

De economie van klimaatverandering

*Pieter Boot*¹

Weinig onderwerpen zijn zo fascinerend als de mogelijke verandering van het klimaat door het menselijk handelen. Het is te vergelijken met de dreiging van kernwapens tijdens de Koude Oorlog, maar dan veel complexer. Waar gaat het om? Sinds enkele jaren is er toenemende wetenschappelijke consensus dat er een grote mate van waarschijnlijkheid is dat het bestaande broeikas-effect - waardoor de aarde de huidige temperatuur heeft en voor mensen leefbaar is - door menselijke activiteiten wordt versterkt, met als gevolg dat op termijn de temperatuur zou gaan stijgen (voor een kort overzicht, zie de appendix). Hierdoor worden allerlei processen op gang gebracht waardoor de stijging zelfs weer zou kunnen versnellen, de zgn. feedback mechanismen. De zeespiegel zou stijgen, klimaatzones op aarde gaan met grotere snelheid verschuiven dan vegetatie aan kan, kortom mogelijk effecten met een geweldige draagwijdte. De belangrijkste oorzaken van de versterking van dit broeikas-effect zijn de verbranding van fossiele energie (waardoor koolstofdioxide, CO₂, vrijkomt), de vermindering van de oppervlakte bos (waardoor er minder koolstofdioxide uit de atmosfeer wordt vastgelegd) en in mindere, maar ook aanzienlijke mate de uitstoot van andere stoffen zoals methaan (bijvoorbeeld door mest) en gechloreerde koolwaterstoffen (door gebruik in onder andere koelkasten en oplosmiddelen).

Het broeikasprobleem verschilt fundamenteel van andere vormen van luchtvervuiling, omdat het een mondiaal vraagstuk is en omdat het niet eenvoudig met technische ingrepen kan worden bestreden. Het was daarom niet voor niets één van de centrale onderwerpen tijdens de grote wereldmilieutop in Rio de Janeiro, in de zomer van 1992. Tijdens deze top werd het VN-Klimaatverdrag (de Framework Convention on Climate Change) door meer dan 150 landen ondertekend. Aan deze ondertekening zijn twee jaar van (vaak

¹Met dank aan Henk Merkus, Herman Snoop, Harmen Verbruggen en een anonieme referent voor waardevolle opmerkingen bij een eerder concept.

moeizame) onderhandelingen vooraf gegaan. De ontwikkelde landen hebben zich in dit verdrag vastgelegd om hun emissies van broeikasgassen in het jaar 2000 te stabiliseren op het niveau 1990. De afspraken hebben geen juridisch bindend karakter. De aanbevelingen worden van kracht als tenminste 50 landen de aanbevelingen van de conferentie hebben geratificeerd, en zal er vervolgens een vervolgbijeenkomst komen. Deze zal waarschijnlijk in 1995 plaatsvinden.

- Juist ook voor economen gaat het om een belangwekkend onderwerp, waarin de economische benadering een bescheiden, maar toch wel essentiële bijdrage kan leveren. Doel van deze bijdrage is een overzicht te geven van de economie van de klimaatverandering. Aanleiding is een conferentie over dit thema die in juni 1993 in Parijs plaatsvond en die door de OESO en het IEA (Internationaal Energie Agentschap) werd georganiseerd.

Het artikel bestaat uit drie delen. In het eerste komen de verschillende benaderingen vanuit de economische discipline aan bod; in het tweede het beleidsinstrumentarium; en in het derde de mogelijke consequentie voor het Nederlands beleid.

1. Benaderingen

In de economie van het klimaatprobleem staan drie verschillen in benadering centraal:

- De wijze van modellering. Alternatieven zijn hier de macro-economische modellen (top-down), of de technisch getinte 'ingenieurs' modellen (bottom-up);
- De vraag of er alleen wordt ingegaan op kosten-effectieve emissiebeperking, of dat een kosten/baten vergelijking plaatsvindt;
- De mate waarin met onzekerheid rekening wordt gehouden.

Eerst zullen achtereenvolgens de top-down modellen en de bottom-up benaderingen aan bod komen. Vervolgens zal worden ingegaan op de kosten/baten aanpak en zal de onzekerheid aan de orde worden gesteld.

Top-down modellen. De laatste drie jaar zijn er enkele grote wereldomspannende modellen ontworpen waarin de wisselwerking tussen economische ontwikkeling en CO₂-vermindering (als belangrijkste broeikasgas) centraal staat. Een uitgebreid overzicht is te vinden in OECD (1992). Deze modellen werken globaal als volgt:

- Economische groei is berekend als functie van een produktiefunctie, met kapitaal, arbeid en energie als produktiefactoren.
- Er is rekening gehouden met een autonome afname van de energie-

intensiteit.

- De hoeveelheid energie in de functie is afhankelijk van de hoeveelheid koolstof die is toegestaan om een bepaald emissieniveau te bereiken.
- De vermindering van energieverbruik ten opzichte van een referentiescenario leidt aldus tot produktieverlies.

Duidelijk is dat het afhankelijk is van de gehanteerde elasticiteiten, het referentiescenario en de tijdshorizon welke kosten er uit dit soort modellen komen rollen. Onvermijdelijk is echter dat in een dergelijke aanpak emissiebeperking kosten met zich meebrengt.

Dean (1993) heeft de verschillende modellen en uitkomsten vergeleken en kwam daarbij tot de volgende conclusie:

- In de referentiescenario's is er sprake van zeer fors oplopende CO₂-emissies: van zo'n 6 miljard ton in 1990, via 10-18 miljoen in 2050 naar 22-40 in 2100. Belangrijkste motoren hierachter zijn bevolkingstoe name (een verdubbeling van de wereldbevolking in 2015) en economische groei.
- Tot 2020 is er nog wel enige overeenstemming tussen de modellen over de kosten die gemaakt moeten worden om de CO₂-uitstoot fors terug te brengen. Indien deze bijvoorbeeld tot 2020 elk jaar met 2% ten opzichte van het referentiescenario teruggebracht zouden moeten worden, zou dat plm. 1% BNP in het eindjaar kosten; zou het 3% zijn, dan zijn de kosten 1,5 à 3% van het BNP in het eindjaar. Bij zo'n 2% reductie ten opzichte van het basisscenario is er overigens alleen maar van stabilisatie van de emissie sprake. Een krachtig beleid zal verder gaan. Indien een sterkere reductie vereist is, lopen de kosten meer dan evenredig op.
- Na die periode gaan de modellen wel erg verschillen. Dat ligt vooral aan de veronderstelling over nieuwe technologie die beschikbaar zou kunnen zijn. Momenteel zijn al vele CO₂-arme energieopwekkings-technieken bekend (windenergie, fotovoltaïe, brandstofcellen) en het is uiteraard cruciaal hoe snel de kosten van deze technieken zullen dalen.

Dit beeld spoort met andere samenvattende studies (vgl. Krause, 1993). In top-down modellen leiden zelfs beperkte emissiereducties al tot significante uitgaven, die jaarlijks minimaal tientallen miljarden gulden bedragen.

