

2 (ON)BETROUWBAARHEID VAN KLIMAATWETENSCHAP

Een illustratie uit *Climategate*

Arthur Petersen

Het doel van deze bijdrage is om licht te werpen op de wereld van het natuurwetenschappelijke klimaatonderzoek. Hoe wordt daarin met onzekerheid omgegaan? Hoe betrouwbaar zijn de resultaten? Wat betekent dit voor *Climategate*, met name de vraag die in deze affaire centraal staat: wat te doen met het probleem dat sinds het eind van de 20e eeuw bepaalde bomen minder hard groeien dan je op grond van de gemeten opwarming zou verwachten?

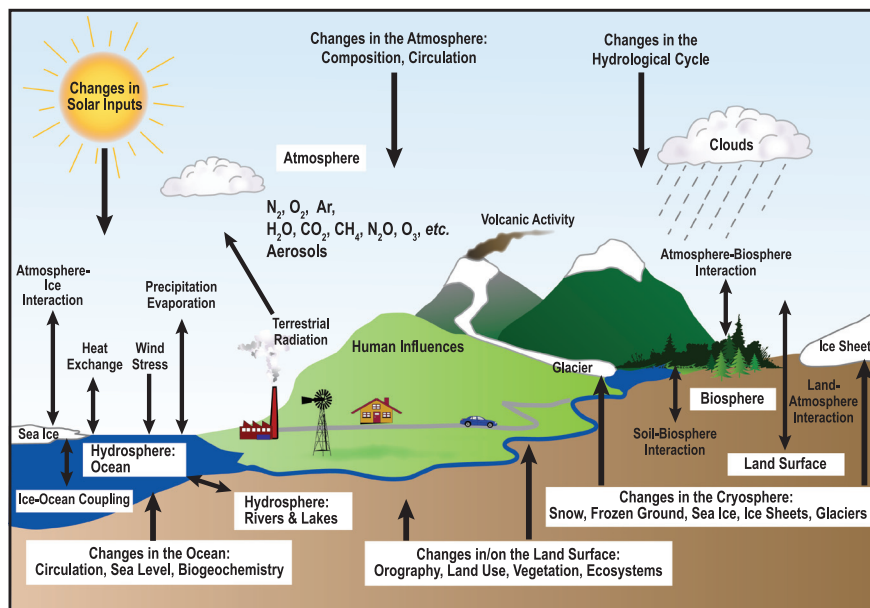
Ik zal beginnen met een kort overzicht van de belangrijkste onzekerheden over het klimaatsysteem. Daarna richt ik mijn aandacht op de *science in the making* achter de discussie over de 'trick ... to hide the decline' (het niet tonen in figuren van de divergentie tussen recente gemeten temperaturen en schattingen op basis van boomringen), die door *Climategate* publiek is geworden. Tenslotte reflecteer ik op de gewenste wijze waarop klimaatwetenschappers met verschillende dimensies van (on)betrouwbaarheid van hun resultaten omgaan.

Natuurwetenschappelijke onzekerheden over het klimaatsysteem

Wat zijn de belangrijkste onzekerheden in het debat over klimaatverandering?¹ In de context van dit hoofdstuk volsta ik met een beknopt overzicht van onzekerheden over het natuurlijke klimaatsysteem. Daarbij zoom ik in op processen (met zowel natuurlijke als menselijke oorzaken) die leiden tot veranderingen in het klimaat.

In figuur 1 is het klimaatsysteem 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:² onzekerheden in (1) menselijke en natuurlijke drijvende factoren; (2) waargenomen veranderingen; (3) attributie van veranderingen naar oorzaken en (4) toekomstprojecties. Ik schets enkele

Figuur 1 Het klimaatsysteem (bron: IPCC, 2007, figuur 1 in FAQ 1.2, p. 104).

