

Vergaderjaar 1995–1996

24 695

Kameronderzoek Klimaatverandering

Nr. 3

RAPPORT

INHOUDSOPGAVE

HOOFDSTUK I INLEIDING	5	§ 4. Internet	17
Instelling van de tijdelijke commissie	5	Postfunctie	17
Samenstelling van de tijdelijke commissie klimaatverandering	5	Publicatiemiddel	18
Ondersteuning van de tijdelijke commissie	5	HOOFDSTUK IV BESCHRIJVINGEN (EN TAXATIES)	19
HOOFDSTUK II PROBLEEMSTELLING	7	§ 1. Status van deze beschrijvende delen van het rapport	19
HOOFDSTUK III WERKWIJZE	9	§ 2. Een schets van de klimaatproblematiek	20
§ 1. Aard van het onderzoek	9	Klimaat als milieufactor	20
Taak van het parlement: mede-wetgeving en controle op regeringsbeleid	9	Het klimaatsysteem	21
Toekomstgericht, niet betrokken op (vermeende) wan-toestanden	9	Waarnemingen	22
Niet accusatoir en vergelijkbaar met de enquêtes uit de negentiende eeuw	10	Klimaatvariabiliteit	22
Wijze van besluitvorming over het instellen van onderzoekscommissies (en opdragen van extern onderzoek); begroting, bestaffing en faciliteiten	11	Ontwikkelingen gedurende de laatste eeuw	23
§ 2. Experimenteel karakter en nieuwe vormen	12	Invloeden van de mens	25
Dialogoog wetenschap/politiek/samenleving	12	Wat brengt de toekomst?	25
Op maatschappelijke agenda plaatsen van een onderwerp	12	§ 3. Oorzaken en effecten van klimaatveranderingen	26
Docerende hoorzittingen, zelfstandige waarde van de bijlagen	13	Welke vragen heeft de Commissie aan de gehoorde gesteld?	26
Werken met resoluties, niet alleen rapporteren maar ook zelf voorstellen doen	13	Wat zeggen waarnemingen over veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer?	26
Samenloop met kabinetsnota's	14	Welke rol speelt de samenstelling van de atmosfeer in het klimaatsysteem?	26
§ 3. Inrichting van het werk	15	Wat zeggen waarnemingen over veranderingen in de klimaten op aarde?	26
Werkdruk voor de leden	15	Zullen de concentraties van broeikasgassen en deeltjes blijven toenemen?	26
Begroting, omvang, besluitvaardigheid.	15	Hoe zullen klimaten door een versterking van het broeikaseffect veranderen?	26
Bestaffing	16	Wat zijn de effecten van veranderende klimaten?	26
Werkruimte	16	§ 4. Hoe komt het IPCC tot zijn bevindingen?	77
Verslaglegging	16	Wat is het IPCC?	77
		Waarom heeft de Commissie aandacht besteed aan het IPCC?	77

Welke procedures hanteert het IPCC voor het totstandkomen van zijn wetenschappelijke rapporten?	78	Financieel-economische beleidsinstrumenten	104
Welke procedures hanteert het IPCC voor het totstandkomen van de Samenvattingen voor Beleidmakers?	79	Verhandelbare emissierechten	108
§ 5. De ernst van de broeikasproblematiek: definities, bevindingen, taxatie	80	Joint implementation	108
De gehanteerde definities	80	Bestrijden van klimaatverandering: andere broeikasgassen	110
Bevindingen op hoofdlijnen	81	Strategie	110
De waardering van de onzekere projecties van het toekomstige klimaat	86	HOOFDSTUK V TOETSING VAN BEHEERSMAATREGELLEN	115
Tot wat voor taxatie leidt dit alles bijeengenomen?	88	Algemeen	115
Een politieke reactie	88	Methaan en lachgas	115
Annex bij § 5. Antropogene emissies van broeikasgassen vanuit Nederland	89	Kooldioxide	115
§ 6. Mogelijke (denkbare) beheersmaatregelen inzake oorzaken en gevolgen van klimaatverandering	91	Beoordeling van beleidsopties	116
Elementen van strategische keuzes	91	Opslag van kooldioxide	118
Aanpassen aan klimaatverandering	93	Kooldioxide-reductie via energiebesparing	119
Bestrijden van klimaatverandering: kooldioxide-reductie	95	Kooldioxide-besparing in verkeer en vervoer	121
Besparen	97	Kooldioxide-besparing via kolentechnologie	122
Vervangen	99	Kooldioxide-substitutie via zon, wind of water	122
Duurzame energie	100	Kooldioxide-substitutie via kernenergie	123
Kernenergie	100	Overige technologische beleidsopties	124
Opslaan	100	Communicatieve instrumenten	126
Beleidsinstrumenten	102	Fiscale en andere financiële beleidsinstrumenten	127
Directe regulering	103	Overige instrumenten	128
Communicatieve instrumenten	103	HOOFDSTUK VI SLOTAKKOORD	130
		BIJLAGEN:	
		Bijlage 1 Overzicht hoorzittingen	133
		Bijlage 2 Het raadplegen van experts bij hoorzittingen	140
		Bijlage 3 Samenvatting klimaatrapport Bondsdag	148
		Bijlage 4 Begrippenlijst	164

HOOFDSTUK I INLEIDING

Instelling van de tijdelijke commissie

De brief van de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (22 232, nr. 7) over de realisatie van de doelstellingen uit het Nationaal beleidsplan-2 gaf de vaste commissie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aanleiding voor te stellen een discussie te entameren over de klimaatproblematiek (brieven van 18 september en 1 oktober 1995).

De vaste commissie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer besloot in haar procedurevergadering van 18 oktober 1995 het Presidium en de Commissie voor de werkwijze advies te vragen over de mogelijkheden voor het organiseren van een maatschappelijke enquête. Deze vorm was mede geïnspireerd door een formele ontmoeting tussen Duitse en Nederlandse parlementariërs in de zomer van 1995 waarbij ter sprake kwam dat de Bondsdag een onderzoek van vele jaren had gedaan naar klimaatverandering.¹

De Commissie voor de werkwijze vergaderde hierover op 7 december 1995 aan de hand van een notitie van de Griffier van de Kamer en van een hieraan gerelateerde notitie van het lid Crone van 4 december 1995. De Commissie voor de werkwijze omarmde het voorstel een tijdelijke onderzoekscommissie de problematiek van klimaatverandering inzichtelijker te laten maken.

De vaste commissie stelde op 12 december de Kamer voor een tijdelijke commissie van onderzoek in te stellen op grond van artikel 18 van het Reglement van orde. De vaste commissie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer zou een zorgvuldig en pregnant geformuleerde opdracht formuleren, die vooral gericht was op strategische verkenning.

Op 20 december 1995 nam de Kamer dit voorstel aan. Nog op 20 december werd de Tijdelijke Commissie Klimaatverandering geconstitueerd.

Samenstelling van de tijdelijke commissie

Op voorstel van de desbetreffende fracties benoemde de voorzitter van de Kamer de volgende leden van de tijdelijke commissie: Dr. A. G. W. J. Lansink (CDA), mr. A. J. te Veldhuis (VVD), E. van Middelkoop (GPV), M. J. Augusteijn-Esser (D66), drs. F. J. M. Crone (PvdA) en M. Vos (GL) en als plaatsvervangende leden: mr. dr. J. T. van den Berg (SGP), S. Dijkema (PvdA), J. A. Jorritsma-van Oosten (D66), R. J. L. Poppe (SP), J. H. Klein Molekamp (VVD) en dr. J. G. M. Assen (CDA). Drs. A. J. B. Hubert werd door de Griffier van de Kamer als griffier van de commissie aangewezen.

In haar constituerend beraad op 20 december 1995 koos de tijdelijke commissie het lid Van Middelkoop tot voorzitter. Later werd het lid Crone als ondervoorzitter aangewezen.

Ondersteuning van de tijdelijke commissie

De tijdelijke commissie werd behalve door de griffier nog ondersteund door de stafmedewerkers drs. W. Fransen, ir. O. J. Kuik en drs. N. Th. L. Hogenhuis. Als adviseur op natuurwetenschappelijk gebied trad op Dr. A. P. van Ulden. De secretariële ondersteuning verleende R. H. Krom.

¹ Zie bijlage 3 voor een samenvattende beschouwing.

De tijdelijke commissie spreekt haar waardering uit voor hun grote inzet. Ook de samenwerking met andere diensten, zoals met de Bibliotheek, de Pers- en Tijdschriftendocumentatie, Interne Dienst, Bodedienst en tenslotte de Dienst Automatisering, heeft bijgedragen aan de totstandkoming van het rapport.

HOOFDSTUK II PROBLEEMSTELLING

In de brief van 12 december 1995 stelde de vaste commissie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer de volgende opdracht voor:

- *Het verkennen van en doen van onderzoeken naar de mogelijkheden het probleem van de klimaatverandering en van broeikas effecten te definiëren en daarbij te inventariseren welke oorzaken en gevolgen van de problematiek (en het Nederlandse aandeel hierin) worden genoemd.*
- *Het verkennen van en doen van onderzoeken naar de mogelijkheden beleidsdoelstellingen te formuleren, gericht op de aanpak van klimaatverandering- en broeikasproblematiek en het inventariseren van mogelijke instrumenten die gericht zijn op het beheersbaar maken van deze problematiek.*

Omdat er al veel onderzocht en gepubliceerd is, besloot de tijdelijke commissie de vraagstelling als volgt aan te passen:

- *Wat wordt verstaan onder klimaatverandering? Is het broeikas effect daaraan debet of mede debet? Zo ja: wat zijn dan de oorzaken en gevolgen? In hoeverre zijn de oorzaken van natuurlijk aard of oorsprong? Welke bijdrage is aan menselijk gedrag toe te schrijven? Wat is de Nederlandse bijdrage daarbij?*

Het doel van deze vraagstelling is het opvullen van de kennisleemten in de parlementaire discussie over dit onderwerp. In het bijzonder zal aandacht worden geschonken aan zekerheden en onzekerheden op het punt van oorzaken en gevolgen van klimaatveranderingen. De rapporten van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) vervullen een belangrijke rol bij het onderzoek, zowel op het punt van wetenschappelijk onderzoek als met betrekking tot de vraag in hoeverre zij voldoende basis bieden voor beleidsmatig verantwoorde conclusies.

- *Kunnen nationale en internationale beleidsdoelstellingen geformuleerd worden en is dat wenselijk om de eventuele klimaatverandering en broeikasproblematiek aan te pakken? Zo ja: welke beheersinstrumenten op nationaal en/of internationaal niveau zijn dan theoretisch en praktisch denkbaar, bruikbaar en uitvoerbaar om die beleidsdoelstellingen te bereiken? Een belangrijke vraag is daarbij hoe moet worden omgegaan met de onzekerheden ten aanzien van oorzaken en gevolgen van klimaatveranderingen.*

Het doel van dit onderdeel van de vraagstelling in het parlementaire onderzoek is het inzichtelijk willen maken van de elementen, die een rol (kunnen) spelen bij het maken van politieke keuzes en de mogelijke maatschappelijke gevolgen daarvan op nationaal en internationaal niveau.

Het was de commissie van het begin af aan duidelijk dat het potsierlijk (cq. te pretentief) zou zijn inhoudelijk «eigen» onderzoek te gaan doen op het gebied van klimaatverandering. Niet alleen is reeds buitengewoon veel onderzoek verricht in de hele wereld, niet in het minst in Nederland, ook is deze kennis gebundeld, geanalyseerd en tot beleidsadviezen vertaald door het IPCC, een organisatie onder auspiciën van de Verenigde Naties. Het IPCC bracht in december vorig jaar een tweede, geheel vernieuwd rapport uit over klimaatverandering. De conceptstukken daarvoor werden direct bij haar oprichting aan de commissie ter hand gesteld. De commissie is niet opgericht omdat er een gevoel bestond dat er gebrek was aan voldoende onderzoeksresultaten. Veeleer bestond het

vermoeden dat in politiek verband te weinigen zich deze onderzoeksresultaten eigen gemaakt konden hebben om tot verantwoorde opvattingen te komen over de oorzaken, gevolgen, risico's en onzekerheden en tenslotte te nemen maatregelen. Samen met de notie dat de vooral binnen de wetenschap gevoerde klimaatveranderingsdiscussie meer openbaar toegankelijk moest worden, kan hier de bestaansreden van de commissie gezocht worden.

De commissie is zich daarom allereerst gaan oriënteren op de inhoud en de aanbevelingen van het jongste IPCC-rapport. Daarvoor is veel documentatie verzameld (vooral in de vorm van wetenschappelijke en andere publikaties) maar zijn ook verkennende gesprekken gevoerd met kenners van het zogeheten IPCC-proces en vervolgens met deskundigen op diverse terreinen, uiteenlopend van klimatologie tot bestuurskunde, en met vertegenwoordigers van bedrijfsleven en maatschappelijke belangenorganisaties.¹ Daarmee is in kaart gebracht waar de problemen lagen, dus waar de commissie zich nader over zou moeten laten voorlichten. De analyse van de materie bracht de commissie er toe haar werk te splitsen in drie onderdelen:

I. Oorzaken en gevolgen klimaatverandering

II. Mogelijke (denkbare) beheersmaatregelen inzake oorzaken en gevolgen van klimaatverandering

III. Gewenste beheersmaatregelen inzake klimaatverandering, in nationaal, Europees en mondiaal opzicht

Aan elk van deze onderdelen werd in een reeks van hoorzittingen aandacht gegeven. De commissie heeft hiermee nadruk willen leggen op een behoorlijke begripsvorming met betrekking tot de natuurwetenschappelijke basis van de broeikasproblematiek en de technische en gedragswetenschappelijke gedachtenvorming over denkbare reacties inzake oorzaken dan wel gevolgen van die klimaatverandering. De kwaliteit van deze basis zou immers de mate van politieke aandacht voor de problematiek moeten rechtvaardigen. Daarom heeft de commissie gemeend er goed aan te doen met relatief veel deskundigen – generalisten zowel als specialisten – in besloten en/of openbare hoorzittingen in discussie te treden om het eerste en tweede van bovengenoemde thema's «oorzaken en gevolgen klimaatverandering» en «mogelijke (denkbare) beheersmaatregelen» af te tasten.

¹ In bijlage 1 is vermeld met wie de commissie gesprekken heeft gevoerd. Van de openbare hoorzittingen zijn woordelijke verslagen bij dit rapport gevoegd.

HOOFDSTUK III WERKWIJZE

§ 1. AARD VAN HET ONDERZOEK

Taak van het parlement¹: mede-wetgeving en controle op regeringsbeleid

Het onderzoek naar klimaatverandering was in tal van opzichten een bijzondere ervaring. Niettemin moet retrospectief de vraag worden beantwoord waarom de Kamer verkoos voor dit onderwerp te grijpen naar het relatief zware middel van een parlementair onderzoek door een Kamercommissie.

Bij de besluitvorming over het instellen van een parlementair onderzoek moet – naast het belang van de zaak de vraag gesteld worden of er een taak van het parlement is. De taak van het parlement is immers mede-wetgeving en controle op regeringsbeleid. Zaken die niet onder regeringsverantwoordelijkheid vallen en waar geen wetgeving is te voorzien, zullen niet makkelijk binnen deze afbakening vallen en zullen dan ook niet snel onderwerp van parlementair onderzoek zijn. Ook zaken waar een eigensoortige onderzoeksmethode voor bestaat, kunnen beter daaraan overgelaten worden: te denken valt aan strafrechtelijk onderzoek. Denkbaar is voorts dat voor bepaalde typen onderzoek gevoeglijk volstaan kan worden met de vraag aan de regering om iets te onderzoeken, een standpunt te bepalen en daarover aan de Kamer te rapporteren. In het kader van de normale parlementaire werkzaamheden kan dan het rapport, bijvoorbeeld een beleidsnota, besproken worden.

Parlementair onderzoek kan twee vormen aannemen: het kan worden uitbesteed aan een geschikte instelling of het kan in eigen beheer worden verricht. (Overigens: bij uitbesteding zal de betrokken vaste commissie wel de begeleiding moeten verzorgen – en bij eigen beheer zullen onderdelen van het werk uitbesteed kunnen worden.) In het bijzonder als men wil kiezen voor het verrichten van onderzoek in eigen beheer, moet in de staatkundige overweging betrokken worden of het antwoord op de te stellen vragen door een Kamercommissie en alleen door een Kamercommissie kan worden verkregen. Gaat het om een parlementaire enquête, dan is het antwoord vanzelfsprekend bevestigend.

Bij het instellen van de commissie moeten ook andere overwegingen hebben meegespeeld, die elders in dit rapport ter sprake zullen komen.

Toekomstgericht, niet betrokken op (vermeende) wantoestanden

Na 1848, toen enquêtes Grondwettelijk mogelijk werden, is al spoedig van dit middel gebruik gemaakt om bepaalde kwesties te bestuderen.

De eerste periode van gebruik van methoden van parlementair onderzoek, in het bijzonder van de parlementaire enquêtes, laat vooral een nogal toekomstgerichte houding zien, wellicht beter te beschrijven als onderzoeken in zaken waar de regering zich minder actief betoonde dan de Kamer lief was. Onderzoek naar gebeurtenissen in het verleden zijn eigenlijk pas begonnen met de naoorlogse enquête naar de Regeringsdaden in de Londense periode. Dit type onderzoek werd voortgezet in de tweede periode van intensief gebruik van het enquêterecht, beginnend in het vorige decennium.

Het onvolprezen naslagwerk van Pippel² meldt o.a. de verwerping van twee enquêtes naar de aanbesteding en levering van muntplaatjes voor de koperen pasmunt in Nederlandsch Indië, van een enquête betreffende verkiezingen in Limburg, van een enquête naar decoratieverleningen in

¹ Waar in dit stuk de term «parlement» wordt gebruikt, is uitsluitend de Tweede Kamer bedoeld.

² Het Reglement van Orde van de Tweede Kamer der Staten-Generaal, zijn geschiedenis en toepassing, door J.G. Pippel, derde en vermeerde druk, SDU 1950.

1903 en 1905 en van een enquête naar de «zaak Oss». In het verdere verleden zijn de volgende enquêtes gehouden:

- 1852 accijns op het zout 1855 uitvoering van de concessie tot landaanwinning en verdieping van het vaarwater op het Zwolse diep
- 1858 de toestand van de Maas en de Zuid-Willemsvaart
- 1861 de zeemacht die Nederland behoeft
- 1873 de Nederlandse Koopvaardijvloot
- 1876 de besmettelijke longziekte onder het rundvee
- 1880 de exploitatie der Nederlandse spoorwegen
- 1886 de toestand van fabrieken en werkplaatsen¹
- 1947 het Londense Regeringsbeleid.

Pas in het laatste decennium is weer met regelmaat naar het enquête-wapen gegrepen, met de reeks RSV, Bouwsubsidies, Paspoorten, Uitvoeringsorganen sociale zekeheid en Opsporingsmethoden. Daarnaast werd veel parlementair onderzoek in commissieverband verricht zonder de enquêtebevoegdheid aan te vragen.

Het onderhavige onderzoek heeft veel gemeen met het oorspronkelijke gebruik van het enquêterecht: toekomstgericht en niet gericht op het onderzoek naar (vermeende) feilen of falen van de Regering in het verleden of heden. Immers, het initiatief tot een parlementair onderzoek naar klimaatverandering vloeide niet voort uit de klacht dat de regering te laks was. De uitvoerige Nota klimaatverandering (Kamerstuk 22 232) is van betrekkelijk recente datum (1991) en is intensief besproken in de Kamer – en bij instelling van de commissie was reeds bekend dat de regering in 1996 een Vervolgnota Klimaatverandering zou uitbrengen

Niet accusatoir en vergelijkbaar met de enquêtes uit de negentiende eeuw

De Tijdelijke Commissie Klimaatverandering prijst zich gelukkig dat van meet af aan duidelijk was dat zij niet hoefde te werken onder de druk van het «zoeken naar de schuldige». Haar doel was veeleer vast te stellen wat er aan de hand was op een bepaald terrein, dat voor de Kamer nogal onoverzichtelijk was. Het ging bovendien om politiek/bestuurlijke kwesties met een ongewoon lange tijdshorizon van een eeuw of meer, met gecompliceerde natuurwetenschappelijke aspecten, en met oorzaken en gevolgen die zich uitstrekken over de gehele planeet (inclusief Nederland zodat er ook voor het Nederlandse parlement een taak lag).

Studies van deze aard (soort contra-expertise, of nogal technisch)² plegen zich in het bijzonder te lenen voor uitbesteding. In dit geval was daar geen enkele aanleiding voor: wetenschappelijk materiaal was er reeds in overvloed. Ook aan de «vertaling» van dit wetenschappelijk materiaal ten behoeve van degenen die de politieke en bestuurlijke beslissingen moeten nemen inzake mogelijke klimaatveranderingen, was reeds aandacht gegeven. Dat toch voor instelling van een Kamercommissie werd besloten, had mede als reden dat de Kamer unieke mogelijkheden heeft om een onderwerp in alle openheid te behandelen en aldus te demonstreren op welke wijze verantwoordelijkheid genomen wordt voor keuzen en voor het maken van keuzen op basis van verworven inzicht, welk inzicht op zodanige wijze is verworven dat iedereen erin kan delen. Hierbij lijkt aansluiting gevonden te zijn bij een oude parlementaire traditie, die ook reeds te vinden was bij onderzoeken als dat van de subcommissie Kinderbescherming (Jeugdhulpverlening) (Kamerstuk 21 818), het onderzoek van de subcommissie Bijstand (Kamerstuk 23 195) en dat van de subcommissie onderzoek Besluitvorming volksgezondheid (Kamerstuk 22 666), waarbij het ook oplossingsgerichte werkzaamheden

¹ Hieruit kwam het zgn. Kinderwetje van Van Houten voort.

² Bijvoorbeeld recent betreffende de uitbreiding van Schiphol, de Betuwelijn, de Hoge Snelheidslijn.

betrof waar het beleid en de toekomstige samenleving iets aan kan hebben en niet zozeer accusatoir onderzoek werd ingesteld naar de verantwoordelijkheden voor wat politiek/bestuurlijk misgelopen was (en, natuurlijk, hoe het beter kan ...).

Wijze van besluitvorming over het instellen van onderzoekscommissies (en opdragen van extern onderzoek); begroting, bestaffing en faciliteiten

De bovenstaande beschouwingen geven aanleiding een aantal opmerkingen te maken over wat van belang is bij het maken van de afwegingen die de Kamer en het Presidium nog vele malen zullen moeten maken, telkens als enige vorm van parlementair onderzoek wordt voorgesteld. Het geschetste eigen karakter van dit commissie-onderzoek, zich onderscheidend van de meer accusatoir gerichte parlementaire onderzoeken van de laatste decennia, is meer dan eens als experimenteel aangeduid. Dat verplicht thans tot een begin van reflectie op de eigen werkzaamheden, met als oogmerk leereffecten aan de Kamer mee te delen. Het fenomeen «parlementair onderzoek» mag zich immers verheugen in een groeiende belangstelling. Dat vergt zorgvuldigheid van de zijde van de Kamer bij het maken van afwegingen. Het verdient ook aanbeveling als de leden die overwegen zo'n voorstel te doen, die afweging eerst voor zichzelf maken.

Aandachtspunten voor de voorafgaande afweging zijn o.a.:

1. Behoort het onderwerp tot het parlementaire werkterrein, met andere woorden, kunnen de resultaten worden betrokken bij de primaire taken van het parlement, te weten: medewetgeving en controle van regeringsbeleid?

2. Is het onderzoeksobject nauwkeurig beschreven en zijn de onderzoeksvragen exact geformuleerd?

3. Moet en kan alléén het parlement het onderzoek verrichten of kan de regering beter gevraagd worden dat te (laten) doen en daarover, met (of eventueel zonder) een standpunt, aan de Kamer te rapporteren?

4. Kan het onderzoek worden uitbesteed (met begeleiding door een commissie) of moet en kan het in eigen beheer worden gedaan?

5. Moet voor onderzoek in eigen beheer een tijdelijke Kamercommissie worden ingesteld of kan een bestaande commissie het onderzoek doen?

6. Welke lasten brengt het onderzoek met zich mee niet alleen in geld uitgedrukt, maar als het om onderzoek in eigen beheer gaat, vooral in tijdsbeslag op een aantal leden en dus op hun fracties, en ook op het eigen ambtelijk apparaat en de parlementaire faciliteiten. Zijn alle alternatieven overwogen?

7. Is er een aanvaardbare verhouding tussen de moeite en lasten van het onderzoek en de uitkomst daarvan? Is de keuze effectief, doelmatig en onvermijdelijk, en is de kosten/batenverhouding redelijk?

8. Hoe moet de commissie worden samengesteld: wel of juist niet fractiespecialisten/woordvoerders; selectie op enige deskundigheid op het betrokken terrein etc.?

Van de mogelijkheden die er zijn (onderzoek door een bestaande commissie, uitbesteding door een bestaande commissie en instelling van een tijdelijke commissie) behoeft alleen de laatstgenoemde een besluit

van de Kamer. De andere methoden vergen alleen instemming van het Presidium voor zover er kosten gemaakt moeten worden ten laste van de Kamerbegroting. Meestal, maar niet altijd, heeft een werkgroep uit de meestbetrokken commissie(s) zich gebogen over het onderzoeksvorstel. Er is echter geen vaste systematiek voor de oordeelsvorming van Presidium of Kamer. Denkbaar zou zijn dat een voorstel aan de Kamer als bovenbedoeld, reglementair voorzien zou zijn van een Presidiumadvies over de bovenstaande 8 punten (min of meer vergelijkbaar met het Rijksuitgaven-advies in de nieuwe Grote Projecten-procedure), terwijl het Presidium voor zichzelf kan bepalen dat het die punten als checklist zal hanteren bij de beslissing of geld uitgetrokken wordt voor een onderzoek.

§ 2. EXPERIMENTEEL KARAKTER EN NIEUWE VORMEN

Het onderzoek naar klimaatverandering is ook een bijzondere ervaring geweest omdat bij de overwegingen die geleid hebben tot instelling van de tijdelijke commissie, tevens is overwogen dat het onderwerp zich wellicht zou lenen voor het zoeken naar nieuwe vormen en voor wat voorzichtige experimenten. De commissie heeft wat dit betreft behoefte aan enige beschouwingen.

Dialogoog wetenschap/politiek/samenleving

Het is zeer wel mogelijk gebleken een rechtstreekse dialoog te laten ontstaan tussen wetenschap en politiek, over een vraagstuk van grote maatschappelijke betekenis. Het gebeurt niet vaak dat de politiek ten rade gaat bij de natuurwetenschappen. En het gebeurt niet vaak dat de natuurwetenschappen geconfronteerd worden met een pakket kennis dat rechtstreeks aanleiding kan geven tot majeure politiek/bestuurlijke beslissingen. Bij dit onderzoek is dit gebeurd voor een onderwerp waarbij beslist moet worden voor zeer lange termijnen en in een sfeer van enerzijds onzekerheid en anderzijds het besef dat grote risico's niet ondenkbeeldig zijn. De gevolgen van welke beslissing dan ook, waaronder niets beslissen, zijn zeer groot voor de samenleving, en soms onomkeerbaar. De wetenschap kan de politiek hierbij nuttige adviezen op concrete vraagpunten geven.

De commissie kan zich voorstellen dat meer onderwerpen van ogenschijnlijk zuiver of theoretisch aard op deze wijze aandacht krijgen in de toekomst. Te denken valt aan aangelegenheden waarbij te voorzien is dat regering en parlement op termijn moeilijke beslissingen moeten nemen, waarvoor dan een maatschappelijk draagvlak ontbreekt vanwege onvoldoende begrip van het onderwerp.

Het bovenstaande is aanleiding geweest voor een aparte oriëntatie op de wijze waarop kennis kan worden ontlokt aan experts (elicitatie). In opdracht van de commissie is een beschouwing hierover nader uitgewerkt en als bijlage bij dit rapport opgenomen.¹

Op maatschappelijke agenda plaatsen van een onderwerp

Door de instelling van de commissie, maar vooral met de openbare hoorzittingen is de publieke aandacht voor het onderwerp klimaatverandering gestimuleerd. Niettemin acht de commissie het niet tot de primaire taak of doelstelling van parlementair onderzoek zulke stimulansen te geven. De commissie heeft bij de vormgeving van haar werkzaamheden gekozen voor een zo zorgvuldig mogelijk gecomposeerde wijze van informatieverzameling in zo groot mogelijke openbaarheid. De commissie heeft bovendien veel aandacht gegeven aan het geheel en de structuur van de openbare hoorzittingen. Het oogmerk daarvan was mede om belangstellende burgers en maatschappelijke

¹ Zie bijlage 2 voor de studie van Dr. J. van Lenthe van de Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieukunde van de Rijksuniversiteit Groningen.

organisaties in de gelegenheid te stellen inzicht te verkrijgen in de wijze waarop de commissie haar materiaal verzamelde.

Het op deze wijze politiek agenderen van het milieuvraagstuk klimaatverandering kan, zo meende de commissie, stimulansen opleveren voor een brede maatschappelijke discussie. Het organiseren van het publieke debat is evenwel allereerst een verantwoordelijkheid van betrokken maatschappelijke organisaties en burgers.

Docerende hoorzittingen, zelfstandige waarde van de bijlagen

De commissie prijst zich gelukkig dat zij voldoende Nederlandse deskundigen heeft aangetroffen om op korte termijn een zeer gedegen en voldoende aspecten omvattende reeks hoorzittingen heeft kunnen beleggen waarin alle aspecten van het probleem diepgaand kon worden uiteengezet en besproken kon worden. Nadrukkelijk heeft de commissie aan een aantal ook internationaal geïntereerde wetenschappers de vraag voorgelegd of het vrijwel uitsluitend horen van Nederlandse deskundigen voldoende was voor het verkrijgen van een hoogwaardig en vooral representatief beeld van de heersende wetenschappelijke inzichten in het klimaatonderzoek. De antwoorden waren telkenmale bevestigend.

De gehoorde is steeds gevraagd aan de hand van een precieze «instructie (met concreet toegespitste vragen)» een docerende inleiding te geven van een half uur, waarna nog een uur discussie volgde met de commissie. Mede doordat met bijna alle gehoorde een besloten gesprek was voorafgegaan aan de openbare hoorzitting, wisten de leden en de gehoorde wat in het gesprek van belang was. Doordat niet tot verdere gespreksvoorbereiding was besloten (dus geen geprepareerde vragenlijsten of interne verdeling van afgesproken deelonderwerpen) bleven de hoorzittingen levendig en spontaan zonder iets aan inhoud te verliezen, met actieve deelname van steeds alle commissieleden.