De lastige conclusie is dat voor de periode die voor het klimaatprobleem het meest relevant is, de echt lange termijn, de modellen de minste zeggingskracht hebben. Men mag echter wel veronderstellen dat -omdat er al zoveel technieken weliswaar onrendabel zijn, maar al wel beschikbaar, de zogenaamde backstop technologie- in het jaar 2050 de kosten van een stabilisatie van het huidig CO₂-emissieniveau in de geïndustrialiseerde landen te overzien zijn: plm. 1% van het BNP. In landen zoals de voormalige Sovjet

Unie, China of India zijn ze veel en veel hoger en kunnen oplopen tot 6-10% van het BNP. Hier raken we aan het verdelingsprobleem.

De top-down modellen hebben enkele duidelijke zwakheden. Ze zijn uiteraard zeer geaggregeerd, maar dat kan moeilijk anders. Het zijn algemeen evenwichtsmodellen met perfect werkende markten, zonder onzekerheden en verstoringen. Als er bijvoorbeeld in 2050 gestabiliseerd moet worden, is dat in het model vooraf bekend en wordt de uitkomst daarop gemodelleerd. In die zin zijn de kosten een onderschatting. Maar omdat er van een produktiefunctie gebruik wordt gemaakt waarin de benodigde energie-input per produkt bij de huidige techniek de best mogelijke is, zijn ze weer een overschatting. Er is immers volop endogene technologie-ontwikkeling mogelijk.

Op de mogelijkheden tot grotere efficiency zijn de bottom-up modellen gebaseerd.

Bottom-up modellen. Bottom up modellen zijn 'ingenieursmodellen': technici kunnen het energieverbruik langs lopen en aangeven waar er besparingsmogelijkheden zijn. Simpele voorbeelden zijn tochtstrips langs de deuren, maar deze speurtocht gaat door tot een efficiënter procesgang in de chemische industrie, zuiniger motoren, beter gebruik van restwarmte die vrijkomt bij elektriciteitsopwekking e.d. Het aardige van deze modellen is dat veel van de opties die erin aangegeven worden bij de huidige prijzen al rendabel zijn. Een forse energiebesparing hoeft dan, volgens deze modellen, ook helemaal niets te kosten!

Iets geavanceerder zijn de modellen waarin ook de verschillende manieren van energie-aanbod heel exact zijn opgenomen, zodat een optimalisering mogelijk is van achtereenvolgens allerlei vormen van besparing, dan de goedkoopste aanbodoptie, weer besparing, een andere aanbodemogelijkheid, etc. Per gewenste reductie komt dan de optimale combinatie van besparing en CO₂-arm aanbod uit het model rollen (zie Johansson en Swisher, 1993). De uitkomsten van deze modellen zijn verbluffend. In de geïndustrialiseerde landen is 10-30% minder emissie mogelijk zonder netto kosten en een fors potentieel tegen lage additionele kosten. In Nederland zou 45% reductie mogelijk zijn tegen gemiddelde kosten van 0, in het Verenigd Koninkrijk eveneens, en in de VS zou 25% reductie zonder netto kosten mogelijk zijn (Cline, 1993, blz. 12; vgl. ook Wilson en Swisher, 1993). Een aardig recent voorbeeld is een ECN-studie, die ons voorrekent dat in Nederland in het jaar 2040 de CO₂-uitstoot tegen te overziene kosten (in de orde van 2% van het BNP) met maximaal 80% van het huidige niveau teruggebracht zou kunnen worden (Okken, 1993). Deze studie illustreert echter tevens dat ook in de bottom-up benadering vergaande reducties geld gaan kosten.

De vraag is natuurlijk waarom deze besparing dan niet plaatsvindt! Hierop

kunnen de modellen geen antwoord geven omdat ze technisch van aard zijn. Institutionele belemmeringen en afzonderlijke besluitvormers komen er vaak niet voor. Het doet enigszins denken aan planningsmodellen uit de jaren '30 en '50 waarin centrale planners verondersteld werden over alle informatie te beschikken en optimale besluiten te nemen. Uiteraard is het aan de hand van de modellen wel mogelijk om enigszins gevoelsmatig belemmeringen aan te geven, maar onderdeel van de analyse zelf zijn ze niet. Er zullen allerlei vormen van verborgen kosten zijn, die deze modellen niet zichtbaar maken. Te onduidelijk is hoe feitelijk gedrag tot stand komt en eventueel beïnvloedbaar is. Wel mogen we veronderstellen dat een betere marktwerking zal bijdragen aan een grotere energie-efficiency. Een voorbeeld is dat momenteel aan de aanbodzijde van de markt (bijvoorbeeld energie-distributiebedrijven) veel langere terugverdientijden worden gehanteerd dan aan de vraagzijde (bijvoorbeeld industriële bedrijven). Financieringsconstructies kunnen er aan bijdragen dergelijke verschillen te verminderen. Ten slotte vinden er geen terugkoppelingen in plaats tussen de energiesector en de economische ontwikkeling. Feitelijke besparingen bij zeer actieve besparingsprogramma's zijn dan ook doorgaans ongeveer de helft van het potentieel dat dit soort modellen berekenen (Cline, 1993, blz. 14)².

Kosten/baten. Tot zover hebben we gesproken over de kosten om CO₂-emissiereductie te bewerkstelligen. Deze kunnen in beginsel afgezet worden tegen de baten van zo'n handeling. Hier komen we aan een tweede verschil in benadering. Veelal wordt uitgegaan van een mogelijke dreiging van klimaatverandering, die tegen elke prijs voorkomen moet worden. Het milieu is dan de absolute randvoorwaarde voor het optreden. Gevoelsmatig en vanuit een streng criterium van duurzaamheid is hier veel voor te zeggen. Een andere benadering is echter die van een vergelijking van kosten en baten van klimaatbeleid. Is er een schatting te maken van de kosten van klimaatverandering, of beter van de baten van eventueel beleid?

Hier zijn inderdaad schattingen van gemaakt. Zo is er nagegaan wat er gebeurt indien de zeespiegel één meter zou toenemen, en is vooral voor de VS berekend welke economische gevolgen de klimaatverandering zou kunnen hebben. Belangrijke gevolgen zijn er onder meer voor de landbouw, het energieverbruik (meer air conditioning!), verspreiding van ziektes, teloorgaan van planten en diersoorten, onderlopen van laaggelegen gebieden. Bij een verdubbeling van de mondiale CO₂-uitstoot, die volgens eerdergenoemde modellen dus vóór 2050 is te verwachten, zouden de totale kosten zo'n 1 à

²Dit spoort met de zorgvuldige analyse van Schipper en Meyers(1993). Forse besparingsactiviteiten in de OESO-landen zouden het gebruik in 2010 op het 1990-niveau houden, en dat is 20-25% lager dan bij business as usual te verwachten. Maximum denkbaar is 40-45% onder de trendmatige groei.