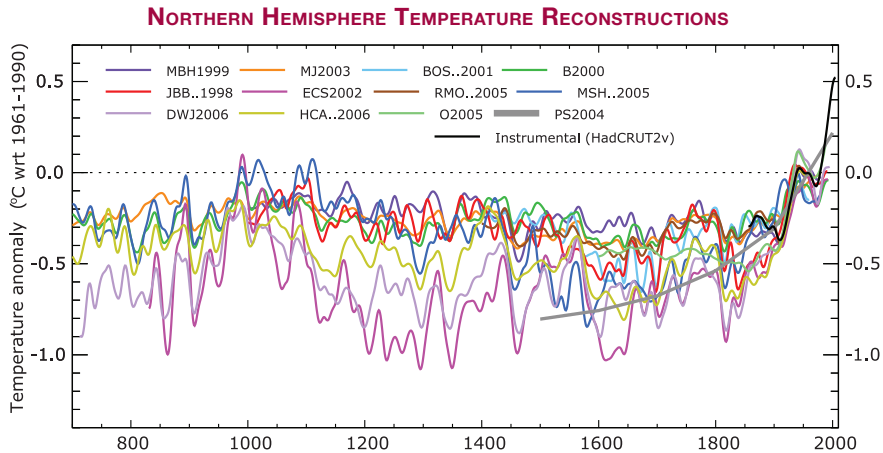


voorbeelden van onzekerheden uit deze vier categorieën, waarbij de lezer zich duidelijk voor ogen moet houden dat het hier slechts om een selectie gaat.

Onzekerheden in menselijke en natuurlijke drijvende factoren

In het klimaatonderzoek worden de veranderingen in menselijke (broeikasgassen, aerosolen, landgebruik) en natuurlijke (vulkanen, zonneactiviteit) drijvende factoren vertaald naar een 'stralingsforcering'.³ Klimaatwetenschappers hebben veel vertrouwen in hun kennis over de grote, positieve (dat is: opwarmende) bijdrage van broeikasgassen, met relatief kleine onzekerheid. De compenserende (dat is: afkoelende) bijdrage van aerosolen – vooral het indirecte 'wolkenalbedo-effect', dat gaat over de reflectie van het zonlicht aan de bovenzijde van wolken – is veel onzekerder. Over de bijdrage van veranderingen in zonneactiviteit wordt door het Intergovernmental Panel on Climate Change (het IPCC-rapport 2007) geconcludeerd dat de bijdrage van de zon relatief klein is ten opzichte van andere factoren. Daar wordt echter wel bij aangetekend dat de 'Level of Scientific Understanding' (LOSU) nog 'laag' is; de LOSU is echter volgens de wetenschappers wel toegenomen ten opzichte van het vorige IPCC-rapport uit 2001 (toen was de LOSU nog 'zeer laag').

Figuur 2 *Temperatuurverandering op het Noordelijk Halfrond vanaf het jaar 700 (bron: IPCC, 2007, figuur TS.20 boven, p. 55).*



Onzekerheden in waargenomen veranderingen in het klimaatsysteem

Eén van de grote onzekere factoren in het klimaatsysteem is het gedrag van oceanen. De warmte-inhoud van de bovenste 700 meter van de oceanen lijkt de afgelopen 50 jaar 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 (ook wel bekend geworden onder de naam ‘hockeystick’, vanwege de zichtbaar snelle stijging aan het eind van de curve). Het is volgens de klimaatwetenschappers verenigd in het IPCC zeer waarschijnlijk (>90% kans) dat de tweede helft van de twintigste 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. In de volgende paragrafen van dit hoofdstuk zal ik nader ingaan op de discussie over deze ‘hockeystick’. Deze discussie is begonnen nadat in het IPCC-rapport van 2001 in de samenvatting slechts één van de reconstructies werd getoond. Weliswaar stonden daar onzekerheidsmarges omheen, maar de suggestie was gewekt dat de conclu-

sie van recente opwarming aan die specifieke reconstructie was opgehangen. Toen later bleek dat er statistische fouten waren gemaakt in de betreffende reconstructie, kwam het IPCC onder hevige kritiek te staan. Desondanks zaten alle andere beoordeelde reconstructies binnen de onzekerheidsmarge van de gewraakte versie van de curve.