Met deze «academische» werkwijze (althans in de eerste twee rondes van de hoorzittingen), gecombineerd met de meer traditionele afsluitende hoorzittingen met vertegenwoordigers vanuit het bedrijfsleven en organisaties van belangenbehartigers, is een praktische en toegankelijke «Leergang Klimaatverandering» ontstaan, in de vorm van de hierbij als bijlagen toegevoegde stenogrammen van de hoorzittingen. De commissie vertrouwt er op dat deze bundel teksten van de hoorzittingen van blijvende waarde zal zijn, ook buiten het Binnenhof, waar de bijdragen van de (natuur)wetenschappers natuurlijk allereerst voor bedoeld was. Grote dank is verschuldigd aan alle gehoorde, ook degenen die alleen in beslotenheid gehoord zijn, voor het vele werk dat zij besteed hebben aan hun voorbereiding op de hoorzittingen, voor de colleges die zij ter inleiding gaven en voor de wijze waarop zij de vragen van de commissieleden hebben beantwoord.

Werken met resoluties, niet alleen rapporteren maar ook zelf voorstellen doen

Gewoonlijk besluit een onderzoekscommissie haar werkzaamheden met een rapport aan de Kamer. Veelal wordt zo'n stuk dan in handen gesteld van een ander orgaan – van de Kamer zelf via het Presidium, of van een vaste commissie. Er worden door die andere commissie hoorzittingen belegd, lijsten van vragen geformuleerd, overleggen gevoerd, etc. In het debat (één debat van de Kamer met de commissie en één van de Kamer met de Regering) worden desgewenst moties voorgesteld en aangenomen.

Een enkele keer gaat het iets anders: de commissie doet meer dan het uitbrengen van een rapport. Zo eindigde de Commissie Deetman met het aanduiden van vraagpunten op staatsrechtelijk en bestuurlijk gebied. De Enquêtecommissie Opsporingsmethoden is nog directer: in haar brief 24 072 nr. 25 legt die commissie haar bevindingen ter besluitvorming voor aan de Kamer in de vorm van een lijst van beslispunten. Die lijst is door de Kamer behandeld, waarbij zogenaamde amenderende moties zijn ingediend.

In haar voortgangsbericht (24 695, nr. 1) heeft de commissie wat gefilosofeerd over een experimenteel denkbare ander vorm, die zich wellicht meer leent voor de afsluiting van het werk van een commissie als de Tijdelijke Commissie Klimaatverandering: «resoluties» voorgesteld door de commissie. Deze resoluties kunnen de traditionele motie-vorm hebben, maar zijn als het ware amendeerbaar. Daarmee lijken zij op de uitspraken van b.v. het Europese Parlement. De vorm komt in het Reglement van Orde (nog) niet voor, maar is ook niet uitgesloten. Als géén lid zich verzet kan altijd afgeweken worden van het Reglement van Orde. De commissie stelde voor een experiment te doen met zulke resoluties.

Bij het opstellen en vaststellen van het rapport heeft de commissie echter moeten constateren dat de aard en omvang van haar bevindingen zich nauwelijks leenden voor verwerking in deze resolutievorm. Daarmee zou het experiment een te gekunsteld karakter gekregen hebben, zodat de commissie tot haar spijt er vanaf gezien heeft. Zij hoopt dat latere onderzoekscommissies toch hun voordeel kunnen doen met deze gedachte.

Samenloop met kabinetsnota's

Hoewel, zoals eerder opgemerkt, de commissie niet was ingesteld om concreet falen of feilen van overheidsbeleid te onderzoeken, heeft zij haar werk zeker niet in een politiek vacuüm verricht. Het tegendeel was het geval. Zo was bekend dat het kabinet had toegezegd in het eerste halfjaar van 1996 de Vervolgnota Klimaatbeleid aan de Kamer aan te bieden. Dat vond tenslotte plaats op een moment dat de commissie zich intensief bezig hield met de concluderende fase van haar rapport. Hoewel de commissie derhalve kennis kon nemen van het voorgenomen kabinetsbeleid terzake vóórdat zij zelf haar rapport publiceerde, heeft zij welbewust afgezien van het geven van een inhoudelijke reactie op dit nieuwe regeringsstuk. Zulks is de taak van de Kamer, die daarbij het autonome onderzoek van de commissie kan benutten. Veel complicerender was dat tijdens het werk van de commissie de Kamer een nota-overleg heeft gevoerd (1 april 1996) over de Derde Energienota (24 525) en de notitie Hoofdlijnen Vervolgnota Klimaatonderzoek (22 232, nr. 14). Er was immers te verwachten dat de commissie bevindingen zou rapporteren die rechtstreeks zouden raken aan de uitkomst van de behandeling in de Kamer van deze Nota's. Het gevaar was niet denkbeeldig dat belangrijke delen van de bevindingen van de commissie als mosterd na de maaltijd zouden komen. Zulks is voorkomen door aanvaarding van de motie-Van Middelkoop c.s. (24 525, nr. 24) waarvan het dictum luidt:

«dat in het overleg dat de Kamer nog met de regering zal voeren over de Vervolgnota Klimaatverandering bij het vaststellen van de doelstellingen met betrekking tot CO₂-emissiebeperving ook het energiebeleid, zo nodig, opnieuw aan de orde kan worden gesteld.»

§ 3. INRICHTING VAN HET WERK

Werkdruk voor de leden

De commissie schroomt niet thans ter sprake te brengen dat de werkdruk voor leden die betrokken zijn bij parlementair onderzoek, hoog kan zijn. Ook voor de Kamer als geheel kan de werkdruk door onderzoek heel hoog worden als teveel onderzoek gelijktijdig gedaan wordt. Dit kan een probleem worden niet alleen voor de kleinere fracties, waar werk blijft liggen, maar ook voor de grotere, waar het werk over de overige leden verdeeld moet worden. Hieronder zal de commissie nog overwegingen geven ten aanzien van de personele, budgettaire, materiële en facilitaire knelpunten en afwegingen. Het tijdsbeslag dat voor de leden gemoeid is met onderzoek zal echter ook een meer prominente rol moeten gaan spelen bij de afweging of onderzoek geboden is en hoe onderzocht moet worden. De hoofdtaken van het dagelijkse parlementaire werk, medewetgeving en (gewone) controle op regeringsbeleid, zullen nooit in het gedrang mogen komen door een overvloed aan bijzondere en specialistische onderzoeksactiviteiten.

Zelfs een ogenschijnlijk relatief weinig ingrijpend onderzoek als dat naar klimaatverandering vergde dat de leden gedurende zes maanden meer dan de helft van hun tijd moesten besteden aan het werken in deze commissie, en soms weken lang al hun tijd. De ingewikkeldheid van de materie veroorzaakte dit. De leden die bezet zijn door onderzoekswerk, lopen al snel het risico ervaringen kennisachterstand op te doen bij het werk waar zij zich normaal mee bezig hielden en waar zij weer mee voortgaan na het lidmaatschap van een onderzoekscommissie. Dat onderzoekswerk moet voldoende dringend, nuttig of interessant zijn om op te kunnen wegen tegen deze nadelen.

De ervaringen zijn relevant om voor de toekomst dit probleem bespreekbaar te maken.

Begroting, omvang, besluitvaardigheid

Zoals hiervoor is aangeduid, verdient het de voorkeur als ten tijde van het besluit over het al dan niet instellen van onderzoek reeds een begroting kan worden vastgesteld. Het ontwerp daarvoor kan het beste gemaakt worden door een werkgroep die het onderzoeksvoorstel voorbereidt. De Kamer (het Presidium) kan dit gegeven dan betrekken bij de overweging of het nut van het onderzoek opweegt tegen de kosten en moeite daarvan. Het bedrag van thans f 1 mln. dat jaarlijks op de Kamerbegroting gereserveerd is, kan weliswaar volgens afspraak met de regering nooit beschouwd worden als absolute limiet voor de hoeveelheid en omvang van parlementair onderzoek, maar die afspraak geeft ook geen vrijbrief voor het ongelimiteerd doen van uitgaven ten laste van die begrotingspost.

Zeker als het onderzoek op korte termijn moet zijn afgerond, moet voorts slagvaardig omgegaan kunnen worden met begrotingswijzigingen. De voortgang van het werk kan niet stagneren omdat er niet tijdig beslist wordt op verzoeken om begrotingswijzigingen. Een meer adequate vorm van besluitvorming hiervoor is het overwegen waard.

In het onderhavige geval heeft de commissie pas een begrotingsvoorstel kunnen maken nadat zij reeds met haar werkzaamheden was begonnen. Lopende het onderzoek bleek behoefte aan het inhuren van nog enige additionele expertise. De goedkeuring van de oorspronkelijke begroting en de goedkeuring van de additionele begroting verliep zodanig

dat feitelijk met het aantrekken van menskracht vooruitgelopen is op de formele begrotingsvaststelling. De commissie betreurt dat, maar is ook van mening dat deze gang van zaken met goede wil voorkomen had kunnen worden.

Bestaffing, waarvandaan

De commissiestaf in eigenlijke zin bestond uit een griffier, een stafmedewerker van de commissiebureaus, een voor enkele maanden in deeltijd gedetacheerd medewerker van het KNMI (V&W), een op contract ingehuurde medewerker van het VU-Instituut voor Milieuvraagstukken en een uit de afdeling Archiefzaken gedetacheerde administratieve medewerker. Daarnaast traden nog een medewerker van het KNMI en een medewerker van het VU-instituut op als adviseur van de commissie. Daarmee is de bestaffing van de commissie van een zeer bescheiden omvang gebleven, evenals de daaruit voortvloeiende uitgaven. De griffier en de stafmedewerker waren niet vrijgesteld van hun reguliere functie. Vanuit kosten oogpunt verdient detachering vanuit de Rijksdienst duidelijk voorkeur boven de inhuur vanuit universitaire instellingen of andere adviesbureaus c.q. het uitbesteden van onderzoeksopdrachten op deelgebieden. Bij de detachering vanuit de Rijksdienst is het nodig gebleken nauwkeurig te regelen dat de gedetacheerde uitsluitend rapporteert aan en onder gezag werkt van de (griffier van de) commissie.

De commissie heeft het gevoel dat het welkom zou zijn geweest als al het toegevoegd personeel niet in deeltijd maar geheel ten dienste had kunnen staan van het onderzoek, waarbij onder ogen moet worden gezien dat het reguliere werk (ook verricht t.b.v. de Kamer!) blijvend uitgevoerd moet worden, door tijdelijke vervanging of herschikking van capaciteit. Hier kan een capaciteitsprobleem ontstaan dat een natuurlijke limiet vormt voor de hoeveelheid onderzoekswerk die de Kamer gelijktijdig kan ondernemen.

Werkruimte, voor verbetering vatbaar

De commissiestaf is gehuisvest geweest in de Van Someren-Downerzaal, die ook als vergaderruimte van de commissie diende voor de tientallen besloten gesprekken en de vele, soms langdurige, interne (procedure)vergaderingen. Vergaderzalen als deze zijn voor dit doel ongeschikt. Als arbeidsruimte voldoen zij niet (geen goede ventilatie, geen daglichttoetreding, lastig om in een ruimte te werken met meer mensen, werken niet mogelijk tijdens de commissiegesprekken en vergaderingen).

De inrichting van deze zaal ten behoeve van werkplekken moet een kostbare aangelegenheid zijn geweest: naast de meubilering moest voorzien worden in allerlei apparatuur en een omvangrijk netwerk van telefoon- en computerverbindingen. Het werk van de commissiestaf leed in de eerste maanden van het onderzoek aan gebrekkige voorzieningen op het gebied van automatisering en (communicatie)apparatuur.

De commissie vestigt de aandacht op de aanbevelingen inzake vaste organisatorische en facilitaire voorzieningen ten behoeve van incidenteel onderzoek, die gedaan zijn door de laatste twee Enquêtecommissies en enkele onderzoekscommissies. De tijd lijkt voorbij te zijn dat volstaan kan worden met incidentele oplossingen voor een bijna permanente onderzoeksbehoefte van de Kamer.

Verslaglegging

De Stenografische Dienst heeft van alle openbare hoorzittingen

woordelijk verslag (laten) maken, en van de meeste besloten gesprekken zijn verkorte verslagen gemaakt, deels in het Engels. Doordat er zoveel onderzoek gelijktijdig liep en doordat het in de laatste maand voor het zomerreces toch al heel druk is voor de dienst, moesten externe stenografie-bureaus worden aangetrokken om enkele dagen van de hoorzittingen te verslaan. Deze extra belasting zou gezien kunnen worden in het kader van het oplossen van de eerder genoemde capaciteitsproblemen.

Ongebruikelijk was dat velen van de gehoorde gebruik maakten van overheadprojectie van tabellen, grafieken, prenten en teksten. Dit maakte de verslaglegging abnormaal gecompliceerd. Uit de bijlagen met de stenogrammen van de hoorzittingen blijkt hoe dit opgelost kon worden. De commissie wil haar waardering uitspreken voor de stenografen die aan deze verslagen gewerkt hebben, en wil daarbij de heer A.J. Hofstede, coördinator voor dit werk, niet ongenoemd laten.

§ 4. INTERNET

In haar brief van 23 april jl., het voortgangsbericht van de commissie, was het volgende vermeld:

«De aansluiting van de Kamer op Internet is in voorbereiding. Vooruitlopend op het ingebruiknemen van het hele systeem voor de Kamer, kan experimenteel iets voor de Tijdelijke Commissie Klimaatverandering worden opgezet, voornamelijk bedoeld om de stenogrammen van de openbare hoorzittingen en de door gehoorde getoonde beelden (bijvoorbeeld sheets van de overheadprojector) elektronisch ter beschikking te stellen, samen met wat andere gegevens zoals samenstelling van de commissie, data van de hoorzittingen en – te zijner tijd – het rapport etc. Dat gebruik van Internet heeft geen gevolgen voor de normaal gebruikelijke gang van zaken bij een commissie. Met name is de thans beschikbare tijd en menskracht onvoldoende om tweezijdige communicatie over de elektronische snelweg mogelijk te maken. Er is ook geen begrotingsbeslag mee gemoeid.»

Het is goeddeels bij dit vooruitzicht gebleven. De commissie prijst de Kamer gelukkig dat er een werkend experiment is geweest dat de Kamer zelf behoeden kan voor alle ondervonden kinderziekten. Er is veel tijd aan besteed door in- en externe automatiseringswerkers en vooral door de administratieve kracht van de commissie, zonder dat de commissie het beoogde effect heeft kunnen bereiken. De WEB-site van de commissie is blijven steken in het stadium van onbeholpen maar goedbedoelde pogingen de nieuwe media effectief te gebruiken. Niettemin laat het zich aanzien dat ook de Kamer ooit veel profijt zal hebben van deze communicatie voorlichtingsvorm.

Postfunctie

Het werken met E-mail, elektronische post, is goed bevallen, vooral omdat de meeste van de contacten van de commissie natuurwetenschappers en hun instellingen – het werken met elektronische post al routinematig verwerkt hebben in hun bedrijfsvoering. Deze vorm van berichtgeving is snel, efficiënt en kosteneffectief in het bijzonder voor het internationale berichtenverkeer. Ook voor de kiezer met deze faciliteit bleek het een hele uitkomst dat de commissie over Internetaansluitingen met een e-mail adres beschikte.

Publicatiemiddel

Er is geprobeerd de verslagen van de hoorzittingen snel op Internet beschikbaar te krijgen opdat belangstellenden die konden raadplegen. Helaas was de WEB-site pas zeer laat en daarna nog maar af en toe, te raadplegen, en helaas was het niet altijd mogelijk de verslagen direct nadat zij ter beschikking waren, ook op te nemen op de WEB-site. Voor zover het wel goed ging, was het prettig en effectief belangstellenden naar Internet te verwijzen. Ondanks alle problemen heeft dit veel papier en moeite kunnen besparen en heeft m.n. de journalistiek en de wetenschap zijn voordeel kunnen doen met het nieuwe medium. De reacties waren in het algemeen ondanks de beschreven problemen – positief.

HOOFDSTUK IV BESCHRIJVINGEN (EN TAXATIES)

§ 1. Status van deze beschrijvende delen van het rapport.

In dit hoofdstuk zal worden uiteengezet wat de commissie te weten is gekomen over het onderwerp van haar onderzoek. Pas in het volgende hoofdstuk zullen conclusies aan de orde komen. Benadrukt moet worden dat dit beschrijvende deel van het rapport géén vaststelling van feiten is. Zulk een vaststelling van wat waar of niet waar is, moet overgelaten worden aan de wetenschappelijke discussies en is geen taak van politici of van een politiek orgaan. Dat zou verpolitiekte wetenschap opleveren en zou zonder waarde zijn in natuurwetenschappelijke zin.

De beschrijvende delen van dit rapport zijn een weergave van wat de commissie heeft vernomen, althans van dat deel dat de commissie het vermelden waard vindt. De vermelding, de beschrijving, van opvattingen en opinies houdt geenszins een waardeoordeel in en betekent evenmin dat zulke opvattingen of opinies door de commissie (of door een dan wel elk der leden) onderschreven en overgenomen wordt. Het omgekeerde geldt evenmin. Voor deze terughoudendheid is te meer aanleiding waar een niet onaanzienlijke groep natuurwetenschappers vraagtekens zet bij zowel de analyse van het fysische klimaatproces als bij de gebruikte klimaatmodellen, terwijl nagenoeg alle deskundige wezen op bestaande onzekerheden en lacunes in de kennis van klimaatsystemen. Van een Kamercommissie kan niet gevergd worden uitspraken te doen over natuurwetenschappelijke vraagstukken; evenmin kan zij daarover aan de Kamer voorstellen doen.

Zonder alles te onderschrijven, kan en moet toch politiek gekozen worden en zal in dit hoofdstuk ook unaniem gekozen worden voor een politieke beleidslijn. Dat geschiedt bij de overgang van de beschouwingen over een mogelijke klimaatverandering naar bespreking van het vraagstuk wat te doet valt indien zich een klimaatverandering zou gaan voordoen. Men zou zelfs kunnen stellen dat dit een essentiële functie is van politiek: het mechanisme bieden om tot keuzen te komen in die gevallen waarin de feiten en omstandigheden niet leiden tot een vanzelfsprekende en onomstreden conclusie. Kennis omtrent imponderabilia kan dan wel de politieke besluitvorming helpen, maar de keuze die gemaakt wordt blijft gebaseerd op inschattingen die zich onttrekken aan strikt rationele argumenten. Was het anders, dan was er geen politieke keuze nodig geweest en had het bestuur de zaak gemakshalve aan de deskundigen kunnen overlaten.

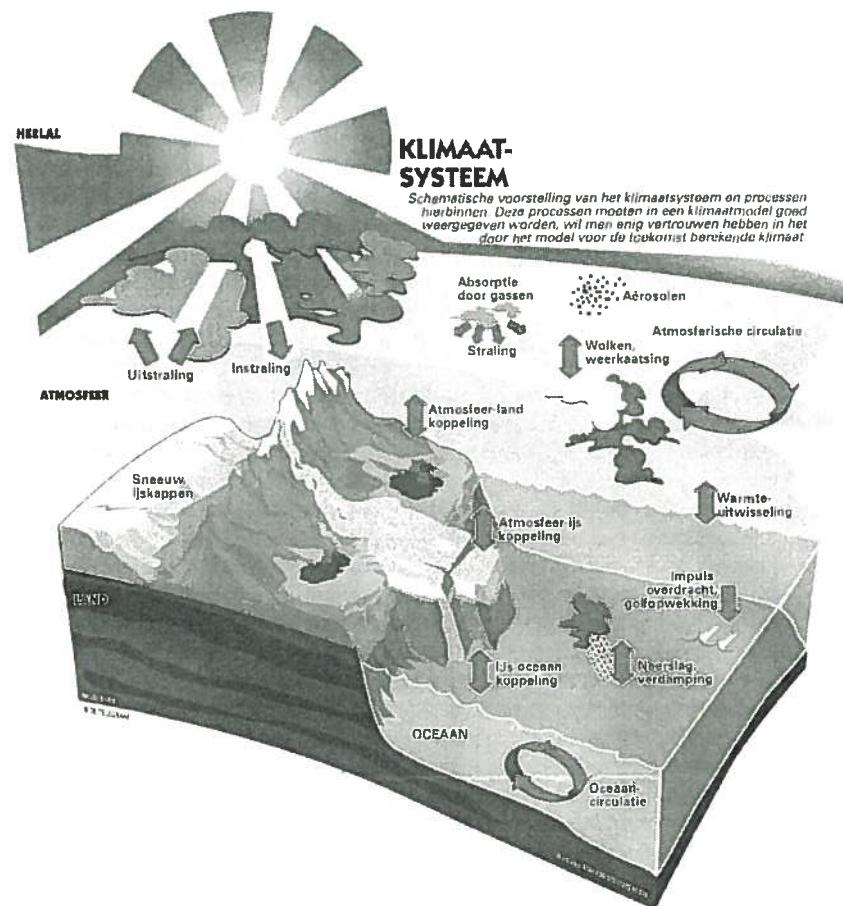
In dit hoofdstuk wordt hierna allereerst in § 2. een schets gegeven van de klimaatfysica. Daarna volgt in § 3. een gedetailleerde uitwerking, aan de hand van tal van deelvragen, van de fysische oorzaken van een klimaatverandering en de gevolgen voor mens en natuur van zo'n klimaatverandering waarna in § 4 het IPPC-proces wordt besproken. In § 5., «De ernst van de broeikasproblematiek: definities, bevindingen en taxatie» (met als Annex de Nederlandse bijdrage) volgt de overgang naar het tweede beschrijvende deel van dit hoofdstuk: § 6., de mogelijke (denkbare) maatregelen die genomen kunnen worden om de oorzaken en/of de gevolgen van een klimaatverandering te beheersen.

Conclusies zullen pas getrokken worden in Hoofdstuk V, waarin ook de beoordeling is opgenomen van de maatregelen die hierna in § 5. worden genoemd.

§ 2. Een schets van de klimaatproblematiek ¹

Klimaat als milieufactor

Het leven op aarde bestaat bij de gratie van de beschikbaarheid van voedingsstoffen, water en warmte. Zo wordt de plantengroei in een bepaalde streek op aarde in hoge mate bepaald door de karakteristieken van het weer in die streek. Vooral zonneschijn, temperatuur en neerslag zijn daarbij van belang. De karakteristieken van het weer in een bepaalde streek bepalen het regionale klimaat. In gebieden met weinig neerslag heerst een woestijnklimaat, waarin maar weinig plantengroei kan optreden. In Nederland heerst een zeeklimaat door het frequent voorkomen van westelijke winden. Dit zeeklimaat wordt gekenmerkt door gematigde temperaturen en regelmatig vallende neerslag. Dit is gunstig voor flora en fauna. Het klimaat varieert dus sterk met de plaats op aarde en hetzelfde is het geval met het voorkomen van planten en dieren. Dit betekent dat het klimaat in al zijn verscheidenheid een belangrijke milieufactor vormt voor het leven op aarde. Uit het bovenstaande volgt dat het mondiale klimaat in feite niet één klimaat is, maar eerder een verzameling van zeer verschillende regionale klimaten. Bovendien kan het klimaat niet worden losgezien van andere omgevingsfactoren. Daarom wordt de klimaatproblematiek meestal beschouwd in de context van het klimaatsysteem.



Figuur 1. Schets van het klimaatsysteem. Bron: De Telegraaf.

¹ Een inleiding tot de natuurwetenschappelijke aspecten van de klimaatproblematiek is tijdens de openbare hoorzittingen gepresenteerd door dr G. J. Komen.

Het klimaatsysteem

Er zijn vele factoren die de klimaten op aarde bepalen (figuur 1). Een van de belangrijkste factoren is de zon. De zon zendt straling uit naar de aarde, waardoor de aarde op temperatuur wordt gehouden. Rond de evenaar staat de zon hoog aan de hemel, zodat daar veel warmte wordt ontvangen. De poolstreken ontvangen maar weinig zonnewarmte. Hierdoor ontstaan er grote temperatuurverschillen tussen de tropen en de poolstreken. Tussen continenten en oceanen zijn eveneens temperatuurverschillen. Stromingen in de oceanen en in de atmosfeer transporteren warmte van de tropen naar de poolstreken en koude van de poolstreken naar de tropen. Luchtstromingen zorgen ook voor uitwisseling van warmte tussen continenten en oceanen. Dit alles maakt dat circulaties in atmosfeer en oceaan een belangrijke rol spelen bij het tot stand komen van regionale klimaten. Meer factoren spelen een rol bij het bepalen van de klimaten op aarde. Zo kaatsen sneeuw en ijs zonlicht terug naar het heelal, waardoor de aarde minder zonnewarmte ontvangt. Wolken hebben een grote invloed op het klimaat, niet alleen door het produceren van neerslag, maar ook door hun rol in de warmtehuishouding van de aarde vooral door het reflecteren van zonlicht. Voorts bevat de atmosfeer kleine deeltjes (= aërosolen), die afkomstig zijn van het aardoppervlak en van het binnenste van de aarde via vulkaanuitbarstingen. Deze deeltjes reflecteren eveneens zonlicht.

Een bijzondere rol spelen de broeikasgassen in de atmosfeer. Dit zijn gassen die straling van de zon en van de aarde absorberen en die er voor zorgen dat de atmosfeer een isolerende werking heeft. Hierdoor is het aan het aardoppervlak veel warmer dan het geval zou zijn zonder de aanwezigheid van broeikasgassen. De belangrijkste broeikasgassen zijn waterdamp, kooldioxide, methaan en ozon. Deze gassen komen van nature in de atmosfeer voor. De invloed van deze gassen op de warmtehuishouding van de aarde wordt het natuurlijke broeikaseffect genoemd. Waterdamp komt in de atmosfeer door verdamping van water vanuit oceanen, zeeën, meren en planten en verdwijnt uit de atmosfeer door condensatie in wolken en neerslagvorming. De concentratie van waterdamp in de atmosfeer blijkt hoofdzakelijk te worden bepaald door de temperatuur. Hogere temperaturen leiden tot hogere waterdampconcentraties in de atmosfeer. Waterdampconcentraties variëren hierdoor sterk in ruimte en tijd.

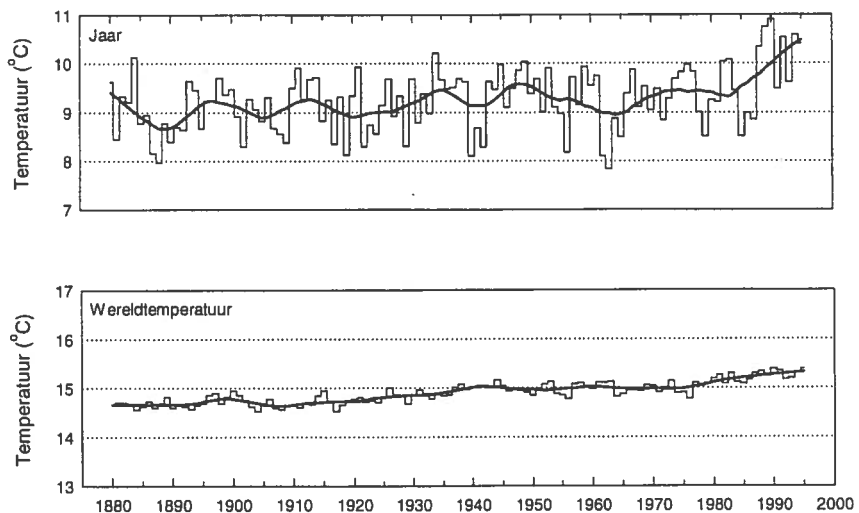
De concentraties van kooldioxide en methaan zijn daarentegen redelijk gelijkmatig over de atmosfeer verdeeld. Deze concentraties worden net als de waterdampconcentratie door kringloopprocessen bepaald. In dit geval betreft het vooral biochemische en geofysische kringloopprocessen. Planten, bijvoorbeeld, gebruiken kooldioxide uit de lucht en water uit de bodem om met behulp van zonne-energie plantaardig materiaal te produceren. Daarbij worden waterdamp en zuurstof uitgedemd. Mensen en dieren daarentegen ademen zuurstof in en kooldioxide uit. Op deze wijze speelt de biosfeer een sleutelrol in de kooldioxide-huishouding en daarmee in het klimaatsysteem.

Ozon is een geval apart. Natuurlijk ozon wordt vooral gevormd en afgebroken in de hogere atmosfeer door chemische reacties onder invloed van zonlicht.

Al deze factoren beïnvloeden de karakteristieken van de regionale klimaten op aarde. Samen bepalen ze het klimaatsysteem. De klimaten op aarde maken dus een onderdeel uit van een bijzonder complex systeem, waarin fysische, chemische, biologische en geologische processen een rol spelen.

Waarnemingen

Dankzij intensieve internationale samenwerking worden tegenwoordig op wereldwijde schaal waarnemingen verricht aan vele belangrijke elementen van het klimaatsysteem. Hierbij wordt gebruik gemaakt van meetnetten op de grond, van weerballonnen, van oceaanmeetsystemen en van satellieten. Op grond van deze metingen bestaat er een redelijk inzicht in de ontwikkelingen in het klimaatsysteem gedurende de laatste veertig jaar. Metingen met meteorologische instrumenten gaan verder terug. Zo is de gemiddelde temperatuur op aarde redelijk nauwkeurig bekend vanaf 1860. Waarnemingen van nog vroegere datum zijn indirect en veelal kwalitatief. Zo bestaan er vele literatuurbeschrijvingen waaruit informatie over weer en klimaat kan worden afgeleid. Er is bijvoorbeeld informatie beschikbaar over het dichtvriezen van kanalen in Nederland en over plantengroei op Groenland in een ver verleden. Dergelijke informatie geeft wel indicaties over verleden klimaten, maar geen nauwkeurige schattingen van bijvoorbeeld de temperatuur. Ook kan informatie worden gewonnen uit boomringen, uit luchtbelletjes in ijskappen en uit de karakteristieken van bodemonsters en aardlagen. Deze indirecte waarnemingen zijn weliswaar niet nauwkeurig, maar hebben het voordeel dat ze zeer ver teruggaan in de tijd. Hierdoor bestaat enig inzicht in klimaatvariaties op tijdschalen van honderden tot zelfs miljoenen jaren.



Figuur 2. Jaartemperatuur in De Bilt (boven) en wereld-gemiddelde jaartemperatuur (onder) sinds 1880 in graden Celsius. De golvende lijnen geven een voortschrijdend gewogen gemiddelde van de vijftien dichtstbijzijnde jaren. Bron: KNMI.