1,3% van het BNP van de VS bedragen. De verdeling van de kosten over de wereldregio's is echter erg ongelijk. Van de grote regio's zou de voormalige Sovjet-Unie bijvoorbeeld relatief lage kosten hebben, en China afgezet tegen het BNP zeer hoge³. Hierbij dient men zich te realiseren dat om het waarschijnlijke klimaatprobleem in de hand te houden, de emissie *lager* dan die in 1990 zou dienen te zijn. Verder zou er zelfs bij een dalende emissie toch nog lang sprake zijn van een toenemende concentratie van koolstofdioxide en andere broeikasgassen.

Puur bij wijze van voorbeeld van de berekening zij een recente schatting van Fankhauser vermeld waarin de gevolgen van een klimaatverhoging bij 2,5 °C zij berekend. Andere komen iets hoger of lager uit. Gezien alle onzekerheden heeft de tabel slechts illustratieve waarde.

Tabel 1: Schade geschat bij verdubbeling CO₂-intensiteit in mrd.\$

	niet-OESO landen	OESO landen
laaggelegen gebieden	16	16
landbouw	16	23
waterwinning	12	35
verlies aan levens	<u>32</u>	<u>57</u>
totaal inclusief overige	103	182
als deel BNP	1,8%	1,4%

Bron: Fankhauser en Pearce, 1993, blz. 9.

Relevanter nog zijn de varianten van deze modellen waarin de kosten per ton CO₂-emissie worden berekend. Dit is nog niet zo eenvoudig, omdat het bij het broeikaseffect om voorraadgrootheden gaat en niet om stroomgrootheden: de geëmitteerde kooldioxide blijft lange tijd in de atmosfeer aanwezig. De emissies moeten dus met een discontovoet worden gewaardeerd. Hier ligt uiteraard de angel van deze berekeningen: welke discontovoet moet dat zijn? Principieel is veel voor een discontovoet van 0 te zeggen, omdat toekomstige generaties ons evenveel waard moeten zijn als wijzelf. Dit is uiteraard onderwerp van debat. In verband met de opbrengst van investeringen en technische ontwikkeling, is tenminste ook een (kleine) bandbreedte te verdedigen. Verder zijn er redenen om rekening te houden met moeilijk te

³In feite moeten deze baten gecombineerd worden met een nutsfunctie. Klimaat is een publiek goed. In landen met lage inkomens zal er een hoger marginaal nut van particuliere consumptie zijn. In rijke landen is dat lager. Rijke landen hechten dus een hogere nutswaarde aan het publieke goed klimaat.

voorzien negatieve terugkoppelingsreacties in het klimaat, waardoor de schade groter zou uitvallen dan 'modaal' te verwachten. Er is immers een moeilijk te berekenen maar wel denkbare kans op rampen van zeer grote omvang. Anders gezegd: we kunnen rekening houden met 'rampenscenario's' door de kans erop enigszins mee te laten wegen.

Cline berekent zo bij een discontovoet van 0,5% gemiddelde CO₂ kosten per ton in de periode 1990-2000 die, afhankelijk van de interacties in het klimaatmodel, variëren van 20 tot 30\$. Als er niet met de kleine kans op catastrofes rekening was gehouden, bedroegen deze kosten 10\$. Een kleine kans op catastrofes met grote gevolgen drijft het gemiddelde dus flink op. Indien de discontovoet hoger zou zijn, bijvoorbeeld 3%, zouden de kosten slechts plm. een kwart hiervan bedragen, en was de discontovoet 0 dan bedroegen ze het dubbele (Fankhauser en Pearce, 1993, blz. 19). In de loop van de volgende eeuw zouden deze kosten nog enigszins oplopen.

Nogmaals zij gesteld dat vanuit een strikte definitie van duurzame ontwikkeling, waarin het milieu een absolute randvoorwaarde is, een dergelijke benadering uiteraard een gruwel is. Als onderdeel van de economische invalshoek biedt ze ons in elk geval het inzicht dat puur getalsmatig de kosten van het klimaatbeleid de baten al snel zullen overtreffen, indien we op de schattingen van de top-down modellen zouden afgaan. Pas op zeer lange termijn zouden de baten van het beleid hoger zijn dan de kosten. Indien Cline (die zelf overigens een actief, stapsgewijs klimaatbeleid voorstaat) de 'best guess' van kosten en baten van beleid gericht op een stabiele CO₂ uitstoot die 2/3 van 1990 bedraagt vergelijkt, zijn pas in 2160 de baten het grootst (blz.16). Dit gaat de tijdshorizon van besluitvormers natuurlijk verre te buiten! Op z'n minst kan men zich afvragen of milieugelden dan niet beter besteed kunnen worden aan milieudoelen met een veel positiever baten/kosten-verhouding, ook op korte termijn - temeer indien die voor het klimaat positieve nevendoelelen zouden hebben.

Ingebouwde onzekerheid. Het wordt nu tijd om de kosten en baten te vergelijken, maar dat kan pas indien de modellen met ingebouwde onzekerheid worden bezien. In beginsel is deze in zowel de top-down als bottom-up modellen in te bouwen.

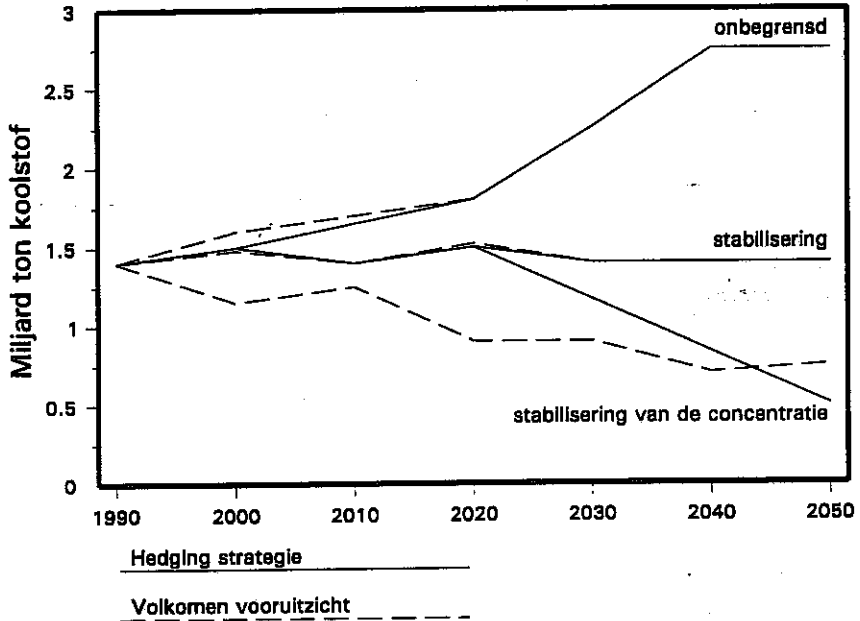
Er is onzekerheid van drieërlei aard. Allereerst weten we niet zeker of er klimaatverandering zal optreden. Klimatologische modellen gaan uit van een relatie tussen de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer en het klimaat, en de temperatuurveranderingen uit het verleden kunnen met deze hoeveelheid in verband worden gebracht, maar de exacte samenhang en vooral de kwantitatieve relaties zijn onzeker. Het zal ook tenminste 10 jaar duren voordat er meer inzicht op dit punt te verwachten is. Zo er dan een probleem geconstateerd zou worden, is het echter al wel veel ernstiger. Een tweede

