onzekerheden in toeschrijving klimaatverandering aan oorzaken

De afgelopen jaren heeft de wetenschap vooruitgang geboekt in de zekerheid waarmee de wereldwijde opwarming (in het bijzonder die van de afgelopen 50 jaar) kan worden toegeschreven aan de menselijke uitstoot van broeikasgassen. Waar het IPCC in 2001 nog met 66% zekerheid sprak over de grote invloed van broeikasgassen op de waargenomen opwarming is dit nu toegenomen tot 90%. De voornaamste onzekerheden die nog resteren, zijn onder te verdelen naar de volgende bronnen: (i) de bepaling van natuurlijke en menselijke stralingsforcering, in tijd, plaats en grootte, (ii) de gemodelleerde respons patronen voor de verschillende typen van stralingsforcering en (iii) de (in tijd en ruimte verdeelde) waarnemingen van de opwarming.

Onzekerheden in toekomstprojecties

Bij het maken van toekomstprojecties spelen twee bronnen van onzekerheid een belangrijke rol: de onzekerheid in emissies en de onzekerheid in modellen. De eerste onzekerheid wordt gekarakteriseerd aan de hand van toekomstscenario's waaraan geen waarschijnlijkheden kunnen worden toegekend. Daarvoor is de toekomst van maatschappelijke ontwikkeling te fundamenteel onzeker (dit heeft te maken met het reflexief vermogen van de mens). De tweede onzekerheid wordt bepaald door verschillende modellen te gebruiken. Dat kan echter problematisch zijn wanneer projecties worden gedaan voor processen waarvan we weten dat ze niet – of niet goed – in de modellen zitten. Een voorbeeld is de mogelijk versnelde afsmelting van ijskappen op Groenland en Antarctica. Het is op dit moment onmogelijk om daar een 'beste schatting' voor te geven en deze versnelde afsmeltingsprocessen zijn daarom vooralsnog niet meegenomen in de zeespiegelprojecties van het IPCC, die daardoor als conservatieve schattingen zijn te beschouwen.

Hoe gaan wetenschappers om met de onzekerheden over klimaatverandering?

Bij het beantwoorden van deze vraag wil ik me beperken tot het omgaan met onzekerheden in klimaatmodellen – zie voor een uitgebreide analyse mijn recente proefschrift (Petersen, 2006). In de praktijk van de klimaatwetenschap bestaat een scala aan modellen, methodologieën en waardeoriëntaties. In feite geven veel verschillende modellen conflicterende beschrijvingen van het klimaatsysteem. Er bestaat kortom geen eenduidige methodologie voor klimaatsimulatie. En de aannames van klimaatmodellen zijn potentieel waardengeladen. Een pragmatische manier om hiermee om te gaan is om de resultaten van verschillende modellen tegelijkertijd in ogenschouw te nemen (multi-model-ensembletechnieken). Mijn stelling is dat pluralisme in de klimaatmodellering een essentiële voorwaarde is voor een gezonde wetenschapsbeoefening – én voor een adequate beleidsadviesing.

Hoe brengt het IPCC deze onzekerheden in beeld?

Het IPCC stelt zich onder andere ten doel om de beoordeling van onzekerheden onderdeel te laten zijn van zijn assessments. Waar sprake is van onzekerheid en/of verschillende opvattingen onder klimaatwetenschappers, is dat terug te vinden in de conclusies. De assessments van het IPCC moeten daarom niet worden gepresenteerd als ‘wetenschappelijke consensus’, maar als ‘beleidsrelevante assessments met aandacht voor onzekerheid’. Een voorbeeld hiervan is de conclusie dat het ‘zeer waarschijnlijk’ is (meer dan 90% kans) dat het grootste deel van de waargenomen opwarming is veroorzaakt door menselijke invloeden (specifiek: de door menselijke activiteiten toegenomen concentraties van broeikasgassen).

Hoe worden de onzekerheden gepercipieerd in het maatschappelijke en politieke debat?

De communicatie over onzekerheden door het IPCC is voor buitenstaanders vaak weinig transparant en moeilijk te begrijpen. Om te kunnen bepalen wat er allemaal schuil gaat achter de onzekerheid die in de eindconclusies van het IPCC wordt gecommuniceerd, is vaak heel wat spuurwerk nodig (zie bijvoorbeeld de analyse van het derde assessmentrapport in Petersen, 2006). Vervolgens verdwijnen in de vertaalslag naar eenvoudiger boodschappen – doorgaans niet gedaan onder verantwoordelijkheid van het IPCC – onzekerheden vaak buiten beeld. Dit geldt zowel voor voor- als tegenstanders van klimaatbeleid.

Referentie

Petersen, A.C. (2006) *Simulating Nature: A Philosophical Study of Computer-Simulation Uncertainties and Their Role in Climate Science and Policy Advice*. Apeldoorn en Antwerpen: Het Spinhuis.

Montreal Protocol ter bescherming van de ozonlaag

Het Montreal Protocol in 1987 heeft eraan bijgedragen een mondiale milieucatastrofe te voorkomen. Het succes van internationale onderhandelingen over dergelijke protocollen hangt onder meer af van prognoses met computermodellen die worden geëvalueerd in internationale wetenschappelijke 'assessments'. Hoewel in de jaren '70 en begin '80 nog niet kon worden aangetoond dat de ozonlaag dunner werd, waren publiek, politiek en industrie gemeenschappelijk van mening dat emissies van ozon afbrekende gassen moesten worden verminderd. Inmiddels zijn de prognoses uit die periode bevestigd en het Montreal Protocol is een geslaagd voorbeeld van samenwerking van wetenschap en samenleving. Hoewel het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) voortbouwt op dit succes en de prognoses over klimaatverandering tot nu toe zijn uitgekomen – zelfs conservatief gebleken – zijn onderhandelingen over klimaatverandering nog altijd niet succesvol. Het Montreal Protocol, inclusief bijstellingen tot 2007, heeft, naast de bescherming van de ozonlaag, een grotere bijdrage geleverd aan het verminderen van klimaatverandering dan het Kyoto Protocol. Verdere ontwikkeling van klimaatmodellen en prognoses voor de 21e eeuw zijn belangrijk voor de ondersteuning van internationale klimaatonderhandelingen.

Ozonchemie

In 1928 ontdekte de Amerikaanse uitvinder Thomas Midgley dat chloorfluorkoolstofverbindingen de tot dan toe gebruikte giftige koelvloeistoffen kunnen vervangen (chloorfluorocarbons = CFCs). Midgley selecteerde combinaties van chemische elementen op

stabiliteit en synthetiseerde verbindingen die geen bijwerkingen hebben als ze worden ingeademd. Dit leek destijds het ultieme criterium voor milieuvriendelijkheid. Helaas bleek een halve eeuw later dat door de lange levensduur in de atmosfeer van 50-100 jaar CFCs de stratosfeer bereiken waar ze door ultraviolette zonnestraling worden afgebroken. Hierbij ontstaan uiterst reactieve chlooratomen. Bovendien zijn CFCs krachtige broeikasgassen, ongeveer 10.000 maal sterker dan CO_2 (per molecuul). CFCs, waarvan vele varianten zijn geproduceerd, werden in het midden van de 20e eeuw populair als koelmiddel, oplosmiddel en drijfgas. In de 60er jaren werden tevens broomhoudende verbindingen geïntroduceerd voor gebruik in brandblussers. Broom is zelfs ca. 50 maal effectiever in het afbreken van ozon dan chloor.

In 1974 postuleerden Mario Molina and Sherwood Rowland in een artikel in *Nature* hun CFC ozonafbraaktheorie. De CFCs zijn zo stabiel dat ze door de zelfreinigende oxidatieprocessen in de troposfeer (tot ca. 10 km) niet worden afgebroken. In de stratosfeer daarentegen, vooral op grotere hoogte (tot ca. 50 km), heerst kortgolvlige straling die niet in de troposfeer doordringt omdat ze door zuurstof en ozon wordt geabsorbeerd. Het is paradoxaal dat de ultraviolette straling zowel ozon genereert uit moleculair zuurstof en tevens de CFCs afbreekt tot ozonkillers. De chlooratomen nemen aan efficiënte katalytische cycli deel; na iedere reactie met ozon komt het reactieve chloor weer terug. Het concept van de katalytische cycli was door Paul Crutzen en Harald Johnston geïntroduceerd en verklaart hoe uiterst geringe concentraties van enkele stoffen grote invloed op ozon kunnen hebben.

Gat in de ozonlaag

In het begin van de 70er jaren hadden Crutzen en Johnston aangetoond dat stikstofoxiden katalytisch ozon afbreken en er brandden heftige wetenschappelijke en publieke discussies los. Destijds werden hoge snelheidsvliegtuigen voor transport door de stratosfeer gepland en de stikstofoxiden in de uitlaatgassen waren een bedreiging voor de ozonlaag. Een grote vloot van zulke vliegtuigen is nooit gebouwd, en het enige type dat uiteindelijk commercieel werd geëxploiteerd was de Concorde (inmiddels uitgerangeerd). Voor het eerst werd een milieuprobleem internationaal besproken op basis van gecoördineerde wetenschappelijke evaluaties, 'assessments', die door de NAS werden georganiseerd. Dit concept werd vervolgens door de Verenigde Naties overgenomen. Het is opvallend dat in het begin van de 80er jaren, ondanks dat nog niet door waarnemingen kon worden bevestigd dat de ozonlaag dunner werd, de internationale inspanningen reeds succesvol waren.

In 1985 deden Joseph Farman en collega's van de British Antarctic Survey de dramatische ontdekking dat zich boven de Zuidpool een ozongat ontwikkelde. Farman gebruikte routinematige ballonmetingen waarmee men in het Internationale Geofysische Jaar 1957 was begonnen. Overigens was dit ook het jaar waarin Charles David Keeling met zijn inmiddels beroemde CO_2 metingen op Hawaï begon. Hoewel ozonafbraak was voorspeld kwam het gat in de ozonlaag volkomen onverwacht. Zelfs zo

dat de eerste satellietdata ervan door de NAS werden verworpen omdat de ozonafname groter was dan de 'normale' variabiliteit, en werd aangenomen dat de metingen fout waren. Later werd dit gecorrigeerd en Farman's analyse bevestigd. De voorspellingen over ozonafbraak vóór 1985 concentreerden zich op de hogere stratosfeer in de tropen, omdat daar de CFC afbraak plaatsvindt. Echter, de paradox tussen CFC- en ozonchemie in de tropische stratosfeer leidt ertoe dat de ozonafbraak wordt gecompenseerd door het dieper doordringen van ultraviolette straling en versterkte ozonvorming op geringere hoogte (*selfhealing* effect).