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 vijftig 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 (stralingsforcering is de verstoring van de stralingsbalans van de aarde als geheel), in tijd, plaats en grootte, (ii) de gemodelleerde responspatronen 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.

De beoordeling van onzekerheden

Het is belangrijk om bij bovenstaande karakterisering van onzekerheden aan te tekenen dat het in kaart brengen en beoordelen van onzekerheid knap

lastig kan zijn. Dit geldt met name in wetenschappen, zoals de klimaatwetenschap, die zich geconfronteerd zien met ‘diepe onzekerheid’.⁴ Toegespit op de onzekerheid in uitspraken die gebaseerd zijn op klimaatmodellen – en gevat in termen van één bepaalde typologie van onzekerheid⁵ – manifesteert diepe onzekerheid over het natuurlijke klimaatsysteem zich als volgt:

- Er zijn fundamentele beperkingen van de menselijke cognitieve en wetenschappelijke mogelijkheden om het klimaatsysteem te begrijpen en te voorspellen (‘epistemische onzekerheid’);
- De intrinsieke onvoorspelbaarheid van het klimaatsysteem is groot (‘ontische onzekerheid’);
- Het bereik van modeluitkomsten voor verschillende modelaannames is groot;
- Voor het toekennen van statistische betekenis aan het bereik van modeluitkomsten kan geen rechtvaardiging gegeven worden die refereert aan de realiteit; daarom dient dit bereik te worden opgevat als ‘scenario-onzekerheid’ (als-dan opties met verschillende modelaannames);
- Het is belangrijk om onwetendheid te erkennen: in de modellen ontbreken verschillende dynamische processen met verwachte significante invloed op de uitkomsten van studies in de context van klimaatverandering;
- Het is niet duidelijk wat de meest betrouwbare methodologie is voor klimaatmodellering, maar het is wel duidelijk dat alle klimaatmodellen verschillende methodologische zwakheden bevatten, onder andere in de theoretische en empirische onderbouwing van aannames;
- Sommige modelaannames worden sterk beïnvloed door bepaalde epistemische waarden (algemene en discipline-gebonden) en niet-epistemische waarden (socio-politieke en praktische).⁶

De ‘trick . . . to hide the decline’ en de achterliggende science in the making

Eind 2010 werd door ‘klimaatceptici’ via de media *Climategate* geconstrueerd. De bepaling van de temperatuur tot enkele honderden of duizenden jaren terug aan de hand van proxies (zie figuur 2) zou het resultaat zijn van list en bedrog. Dit wordt geclaimd onder verwijzing naar meer dan duizend openbaar geworden emails van de Climate Research Unit, University of East Anglia (UEA). De e-mails bestrijken de periode 1996–2009 en bevatten berichten uit een kerngroep van klimaatwetenschappers die aan temperatuurreconstructies werken. Naast discussies over wetenschappelijke kwesties, besprak deze kerngroep hoe de argumenten van sceptici over klimaatverandering bestreden

konden worden. Laten we hier in kort bestek één icoon uit deze discussie nader bekijken: de ‘trick . . . to hide the decline’.

Een centrale zin in de *Climategate*-affaire is de volgende, uit een mail van Phil Jones (UEA) van 16 november 1999 over een hockeystickfiguur die in een publicatie van de Wereld Meteorologische Organisatie zou worden opgenomen:

I've just completed Mike's Nature trick of adding in the real temps to each series for the last 20 years (i.e. from 1981 onwards) [and] from 1961 for Keith's to hide the decline

Zoals Ryghaug & Skjølsvold (2010) in hun Science and Technologies Studies analyse van de e-mails laten zien, is de methodologische discussie over de betrouwbaarheid van temperatuurreconstructies aan de hand van proxies een centraal thema van de onderlinge discussie binnen de kerngroep van klimaatwetenschappers die met die reconstructies bezig zijn en die deelnamen aan de openbaar geworden e-maildiscussies. De ‘trick . . . to hide the decline’ refereert aan het methodologische probleem dat sommige bomen, met name in de noordelijkste breedtes en in berggebieden, de afgelopen decennia minder gevoelig zijn geworden voor temperatuurverandering. Daardoor laten bepaalde temperatuurreconstructies die boomringen gebruiken, de opwarming sinds het midden van de twintigste eeuw niet of nauwelijks zien, terwijl men er wel vrijwel zeker van is dat die opwarming daadwerkelijk heeft plaatsgevonden.