vorm van onzekerheid is er over de internationale besluitvorming. Voor het probleem is het irrelevant waar de CO₂ uitgestoten wordt. Indien een deel van de wereld een krachtig restrictief beleid voert, maar de rest niet, is dat weinig effectief. En een derde is de onzekerheid over de samenhang van technologische ontwikkeling, investeringen en gedrag op een langere termijn. Technologie komt immers niet 'uit de lucht vallen', maar ontwikkelt zich in een subtiel samenspel van vraag- en aanbodfactoren. Daadwerkelijke toepassing ervan hangt af van investeringsbeslissingen. Voorbeelden van dit soort complexe samenhangen zijn de grote beslissingen die de komende jaren over het transport in Europa gaan vallen, de gang van zaken bij kerncentrales en de energievoorziening in snel industrialiserende delen van de Derde Wereld. Op het moment dat bepaalde beslissingen in dergelijke complexe situaties zijn genomen, ontstaat een relatief grote inertie van het systeem. Als er eenmaal een gasleidingnet ligt, of een keten van atoomcentrales is gebouwd en een industrie is ontstaan die van dit aanbod gebruik maakt, is dat alles niet zomaar weg.

In het licht van dit alles is het onduidelijk wat de optimale kosten/baten strategie voor een individuele besluitvormer is, en geen model kan met deze complexe samenhangen rekening houden.

Daar waar de top-down modellen en batenschattingen vooral het werk van economen, en de bottom-up de prestatie van ingenieurs is, zijn de onzekerheidsmodellen gemaakt door mensen die zelf wat dichterbij de energiesector staan. Hun uitgangspunt is tweeledig. Enerzijds gaan ze er vanuit dat westerse overheden de energiesector de komende jaren geen zinvolle eenzijdige emissiedoelstellingen kunnen opleggen en anderzijds dat de besluitvormers in de energiesector al wel degelijk im- of expliciet met het broeikasprobleem rekening houden. Milieugroepen voeren actie, en als er over enkele jaren een doelstelling zou komen, kan je daar in je huidige investeringsbeslissingen al beter enigszins mee rekening houden. Zo ontstaat er een 'stappen strategie' (*hedging*). In de eerste fase, bijvoorbeeld tot 2000, houdt de beslisser er rekening mee dat er in het jaar 2000 of een emissiebeperkend beleid zou kunnen komen, of niet. In een mogelijke tweede fase is wellicht tot stabilisatie besloten, maar is nog niet zeker of in 2010 een stabilisatie van de CO₂-concentratie (de voorraad) nodig zou zijn of alleen van de emissie (de stroom), enzovoort. Onzekerheid hoeft dus in het geheel niet tot inertie te leiden, maar tot een gefaseerde aanpak. Speltheoretisch kan dan worden nagegaan wat de emissies in bijvoorbeeld een bepaald land zijn in deze verschillende fasen van onzekerheid en hoe deze zich verhouden tot het optimale pad indien vooraf geen onzekerheid zou hebben bestaan (zie figuur 1).

Figuur 1: Koolstofdioxide emissies in Verenigde Staten met en zonder onzekerheid



Bron: Manne en Richels, 1993, blz. 14.

Interessant is dan dat de huidige strategie van de besluitvormers enerzijds zeer gevoelig blijkt voor de kans op latere beperkingen, maar dat de mate waarin er in een echt verre toekomst zeer of iets minder zware beperkingen komen voor de huidige strategie niet zoveel terzake doen. 'We need not be overly concerned with our inability to predict the detailed character of the energy system several decades into the future. Uncertainty is important only to the extent that it confounds near-term decision making. Today's decisions appear to be relatively insensitive to some of the more controversial longer-term uncertainties in the greenhouse debate' (Manne en Richels, 1993, blz. 15). Voor het te voeren beleid is dat uiteraard een relevant inzicht.

De vraag is of het mogelijk is de drie invalshoeken top-down, bottom-up en onzekerheid, in één raamwerk te integreren. In beginsel zou dat zeer wenselijk zijn. Of een dergelijke integratie met veel vertrouwen tegemoet gezien kan worden, is echter niet zeker. Twee benaderingen zijn mogelijk (zie ook Grubb, 1993).

De eerste is om inderdaad een model te ontwikkelen waarin de drie invalshoeken een plaats vinden. De ingevoerde data in zulke modellen zijn in

een waarschijnlijkheidsfunctie verdeeld, en de uitkomsten worden in bandbreedten gepresenteerd. Zowel de geofysische klimaatprocessen zelf, het beleid om emissies te verhinderen, als de economische gevolgen van klimaatverandering kunnen er een plaats in krijgen. De modellen zijn echter zo gecompliceerd, dat ze in feite alleen als illustratie van mogelijke ontwikkeling worden gebruikt (vgl. Dowlatabadi en Morgan, 1993). De beleidsmatig wat teleurstellende uitkomst is dan veelal dat de onzekerheid zo groot is dat geen enkele uitspraak meer gedaan kan worden over het best mogelijke soort beleid. Zowel in het geheel niets doen als een forse aanpak kunnen optimaal zijn.

De tweede is om de modellen te laten voor wat ze zijn en uit te gaan van 'known facts and common sense'. Een modelmatige aanpak kan daarin weliswaar een bijdrage leveren, maar vooral als ondersteuning van de analyse. Technologie-ontwikkeling krijgt dan bijvoorbeeld een duidelijke plaats. Een dergelijke aanpak sluit beter aan bij de gebruikelijke studies naar mogelijkheden van toekomstige energie-efficiency dan bij het algemene economie van klimaatonderzoek.

In elk geval is een eenvoudige koppeling van top-down en bottom-up, hoe wenselijk ook, niet zo maar mogelijk. De uitkomsten kunnen dan ronduit misleidend worden (vgl. Wilson en Swisher, 1993).

Conclusie. Uit het voorgaande zijn vier conclusies te trekken:

- We hebben een combinatie nodig van inzicht uit de top-down en bottom-up modellen, en in deze combinatie moet ook rekening gehouden worden met de wijze waarop besluitvorming tot stand komt. Onzekerheid zal dan een rol spelen. Of dat inzicht verkregen wordt langs de weg van geïntegreerde modellen of dat modellen vooral een aanvullende functie hebben op het 'gezond verstand' is niet duidelijk.
- Het is mogelijk te komen tot een vergelijking van kosten en baten van klimaatbeleid indien we genoeg nemen met bepaalde bandbreedtes en uitspraken die zeker niet verder gaan dan de eerste helft van de volgende eeuw.
- Kosten en baten verschillen sterk tussen de regio's in de wereld.
- Gezien alle onzekerheden die aan het onderwerp zijn verbonden, lijkt een meerstappenbeleid het meest zinvol.

2. Instrumenten

In de praktijk valt klimaatbeleid in de rijke landen vrijwel samen met energiebeleid en, in mindere mate, mobiliteitsbeleid⁴.