Het ozongat boven Antarctica is kenmerkend voor mondiale en onvoorspelbare milieuproblemen omdat het op de grootst mogelijke afstand van het brongebied, de industrielanden in het noordelijk halfrond, is ontstaan. De reden is dat reactieproducten van CFC afbraak in de hoge stratosfeer, zogenaamde reservoirgassen, in de grootschalige circulatie naar de polen worden getransporteerd. Op geringere hoogte boven Antarctica aangekomen is de temperatuur in de winter zo laag dat, alhoewel de stratosfeer extreem droog is, wolken worden gevormd – parelmoerwolken – waarin de reservoirgassen in reactief chloor worden omgezet. Dit proces heeft zonlicht nodig zodat het vooral in het voorjaar effectief is en op 15-20 km hoogte bijna alle ozon verdwijnt. De ozonafbraak is minder dramatisch boven het Arctische gebied omdat de temperaturen hoger en polaire stratosfeerwolken schaars zijn. Het ozongat is, net als de CO₂ toename in Hawaï midden in de Grote Oceaan, symbolisch voor mondiale invloeden door de mens op de atmosfeer.

Rol van wetenschap

In alle stadia van publieke discussies en internationale onderhandelingen, tot en met de meest recente aanpassing van het Montreal Protocol in september 2007, was een solide wetenschappelijke basis doorslaggevend voor het formuleren en bereiken van emissiedoelstellingen. Dit betrof zowel fundamenteel onderzoek naar atmosferisch chemische en meteorologische processen als probleem georiënteerde wetenschap om praktische oplossingen te zoeken. De 'Scientific Assessments of Ozone Depletion', georganiseerd door de Verenigde Naties (UNEP en WMO), de Europese Commissie en onderzoeksorganisaties in de USA (NAS en NOAA), hadden tot doel consensus te bereiken in de wetenschappelijke gemeenschap. Dit betekent niet dat iedereen het over alle details eens moet zijn, maar dat in duidelijke taal wordt geformuleerd welke aspecten goed begrepen zijn, welke minder, en wat de consequenties kunnen zijn van wel of niet handelen. De 'assessments' zijn onderverdeeld in verschillende categorieën: wetenschap, technologie, economie en uitwerking. Wisselwerking ertussen is belangrijk zodat een overzicht ontstaat over oorzaken en gevolgen.

Politieke besluitvorming wordt aanzienlijk vergemakkelijkt door prognoses en scenarioberekeningen. Ook hier kan geen perfectie worden verlangd. Iedere persoon en alle regeringen treffen dagelijks beslissingen op basis van onvolledige informatie. De prognoses worden opgesteld door middel van modelberekeningen gebaseerd op aanna-

mes over toekomstige emissies van CFCs en andere gassen. De computermodellen van de atmosfeer en het klimaat omvatten de *state-of-the-art* in de wetenschap. Aangezien ze niettemin simplificaties en fouten kunnen bevatten moeten ze rigoureuus met elkaar worden vergeleken en getest aan de hand van waarnemingen. Overigens kunnen deze modellen niet zonder meer worden gefalsificeerd, een criterium dat wel op eenvoudige maar niet op complexe systemen kan worden toegepast. Een atmosfeer- of klimaatmodel is niet in zijn geheel goed of fout, maar moet op aspecten worden geverifieerd en verbeterd.

De prognoses die beschikbaar waren voor het Montreal Protocol in 1987 werden opgesteld met behulp van twee-dimensionale (zonaal gemiddelde) atmosfeermodellen. De tweedimensionale simplificatie van grootschalige fysisch-chemische processen was voor de stratosfeer geen groot probleem omdat de meridionale gradiënten veel groter zijn dan de zonale. Voor klimaatprognoses is dit anders en het is nodig het gehele systeem, inclusief koppelingen tussen atmosfeer, land, ijs en oceanen in veel meer detail te beschrijven. Reden daarvoor is, dat we geen genoegen kunnen nemen met prognoses van de mondiaal gemiddelde temperatuur. Bij klimaatprognoses komt het vooral aan op regionale veranderingen in temperatuur en neerslag. Klimaatverandering heeft winnaars en verliezers wat vooral te maken heeft met de waterhuishouding. Ruwweg kun je zeggen dat de toename van CO₂ ertoe leidt dat natte gebieden natter worden en droge gebieden droger. Voor laaggelegen landen als Nederland is bovendien de stijging van de zeespiegel een probleem. Interessant genoeg zien we dat, net als in de ozonlaag, de door mensen veroorzaakte veranderingen relatief groot zijn in de buurt van de polen. Onlangs zijn de temperatuurprognoses van de eerste IPCC ‘assessment’ in 1990 getest aan de hand van meteorologische waarnemingen. De conclusie is dat de voorspellingen in 1990 conservatief waren, dat vooral in het Arctische gebied de temperatuurstijgingen groter zijn en het poolijs sneller smelt dan verwacht.

Het Montreal Protocol als voorbeeld

De recente verscherping van het Protocol in 2007 – eveneens in Montreal – heeft tot doel het herstel van de ozonlaag te bespoedigen en de klimaateffecten van CFCs, vooral van de CFC-vervangingsmiddelen die ook een sterke broeikaswerking hebben, te verminderen. In feite heeft dit Protocol en de erop volgende aanpassingen veel meer bijgedragen aan het verminderen van klimaatverandering dan het Kyoto Protocol voor CO₂ en andere broeikasgassen. De onderhandelingen die tot het Montreal Protocol hebben geleid waren opvallend in meerdere opzichten. Eén van de belangrijke afspraken was dat het Protocol voor alle partijen bindend zou worden als tweederde van de betrokken landen het zou toestemmen. Bovendien werd afgezien van gecompliceerde en onvoorspelbare procedures ter ratificering. Opmerkelijk was ook dat werd afgesproken ontwikkelingslanden te helpen, inclusief het in het leven roepen van een fonds om de implementatie van maatregelen financieel mogelijk te maken. De onderhandelingen over het wel en wee van de ozonlaag in 1987 en de twintig erop volgende jaren zijn een voorbeeld van succesvolle internationale milieudiplomatie.

Referentie

http://ozone.unep.org/Ratification_status/evolution_of_mp.shtml

Hoe robuust zijn recente IPCC werkgroep III conclusies?

Zoals wellicht bekend, is de vierde grote assessment-ronde van het IPCC (AR4) in het voorjaar van 2007 afgerond met de publicatie van het rapport van IPCC Werkgroep III (WG III) en de daarvan afgeleide beleidsconclusies. De laatste worden regel voor regel door de IPCC-gedelegeerden goedgekeurd en vastgesteld, het WG III rapport integraal. Omdat ik vanaf 1993 – en dus vanaf haar ontstaan – als enige Nederlander ononderbroken *lead author* ben geweest van WG III tijdens de tweede, derde en vierde assessment rondes (de eerste ronde kende nog geen WG III), waarvan tijdens 1993-2002 als coördinerend *lead author* (eindverantwoordelijk voor een IPCC hoofdstuk), kan ik niet alleen de uitkomsten maar ook het proces van de laatste ronde redelijk vergelijken met de beide voorafgaande. Dat brengt me tot mijn eerste stelling, namelijk dat het AR4 terecht veel meer de nadruk legt op de *bottom-up* bepaling van het emissiereductiepotentieel dan de beide voorafgaande assessment-rondes.

Een van de centrale thema's in de WG III rapporten betreft namelijk de vraag hoeveel emissiereductie in de toekomst redelijkerwijze kan worden gerealiseerd onder uiteenlopende prikkels (welke meestal herleid worden tot 'penalties', kostenverhogingen op wat voor wijze dan ook per uitgestoten ton CO₂ of het equivalent daarvan voor andere broeikasgassen). Gestileerd weergegeven (want er zijn inmiddels tal van tussenvarianten ontwikkeld) kan een dergelijke vraag op twee manieren worden aangepakt. Enerzijds *top-down* door gebruik te maken van (complexe) modellen die proberen de samenhangen te figureren van een economisch systeem (bijvoorbeeld van een land/regio) en de uit de economische activiteiten resulterende emissies. Door simulatie

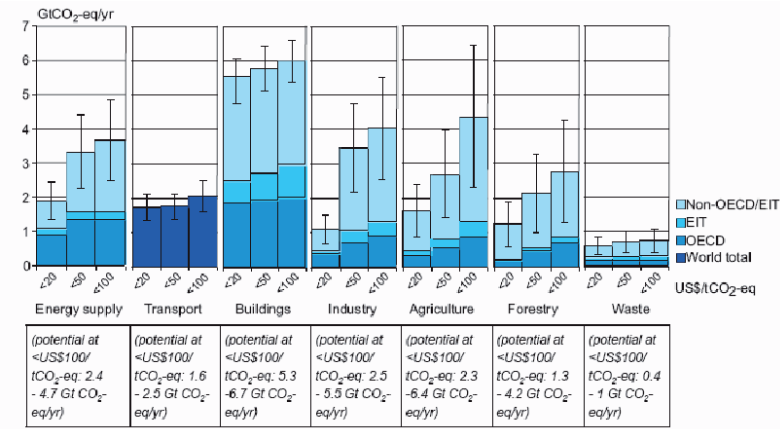
tracht men een emissie *baseline* te bepalen voor jaar of periode x, welke vervolgens wordt vergeleken met het emissiepatroon onder dezelfde variant maar dan inclusief op emissiereductie gerichte prikkels. Anderzijds kan een *bottom-up* benadering worden gehanteerd, waarbij – meer in de geest van de engineering traditie – bijvoorbeeld per sector op grond van beschikbare technische en kosteninformatie omtrent technologieën het toekomstige emissiereductiepotentieel wordt bepaald, waarna een niet geheel onproblematisch aggregatieproces volgt om te trachten te komen tot grotere totalen. Doordat de meeste studies in deze laatstgenoemde traditie zich meestal concentreren op een of enkele technologieën moeten veel resultaten van diverse onderzoeken immers worden aaneengeregen om tot de totalen worden gebracht waar het beleid in is geïnteresseerd.

***Top-down versus bottom-up* modellering**

Tussen de aanhangers van beide benaderingen bestaat van oudsher een grote methodologische controverse. In feite richtten de voorgaande assessments zich vrij sterk op de top-down traditie, waardoor voor de uitkomsten het accent nogal kwam te liggen op de resultaten van de Energy Modeling Forum (EMF)-modellen, een Amerikaans initiatief van destijds om meer dan een dozijn gezaghebbende top-down modellen te hanteren ter beantwoording van onder meer de vraag wat het mitigatiepotentieel en de daarbij behorende kosten zou kunnen zijn. Deze resultaten werden dan vervolgens goed getimed in het IPCC-proces ingebracht, daarmee de teneur van de tweede en derde assessment bepalend. De accentverschuiving in deze vierde assessment was dat het rapport juist in belangrijke mate georganiseerd is rond de per sector bepaalde *bottom-up* schattingen van het mitigatiepotentieel, een welkome afwisseling met als aardige externaliteit dat de eerdere ‘vs-dominantie’ voor deze sleutelvariabele lijkt te zijn afgezwakt, omdat *bottom-up* studies immers door onderzoekers van overal worden verricht.