Deze discrepantie wordt het ‘divergentieprobleem’ genoemd en wordt als zodanig ook in de wetenschappelijke literatuur bestudeerd. Naar mijn mening verdient de analyse van dit methodologische probleem en de mogelijke impact op reconstructies van temperaturen vele honderden jaren terug echter meer aandacht van de wetenschappelijke gemeenschap dan op dit moment het geval is.⁷ Gegeven het feit dat er een wereld aan echte methodologische problemen schuilgaat achter het weglaten van een deel van de temperatuurreconstructie (ook zichtbaar in figuur 2 die in het IPCC-rapport van 2007 stond), is het goed te verklaren dat de klimaatsceptici zo fel aansloegen in de media: er is namelijk meer onzekerheid over die temperatuurreconstructie dan uit sommige figuren valt op te maken.

Wat dit materiaal natuurlijk zo spannend maakt is dat e-mails een medium vormen voor informele, maar toch geschreven wetenschappelijke uitwisseling. Dit medium zit ergens tussen gesprekken en publicaties in. Uit de e-mails van *Climategate* ontstaat een beeld van hoe de klimaatwetenschap er in de dagelijkse praktijk uitziet. Een beeld wat je tot nu toe alleen kon krijgen als je zelf in de wandelgangen meeliep. En dan is de klimaatwetenschap natuur-

lijk niet zomaar een van de maatschappij geïsoleerde wetenschap, maar een wetenschap die gaat over vraagstukken met grote maatschappelijke belangen. Wanneer dan boven tafel komt, zoals wij bij Woolgar en Latour al meer dan dertig jaar geleden konden lezen, dat wetenschap mensenwerk is en feiten historische constructies zijn, volgt al snel de beschuldiging van *foul play*. Terwijl voor *alle* wetenschapspraktijken geldt dat er een veelheid van epistemische en niet-epistemische waarden een rol spelen, die samen bijdragen aan een ‘waardengeladenheid’ van data, modellen, theorieën, apparaten, routines, disciplines, et cetera. Door een perspectief te kiezen van waaruit alle resultaten van wetenschap kunnen worden opgevat als historische constructies (vgl. Hackings *The Social Construction of What?*), kan de waardengeladenheid van het wetenschapsbedrijf worden blootgelegd. Wanneer we *Climategate* vanuit zo’n perspectief bekijken, krijgen we een dieper inzicht in de onzekerheden die spelen in de reconstructie van temperatuur en daarom zijn de e-mails vanuit dat opzicht heel leerzaam.

De publieke klimaatcontroverses van 2009 en 2010 moeten volgens Berkhout (2010) vooral worden gezien als een gevecht over de grenzen van de wetenschap. Door drie maatschappelijke veranderingen zijn deze grenzen onder druk komen te staan. Ten eerste is – zoals we boven ook zagen – het wetenschapsbedrijf, en praktijken daarbinnen zoals *peer review*, publiek zichtbaarder geworden. Ten tweede dringt geleidelijk aan het besef door dat ingrijpend klimaatbeleid nodig zal zijn om de concentraties van CO₂ op een aanvaardbaar niveau te stabiliseren, bijvoorbeeld om de mondiale opwarming tot 2 graden Celsius te beperken. En ten derde is de mediatisering van de samenleving – langs velerlei kanalen – er debet aan dat er vele mogelijkheden zijn voor afwijkende geluiden om gehoord te worden.⁸

Deze veranderingen leiden ertoe dat de klimaatwetenschap in toenemende mate met verschillende dimensies van de eigen (on)betrouwbaarheid wordt geconfronteerd. Wanneer we als voorbeeld de IPCC-uitspraak nemen dat de gemiddelde oppervlaktetemperatuur op het noordelijk halfrond sinds het jaar 700 ‘waarschijnlijk’ (>66% kans) niet zo hoog is geweest als nu, dan laten deze dimensies zich als volgt beschrijven:

