

Onzekerheden in risicoanalyse van klimaatverandering

Dr. Jeroen van der Sluijs

Afgelopen december is op de klimaatop in Kyoto een kleine doch belangrijke eerste stap gezet om te komen tot de beheersing van klimaatverandering tengevolge van menselijk handelen. Besloten is dat de industrielanden hun uitstoot van de broeikasgassen CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs en SF₆, omgerekend in CO₂ equivalenten, gemiddeld terug zullen brengen met 5% in het jaar 2010 tenopzichte van de uitstoot in 1990. De doelstelling is niet voor alle landen gelijk. Voor de EU geldt een doelstelling van 8%, voor de US 7% en voor Japan 6%.

Ondertussen blijft een groep wetenschappers die zichzelf profileert als 'non-believers' van een dreigende klimaatramp zichzelf roeren. Als een van hun wapens hebben zij de mediagenieke termen 'broeikasadepten' en de 'broeikaslobby' in de strijd geworpen om hun tegenstanders te diskwalificeren. Ze zijn er deels in geslaagd om het probleem in de media te vertekenen tot een kwestie van 'believers' en 'non-believers' die tegenover elkaar zouden staan. Ze doen hun uiterste best om het gezaghebbende 'Intergovernmental Panel on Climate Change' (IPCC) in diskrediet te brengen. Ze claimen te zijn uitgesloten van het IPCC proces maar willen tegelijkertijd niets met het IPCC te maken hebben.

Een deel van deze groep wordt daarbij financieel gesteund door de segmenten van de industrie wiens belangen op het spel staan bij de invoering van emissie-reductie maatregelen. Een ander deel bestaat uit onafhankelijke wetenschappers. De laatsten maken zich vooral boos over dat hun collega wetenschappers in het IPCC zich door beleidsmakers hebben laten verleiden uitspraken te doen over zaken die -gegeven de huidige stand van kennis - strikt genomen voorbij de competentie van de wetenschap gaan. De critici stellen dat de analyse dat uitstoot van broeikasgassen zal leiden tot een klimaatramp op drijfzand gebaseerd is. Ze beweren overigens niet dat een klimaatramp veroorzaakt door menselijk handelen uitgesloten is. Ze hameren vooral op de schijnzekerheden van de modellen en de vele onzekerheden die de analyses van de effecten van toekomstige antropogene klimaatverandering omgeven.

In Europa hebben ze zich georganiseerd in het European Science and Environment Forum (ESEF) dat "*will seek to provide a platform for scientists whose views are not being heard, but who have a contribution to make*" (Emsley, 1996). Zij uiten vooral kritiek op wat zij de 'wetenschap door middel van consensus' benadering van het IPCC noemen. Die kritiek snijdt echter geen hout, omdat het IPCC geen wetenschap bedrijft, maar assessment. Dit onderscheid zal ik verderop toelichten. Consensusvorming is een legitieme manier om assessment te bedrijven, al is het vaak niet de beste manier om met pluralisme is risicoanalyse om te gaan.

De wetenschappelijke controversen over klimaatverandering maken het assessment proces complexer. Ze kunnen echter ook helpen om scherper te krijgen waar de onzekerheden liggen. Helaas wordt het wetenschappelijk debat vertroebeld doordat sommige critici argumenten blijven gebruiken waarvan bewezen is dat ze wetenschappelijk onhoudbaar zijn. Een voorbeeld van zo'n reeds lang wetenschappelijk

J.P. van der Sluijs, Onzekerheden in Risicoanalyse van Klimaatverandering, in: *WTS, Tijdschrift voor Wetenschap Technologie en Samenleving*, vol 6, 2, 1998, p.38..45.

ontzenuwd argument dat te onpas de kop op blijft steken is "het atmosferisch venster voor CO₂ is dicht dus toename van CO₂ geeft geen toename van het broeikaseffect". Dit maakt het lastig om zicht te houden op zin en onzin in de kritiek op de analyses van het IPCC. Het risico betaamt dat hierdoor deze groep als ketters worden afgedaan en dat elk argument dat uit die hoek komt al bijvoorbaat als onzin gaat worden gezien. Mijns inziens is het beter het kritisch potentieel van deze groep te benutten om de kwaliteit van risicoanalyses van klimaatverandering te verbeteren. De onsympatieke wijze waarop het debat gevoerd wordt moeten we dan maar op de koop toenemen.