Figuur 1 vat – voor 2020 en onder verschillende prikkelniveaus – de belangrijkste resultaten van de *bottom-up* benadering samen voor de zeven sectoren waarvoor dat zo systematisch mogelijk in het WG III rapport is gebeurd. Tabel 1 geeft het geaggregeerde resultaat voor de wereld weer (kolom 2) en relateert deze uitkomsten vervolgens aan de emissieniveaus volgens een tweetal eerder ontwikkelde IPCC-emissiescenario's. Daarbij is het van belang op te merken dat de meeste deskundigen – gezien de recente snelle toename van de mondiale emissies onder invloed van de versnelling van de groei van de wereldeconomie richting 5% sinds 2000 – ervan uitgaan dat het A1 B scenario (of erger) aanzienlijk waarschijnlijker is dan het gematigde B2 scenario. Gaat men van dat A1B scenario uit dan moet de conclusie luiden dat zelfs als een prikkel wordt geïntroduceerd die oploopt naar \$100 per ton CO₂ in 2020 de wereldwijde emissies in 2020 niet veel lager zullen uitpakken dan circa 40 gigaton CO₂ equivalenten, aanzienlijk meer dan het referentieniveau in 1990 (ca.30-35 gigaton) vergeleken waarmee

de meeste politieke doelstellingen verklaren in 2020 een verdere reductie met enkele tientallen procenten te willen bereiken!



Bron IPCC 2007, IPCC Working Group III, CUP, Summary for Policymakers, Climate Change 2007, 11

Figuur 1: Bottom-up mitigatiepotentieel per sector.

Carbon price (us\$/tCO ₂ -eq)	Economic potential (GtCO ₂ -eq/yr)	Reduction relative to SRES A1B (68 GtCO ₂ -eq/yr) (%)	Reduction relative to SRES B2 (49 GtCO ₂ -eq/yr) (%)
0	5-7	7-10	10-14
20	9-17	14-25	19-35
50	13-26	20-38	27-52
100	16-31	23-46	21-63

Bron IPCC 2007, IPCC Working Group III, CUP, Summary for Policymakers, Climate Change 2007, 9

Tabel 1: Bottom-up mitigatiepotentieel.

Uiteraard vallen diverse methodologische noten te kraken rond deze getallen. In het aggregatieproces worden soms appels en peren bij elkaar opgeteld; soms moet men bij gebrek aan data extrapoleren; er zijn risico's van dubbelstellingen; prikkels zijn niet altijd te herleiden tot gekwantificeerde CO₂ penalties; er is geen rekening gehouden met technologische doorbraken enerzijds en maatschappelijk georganiseerd verzet en andere onvoorziene barrières anderzijds, enzovoort. Dat neemt niet weg dat nu in IPCC-verband voor het eerst een werkelijk systematische *bottom-up* poging is gedaan om tot

emissiereductiepotentieel schattingen te komen, waar men mogelijk ook beleidsmatig iets mee kan.

Is er in de tussentijd niets gebeurd op het gebied van de *top-down* modellering? Natuurlijk niet. Ook die resultaten zijn in het IPCC rapport samengebracht en wel zodanig dat de uitkomsten maximaal vergelijkbaar zijn gemaakt met die op basis van de *bottom-up* benadering. Dit brengt me tot mijn tweede stelling, namelijk dat het feit dat de *bottom-up* en *top-down* schattingen van het geaggregeerde potentieel aan emissiereductie ruwweg op vergelijkbare waarden bleken uit te komen een van de meest saillante en tevens meest onderbelichte aspecten is van het jongste WG III rapport. De vergelijking van beide schattingen is in tabel 2 weergegeven en spreekt voor zich. Ook voor de meeste betrokken onderzoekers was deze uitkomst een verassing, omdat de resultaten immers op totaal verschillende wijze zijn bepaald. Daarbij heerst bovendien nogal eens het vooroordeel dat de door economen beheerste *top-down* schattingen meer bepaald zouden worden door technologisch pessimisme vanwege het meer accentueren van de maatschappelijke complexiteit, terwijl in de *bottom-up* engineering traditie meer het technologisch optimisme zou overheersen. De schattingen uit de tabel reflecteren een dergelijk vooroordeel echter niet. Ze komen verrassend dicht bij elkaar uit, hetgeen de beleidsmatige zeggingskracht van het rapport vermoedelijk zeer ten goede is gekomen.

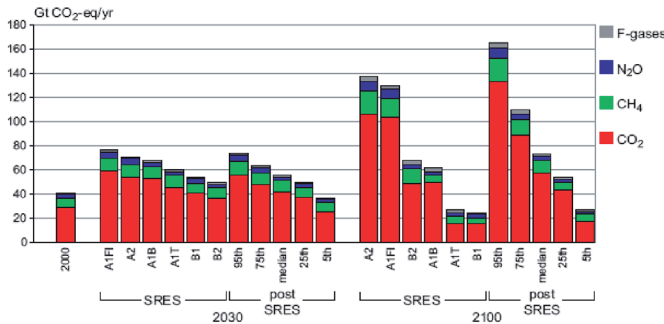
Carbon price (us\$/tCO ₂ -eq)	Economic potential (GtCO ₂ -eq/yr)	Reduction relatives to SRES A1 B (68 GtCO ₂ -eq/yr) (%)	Reduction relative to SRES B2 (49 GtCO ₂ -eq/yr) (%)
0	5-7	7-10	10-14
20	9-17	14-25	19-35
50	13-26	20-38	27-52
100	16-31	23-46	32-63

Carbon price (us\$/tCO ₂ -eq)	Economic potential (GtCO ₂ -eq/yr)	Reduction relative to SRES A1B 68 GtCO ₂ -eq/yr (%)	Reduction relatives to SRES B2 (49 GtCO ₂ -eq/yr) (%)
20	9-18	13-27	18-37
50	14-23	21-34	29-47
100	17-26	25-38	35-53

Bron: IPCC 2007, IPCC Working Group III, CUP, Summary for Policymakers, Climate Change 2007, 9

Tabel 2: Bottom-up (SPM1) en Top-down (SPM2) mitigatiepotentieel: een vergelijking.

De kernconclusie op basis van het WG III IPCC rapport is dus dat men op basis van de meest recente literatuur – ongeacht of men via *bottom-up* schattingen of op basis van een *top-down* benadering een schatting tracht te maken – emissiereductieniveaus voor 2030 dient aan te nemen welke – indien men uitgaat van de drie (van de zes) wat pessimistischer, maar vermoedelijk meest realistische IPCC SRES scenario's (zie ook figuur 2 hierna) - aanzienlijk hoger liggen dan zou corresponderen met de meeste politiek gehanteerde emissiereductiedoelstellingen waaronder die van de EU (in 2020 20% minder dan niveau 1990), althans indien de CO₂ penalties niet het niveau van \$100 per ton in 2030 zouden overtreffen.



Bron: IPCC 2007, IPCC Working Group III, CUP, Summary for Policymakers, Climate Change 2007,6

Figuur 2: Mondiale (baseline)emissies in 2000, 2030 en 2100 obv SRES en post-SRES literatuur.

Deze pessimistische conclusie zou ik vervolgens van een tweetal caveats willen voorzien.

Ten eerste – en dat is mijn derde stelling – is twijfelachtig of en in hoeverre in de verschillende berekeningen van het emissiereductiepotentieel rekening is gehouden met de spontane energieprijsstijging van ruwweg de afgelopen vijf jaar van niveaus van enkele tientallen dollars per barrel olie naar niveaus richting \$100 per barrel. Veel literatuur uit de afgelopen vijf jaar is immers gebaseerd op onderzoek van enkele jaren eerder en vervolgens weer op basis van data van weer enkele jaren daarvoor. Het effect van de energieprijsstijging is dus vermoedelijk vaak niet meegenomen in de resultaten en referentiewaarden. Dit is belangrijk omdat deze energieprijsoontwikkeling waarschijnlijk een vergelijkbaar effect op de CO₂-uitstoot verminderende technologieontwikkeling heeft als een door overheden opgelegde CO₂ penalty en ons als het ware in de schoot is geworpen ondanks het tot dusverre vrijwel ontbreken van CO₂-penalty. Voor zover de IPCC-schattingen dit effect niet hebben meegenomen kan het bovengenoemde resultaat ten aanzien van het reductiepotentieel dus wat meevallen.

Ten tweede – mijn vierde stelling – is niet systematisch meegenomen hoeveel het voor het bepalen van het emissiereductiepotentieel uitmaakt of men dit tracht te bereiken door uit te gaan van de ontwikkeling op basis van toepassingen van nieuwe technologie ‘op eigen grondgebied’, dan wel dat men de reductie (ook) wil ontlenen aan de overdracht van bestaande technologie naar gebieden elders of naar andere toepassingsvormen waar in feite nog verouderde technologie wordt toegepast. Ik acht het een belangrijke omissie van de IPCC tot dusverre dat in de WG III-rapporten het thema van de internationale overdracht van technologie nog steeds mager is bedeed en dat er niet echt systematisch de vergelijking is gemaakt tussen het bereiken van emissiereductiepotentieel door in te zetten of de ontwikkeling van nieuwe of overdracht van bestaande technologie. Wellicht iets voor de volgende assessment om meer te benadrukken? Het kan immers niet anders dan dat het voor de kosten, omvang, onzekerheid en maatschappelijke acceptatieaspecten van emissiereductie potentieel schattingen veel uitmaakt welke veronderstellingen men hieromtrent wenst te hanteren – diverse *top-down* simulaties hebben dat al jarenlang aangetoond en daarmee overigens de basis gelegd voor de flexibiliteit-mechanismen in het Kyoto Protocol. Dit punt is voor bovengenoemde schattingen in zoverre van belang dat voor zover het emissiereductiepotentieel relatief kosteneffectief kan worden opgevoerd door technologietransfers naar bijvoorbeeld de ontwikkelingslanden, het resultaat dus ook wat zou kunnen meevalen. Onduidelijk is in hoeverre de aangegeven ‘ranges’ van de potentieel schattingen kunnen worden toegeschreven aan het al dan niet incorporeren van de optie van de technologie overdrachten.