- *statistische betrouwbaarheid* (uitgedrukt in termen van waarschijnlijkheid): het is niet zeker, er is een tweederde kans dat het de afgelopen 1300 jaar niet zo warm is geweest als nu;
- *methodologische betrouwbaarheid* (uitgedrukt in termen van kwalitatieve, methodologische zwakke punten met betrekking tot een uitspraak): in principe zijn methodologische problemen zoals het divergentieprobleem meegewogen door de experts in het bepalen van de statistische betrouw-

- baarheid; er is geen aparte inschatting van de mate van methodologische betrouwbaarheid beschikbaar in IPCC-rapporten;
- *publieke betrouwbaarheid* (uitgedrukt in termen van het publieke vertrouwen dat aan de wetenschappers en daarmee aan de uitspraak wordt toegekend): na *Climategate* is het publieke vertrouwen in de klimaatwetenschappers afgenomen; er is echter geen eenduidige maat van publiek vertrouwen.

Hoe dienen de klimaatwetenschappers met de (on)betrouwbaarheid van hun werk om te gaan?

Omgaan met de (on)betrouwbaarheid van klimaatwetenschap

Het is van groot belang dat in de praktijk van de klimaatwetenschap, en in de praktijk van het beoordelen van die wetenschap in het kader van het IPCC, adequaat wordt gereflecteerd op de onzekerheden. Gegeven de diepe onzekerheden is dit geen eenvoudige opgave (zie paragraaf 2). Het beoordelen van onzekerheid is een kwestie van expertbeoordeling (*expert judgment*). Dit maakt het nodig dat in IPCC-rapporten een traceerbaar verhaal te vinden is achter de expertbeoordelingen. Dit was tot nog toe onvoldoende het geval,⁹ ondanks eerdere richtlijnen binnen het IPCC over traceerbaarheid van onzekerheidskwalificaties.

Percepties van het risico van klimaatverandering variëren tussen landen en binnen maatschappijen. Ook wetenschappers hebben verschillende percepties van de risico's. Dit maken ze niet altijd even expliciet. Vooral wanneer wetenschappers de politiek adviseren of aan het publieke debat deelnemen, dragen zij een grote verantwoordelijkheid om dit toch wel te doen – anders riskeren ze een verdere afname van het publiek vertrouwen in de wetenschap. Om dit nader toe te lichten is het zinnig om te kijken naar de verschillende rollen die wetenschappers kunnen aannemen ten opzichte van besluitvormers.

Roger Pielke onderscheidt in zijn boek *The Honest Broker* (2007) vier rollen. Ten eerste kan de wetenschapper zich opstellen als 'pure wetenschapper'. Zo iemand is niet geïnteresseerd in de praktische implicaties van zijn of haar onderzoek, maar is alleen op zoek naar de 'waarheid'. Een tweede rol is die van 'wetenschappelijke scheidsrechter'. Zo iemand wil alleen adviseren over vraagstukken die ondubbelzinnig door de wetenschap kunnen worden opgelost. Een derde rol is die van de 'pleitbezorger'. Die is vooral erop gericht één bepaald belang te bevorderen door gebruik te maken van zijn of haar status als expert. Tenslotte is er nog de rol van de 'eerlijke makelaar'. Deze laatste rol is vooral nodig wanneer de problemen die voorliggen, te complex en politiek gepolariseerd zijn om rechttoe-rechtaan wetenschappelijk advies te kunnen geven.