Een omstandigheid die het moeilijker maakt de bijdragen uit deze groep te benutten als kritisch potentieel is dat waar het IPCC onderhevig is aan zware peer-review procedures, de critici zich vooral bedienen van populair-wetenschappelijke fora en de media. Daarmee onttrekken zij zich bij het doen van hun beweringen aan de standaard wetenschappelijk kwaliteitscontroleprocedures. De bijdragen die zij claimen te kunnen maken (zie het citaat van Emsley hierboven) zijn wetenschappelijk van beperkte waarde zolang ze niet onderworpen zijn aan peer-review. Indirect leveren ze wel een belangrijke bijdrage: Door in de eerste plaats een publiek debat te stimuleren en niet een wetenschappelijk debat, is de zaak dermate op scherp gesteld dat de wetenschappers binnen het IPCC terughoudender, voorzichtiger en zorgvuldiger zijn geworden bij het formuleren van hun conclusies. Ook geven ze door de sterke polarisatie die is ontstaan meer aandacht aan kwaliteitscontrole en aan onzekerheden om de legitimiteit van hun assessments te handhaven.

Vaak wordt aangevoerd dat de broeikascritici slechts een kleine minderheid vormen in de wetenschappelijke wereld. Dit doet echter opzichzelf niets af aan de inhoud van de argumenten die zij inbrengen. In een wetenschappelijke controverse zijn de krachtverhoudingen tussen de partijen die tegenover elkaar staan immers niet maatgevend voor wie er gelijk heeft.

De complexe materie van klimaatverandering is voor buitenstaanders moeilijk te beoordelen. Voor mij zat er niets anders op dan de problematiek van de onzekerheden in klimaat risicoanalyse zelf te bestuderen. Dat heeft geleid tot het proefschrift "Anchoring Amid Uncertainty, on the Management of Uncertainties in Risk Assessment of Anthropogenic Climate Change" (Van der Sluijs 1997) waarop ik in april 1997 ben gepromoveerd. In het bestek van 3000 woorden dat de redactie van WTS als maximum stelt voor artikelen kan ik slechts het probleemveld schetsen.

Het broeikaseffect is het verschijnsel dat broeikasgassen in de atmosfeer vrijwel transparant zijn voor kortgolvlige straling van de zon, terwijl deze gassen de langgolvlige warmtestraling die door het (door de zon verwarmde) aardoppervlak wordt uitgestraald grotendeels absorberen. Daardoor houden broeikasgassen warmte vast in de atmosfeer. De atmosfeer straalt deze warmte op zijn beurt weer uit, onder andere terug naar het aardoppervlak dat hierdoor extra wordt opgewarmd.

De atmosfeer bevat natuurlijke broeikasgassen, zoals waterdamp (H₂O), kooldioxide (CO₂) en methaan (CH₄). Zonder het natuurlijke broeikaseffect zou het op aarde aanmerkelijk kouder zijn en zouden de oceanen bevroren zijn. Sinds het begin van het industriële tijdperk (ca. 1760) zijn door menselijke emissies de concentraties van een toenemend aantal broeikasgassen gestegen. Het gaat vooral om CO₂ dat

J.P. van der Sluijs, Onzekerheden in Risicoanalyse van Klimaatverandering, in: *WTS, Tijdschrift voor Wetenschap Technologie en Samenleving*, vol 6, 2, 1998, p.38..45.

vrijkomt bij verbranding van fossiele brandstoffen zoals kolen, olie, aardgas, kerosine en benzine. Maar we hebben ook nieuwe broeikasgassen aan de atmosfeer toegevoegd die in de natuur niet voorkwamen, zoals CFKs (gebruikt in koelkasten en vroeger in spuitbussen) en het superbroeikasgas SF₆ (o.a. gebruikt als schokdemper in zolen van sportschoenen). De verwachting is dat deze verhoogde concentraties van broeikasgassen een versterkt broeikas effect teweeg brengen. Hierdoor kan het klimaat op aarde veranderen, met mogelijk ingrijpende gevolgen voor de samenleving en voor de natuur. Voorbeelden van zulke gevolgen zijn overstromingen door zeespiegelstijging, veranderingen in de ligging en sterkte van de warme Golfstroom waardoor bijvoorbeeld het klimaat in West Europa sterk kan afkoelen, verschuivingen van klimaatzones, verandering in landbouwopbrengsten, verlies van biodiversiteit door uitsterving van soorten en degradatie van ecosystemen, bredere verspreiding van tropische ziekten zoals malaria en misschien ook een toename van weersextremen, zoals droogtes en orkanen.