Klimaatvariabiliteit

Uit waarnemingen blijkt dat klimaten niet constant zijn. Zo schommelde de jaargemiddelde temperatuur in De Bilt de afgelopen eeuw tussen de acht en tien graden Celsius met recente uitschieters tot elf graden (figuur 2). Neerslag, zonneschijn en wind vertonen eveneens jaarlijkse variaties. Dit verschijnsel doet zich overal op aarde voor. De verzameling van klimaten op aarde is dus steeds in beweging. Omdat de variaties van jaar tot jaar fors kunnen zijn worden regionale klimaten meestal beschouwd over langere perioden van enkele tientallen jaren. Over dergelijke perioden is het regionale klimaat stabiel, maar nog steeds niet constant. (figuur 2) Ook de temperatuur gemiddeld over de gehele aarde is niet constant; zij varieert van jaar tot jaar, van eeuw tot eeuw, van millennium

tot millennium, enzovoorts. Wel zijn de fluctuaties kleiner dan de regionale fluctuaties over vergelijkbare perioden (figuur 2). De laatste duizenden jaren zijn de klimaatvariëaties op aarde beperkt gebleven, maar in het verdere verleden hebben zich zeer grote klimaatschommelingen voorgedaan. Hierbij springen vooral de ijstijden er uit. Gedurende ijstijden was de aarde veel kouder dan nu, waren grote delen van de aarde met dikke lagen ijs bedekt en waren flora en fauna anders verdeeld over de aarde.

Het optreden van ijstijden kan worden verklaard uit een complex samenspel van koelende effecten door kleine veranderingen in de positie van de aarde ten opzichte van de zon, door een sterkere reflectie van zonnestraling door toenamen in de sneeuw- en ijsbedekking, en door een sterke afname in de concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer. Ijstijden geven een treffende illustratie van de mogelijke variaties in een complex systeem als het klimaatstelsel.

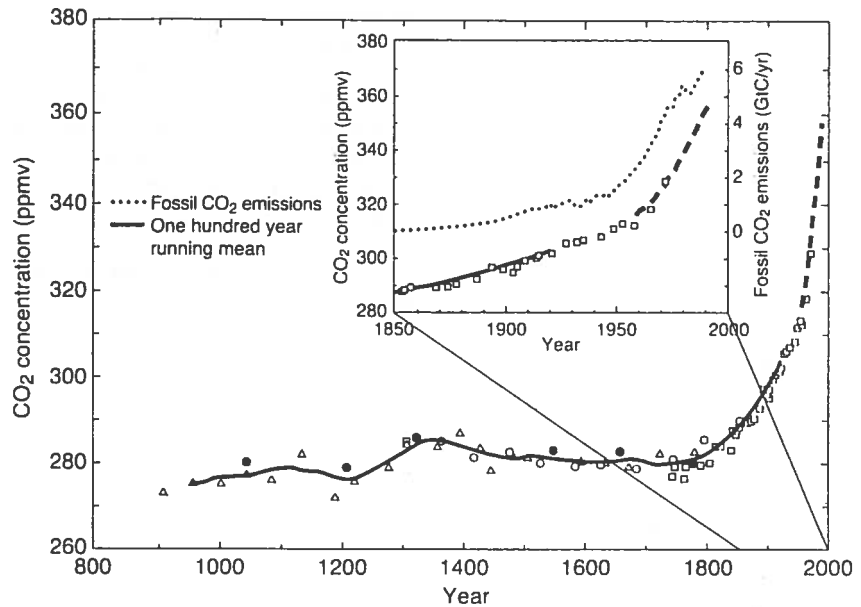
Bij het beschrijven van klimaatvariabiliteit wordt vaak gebruik gemaakt van de wereld-gemiddelde temperatuur. Dit is echter zeker niet de enige en ook niet altijd een voldoende indicator voor variabiliteit. Omdat het wereldklimaat een verzameling is van allerlei regionale klimaten, is het mogelijk dat klimaatveranderingen optreden zonder dat de wereld-gemiddelde temperatuur veel verandert. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren als de luchtstromingen op aarde zich wijzigen. Dit kan leiden tot andere verdelingen van temperatuur, neerslag en zonneschijn, zonder dat hun wereld-gemiddelde waarden veranderen. Bij het beschrijven van klimaatvariabiliteit moet dus zeker ook naar de regionale variabiliteit worden gekeken en niet alleen naar wereld-gemiddelde grootheden. Natuurlijk is het wel zo dat als de wereld-gemiddelde grootheden veranderen, er zeker sprake is van klimaatverandering.

Ontwikkelingen gedurende de laatste eeuw

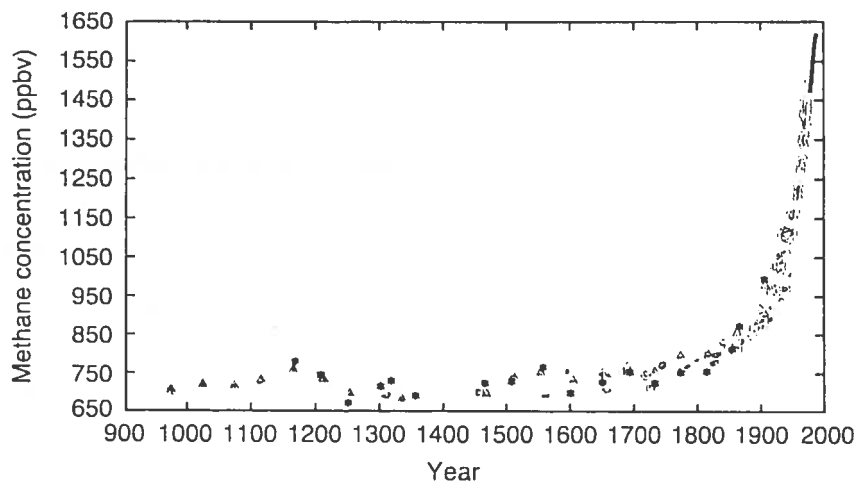
De laatste eeuw worden significante trends waargenomen in diverse factoren in het klimaatstelsel. Op veel plaatsen op aarde vertoont de temperatuur een stijgende trend. Gemiddeld over de aarde bedraagt deze stijging ongeveer een halve graad. In De Bilt is de stijging ongeveer een graad. Ook wordt waargenomen dat de omvang van gletsjers is afgenomen, evenals de sneeuwbedekking in het voorjaar. Het blijkt echter dat de temperatuur op grotere hoogte in de atmosfeer is gedaald.

Het meest opvallend is de sterke stijging in de concentraties van diverse broeikasgassen. Tussen het eind van de achttiende eeuw en 1995 is de concentratie van kooldioxide met ongeveer 30% gestegen (figuur 3) en die van methaan zelfs met 150% (figuur 4). Gedurende de vorige eeuw en de eerste helft van deze eeuw verliep de stijging betrekkelijk langzaam. Daarna ging het steeds sneller: ongeveer de helft van de stijging is gerealiseerd gedurende de laatste dertig jaar. Deze stijging treedt overal op aarde op. Voorts geven waarnemingen aan dat de concentraties van ozon en kleine deeltjes op veel plaatsen in de lage atmosfeer zijn toegenomen, vooral op het noordelijk halfrond. Daarentegen vertonen de ozonconcentraties in de hoge atmosfeer een dalende trend.

Er is veel onderzoek verricht naar de oorzaken van deze trends. Hiertoe zijn modellen ontwikkeld voor de kringlopen van kooldioxide en methaan die biochemische en geofysische processen omvatten. Recentelijk zijn modellen opgesteld die de verdeling van deeltjes in de atmosfeer beschrijven, alsmede hun invloed op de reflectie van zonlicht. Voorts zijn



Figuur 3. Waargenomen concentraties van kooldioxide in ppmv gedurende dit millennium. Het getoonde verloop is gebaseerd op indirecte metingen door middel van analyse van luchtbelletjes in ijs en voor de laatste decennia op directe metingen. De overgang tussen de indirecte en directe metingen is nauwelijks waarneembaar. Bron: IPCC.



Figuur 4. Waargenomen concentraties van methaan in ppbv gedurende dit millennium. Het getoonde verloop is gebaseerd op indirecte metingen door middel van analyse van luchtbelletjes in ijs en voor de laatste decennia op directe metingen. De overgang tussen de indirecte en directe metingen is nauwelijks waarneembaar. Bron: IPCC.

er klimaatmodellen ontwikkeld, die de circulaties in en de warmtehuishouding van de atmosfeer en de oceanen beschrijven. In deze klimaatmodellen is de beschrijving van de kringloop van water en waterdamp opgenomen, terwijl de invloed van veranderingen in de concentraties van kooldioxide, methaan en deeltjes in rekening wordt gebracht. Dit onderzoek geeft aan dat de mens een grote invloed heeft op de concentraties van diverse broeikasgassen. Het wordt waarschijnlijk geacht dat de invloed van de mens op de warmtehuishouding van het klimaatsysteem niet langer verwaarloosbaar is.

Invloeden van de mens

De mensheid pleegt al heel lang ingrepen in de natuurlijke omgeving die gevolgen hebben voor het klimaatsysteem. Op grote schaal zijn er bossen gekapt ten behoeve van landbouw en veeteelt, en voor het bouwen van steden en het aanleggen van wegen. Ook zijn er grote ingrepen gepleegd in de waterhuishouding door het droogleggen van moerassen, het bouwen van stuwdammen en het aanleggen van dijken ter regulering van rivieren of ter bescherming tegen stormvloed. Hierdoor is het klimaatsysteem op regionale schaal ingrijpend verstoord.

De laatste eeuw is echter de schaal veranderd waarop dit alles gebeurt. Door de steeds sneller groeiende wereldbevolking neemt het ruimtebeslag door de mensheid steeds sneller toe en blijft er steeds minder ruimte over voor de natuurlijke omgeving. Het kappen en verbranden van bossen schrijdt in hoog tempo voort en sinds de industriële revolutie worden per hoofd van de bevolking steeds meer fossiele brandstoffen verbrand. Hierdoor worden enorme hoeveelheden kooldioxide in de atmosfeer gebracht. Uit onderzoek volgt dat hiermee de waargenomen stijging van kooldioxide-concentraties kan worden verklaard. Ook de stijging van de concentraties van methaan en lachgas kan worden toegeschreven aan de mens, al ligt hier een ingewikkelder complex van activiteiten aan ten grondslag. Voorts zijn er broeikasgassen in de atmosfeer gebracht, die niet van nature voorkomen, zoals de CFKs. Daarnaast verstoren gassen van antropogene afkomst de chemiehuishouding in de atmosfeer. Chemische processen kunnen zowel «het ozongat» boven de zuidpool verklaren, als de waargenomen toename in de ozonconcentraties in de lage atmosfeer. Klimaatmodellen geven aan dat de isolerende werking van de atmosfeer door al deze veranderingen significant is toegenomen. Dit wordt het versterkte broeikaseffect genoemd. Omdat broeikasgassen zich over de gehele aarde verspreiden werkt dit effect mondiaal. Het versterkte broeikaseffect kan daardoor over de gehele aarde aanleiding geven tot een opwarming, al kan de mate van opwarming van regio tot regio verschillen. Ook de waargenomen toename van deeltjesconcentraties in de atmosfeer kan aan de mens worden toegeschreven. Deze toename is niet gelijk over de aarde verdeeld, maar vooral geconcentreerd in gebieden met veel antropogene activiteiten. Dit geeft aanleiding tot een relatieve afkoeling, die regionaal sterk varieert.

Modelberekeningen geven aan dat gemiddeld over de aarde de opwarming door de toename van broeikasgas overheerst, maar dat er regionaal een afkoeling kan plaatsvinden. Een deel van de waargenomen opwarming is vermoedelijk het gevolg van activiteiten door de mens.

Wat brengt de toekomst?

Het laat zich aanzien dat de wereldbevolking geruime tijd zal blijven groeien. Ook zijn de voorraden fossiele brandstoffen zo groot dat een aanzienlijke toename in de uitstoot van kooldioxide gedurende lange tijd mogelijk is. Het is in dit licht waarschijnlijk dat deze uitstoot de komende decennia nog sterk zal stijgen met navenante consequenties voor de concentraties in de atmosfeer. Modellen geven aan dat als gevolg hiervan klimaatveranderingen denkbaar zijn die uitstijgen boven de natuurlijke variabiliteit van het klimaat. Hierdoor zouden de leefomstandigheden op aarde zich sterk kunnen wijzigen met dienovereenkomstige aanpassingsproblemen voor de natuur en voor de mens. Deze klimaatproblematiek is door de Commissie door middel van het houden van Openbare Hoorzit-

tingen nader bestudeerd. De bevindingen van de Commissie worden in de volgende hoofdstukken weergegeven.

5 3. Oorzaken en effecten van klimaatveranderingen

Welke vragen heeft de Commissie aan de gehoorde gesteld?

De oorspronkelijke opdracht van de Tweede Kamer aan de Tijdelijke Commissie Klimaatverandering is het verkennen van en doen van onderzoeken naar de mogelijkheden het probleem van de klimaatverandering/broeikas effecten te definiëren en het daarbij inventariseren welke oorzaken en gevolgen (en het Nederlandse aandeel hierin) van de problematiek worden genoemd. De Commissie heeft ten behoeve van de openbare hoorzittingen genoemde vraag uitgewerkt in zes vragen. Deze vragen zijn vervolgens ten behoeve van deze rapportage verder in meer gedetailleerde vragen onderverdeeld. De nieuwe vragen en de nadere onderverdeling daarvan zijn als volgt:

1) Wat zeggen waarnemingen over veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer?

- *Zijn de veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer uitzonderlijk?*
- *Wat is de oorzaak van de veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer?*

2) Welke rol speelt de samenstelling van de atmosfeer in het klimaatsysteem?

- *Wat is er bekend over de energiehuishouding van het klimaatsysteem?*
- *Wat is het broeikas effect?*
- *Wat is de invloed van deeltjes op het broeikas effect?*
- *Is er sprake van een versterking van het broeikas effect?*

3) Wat zeggen waarnemingen over veranderingen in de klimaten op aarde?

- *Hoe variabel is de temperatuur op aarde van nature?*
- *Zijn de klimaten op aarde de afgelopen eeuwen veranderd?*
- *Kunnen klimaatmodellen de waargenomen klimaten beschrijven?*

4) Zullen de concentraties van broeikasgassen en deeltjes blijven toenemen?

- *Hoe lang verblijven broeikasgassen en deeltjes in de atmosfeer?*
- *Zullen de concentraties bij de huidige trends blijven toenemen?*
- *Kunnen de concentraties gestabiliseerd worden?*

5) Hoe zullen klimaten door een versterking van het broeikas effect veranderen?

- *Zijn klimaten voorspelbaar?*
- *Wat zeggen klimaatmodellen over toekomstige klimaten?*
- *Wat is de status van modeluitspraken?*

6) Wat zijn de effecten van veranderende klimaten?

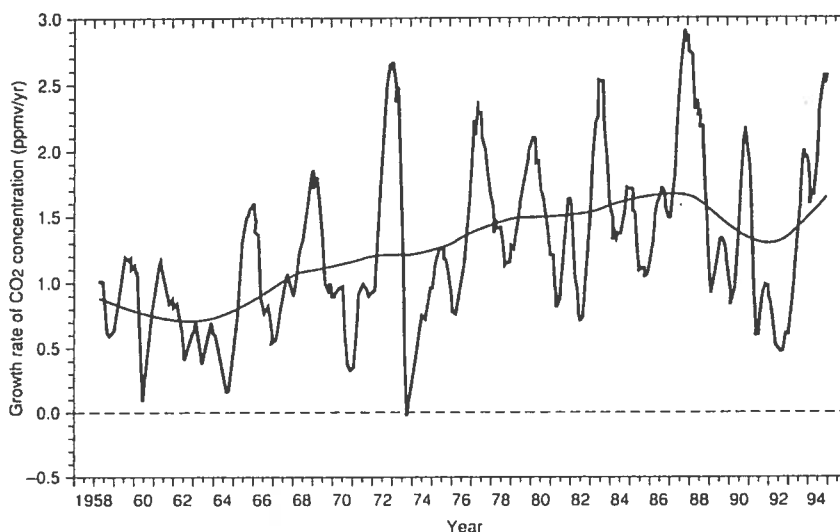
- *Hoe wordt kennis inzake de effecten van klimaatveranderingen verkregen?*
- *Is het gat in de ozonlaag een gevolg van klimaatveranderingen?*
- *Welke effecten hebben klimaatveranderingen op het beheren en keren van zoet water?*
- *Welke effecten hebben klimaatveranderingen op het beheren en keren van zout water?*

- Welke effecten hebben klimaatveranderingen op ecosystemen?
- Welke effecten hebben klimaatveranderingen op de landbouw?
- Wat is de relatieve betekenis van kennis inzake de effecten van klimaatveranderingen?

Wat zeggen waarnemingen over veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer?¹

Zijn de veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer uitzonderlijk?

Van enkele broeikasgassen is informatie beschikbaar over het verloop in de atmosferische concentraties gedurende de afgelopen tienduizenden jaren tot tweehonderdduizend jaar. Dit verloop is voor het grootste deel van genoemde perioden gereconstrueerd aan de hand van indirecte metingen, zoals bijvoorbeeld analyse van in landijs opgesloten luchtbelletjes. Voor de laatste halve eeuw is het verloop gebaseerd op directe, instrumentele metingen.



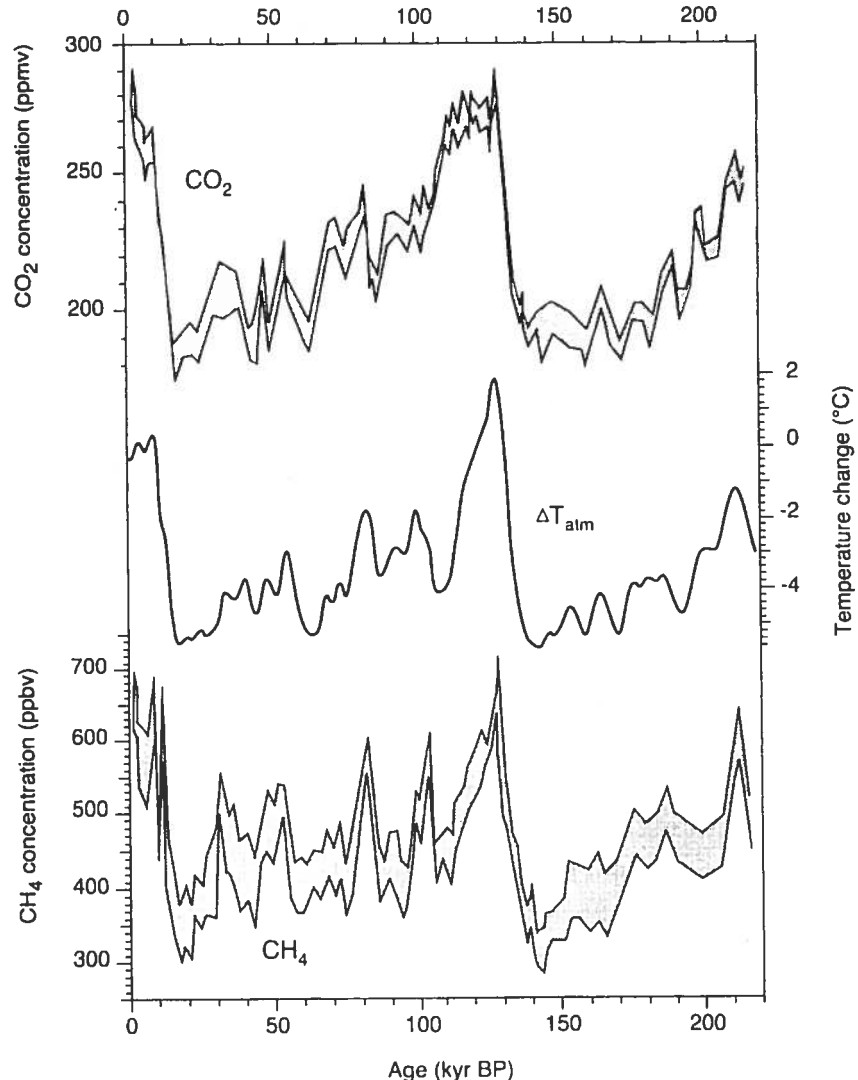
Figuur 5. In deze figuur wordt de snelheid waarmee de kooldioxide-concentratie sinds 1958 jaarlijks is toegenomen weergegeven in ppmv per jaar. De snelheid in de concentratietoename van kooldioxide vertoont korte-termijn fluctuaties. Dan neemt de kooldioxide-concentratie weer wat sneller toe, zoals tussen de jaren 1986 en 1988; dan neemt de concentratie weer wat langzamer toe, zoals tussen de jaren 1990 en 1992. Bron: IPCC.

Uit het verloop in de concentratie blijkt voor enkele broeikasgassen die ook van nature in de atmosfeer aanwezig zijn, sprake van een steeds sneller verlopende toename gedurende de periode vanaf het pré-industriële tijdperk tot nu. Als deze toename over kortere periodes van, bijvoorbeeld, enkele jaren wordt beschouwd, blijkt sprake van relatief sterke korte-termijn fluctuaties. Zo verloopt de toename in de atmosferische concentraties van kooldioxide soms gedurende één of enkele jaren wat langzamer en dan weer gedurende één of enige jaren wat sneller (figuur 5). Deze fluctuaties, waarvan de oorzaak wordt gezocht in natuurlijke variaties binnen het klimaatsysteem, veranderen echter niet het beeld van een toename in de kooldioxide-concentratie die steeds sneller verloopt (figuur 3).

De concentratie van **kooldioxide** is met ongeveer 30% toegenomen, van 280 deeltjes per miljoen volumedeeltjes lucht (ppmv) tot 360 ppmv (figuur 3). **Methaan** is over genoemde periode met ongeveer 150% toegenomen, van 700 deeltjes per miljard volumedeeltjes lucht (ppbv) tot

¹ Over dit onderwerp is in de openbaarheid gesproken met prof. dr P.J. Crutzen en prof. dr ir J. Goudriaan. Ook is in de beslotenheid over dit onderwerp gesproken met prof. dr H. Hooghiemstra.

1700 ppbv (figuur 4). Voor kooldioxide en methaan geldt dat de huidige concentratie hoger is dan de concentraties die men over de afgelopen 200 000 jaar heeft kunnen herleiden (figuur 6). Ook geldt dat de toename die de afgelopen anderhalve eeuw is waargenomen, een factor tien groter is dan de toenames die de eeuwen voorafgaand hieraan zijn waargenomen. **Lachgas** is met ruim 10% toegenomen van 275 ppbv tot 310 ppbv; de huidige concentratie is hoger dan de concentraties die men over de afgelopen 45 000 jaar heeft kunnen herleiden.

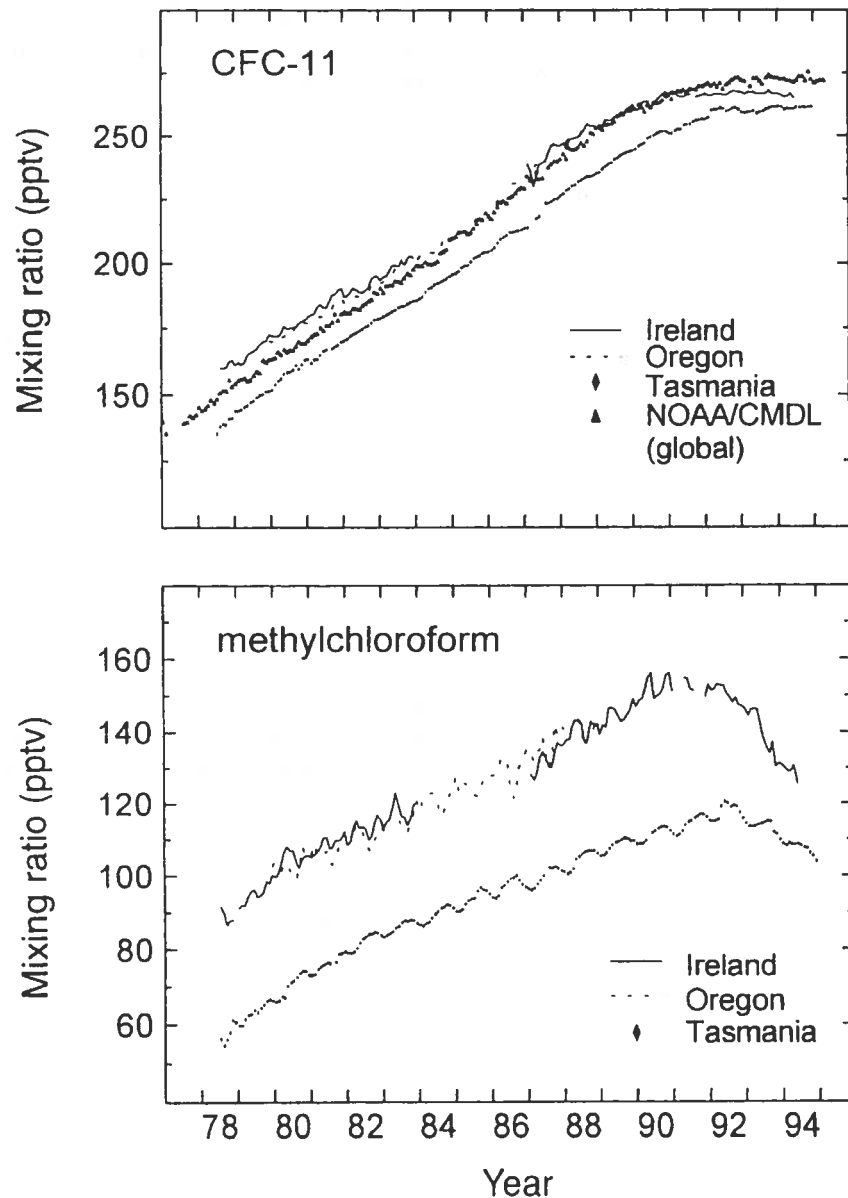


Figuur 6.

Uit indirecte waarnemingen gebaseerd op analyse van luchtbelletjes in ijs zijn de veranderingen in de wereld-gemiddelde temperaturen in graden Celsius (midden), en de concentraties van kooldioxide in ppmv (CO₂, boven) en methaan in ppbv (CH₄, onder) gedurende de laatste tweehonderdduizend jaar herleid. Opvallend is de synchroniciteit tussen deze drie variabelen. Bron: IPCC.

Voor een vijftigtal broeikasgassen die niet van nature in de atmosfeer voorkomen, is de concentratie sinds het moment dat zij voor het eerst door de mens gefabriceerd werden, gestegen vanuit een nulsituatie. Het betreft hier de zogenoemde **gehalogeneerde kool(water)stoffen**, waartoe de bekende CFKs behoren. De huidige concentraties van deze gassen zijn in alle gevallen lager dan 1 ppbv. Voor enkele gassen uit deze

familie nemen de concentraties sinds kort niet verder toe (figuur 7). Dit is toe te schrijven aan beleid dat in het kader van het verdrag ter bescherming van de ozonlaag (= het Montreal-protocol) en latere amendementen daarop, wereldwijd is en wordt gevoerd.



Figuur 7. De concentraties in pptv van CFK-11 (boven) en van methylchloroform (onder) nemen sinds enkele jaren niet meer toe als gevolg van beleid dat in het kader van het Verdrag ter bescherming van de Ozonlaag wereldwijd is en wordt uitgevoerd. Bron: IPCC.

Voor de van nature voorkomende broeikasgassen ozon en water(damp), en voor deeltjes, zijn de wereld-gemiddelde concentraties, en de veranderingen daarin, moeilijker vast te stellen. De directe oorzaak hiervan is de grote variabiliteit van de concentraties in ruimte en tijd.

Atmosferische concentraties van **ozon** worden sinds relatief korte tijd gemeten. Waargenomen is dat op grotere hoogte in de atmosfeer, waar zich van nature de grootste hoeveelheid ozon bevindt, de ozonconcent-

traties de afgelopen decennia zijn afgenomen. Boven de Zuidpool op Antarctica is zelfs sprake van een zeer sterke ozonafname. Deze bedraagt meer dan 10% per decennium en kan lokaal gedurende enkele dagen tegen de 100% bedragen. Het laatste fenomeen wordt ook wel het «gat in de ozonlaag» genoemd.

In lagere delen van de atmosfeer en op grondniveau komt van nature veel minder ozon voor. Waarnemingen suggereren dat op het Noordelijk Halfrond de ozonconcentratie aan het aardoppervlak de afgelopen anderhalve eeuw sterk toegenomen en wellicht verdubbeld is. Voor het Zuidelijk Halfrond zijn te weinig metingen beschikbaar om uitspraken te kunnen doen over een eventuele lange-termijn trend in lagere delen van de atmosfeer.

De totale hoeveelheid ozon in de atmosfeer is de afgelopen vijftien jaar wereld- gemiddeld afgenomen met minimaal enkele procenten.

Waterdampconcentraties in de lagere gedeelten van de atmosfeer en aan het aardoppervlak worden sinds geruime tijd gemeten. Waterdampconcentraties zijn de laatste eeuw wereld-gemiddeld weinig veranderd.

Deeltjes (= aërosolen) is een verzamelnaam voor vele componenten van verschillende grootte en samenstelling die deels pas in de atmosfeer gevormd worden uit andere stoffen, zoals het gas zwaveldioxide. Deze deeltjes zijn zo klein dat de manier waarop zij zich over de atmosfeer verspreiden lijkt op het gedrag dat gassen in dit opzicht vertonen. Er zijn vele aanwijzingen dat de concentraties van deeltjes op regionale schaal sterk zijn toegenomen.

Uit waarnemingen en modellen valt te concluderen dat de veranderingen in de concentraties van ozon en deeltjes gedurende de afgelopen decennia uitzonderlijk zijn.

Geconcludeerd kan worden dat de huidige concentraties van enkele broeikasgassen in de atmosfeer uitzonderlijk zijn. Ook de snelheden waarmee de concentraties van kooldioxide en methaan de afgelopen twee eeuwen zijn toegenomen, zijn uitzonderlijk.

Wat is de oorzaak van de veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer?

De jaarlijks toenemende atmosferische concentraties van verschillende broeikasgassen suggereren dat er sprake is van een verstoring van de massabalans van deze gassen. Aan de hand van de grootte van de concentratietoenames kan de **omvang** van de verstoringen berekend worden. Om de **oorzaak** van de verstoringen te achterhalen is echter meer informatie nodig.