In dit verband is het overigens wellicht ook interessant om een ander belangrijk resultaat van de WG III exercitie weer te geven, namelijk de geschatte totale kosten van het trachten te stabiliseren van de broeikasconcentraties op bepaalde niveaus als percentage van het BBP of de groei ervan (tabel 3). De uitkomsten laten duidelijk zien dat de kosten niet dramatisch hoeven te zijn, maar vermoedelijk evenmin triviaal zijn. Wederom hangt de omvang van de kosten sterk af van de vraag of men de reductie geheel op eigen grondgebied wil realiseren of dat men beleidsmatig en effectief (dat wil zeggen voorzien van afdoende positieve prikkels) over de optie beschikt om bestaande technologieën naar elders over te dragen.

Stabilization levels (ppm C)2-eq)	Median DGP reduction ^{d)} (%)	Range of GDP reduction ^{d),e)} (%)	Reduction of average annual GDP growth rates ^{d),f)} (percentage points)
590-710	0.2	-0.6-1.2	<0.06
535-590	0.2	0.2-2.5	<0.1
445-535 ^{g)}	not available	<3	<0.12

Bron: IPCC 2007, IPCC Working Group III, CUP, Summary for Policymakers, Climate Change 2007, 12

Tabel 3: Geschatte wereldwijde kosten in 2030 van klimaatbeleid gericht op bepaalde stabilisatieniveaus.

Een vijfde stelling die ik ten aanzien van de IPCC resultaten zou willen betrekken is dat onvoldoende duidelijk is of en in hoeverre in de emissiereductiepotentieel schattingen rekening is gehouden met het feit dat diverse elasticiteiten, zoals de vraagelasticiteit ten aanzien van energie (al dan niet verwerkt in goederen of diensten) of de innovatie-elasticiteit, veranderen onder invloed van een toenemende welvaart. De reactie van de consument en het bedrijfsleven op de energieprijsstijgingen in de jaren zeventig onder invloed van de toenmalige oliecrises waren veel feller dan de reacties de afgelopen jaren op energieprijsstijgingen die qua omvang vergelijkbaar waren met althans het effect van de eerste oliecrisis in de jaren zeventig. Een voor de hand liggende verklaring is dat de welvaart per persoon in de tussenliggende periode gemiddeld min of meer is verdubbeld, waardoor men als het ware onverschilliger is geworden ten aanzien van het feit dat energie opeens zoveel duurder is als enkele jaren geleden: de waarde van de vraagelasticiteit uit het verleden geldt niet meer. Voor zover het bedrijfsleven – uitzonderingen in de sfeer van zeer energie-intensieve sectoren daargelaten – er steeds meer van zou uitgaan dat men hogere energieprijzen wel min of meer in de eindprijzen kan afwentelen kan ook daar het effect ontstaan dat men niet zo wakker ligt van stijgende energielasten en minder tot innovatie bereid is dan men in eerste instantie veronderstelt. Dit soort verschuivingen in microgedrag kunnen een alles bepalend invloed hebben op het proces van de energietransitie en op het emissiereductiepotentieel en wel in – over het algemeen – ongunstige zin en hadden ook meer en beter bij de presentatie van de potentieelgetallen kunnen worden betrokken, dan in de *bottom-up* schattingen is gebeurd. Dit vereist wel dat de IPCC WG III luiken wijder worden opengezet naar ander disciplines dan economie en engineering, zoals de bedrijfseconomie, bedrijfs- en organisatiekunde, industriële organisatie, recht en wellicht zelfs psychologie.

Tenslotte resteert de belangrijke vraag waarom men überhaupt tot maatregelen zou komen die er uiteindelijk toe leiden dat de gewenste emissiereductie resulteert. Het centrale uitgangspunt in het IPCC rapport is dat men uitgaat van de ongewenstheid van klimaatverandering en dus een klimaatbeleid voert, waarvan men vervolgens graag wil weten wat de literatuur te melden heeft over de effectiviteit, kosten en maatschappelijke acceptatiegraad ervan, enz. Een beter assessment van deze aspecten dan het IPCC rapport bestaat er bij mijn weten niet.

In de werkelijkheid doen zich echter allerlei ontwikkelingen voor met belangrijke gevolgen voor de emissies, die losstaan van klimaatbeleid: soms is lokale vervuiling bijvoorbeeld op basis van kolen- of dieselgebruik zo ernstig dat men tot niet-klimaat geïnspireerde maatregelen overgaat maar met gunstig klimaateffect; soms leiden geopolitieke overwegingen er toe dat men de olie- en gasafhankelijkheid bewust terugdraait en weer overschakelt op kolen: niet-klimaat geïnspireerd beleid met mogelijk ongunstig klimaateffect; soms worden ontwikkelingen rond renewables vertraagd omdat deze de belangen van bestaande fossiele energiecoalities zouden schaden: niet-klimaatgeïnspireerde activiteiten met mogelijk ongunstig klimaateffect, of soms worden nieuwe ICT-systemen ontwikkeld die door toeval in de energiewereld toepasbaar blijken en

leiden tot een aanzienlijke energieefficiëntieverbetering: niet-klimaatgeïnspireerde ontwikkelingen met desalniettemin een gunstig klimaateffect, enzovoort. Kortom, mijn zesde stelling luidt: eigenlijk zou men bij het bepalen van de mogelijkheden en onmogelijkheden van emissiereductie nu en in de toekomst niet alleen klimaatoverwegingen moeten betrekken, maar ook tal van andere overwegingen die qua emissie uiteindelijk vergelijkbare effecten kunnen hebben.

Aldus beschouwd is het vreemd dat we wel een IPCC hebben voor klimaat, maar nog niet een IPCC voor het bredere thema van energie.

Referentie

IPCC (2007) IPCC Working Group III, CUP, *Summary for Policymakers*, Climate Change 2007 (www.ipcc.ch)

Politiek als kunst van het onzekere? Omgaan met onzekerheid als politieke kwaliteit

Graag zal ik inderdaad wat zeggen over politieke omgang met onzekerheid. Zoals u kunt afleiden uit de titel die ik gaf aan mijn kleine bijdrage aan dit symposium beschouw ik het omgaan met onzekerheid als een politieke kwaliteit, of als wezenlijke kwaliteit van politiek, zo u wilt. Dat geldt ook ten aanzien van 'het probleem' dat hier vanmiddag centraal staat: de klimaatproblematiek. Ik ben in die stelling alleen nog maar gesterkt vanmiddag: mij is opgevallen hoeveel nog onzeker is, en hoe scherp en fundamenteel de debatten tussen de diverse deskundigen, zowel binnen als tussen de relevante disciplines, nog zijn.

In een rapport uit 2006 over het klimaatbeleid heeft de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR, 2006) betoogd dat adaptatie en aanpassing, naast mitigatie, buitengewoon serieuze aandacht moet krijgen. Het is immers in politieke zin helemaal niet problematisch als je je in de 'probleemoplossing' vooral richt op de gevolgen van een probleem, zeker wanneer je niet in voldoende mate bij de oorzaken kunt komen.

Wellicht ziet u dat als een typisch geval van politieke rationaliteit, maar soms is het aanpakken van de gevolgen van de problemen politiek gezien net zo verstandig als het aanpakken van de oorzaken. Dat laatste heeft zeker vanuit een wetenschappelijke rationaliteit stellig de voorkeur. Er gaat niets boven een wetenschappelijk gefundeerde beleidstheorie die de oorzaken van een probleem scherp in beeld brengt, maar soms kan het nu eenmaal niet anders. De hier vanmiddag ook weer besproken mogelijke gevolgen van de vermeende en door menselijk handelen veroorzaakte opwarming van

ons klimaat zijn bovendien, zeker voor een land als Nederland, een zelfstandige grond voor politiek handelen. Politiek is geen wetenschap, wetenschap lijkt soms wel een beetje politiek in dit dossier. Problemen zijn overigens voor politici zelden louter te benaderen vanuit een wetenschappelijke probleemstelling die zich beperkt tot één causale keten: problemen zijn vaak onoverzichtelijke cocktails van normatieve vraagstukken en wetenschappelijke analyses. Bovendien worden vaak tal van arena's en verschillende beleidsproblemen aan elkaar gekoppeld, en wordt er als het gaat om de instrumentatie van oplossingen druk leentjebuurt gespeeld. Soms worden vanuit de belangen die spelen in de ene arena de op zichzelf mogelijke en zelfs wenselijke oplossingen van een probleem dat in een andere arena speelt jarenlang geblokkeerd. Soms is er echter ook een 'policy-window' (al dan niet uitgelokt door een crisis, of een slim opererende 'beleidsondernemer') die het mogelijk maakt verschillende stromen van problemen en oplossingen weer effectief aan elkaar te koppelen. Juist in dat gegeven ligt een autonome bron van onzekerheid. Ik zal hierna proberen te betogen, dat in mijn ogen een beetje pragmatiek en het kunnen omgaan met onzekerheid een steeds belangrijkere kwaliteit van politiek lijkt te worden. Gezien de aard van de problemen waarmee politici worden geconfronteerd kan niet langer worden volstaan met het wachten op volledige wetenschappelijke zekerheid.

Er werd in het al genoemde rapport ook gezegd dat de Raad - veel meer dan doorgaans op dat moment werd verwacht - inschat dat er een verbinding moest worden gelegd tussen de geopolitieke en politieke beschouwingen over energiebeleid en het klimaatbeleid. Het heeft inderdaad niet langer zin (voor zover er daarvan overigens al sprake van was) om de grenzen die daartussen in het beleidssysteem zijn getrokken in stand te houden: het gaat erom nu snel de relevante verbindingen te leggen, en vooral ook om dat vanuit een pragmatische benadering te doen. Doelen inzake klimaat en belangen inzake energiezekerheid moeten en kunnen met elkaar worden verweven. Diezelfde pragmatische blik lijkt ook nuttig waar het gaat om de aanpak van de oorzaken. Zo blijkt het mogelijk om de technologisch potentiële mitigatie te realiseren, zeker wanneer je de daarop gerichte inzet overtuigend kunt realiseren in andere landen, desnoods ergens aan het andere einde van de wereldbol (merk overigens op hoe belangrijk nu het vanuit de ruimtevaart aangeleverde beeld van 'onze' planeet is, vooral jongeren lijken gevoelig voor dat beeld als politiek momentum). Als anderen dat niet goed zouden vinden (uit eerdere beschouwingen van vandaag maak ik op dat dit zou kunnen gelden voor delen van de milieubeweging) dan duidt dat wellicht op een fatale vorm van blijven steken in het achterhaalde beeld van het politieke systeem als systeem van soevereine naties. Terwijl – en ik citeer hier Bruno Latour die daarover mooi sprak bij het jubileum van de WRR – we toe zijn aan het nadenken over dit soort politieke problemen als kosmopolitieke problemen. Het politieke systeem kan, net als het klimaatsysteem, niet worden gevangen in de entiteiten waarmee we er tot aan de industriële revolutie over hebben nagedacht. We moeten echt een paar stappen maken: de politieke en economische verhoudingen in het wereld-economische en wereld-

politieke systeem zijn op een ingrijpende wijze aan het veranderen: het decor tegen de achtergrond waarvan het klimaatprobleem zal moeten worden opgelost is niet langer het decor dat de internationale betrekkingen van na de oorlog mee vorm gaf. In dat verband vond ik het overigens ook interessant om te zien dat wat ik eerder vandaag hier hoorde over klimaatsystemen, bijna onverkort op politieke systemen van toepassing is. Ook daar onvoorspelbare verrassingen, ingewikkelde interferenties, complexe systemen, non-lineaire dynamieken.