Klimaatverandering door menselijk handelen is een relatief nieuw terrein van onderzoek. Experts zijn al in de jaren zeventig begonnen met het maken van assessments. In die tijd stond het klimaatonderzoek en met name de klimaatmodellen nog in de kinderschoenen. Assessment is het proces waarbij wetenschappelijke kennis door experts wordt geanalyseerd en geschikt wordt gemaakt om het beleidsvormingsproces te informeren. Normaal gesproken wordt bij het maken van een assessment geen nieuw onderzoek gedaan. De kennis is meestal afkomstig uit een groot aantal verschillende specialistische vakgebieden. In een assessment wordt deze informatie verzameld, geanalyseerd, gestructureerd, gecombineerd, geïnterpreteerd en samengevat. Het resultaat wordt vervolgens op een zodanige wijze gerepresenteerd (bijvoorbeeld in een rapport, in een lezing of in een computerprogramma) dat deze begrijpelijk, toegankelijk, relevant en bruikbaar is voor actoren in het beleidsvormingsproces die zelf geen klimaatexpert zijn.

In 1995 heeft het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) haar "Second Assessment Report" (SAR) uitgebracht (Houghton et al., 1996; Watson et al., 1996; Bruce et al., 1996). Dit rapport is in juli 1996 door de Conference of Parties (COP) aanvaard als wetenschappelijk uitgangspunt voor de verdere onderhandelingen over de concretisering van de VN raamwerkconventie klimaatverandering. Het Second Assessment Report van het IPCC staat zoals gezegd niet op zichzelf. Het is de meest recente in een reeks uitgebreide internationale assessments van het klimaatprobleem die terug gaan tot het einde van de zeventiger jaren. In grote lijnen zijn de kern-inzichten en de boodschap van deze opeenvolgende assessments niet wezenlijk veranderd. Al ca. 20 jaar is er wetenschappelijke consensus over de volgende vier fundamentele inzichten die ook door het SAR weer zijn herbevestigd (Clark and Jäger, 1997; Van der Sluijs, 1997):

- De toename van de concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer die gaande is sinds het begin van de industriële revolutie kan de energiebalans van de aarde zodanig wijzigen dat het klimaat erdoor verandert;
- Deze toename van broeikasgassen is hoofdzakelijk veroorzaakt door menselijk handelen en hangt in het bijzonder samen met het toenemend gebruik van fossiele brandstoffen;
- Wanneer de CO₂ concentratie verdubbeld is tenopzichte van het pre-industriële nivo

J.P. van der Sluijs, Onzekerheden in Risicoanalyse van Klimaatverandering, in: *WTS, Tijdschrift voor Wetenschap Technologie en Samenleving*, vol 6, 2, 1998, p.38..45.

zal de wereld gemiddelde temperatuur aan het aardoppervlak toenemen met ruwweg 1.5°C tot 4.5°C. Scenariostudies voorzien dat deze verdubbeling in de loop van 21ste eeuw bereikt zal worden;

- Het tempo en de mate van klimaatverandering kunnen in belangrijke mate beïnvloed worden door technisch haalbare emissie reductie maatregelen voor de betreffende gassen.

Waarin het SAR zich onderscheidt van eerdere assessments is vooral de wetenschappelijke degelijkheid en zorgvuldigheid van de analyses, de hoeveelheid wetenschappers die aan de studie heeft bijgedragen (alleen al aan het rapport van werkgroep I hebben 350 wetenschappers uit meer dan 20 landen meegeschreven, en het is gereviewd door nog eens 500 wetenschappers) en het draagvlak in zowel de wetenschappelijke gemeenschap als daar buiten voor de conclusies.