Om de oorzaak van een verstoring in de massabalans te bestuderen, worden **stofkringloopmodellen** gebruikt. Dergelijke modellen bevatten grootschalige biochemische en geofysische processen en houden rekening met natuurlijke processen, met activiteiten door de mens, en met chemische reacties die plaatsvinden in de atmosfeer. Genoemde processen zorgen ervoor dat gassen in de atmosfeer komen, eraan worden onttrokken, en in de atmosfeer worden afgebroken of gevormd. Stofkringloopmodellen bootsen zo de hoeveelheden na, die van een bepaald broeikasgas tussen atmosfeer, oceaan en land uitgewisseld worden. Door experimenten met dergelijke stofkringloopmodellen uit te voeren worden schattingen verkregen voor de verschillende categorieën van bronnen en putten. Dit kan een mogelijke verklaring opleveren voor een waargenomen verstoring van de massabalans.

De schattingen van stofkringloopmodellen voor de grootte van de verschillende categorieën van natuurlijke en antropogene bronnen en

putten, kunnen worden vergeleken met vergelijkbare schattingen die volgen uit kleinschalige **inventarisaties** van bronnen en putten. Dergelijke inventarisaties bevatten eveneens schattingen voor emissies en opnames per bron of put, en houden eveneens rekening met de hoeveelheden die uit de atmosfeer verdwijnen ten gevolge van chemische reacties. Omdat deze schattingen gebaseerd zijn op lokale (punt)metingen en vaak onafhankelijk van stofkringloopmodellen worden opgesteld, kunnen de resultaten van schattingen door stofkringloopmodellen en van de inventarisaties als onderlinge toets dienen.

De schattingen voor de jaarlijkse budgetten van kooldioxide, methaan en lachgas, zoals die volgen uit experimenten met stofkringloopmodellen en uit het opstellen van inventarisaties, worden in de tabellen 1, 2 en 3 uitgebreid gepresenteerd en hieronder verkort weergegeven. Zij hebben betrekking op het afgelopen decennium en zijn overgenomen uit het Tweede Integrale IPCC-Rapport.

Uit de toename van de **kooldioxide**-concentratie volgt dat de hoeveelheid kooldioxide die jaarlijks in de atmosfeer achterblijft, omgerekend in koolstof, ruim 3 gigaton bedraagt. De kooldioxide-emissie ten gevolge van de verbranding van fossiele brandstoffen, inclusief een relatief kleine bijdrage van emissies ten gevolge van cementproductie, bedraagt 5.5 gigaton (tabel 1). Emissies ten gevolge van veranderingen in landgebruik -met name ontbossing in de tropen- bedragen 1.6 gigaton. De opname in de oceaan en opname door de groei van nieuwe bossen op het Noordelijk Halfrond en ten gevolge van kooldioxide- en stikstofbemesting en klimaateffecten, bedraagt ongeveer 4 gigaton.

In het geval van kooldioxide zijn er, buiten de resultaten van experimenten met stofkringloopmodellen en het opstellen van inventarisaties, nog enkele overwegingen die een natuurlijke oorzaak van de concentratietoename onwaarschijnlijk maken. Allereerst is de **toename** in de kooldioxide- en methaanconcentratie uitzonderlijk. Daarnaast is kooldioxide die door de biosfeer wordt uitgestoten onderscheidbaar van kooldioxide die vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen. Dit onderscheid kan op grond van de zogenoemde **isotopensamenstelling** van het in de atmosfeer aanwezige kooldioxide worden gemaakt. Gemeten is dat kooldioxide ten gevolge van verbrandingsprocessen een steeds groter deel uitmaakt van de totale hoeveelheid kooldioxide in de atmosfeer. Ten derde wijzen veranderingen in de **zuurstofconcentratie** in de atmosfeer ook op een antropogene oorzaak van de stijging van de kooldioxide-concentratie.

Waargenomen atmosferische toename		3.3 (3.5-3.1)
		+
Geïdentificeerde natuurlijke putten		3.8 (2.0-5.6)
opname door oceanen	2.0 (1.2-2.8)	
opname door herbebossing	0.5 (0-1.0)	
andere natuurlijke putten	1.3 (-0.2-2.8)	
		=
Wat jaarlijks verdwijnt		7.1 (5.3-8.9)
Geïdentificeerde antropogene bronnen		7.1 (6.0-8.2)
verbranding fossiele brand-stoffen en cementpro- ductie	5.5 (5.0-6.0)	
veranderingen in landgebruik	1.6 (0.6-2.6)	
		=
Wat jaarlijks verschijnt		7.1 (6.0-8.2)

Tabel 1. Schattingen voor de hoeveelheid **kooldioxide**, uitgedrukt in gigatonnen koolstof, die wereldwijd gedurende de jaren tachtig jaarlijks door verschillende processen aan de atmosfeer wordt afgegeven (= bronnen), uit de atmosfeer wordt opgenomen (= putten), en in de atmosfeer achterblijft. Op basis van de gekwantificeerde onzekerheden en de overeenkomsten tussen de hoeveelheden die verdwijnen en verschijnen, kan gesteld worden dat de betrouwbaarheid van de gepresenteerde getallen groot is. Bron: IPCC.

Uit de toename van de **methaan**-concentratie volgt dat de hoeveelheid methaan die jaarlijks in de atmosfeer achterblijft ruim 35 megaton bedraagt. De methaan-emissie ten gevolge van verliezen bij de winning, distributie en verbranding van gas, olie en steenkool bedraagt 100 megaton (tabel 2). De antropogene emissie via biologische processen bedraagt 275 megaton. Natuurlijke processen zorgen voor een jaarlijkse emissie van 160 megaton. Ongeveer 530 megaton van de hoeveelheid geëmitteerde methaan verdwijnt jaarlijks uit de atmosfeer door reacties met andere gassen; 30 megaton wordt opgenomen door bodems via microbiële processen.

Waargenomen atmosferische toename		37 (35-40)
		+
Geïdentificeerde natuurlijke putten		560 (460-660)
door troposferische chemie	490 (405-575)	
door stratosferische chemie	40 (32-48)	
via de bodem	30 (15-45)	
		=
Wat jaarlijks verdwijnt		597 (495-700)
Geïdentificeerde natuurlijke bronnen		160 (110-210)
moerassen	115 (55-150)	
termieten	20 (10-50)	
oceanen	10 (5-50)	
andere natuurlijke bronnen	15 (10-40)	
		+
Geïdentificeerde antropogene bronnen		375 (300-450)
aardgas-gerelateerd	40 (25-50)	
koolwinning-gerelateerd	30 (15-45)	
petroleumindustrie	15 (5-30)	
steenkoolindustrie	? (1-30)	
herkauwers	85 (65-100)	
rijstverbouw	60 (20-200)	
verbranding van biomassa	40 (20-80)	
afvalstortplaatsen	40 (20-70)	
dierlijke mest	25 (20-30)	
afvalwaterzuivering	25 (15-80)	
		=
Wat jaarlijks verschijnt		535 (410-660)

Tabel 2. Schattingen voor de hoeveelheid **methaan**, uitgedrukt in megatonnen, die wereldwijd gedurende de jaren tachtig jaarlijks door verschillende processen aan de atmosfeer wordt afgegeven (= bronnen), uit de atmosfeer wordt opgenomen (= putten), en in de atmosfeer achterblijft. Op basis van de gekwantificeerde onzekerheden en de overeenkomsten tussen de hoeveelheden die verdwijnen en verschijnen, kan gesteld worden dat de betrouwbaarheid van de gepresenteerde getallen redelijk groot is. Bron: IPCC.

Uit de toename van de **lachgas**-concentratie volgt dat de hoeveelheid lachgas die uitgedrukt in massa-eenheden stikstof jaarlijks in de atmosfeer achterblijft ruim 3,9 megaton bedraagt. De emissies ten gevolge van het in cultuur brengen van grond, het verbranden van biomassa, industriële bronnen, en het houden van vee en het produceren van veevoer, bedragen respectievelijk 3,5, 0,5, 1,3 en 0,4 megaton (tabel 3). Oceanen emitteren jaarlijks 3 megaton, bodems ongeveer 6. Reacties in de atmosfeer en bodemprocessen zorgen ervoor dat jaarlijks ruim 12 megaton wordt opgenomen.

Waargenomen atmosferische toename		3.9 (3.1-4.7)
		+
Geïdentificeerde natuurlijke putten		12.3 (9-16)
stratosferische chemie	12.3 (9-16)	
via de bodem	?	
		=
Wat jaarlijks verdwijnt		16.2 (13-20)

Geïdentificeerde natuurlijke bronnen		9 (6-12)
tropische bossen	3 (2.2-3.7)	
tropische savanna's	1 (0.5-2.0)	
gematigde bossen	1 (0.1-2.0)	
gematigde weidegronden	1 (0.5-2.0)	
oceanen	3 (1-5)	
Geïdentificeerde antropogene bronnen		5.7 (3.7-7.7)
grondgebruik	3.5 (1.8-5.3)	
verbranding van biomassa	0.5 (0.2-1.0)	
industriële bronnen	1.3 (0.7-1.8)	
vee en veevoerbouw	0.4 (0.2-0.5)	
Wat jaarlijks verschijnt		14.7 (10-17)

Tabel 3. Schattingen voor de hoeveelheid **lachgas**, uitgedrukt in megatonnen stikstof, die wereldwijd gedurende de jaren tachtig jaarlijks door verschillende processen aan de atmosfeer wordt afgegeven (= bronnen), uit de atmosfeer wordt opgenomen (= putten), en in de atmosfeer achterblijft. Op basis van de gekwantificeerde onzekerheden en de overeenkomsten tussen de hoeveelheden die verdwijnen en verschijnen, kan gesteld worden dat de betrouwbaarheid van de gepresenteerde getallen redelijk is Bron: IPCC.

Voor een aantal in de atmosfeer aanwezige gassen zijn geen andere dan antropogene bronnen bekend. Dit geldt onder andere voor vrijwel alle **gehalogeneerde kool(water)stoffen**. Dit zijn ruim vijftig van origine organische verbindingen waarin één of enkele chloor-, fluor-, of broom-atomen zijn verwerkt. Hiertoe behoren ook de CFKs, die bekend zijn geworden omdat zij de directe veroorzakers zijn van het ozongat. Vanwege de omvang van deze categorie van gassen worden hier geen getallen voor emissies gegeven.

Ozon wordt niet in directe zin geëmitteerd, maar ontstaat pas in de atmosfeer. Hierdoor en door de korte verblijftijd van ozon in de atmosfeer, is het moeilijk om (de oorzaak van) concentratieveranderingen te bepalen. Ozon komt van nature in de lagere atmosfeer voor. Het wordt via luchtbewegingen in de atmosfeer vanuit hogere delen richting aardoppervlak getransporteerd. Ook ontstaat ozon aan het aardoppervlak door reactie van koolwaterstoffen en koolmonoxyde. Deze gassen worden van nature gevormd. Hun concentraties zijn echter door activiteiten van de mens toegenomen.

Ozon in de hogere atmosfeer ontstaat van nature door de reactie van zuurstof onder invloed van zonlicht. De afname van de ozonconcentratie in hogere atmosfeer de afgelopen decennia, komt door de aanwezigheid van de hierboven genoemde gehalogeneerde kool(water)stoffen. Deze verbindingen, die van menselijke origine zijn, reageren met ozon, waardoor ozon verdwijnt.

De stijging van de atmosferische concentraties van broeikasgassen gedurende de periode vanaf het pré-industriële tijdperk tot nu, is voornamelijk het gevolg van activiteiten door de mens.

Deeltjes (= aërosolen) worden voor het grootste gedeelte niet in directe zin geëmitteerd, maar ontstaan pas in de atmosfeer. Hierdoor en door de korte verblijftijd van deeltjes in de atmosfeer, is het moeilijk om (de oorzaak van) concentratieveranderingen te bepalen. Deeltjes zijn van nature in lagere gedeeltes van de atmosfeer te vinden ten gevolge van vulkaanuitbarstingen, door biologische processen op het land en in de oceanen, en door allerhande transportprocessen waardoor, bijvoorbeeld, zand of andere bodemstoffen opgewaaid en in de atmosfeer verspreid worden. Deeltjes in hogere gedeeltes van de atmosfeer zijn van nature vooral toe te wijzen aan vulkaanuitbarstingen.

Door activiteiten van de mens nemen de concentraties van deeltjes in de atmosfeer toe. Hierbij moet vooral gedacht worden aan deeltjes die

pas in de atmosfeer ten gevolge van de emissies van zwavel- en stikstofhoudende gassen ontstaan en aan roetdeeltjes. Genoemde stoffen komen vrij bij de verbranding van fossiele brandstoffen aan het aardoppervlak en hoger in de atmosfeer door vliegtuigen, bij het winnen van erts, bij verschillende vormen van landgebruik, zoals landbouw, en bij het verbranden van biomassa.

Welke rol speelt de samenstelling van de atmosfeer in het klimaatsysteem?¹

Wat is er bekend over de energiehuishouding van het klimaatsysteem?

Het klimaatsysteem krijgt zijn energie van de zon in de vorm van kortgolvlige straling. Een deel van die kortgolvlige straling wordt gereflecteerd door deeltjes en wolken in de atmosfeer. Weer een deel wordt door het oppervlak van de aarde gereflecteerd. De hoeveelheid kortgolvlige straling die uiteindelijk door het aardoppervlak wordt geabsorbeerd, wordt door de aarde en haar klimaatsysteem gebruikt om warmer te worden. Hierdoor heeft het aardoppervlak een temperatuur die hoger is dan als zij geen zonnestraling zou absorberen (tabel 4).

Vergelijking van de sterkte van het broeikas-effect op Venus, Aarde, en Mars

	Venus	Aarde	Mars
Luchtdruk in atmosfeer	90	1	0 006
Belangrijkste broeikasgassen	kooldioxide	water en kooldioxide	kooldioxide
Relatieve afstand tot de zon	0.7	1	1.5
Gemiddelde intensiteit van de zonne-energie boven het oppervlak van de planeet	655 watt per vierkante meter	337 watt per vierkante meter	147 watt per vierkante meter
Geabsorbeerde hoeveelheid zonne-energie in procenten van de gemiddelde intensiteit	24%	70%	75%
Berekende temperatuur in graden Celsius	- 44	- 18	- 63
Waargenomen temperatuur in graden Celsius	477	15	- 55
Temperatuurverschil door aanwezigheid van broeikasgassen	+ 521	+ 33	+ 8

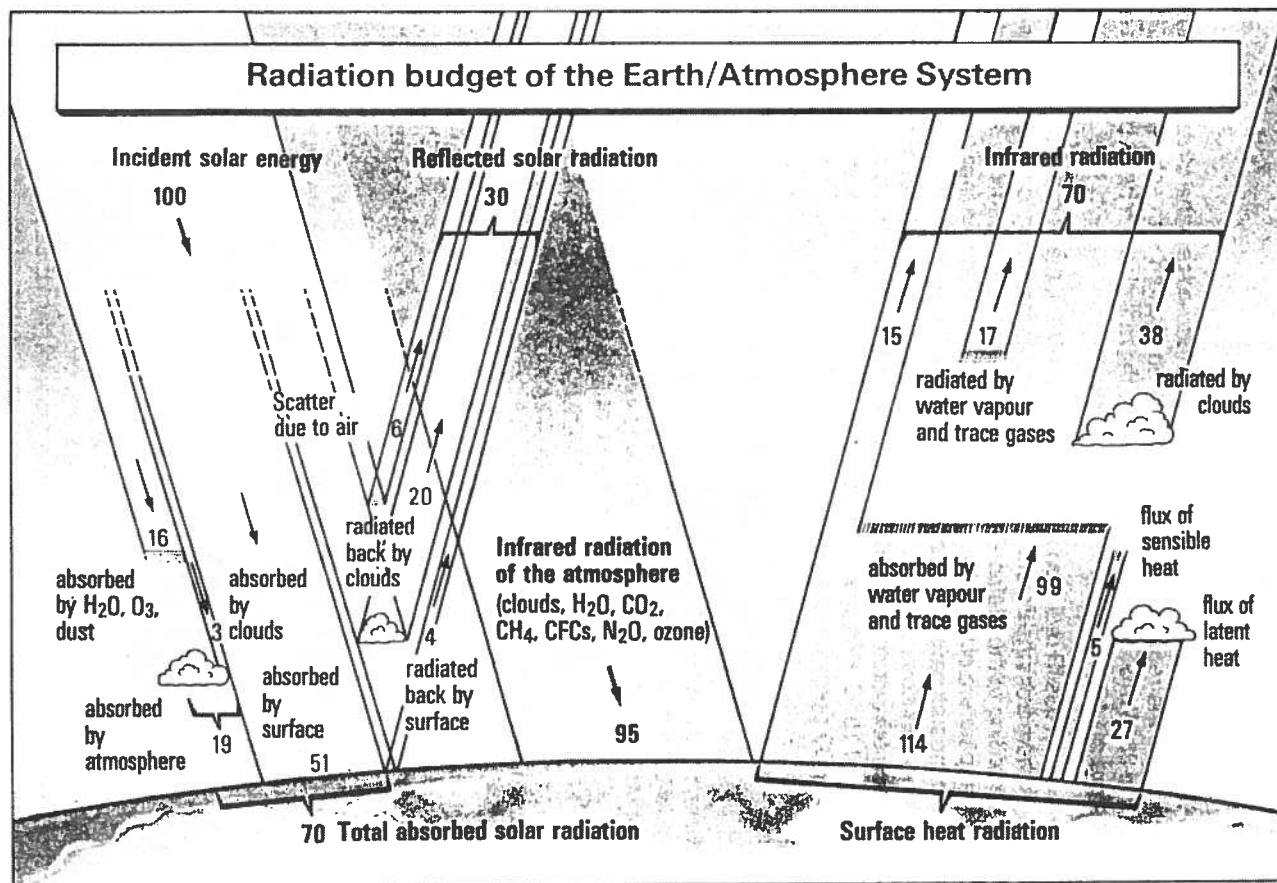
Tabel 4. Voor drie planeten is aan de hand van de door het oppervlak geabsorbeerde hoeveelheid zonne-energie berekend hoe warm de planeet zou moeten zijn. De hoeveelheid geabsorbeerde zonne-energie is lager dan de hoeveelheid zonne-energie die in theorie maximaal te gebruiken zou zijn. Dit komt doordat elke planeet een deel van de hoeveelheid ontvangen zonne-energie reflecteert. De mate waarin een planeet dat doet is afhankelijk van de kleur van haar oppervlak; hoe lichter de kleur van de planeet hoe meer zonne-energie wordt gereflecteerd. De waargenomen temperaturen wijken sterk af van de berekende temperaturen. De verschillen kunnen alleen verklaard worden met behulp van de theoretische onderbouwing van het broeikas-effect.

De aarde zal in eerste benadering opwarmen tot zij net zoveel energie afgeeft (= emitteert) in de vorm van langgolvlige straling, als opneemt (= absorbeert) in de vorm van kortgolvlige straling. In dat geval is sprake van stralingsevenwicht. Hoe warmer de aarde is, hoe meer energie zij afgeeft.

Als sprake is van stralingsevenwicht kan in theorie de temperatuur van de aarde en haar klimaatsysteem direct berekend worden uit de hoeveelheid door de aarde geabsorbeerde zonne-energie. Als stralingsevenwicht verondersteld wordt, volgt uit deze berekening dat de temperatuur van de aarde rond de -18 graden Celsius zou moeten zijn. In de praktijk blijkt dat de temperatuur op enkele kilometers boven het aardoppervlak overeenkomt met de berekende waarde. **De temperatuur aan het aardoppervlak echter, blijkt ruim dertig graden hoger dan op grond van de hoeveelheid geabsorbeerde zonne-energie alleen**

¹ Over dit onderwerp is in de openbaarheid gesproken met dr A.P. van Ulden. Ook is in de beslotenheid over dit onderwerp gesproken met prof. dr C.J.E. Schuurmans).

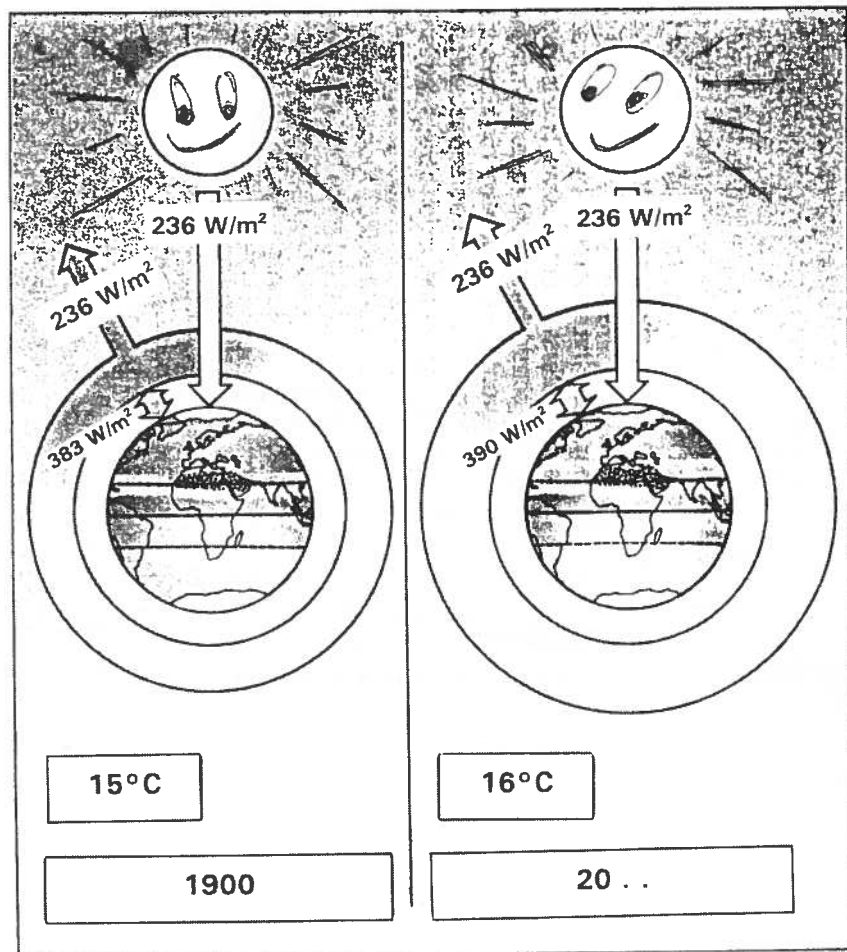
berekend wordt. De oorzaak hiervan is de aanwezigheid van broeikasgassen in de atmosfeer. De broeikasgassen in de atmosfeer hebben blijkbaar een grote invloed op de wijze waarop het klimaatstelsel met de hoeveelheid van de zon ontvangen energie omgaat. De kennis omtrent de invloed van de aanwezigheid van broeikasgassen in de atmosfeer op de energiehuishouding van het klimaatstelsel dateert uit het eind van de negentiende eeuw. Deze kennis kan gebruikt worden om vele waarnemingen te verklaren. De over langere perioden gemiddelde temperaturen op aarde en andere planeten, en verschillen daarin, zijn voorbeelden van dergelijke waarnemingen (tabel 4).



Figuur 8. Een versimpelde voorstelling van de energiehuishouding van de aarde en haar klimaatstelsel. In de tekening is weergegeven in procenten van de hoeveelheid aan de bovenkant van de atmosfeer binnenkomende energie in de vorm van zonnestraling, hoeveel van deze energie geabsorbeerd en gereflecteerd wordt door wolken, deeltjes en gassen, en door het aardoppervlak. Ook is weergegeven hoeveel van de energie die door de aarde wordt uitgezonden, wordt geabsorbeerd, dan wel naar het heelal uitgestraald. Alle getallen zijn lang-jarige gemiddelden over de hele aarde. Aan de bovenkant van de atmosfeer komt netto geen energie binnen. Er komt 100% in; er wordt $(6 + 20 + 4 =)$ 30% gereflecteerd door gassen, wolken en het aardoppervlak, en er wordt $(15 + 17 + 38 =)$ 70% energie door de aarde en haar klimaatstelsel in de vorm van langgolvlige straling uitgestraald, zodat er ook 100% naar het heelal wordt uitgestraald. Eenzelfde evenwicht geldt aan het aardoppervlak. Er wordt 51% van de binnenkomende hoeveelheid zonne-energie door het aardoppervlak geabsorbeerd; de aarde straalt meer energie uit, namelijk 114%, dan er aan de bovenkant van de atmosfeer binnenkomt, maar dit wordt voor een groot deel, namelijk 95%, gecompenseerd door de energie die de atmosfeer in de vorm van langgolvlige straling naar het aardoppervlak terugzendt. Netto zendt de aarde dus slechts 19% straling uit. Doordat er ook $(5 + 27 =)$ 32% aan de atmosfeer wordt afgestaan door warmtetransport, verliest het aardoppervlak 51%, hetgeen precies weer hetzelfde is als de hoeveelheid door het aardoppervlak geabsorbeerde zonne-energie. De tegenstraling van de atmosfeer (95%) is groter dan de hoeveelheid door het oppervlak geabsorbeerde zonne-energie (51%). De oorzaak van dit verschil is de aanwezigheid van broeikasgassen in de atmosfeer. Als gevolg hiervan is het aan het aardoppervlak dertig graden warmer dan in afwezigheid van deze gassen. Bron: Enquete-Kommission Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre.

De wijze waarop de aarde en haar klimaatstelsel onder de huidige condities omgaan met de ontvangen hoeveelheid zonne-energie, kan met behulp van figuur 8 worden weergegeven. Als deze hoeveelheid energie

van 337 watt per vierkante meter op 100 eenheden wordt gesteld, blijkt dat 30 eenheden daarvan door het aardoppervlak, deeltjes en wolken naar het heelal worden gereflecteerd. Verder worden 19 eenheden door de atmosfeer opgenomen. Uiteindelijk komen 51 eenheden op het aardoppervlak aan. Dit draagt bij aan het handhaven van de huidige temperatuur van het aardoppervlak. Van deze 51 eenheden worden 27 eenheden voor de verdamping van water gebruikt en 5 eenheden voor de afgifte van warmte aan de atmosfeer via het opstijgen van warme lucht. Voor de langgolvlige warmtestraling die door het aardoppervlak wordt afgegeven, blijven zo dus maar 19 eenheden over. Doordat deze energie deels door broeikasgassen in de atmosfeer enkele keren wordt opgenomen en weer wordt afgegeven, worden in werkelijkheid 114 eenheden door het aardoppervlak afgegeven en 95 eenheden opgenomen. De 19 eenheden die overblijven en via warmtestraling aan de atmosfeer worden afgegeven, worden zodoende als het ware vijf tot zes keer hergebruikt.



Figuur 9.

In deze figuur wordt de atmosfeer om de aarde voorgesteld als een laag met een isolerende werking (links). Als de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer toenemen zal de isolerende werking toenemen (rechts). De hoeveelheid aan de bovenkant van de atmosfeer binnenkomende en uitgaande energie in de vorm van straling zal ongewijzigd blijven. Aan het aardoppervlak zal door de sterkere isolerende werking van de atmosfeer echter sprake zijn van een hogere temperatuur dan voorheen. Bron: Enquete-Kommission Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre.

Wat is het broeikas-effect?

De broeikasgassen in de atmosfeer absorberen een deel van de energie die het aardoppervlak in de vorm van langgolvlige straling uitzendt. De energie die wordt opgenomen, wordt, wederom in de vorm van langgolvlige straling, direct weer afgegeven. Aangezien dit afgeven van langgolvlige straling naar alle richtingen gebeurt, wordt een deel weer richting aardoppervlak gestuurd. Zo komt dit deel weer aan het klimaatstelsel ten goede; de energie wordt als het ware hergebruikt. Zonder de aanwezigheid van deze broeikasgassen zou alle door de aarde uitgezonden energie in het heelal verdwijnen.

De atmosfeer om de aarde kan zo gezien worden als een isolerende laag, die de warmte van de aarde tegenhoudt, en de warmte van de zon doorlaat (figuur 9). Aan de buitenkant van de isolerende laag, dus richting zon, is het koud; aan de binnenkant van de isolator, dus richting aarde, is het warm. **Het broeikas-effect kan beschouwd worden als de isolerende werking die ontstaat door de aanwezigheid van broeikasgassen in de atmosfeer om de aarde. Deze werking zorgt ervoor dat het aan het aardoppervlak warmer is dan in afwezigheid van die laag.** Wanneer de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer toenemen, verandert de energiehuishouding van de aarde en haar klimaatstelsel. Een groter deel van de hoeveelheid door de aarde afgegeven energie zal dan weer ten goede komen aan de aarde en haar klimaatstelsel; de energie wordt als het ware vaker dan voorheen hergebruikt.

Als meer energie wordt vastgehouden door een toename van broeikasgassen, zal de aarde dus warmer worden. De aarde zal net zolang opwarmen, tot de hoeveelheid uitgezonden energie in balans is met de hoeveelheid ontvangen energie. **Een versterking van het broeikas-effect kan beschouwd worden als een sterkere isolerende werking van de atmosfeer;** de werking van de isolerende laag is als het ware sterker geworden. Hierdoor wordt meer warmte vastgehouden waardoor het aan de binnenkant van de isolerende laag, dus richting aarde, warmer wordt. De buitenkant van de sterkere isolator zal net zo koud zijn als de buitenkant van de minder sterke isolator. (Figuur 9)

Wat is de invloed van deeltjes op het broeikas-effect?

Deeltjes (= aerosolen) beïnvloeden evenals broeikasgassen de energiehuishouding van het klimaatstelsel. De wijze waarop deeltjes de energiehuishouding verstoren wijkt echter af van die van broeikasgassen. Als er tegelijk met een toename van broeikasgasconcentraties sprake is van een verandering in de concentratie of de verdeling van deeltjes in de atmosfeer, zal er zodoende naast de versterking van het broeikas-effect een additionele verstoring van de energiehuishouding optreden.