De economische invalshoek is daarbij allereerst geweest om te zoeken naar

⁴In ontwikkelingslanden is het landgebruik eveneens van cruciaal belang.

instrumenten die op marktconforme wijze, al of niet in aanvulling op bestaande regelgeving, emissiebeperking zouden bevorderen. Drie soorten zijn dan van belang: heffingen, verhandelbare emissierechten en subsidies (vgl. Pearce, 1991). In dit tijdschrift zijn deze uitvoerig aan de orde geweest (zie Vollebergh en De Vries 1992, Koutstaal 1993). Heffingen en emissierechten zijn in theorie zeer aantrekkelijk. Trapsgewijs blijken meer en meer landen ook tot heffingen over te gaan, waarbij soms het regulerend karakter voorop staat, maar het in andere gevallen om een nieuw aangrijppingspunt voor overheidsinkomsten gaat (zoals bij de Nederlandse WABM). Meestal overheerst echter de vrees voor ongunstige neveneffecten vanuit de optrek van internationale concurrentie. Verhandelbare emissierechten zijn in nog sterkere mate in de schrijfafelfase blijven steken omdat het vraagstuk van de toewijzing (wie heeft waarop recht) onoplosbaar lijkt. In het internationaal overleg komt een variant hierop echter terug. Subsidies op besparing worden in veel landen gehanteerd om meer of mindere goede reden.

Het debat over instrumenten lijkt echter te worden verbreed en wel om twee redenen.

Allereerst is uit de bottom-up analyses gebleken dat bij de huidige prijzen al veel, rendabel of tenminste zonder kosten, bespaard kan worden. Het ligt dan voor de hand na te gaan waarom deze besparingen niet tot stand komen, en of er methoden zijn om dit potentieel in feitelijke besparing om te zetten. Dat blijkt in meer of mindere mate inderdaad mogelijk. Ten tweede is er aandacht gevraagd voor de vele subsidies op energieprijzen. Het is uiteraard minder marktversturend eerst subsidies af te schaffen op prijzen, alvorens over heffingen na te denken. De aandacht van de OESO richt zich daarbij vooral op lage energieprijzen in veel niet-OESO landen, maar anderen hebben terecht ook gewezen op de omvangrijke subsidies voor bijvoorbeeld steenkolenmijnbouw in enkele OESO-landen zelf. Macro-economisch is het verminderen van subsidies al snel een 'win-win strategie'.

Verdeling. We komen hier echter aan het wellicht lastigste aspect van de klimaatproblematiek, de *verdeling*. Dit heeft drie kanten.

De eerste is dat van de huidige voorraad broeikasgassen plm. 65% afkomstig is uit de rijke markteconomieën, 20% uit de voormalige planeconomieën en de rest uit de ontwikkelingslanden (Pachauri, 1993, blz. 2). Deze voorraad is zo opgebouwd omdat CO₂ in de atmosfeer een lange verblijfstijd heeft. De uitstoot, en nog sterker de groei van de emissies is echter geheel anders verdeeld: de helft van het huidig energieverbruik en 80% van de groei tot 2010 van het energieverbruik is van niet-OESO landen afkomstig. Eden(1993) laat zien dat zelfs als het energieverbruik in de OESO-landen en Oost-Europa zou halveren, de groei in de Derde Wereld zodanig zal zijn dat ook indien alle kaarten op energie-efficiency worden gezet, het mondiale energieverbruik in 2050 vrijwel het dubbele van dat in 1988 bedraagt (Eden, 1993).

De tweede is dat de meest kosteneffectieve bestrijding van de emissies uit verdelingsoptiek moeilijk verdedigbaar is. Stabilisatie van de CO₂-emissie op kosteneffectieve wijze zou in het midden van de volgende eeuw de Verenigde Staten 0,4 - 2,0% van het BNP kunnen kosten, maar China rond de 5% (Dean, 1993, blz. 14). De derde is de volstrekt ongelijke verdeling van regionale kosten en baten. De kleine eilandstaten zijn wel een zeer kwetsbare partij, terwijl bijvoorbeeld Rusland er wellicht met enig recht vanuit kan gaan niet zo snel in de problemen te komen.

In de Framework Convention is dan ook een onderscheid gemaakt tussen de geïndustrialiseerde landen, die gezamenlijk zullen trachten de emissies tot 2000 op het niveau van 1990 te stabiliseren, en de ontwikkelingslanden. Dat is rechtvaardig en als eerste stap te verdedigen. Maar wanneer het er echt om zou gaan tot drastische maatregelen te komen, zijn eenzijdige maatregelen in alleen de geïndustrialiseerde landen maar zeer ten dele effectief. Manne(1993) heeft becijferd dat een eenzijdige beperking van de CO₂-uitstoot in de OESO-landen voor plm. een kwart zou weglekken naar de rest van de wereld⁵. Het mechanisme daarbij is tweërlei:

- de energie-intensieve industrie zou vertrekken en de produkten ervan worden geïmporteerd. Voor een deel zou de productie elders zelfs minder efficiënt en met meer koolstofuitstoot gepaard gaan;
- door de vraagbeperking in de OESO-landen zouden de olieprijsen dalen en zodoende de vraag elders stijgen.

Indien het belangrijkste, of enige instrument, van energiebesparing een belasting zou zijn, zouden overigens zeer hoge tarieven nodig zijn om alleen al in de OESO-landen een stabilisering te bereiken. De IEA heeft becijferd dat een belasting in de orde van vier maal de omvang van degene die nu in de EG ter discussie is (en zonder de vrijstellingen die daarin voor de energie-intensieve industrie zijn voorzien), nodig zou zijn om de emissie in 2010 op het OESO-niveau van 1990 te stabiliseren, indien alleen op het belasting-instrument vertrouwd zou worden. Met een breed beleidsinstrumentarium gericht op efficiency zou overigens hetzelfde tegen minder kosten bereikt kunnen worden (IEA, 1993).

Een op zich effectieve wereldenergiebelasting zou daarentegen zeer onrechtvaardig voor veel ontwikkelingslanden uitpakken, indien deze niet met een overdracht van middelen van rijk naar arm gepaard ging. Met

⁵Een kwart is het gemiddelde van drie scenario's en verschillende tijdsperioden, maar wordt door Manne zelf als redelijk gemiddelde genoemd (blz. 8). Zijn berekeningen zijn op een eenvoudig, aangepast Heckscher-Ohlin model gebaseerd.

becijferingen uit het GREEN model van de OESO is dat als volgt te illustreren⁶.

Tabel 2: Gevolgen van wereld koolstofbelasting (\$ 25), 2020

	vermindering in CO ₂ tov referentiescenario	BNP verlies tov referentiescenario
OESO	-14,5%	-0,11%
niet-OESO	-30,8%	-0,51%
wv ex-SU	-30,5%	-1,16%
China	-44,0%	-0,79%
wereld	-25,2%	-0,27%

Bron: OESO, GREEN model.

Internationaal beleid. Door de wetenschappelijke onzekerheid, de hoge kosten van vergaand beleid en de verdelingsaspecten is het weinig verwonderlijk dat er internationaal niet eenvoudig zaken is te doen.