Het SAR bestaat uit drie deelrapporten die elk onder verantwoordelijkheid van een van de drie werkgroepen van het IPCC geproduceerd zijn. Het werkgroep I rapport (Houghton et al., 1996) behandelt de wetenschappelijke state of the art met betrekking tot het (natuurwetenschappelijke) inzicht in anthropogene klimaatverandering. Het werkgroep II rapport (Watson et al., 1996) behandelt de impacts van klimaatverandering en de opties die er zijn om het probleem aan te pakken. Het werkgroep III rapport (Bruce et al., 1996) behandelt de economische en sociale aspecten van anthropogene klimaatverandering. Elk van de rapporten bestaat uit een uitvoerige wetenschappelijke rapportage en een beknopte policy makers summary. De wetenschappelijke rapportage heeft een uitgebreide review procedure heeft doorlopen. Over de 'policymakers summary' is regel voor regel onderhandeld door wetenschappers en regeringsvertegenwoordigers. In de wetenschappelijke reportages wordt uitgebreid ingegaan op de diverse onzekerheden in de kennis over anthropogene klimaatverandering. In de scenario studies die in het SAR zijn gepresenteerd komen deze onzekerheden maar beperkt tot uitdrukking. In de policy makers summary worden de onzekerheden oppervlakkig doch expliciet aangestipt. Doordat in diverse media het onderscheid tussen de wetenschappelijke rapportage, de scenarioberekeningen en de policymakers summary niet is aangegeven, is volkomen ten onrechte de suggestie gewekt dat regeringsvertegenwoordigers ook rechtstreekse invloed hebben gehad op de tekst in de wetenschappelijke rapportages. Tevens is daardoor ten onrechte de indruk gewekt dat het IPCC onzekerheden weggemoffeld zou hebben.

Het issue van onzekerheden in klimaatrisicoanalyse behoeft nadere toelichting. Aanvankelijk waren de klimaatonderzoekprogramma's in hoofdzaak gericht op het verminderen van de onzekerheden. Tegenwoordig erkennen vooraanstaande klimaatwetenschappers dat meer onderzoek niet noodzakelijkerwijs leidt tot minder onzekerheden over de invloed van de mens op het klimaat. Wat betreft sommige aspecten van het klimaatsysteem is weliswaar vooruitgang geboekt, op andere terreinen komen nieuwe onzekerheden en nieuwe complexiteiten aan het licht. Een voorbeeld waarbij onzekerheden zijn verminderd is de stabiliteit van de West Antarctische ijskap. Eind jaren zeventig liepen de schattingen over de stabiliteit van deze ijskap zeer ver uiteen. Volgens sommige onderzoekers zou deze enorme ijskap al binnen vijftig jaar volledig kunnen afkalven en smelten, wat een wereldwijde zeespiegelstijging van 5

J.P. van der Sluijs, Onzekerheden in Risicoanalyse van Klimaatverandering, in: *WTS, Tijdschrift voor Wetenschap Technologie en Samenleving*, vol 6, 2, 1998, p.38..45.

meter tot gevolg zou hebben. Door gericht onderzoek hiernaar werd de wetenschap het er midden jaren tachtig over eens dat de ijskap toch stabiel is dan sommige wetenschappers hadden ingeschat. Een voorbeeld waarbij nieuwe onzekerheden aan het licht zijn gekomen, betreft de stabiliteit van de zogenaamde thermohaline circulatie (ook bekend als de 'conveyer belt') in de oceanen. Deze natuurlijke transportband wordt aangedreven door temperatuur en dichtheidsgradiënten en verzorgt warmtetransport van de evenaar naar de noordelijke streken. De warme Golfstroom, die bepalend is voor het klimaat van West Europa, maakt er onderdeel van uit. Recente modelstudies hebben laten zien dat door het broeikas effect deze stroming kan afnemen en de ligging kan veranderen, maar we kunnen nog niet vaststellen of de kans groot of klein is dat dit gaat gebeuren. Echter, als het gebeurt, kan het klimaat in West Europa binnen een tijdsbestek van enkele jaren ca. 4°C kouder worden.

Het feit dat steeds nieuwe onzekerheden aan het licht komen is niet het enige probleem bij het reduceren van onzekerheden. De wetenschap ziet zich in toenemende mate geconfronteerd met (momenteel) onoplosbare grenzen aan de mate waarin onzekerheden over het toekomstige klimaat kunnen worden verkleind. Dit komt ondermeer door de intrinsieke beperkingen van de wetenschappelijke methode, ons beperkt vermogen om te weten en te begrijpen, grenzen aan ons vermogen met complexiteit om te gaan, beperkte mogelijkheden van de hedendaagse computers en de inherente onvoorspelbaarheid van de chaotische componenten van het klimaatsysteem.