Deeltjes beïnvloeden de energiehuishouding op een **directe** manier door energie in de vorm van zonnestraling terug te kaatsen en, in veel mindere mate, door energie in de vorm van warmtestraling van het aardoppervlak op te nemen en gedeeltelijk weer aan het aardoppervlak af te geven (figuur 8). De directe invloed van de reeds opgetreden toename van deeltjes op de energiehuishouding van het klimaatstelsel is, als hij wordt uitgedrukt in energietermen en betrekking heeft op de wereldgemiddelde situatie, sterk negatief ofwel leidend tot een afkoeling van de aarde. In deze zin heeft de toename van deeltjes een compenserende werking op de toename van broeikasgassen. Doordat de concentraties per regio sterk verschillen, is dit effect op de meeste plaatsen veel kleiner dan het effect ten gevolge van een toename van broeikasgassen. In de buurt en benedenwinds van industriële gebieden kan het effect echter sterk zijn

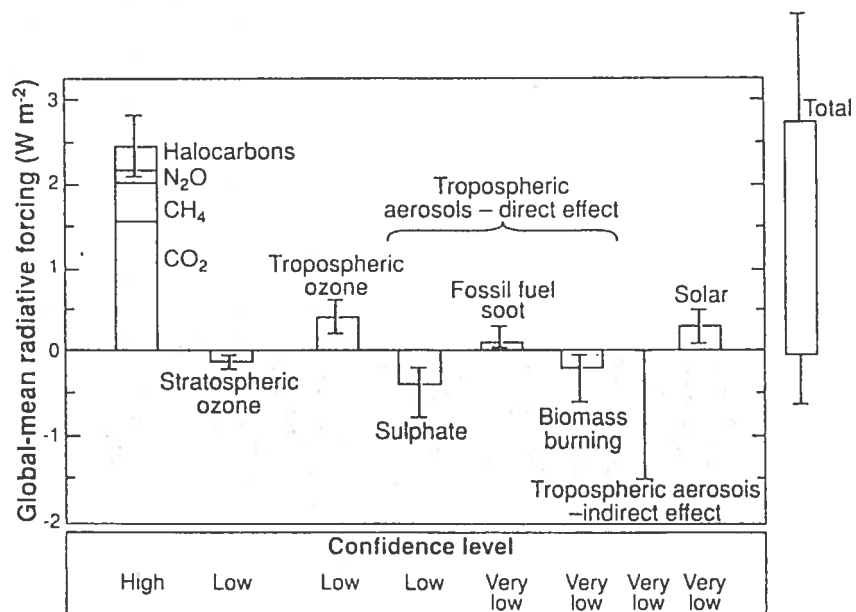
en het effect ten gevolge van toenemende broeikasgasconcentraties overtreffen.

Op een **indirecte** manier verstoren deeltjes de energiehuishouding via de beïnvloeding van wolkenvormingsprocessen. Wolken hebben een grote invloed op de energiehuishouding van het klimaatstelsel doordat zij inkomende zonnestraling terugkaatsen en, in mindere mate, doordat zij energie in de vorm van langgolvlige straling van de aarde opnemen en deels weer aan de aarde afgeven (figuur 8). Het effect op de energiehuishouding ten gevolge van de indirecte effecten van de deeltjes-toename is nog onduidelijk, maar mogelijk sterk negatief (= afkoelend). Dit zou de compenserende werking ten gevolge van de directe effecten nog eens versterken.

Overigens is de betrouwbaarheid van de kwantificeringen van de directe en indirecte effecten van deeltjes kleiner dan de betrouwbaarheid van de kwantificeringen van de effecten van de concentratie-toenames van kooldioxide, methaan, lachgas en de CFKs (figuur 10).

De aanwezigheid van deeltjes in de atmosfeer heeft een compenserende werking op het broeikaseffect; een toename van deeltjes in de atmosfeer kan in sommige opzichten een versterking van het broeikaseffect tegenwerken. Omdat deeltjes qua verdeling over de atmosfeer en stralingsgedrag afwijken van broeikasgassen, zal het nooit zo zijn dat een toename van deeltjes klimaatveranderingen door een toename van broeikasgassen volledig zal compenseren. Dit geldt ook als de verstoring van de energiehuishouding door een toename van deeltjes in wereld-gemiddelde zin precies tegengesteld is aan de verstoring door de toename van broeikasgassen.

Is er sprake van een versterking van het broeikaseffect?



Figuur 10.

De bijdrage van veranderingen in de concentraties van broeikasgassen en deeltjes, en in de activiteit van de zon aan de verstoring van de energiehuishouding van de atmosfeer gedurende de periode vanaf het pré-industriële tijdperk tot nu, is berekend met behulp van stralingsmodellen. De berekende getallen en hun onzekerheidsmarges zijn in de figuur weergegeven, inclusief de betrouwbaarheid van de getallen volgens de wetenschappers die hebben bijgedragen aan de totstandkoming van het Tweede Integrale IPCC-Rapport. Bron: IPCC.

De verstoring van de energiehuishouding door de toename van de atmosferische concentraties van broeikasgassen en deeltjes gedurende de periode vanaf het pré-industriële tijdperk tot nu kan worden geschat met behulp van modellen die de energiehuishouding van de aarde en haar klimaatsysteem nabootsen: de zogenoemde stralingsmodellen. In het Tweede Integrale IPCC-Rapport is de volgende schatting voor deze verstoring te vinden (figuur 10).

De aarde en haar klimaatsysteem absorberen gemiddeld ongeveer 70 eenheden aan zonne-energie (= 236 watt per vierkante meter). De verstoring van de energiehuishouding door de versterking van het broeikaseffect gedurende de periode sinds het pré-industriële tijdperk tot nu, is 2.75 watt per vierkante meter. Deze verstoring is toe te wijzen aan een toename van de concentraties van broeikasgassen (+2.45 watt) en aan een verandering in de ozonverdeling (+0.3 watt).

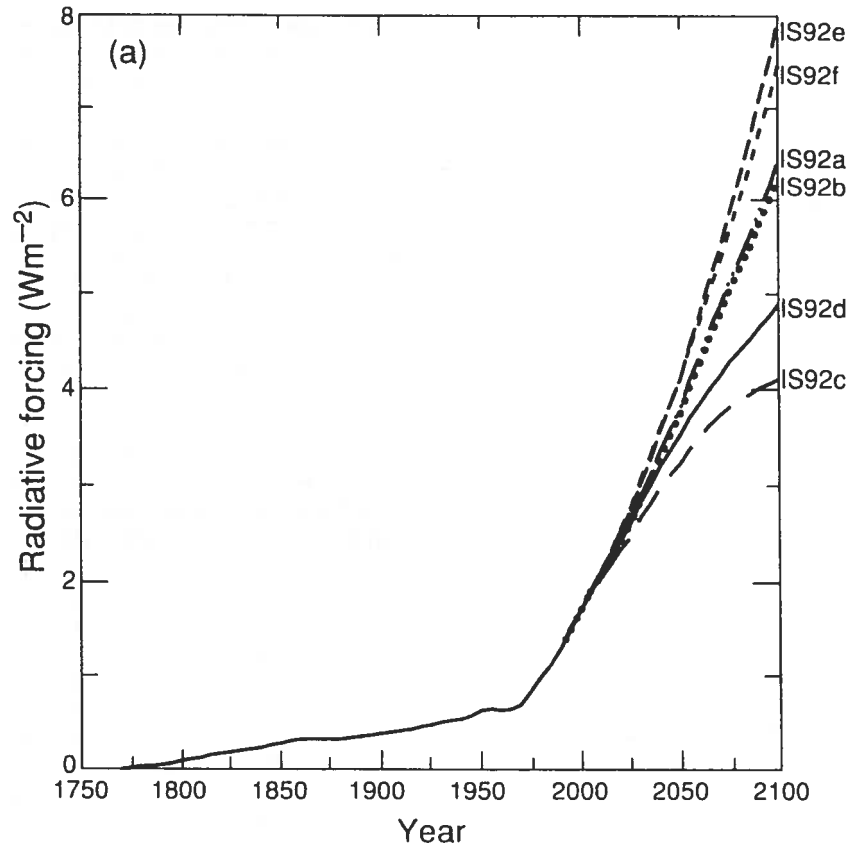
Andere processen leveren, net als de versterking van het broeikaseffect, ook een bijdrage aan de verstoring van de energiehuishouding van de aarde. Deeltjes leveren een directe bijdrage van -0.5 watt. Voor de indirecte bijdrage van deeltjes aan de verstoring is nog geen schatting voorhanden; wel wordt verondersteld dat deze bijdrage mogelijk sterk negatief is. Veranderingen in de activiteit van de zon hebben sinds 1850 een geschatte bijdrage van +0.3 watt geleverd.

Alles bijeengenomen is de verstoring van de energiehuishouding sinds de pré-industriële periode door een versterking van het broeikaseffect, een toename van deeltjes, en veranderingen in de activiteit van de zon sinds 1850, momenteel wereld-gemiddeld in de orde van +2.5 watt per vierkante meter. Dit is ongeveer één procent van de hoeveelheid zonne-energie die door de aarde en haar klimaatsysteem geabsorbeerd wordt.

Veranderingen in broeikasgasconcentraties leiden momentaan tot veranderingen in de energiehuishouding. Directe metingen zouden dan ook een overtuigend bewijs opleveren dat de hierboven gepresenteerde schattingen voor de verstoring van de energiehuishouding door een toename in de broeikasgasconcentraties (= het versterkte broeikaseffect) correct zijn. De beperkte nauwkeurigheid van meetinstrumenten die gebruikt worden voor directe metingen laten een dergelijke bewijsvoering echter niet toe. Een praktisch probleem is daarnaast dat nooit voldoende meetinstrumenten voorhanden zijn om een betrouwbare schatting te krijgen van de wereld-gemiddelde verstoring. Het gebrek aan nauwkeurige meetinstrumenten heeft ook tot gevolg dat van nature optredende schommelingen in de energiehuishouding van de aarde niet nauwkeurig bekend zijn. Desondanks wordt de hierboven gepresenteerde schatting van de wereld-gemiddelde verstoring van de energiehuishouding door de versterking van het broeikaseffect betrouwbaar geacht. Dit is gebaseerd op de overeenkomsten tussen uitkomsten van stralingsmodellen en waarnemingen van straling door middel van lokale metingen, satellietmetingen en laboratoriumexperimenten.

Geconcludeerd is, dat als het karakter van de verstoring van de energiehuishouding sinds het pré-industriële tijdperk ten gevolge van activiteiten door de mens, wordt afgezet tegen het karakter van verstoringen van de energiehuishouding door veranderingen in de zonne-instraling die tot ijstijden hebben geleid, eerstgenoemde verstoring niet langer verwaarloosbaar is. Deze conclusie is gebaseerd op zowel de grootte van de verstoring als de snelheid waarmee de verstoring toeneemt. Berekeningen geven aan dat de verstoring ten gevolge van activiteiten door de mens gedurende genoemde periode momenteel in de orde van een procent is van de hoeveelheid zonne-energie die door het aardoppervlak geabsorbeerd wordt (figuur 11). Ook

geven berekeningen aan dat de snelheid waarmee deze verstoring toeneemt in vergelijking met lokale veranderingen in zonne-instraling die de directe oorzaak van het ontstaan en verdwijnen van ijstijden zijn, groot is. De snelheid waarmee de verstoring gedurende het laatste decennium is toegenomen, bijvoorbeeld, is meer dan een factor tien groter is dan de snelheid waarmee de zonne-instraling gedurende de afgelopen honderd-duizend jaar op het Noordelijk Halfrond is toe- en afgenomen.



Figuur 11. Het verloop in de toename van de verstoring van de energiehuishouding sinds 1750 zoals berekend met behulp van stralingsmodellen. Verwacht wordt dat deze verstoring toe zal blijven nemen. De snelheid van deze toename is sterk afhankelijk van zaken als groei van de wereldbevolking en de verdeling van de totale hoeveelheid door de wereldbevolking gebruikte energie over de verschillende soorten energiebronnen. Dit is in deze figuur door middel van de scenario's IS92a-f weergegeven. Het scenario IS92a kan beschouwd worden als een voortzetting van de huidige trends. Bron: IPCC.

Op basis van kennis van de energiehuishouding van de aarde en haar klimaatsysteem wordt ten gevolge van de hierboven gepresenteerde schatting voor de verstoring van deze huishouding een warmere aarde verwacht. Bekend is dat het klimaatsysteem via mee- en tegenkoppelingen op verschillende tijdschalen zal reageren op deze verstoring. Naar verwachting zal een opwarming van het aardoppervlak dan ook niet instantaan gerealiseerd worden.

Wat zeggen waarnemingen over veranderingen in de klimaten op aarde?¹

Hoe variabel is de temperatuur op aarde van nature?

Om de uitzonderlijkheid van huidige en toekomstige veranderingen in de temperatuur op aarde te beoordelen, is het nuttig om reeds opgetreden veranderingen in de wereld-gemiddelde temperatuur te beschouwen. Hieruit kan worden afgeleid hoe de mondiale temperatuur van nature op verschillende tijdschalen varieert.

De laatste **twee miljoen jaar** worden gekenmerkt door een afwisseling van koudere periodes (ijstijden of glacialen), die in de orde van honderdduizend jaar duurden, en warmere periodes (inter-glacialen), die ongeveer tienduizend jaar duurden. Gedurende de glacialen was het op het Noordelijk Halfrond tot in de orde van tien graden kouder dan nu. Tijdens de interglacialen was het op het Noordelijk Halfrond tot enkele graden warmer dan nu. Opvallend is de synchroniciteit van temperatuurschommelingen met schommelingen in de concentraties van broeikasgassen als zeer lange periodes in beschouwing worden genomen (figuur 6).

De laatste ijstijd, die ongeveer **honderdduizend jaar** geleden begon, en de overgang naar het huidige interglaciaal, die ongeveer tienduizend jaar geleden werd ingezet, werden gekenmerkt door zeer snelle en grote klimaatfluctuaties. Op kleinere ruimtelijke schalen zijn er aanwijzingen dat de fluctuaties in de orde van vijf tot zeven graden Celsius beliepen en op een tijdschaal van enkele decennia optraden. Deze fluctuaties gingen gepaard met veranderingen in de temperatuur van, en transportprocessen in, atmosfeer en oceaan, en met veranderingen in de hydrologische kringloop.

Opvallend is dat klimaatmodellen de lage temperaturen gedurende de laatste ijstijd alleen kunnen verklaren wanneer ook de kooldioxideconcentratie aan de toenmalige waarde van 200 ppmv wordt aangepast (figuur 6). Deze waarde ligt bijna dertig procent onder de pré-industriële waarde van 280 ppmv en ruim veertig procent onder de huidige waarde van 360 ppmv (figuur 3).

Ongeveer **tienduizend jaar** geleden begon een warmere periode (= interglaciaal). Deze periode wordt gekenmerkt door een relatief stabiel klimaat. Het is onwaarschijnlijk dat de temperatuurtoename in een willekeurige eeuw tijdens deze periode groter was dan een graad Celsius.

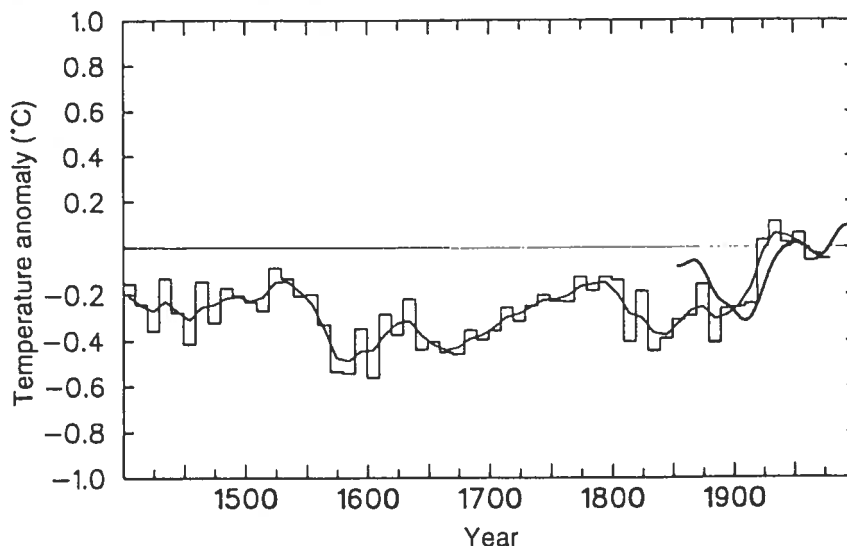
Over de periode **sinds 1400** zijn voldoende indirecte metingen beschikbaar om een nauwkeurige indruk te krijgen over tendensen in de gemiddelde temperatuur op het Noordelijk Halfrond. Uit deze metingen blijkt dat de schommelingen in de temperatuur van het Noordelijk Halfrond gedurende een periode van een eeuw in de orde van een halve graad Celsius waren (figuur 12). **Op basis van de temperatuurschommelingen die sinds 1400 op het Noordelijk Halfrond zijn opgetreden, kan als maat voor de natuurlijke variabiliteit van het huidige klimaat op een tijdschaal van honderd jaar plus of min een halve graad Celsius wereld-gemiddeld worden aangehouden.** Schattingen voor de natuurlijke variabiliteit die zijn gebaseerd op modelberekeningen, komen hiermee overeen.

¹ Over dit onderwerp is in de openbaarheid gesproken met prof. dr J. Oerlemans. Ook is in de beslotenheid over dit onderwerp gesproken met prof. dr H.N.A. Priem).

Zijn de klimaten op aarde de afgelopen eeuwen veranderd?

In het voorgaande is geconstateerd dat de verstoring van de energiehuishouding door de mens niet langer verwaarloosbaar is en dat het klimaatsysteem hierop zal moeten reageren. De vraag die zich aandient is of waarnemingen erop wijzen dat het klimaat is veranderd.

Er is veel informatie voorhanden over tendensen in het **temperatuurverloop** sinds het begin van het industriële tijdperk aan het eind van de achttiende eeuw. Waarnemingen suggereren dat de twintigste eeuw minstens zo warm is als de eraan voorafgaande eeuwen sinds 1400 (figuur 12) en wijzen uit dat de opwarming de afgelopen eeuw wereldgemiddeld ongeveer een halve graad was (figuur 2). Op een groot



Figuur 12. Het verloop in de zomertemperaturen op het Noordelijk Halfrond sinds het begin van de vijftiende eeuw zoals dat aan de hand van indirecte metingen voor tienjaarlijkse perioden is gereconstrueerd. Bron: IPCC.

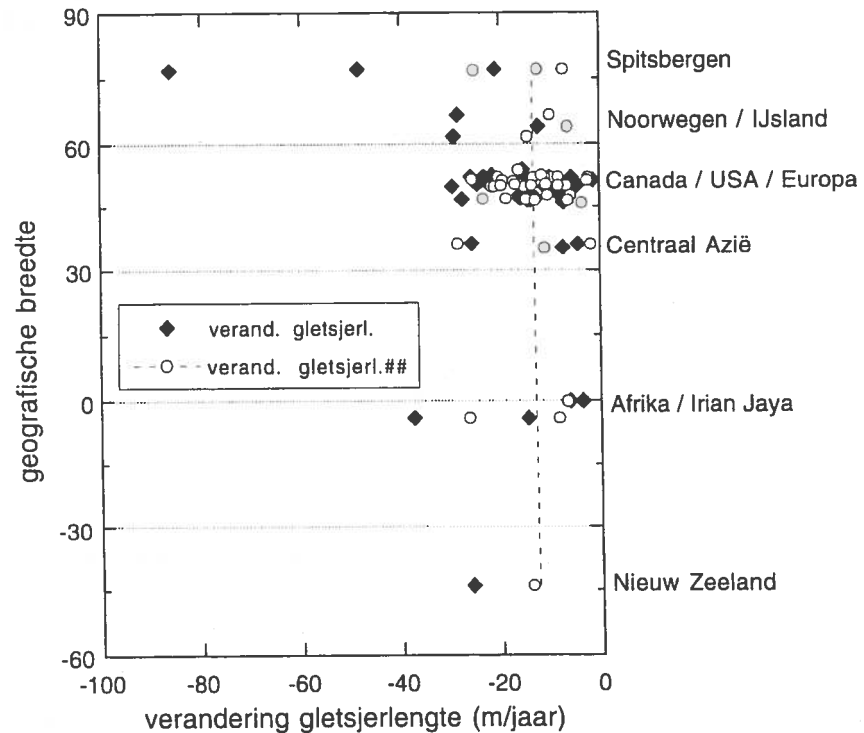
gedeelte van het landoppervlak van de aarde is de laatste decennia het verschil tussen dag- en nachttemperaturen kleiner geworden doordat de temperaturen gedurende de nacht meer zijn toegenomen dan gedurende de dag. Daarnaast waren de afgelopen jaren in wereld-gemiddelde zin het warmst sinds het begin van de directe temperatuurmetingen rond 1860. Dit is des te opvallender omdat er gedurende deze periode een zware vulkaanuitbarsting is geweest. Zware vulkaanuitbarstingen zorgen in het algemeen, door de uitstoot van enorme hoeveelheden deeltjes in hogere gedeeltes van de atmosfeer, voor een meetbare afkoeling van de aarde die één tot enkele jaren kan aanhouden.

Er zijn onvoldoende aanwijzingen om te kunnen concluderen dat de **grilligheid** van het klimaat wereld-gemiddeld is veranderd of gelijk gebleven.

De directe metingen worden bevestigd door indirecte methoden die gebruikt kunnen worden om naar klimaten in het verleden te kijken. **Gletsjers**, bijvoorbeeld, hebben zich gedurende de afgelopen anderhalve eeuw wereldwijd teruggetrokken. Als alle reeksen van gletsjerlengte worden gebruikt die langer zijn dan vijftig jaar blijkt dat geen enkele gletsjer gemiddeld over een periode van meer dan vijftig jaar langer is

geworden (figuur 13). Gedurende kortere periodes zijn enkele gletsjers wel langer worden, zodat ook bij gletsjers sprake is van een langere-termijn trend met kortere-termijn fluctuaties. De gemiddelde terugtrekking van de onderzochte gletsjers ligt boven de tien meter per jaar, met als uitschieter een gletsjer op Spitsbergen die zich gedurende een eeuw bijna honderd meter per jaar heeft teruggetrokken. Gemeld is dat de terugtrekking van gletsjers sinds 1850 voor een kwart tot drietiende verklaard zou kunnen worden uit de versterking van het broeikas effect ten gevolge van activiteiten door de mens.

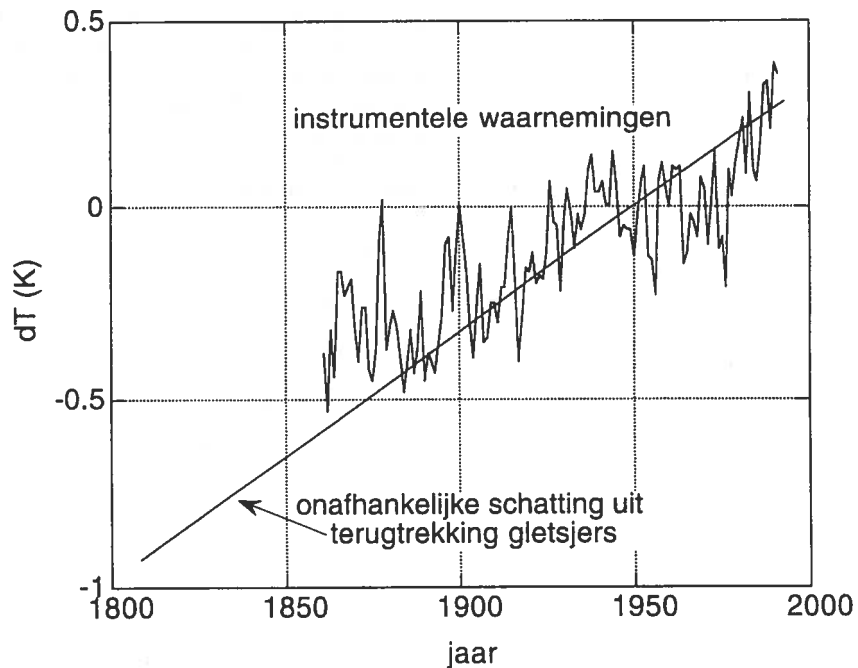
Aan de hand van kennis over hoe een gletsjer reageert op temperatuurveranderingen en waarnemingen over veranderingen in gletsjerlengte



Figuur 13.

De terugtrekking van gletsjers op het Noordelijk Halfrond gedurende de afgelopen halve tot anderhalve eeuw, zoals aan de hand van alle meetreeksen die langer zijn dan vijftig jaar is gereconstrueerd. Als de reeksen worden gecorrigeerd voor hun onderling afwijkende geometrie, blijkt dat de gemiddelde terugtrekking van betreffende gletsjers meer dan tien meter per jaar is. Bron: J. Oerlemans.

gedurende een langere periode, is het mogelijk het temperatuurverloop gemiddeld over grotere gebieden en een langere periode te reconstrueren. Dit is gedaan voor het temperatuurverloop gemiddeld over het Noordelijk Halfrond gedurende de periode sinds 1850. Er blijkt een duidelijke overeenkomst tussen het temperatuurverloop zoals dat aan de hand van veranderingen in gletsjerlengte is gereconstrueerd en zoals dat is waargenomen (figuur 14). Dit bevestigt in ieder geval voor het Noordelijk Halfrond de conclusie dat het de afgelopen eeuw warmer is geworden.



Figuur 14.

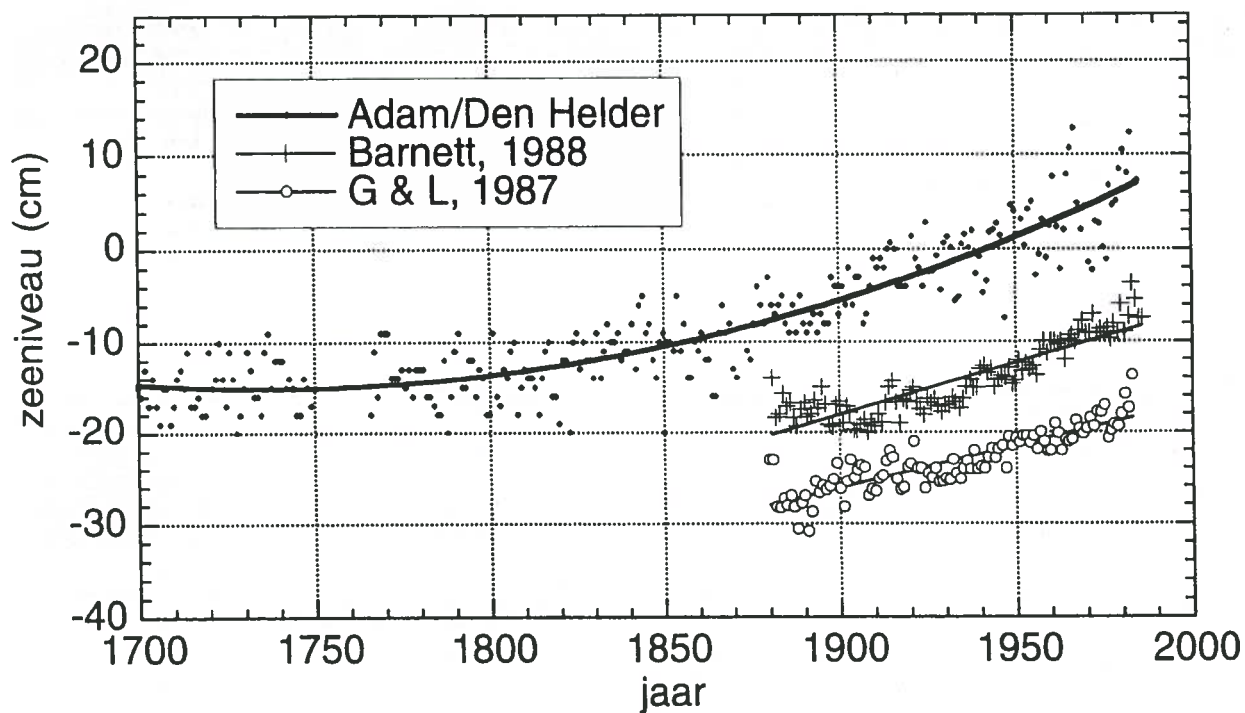
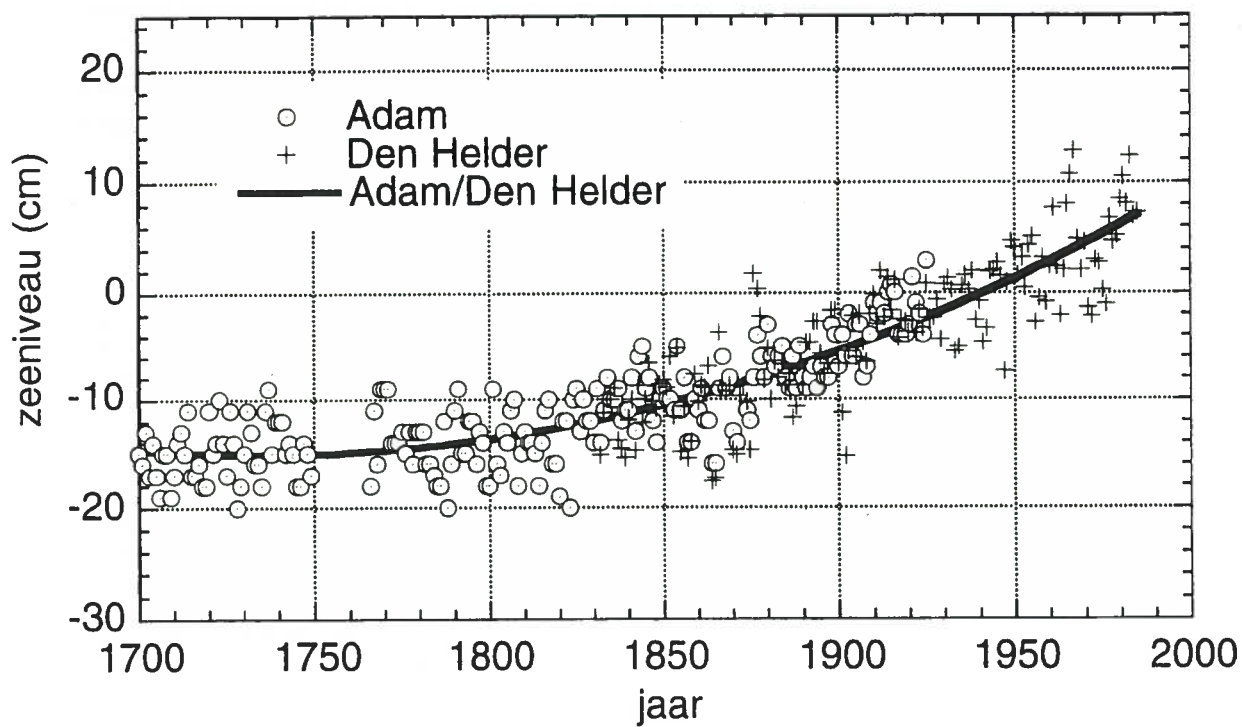
Als bestaande kennis inzake de gevoeligheid van het afkalven en aangroeien van gletsjers voor temperatuurveranderingen wordt gebruikt, kan aan de hand van de waargenomen gemiddelde terugtrekking van gletsjers op het Noordelijk Halfrond worden geconcludeerd dat de temperatuur de afgelopen eeuw moet zijn gestegen. Ter vergelijking is het waargenomen temperatuurverloop, zoals dat gebaseerd is op directe metingen, ook in de figuur weergegeven. Bron: J.Oerlemans.