In de praktijk van het klimaatdebat komen we wetenschappers tegen in alle vier de genoemde rollen. Gezien de complexiteit en grote belangenstrijd rond het beleidsprobleem van klimaatverandering zou mijns inziens echter de rol van ‘eerlijke makelaar’ prominenter naar voren moeten komen – eigenlijk kunnen wetenschappers niet heel veel meer doen dan het enigszins structureren van het probleem, en vanuit verschillende waardegeladen perspectieven belichten wat de mogelijkheden zijn om er wat aan te doen. Wetenschappers zullen dus eerlijk moeten zijn over onzekerheid en over de verschillende waardeperspectieven van waaruit je naar de oplossingen kunt kijken. In de media komen we echter vaak eenzijdige pleitbezorgers tegen die óf voor óf tegen klimaatmaatregelen zijn en daarvoor argumenteren op basis van hun eigen gekleurde interpretatie van de onzekerheid (de ene weet zeker wat er allemaal voor vreselijks staat te gebeuren, de andere is ervan overtuigd dat er niets vreselijks gebeuren zal), zonder dat de eigen waarden expliciet boven tafel komen. Beide partijen gaan vaak op onverantwoorde wijze met de onderliggende wetenschappelijke informatie om en dragen bij aan een afnemend publiek vertrouwen in de klimaatwetenschap, wat voor elementen uit de tweede partij nog het doel kan zijn ook. Wanneer klimaatwetenschappers het gesprek aangaan met echte sceptici (dat wil zeggen mensen die sceptisch zijn, maar wel op een verantwoorde manier met wetenschap om willen gaan) dan kan onderscheid gemaakt worden tussen ontkenners van wetenschap enerzijds en sceptici anderzijds.

Daar waar de wetenschap geen zekerheid kan bieden (en iedereen kan tegenwoordig alternatieve theorieën van het ‘web’ plukken), worden normatieve of ideologische invalshoeken belangrijk: men kan nu eenmaal verschillend omgaan met onzekerheden en risico’s. Wanneer er sprake is van wetenschappelijke onzekerheden en grote maatschappelijke belangen, dan gaat de discussie niet simpelweg over de te maken keuzen, maar worden onherroepelijk ook de verschillen in wetenschappelijke inzichten in de discussie betrokken. Het gaat dan niet alleen over de vraag wat er moet gebeuren, maar ook over de vraag of het probleem dat men wil oplossen wel reëel is.

Wetenschappelijke adviseurs (eerlijke makelaars) over het klimaatvraagstuk zouden het beleidsdebat kunnen helpen door klimaatverandering in de context van het duurzaamheidsdebat brengen, en het debat te structureren door verschillende wetenschappelijke stromingen, verschillende ideologieën en verschillende waardeoriëntaties zodanig te groeperen dat de belangrijkste keuzen (dilemma’s) inzichtelijk konden worden gemaakt: keuzes tussen een internationale of een lokale aanpak, tussen meer nadruk op de markt of meer nadruk op overheidsregulering, tussen puur efficiëntie en solidariteit, tussen techniek en gedragsverandering, tussen een proactieve planmatige dan wel een reactieve aanpassingsgerichte strategie. Dit is niet iets waar natuurwetenschappelijke of zelfs economische klimaatonderzoekers zich senang bij zullen

voelen. Het is daarom belangrijk om andere wetenschappers hierbij te betrekken en het klimaatdebat multi- en transdisciplinair te voeden. Voor een aanzet hoe dat zou kunnen, zie het project De Matrix.¹⁰

Zo'n 'eerlijke makelaar'-benadering vertoont sterke gelijkenis met de methodiek van strategisch denken: het voorop stellen van de wil om een bepaald doel te realiseren, het denken vanuit verschillende invalshoeken, het benutten van mogelijkheden die goed lijken uit te pakken ongeacht de invalshoek, het afdekken van risico's die aan een bepaalde strategie kunnen kleven. De beperkte planbaarheid van maatschappelijke processen stelt daarbij wel grenzen: strategieën zijn vaak 'emergent', dat wil zeggen ontstaan in de wisselwerking met complexe maatschappelijke processen. 'Eerlijke makelaars' willen discussie stimuleren en dragen daarbij geen eenduidige oplossingen aan.