Tabel 1 geeft een overzicht van belangrijke onzekerheden en grenzen aan voorspelbaarheid die we tegen komen in de verschillende stadia van de oorzaak-effect keten van klimaatverandering. Geïntegreerde assessment-modellen (IAMs) pogen deze oorzaak-effectketen te modelleren. Een belangrijk probleem van klimaat IAMs bestaat uit het feit dat de huidige kennis van het gemodelleerde systeem van oorzaak-effectketens en terugkoppelingen incompleet is en gekenmerkt wordt door grote onzekerheden en grenzen aan voorspelbaarheid. Een nauw verwant probleem is dat de stand van wetenschap waarop de mono-disciplinaire deel-modellen van IAMs zijn gebaseerd, verschilt van deelmodel tot deelmodel: klimaat IAMs bestaan uit onderdelen die een breed spectrum bestrijken variërend van gissingen en eerste benaderingen tot degelijk onderbouwde en beproefde kennis. De huidige IAMs integreren de oorzaak-effectketen niet volledig en ook nemen ze niet alle belangrijke terugkoppelingen in ogenschouw.

Er is dan ook een controverse over de bruikbaarheid van IAMs voor risicoanalyse van klimaatverandering. De posities in het debat variëren van "we zijn nog niet klaar voor geïntegreerde modellering, we moeten eerst zorgen dat alle kennis waarop het model is gebaseerd beproefd is en degelijk is onderbouwd." tot aan "Het is onze verantwoordelijkheid om de beste kennis die we op dit moment hebben, aan te wenden om redelijk beleid te ontwikkelen. Geïntegreerde modellering is de beste manier om onze kennis zodanig te bundelen dat we de gevolgen van verschillende beleidsopties kunnen verkennen, kosten baten afwegingen kunnen maken of de kosteneffectiviteit kunnen optimaliseren om een gesteld doel te bereiken."

Er is echter overeenstemming dat IAMs geen waarheidsmachines zijn en dat ze geen betrouwbare toekomstvoorspellingen van klimaatverandering en de effecten daarvan kunnen verschaffen. IAMs zijn in de eerste plaats heuristische instrumenten. IAMs kunnen gebruikt worden om gevoeligheid te onderzoeken, om "wat als" vragen te

J.P. van der Sluijs, Onzekerheden in Risicoanalyse van Klimaatverandering, in: *WTS, Tijdschrift voor Wetenschap Technologie en Samenleving*, vol 6, 2, 1998, p.38..45.