De **wereld-gemiddelde zeespiegel** is de afgelopen eeuw tussen de tien en vijftig centimeter gestegen. Gedurende de afgelopen eeuw is er geen stijging geweest in de snelheid waarmee de zeespiegel is toegenomen, maar de snelheid over de afgelopen eeuw is wel hoger dan de snelheid waarmee de zeespiegel de afgelopen twee millennia gestegen is.

De zeespiegelstijging lijkt aan **de Nederlandse kust** de afgelopen eeuw iets sneller te zijn verlopen dan de wereld-gemiddelde stijging (figuur 15). Dit sluit aan bij het beeld van een bodem in Nederland die enkele centimeters per eeuw daalt. Daarnaast lijkt het of er aan de Nederlandse kust wel sprake is van een versnelling in de rijzing van de zee.

Waarnemingen wijzen uit dat de aarde gedurende de laatste eeuw duidelijk warmer is geworden. Het antwoord op de vraag of dit betekent dat het klimaat veranderd is, kan in de context van het onderhavige rapport pas bevestigend zijn als de verandering groter is dan op grond van de natuurlijke variabiliteit verwacht mag worden. Het klimaat verandert van nature immers continu. Dit wordt in technische discussies meestal het detectie-probleem genoemd. De conclusie die in dit verband in het Tweede Integrale IPCC-Rapport is getrokken, is dat **de mondiale temperatuuroptename, die gedurende de afgelopen eeuw is waargenomen, significant is**, in de zin dat het onwaarschijnlijk is dat zij geheel door natuurlijke fluctuaties van binnen het klimaatsysteem is veroorzaakt.

Nu is gemeld dat het onwaarschijnlijk is dat de mondiale opwarming de afgelopen eeuw in zijn geheel veroorzaakt is door de natuurlijke variabiliteit van het klimaatsysteem, is de vraag van belang of activiteiten door



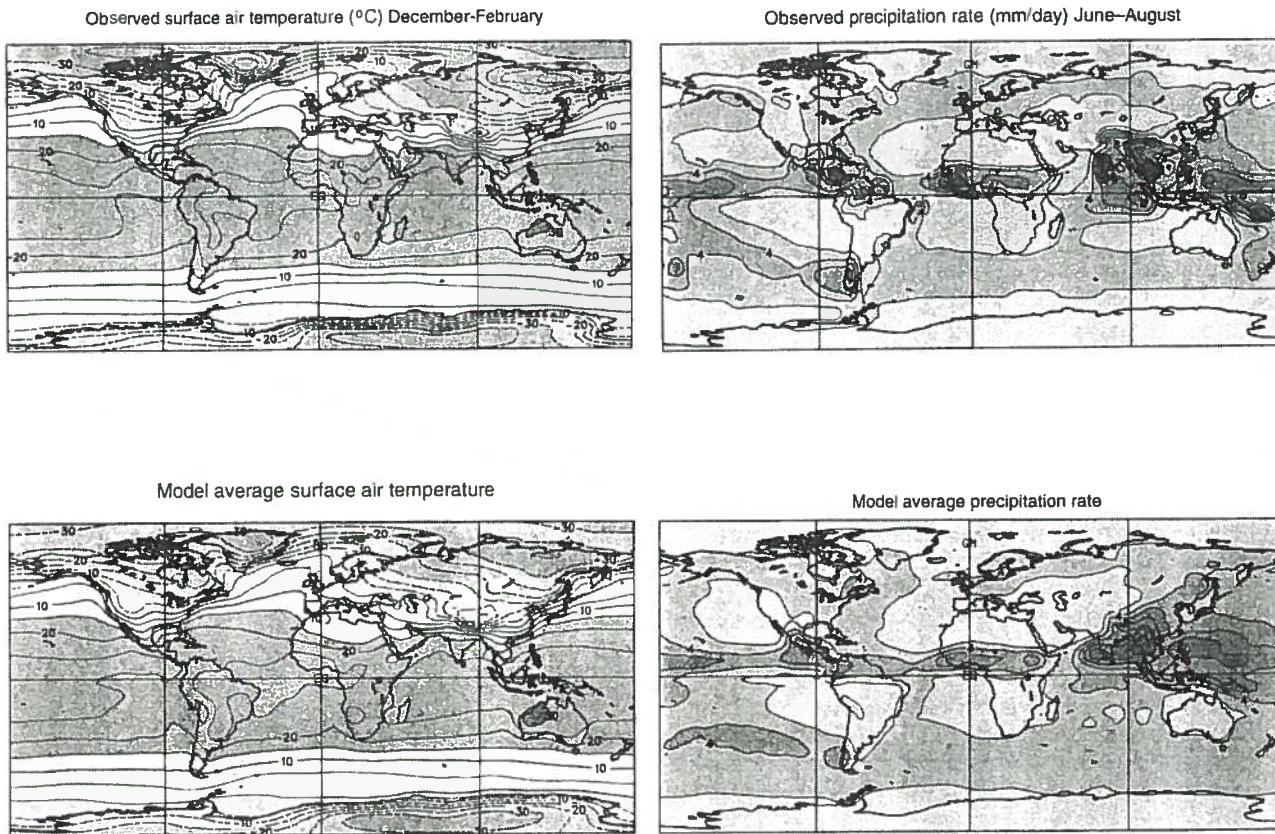
Figuur 15. Het verloop in de stand van de zeespiegel aan de Nederlandse kust zoals dat sinds het begin van de achttiende eeuw is bijgehouden (boven). Ter vergelijking zijn twee reeksen die betrekking hebben op het verloop in de wereldgemiddelde stand van de zeespiegel weergegeven (onder). Bron: J. Oerlemans.

de mens wellicht de oorzaak kunnen zijn van de betreffende opwarming. Dit wordt het attributie-probleem genoemd. Om de waargenomen klimaatveranderingen te kunnen toewijzen aan activiteiten door de mens is het noodzakelijk om een indruk te krijgen over de specifieke kenmerken van een door de mens veroorzaakte klimaatverandering. Hulpmiddelen die hiervoor gebruikt worden, zijn klimaatmodellen.

Kunnen klimaatmodellen de waargenomen klimaten beschrijven?

Het klimaatsysteem (figuur 1), dat eerder in deze rapportage voorgesteld is als het geheel van atmosfeer, oceaan en landmassa's, inclusief al zijn subsystemen, kan beschouwd worden als een complex systeem. Alle onderdelen van dit systeem vertonen op alle tijdschalen interactie met elkaar. Deze interacties versterken elkaar (= positieve terugkoppeling) of zwakken elkaar af (= negatieve terugkoppeling). Hoe al die verschillende interacties verlopen en hoe ze uiteindelijk gezamenlijk uitwerken is niet precies bekend.

Een manier om het klimaatsysteem te bestuderen is door middel van het ontwikkelen van klimaatmodellen. Klimaatmodellen zijn computermodellen die gebaseerd zijn op universeel geldende natuurwetten. Hierbij moet gedacht worden aan wetten uit de stromings- en warmteleer, en aan verdampings- en stralingswetten. Met klimaatmodellen tracht men het gedrag van alle onderdelen van het klimaatsysteem, inclusief hun interacties, na te bootsen.

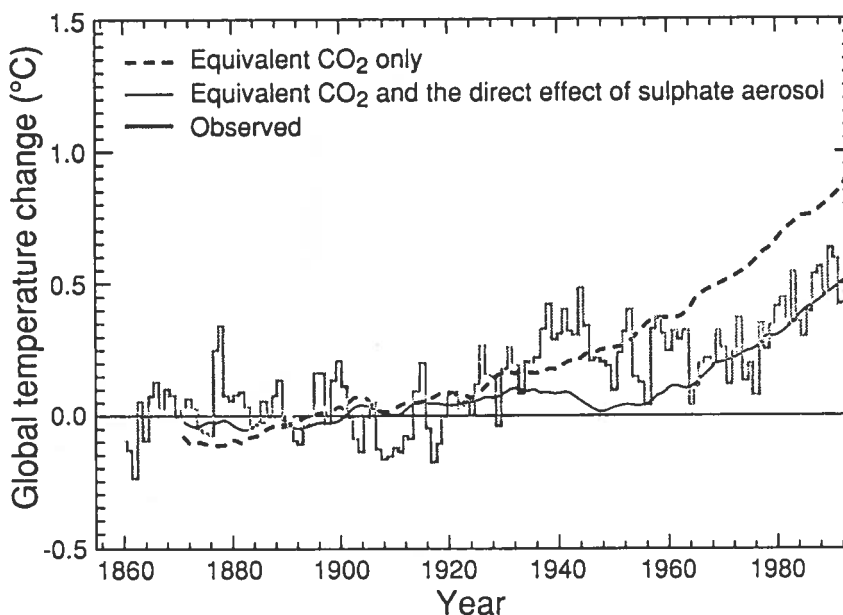


Figuur 16. De waargenomen verdelingen over de aarde van de gemiddelde wintertemperatuur in graden Celsius en van de gemiddelde hoeveelheid zomereerslag in millimeters per dag (boven) komen overeen met de door een klimaatmodel nagebootste verdelingen van dezelfde variabelen (onder). Bron: IPCC.

De kwaliteiten van klimaatmodellen kunnen worden onderzocht door ze het huidige klimaat te laten nabootsen. **Klimaatmodellen zijn in staat de huidige verdeling van neerslag en temperatuur over de aarde gedurende de seizoenen te bootsen** (figuur 16). Vooral van belang is dat de patronen gelijkend zijn.

Een andere test wordt gevormd door het nabootsen van temperatuurveranderingen die in het verleden zijn opgetreden. **Klimaatmodellen van verschillende complexiteit zijn in staat de lage temperaturen op beide halfronden tijdens de laatste ijstijd te verklaren.** Ook komt het door klimaatmodellen nagebootste wereld-gemiddelde temperatuurverloop gedurende de afgelopen anderhalve eeuw overeen met het in werkelijkheid opgetreden temperatuurverloop (figuur 17).

Hieruit kan geconcludeerd worden dat klimaatmodellen in staat zijn de verschillende klimaten op aarde te beschrijven.



Figuur 17.

Met een klimaatmodel is het waargenomen verloop in de wereldgemiddelde temperatuur in graden Celsius sinds het midden van de negentiende eeuw nagebootst. Het blijkt dat het waargenomen temperatuurverloop en het door het klimaatmodel nagebootste temperatuurverloop beter overeenkomt als het klimaatmodel niet alleen rekening houdt met de toename in de concentraties van broeikasgassen (gestippelde golvende lijn), maar ook met de toename van de concentraties van deeltjes (getrokken golvende lijn). Bron: IPCC.

Als de goede werking van een klimaatmodel is aangetoond, kan als volgende experiment worden onderzocht hoe gevoelig het klimaatstelsel is voor een verstoring. Een voorbeeld van een verstoring is toename van de hoeveelheid deeltjes in de atmosfeer door een vulkaanuitbarsting. In de context van het werk van de Commissie moet echter gedacht worden aan een versterking van het broeikas effect door een toename van broeikasgassen in de atmosfeer.

Zullen de concentraties van broeikasgassen en deeltjes blijven toenemen?¹

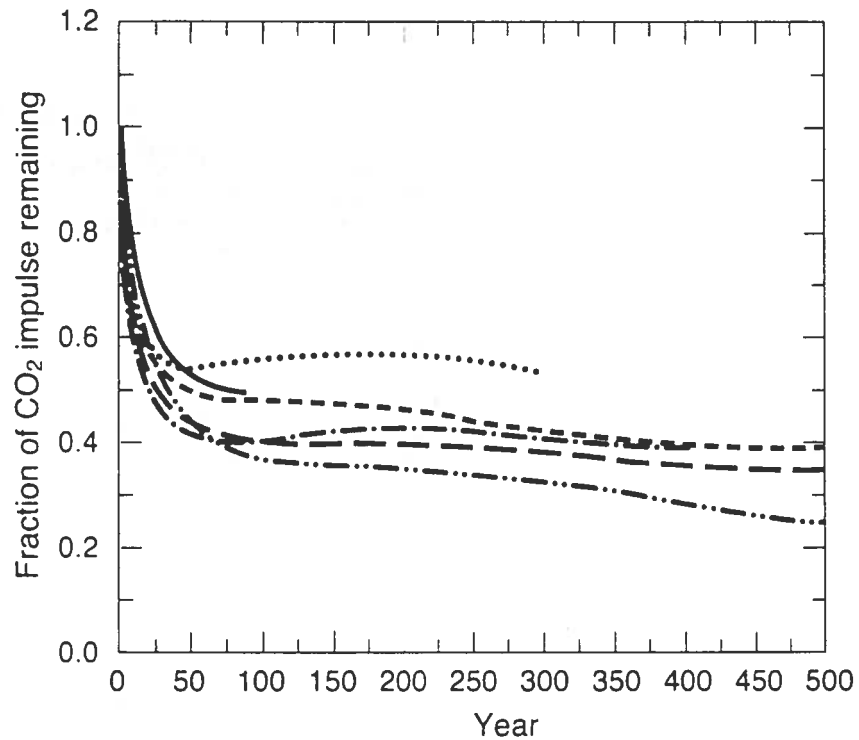
Hoe lang verblijven broeikasgassen en deeltjes in de atmosfeer?

De verblijftijd is gedefinieerd als de tijd die verstrijkt voordat ongeveer zestig procent van een bepaalde hoeveelheid van een bepaald gas, die op

¹ Over dit onderwerp is in de openbaarheid gesproken met prof. dr ir J. Goudriaan. Ook is in de beslotenheid over dit onderwerp gesproken met dr ir R. Swart.

een bepaald moment aan de atmosfeer wordt toegevoegd, weer uit de atmosfeer verdwenen is. De verblijftijd van momenteel bekende broeikasgassen loopt uiteen van een dag tot vijftig millennia. **De verblijftijd van methaan en lachgas is respectievelijk iets meer dan een decennium en iets meer dan een eeuw. Voor kooldioxide is geen verblijftijd te geven.** Uit studies met koolstofkringloopmodellen volgt dat na ongeveer een eeuw rond de zestig procent van de oorspronkelijke hoeveelheid geëmitteerde kooldioxide uit de atmosfeer is verdwenen, en dat deze situatie na vijfhonderd tot duizend jaar nauwelijks veranderd is (figuur 18).

Door hun lange verblijftijd hopen vele broeikasgassen sterk op in de atmosfeer met als gevolg dat veranderingen in emissies zich geruime tijd in concentratieveranderingen uiten.



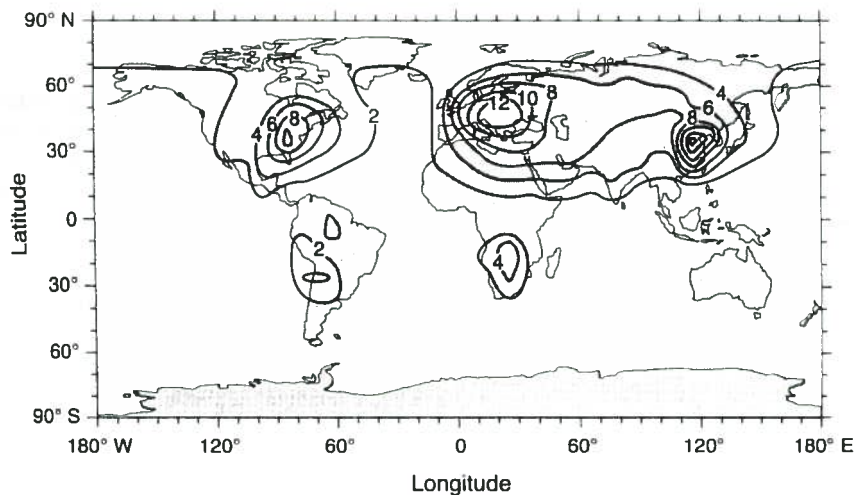
Figuur 18. Koolstofkringloopmodellen kunnen gebruikt worden om na te gaan hoe snel een bepaalde hoeveelheid kooldioxide dat op het tijdstip 0 aan de atmosfeer is toegevoegd weer uit de atmosfeer verdwijnt. Op basis van dergelijke experimenten wordt aangenomen dat na een relatief korte periode van typisch een eeuw ongeveer zestig procent van deze hoeveelheid weer uit de atmosfeer verdwenen is, maar dat in deze situatie na vijfhonderd á duizend jaar weinig verandering is gekomen. Bron: IPCC.

De verblijftijd van deeltjes die aan het aardoppervlak worden geëmitteerd is in de orde van een week. Deeltjes die hoger in de atmosfeer terecht komen, bijvoorbeeld door zware vulkaanuitbarstingen of vliegverkeer, hebben een verblijftijd die tot in de orde van maanden kan bedragen. Hierdoor hopen zij weinig op in de atmosfeer met als resultaat dat veranderingen in emissies zich snel uiten in concentratieveranderingen. De korte verblijftijd heeft ook tot gevolg dat concentraties van deeltjes vooral in de buurt van de gebieden waar zij worden geëmitteerd, en benedenwinds daarvan, hoog zijn (figuur 19). Dit zijn industriële gebieden en gebieden waar veel biomassa wordt verbrand. Dit staat in contrast met de concentraties van lang-levende broeikasgassen, waarbij

nauwelijks sprake is van concentratieverschillen tussen verschillende gebieden op aarde.

Zullen de concentraties bij de huidige trends blijven toenemen?

De concentratie van een gas in de atmosfeer wordt bepaald door de hoeveelheden die van dat gas aan de atmosfeer worden toegevoegd (= emissie) of via chemische reacties in de atmosfeer ontstaan, minus de hoeveelheden die aan de atmosfeer worden onttrokken via chemische reacties of opname aan het aardoppervlak door zogenoemde putten. **Als er een grotere hoeveelheid van een broeikasgas aan de atmosfeer wordt toegevoegd dan eruit verdwijnt, zal de concentratie in de atmosfeer toenemen.** Met andere woorden, als er per tijdseenheid **netto** een constante hoeveelheid wordt toegevoegd, zal de concentratie toenemen. Veranderende concentraties zullen leiden tot veranderingen in (chemische) processen binnen het klimaatsysteem. Hierdoor kan op gegeven moment de situatie ontstaan dat de hoeveelheid die aan de atmosfeer wordt toegevoegd gelijk is aan de hoeveelheid die eruit verdwijnt. In dat geval zal er sprake zijn van een stabilisatie van de concentratie.



Figuur 19.

De concentraties van deeltjes in de atmosfeer zijn met behulp van een verspreidingsmodel nagebootst. Omdat deeltjes door hun korte verblijftijd in de atmosfeer nauwelijks ophopen en, daardoor niet, zoals lang-levende broeikasgassen over de gehele atmosfeer verspreid worden, zijn de concentraties het hoogst in de directe nabijheid van gebieden met een hoge industriële activiteit, in gebieden waar veel biomassa verbrand wordt, en benedenwinds van betreffende gebieden. Bron: IPCC.

Des te langer de verblijftijd van een gas in de atmosfeer is, des te langer het zal duren totdat stabilisatie bereikt is en des te groter de concentratie-toename op het moment dat stabilisatie bereikt is. Dat langer-levende broeikasgassen meer tijd nodig hebben om tot een stabilisatie van de concentraties te komen dan korter-levende broeikasgassen en dat de hiermee gepaard gaande concentratietoename groter is, hangt samen met het gegeven dat langer-levende broeikasgassen meer gelegenheid hebben om in de atmosfeer op te hopen.

Ook als de hoeveelheid die per tijdseenheid in de atmosfeer achterblijft afneemt, zal de toename van de concentratie voortduren. De concentratie zal zich dan echter sneller en bij een lagere concentratie stabiliseren. Hoe snel en bij welke concentratie, is weer in sterke mate afhankelijk van de verblijftijd van het betreffende broeikasgas.

Gedurende de periode vanaf het pré-industriële tijdperk tot nu is voor de meeste broeikasgassen en voor deeltjes sprake geweest van een grotere hoeveelheid die per tijdseenheid aan de atmosfeer wordt toegevoegd, dan eruit verdwijnt. Deze hoeveelheid is gedurende genoemde periode steeds sneller in omvang toegenomen. Deze situatie is momenteel onveranderd. **De huidige situatie is dat voor een aantal lang-levende broeikasgassen de hoeveelheden die aan de atmosfeer worden toegevoegd zoveel groter zijn dan die eraan worden onttrokken, dat als deze situatie onveranderd blijft, de concentraties nog lang zullen blijven toenemen.** In het geval van kooldioxide zal de concentratie rond het jaar 2100 700 ppmv (= tweeën-eenhalfmaal de pré-industriële concentratie van 280 ppmv) bedragen en daarna nog eeuwen toenemen.

Bij de huidige trends met betrekking tot omvang van de wereldbevolking, energieverbruik per hoofd van de wereldbevolking, en hoeveelheid broeikasgasemissies per eenheid energieverbruik, zal de huidige versterking van het broeikaseffect voor het midden van de volgende eeuw verdubbeld zijn (figuur 11). Een volgende verdubbeling van de versterking van het broeikaseffect zal, bij voortzetting van de huidige trends, voor het midden van de tweeëntwintigste eeuw zijn gerealiseerd.

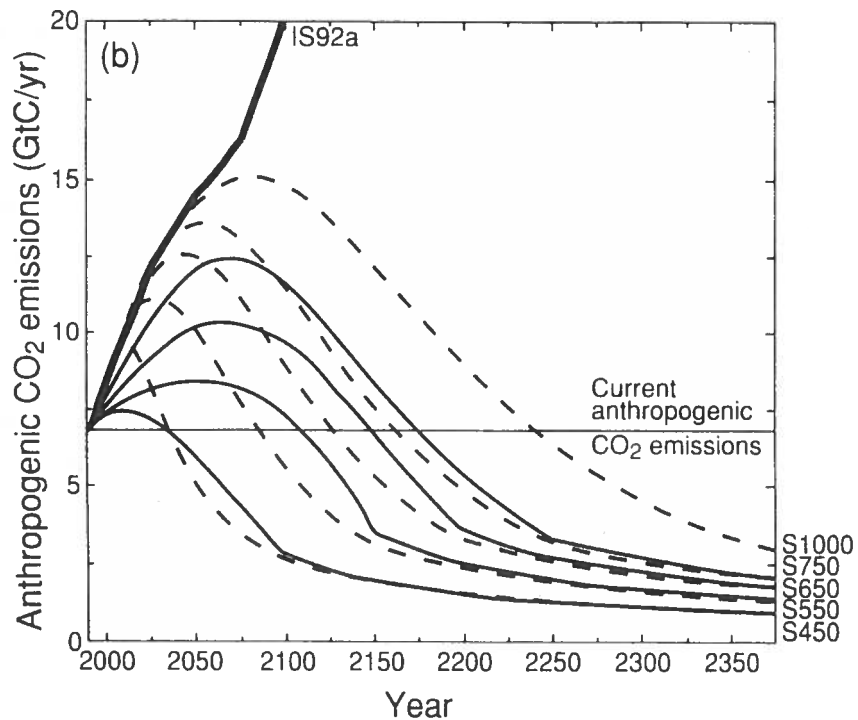
Kunnen de concentraties gestabiliseerd worden?

Als emissies wereldwijd gemiddeld worden gestabiliseerd, zullen uiteindelijk ook de atmosferische concentraties stabiliseren. Door de lange verblijftijd van een aantal broeikasgassen zal deze stabilisatie van concentraties pas lange tijd na de stabilisatie van emissies optreden. Des te sneller emissies bij de huidige trend gestabiliseerd worden, des te lager het niveau is waarop de concentraties uiteindelijk zullen stabiliseren. De concentraties zullen onder genoemde voorwaarden overigens altijd hoger zijn dan de huidige.

Als men de concentratie van kooldioxide in de atmosfeer wil stabiliseren op tweemaal de pré-industriële concentratie van 280 ppmv, is het niet voldoende om emissies wereld-gemiddeld te stabiliseren op niveaus gelijk aan of iets lager dan de huidige. Dit geldt ook voor stabilisatie op drie- of viermaal de pré-industriële concentratie. Als, bijvoorbeeld, een stabilisatie van de concentratie op tweemaal het pré-industriële niveau het doel is, zullen de emissies wereld-gemiddeld uiteindelijk met ongeveer zeventig procent verminderd moeten worden.

De stijging van de broeikasgasconcentraties kan worden beperkt door de huidige mondiale emissies sterk te reduceren. De emissiereducties die hiervoor benodigd zijn, zijn sterk afhankelijk van de atmosferische verblijftijd van het betreffende broeikasgas. Voor methaan zijn emissiereducties in de orde van tien procent nodig om de concentratie op het huidige niveau te stabiliseren. Vervolgens kan het volgende broeikasgas uit de rij worden aangepakt. Dit is lachgas. Voor een stabilisatie van de lachgasconcentraties is een mondiale emissiereductie van rond de vijftig procent noodzakelijk. Voor kooldioxide, dat een zeer lange verblijftijd heeft, zijn emissiereducties van wereld-gemiddeld meer dan negentig procent nodig om de concentratie op het niveau van 1990 (= 350 ppmv) te stabiliseren (figuur 20).

De invloed van een stabilisatie van concentraties op de versterking van het broeikaseffect is voor alle gassen verschillend. Emissies van kooldioxide dragen sterker bij aan de versterking van het broeikaseffect dan emissies van lachgas en methaan. Uit scenario-berekeningen volgt dat kooldioxide momenteel voor meer dan de helft tot driekwart bijdraagt en



Figuur 20.

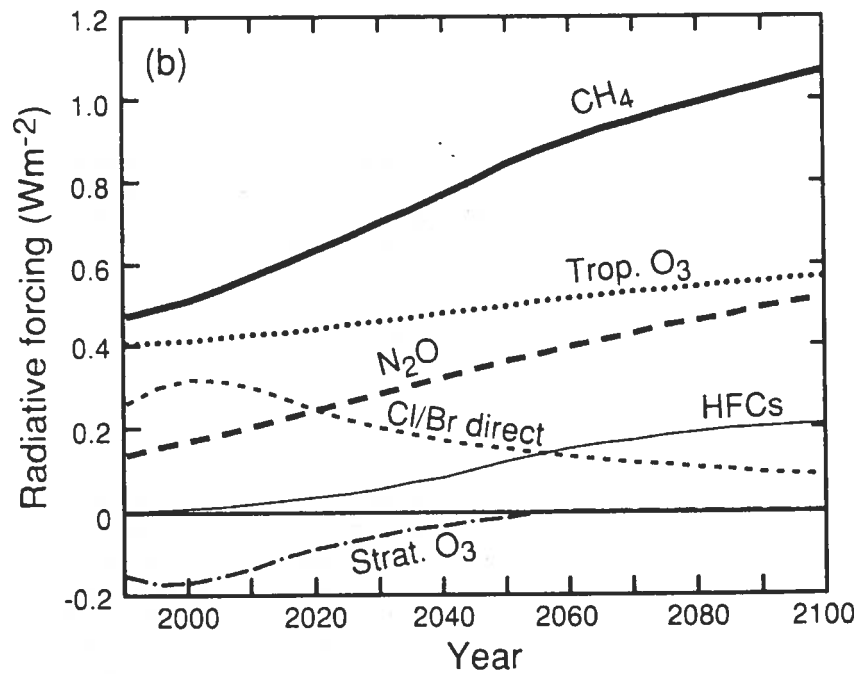
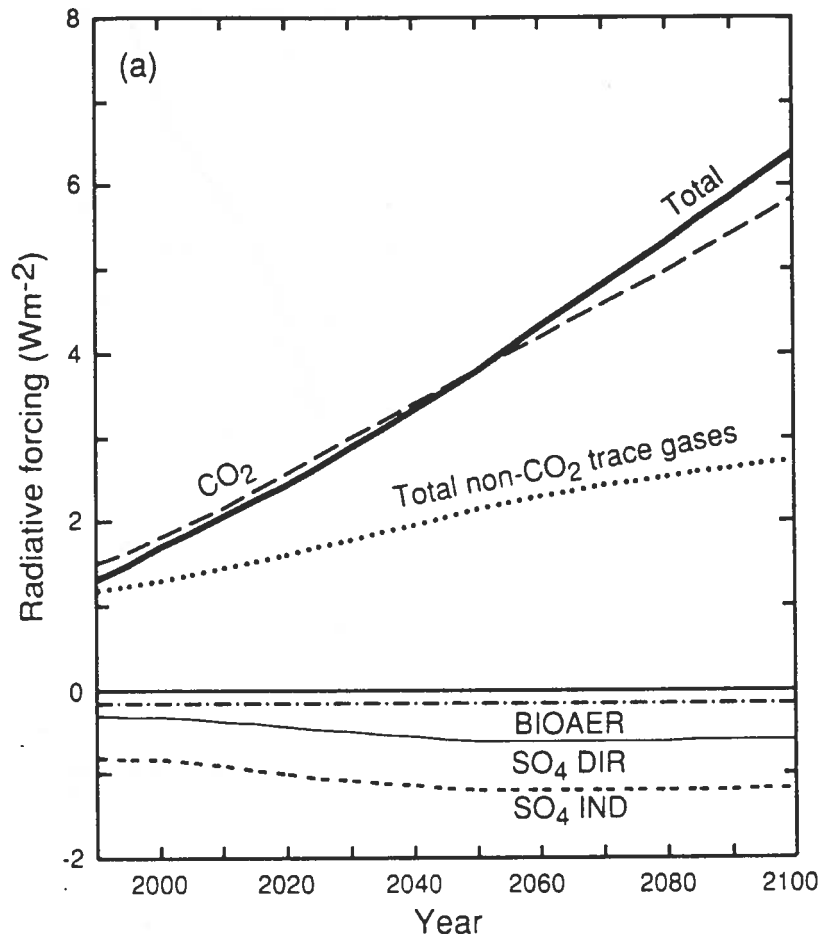
Met behulp van koolstofkringloopmodellen kan worden berekend hoe het verloop in de mondiale emissies van kooldioxide ongeveer zou mogen zijn als gesteld wordt dat de concentraties op bepaalde vastgestelde waarden van 450, 550, 650, 750 en 1000 ppmv zouden dienen te stabiliseren. Berekend is dat zelfs als men overeen zou komen de concentraties op ongeveer drieëneenhalfmaal de pré-industriële concentratie van 280 ppmv te stabiliseren (= 1000 ppmv), de emissies uiteindelijk lager moeten zijn dan momenteel het geval is. Ter vergelijking is het bij een voortzetting van de huidige trends verwachte concentratieverloop, zoals berekend in IPCC-kader (= IS92a), weergegeven. Bron: IPCC.

tot 2100 zal blijven bijdragen aan de versterking van het broeikas-effect (figuur 21). Om deze reden zal een stabilisatie van de kooldioxideconcentraties in absolute zin een verdere versterking van het broeikas-effect het meest tegengaan.