Twee elementen lijken in de internationale beraadslagingen echter wel op grote schaal geaccepteerd te worden.

De eerste is dat de min of meer rendabele besparingspotentiëlen zo groot zijn dat het redelijk is dat de geïndustrialiseerde landen trachten hun emissie in het jaar 2000 op het niveau van 1990 te houden.

De tweede is dat nagedacht moet worden over de criteria die kunnen gelden voor zogenaamde *joint implementation*. Dit houdt in dat één land (mee)betaalt aan een project in een ander land waar de kosten van emissiereductie lager zijn dan in het eigen land (om aldus elders aan de nationale emissiereductiedoelen of -verplichtingen te kunnen voldoen). Men kan het als eerste stap zien naar verhandelbare emissierechten. De al genoemde Framework Convention over het klimaatbeleid laat expliciet ruimte open voor 'gemeenschappelijke activiteiten', maar definieert niet exact wat we daaronder moeten verstaan. Rijke landen zouden geld kunnen storten in een gemeenschappelijk fonds waarin projecten uit ontwikkelingslanden worden gefinancierd (bijvoorbeeld via een Global Environmental Facility). Maar het zou ook kunnen gaan om bilaterale projecten. Ook hier gaan kosteneffectiviteits- en verdelings-

⁶Het BNP-verlies voor de gehele wereld is minder dan de in par. 1 genoemde 1%, omdat met deze heffing alleen nog geen stabilisatie wordt bereikt.

argumenten al snel door elkaar spelen. Toch is van belang dat ook vanuit ontwikkelingslanden niet ten principale negatief tegen joint implementation wordt aangekeken, mits het om projecten gaat die in de brede ontwikkelingsstrategie van het betreffende land passen.

Bij de mogelijke aanpak zien we een verschil tussen wat ik voor het gemak de rekkelijken en preciezen wil noemen. De rekkelijken pleiten ervoor om eerst maar eens aan de slag te gaan aan de hand van enkele heldere richtlijnen over toerekening van opbrengsten (vgl. Jones, 1993). De preciezen daarentegen willen eerst heel exact vastleggen aan welke criteria zulke projecten moeten voldoen (vgl. Merkus, 1992). Maar iedereen is het erover eens dat een omvangrijke bureaucratie ongewenst is. Afhankelijk van de kosten per land zullen joint implementation-projecten (JI) gevonden kunnen worden in onder meer bosbouw, energiebesparing of zelfs nucleaire centrales (Pachauri, 1993, blz. 8). Hoe dat ook zij, beleidsmatig zal de uitvoering van de JI-projecten vooral iets voor een volgende periode zijn omdat het er in de huidige fase van het klimaatbeleid immers vooral om gaat om activiteiten tot stand te brengen die in het betalende land ook uit anderen hoofde zinvol zijn⁷.

Bij JI is dat ook het geval indien het om projecten gaat die bijvoorbeeld in het kader van de reguliere ontwikkelingssamenwerking plaats zouden vinden. Ontwikkelingslanden zijn daarin echter logischerwijs enigszins argwanend omdat ze het gevoel hebben daarbij een sigaar uit eigen doos gepresenteerd te krijgen. In het algemeen stellen ze zich op het standpunt dat financiële overdrachten 'new and additional' moeten zijn. In beginsel is dat ook in het Klimaatverdrag zo vastgesteld. Ook willen ze dat er niet alleen geld gestoken wordt in voorkoming van het klimaatprobleem maar, omdat dat toch wel niet helemaal zal lukken, ook in aanpak van de gevolgen ervan. Bangla Desh heeft liever dijken als het water stijgt dan bomen!

Hier moet nog een opmerking over deze bossen worden gemaakt. Soms wordt gesugereerd dat extra bosbouw een aardige compensatie zou kunnen zijn voor het toenemende energieverbruik. Dat is maar ten dele het geval. Om te beginnen is management van bosbouw zeker niet goedkoop, maar nog belangrijker is het beperkte potentieel. De grens aan extra bosbouw zou bereikt zijn bij een additioneel jaarlijks opnamevermogen van 1,6 mrd. ton koolstof (dat is plm. een kwart van de jaarlijkse emissie) (Cline, 1993, blz. 15).

Op mondiaal niveau vindt de beleidsontwikkeling in VN-verband plaats. Zo'n 10 landen is echter verantwoordelijk voor 65% van de huidige CO₂-emissies en nog eens 10 voor de volgende 15% (zie tabel 3). Bij deze groep zitten ook de

⁷Dit is één van de mogelijke definities van 'no regrets' beleid. Wat zo'n beleid inhoudt, verschilt uiteraard van land tot land.

belangrijkste grote groeiers. Wellicht zou het werkbaarder zijn indien het internationale beleidskader zich tot deze 20 landen beperkte. Het 'free rider' probleem zou dan tussen de betrokkenen veel duidelijker localiseerbaar zijn en besluitvormingsprocessen eenvoudiger. De overige landen zouden zich waarschijnlijk wel bij afspraken in deze groep aansluiten. Nederland zou overigens niet bij die groep horen, wel indien het om de eerste 30 landen zou gaan.

Tabel 3: De grote emittenten van koolstofdioxide (1990) en voorziene toename van emissie in 1990 - 2005 (in %)

	aandeel 1990 emissie	gem. groei 1990-2005
Verenigde Staten	23,5	0,8
Rusland	11,0	1,1 a)
China	10,8	3,8
Japan	4,9	1,0
Duitsland	4,6	0,5
Oekraïne	3,1	1,1 a)
India	2,9	3,7
Verenigd Koninkrijk	2,8	0,4
Canada	2,0	1,2
Italië	1,9	1,3
(wereld)	100	1,7)

a) GOS als geheel.

Bron: IEA (aandeel), Europese Commissie (toename)

3. Nederlands beleid

Nederland is, zoals bij meer zaken, een gidsland op klimaatbeleid. Samen met Denemarken zijn we het enige EG-land met een concreet klimaatbeleid dat bestaat uit doelen en programma's, en door het parlement is geaccordeerd. Voor de mondiale problematiek zelf doet het uit het oogpunt van een daadwerkelijke bijdrage aan de oplossing van het klimaatvraagstuk niet terzake of wij al of niet beleid voeren op dit punt. Tot nu toe lijkt het Nederlandse beleid echter wel inspirerend voor andere landen te werken. In het kader van het Klimaatverdrag is wel vereist, en in het EG-kader ook zo afgesproken, dat ook de andere landen concrete programma's maken.