Schakel in oorzaak-effect keten	Cultuur en waarden	Vraag naar goederen en diensten	Keuze van technologieën en handelwijzen	Uitstoot van stoffen	Gewaardeerde Milieuc componenten	Blootstelling-gevolg relatie	Gevolgen
Voorbeelden van belangrijke variabelen	<ul style="list-style-type: none"> -Waarden -Toekenning van verantwoordelijkheid -Cultuur -Risico perceptie -Ethische houding -Drijfveren -Natuuropvatting -Voorkeuren -Religie -Rechtsysteem 	<ul style="list-style-type: none"> -Populatie omvang -Bevolkingsopbouw -BNP -Consumptie per capita 	<ul style="list-style-type: none"> -Energie efficiëntie -Landgebruik -Levensstijl -Aandeel van kolen, olie, aardgas, kernenergie, duurzame bronnen, biomassa -Energieprijzen 	<ul style="list-style-type: none"> -Uitstoot van broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O, CFCs etc.) -Uitstoot van ozon precursors (CO, NO_x, VOCs etc.) -Uitstoot van SO₂, NO_x, aerosolen, roet en stof. 	<ul style="list-style-type: none"> -Concentraties van broeikasgassen -Temperatuur -Neerslag -Bodemvochtigheid -Zeespiegel -Storm frequentie -Stroomregime van rivieren -Amplitude van getijden -Oceaanische circulatiepatronen 	<ul style="list-style-type: none"> -Welvaart -Gezondheid/fitheid van de populatie -Gevoeligheid -Aanpassingsvermogen -Kwetsbaarheid -Drempelwaarden voor schade aan gebouwen en infrastructuur door stormen en overstromingen 	<ul style="list-style-type: none"> -Verandering Landbouwopbrengsten -Afname biodiversiteit -Storm schade -Overstromingsschade -Migratie patronen -Verlies van bezit -Verlies van land -Verspreidingspatronen van (tropische) ziekten -Gezondheidseffecten -Gevolgen voor drinkwaterwinning
Belangrijke onzekerheden en grenzen aan de voorspelbaarheid bij het inschatten van het toekomstig gedrag van genoemde variabelen	<ul style="list-style-type: none"> - Onvolledig begrip; - Niet-deterministische elementen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Onvolledig begrip; - Demografische onzekerheden; - Gedragsonzekerheden - Niet-deterministische elementen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Onvoorspelbaarheid van technologische innovaties; - Onvolledig begrip van implementatiebarrières; - Niet-deterministische elementen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incomplete informatie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Onvolledig begrip; - Biogene terugkoppelingen; - Chaotisch gedrag; - Meervoudige evenwichten / niet-vloeiend systeemgedrag; - Onmodelleerbaarheid van verrassingen; - Verwevenheid met andere milieuveranderingen; 	<ul style="list-style-type: none"> - Onvolledig begrip; - Onzekerheid over kwetsbaarheid en aanpassingsvermogen van toekomstige samenlevingen voor blootstelling aan klimaatverandering. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fundamentele grenzen aan regionale klimaatvoorspellingen; - Fundamentele onzekerheden in monetaire valuatie; - Meervoudige economische evenwichten; - Niet-evenwichts gedrag.

Tabel 1 Onzekerheden en grenzen aan de voorspelbaarheid voor elk van de schakels van de oorzaak effect keten bij het inschatten van toekomstige klimaatverandering (Van der Sluijs, 1997).

J.P. van der Sluijs, Onzekerheden in Risicoanalyse van Klimaatverandering, in: *WTS, Tijdschrift voor Wetenschap Technologie en Samenleving*, vol 6, 2, 1998, p.38..45.

beantwoorden (hoewel zulke antwoorden alleen geldig zijn binnen de aannames waarop het model is gebaseerd) om beleidsopties te vergelijken, om het relatieve belang van verschillende onzekerheden in kaart te brengen, om onderzoekprioriteiten te helpen stellen en om inzichten te genereren die niet gemakkelijk afgeleid kunnen worden uit de afzonderlijke monodisciplinaire deelmodellen die in het verleden zijn ontwikkeld.

Ondanks het feit dat sommige experts volhouden dat we niet klaar zijn voor geïntegreerde assessment, worden de modellen momenteel volop gebruikt om aan de oplossing van beleidsvraagstukken bij te dragen. Een voorbeeld hiervan is het uitrekenen van 'veilige emissiecorridors' (Swart et al., 1996). Een veilige emissiecorridor is het gebied tussen de toelaatbare boven- en ondergrens voor broeikasgas emissie-scenario's, gekoppeld aan een set van criteria voor klimaatbeleid die erop gericht zijn om zowel het milieu als de economie te beschermen tegen ontwrichting. Deze criteria stellen ecologische grenzen aan de bovengrens van de corridor en economische grenzen (een maximaal toelaatbare emissie-reductie snelheid) aan de ondergrens van de corridor. 'Veilige emissie corridors' zoals berekend met het IMAGE-model (Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect) worden aan de onderhandelaars van het klimaatverdrag gepresenteerd als antwoorden in plaats van als inzichten. Het is in hoge mate twijfelachtig of een dergelijk gebruik rechtvaardigbaar is, tenzij alle betrokken actoren zich volledig bewust zijn van de beperkingen en tekortkomingen van dergelijke modellen. Dat laatste vereist volledig ontwikkeld onzekerheidsmanagement. Echter, in de huidige praktijk van onzekerheidsmanagement hebben we grote gaten in kaart gebracht in de systematische analyse van onbetrouwbaarheid van de kennis betreffende invoer gegevens, model parameters en model aannames en ook in de analyse van onzekerheden betreffende model structuur. Het aandachtsveld dient te worden verbreed van "onzekerheden verminderen" naar "omgaan met onzekerheden en complexiteiten". Echter, instrumenten om deze onzekerheden te analyseren en om af te schatten hoe ze de model-uitkomst beïnvloeden, ontbreken, zijn niet in gebruik bij, of zijn onbekend bij de IAM-gemeenschap. Tevens bleek uit mijn onderzoek dat concurrerende prioriteiten en gebrek aan middelen (geld, tijd, menskracht) obstakels zijn die volledig ontwikkeld onzekerheidsmanagement in IAMs in de weg staan.