Een andere optie om de atmosferische concentraties van broeikasgassen op termijn te stabiliseren, is het vergroten van de bestaande putten of het creëren van nieuwe. Voor zover het natuurlijke processen betreft broeikasgassen opnemen, is gemeld dat maatregelen die tot doel hebben de opnamecapaciteit **mondiaal** te vergroten een beperkt effect hebben. Het vergroten van putten biedt geen kansen op succes als het om het stabiliseren van concentraties gaat. Wel bestaat de mogelijkheid om via het vergroten of creëren van deze putten de snelheid waarmee de concentraties stijgen te laten afnemen of om gedurende een korte periode voor enige afvlakking in de stijging van de concentraties te zorgen.

Inzake technische mogelijkheden (= «geo-engineering») om bestaande putten te vergroten, is gemeld dat van dergelijke vormen van ingrijpen de consequenties moeilijk te overzien zijn. In dit kader werd de mogelijkheid plankton in de oceaan meer kooldioxide op te laten nemen dan het van nature doet door een hoeveelheid nutriënten in de vorm van ijzer aan het oceaanwater toe te voegen, als voorbeeld genoemd.

Over de mogelijkheden om de biosfeer meer kooldioxide op te laten nemen door het aanplanten van bos, is opgemerkt dat op termijn slechts een klein effect te verwachten is. Als uitgegaan wordt van herbebossing van kale onbegroeide grond of akkerland zal een oppervlak ter grootte van



Figuur 21.

Projectie van de verdere versterking van het broeikaseffect door een antropogene toename van de concentraties van broeikasgassen en deeltjes in de atmosfeer. Deze figuur is gebaseerd op de aanname dat het huidige verloop in de concentraties van broeikasgassen en deeltjes in de atmosfeer tot het jaar 2100 zal voortduren. In dat geval is het verloop in de tijd van de bijdrage van de verschillende componenten aan de verstoring van de energiehuishouding in energie-eenheden als in bijgaande figuren. De antropogene versterking van het broeikaseffect tot 1990 is in deze figuur ongeveer een watt per vierkante meter lager dan uit figuur 10 kan worden opgemaakt. Dit komt doordat hier de bijdrage aan de verstoring van de energiehuishouding door een toename in de zonne-activiteit van +0.3 watt per vierkante meter NIET is meegenomen en daarnaast WEL een schatting is gebruikt voor de indirecte bijdrage aan de verstoring door een toename van deeltjes. Deze schatting bedraagt -0.8 watt per vierkante meter. De bovenste figuur geeft de bijdrage van veranderingen in de concentraties van kooldioxide, van de overige, niet-kooldioxide broeikasgassen, en van verschillende categorieën van deeltjes, aan het verloop in de verstoring van de energiehuishouding weer. Opvallend is de relatief grote bijdrage van kooldioxide aan de verstoring en de verwachting dat deze bijdrage nog zal toenemen.

De onderste figuur geeft de nadere onderverdeling van de bijdragen van veranderingen in de concentraties van de niet-kooldioxide broeikasgassen aan de verstoring van de energiehuishouding weer. Opvallend is de relatief grote bijdrage van methaan aan de verstoring door niet-kooldioxide broeikasgassen en de verwachting dat deze bijdrage nog zal toenemen. Bron: IPCC.

het totale landbouwareaal van de wereld nodig zijn om door middel van herbebossing de huidige uitstoot van kooldioxide ten gevolge van de verbranding van fossiele brandstoffen te compenseren. Compensatie zal er echter slechts zijn tijdens de groeifase van bomen en indien het bos wordt gebruikt voor de energievoorziening. Dat enige compensatie alleen optreedt als de bomen gebruikt worden voor de energievoorziening, hangt samen met het feit dat onder genoemde voorwaarde op een tijdschaal tot eeuwen netto **geen** kooldioxide aan de atmosfeer wordt afgegeven, omdat er bij verbranding van bomen net zoveel kooldioxide vrijkomt als is opgenomen. Bij de verbranding van fossiele brandstoffen is daarentegen op een tijdschaal tot eeuwen **wel** sprake van een netto-afgifte van kooldioxide aan de atmosfeer.

Hoe zullen klimaten door een versterking van het broeikaseffect veranderen?¹

Zijn klimaten voorspelbaar?

Klimaatmodellen worden van oudsher ontwikkeld om meer kennis op te doen over de werking van het klimaatsysteem. Tegenwoordig worden klimaatmodellen in steeds sterkere mate ontwikkeld om projecties te maken over mogelijke toekomstige klimaten. Een vraag die bij de wegging van dergelijke projecties aan de orde dient te komen, is in hoeverre klimaten voorspelbaar zijn.

In het algemeen worden voorspellingen, als verder vooruit wordt gekeken, minder nauwkeurig in ruimte en tijd. Het klimaatsysteem zou zelfs in deze context een beperkte voorspelbaarheid hebben. Dit is voor een belangrijk deel terug te voeren op de complexiteit van het klimaatsysteem. Het gedrag van complexe systemen is te vergelijken met wat in de wiskunde chaotisch gedrag wordt genoemd. Dergelijk gedrag is slechts in beperkte mate voorspelbaar.

Chaotisch gedrag zou als verklaring gebruikt kunnen worden voor verschijnselen die in het klimaatsysteem regelmatig waarneembaar zijn en die door klimatologen meestal worden gekenschetst als natuurlijke schommelingen. Een voorbeeld hiervan is het verschijnsel dat het lokale klimaat, dat aanvankelijk rond een bepaalde gemiddelde temperatuur varieert, zonder aanwijsbare oorzaak tijdelijk rond een hogere of lagere gemiddelde temperatuur varieert en na enige tijd weer terugkeert naar de oorspronkelijke situatie.

¹ Over dit onderwerp is in de openbaarheid gesproken met dr A. Kattenberg en prof. dr ir H. Tennekes. Ook is in de beslotenheid over dit onderwerp gesproken met dr J. Marks.

Als complexe systemen een kleine verstoring wordt opgelegd, blijken verrassende ontwikkelingen mogelijk: kleine oorzaken kunnen grote gevolgen hebben. Dergelijke ontwikkelingen worden op kleinere ruimtelijke schalen ook door klimaatmodellen gegenereerd als een versterking van het broeikas effect ten gevolge van veranderingen in de atmosferische concentratie van broeikasgassen wordt bestudeerd. In deze zin geven klimaatmodellen aan dat het klimaat chaotisch van karakter is.

Het inzicht dat het klimaatsysteem chaotisch van karakter is, wordt meegenomen bij de interpretatie van de uitkomsten van de meest uitgebreide klimaatmodellen. Alhoewel klimaatmodellen feitelijk voor elk uur van een dag in de toekomst één enkel beeld schetsen van de toestand van de atmosfeer, worden deze uitspraken door de onderzoekers slechts in statistische zin en onder voorbehoud gebruikt. Dit houdt in dat uitspraken van deze modellen inzake het toekomstige klimaat over een langere periode worden gemiddeld en pas dan worden gebruikt voor uitspraken over het toekomstige klimaat. Het houdt ook in dat de uitkomsten worden gezien als **mogelijke realisaties** van het toekomstige klimaat en niet als **de** ontwikkelingen van het klimaat in de toekomst. Het heeft uiteindelijk tot gevolg dat minder waarde wordt gehecht aan individuele uitkomsten van één enkel klimaatmodel. Veel waarde wordt echter gehecht aan resultaten die in algemenere zin robuust zijn. Dat wil zeggen dat deze resultaten qua karakter steeds gelijkend zijn, onafhankelijk van het model dat is gebruikt, ook als daarbij door keuze voor een ander scenario de aan de modellen opgelegde verstoringen in ruimte of tijd iets ten opzichte van elkaar verschillen.

Door de beperkte kenbaarheid van het klimaatsysteem, maar ook door het feit dat er maar één aards klimaatsysteem is, is het moeilijk kennis op te doen over de voorspelbaarheid van het klimaat.

De beperkte kenbaarheid is een gevolg van het gegeven dat het bij het modelleren van het klimaatsysteem onmogelijk is om met alle deelprocessen rekening te houden. Daarnaast beletten het ontbreken van exacte kennis over de toestand van het klimaatsysteem op een bepaald moment en de voor het rekenen benodigde computercapaciteit, dat het gewenste **modelonderzoek** gedaan kan worden. Genoemde zaken zijn van belang omdat, zoals gezegd, kleine oorzaken grote effecten kunnen hebben.

Dat het aardse klimaatsysteem een uniek systeem is, heeft tot gevolg dat er nauwelijks **empirische gegevens** over de voorspelbaarheid voorhanden zijn; er kan niet geëxperimenteerd worden met vergelijkbare systemen. Daarnaast is empirisch onderzoek aan het aardse klimaatsysteem niet goed mogelijk omdat er geen waarnemingen voorhanden zijn van de gevolgen van een verstoring van het klimaatsysteem die vergelijkbaar is met de verstoring ten gevolge van activiteiten door de mens.

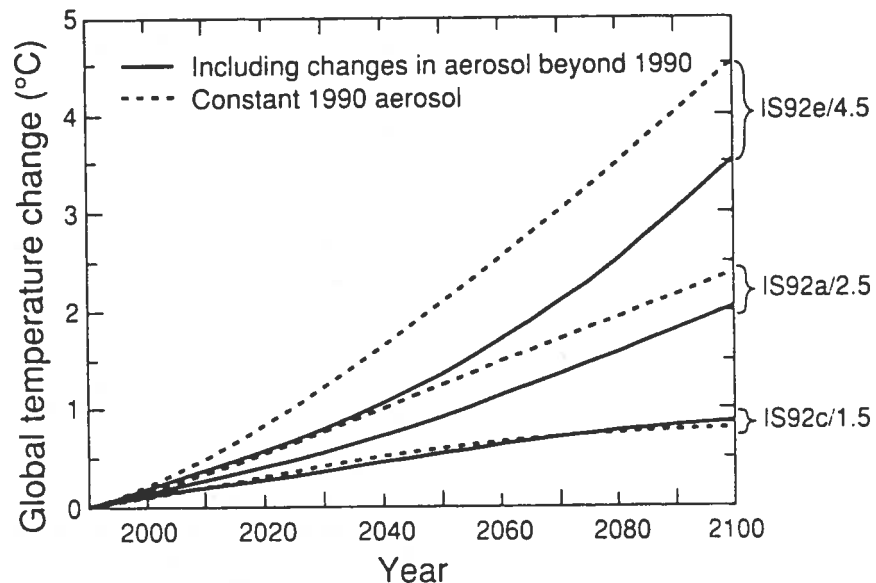
Aan de hand van het bestuderen van de natuurlijke variabiliteit van het klimaatsysteem is het wellicht mogelijk meer inzicht te verkrijgen in de voorspelbaarheid van het klimaat. Voor dergelijk onderzoek zijn zeer lange waarnemingsreeksen nodig, omdat de natuurlijke variabiliteit van complexe systemen veel groter kan zijn dan men op grond van een kortere waarnemingsreeks zou concluderen. Zeer lange meetreeksen zijn momenteel beperkt beschikbaar.

Ondanks de beperkte kennis inzake de voorspelbaarheid van het klimaat, achten vrijwel alle onderzoekers het in hoge mate waarschijnlijk dat klimaatveranderingen zullen optreden. In het bijzonder geldt de projectie van een mondiale temperatuurstijging gedurende de komende decennia als robuust. Plotselinge en ingrijpende grootschalige veranderingen lijken op termijnen van decennia niet waarschijnlijk.

Wat zeggen klimaatmodellen over toekomstige klimaten?

Klimaatmodellen zijn het enige gereedschap waarmee in groter detail met betrekking tot ruimte en tijd een beeld over het toekomstige klimaat kan worden gegenereerd. Zogenaemde gevoeligheids-experimenten worden uitgevoerd om te kijken welk soort klimaatveranderingen volgens de modellen bij een verstoring kunnen optreden en of die veranderingen vanuit bestaande kennis inzake de werking van het klimaatsysteem begrepen kunnen worden. Sommige van dergelijke experimenten zijn er op gericht kwantitatieve informatie te leveren over hoe het klimaat zich in de toekomst op kleinere ruimtelijke schalen en gemiddeld over kortere en langere tijdspannes gedraagt. Bij een specifiek soort experimenten, de zogenaemde tijdsafhankelijke experimenten, zijn de uitkomsten voorzien van een verloop in de tijd. Het beeld dat door deze uitkomsten wordt geschetst voor een bepaalde periode volgens de jaartelling van de computer, kan gezien worden als een mogelijke realisatie van het toekomstige klimaat gedurende een bepaalde toekomstige periode in de werkelijkheid. Bij deze experimenten wordt rekening gehouden met een toename van de concentraties van broeikasgassen en deeltjes en met het feit dat deeltjes zich minder ophopen in de atmosfeer dan broeikasgassen. Hierdoor zal de compenserende werking van al-dan-niet toenemende emissies van deeltjes op de versterking van het broeikaseffect, de komende eeuw in relatieve zin afnemen.

Alle klimaatmodellen geven aan dat het klimaat zal veranderen ten gevolge van een versterking van het broeikaseffect. Hoewel de marges in de voorspellingen breed zijn, is voor een aantal onderdelen van het klimaat het karakter van de verandering duidelijk. Voor deze onderdelen worden de verwachte veranderingen hieronder opgesomd.



Figuur 22.

Drie factoren bepalen in sterke mate de onzekerheidsmarge van de wereld-gemiddelde temperatuuroptuename die in de toekomst verwacht wordt. In deze figuur is hun invloed op de temperatuurprojecties voor het jaar 2100 weergegeven.

De mate waarin de broeikasgasconcentraties mogelijk zullen toenemen wordt weergegeven door de afkortingen IS92e, a, en c. De snelste toename zal optreden als scenario IS92e gevolgd wordt en de langzaamste als IS92c gevolgd wordt.

De mate waarin de aarde en haar klimaatsysteem door middel van een temperatuurverhoging reageren op een toename van kooldioxide-concentratie wordt weergegeven door de getallen 4.5, 2.5, en 1.5. Hierbij geeft het getal 4.5 weer dat de temperatuur op aarde na een verdubbeling van de kooldioxide-concentratie met 4.5 graden Celsius zal zijn toegenomen en het getal 1.5 dat de temperatuur onder dezelfde voorwaarde met 1.5 graden zal zijn toegenomen.

Voor deeltjes is gebruik gemaakt van de aanname dat de stijging van hun concentraties in de atmosfeer voort zal duren (ononderbroken lijnen) en van de aanname dat zij niet verder toe zal nemen (gestippelde lijnen).

Combinatie van een hoge klimaatgevoeligheid, een sterke toename van de broeikasgasconcentraties, en een stabilisatie van de concentraties van deeltjes in de atmosfeer, leidt tot een bovengrens van de temperatuurverandering in het jaar 2100 ten opzichte van 1990 van 4.5 graden Celsius. Combinatie van een lage klimaatgevoeligheid, een afvallende stijging van de broeikasgasconcentraties en een stijging van de concentraties van deeltjes leidt tot een ondergrens van bijna 1 graad Celsius. Een middenschatting is ook weergegeven. Bron: IPCC.

De aarde zal de komende eeuw opwarmen met één tot enkele graden Celsius. Een in deze context vaak geciteerde set klimaatvoorspellingen is te vinden in het Tweede Integrale IPCC-Rapport. De set heeft betrekking op de verwachte wereld-gemiddelde temperatuurtoename in 2100 ten opzichte van 1990 en heeft een onzekerheidsmarge van 1 tot 4.5 graden Celsius (figuur 22). De ondergrens van 1 graad Celsius is het gevolg van de gecombineerde aanname van een lage gevoeligheid van het klimaatstelsel voor een verstoring van de stralingsbalans en een lage groei van de mondiale emissies van broeikasgassen. Hierbij hebben veranderingen in de emissies van deeltjes weinig invloed op het eindresultaat. De bovengrens van 4.5 graden Celsius is het gevolg van de aanname van een hoge klimaatgevoeligheid, een hoge groei van de broeikasgasemissies, en een gelijkblijvende mondiale emissie van deeltjes.

Van de meer gedetailleerde modeluitkomsten, kunnen de volgende als robuust worden verondersteld. De opwarming zal richting polen groter zijn dan richting evenaar, vooral op het Noordelijk Halfrond. Ook zal de opwarming in de herfst en winter groter zijn dan in de lente en zomer, en boven land groter dan boven zee. Verwacht wordt dat delen van de oceanen rond Antarctica en in het noordelijk deel van de Noord-Atlantische Oceaan zullen achterblijven bij de wereld-gemiddelde opwarming en misschien zelfs zullen afkoelen. Verder wordt aangenomen dat de wereld-gemiddelde opwarming gepaard gaat met een hogere mate van verdamping en meer neerslag. In het bijzonder worden neerslagtoenames in het gebied van de Aziatische monsoon verwacht gedurende de zomer.

Klimaatmodellen geven aan dat er grote regionale verschillen zullen optreden in de mate waarin het klimaat verandert en in de daarmee samenhangende veranderingen in extreme weersverschijnselen. Duidelijk is dat er gebieden zullen zijn waarvan het klimaat veel sterker verandert dan wereld-gemiddeld en gebieden waarvan het klimaat minder sterk verandert dan wereld-gemiddeld. Omdat uitkomsten van (verschillende) modellen, wanneer zij op kleinere ruimtelijke schalen beschouwd worden, (onderling en) in meteorologische zin niet consistent zijn, kan geen schatting gedaan worden voor de klimaatverandering binnen een specifiek gebied en voor de daarmee samenhangende veranderingen in extreme weersverschijnselen. Dit geldt dus evenzo voor modeluitkomsten die betrekking hebben op gebieden ter grootte van Nederland. **Individuele uitkomsten van de grote klimaatmodellen die betrekking hebben op het toekomstige klimaat in Nederland zijn niet in directe zin bruikbaar.** Momenteel zijn methoden in ontwikkeling die in groter detail meteorologisch consistente uitkomsten op kleinere ruimtelijke schalen mogelijk maken. Deze methoden gebruiken meestal de uitvoer van de grotere klimaatmodellen als uitgangspunt. Onbekend is of deze uitkomsten bruikbaar zijn dan directe modeluitkomsten.

Wat is de status van modeluitspraken?

Om te kunnen oordelen over de bruikbaarheid van modeluitkomsten zijn een aantal mededelingen van gehoorde van belang. Deze medede-

lingen waren vaak een reactie op specifieke vragen. Vragen en mededelingen zijn terug te vinden in de verslagen van de hoorzittingen. Enkele mededelingen die voor de publieke discussie van extra belang kunnen zijn, zijn hieronder weergegeven.

Klimaatmodellen bevatten meerdere **tekortkomingen**. Het onzekere karakter van modeluitkomsten is mede het gevolg van deze tekortkomingen. Enkele processen, waarvan de beschrijving verbetering behoeft, zijn genoemd:

- de vorming en de stralingseigenschappen van wolken;
- de hydrologische kringloop, inclusief verdamping, afwatering en het ontstaan van neerslag;
- de vorming en de stralingseigenschappen van deeltjes;
- de reactie van mariene en terrestrische systemen, en de daarmee samenhangende terugkoppelingen;
- het aangroeien en afkalven van landijs.

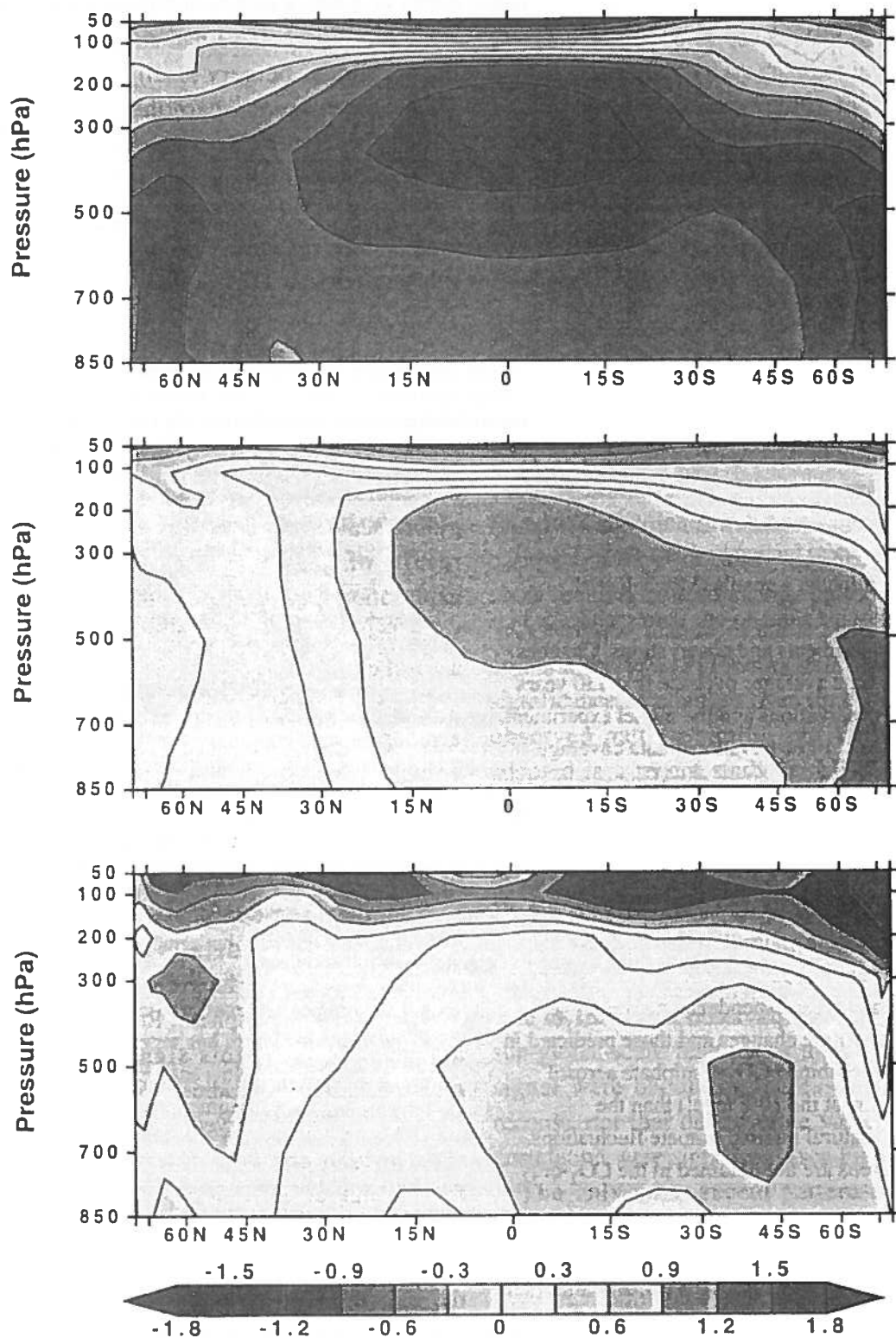
Door wetenschappers die met klimaatmodellen werken, is gemeld dat **modeluitkomsten betreffende de richting en orde-grootte van toekomstige veranderingen in enkele onderdelen van het klimaat, voor de komende decennia en op ruimtelijke schalen van continenten, bruikbaar zijn**. Dit is voor een deel terug te voeren op de robuustheid van deze uitkomsten. Hiermee wordt bedoeld dat deze uitkomsten tamelijk model- en experimentonafhankelijk zijn en dat zij verklaard kunnen worden met behulp van bekende, fysische processen.

Modeluitkomsten die betrekking hebben op periodes die verder in de toekomst liggen, kennen grote onzekerheden en dienen zodoende meer in verkennende zin gebruikt te worden.

Robuuste uitspraken zijn niet voorhanden als het om door klimaatmodellen gegenereerde uitkomsten op regionale schaal gaat. Het is onduidelijk wanneer er verbetering in deze situatie komt. Het valt niet uit te sluiten dat klimaatvoorspellingen op kleinere ruimtelijke schalen nooit betrouwbaar worden. In het algemeen is de verwachting dat het klimaat in sommige regio's beter voorspelbaar zal blijken dan het klimaat in andere regio's. Uit indirecte waarnemingen van verleden klimaten volgt dat de natuurlijke variabiliteit van het klimaat in West-Europa groot is. Het is daarom niet waarschijnlijk dat Nederland tot de beter voorspelbare regio's behoort.

De betrouwbaarheid van klimaatmodellen wordt mede afgemeten aan hoe goed zij de verdeling van de huidige klimaten kunnen nabootsen. In het algemeen komt de werkelijke verdeling van klimaten en de door modellen gesimuleerde verdeling overeen. In deze context is gemeld dat de wereld gedurende de laatste eeuw duidelijk warmer is geworden en dat het, hoewel de sterkte van de opwarming aan de hand van kennis inzake de natuurlijke variabiliteit van het klimaat nog als natuurlijke fluctuatie verklaard zou kunnen worden, **onwaarschijnlijk is dat het ruimtelijke patroon van deze opwarming geheel uit natuurlijke oorzaken kan worden verklaard** (figuur 23). Deze informatie wijst op een invloed van de mens op het klimaat.

Ook is gemeld dat bij een aantal klimaatmodellen forse correcties worden toegepast om het door het model nagebootste huidige klimaat in overeenstemming te brengen en te houden met het waargenomen huidige klimaat. Hiermee wordt gesuggereerd dat een modelleur de uitkomsten van een klimaatmodel naar zijn hand kan zetten. **Een klimaatmodel kan echter niet op een willekeurige manier worden afgeregeld** om het huidige klimaat goed te representeren. De speelruimte die een modelleur in dit opzicht heeft, is beperkt. Zo kan, bijvoorbeeld, een verbetering in het nabootsen van de huidige wolkenverdeling



Figuur 23.
 Verbeteringen in de klimaatmodellen leiden tot betere overeenkomsten tussen waarnemingen en modeluitkomsten. In de onderste figuur zijn temperatuurveranderingen in graden Celsius die tussen de 21 kilometer (50 hPa) en 1.5 kilometer (850 hPa) boven het aardoppervlak gemiddeld over de verschillende breedtegraden zijn waargenomen gedurende de periode 1963-1988,

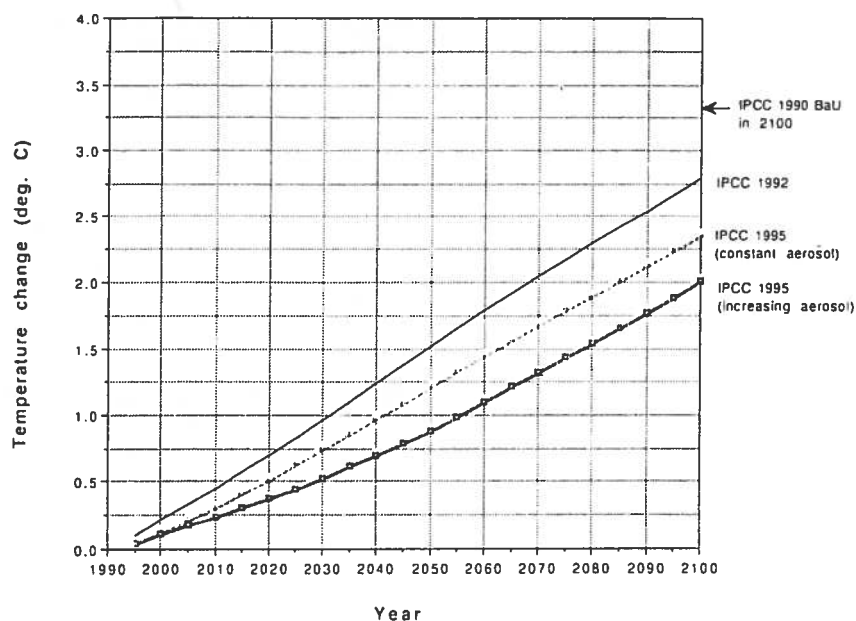
weergegeven. 0 staat voor de evenaar, 60N staat voor 60 graden noorderbreedte, 45S voor 45 graden zuiderbreedte, enzovoorts.

De bovenste twee figuren tonen in hoeverre klimaatmodellen in staat zijn om de waargenomen temperatuurveranderingen na te bootsen. De middelste figuur toont de resultaten van een experiment met een klimaatmodel waarbij naast de toename van broeikasgasconcentraties ook rekening is gehouden met de waargenomen toename van de deeltjesconcentratie; de bovenste figuur toont de uitkomsten van een experiment waarbij geen rekening is gehouden met de toename van deeltjes. Opvallend is dat het ruimtelijke patroon van het «deeltjes-experiment» meer overeenkomt met de waarnemingen dat het «alleen-broeikasgassen-experiment». Bron: IPCC. leiden tot een verslechtering in het nabootsen van de huidige neerslagverdeling. Wat voor invloed deze correcties hebben op de uitkomsten van klimaatmodellen als klimaatveranderingen ten gevolge van activiteiten door de mens worden onderzocht is onbekend. Wel is in dit verband de vermelding van belang dat geen extra correcties worden toegepast wanneer het klimaatmodel wordt gebruikt om het toekomstige klimaat te berekenen.

De onzekerheidsmarge van de IPCC-projecties inzake de wereld-gemiddelde temperatuuroename van 1 tot 4.5 graden Celsius in het jaar 2100 ten opzichte van 1990 weerspiegelt de grootste wetenschappelijke onzekerheden in de huidige kennis omtrent de werking van het klimaat-systeem. Twee categorieën van processen die een grote mate van onzekerheid hebben en daardoor in belangrijke mate de breedte van genoemde onzekerheidsmarge bepalen, zijn terugkoppelingen in het klimaatsysteem, zoals ten gevolge van wolkenvormingsprocessen, en toekomstige emissies van deeltjes en broeikasgassen. Overigens is gemeld dat wordt niet uitgesloten dat de temperatuurverandering in 2100 buiten die onzekerheidsmarge zou kunnen liggen. Dit zou bijvoorbeeld kunnen gebeuren bij onverwachte gebeurtenissen in maatschappij of natuur.