Het Nederlandse besparingsbeleid bestaat uit vier onderdelen: regelgeving, activiteiten van energiedistributiebedrijven, subsidies en heffingen, en meerjarenafspraken met doelgroepen. Met dit pakket lijken we met betrekking tot energiebesparing zo'n 85% van het ons gestelde doel (het doel is 2,1% energie-efficiency per jaar in de periode 1990-2000) te halen (EZ, 1993). Vooral de meerjarenafspraken met doelgroepen trekken internationaal de aandacht. Dat is om twee redenen begrijpelijk. De eerste is een 'negatieve': industriële pressiegroepen in andere landen zien vrijwillige afspraken als een goedkopere inspanning dan bijvoorbeeld een heffing. De tweede is echter een 'positieve' en sluit aan bij de inzichten uit de bottom-up analyse: een afspraak gericht op een bepaald doel en zo mogelijk ondersteund door analyse van concrete besparingsmogelijkheden maakt het mogelijk rendabele potentiële boven tafel te krijgen. In vergelijking met andere landen is in Nederland ook een zeer intensieve discussie over voor- en nadelen van energieheffingen gevoerd. Voorlopige uitkomst daarvan is dat het het verstandigst is te streven naar invoering daarvan in Westeuropees verband (zie SER, 1993). Naast besparingsbeleid is er de ondersteuning van onderzoek om zogenaamde 'backstop' technologieën te bevorderen, die op termijn een drastische vermindering van koolstofdioxide kunnen veroorzaken. Andere landen hebben uiteraard ook, en vaak grotere, onderzoeksprogramma's. Toch weet Nederland hierin interessante 'niches' te bereiken.

Het huidige Nederlandse beleid sluit aldus goed aan bij de inzichten uit de theoretische analyse. Die leiden tot de conclusie dat we allereerst dat moeten doen wat ook uit andere optiek zinvol is, verder na moeten denken over bruikbare constructies van samenwerking met landen waar de kosten van emissiebeperking zeer laag zijn, en niet te zuinig moeten zijn met middelen voor onderzoek. Het huidige decennium gebruiken we dan om plm. 10-15% energie te besparen ten opzichten van de referentiescenario's (in Nederland is het doel al 20%) en besteden we veel aandacht aan wetenschappelijk onderzoek en mogelijkheden van internationale besluitvorming. Deze 10-15% komt voor de geïndustrialiseerde landen ook aardig overeen met de Rio-doelstelling.

Het lijkt me dat het feitelijk uitvoeren van de joint implementation constructies niet in de huidige fase past, omdat daar in elk geval uit de optiek van het Nederlands energiebeleid geen positief neveneffect uit volgt. Dat zou wel het geval zijn waar samenwerkingsprojecten zouden vallen binnen de huidige of reeds voorziene budgetten voor Oost-Europa of ontwikkelingssamenwerking. Dit doet nog geen recht aan de Verdragstekst dat projecten 'new and additional' moeten zijn, maar is wel zinvol. Verder leiden de theoretische studies tot de conclusie dat alleen een brede mix aan instrumenten effectief kan zijn. Een belangwekkende toevoeging zou aandacht voor recycling, afvalbeleid e.d. kunnen zijn. Hiermee zouden we verder gaan dan alleen energie efficiencyverbetering. Ook volumebeperkend beleid komt dan in beeld, maar

op een verstandige manier.

In elk geval is zeker dat Nederland nu al verhoudingsgewijs meer doet dan wat de geïndustrialiseerde landen gemiddeld op zich hebben genomen. Dat is overigens helemaal niet zo vanzelfsprekend. Immers, aangezien we een dichtbevolkt en uit milieu-optiek kwetsbaar land zijn, zou men verwachten dat er een comparatief voordeel zou zijn voor milieubeleid met een opbrengst in ons land zelf (mest, verdroging). Voorzover we 'no regrets' beleid voeren is dit echter maar zeer ten dele een tegenstelling.

Nederland zet zich erg in voor een energieheffing in de EG. Uit hoofde van de mondiale problematiek is ook op EG-niveau zo'n heffing niet zo erg relevant. Het is echter wel nuttig vanuit de optiek van de besluitvorming: als het in de EG al niet lukt om een gezamenlijk beleid op dit punt te voeren, dan wordt het mondiaal wel erg lastig. Indien de energieprijzen laag blijven is een heffing uiteraard wel onontbeerlijk om effectief door te gaan op de weg van verdere energiebesparing.

4. Conclusie

De verschillende invalshoeken van de economie van het klimaatbeleid bieden een verfrissende blik op welk beleid nu zinvol zou zijn.

De inzichten van top-down en bottom-up modellen vullen elkaar aan, maar zijn niet compleet zonder nadere analyse van (kosten van) besluitvorming in een situatie van onzekerheid. Dat ook het klimaatprobleem vanuit een kosten/baten analyse benaderd kan worden, is voor economen evident. De uitkomst is verrassend: niet uitgesloten zou zijn dat gedurende vele jaren en bij middellange tijdshorizon de kosten van een beleid dat verder gaat dan 'no regrets' vele malen hoger zouden zijn dan de baten. Rekening houdend met dit alles, zijn de in Rio gemaakte afspraken zo gek nog niet. In de huidige fase van onzekerheid is een combinatie van volstrekt 'no regrets' beleid, investeren in internationale besluitvorming en technologisch onderzoek de enig zinvolle. Hetzelfde geldt voor ontwikkelingslanden: energiebesparing is al snel goedkoper dan het bouwen van nieuwe centrales. Daarmee leveren we een bijdrage aan duurzame ontwikkeling. Dat kan uiteraard altijd méér, maar de vraag is of andere milieudoelen met een hoger nationaal rendement dan niet meer geëigend zijn om een stevig maatschappelijk draagvlak voor de ongetwijfeld sterk toenemend milieu-uitgaven te behouden. Natuurterreinen kun je zien, en minder mest is te ruiken!

Nederland opereert als gidsland. Gezien de aard van het probleem ligt dat op dit terrein minder voor de hand dan op andere. Waarschijnlijk is het minder uit een kosten/baten analyse, maar meer uit onze traditionele instelling bij dit type

mondiale vraagstukken te verklaren.

Hoe teleurstellend dit alles wellicht ook is voor degenen voor wie alleen het meest ambitieuze milieubeleid goed genoeg is, is er niet veel reden waarom Nederland zich ook voor de langere termijn op vaste doelstellingen of concrete activiteiten zou moeten vastleggen. Zolang ons huidige beleid door andere landen als zeer inspirerend wordt ervaren, hoeven we ons niet in te laten met experimenten die de huidige activiteiten wellicht weer onder druk zetten: de 'gevroese' stapeling van beleid'. Wel is het stimuleren van technologie gericht op schone energie-opwekking buitengewoon zinvol, omdat dat ook een ander doel dient: het binnen bereik brengen van andere energiebronnen op het moment dat de huidige energiedragers olie en gas schaars, dan wel zeer duur worden.