Hoewel het vraagstuk van klimaatverandering door menselijk handelen gekenmerkt wordt door grote onzekerheden en onopgeloste vraagstukken, mogen we niet uit het oog verliezen dat de broeikas-theorie van klimaatverandering plausibel is. De kern ervan wordt gevormd door welbegrepen fysica.

De huidige relatie tussen klimaatwetenschap, klimaatbeleid en de samenleving is gecompliceerd. Wetenschappers hebben ontdekt dat menselijke emissies van broeikasgassen vergaande effecten kunnen hebben voor samenlevingen en ecosystemen. Dit inzicht heeft een dringende vraag gecreëerd naar assessment en kwantificering van de risico's van klimaatverandering door menselijk handelen. Ongelukkigerwijs wordt de competentie van de wetenschap om hierover betrouwbare uitspraken te doen in ernstige mate beperkt door de vele onzekerheden over de dynamiek van het complex gekoppelde

J.P. van der Sluijs, Onzekerheden in Risicoanalyse van Klimaatverandering, in: *WTS, Tijdschrift voor Wetenschap Technologie en Samenleving*, vol 6, 2, 1998, p.38..45.

geosfeer-biosfeer-klimaatstelsel.

De wetenschap die komt kijken bij door maatschappelijke problemen aangedreven risico-analyse is in een aantal opzichten totaal verschillend van de primair door wetenschappelijke nieuwsgierigheid aangestuurde klassieke laboratoriumpraktijk van wetenschapbeoefening. Assessment van de risico's van klimaatverandering door menselijk handelen omvat veel verschillende soorten van onzekerheden die in de praktijk niet allemaal goed hanteerbaar zijn. In zo'n situatie voldoet de klassieke vorm van wetenschappelijke analyse door systematisch experimenteren niet langer. Om een voorbeeld te geven: het is niet mogelijk om een statistisch verantwoord aantal experimenten uit te voeren met de aarde om te testen wat het effect is van een hogere CO₂-concentratie. Er is slechts één aarde beschikbaar en die is bovendien nog slecht in kaart gebracht, terwijl alle andere factoren die van invloed zijn op het klimaat niet constant gehouden kunnen worden zoals in het laboratorium, maar permanent aan natuurlijk schommelingen onderhevig zijn. We zijn dus aangewezen op imperfecte simulatiemodellen. Het probleem wordt verder gecompliceerd door de waarde-geladen context van klimaatverandering (fossiele brandstoffen vormen een spil van ons economisch systeem) in combinatie met de onuitroeibare onzekerheden en onbepaaldheden die het vraagstuk omgeven.

De filosofen Silvio Funtowicz en Jerome Ravetz (1992, 1993) spreken in zo'n situatie van *post-normale wetenschap*. Post-normale wetenschap wordt gekenmerkt door onderzoek dat primair door maatschappelijke problemen wordt aangedreven in een context van grote politieke druk, onenigheid over de waarden van waaruit beleidskeuzen moeten worden gemaakt, grote belangen die op het spel staan en grote epistemologische en ethische systeem-onzekerheden. De term post-normale wetenschap geeft aan dat de aanpak van normale (Kuhniaanse) wetenschap (experimenteel waarde-vrij puzzels oplossen in het laboratorium of in het veld) niet langer voldoet nu de samenleving zich acuut geconfronteerd ziet met de noodzaak beleidsvraagstukken op te lossen betreffende transnationale en transgenerationele milieurisico's.