Risico's als beleidsobject

Die onzekere context is natuurlijk geenszins nieuw, en dat zijn ook niet de pogingen daarin toch met een zekere rationaliteit te handelen. We weten dat het vaak niet makkelijk is om rationeel met risico's en onzekerheden om te gaan, en ook dat in het beleid dat daarvoor wordt gemaakt allerlei elementen van politieke rationaliteit onvermijdelijk een rol spelen. Een tijdje geleden maakte het Natuur en Milieuplanbureau van het RIVM in opdracht van de toenmalige staatssecretaris Van Geel een rapport om eens te bezien of er niet wat meer rationeel ('nuchter') zou kunnen worden omgegaan met risico's. Die vraag ligt voor de hand, en is feitelijk een vraag naar een mogelijkheid van afweging tussen kosten en baten van zo'n beleid. In dat verband is het nuttig om te zoeken naar een gemeenschappelijke noemer waarmee de sterk uiteenlopende risico's in beeld kunnen worden gebracht. Daarvoor waren in de ogen van de auteurs van dat rapport voldoende redenen. 'Het risicobeleid wordt namelijk, meer nog dan het milieubeleid in het algemeen, gekenmerkt door een sterke vermenging van meer objectieve technisch-wetenschappelijke met meer subjectieve belevingsaspecten. Het spanningsveld wordt verder vergroot wanneer de sterk subjectieve risico's ook nog gekenmerkt worden door een hoge mate van (wetenschappelijke) onzekerheid' (NMP/RIVM, 2003:3).

Dit staatje in tabel 1 betreft niet het klimaatbeleid, maar betreft de sterfte per jaar als gevolg van een aantal risicofactoren. Door de gegevens uit dit soort tabellen te combineren met schattingen van de verwachte effectiviteit van beleidsmaatregelen kan een inschatting worden gemaakt van de kosteneffectiviteit van het risicobeleid. Het rapport waaraan deze tabel is ontleend laat zien dat die effectiviteit nogal uiteenloopt. Emoties en mediamek uitgevente gevaren: het zijn factoren die soms meer lijken te spelen dan ons vanuit een meer rationele benadering lief zou moeten zijn.

Alleen al in de Nederlandse wetgeving, zo bleek uit dat rapport, hebben wij verschillende manieren om met risico's, althans toelaatbare risico's, om te gaan. Als het gaat om het milieu hebben we de bekende 106 norm. Als het gaat om natte voeten gelden weer andere normen. Het is begrijpelijk dat de politiek naar een zekere nuchterheid en uniformiteit in afwegingen wil streven. Het genoemde rapport laat echter zien hoe moeilijk dat blijkbaar is. We gaan de facto heel irrationeel met risico's om. Politici zijn, omdat het mensen zijn, irrationele wezens.

Risicofactor	Sterfte	jaar DALYs/
het roken van sigaretten	20.000	440.000
overgewicht	8.000	170.000
lichamelijke inactiviteit	8.000	135.000
ongezonde voeding (verkeerd vet)	7.000	137.000
alcohol	2.200*	195.000
ongevallen thuis	2.200	52.500
ongevallen verkeer	1.200	85.000**
luchtverontreiniging stof ^{***}	1.300	1.800
radon in woningen	800	7.900
passief roken	530	6.300
Legionella in drinkwatersystemen	80	560****
benzeen	3	140
grote ongevallen	1	40****
bliksem	1,5	40

* exclusief verkeersongevallen

** alleen blijvende letsels

*** gebaseerd op studies naar samenhang dagelijkse variatie in sterfte en luchtverontreiniging

**** alleen verloren levensjaren door sterfte

Bron: Nuchter omgaan met risico's (RIVM)

Tabel 1: Ruwe ramingen van jaarlijkse sterfte en verlies aan gezondheid gewogen levensjaren (DALYs) door een aantal risico's in Nederland (voorlopige cijfers, Van Oers, 2002; De Hollander et al., 1999; De Hollander et al., 2003).

'Risicologie'

Die irrationele manier van omgaan met risicofactoren blijkt ook uit het staatje. Daar waar de meeste kansen in termen van gewonnen levensjaren liggen is het beleid soms het minst overtuigend ingezet, terwijl anderszins er veel geld gaat naar risico's die weliswaar vervelend zijn, maar in termen van hoeveelheid schade of gewonnen levensjaren buitengewoon beperkt zijn. Psychologie en symboliek blijken soms belangrijker dan nuchtere analyse. Het gaat mij niet om de cijfers uit het staatje als zodanig. Het gaat mij om het beeld dat politici risico's voorgeschoteld hebben gekregen, waarbij ze hebben geleerd daarover in termen van eenvoudige kansen na te denken. Kansen waarvoor je dus als het ware rationeel beleid kunt gaan maken op een traditionele manier, door of de kans te verminderen of de schadelijke gevolgen van die kansen te beperken. Zo wordt over risico's nagedacht, maar de praktijk is dus nogal anders.

Dat RIVM-rapport is nogal ingeslagen, omdat nota bene het RIVM aan de politiek heeft laten zien dat het traditionele denken over risico's in belangrijke mate moet worden gerelativeerd. Er werd een soort van methodestrijd blootgelegd tussen de objectivisten en de constructivisten. Duidelijk werd, dat bij de inschatting van risico's allerlei andere zaken meespelen dan de objectiveerbare en rationele analyses van wetenschappelijk onderzoek; dat het ook heel moeilijk is om tot universeel geaccepteerde maten te komen om risico's te kwantificeren; en dat risico's ook heel erg moeilijk onderling te vergelijken zijn. Risico-inschattingen blijken ook zelf vaak erg onzeker te zijn. Allemaal bevindingen die stroken met wat we ook vandaag gehoord hebben: dat risico's zich, in mate van onzekerheid, manifesteren in een reeks van onzekerheden die uiteenloopt van 'gewone' mathematische inexactheid tot onbetrouwbaarheid, tot zelfs absolute onwetendheid. Onzekere risico's wordt dat, wat provocerend, genoemd. Er kunnen inderdaad bezwaren zijn om de begrippen risico en onzekerheid door elkaar heen te gebruiken, maar het lijkt omwille van het debat toch nuttig dat eens te doen. De politieke opdrachtgevers voor het genoemde rapport vroegen om een stevig en rationeel beleidskader om nuchter met risico's om te gaan. En het verhaal dat op tafel werd gelegd was eigenlijk in belangrijke mate de ontnuchterende conclusie dat de wetenschap de politiek daaraan slechts in zeer beperkte mate kon helpen. Er is nogal wat onzekerheid omtrent die risico's; en het ene risico is het andere niet. Vergelijkbare conclusies worden ook getrokken in de sterk in opkomst zijnde internationale fora van de risicologie.

En dat is een heel fundamenteel gegeven voor de politiek. Waarom? Omdat, zoals Bernstein (Bernstein, 1996) in zijn mooie boek over de geschiedenis van het risicodenken heeft laten zien, het beheersen van risico's voor politici eigenlijk het verschil maakt tussen de wereld waar we ooit vandaan kwamen – de bijna magische voor-verlichte, niet beschaafde wereld – en de wereld waarin de politiek zich – als een gezaghebbende instantie die in de samenleving gezaghebbend bestuurt – een zeker monopolie in de besluitvorming mag verschaffen op grond van een democratische legitimatie. Daarin is de rationele beheersing van risico's in psychologische maar ook in symbolische zin enorm belangrijk. Risicobeheersing is als het ware een cruciale politieke opdracht.

Zeker nu blijkt dat het bij risico's vaak niet gaat om eenvoudige, maar juist zeer complexe risico's die de ruimte voor politieke en andere vormen van beheersing sterk begrenst, staat met de discussies over de mogelijkheden van risicobeheersing de mogelijkheid van politiek zelf ter discussie.

Scott, een politicoloog van *Yale University*, heeft laten zien hoe politici voortdurend en vanzelfsprekend de neiging hebben om ongeordende en complexe omstandigheden te beheersen met een rationeel gefundeerd beleid. Zij doen dat echter door telkens een rationaliteit aan maatschappelijke systemen op te leggen. Een poging die telkens faalt doordat die rationaliteit vooral een analytisch georganiseerde reductie van de feitelijk bestaande complexiteit is, in een werkelijkheid die meer ecologisch dan systemisch van aard is. Ik denk dat een vergelijkbare oriëntatie herkenbaar is in de huidige pogin-

gen om het risicobeleid van een meer rationele fundering te voorzien. Daarbij wordt gepoogd alle mogelijke soorten van risico's onder eenzelfde noemer te brengen. Daarin herkennen we een meer algemene stijl van politiek, die probeert problemen te temmen om ze vervolgens te kunnen oplossen met een rationele methode van beleidsanalyse.

Typen problemen, typen van risico's?

Dat temmen van problemen is als strategie herkenbaar in de volgende figuur, afkomstig uit het werk van de Twentse politicoloog Hoppe. Hij laat zien hoe er verschillende typen van beleidsproblemen bestaan, door daarin telkens een dimensie van cognitieve en normatieve (on)zekerheid te (h)erkennen. Het temmen van problemen kan worden aangevat door het reduceren van cognitieve onzekerheid (wetenschappelijke analyse) of normatieve onzekerheid (het werken aan consensusvorming over relevante maatstaven die een rol spelen bij de beoordeling of er sprake is van een probleem).

		Zekerheid van kennis	
		groot	klein
Consensus over maatstaven	groot	getemde problemen	(on-)tembare wetenschappelijke problemen
	klein	(on-)tembare ethische problemen	ongetemde politieke problemen

Tabel 2: Typen van beleidsproblemen (naar Hoppe).