Literatuur

- Böttcher, F., 1993, Science and fiction of the greenhouse effect and carbon dioxide, *Change*, nr. 13, april
- Cline, W.R., 1993, *Costs and benefits of Greenhouse Abatement: A Guide to Policy Analysis*, OECD, Parijs
- Dean, A., 1993, *Costs of Cutting CO₂ Emissions: Evidence from 'top down' Models*, OECD, Parijs
- Dowlatabadi, H., M.G. Morgan (1993), A model framework for integrated studies of the climate problem, *Energy Policy*, 21(3)
- Eden, R.J., 1993, World Energy tot 2050, *Energy Policy*, 21(3)
- EZ, 1993, Ministerie van Economische Zaken, *NMP2, Evaluatie Energie*, Den Haag
- Fankhauser, S., D.W. Pearce, 1993, *The Social Costs of Greenhouse Gas Emissions*, OECD, Parijs
- Grubb, M., 1993, Viewpoint. Policy modelling for climate change: the missing models, *Energy Policy*, 21(3)
- IEA, 1993, *World Energy Outlook 1990-2010*, Parijs
- Johansson, Th.B., J.N. Swisher, 1993, *Perspectives on bottom up analysis of costs of carbon dioxide emissions reductions*, OECD, Parijs
- Jones, T., 1993, *Operational Criteria for Joint Implementation*, OECD, Parijs
- Koutstaal, P., 1993, verhandelbare CO₂-emissierechten: uitvoerbaar en voordelig, *Tijdschrift voor Politieke Economie*, 15(4)
- Krause, F., 1993, *Cutting Carbon Emissions: Burden or Benefit? The Economics of Energy-Tax and Non-Price Policies*, El Cerrito (Cal.)
- Manne, A.S., 1993, *International Trade: The Impact of Unilateral Carbon Emission Limits*, OECD, Parijs
- Manne, A.S., R.G. Richels, 1993, *CO₂ Hedging Strategies - The Impact of Uncertainty upon Emissions*, OECD, Parijs

- Merkus, H., 1992, *The Framework Convention on Climate Change: Some Thoughts on Joint Implementation*, Working Paper, Min. van VROM
- NOP, 1993, Nationaal Onderzoek Programma Mondiale luchtverontreiniging en klimaatverandering, *Verslag workshop 2A*, september, Rapportnr. 853106-1
- OECD, 1992, The Economic Costs of Reducing CO₂ emissions, OECD *Economic Studies*, nr. 19
- Okken, P.A. et al, 1993, *Drastische CO₂-reductie, hoe is het mogelijk*, ECN, Petten
- Pachauri, R.K., 1993, *The Economics of Climate Change: a Developing Country Perspective*, OECD, Parijs
- Pearce, D.W., 1991, The Role of Carbon Taxes in Adjusting to Global Warming, *Economic Journal*, 101
- Schipper, L., S. Myers, 1993, Using scenarios to explore future energy demand in industrialized countries, *Energy Policy*, 21(3)
- SER, 1993, *Advies Regulerende Energieheffingen*, 93/01, Den Haag
- Vollebergh, H., J. de Vries, 1992, Financiële gevolgen van een regulerend milieueffingenpakket, *Tijdschrift voor Politieke Economie*, 15(2)
- VROM, 1991, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, *Onze kennis over klimaatverandering*, Publikatiereeks lucht, nr. 99
- Wigley, T.M.L., S.C.B. Raper, 1993, Implications for climate and sea level of revised IPCC emissions scenarios, *Nature*, 357, 28 mei
- Wilson, D., J. Swisher, 1993, Exploring the gap: top down versus bottom up analyses of the costs of mitigating global warming, *Energy Policy*, 21(3)

Appendix

Het broeikasprobleem. In de klimaatproblematiek staat de toename van het broeikas effect centraal. De planeet aarde ontvangt energie van de zon. Door de aanwezigheid van de atmosfeer wordt het merendeel hiervan enige tijd vastgehouden voordat deze naar het heelal wordt terug geëmitteerd. Als gevolg daarvan is de temperatuur ongeveer 33° C hoger dan bij het ontbreken van de atmosfeer. Dit is het broeikas effect, zoals dat omstreeks de eeuwwisseling door de Zweed Arrhenius al is beschreven. Hierin spelen broeikasgassen (kooldioxide, methaan, lachgas, ozon en CFK's) een grote rol. De concentratie van deze broeikasgassen in de atmosfeer neemt toe, mede als gevolg van menselijk handelen. Dit is het 'versterkte broeikas effect'. Deze toenemende concentratie beïnvloedt de watercyclus van de atmosfeer, de lucht- en warmtecirculatie, waarbij de neerwaartse 'terugstraling' van de warmtestraling die door de aarde wordt uitgezonden, toeneemt. Oceanen spelen hierin een grote rol. Al met al wordt het klimaatsysteem onder druk gezet; dit wordt forcering genoemd.

Het natuurwetenschappelijke debat gaat daarbij onder meer om de volgende vragen (zie b.v. VROM, 1991): welke stijging van emissies van broeikasgassen is te verwachten; tot welke concentratie in de atmosfeer leidt dit; welke relatie is er tussen deze concentratie en de forcering van het klimaatsysteem; wat is de invloed van deze forcering op het klimaat en wat zijn de gevolgen van klimaatverandering.

Toonaangevend in deze discussie was het rapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) uit 1990, met als alarmerende eindconclusie dat in de volgende eeuw een temperatuurstijging van 0,2 - 0,5^o C per decennium verwacht zou mógen worden. Deze hypothese is sindsdien van alle kanten bezien en besproken. Ook het IPCC zelf heeft sindsdien nieuwe scenario's opgesteld. Voorzover het mogelijk is een stand van zaken in het debat op te maken, zou dat de volgende kunnen zijn (VROM, 1991; Böttcher, 1993; NOP, 1993; Wigley en Raper, 1993):

- Er zijn meer terugkoppelingen van emissie naar concentratie en van concentratie naar temperatuur dan aanvankelijk gedacht. Onder meer wolkenvorming en het effect van wolken op de straling, de oceanen, en 'CO₂ bemesting' van planten spelen daarin een rol;
- de concentraties van broeikasgassen zijn zeer snel gestegen, vooral na 1960; het lijkt onafwendbaar dat deze leiden tot klimaatveranderingen;
- cruciaal in de verwachting is de *veronderstelling* die in de modellen gemaakt wordt over de invloed van concentratie van broeikasgassen op temperatuur; deze klimaatgevoeligheid maakt en breekt de uitkomst van de modellen;
- klimaatmodellen staan weliswaar in de kinderschoenen, maar ze wijzen alle in de richting van een mogelijke temperatuurstijging die in historisch opzicht groot is;
- de bandbreedte van de mogelijke temperatuurstijging is groter dan aanvankelijk gedacht, vooral op langere termijn; de onzekerheden zijn in die zin groter geworden, maar de marges zelf worden duidelijker bepaald;
- de mogelijke temperatuurstijging zal wellicht (fors) lager zijn dan aanvankelijk werd gedacht, maar de 'best-guess' is ook dan in de orde van vier-vijf keer zo groot als wat de afgelopen 100 jaar is waargenomen;
- de kans dat de zeespiegel stijgt is zeker buitengewoon groot; de effecten van klimaatverandering op de maatschappij zullen zich vooral manifesteren via extreme gebeurtenissen, meer dan een verandering van de gemiddelde weersomstandigheden;
- regionale verschillen zullen zeer aanzienlijk zijn.

Ook na veel extra onderzoek zijn er dus geen zekerheden, maar blijft de zorg. Het IPCC zal in 1995 een nieuw rapport uitbrengen, waaraan ook door Nederlandse instituten een bijdrage wordt geleverd.