Risicoanalyse van klimaatverandering door menselijk handelen vertoont veel kenmerken van post-normale wetenschap. In het algemeen wordt het probleem als urgent beschouwd en de kosten om het probleem aan te pakken kunnen hoog zijn. De onzekerheden zijn groot in elke stap van de oorzaak-effectketen. Meestal biedt de beschikbare wetenschappelijke informatie ruimte voor meerdere interpretaties. Als gevolg daarvan kan de wetenschap geen definitieve antwoorden verschaffen. Om de achtergronden van conflicterende interpretaties van verschillende wetenschappers te kunnen begrijpen, is het noodzakelijk dat risicoanalyse van klimaatverandering op een transparante wijze plaatsvindt. Zulke conflicterende interpretaties worden vaak ervaren als *tegenstrijdige zekerheden*. In zo'n situatie kunnen de waarden en de uitgangspunten van waaruit de wetenschappers keuzen maken bij het opstellen van een assessment niet langer impliciet blijven en voor waar worden aangenomen, maar dienen deze zoveel mogelijk expliciet gemaakt te worden. Het moet helder zijn hoe en waarom men wetenschappelijke gegevens en aannames heeft gecombineerd om tot conclusies te komen.

J.P. van der Sluijs, Onzekerheden in Risicoanalyse van Klimaatverandering, in: *WTS, Tijdschrift voor Wetenschap Technologie en Samenleving*, vol 6, 2, 1998, p.38..45.

We zullen onze onrealistische vraag naar een enkelvoudige waarheid moeten laten varen. In plaats daarvan moeten we streven naar transparantie van de verschillende posities. Er zit niets anders op dan te leren leven met pluriformiteit in risicoanalyse van klimaatverandering.

De vraag wie er gelijk heeft, degenen die de analyses van het IPCC serieus nemen of zij die zich de 'non-believers' noemen komt hiermee in een ander daglicht te staan. Het lijkt erop dat beiden gelijk hebben. Het is als met Schrödingers kat. De onweetbaarheid die het probleem karakteriseert maakt dat zolang de doos dicht is de kat levend en dood tegelijk is. De doos met de kat zal op z'n vroegst in de loop van de volgende eeuw open gaan. De vraag wordt dan hoe om te gaan met die onweetbaarheid. Gokken op een levende kat en een dode riskeren of met alle kosten van dien het risico op een dode kat minimaliseren en daarbij de mogelijkheid op de koop toe nemen dat de klimaatramp die we daarmee hopen te verzachten een dode mus is? Voor dat laatste zijn vergaande inspanningen nodig. In Kyoto is na moeizame onderhandelingen een kleine eerste stap daartoe genomen.

Literatuur:

- J.P. Bruce, H. Lee and E.F. Haites (eds.), *Climate Change 1995 : Economic and Social Dimensions of Climate Change*, contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 1996, 448 p.
- W.C. Clark and J. Jäger, The Science of Climate Change, in: *Environment*, 39 (9), 1997, 23-28.
- J. Emsley (ed.), *The Global Warming Debate, The Report of the European Science and Environment Forum*, Bourne Press, Dorset, 1996, 288 pp.
- S.O. Funtowicz and J.R. Ravetz, Three Types of Risk Assessment and the Emergence of Post- Normal Science, in S. Krimsky and D. Golding (eds), *Social Theories of Risk*, Westport CT, Greenwood, 1992, 251-273.
- S.O. Funtowicz and J.R. Ravetz, Science for the Post-Normal Age, *Futures*, September 1993, p. 739-755.
- J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell (eds.), *Climate Change 1995, The Science of Climate Change*, Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 1996.
- R. Swart, M. Berk, E. Kreileman, M. Janssen, J. Bollen, R. Leemans, and B. de Vries, *The Safe Landing Approach: Risks and Trade-offs in Climate Change*, RIVM, Bilthoven, 1996.
- J.P. van der Sluijs, *Anchoring amid uncertainty; On the management of uncertainties in risk assessment of anthropogenic climate change*, Academisch proefschrift, Universiteit Utrecht, 1997, 260 pp.
- J.P. van der Sluijs and K. Schulte Fishedick *Omgaan met onzekerheden in wetenschap voor (milieu)beleid een inventarisatie van theorieën en aanpakken*. Report in commission of Rathenau Instituut, The Hague, april 1997, 59 pp.
- R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss, *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*, contribution of Working Group II to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 1996, 878 pp.

Dr. Jeroen van der Sluijs is Universitair Docent bij de sectie Natuurwetenschap en Samenleving van de Universiteit Utrecht. j.p.vandersluijs@chem.uu.nl