Een vergelijkbare indeling is er wellicht ook te maken als het gaat om soorten van risico's. Consensus maken is natuurlijk een politieke strategie bij uitstek. En zekerheid van kennis wil daarbij ook wel flink wat helpen. Als hier vanmiddag een politicus had meegeluisterd die kwaad wil in het uitbuiten van de onzekerheidsdimensie, althans dat zou willen vertalen naar een voorstel om voorlopig maar niets te doen, dan zou ik niet helemaal de voorspelling aandurven dat hem dat niet zou lukken. De grote mate van wetenschappelijke of cognitieve onzekerheid die er ten aanzien van het klimaatprobleem nog blijkt te zijn, bemoeilijkt ook die politieke opdracht te werken aan een meer normatieve consensus.

Meer in algemene zin lijken er zo ook uiteenlopende soorten van risico's te bestaan. De eenvoudige risico's, die in veel doen denken aan de getemde problemen die we in de cel linksboven aantreffen. Rechts boven vinden we dan de complexe risico's: veel kennis is nodig om ze beter te doorgronden. Linksonder in de tabel zouden we kunnen spreken van ambigue risico's: daar is niet zozeer een gebrek aan kennis over kansen op schade, maar een discussie over de normatieve waardering van de ernst van die schade. Rechtsonder vinden we dan de op het eerste gezicht wat merkwaardige categorie van onzekere risico's: het gaat daar om risico's die zowel in termen van wetenschappelijke (complexe) als normatieve (ambigue) zin nog zeer omstreden zijn.

Politici hebben het liefst te maken met getemde problemen, alhoewel het oplossen daarvan ook als een opdracht bij uitstek van wetenschappelijke technocraten kan worden gezien. Natuurlijk draagt het oplossen van dergelijke problemen bij aan de legitimiteit van politieke systemen, maar het eigene van politiek komt beter tot uitdrukking in het organiseren van consensus. Daar waar het gaat om de cognitieve onzekerheden met hulp van wetenschappelijk onderzoek, daar waar het gaat om normatieve onzekerheid door de inzet op democratische deliberatie en overtuigingskracht. Het zal duidelijk zijn dat een effectieve strategie om de combinatie van beide sporen vraagt. Is een probleem eenmaal getemd of een bepaald risico adequaat in beeld gebracht dan ontstaat een bijkans ideale situatie voor een overheidsbureaucratie. Dan kun je problemen oplossen met het traditionele bestuurlijke repertoire, gericht op het wegnemen van de oorzaken van het probleem. Dat is helaas niet altijd mogelijk – ook niet bij de klimaatproblematiek.

We kunnen zeggen dat getemde problemen meestal de problemen met eenvoudige risico's zijn. Waar je de kansen van kent, op grond van historische analyses, goede berekeningen, goede statistieken. Je kunt ook als het ware de effecten van de voorgenomen beleidsinterventies behoorlijk voorspellen. Dat soort kwesties komt in de politiek natuurlijk regelmatig voor, maar dat is eigenlijk niet zo interessant. Dat is het geval van 'kat in 't bakkie': de makkelijke politieke problemen. Die kun je door de experts, de bureaucratie, door de operationele sferen van het openbaar bestuur laten regelen.

Het interessante – wellicht zelfs de eigenlijke opdracht – voor de politiek zit hem eigenlijk veel meer in het groeiende domein van die andere (ongetemde) problemen. Daar moet de politiek dus iets doen wat ze vaak niet of nauwelijks bieden kan, namelijk zekerheden bieden. Zekerheden, die als het ware in staat stellen om de normatieve ambiguïteit en cognitieve onzekerheid die er onvermijdelijk steeds meer lijkt te zijn, proberen om te vormen tot een soort consensus. Dat is het dankbare werk dat politici misschien moeten leren in een tijd waarin de onzekerheden zoals ook hier vanmiddag ter sprake gebracht soms groter lijken dan ooit te voren. In het licht van de ontwikkelingen die we vandaag ook hier gehoord hebben, zou het mijn veronderstelling zijn dat de politiek misschien belangrijker aan het worden is dan we in de wereld van de rationele beleidsanalyse lang gedacht hebben. Dat daar waar de experts ruimte laten voor onzekerheid en ambiguïteit, dat vacuüm voor probleemoplossend vermogen op de een of andere manier zal moeten worden opgevuld door politici.

Politieke klimaatverandering

Maar de moeilijkheid is, dat er ook een politieke klimaatverandering is, waarin we een geaccelereerd pluralisme zien en waarin controversen eerder toenemen dan afnemen, ook als het gaat om kwesties als klimaat. Ik maak me grote zorgen over de mate waarin politici in staat zullen zijn, op grond van die politieke klimaatverandering, dat te doen wat we van politici verwachten. Want laten we eerlijk zijn. Met eenvoudige problemen en risico's zijn we snel klaar. Daar kun je een eind komen met klassieke vormen

van risico-inschatting en risicomangement. Daar kunnen politici veel overlaten aan het werk van de experts en van de bureaucratie. Daar gelden de klassieke bestuurlijke repertoires die hun waarde bewezen hebben. Marjolein van Asselt (2007) heeft daar in haar oratie belangrijke dingen over gezegd.

Bij de complexe, onzekere en ambigue risico's begint het pas echt interessant te worden. Daar zit het grote werk van de toekomst. En precies daar ook zitten mijn zorgen over de mate waarin de politiek in staat is om te doen wat verwacht wordt. Want bij die onzekere, complexe risico's hebben we het over risico's waarbij, net als bij de onzekere problemen, de causaliteit lastig vast te stellen is en er ook voortdurende discussie over de normatieve dimensies blijft. De wetenschappelijke of normatieve controverses zitten natuurlijk bij die echte onzekere risico's. Die betreffen fenomenen waarvan we nog niet eens weten of ze zich zullen voordoen, en of we wel een risico lopen.

Die laatste categorieën betreffen het type risico's die we in het debat over de klimaatkwestie tegenkomen. We zien dat het klassieke repertoire van de politiek om heldere besluiten te nemen – democratisch gelegitimeerd in een rechtsstaat, bovendien gebonden aan het recht, en aan allerlei vormen van procedureregels die uit een rechtsstaat voortvloeien – eigenlijk een repertoire is dat helemaal niet past bij de opgave die zich in deze domeinen aan het ontwikkelen is.

Waar experts er niet in slagen voldoende zekerheid te ontwikkelen wordt dat van de politiek steeds meer wel gevraagd: van hen wordt als het ware gevraagd te handelen alsof er die zekerheid wel is, om die zekerheid desnoods zelf te creëren. In zo'n situatie zullen inderdaad de traditionele beginselen van wikken en wegen (van zowel de cognitieve als de normatieve dimensies) een belangrijkere plek gaan krijgen. En dat is ook zichtbaar in en rond de rapportages van het IPCC en zijn werkgroepen. Daar zie je een hele interessante 'dans' tussen politiek en wetenschap waarbij het af en toe op mijn minst een beetje onduidelijk is wie er eigenlijk leidend is in de besluitvorming, wie daar eigenlijk het initiatief neemt.

Uit wat ik hier vanmiddag van de klimatologen en de paleontologen hoorde wordt duidelijk dat politiek en wetenschap op een ingewikkelde manier op elkaar zijn aangewezen. Wat duidelijk is geworden, is dat terzake van het klimaatbeleid er een ingewikkelde symbiose plaatsheeft van politieke en wetenschappelijke fora. De besproken werkwijzen en arrangementen van het IPCC vind ik dus buitengewoon interessant, niet alleen op grond van de uitkomsten en de kwaliteit van het geleverde werk, maar ook als fenomeen. We hebben te maken met een soort van hybride constructie waarin politiek en wetenschap tot elkaar veroordeeld zijn en met elkaar gedwongen zijn om tot oplossingen te komen. Bruno Latour had het bij ons jubileum in dat verband ook over het hele bijzondere dat juist ook het IPCC de Nobelprijs gekregen heeft. Dat is niet alleen maar in termen van subject matter interessant. Dat is ook interessant vanuit het idee welk soort van beeld van wetenschappelijk onderzoek en de betekenis daarvan daarmee wordt gegeven.

Ik vermoed dat wetenschap ook zelf moet wennen aan een ander soort rol die er aankomt. Als je politici wil helpen om die dans mee te maken, zal de wetenschap meer dan voorheen wellicht gebruikelijk was moeten accepteren dat de discussie tussen de verschillende scholen om tot een inschatting van de kosten van mitigatie te komen convergeert tussen de resultaten van de hier besproken *top down*- en *bottom up* modellen. Die situatie is vanuit politiek oogpunt buitengewoon interessant. Wordt aan de wetenschap hier een soort van politieke opdracht gegeven, tot consensus te komen? Is de wetenschap geworden tot een soort van coach en facilitator van consensus die later dan politiek gestalte moet krijgen? Mij lijkt dat in ieder geval een duidelijk andere soort van opdracht voor de wetenschap dan we tot nu toe gewend waren.

Het soort complexe afwegingen dat hier aan de orde is, vraagt ook om een ander soort respons van politici. Hun traditionele routine om beleidsproblemen zo veel en zo snel mogelijk in de veilige linker bovenhoek van de figuur te krijgen, om er getemde problemen van te maken, zal men als het om het klimaatprobleem gaat toch een tijdje uit moeten stellen. Men zal een combinatie van voorzorg – die, dat hebben we in het WRR-rapport ook gezegd, niet betekent dat er niet zal hoeven te worden afgewogen – en veerkracht moeten organiseren die soms maar moeilijk te combineren is met het beeld van doorpakken en daadkracht dat de politiek in het licht van een onrustige en ongeduldige publieke opinie graag van zich zelf scheidt. Men heeft andere soorten van bestuurlijke en politieke reacties op dit soort problemen nodig. En, zoals ook het IPCC duidelijk laat zien, het zal bovendien niet alleen het traditioneel statelijke politieke discours en repertoire kunnen zijn dat aan de slag gaat met het klimaatprobleem. Men zal de verbreding en de verbinding met de wetenschap, de private sector en de milieubeweging moeten zoeken om dat op een goede manier te doen. Governance van dit soort problematieken is dus meer dan alleen maar government. Ook in z'n zin durf ik de stelling aan dat politiek nog belangrijker wordt dan expertise. Maar dan wel met de kanttekening dat politiek meer dan de kunst van het mogelijke en het haalbare, de kunst van het onzekere zal moeten worden. De politiek zal moeten leren om niet al te snel in traditionele routines van probleemoplossing te schieten, maar moeten investeren in vormen van probleemmanagement.