Tenslotte nog eenmaal terug naar het IPCC. Dit orgaan van de Verenigde Naties is op dit moment bezig met zijn vijfde assessmentronde, die in 2013–2014 moet resulteren in vier rapporten. De communicatie over onzekerheden door het IPCC is voor buitenstaanders vaak weinig transparant en moeilijk te begrijpen. Om te kunnen bepalen wat er allemaal schuilgaat achter de onzekerheid die in de eindconclusies van het IPCC wordt gecommuniceerd, is vaak heel wat speurwerk nodig. 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. Het zou goed zijn voor de betrouwbaarheid van de klimaatwetenschap als het omgaan met onzekerheid in de huidige assessmentronde systematisch nog meer aandacht krijgt dan tot nog toe het geval was. Vooral het inzichtelijk maken van de redenering achter expertbeoordelingen is daarbij van belang. In de rapporten zal in deze ronde ook explicieter een 'eerlijke makelaar'-rol moeten worden vervuld. Dus beter benoemen vanuit welke perspectieven je naar het klimaatprobleem en de oplossingen kunt kijken en een zo breed mogelijk palet schetsen aan handelingsperspectieven, waarbij niet alleen overheden, maar ook bedrijven en burgers aan zet zijn.

Noten

- 1 Dit overzicht bouwt voort op Petersen (2006, 2008).
- 2 Deze indeling volgt de indeling in vier subparagrafen van de paragraaf TS.6 'Robust findings and key uncertainties' in de Technical Summary van het IPCC (2007) rapport.
- 3 De technische definitie van 'stralingsforcering' is: de netto verandering in opwaartse minus neerwaartse straling (uitgedrukt in Watt per vierkante meter) ter hoogte van de tropopause (de grens tussen de troposfeer en stratosfeer, typisch liggend rond de 10 km).
- 4 Cf. Kandlikar, Risbey & Dessai (2005).
- 5 Petersen (2006).

- 6 Voor een meer gedetailleerde uitleg en onderbouwing van deze stellingen verwijs ik de lezer naar mijn boek over onzekerheden in klimaatsimulatie (Petersen, 2006).
- 7 Zie Visser, Büntgen, D'Arrigo & Petersen (2010).
- 8 Zie ook Hajer (2009).
- 9 PBL (2010); IAC (2010).
- 10 Een (uitgebreidere) voorloper van dit essay is geschreven in het kader van dit project De Matrix, zie de www.klimaatmatrix.nl.

Literatuur

- Berkhout, F. (2010). Reconstructing boundaries and reason in the climate debate. *Global Environmental Change* 20, 565–569.
- Hajer, M. (2009). *Authoritative Governance: Policy-Making in the Age of Mediatization*. Oxford: Oxford University Press.
- IAC (2010). *Climate Change Assessments, Review of the Processes and Procedures of the IPCC*. Amsterdam: InterAcademy Council.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007. The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kandlikar, M., Risbey, J. & Dessai, S. (2005). Representing and communicating deep uncertainty in climate change assessments. *Comptes Rendus Geosciences* 337, 443–455.
- PBL (2010). *Evaluatie van een IPCC-klimaatrapport: Een analyse van conclusies over de mogelijke regionale gevolgen van klimaatverandering*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Petersen, A. (2006). *Simulating Nature: A Philosophical Study of Computer-Model Uncertainties and Their Role in Climate Science and Policy Advice*. Apeldoorn/Antwerpen: Het Spinhuis. <http://hdl.handle.net/1871/11385>.
- Petersen, A. (2008). Omgaan met onzekerheid over het klimaatstelsel. In: De Gier, A.M. & Opschoor, J.B. (Red.), *Onzekerheden en klimaatverandering*. Amsterdam: KNAW, pp. 25–28.
- Pielke, R. (2007). *The Honest Broker: Making Sense of Science in Policy and Politics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ryghaug, M. & Skjølsvold, T.M. (2010). The global warming of climate science: Climategate and the Construction of Scientific Facts. *International Studies in the Philosophy of Science* 24, 287–307.
- Visser, H., Büntgen, U., D'Arrigo, R. & Petersen, A. (2010). Detecting instabilities in tree-ring proxy calibration. *Climate of the Past* 6, 367–377.