Maar dat is makkelijk gezegd als opdracht naar de politiek. Kan dat wel bij de politieke klimaatverandering die gaande is? Daar heb ik wel wat zorgen om. Want dat betekent dat politiek zich een soort eigenstandige en ook als zodanig gewaardeerde positie verwerft die haar in staat stelt om de rol in dit soort processen te spelen. Ik voorspel dat op het moment dat de verbinding met energiebeleid gemaakt wordt, het politieke gewicht van de vragen inzake klimaat veel groter zal worden. U kunt zich als wetenschappelijke gemeenschap rondom het klimaatprobleem daar (letterlijk) rijk mee rekenen, maar ik kan u ook verzekeren dat het politiek gezien dan ook heel wat ingewikkelder zal worden omdat de normatieve dimensies van de problematiek alleen maar ingewikkelder zullen gaan worden.

The end of the virtue of ignorance

Daniel Dennett, de filosoof die heeft eens ooit gezegd dat veel politieke besluitvorming eigenlijk alleen maar mogelijk is omdat we niks weten. Want dan is het makkelijk besluiten. Maar op het moment dat we veel informatie hebben, en dat we al die cijfers zo precies op tafel hebben, en dus ook precies kunnen analyseren *who are the winners* en *who are the losers* zal het alleen maar heel ingewikkelder worden om politieke compromissen te sluiten. Dat zou de paradox van de kracht van de wetenschappelijke inbreng kunnen worden genoemd: je moet misschien ook af en toe niet teveel kennis geven om de politiek de mogelijkheid geven om te besluiten.

Bovendien leven we in een politiek klimaat waarin we roepen dat politici flink en daadkrachtig moeten zijn, en vooral heldere besluiten moeten nemen. Dat is een grote valkuil omdat we wel weten – en ik vond dat *bottom up* voorbeeld dat mijn voorgaande spreker gaf in dat verband erg interessant – dat als je reconstrueert hoe belangrijke politieke besluiten in het verleden zijn genomen, hoe die politieke processen gingen, dat die veel meer dat *bottom up* karakter hadden. Daar zat meer solide lange termijn draagvlak in dan in de top down aanpak.

Dit alles betekent ook dat we echt moeten nadenken over het wereldpolitieke systeem. Het IPCC is ook in dat verband heel interessant. Dat er op wereldniveau een nieuw soort autoriteit gemaakt lijkt te worden, deed mij denken aan wat indertijd door de Fransen en Duitsers als de Europese Gemeenschap van Kolen en Staal is gemaakt. Vergeef me de wat vreemde vergelijking in dit verband, want die kolen zijn nu het probleem geworden. Maar het was natuurlijk heel erg interessant, dat men toen een geheel nieuwsoortig politiek orgaan gemaakt heeft: de Europese Commissie, die niet per se klassiek democratisch gelegitimeerd maar op grond van vooral inhoudelijk gezag, kennis van die markten, verregaande beslissingen kon forceren in die Europese Unie. Dat was oefenen met een nieuw politiek construct. Tot op de dag van vandaag worstelen we ermee, want we hebben nu net die grondwet afgewezen omdat we dachten dat Europa een staat zou worden. Maar Europa is en wordt helemaal geen staat. Europa is altijd al wat anders geweest.

Politici hebben dus in die nieuwe complexe werkelijkheid de enorm lastige opdracht om hun rol opnieuw uit te vinden, ook nu weer in relatie met de wetenschap. U als wetenschappelijke gemeenschap rondom het klimaatprobleem moet ze dus als het ware ook een beetje opvoeden en meenemen in de rol die zij te spelen hebben. Want anders handhaven politici hun traditionele repertoire, hun traditionele rol, hun standaard respons en hun voorkeur voor een uniforme aanpak. We hebben in het WRR-rapport gezegd dat je bij elke gulden die je aan de mitigatiestrategie uitgeeft, ook eens zou moeten overwegen (kosmopolitiek) of je die niet gewoon in China uitgeeft in plaats van in Nederland. Dat voelt wat minder goed voor politici want die moeten kunnen uitleggen dat ze hier beleid voeren. Maar de legitimiteit van de natiestaat wordt denk ik al snel minder belangrijk dan de legitimiteit die politici kunnen ontlenen aan het verstandig omgaan met problemen.

Tot slot: politici hebben te maken met een enorm wantrouwen. Daar hebt u als wetenschapper werkend aan het klimaatprobleem misschien ook de nodige last van ondervonden, maar politici hebben er echt last van. Ik zie echt een zekere urgentie om in het politieke systeem niet alleen algemene beginselen van behoorlijk bestuur een juridische zin te geven, maar ook een aantal algemene beginselen van behoorlijke informatievoorziening. En dan gaat het om dat kwetsbare punt dat politici garanties moeten kunnen geven in dat lastige debat met de burgers, waar pijnlijke beslissingen zullen worden moeten genomen, om in ieder geval onzekerheidsinformatie te verschaffen. Dat wil zeggen dat de burgers weten wat, als politici hen verleiden akkoord te gaan met cruciale en pijnlijke interventies in de economie en in de productiewijze, daarin het element van zekerheid en het element van onzekerheid is, en wat dus het te verdedigen aspect van voorzorg is. Want als een eenvoudige burger vandaag zou hebben meegeluisterd – en ik beschouw me als ik naar de klimatologen luister toch echt vooral zo – dan valt ook op dat politici het stuk zullen moeten vullen waar u vanuit uw integriteit de ruimte en de onzekerheid laat. Daar wordt van de politiek gevraagd de ruimte te vullen. En om dat op een goede manier te doen, is meer nodig dan zo af en toe met elkaar op Bali verkeren.

Referenties

- Asselt, M.B.A. van (2007) *Risk Governance: over omgaan met onzekerheid en mogelijke toekomsten*. Inaugurele Rede. Universiteit Maastricht
- Bernstein, P.L. (1996) *Against the Gods. The remarkable story of risk*. New York: Wiley
- Hollander A.E.M. de, Hanemaaijer A.H. (eds) *Nuchter omgaan met risico's*, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM-)rapport 251701047, Milieu- en Natuurplanbureau (MNP)
- Scott, J. (1998) *Seeing like a state*. Yale University Press
- WRR, (2006) *Klimaatstrategie – tussen ambitie en realisme*. Amsterdam University Press, Amsterdam

Onzekerheid en diversiteit

Opschoor beschrijft in de inleiding van deze publicatie de afweging van adaptatie- en mitigatie-strategieën en eindigt met de stelling: ‘diversificatie van de portfolio van strategieën is de beste manier om met onzekerheden van ijs en weder om te gaan’. Wat geldt voor de interventiestrategieën geldt a fortiori voor de onderzoekstrategieën. Alleen een open wetenschappelijk systeem biedt een garantie voor de toekomst dat onze kennishuishouding voldoende zal kunnen evolueren om, al is het maar achteraf, de zin en onzin van onze beslissingen te kunnen duiden. Daarom moet ook, of misschien wel juist, onwelgevallige kennis worden verwelkomd en serieus genomen.

Betekent dit dat we moeten volstaan met duizend bloemen te laten bloeien, er geen prioriteiten ten aanzien van onderzoek kunnen worden gesteld en dat programmering van onderzoek overbodig wordt? De bijdragen in deze publicatie geven aan dat daar wel degelijk noodzaak toe bestaat, zij het dat de prioriteiten soms verrassend kunnen zijn.

Enkele conclusies

De minst verrassende conclusie betreft de reductie van onzekerheid die kan worden bereikt door waarnemingen zowel kwalitatief als kwantitatief te verbeteren. Zowel Petersen als Oerlemans wijzen op het grote belang van observaties voor de toetsing en daarmee de vooruitgang in onze kennis en ook op het feit dat het met onze meetinstrumenten veel minder goed gesteld is dan doorsnee wordt aangenomen. Voor het klimaatonderzoek betekent de termijn waarop processen verlopen dat de introductie van

nieuwe en verbeterde meetinstrumenten pas over lange tijd de noodzakelijke gegevens verschaffen om modellen te kunnen valideren, maar dat neemt niet weg dat betere metingen ook op korte termijn inzicht kunnen bieden in de anomalieën die optreden.

Toch zal er ook naar het verleden moeten worden gekeken om processen over lagere tijdschalen te kunnen begrijpen. De reconstructie van delen van het systeem aarde door middel van proxies heeft inmiddels een grote vlucht genomen, maar er ligt nog een enorme opgave om het 'uiteenlopen' van de uitkomsten van de verschillende indirecte methoden te verklaren.

Veel van de bestaande gegevens kunnen worden 'hergebruikt' voor andere doelen dan waarvoor ze oorspronkelijk zijn verzameld. Door middel van data-assimilatie kunnen nieuwe koppelingen worden gemaakt en feedback geanalyseerd. Door dergelijke verrijking van bestanden kan met betrekkelijk geringe investeringen een groot potentieel worden benut.

De eerste prioriteit is daarom een systematische inventarisatie van de mogelijkheden en behoeften aan gegevens voor het veld. Een afzonderlijke *roadmap* waarin de samenhang tussen bestaande en de behoeften aan nieuwe gegevens worden vastgelegd, is dringend gewenst voor het klimaatonderzoek, zowel nationaal als internationaal.

Een tweede conclusie is dat men moet af zien van het idee dat wetenschappers zich vooral moeten bezig houden met 'consensus' modellering waarbij partiële modellen worden geïntegreerd. Zowel Jepma als Petersen verdedigt de stelling dat methodologisch pluralisme leidt tot beter inzicht. Jepma geeft een concreet voorbeeld waarbij *top-down* en *bottom-up* benaderingen verrassenderwijs tot dezelfde uitkomsten leiden. Dat biedt nog geen garanties dat men het proces ook echt 'in de vingers' heeft maar geeft wel een goede indicatie van de robuustheid van het onderzoek. Hoewel beleidsmakers vaak snakken naar wetenschappelijke consensus, zie ook de bijdrage van Van de Donk, bestaat de wetenschappelijke vooruitgang juist uit het organiseren en beslechten van de tegenspraak. De tweede prioriteit is dan ook dat sturing van het onderzoek eerder de vorm moet krijgen van de creatie van een forum waarin die tegenspraak gestalte krijgt, dan van *expert groups* met een bewezen reputatie op het terrein. Een belangrijke implicatie hiervan is dat ook thematische programma's zich moeten kenmerken door open competitie en dat door beleidsdirecties aangestuurde onderzoeksprogramma's altijd breder moeten zijn dan de vraag naar de effectiviteit van bestaand of voorgenoemen instrumentarium. Ook de vigerende 'beleidstheorieën', zoals dat in de bestuurskunde wordt aangeduid, dienen in die programma's ter discussie te worden gesteld, om schijnzekerheden te voorkomen en het lerend vermogen in stand te houden.

Systeemgrenzen voorbij

Een derde conclusie is dat het verleggen van systeemgrenzen in het onderzoek enorme kansen biedt op vooruitgang. Lelieveld geeft een mooi voorbeeld ten aanzien van de CFC's. De mogelijke gevolgen van deze stoffen voor de gezondheid waren keurig onderzocht. Pas veel later werden de externe effecten op de gezondheid via de ozonlaag

duidelijk. De ruimtelijke schaal van het systeem moest daarvoor worden verlegd van inademing door de mens tot processen in de stratosfeer. Die processen konden worden begrepen door nieuwe kennis van de katalyse, maar de impact kon pas worden begrepen door ook het transport in de stratosfeer in de analyse te betrekken.

Het verleggen van systeemgrenzen gebeurt niet zelden door andere disciplines in het onderzoek te betrekken. Zo constateert Jepma dat de volgende stap in de economische modellering van het emissiereductiepotentieel alleen gezet kan worden met beter begrip van het microgedrag waarvoor een beroep gedaan zal moeten worden op andere disciplines zoals de bedrijfseconomie en zelfs de psychologie.

De derde prioriteit die hier uit voorkomt is logischerwijs een pleidooi voor interdisciplinair onderzoek, echter niet in de vorm van de veel gehanteerde mantra van integratie van alfa, gamma, bèta in de richting van een volkomen transdisciplinaire wetenschapsbeoefening. Dat levert veel geschrijf op, maar weinig wol. Het is eerder een zaak van zoeken naar *'Neue Kombinationen'* binnen en tussen disciplines die nodig zijn om de grenzen van het systeem te verleggen. Alleen dan is het mogelijk voort te bouwen op bestaande kennis en toch kansen te creëren voor innovatie. Wetenschapsverkenningen die zich richten op het identificeren van kansrijke nieuwe combinaties om de grenzen van bestaande systemen te verleggen zullen meer kans hebben op een vervolg dan verkenningen die vertrekken vanuit één discipline.

Een vierde daarmee verbonden conclusie dat juist ook de disciplinaire diversiteit een grote toegevoegde waarde heeft. Ook daarvan levert deze publicatie een mooi voorbeeld. Vanuit de natuurwetenschappen en de economie ligt het zeer voor de hand een koppeling te maken tussen energie en klimaat. Die twee zijn zo nauw met elkaar verweven dat het ook voor de hand lijkt te liggen deze in de interventiestrategieën aan elkaar te koppelen. Echter, Van de Donk geeft vanuit een politicologische analyse, de waarschuwing af dat dit wel eens contraproductief zou kunnen zijn. Op het moment dat klimaat- en energiepolitiek aan elkaar worden gekoppeld wordt het politieke gewicht en de complexiteit veel groter omdat de belangentegenstellingen enorm gaan toenemen.

De vierde prioriteit bij het bestuderen van complexe problemen is dan ook disciplinaire diversiteit te organiseren in plaats van alleen aan te sturen op de integratie van disciplines. Bij een belangrijk maatschappelijk probleem als klimaatverandering is het nodig een kader te scheppen waardoor diverse disciplines zich vanuit hun eigen invalshoek met hetzelfde probleem bezig houden en vooral ook om andere disciplines over te halen zich met deze problematiek te gaan bezig houden. Onderzoekstimuleringsprogramma's hebben ervoor gezorgd dat er op diverse plekken in Nederland groepen milieueconomen zijn ontstaan die onmisbaar zijn voor een beter inzicht in de oplossing van het klimaatprobleem. Binnen de psychologie bestaat er inmiddels wel een specialisme dat wordt aangeduid met omgevingspsychologie, maar het aantal beoefenaren is nog steeds zeer beperkt, hetgeen overigens ook, zij het in mindere mate, geldt voor het omgevingsrecht. Bij de nadere invulling van het NWO themaprogramma Duurzame

Aarde zal het versterken van de disciplinaire diversiteit een belangrijk aandachtspunt moeten zijn.

Wetenschap en beleid

De laatste conclusie betreft de erkenning dat een beter begrip niet noodzakelijkerwijs leidt tot een betere voorspelbaarheid. Oerlemans geeft dat in zijn inleiding een aantal keer scherp aan. Hij wijst er onder andere op dat historici zich, ondanks de enorme hoeveelheid onderzoek naar maatschappelijke verandering, nooit aan voorspellingen wagen, omdat zij weten dat er gebeurtenissen optreden die in eerste instantie onbelangrijk lijken, maar waardoor later de loop van de geschiedenis op zijn kop wordt gezet. De historicus Hans Blom heeft dat ooit paradoxaal geformuleerd als: ‘de geschiedenis kan je niks leren, maar je kunt er wel wijs door worden’.

Voor de omgang tussen wetenschappers en beleidsmakers lijkt dat een veelbelovend startpunt. Beleidsmakers mogen niet verwachten dat wetenschappers alle onzekerheden kunnen elimineren en mogen daar in ieder geval niet op gaan wachten. Wetenschappers mogen niet suggereren dat zij alle onzekerheden kunnen overwinnen op voorwaarde dat hun onderzoeksinspanning gecontinueerd kan worden. Tegelijkertijd is er een constante productie van waardevolle inzichten die kunnen bijdragen aan verstandig beleid en voor vernieuwing daarvan kunnen zorgen, ook als ze op het moment zelf minder welgevallig zijn.

Over de auteurs

Prof. dr. W. B.H.J. (Wim) van de Donk studeerde Politieke Wetenschappen en Bestuurskunde aan de Katholieke Universiteit in Nijmegen. Het doctoraalexamen behaalde hij (cum laude) in 1987. Hij promoveerde in 1997 (cum laude) aan de Katholieke Universiteit Brabant op het proefschrift *De Arena in Schema. Een verkenning van de betekenis van informatisering voor beleid en politiek betreffende de verdeling van middelen onder verzorgingshuizen*. Voor dat proefschrift werd hem in 1998 de G.A. van Poeljejaarprijs van de Vereniging voor Bestuurskunde uitgereikt. Momenteel is hij als hoogleraar maatschappelijke bestuurskunde verbonden aan de faculteit der Rechtsgeleerdheid van de Universiteit van Tilburg en (sinds 2004) voorzitter van de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid.

Prof. dr. P. (Pieter) Hooimeijer (21 mei 1955) studeerde Sociale Geografie en Plaanologie aan de Vrije Universiteit en is sinds 2006 wetenschappelijk directeur van de landelijke onderzoekschool NETHUR, *Netherlands Graduate School of Urban and Regional Research*. Daarnaast is hij hoogleraar Sociale Geografie & Demografie aan de Universiteit Utrecht. Zijn expertise ligt op het snijvlak van ruimtelijke, maatschappelijke en bevolkingsvraagstukken, zoals de oorzaken en collectieve effecten van migratie en verhuisgedrag. Pieter Hooimeijer is verder onder andere voorzitter van de Sociaal Wetenschappelijke Raad van de KNAW, lid van de Global Change Commissie, en lid van de Raad voor Ruimtelijk-, Milieu- en Natuuronderzoek (RMNO).

Catrinus Jepma

Prof. dr. J. (Catrinus) Jepma is als hoogleraar Energie en Duurzaamheid verbonden aan de Universiteit Groningen en tevens wetenschappelijk directeur van het *Energy Delta Research Center* van diezelfde universiteit. Hij participeerde in IPCC Werkgroep III sinds 1993 in alle drie assessments als (coördinerend) *lead author*. Hij heeft diverse publicaties op het terrein van het internationale klimaatbeleid op zijn naam staan en is ondermeer co-editor van *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* en chief-editor van de *Joint Implementation Quarterly*.

Prof. dr. J. (Jos) Lelieveld studeerde Biologie in Leiden (1984) en promoveerde in Natuurkunde in Utrecht (1990). In de periode 1987 tot 1993 werkte hij aan het Max Planck Instituut voor Chemie in Mainz, en tevens aan de Universiteit van Stockholm en de Universiteit van Californië, San Diego. Tot 1995 was hij hoogleraar Luchtkwaliteit in Wageningen en vervolgens tot 2000 hoogleraar Fysica en Chemie van de Atmosfeer in Utrecht. Daarna keerde hij als directeur terug aan het Max Planck Instituut voor Chemie, en is daarnaast als hoogleraar Fysica van de Atmosfeer verbonden aan de universiteit van Mainz. Zijn onderzoeksthema is de mondiale luchtkwaliteit en klimaat.

Prof. dr. J. (Hans) Oerlemans (1950) studeerde Natuurkunde en Meteorologie aan de Universiteit Utrecht en vond daarna een werkring op het KNMI. In 1980 schreef hij een dissertatie, getiteld *Some model studies on the ice-age problem* (promotor Prof. dr. C.J.E. Schuurmans). Sinds 1980 is Hans Oerlemans verbonden aan het Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek (UU) als hoogleraar in de Meteorologie. Hij heeft hier een onderzoeksgroep opgebouwd, die zich bezighoudt met de rol van gletsjers en ijsskappen in het klimaatsysteem. In 2001 ontving Hans Oerlemans de Spinoza-premie van NWO en in 2004 de Fysicaprijs van de Nederlandse Natuurkundige Vereniging. In 2007 werd hem door de Universiteit van Stockholm een eredoctoraat verleend en benoemde de KNAW hem tot Akademiehoogleer.

Prof. dr. J.B. (Hans) Opschoor (1944), lid KNAW, is hoogleraar Milieueconomie aan de Vrije Universiteit (Amsterdam) en aan het *Institute of Social Studies* (Den Haag). Hij was Voorzitter van de Raad voor het Natuur en Milieuonderzoek (RMNO) en Vice-Voorzitter van de Raad voor het Wetenschappelijk Onderzoek Ontwikkelingsvraagstukken (RAWOO). Ook was hij lid van de *Scientific Steering Committee* van het *International Human Dimensions of Global Environmental Change Programme* (IHDP) en tweemaal *review Editor* voor het IPCC (*Inter Governmental Panel on Climate Change*). Zijn interessevelden zijn: Duurzame Ontwikkeling, Milieueconomie, Klimaatstudies en Natuurlijke hulpbronnen/Biodiversiteit.

Dr. A. (Arthur) Petersen is onderzoeker en programmaleider methodologie en modellering bij het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP). Hij studeerde Theoretische Fysica en Wetenschapsfilosofie aan de Vrije Universiteit Amsterdam en promoveerde vervolgens in de Atmosferische Fysica en Chemie (UU, 1999) en in de Wetenschapsfilosofie (VU, 2006). Hij werkt sinds 2001 bij het MNP en is daar onder andere verantwoordelijk voor het omgaan met onzekerheden en het ontwikkelen van methoden om de duurzaamheid van maatschappelijke ontwikkelingen en beleid te evalueren. Hij is corecteureur van vijf boeken: *Sharing the Planet* (2003), *Niet bang voor onzekerheid* (2003), *Remember Your Humanity* (2005), *A World without War* (2006) en *Omgaan met onzekerheid in beleid* (2007).