Schattingen voor de toekomstige versterking van het broeikas-effect ten gevolge van activiteiten door de mens worden aan de hand van nieuwe inzichten regelmatig bijgesteld. Zo is de kennis omtrent de compenserende effecten van een toename van deeltjes op de verstoring van de energiehuishouding door de toename van broeikasgassen, recentelijk verdisconteerd in klimaatmodellen. Dit is voor een belangrijk deel de verklaring voor het feit dat deze modellen een ander beeld van veranderingen in het klimaat gedurende de komende eeuw schetsen dan enkele jaren geleden. De verschillen zijn met name een andere regionale verdeling van de klimaatverandering en een bijstelling naar beneden van de wereld-gemiddelde temperatuuroename en van effecten die daaruit voortvloeien, zoals een mondiale zeespiegelstijging. Deze ontwikkeling wordt ook weergegeven door de opeenvolgende IPCC-rapporten (figuur 24).

Zelfs wanneer de concentraties van deeltjes in de atmosfeer zover zouden toenemen dat de gevolgen in energietermen in compenserende zin wereld-gemiddeld net zo groot zijn als de gevolgen van de toename in de broeikasgasconcentraties, **zal het klimaat veranderen.** Dit komt deels doordat de atmosferische concentraties voor deeltjes regionaal veel meer verschillen dan voor broeikasgassen, waardoor hun klimaateffect in ruimtelijke zin anders verdeeld is. Het komt ook door het feit dat de invloed van deeltjes op de energiehuishouding van nature anders is dan die van de verschillende broeikasgassen, die overigens in dit perspectief zelf ook weer onderling verschillen. Door dit gegeven kunnen de bijdragen van de verschillende componenten -gassen zowel als deeltjes- aan de verstoring van de energiehuishouding niet zomaar bij elkaar worden opgeteld als men een indruk wil krijgen van in welke mate het klimaat zal veranderen.

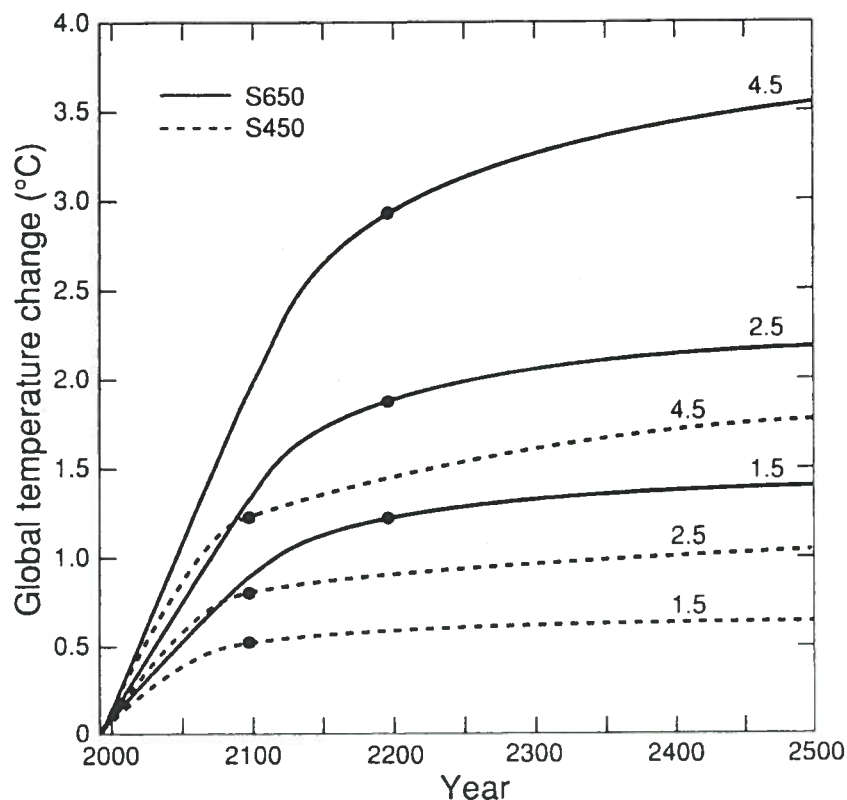


Figuur 24. Modelverbeteringen en wijzigingen in aannames hebben er de afgelopen jaren toe geleid dat de «midden-projectie» van het IPCC inzake de wereld-gemiddelde temperatuurstijging in het jaar 2100 ten opzichte van 1990 enkele keren naar beneden is bijgesteld. De «midden-projectie» uit IPCC 1995 is ongeveer een graad lager dan de «midden-projectie» uit IPCC 1990. Als uitgegaan wordt van een verdere toename van de concentraties van deeltjes, komt de «midden-projectie» voor het jaar 2100 nog lager uit. Bron: A. Kattenberg.

Klimaatmodellen berekenen een **gevoeligheid van de wereld-gemiddelde temperatuur** van tussen de 1.5 en 4.5 graden Celsius voor een verstoring van de energiehuishouding ter grootte van + 4.2 watt per vierkante meter als het klimaatsysteem volledig is aangepast aan de verstoring. Een dergelijke verstoring zou in theorie optreden als de kooldioxide-concentratie in de atmosfeer verdubbeld zou worden. Deze gevoeligheid, die voornamelijk bepaald wordt door hoe de wolken in de klimaatmodellen reageren op de verstoring, is in de reeds verschenen IPCC-rapporten ongewijzigd gebleven.

Overigens moet de hier gepresenteerde temperatuurgevoeligheid niet verward worden met de hierboven gepresenteerde temperatuurverandering voor het jaar 2100. Omdat voor beide zaken een onzekerheidsmarge van ongeveer 1 tot 4.5 graden is gepresenteerd, kan de indruk ontstaan dat beide zaken hetzelfde fenomeen betreffen. Dit is echter niet zo.

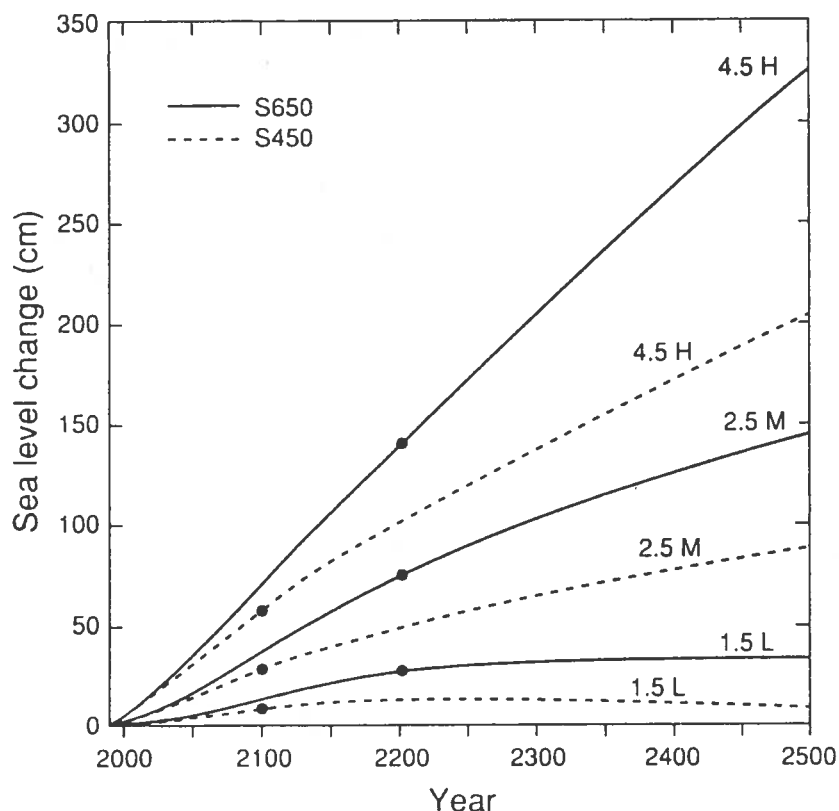
De gepresenteerde klimaatveranderingen hebben veelal betrekking op de periode tot het jaar 2100 of op het moment dat een verdubbeling van de broeikasgasconcentraties bereikt is. Omdat het klimaat niet zal stoppen met veranderen in het jaar 2100 en omdat er momenteel geen aanwijzingen zijn dat broeikasgasconcentraties zullen stabiliseren op tweemaal de pré-industriële concentratie (figuur 20), dienen de gepresenteerde veranderingen als een tussenstand beschouwd te worden en niet als maximaal mogelijke veranderingen. De maximale sterkte van de uiteindelijke klimaatverandering hangt in het bijzonder af van de maximale concentraties waarop de broeikasgassen in de atmosfeer stabiliseren (figuur 25) en de manier waarop deze concentraties bereikt worden. Zo is voor wat betreft mogelijke temperatuurveranderingen berekend dat afhankelijk van de snelheid waarmee concentraties toenemen, op een willekeurig moment vijftig tot negentig procent van de



Figuur 25.

Uit berekeningen met klimaatmodellen volgt dat wanneer het lukt om de kooldioxideconcentratie in het jaar (2100) 2200 op (450 ppmv) 650 ppmv te stabiliseren, de toename van de temperatuur op aarde ten opzichte van 1990 nog geruime tijd nadat de concentraties gestabiliseerd zijn, kan voortduren. De mate waarin is afhankelijk van de klimaatgevoeligheid. In het geval van een hoge klimaatgevoeligheid van 4.5 graden Celsius voor een verdubbeling van de kooldioxideconcentratie zal de toename van de temperatuur op aarde zelfs tot na het jaar 2500 voortduren. Bron: IPCC. bij de concentratie van dat moment behorende temperatuurverandering zal zijn opgetreden. Overigens is het niet zo dat wanneer de maximale temperatuurverandering in wereld-gemiddelde zin bereikt zou worden, de andere onderdelen van het klimaatsysteem op dat moment ook hun maximale verandering bereikt zullen hebben. De zeespiegel, als extreem voorbeeld, zal nadat de temperatuur gestabiliseerd is nog eeuwen kunnen doorgaan met stijgen (figuur 26).

De bovengenoemde constatering suggereren dat de onzekerheid van de gepresenteerde modeluitkomsten wellicht groter is dan de getallen aangeven. De conclusie dat de geschetste bandbreedtes vooral in meevallende of tegenvallende zin moeten worden aangepast, kan op grond van bovengenoemde constatering niet worden getrokken.



Figuur 26.

Deze figuur is gebaseerd op dezelfde aannamen als figuur 25, zij het dat in dit geval de zeespiegelstijging tegen de tijd is uitgezet. Duidelijk wordt dat de zeespiegel langzamer reageert op een antropogene versterking van het broeikaseffect dan de temperatuur. In het geval van een «midden-klimaatgevoeligheid» van 2.5 graden Celsius voor een verdubbeling van de kooldioxide-concentratie, zal de zeespiegel na 2500 nog sterk stijgen in tegenstelling tot de temperatuur. Bron: IPCC.

Wat zijn de effecten van veranderende klimaten?¹

Hoe wordt kennis inzake de effecten van klimaatveranderingen verkregen?

Extreme weersverschijnselen kunnen schade veroorzaken aan de menselijke gezondheid, de natuurlijke omgeving, en de door de mens in cultuur gebrachte omgeving. Het is aannemelijk dat als het klimaat verandert, ook de mate waarin bepaalde extreme weersverschijnselen optreden, verandert. Zo zal, bijvoorbeeld, als het in algemene zin warmer wordt, een extreem warme dag warmer zijn dan nu. Dit leidt tot de uitspraak dat klimaatveranderingen veranderingen tot gevolg kunnen hebben in de mate waarin extreme weersverschijnselen optreden en zo in de mate waarin zij schade veroorzaken. Overigens is het niet zo dat effecten van klimaatveranderingen bij voorbaat negatief zijn: ook positieve effecten zijn mogelijk.

Bij het hiervoor genoemde voorbeeld is er vanuit gegaan dat de variabiliteit in het weer gelijk blijft. Dat, met andere woorden, de verschillen tussen extreme weersverschijnselen, zoals tussen een extreem warme en een extreem koude dag, op elke plaats gelijkblijven. Het is echter waarschijnlijker dat als het klimaat verandert, dit gepaard gaat met een veranderende variabiliteit van het weer.

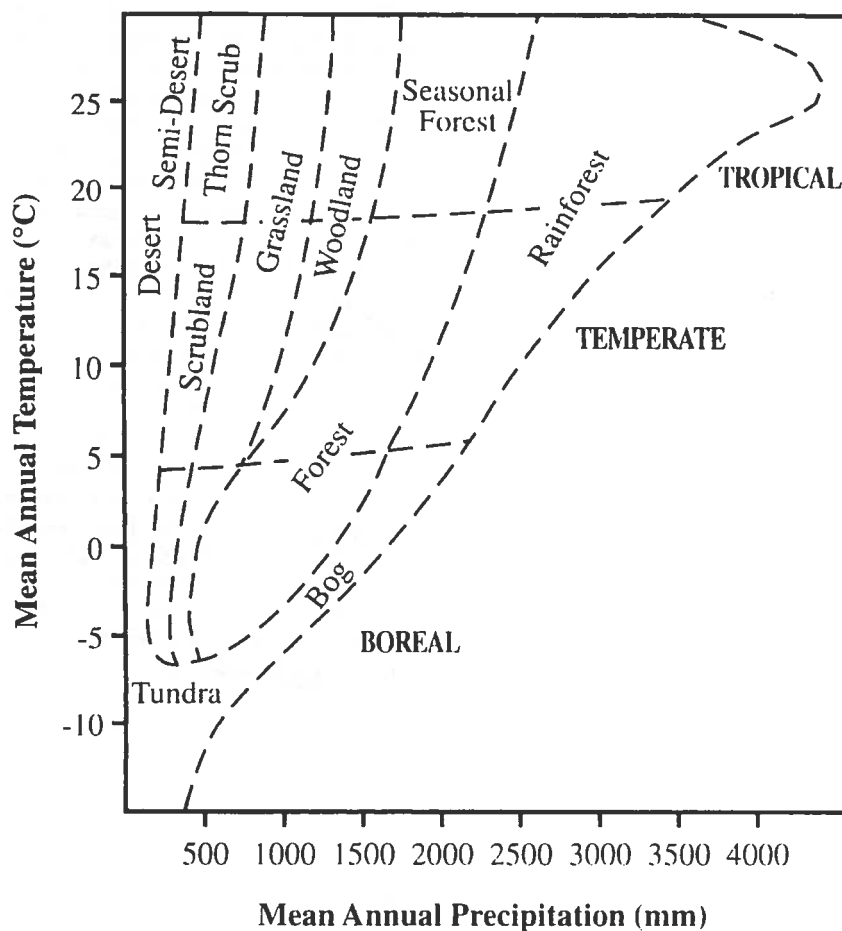
¹ Over dit onderwerp is in de openbaarheid gesproken met ir L. Bijlsma, dr S. C. van de Geijn, en prof. dr J. C. van der Leun. Ook is in de beslotenheid over dit onderwerp gesproken met prof. dr ir P. Vellinga.

Of de mens zich zal kunnen aanpassen aan optredende klimaatveranderingen zal in belangrijke mate afhangen van ter beschikking staande middelen. In die zin kan voorzien worden dat maatschappijen die nu reeds onder druk staan door gebrek aan geld, kennis of levensbehoeften, kwetsbaarder zullen zijn dan maatschappijen die in genoemde opzichten minder onder druk staan.

Effecten op de natuurlijke omgeving zijn waarschijnlijk moeilijk door de mens te beïnvloeden. Dit inzicht wordt ontleend aan de notie dat de natuur zich overal mede heeft aangepast aan het ter plekke heersende klimaat en door de aanwijzingen dat dit klimaat zal veranderen met een snelheid die gedurende de afgelopen duizenden jaren niet eerder is opgetreden, namelijk een temperatuurverandering die wereld-gemiddeld groter zal zijn dan één graad Celsius per eeuw. Een alomvattende menselijke hulp bij de aanpassing van bestaande ecosystemen aan de nieuwe condities is niet aan de orde en de vraag die rest is of de bestaande ecosystemen zich aan kunnen passen aan een dergelijke verandering of voldoende tijd hebben om zich te verplaatsen. Hierbij speelt de aanpassingssnelheid van betreffende soorten een rol. Langlevende soorten hebben vaak een tragere aanpassingssnelheid dan kortlevende soorten. Een te lage aanpassingssnelheid kan bij een klimaatverandering leiden tot het uitsterven van soorten en, zo, tot het verlies aan biodiversiteit. Als mogelijkheden om zich te verplaatsen worden beschouwd, speelt een rol dat vele vestigingsgebieden van flora en fauna afgescheiden zijn van andere gebieden. Dit kan op een kunstmatige manier door de mens gebeurd zijn, in welk geval vaak wordt gesproken over de «mozaïek-structuur» van gebieden. Er kan echter ook sprake zijn van een natuurlijke afscheiding. Dit beperkt in voorkomende gevallen de mogelijkheden tot migratie van ter plekke levende flora en fauna.

Effecten op de door de mens in cultuur gebrachte omgeving zijn waarschijnlijk makkelijker te beheersen daar zij meestal processen beïnvloeden die toch al in sterke mate door de mens gecontroleerd worden. Negatieve effecten kunnen zo via bekende mechanismen en binnen zekere grenzen beheerst worden. Overigens kunnen deze grenzen vaak door de ontwikkeling van nieuwe technologieën worden opgerekt.

Als gesproken wordt over de effecten van klimaatverandering op de natuurlijke of in cultuur gebrachte omgeving wordt vrijwel altijd (onbewust) gedoeld op specifieke gebieden. Immers, het klimaat is op elke plaats anders en het regionale klimaat beïnvloedt de inrichting van het land ter plekke (figuur 27). De inrichting van het land is (mede) daardoor op elke plaats anders. Aangezien klimaatverandering zich overal anders zal uiten, kunnen in zijn algemeenheid, als het over het inventariseren van effecten gaat, slechts uitspraken gedaan worden over effecten op regionale schaal. Er zijn zo twee redenen om bij de studie naar de effecten van klimaatverandering vooral op kleinere ruimtelijke schaal te kijken: klimaat is op elke plaats anders en klimaatverandering zal op elke plaats anders zijn. Hierbij kan nog worden opgemerkt dat beide zaken vaak onafhankelijk van elkaar zullen zijn. Vergelijkbare klimaten kunnen onvergelijkbaar veranderen.



Figuur 27. Schematische weergave van de relatie tussen de jaar-gemiddelde temperatuur en neerslaghoeveelheid op een bepaalde plaats en het voorkomen van een bepaald soort vegetatie ter plekke. Overigens bepalen meer factoren dan jaar-gemiddelde temperatuur en neerslaghoeveelheid de vegetatie ter plekke. Bron: IPCC.

In de praktijk wordt de kleinere ruimtelijke schaal meestal al benadrukt. Zo wordt er gesproken over de effecten van klimaatverandering op het waddengebied of voor de landbouw in Nederland. Maar ook als, bijvoorbeeld, de effecten van klimaatveranderingen op de mondiale voedselvoorziening worden beschouwd, wordt impliciet gesproken over regionale effecten van klimaatverandering. Immers, kennis over de inhomogene verdeling van klimaatveranderingen gebiedt dat per gebied onderzocht dient te worden wat de effecten zijn op de voedselproductie en dat vervolgens al die effecten op bepaalde wijze opgeteld worden ten einde het totale effect te verkrijgen.

De voor effect-onderzoek benodigde regionale klimaatvoorspellingen zijn momenteel nauwelijks voorhanden. Tevens ontbreekt kennis over toekomstige veranderingen in de variabiliteit van het klimaat en, mede daardoor, over veranderingen in de variabiliteit van het weer. Dit bemoeilijkt de studie naar effecten van klimaatveranderingen.

Door gebrek aan de benodigde invoergegevens hebben studies naar de effecten van klimaatverandering noodzakelijkerwijs een «als-dan»-karakter. Voor dergelijke studies gebruikt men de best beschikbare kennis inzake de mogelijke klimaatveranderingen in het te

beschouwen gebied. Deze kennis wordt dan vertaald in een aantal mogelijke verstoringen van, bijvoorbeeld, een neerslagverandering van -20%, 0% en +20% (tabel 5). Vervolgens wordt per experiment één van de mogelijke verstoringen opgelegd aan het systeem dat onderzocht wordt. Dergelijk onderzoek wordt uitgevoerd met behulp van modellen, maar ook met behulp van laboratoriumexperimenten. De waarde van dergelijke studies is vooral gelegen in het aangeven van de kwetsbaarheid van subsystemen van het klimaatstelsel voor mogelijke klimaatveranderingen.

Effecten op de door de mens in cultuur gebrachte omgeving zullen gevolgen hebben voor vele maatschappelijke sectoren. De Commissie heeft aanwezige kennis inzake die gevolgen niet uitputtend kunnen behandelen. Zij heeft er voor gekozen vooral kennis tot zich te nemen omtrent de effecten van klimaatverandering die voor het keren en beheren van water in Nederland van belang zijn en voor de landbouw in Nederland. Voor wat betreft de effecten voor de natuurlijke omgeving heeft de Commissie enige nadruk willen leggen op het waddengebied.

De Commissie heeft geringe aandacht besteed aan de directe effecten van klimaatveranderingen op de volksgezondheid, vooral omdat de indruk bestaat dat dergelijke effecten in Nederland beheerst zouden kunnen worden, zo zij groot zouden zijn. Dit laat onverlet dat hierbij mogelijk veel financiële middelen en de inzet van vele personen nodig zullen zijn.

Dit beeld omtrent de gezondheidseffecten van klimaatveranderingen kan zich echter wijzigen als betreffende effecten ten gevolge van andere oorzaken versterkt worden. Een dergelijke interactie kan zich uiten wanneer, bijvoorbeeld, door een verhoging van de temperatuur malariamuskieten naar hogere breedtegraden dan nu gebruikelijk, zullen komen. Ozon-effectonderzoek geeft aan dat bij een hogere belasting met ultraviolette straling het afweersysteem van mens en dier onderdrukt wordt, met als gevolg een verminderde weerstand. Als de temperatuur hoger en de ozonlaag dunner wordt, wordt de kans op besmetting met malaria groter en tegelijkertijd de weerstand tegen deze besmetting lager. De Commissie heeft gezien haar opdracht weinig aandacht kunnen besteden aan dergelijke interacties.

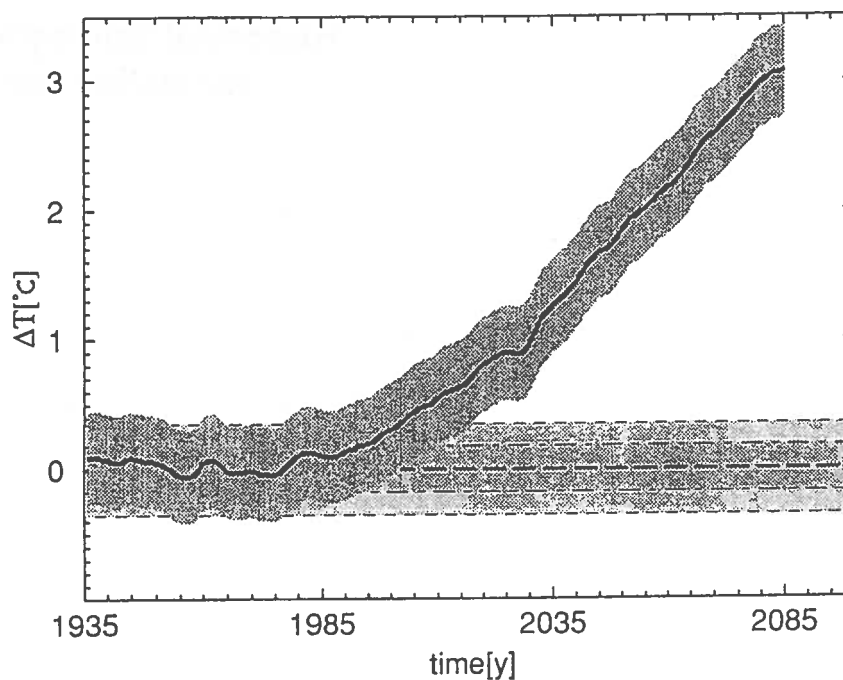
In het voorgaande is gesteld dat de wereld de afgelopen eeuw duidelijk warmer is geworden en dat het onwaarschijnlijk is dat deze opwarming slechts aan natuurlijke oorzaken is toe te schrijven. Voorts is gemeld dat de ruimtelijke verdeling van de opwarming wijst op een menselijke invloed op het mondiale klimaat. Deze voorzichtigheid bij het toewijzen van de waargenomen opwarming aan klimaatverandering, stemt overeen met de signalen die berekeningen met klimaatmodellen opleveren. De op modelexperimenten gebaseerde verwachting is dat de voorspelde opwarming nu nog niet of niet goed waarneembaar is (figuur 28).

Effecten zijn een reactie op optredende klimaatveranderingen. Effecten kunnen tegelijkertijd of later optreden, maar zullen niet vooruitlopen op de verwachte klimaatveranderingen. In combinatie met de waarneming dat klimaatveranderingen momenteel niet volledig aan activiteiten door de mens zijn toe te schrijven, leidt het inzicht dat effecten een reactie zijn op klimaatveranderingen tot de conclusie dat **niet verwacht mag worden dat de effecten van een door de mens veroorzaakte klimaatverandering nu reeds waarneembaar zijn.**

Tabel 5.

Watergebruiksefficiëntie: verhouding van verdampt water en geproduceerde plantmateriaal (mmol CO₂ per mol water) CERES-model, Versailles, Frankrijk.

CO ₂	neerslag verand.	temp.	opbr. t/ha	lengte seizoen	verdam- ping
330	0%	+0	6.4	252	483
		+2	5.9	241	460
		+4	5.3	231	437
	+20%	+0	6.5	252	491
		+2	6.0	241	466
		+4	5.3	231	442
	-20%	+0	6.3	252	470
		+2	5.9	241	449
		+4	5.2	231	429
555	0%	+0	7.7	252	454
		+2	7.0	241	431
		+4	6.2	231	410
	+20%	+0	7.7	252	458
		+2	7.0	241	435
		+4	6.2	231	412
	-20%	+0	7.6	252	445
		+2	6.9	241	424
		+4	6.2	231	405



Figuur 28.

Op basis van experimenten met klimaatmodellen kan een indicatie worden gegeven van het tijdstip waarop een wereld-gemiddelde temperatuurverandering ten gevolge van activiteiten door de mens (= signaal) boven de natuurlijke temperatuurgrenzen (= ruis) moet zijn uitgekomen. De figuur geeft aan binnen welke marge volgens een bepaald klimaatmodel 95% van de natuurlijke temperatuurschommelingen zou moeten vallen, en binnen welke marge de door de mens veroorzaakte temperatuurverandering met 95% waarschijnlijkheid zou moeten vallen. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat op zijn laatst rond het jaar 2025 de conclusie kan worden getrokken dat het «zeker» is dat de mens het klimaat heeft veranderd. Als ook van andere informatie dan de verandering in de wereld-gemiddelde temperatuur gebruik wordt gemaakt, zal de genoemde conclusie reeds eerder kunnen worden getrokken. Volgens eerdergenoemde experimenten zou dit onder genoemde voorwaarde uiterlijk rond het jaar 2000 zijn. Bron: MPI.

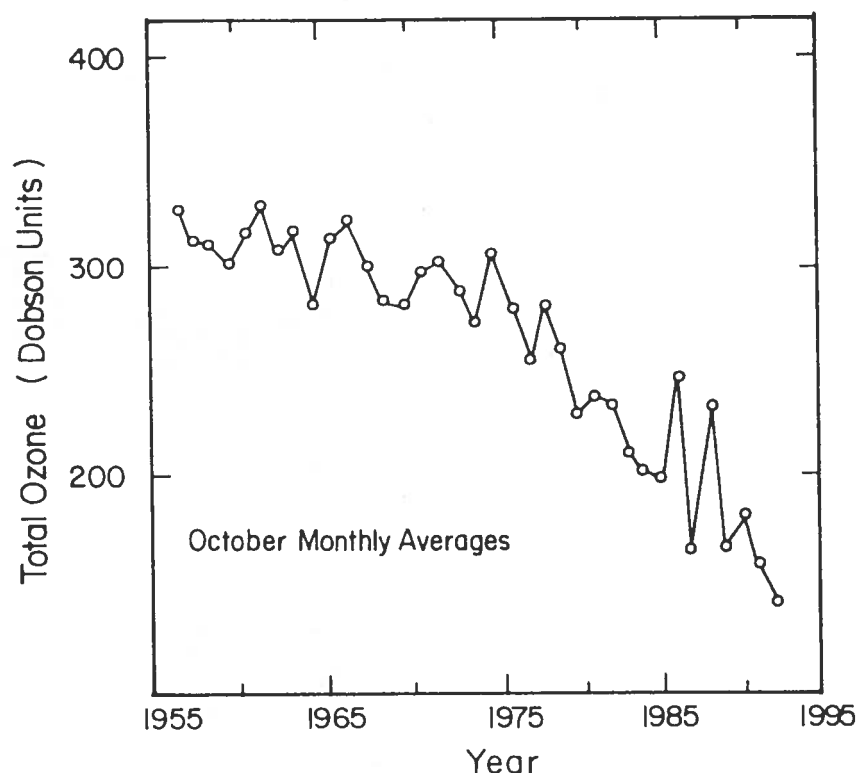
Is het gat in de ozonlaag een gevolg van klimaatveranderingen?

Met «het gat in de ozonlaag» wordt bedoeld op de verdunning van de ozonlaag. Deze verdunning uit zich vooral boven de zuidpool tijdens de lente (figuur 29). Omdat op grotere hoogten boven het aardoppervlak vaak meer dan negentig procent van de ozon verdwijnt, wordt wel gesproken van een «gat». Hieruit blijkt dat de ozonproblematiek momenteel vooral in het zuidpoolgebied (= Antarctica) speelt; klimaatverandering speelt overal.

Het gat in de ozonlaag is géén gevolg van klimaatveranderingen. Wel is het zo dat de gassen die het gat in de ozonlaag veroorzaken sterke broeikasgassen zijn, waardoor zij ook invloed hebben op de versterking van het broeikas effect. Dit zijn de gehalogeneerde kool(water)stoffen, waartoe ook de beruchte CFKs behoren. De ozonproblematiek is echter een andere dan de broeikasproblematiek.

De ozonproblematiek gaat vooral over een toename van de hoeveelheid ultraviolette straling die het aardoppervlak bereikt door de verdunning van de ozonlaag. De ozonlaag is het gedeelte in de atmosfeer waar zich ongeveer negentig procent van alle ozon in de atmosfeer bevindt. Dit gedeelte bevindt zich op een hoogte van ongeveer tien tot rond de vijftig kilometer boven het aardoppervlak. De ozonlaag houdt veel ultraviolette

Historical Springtime Total Ozone Record for Halley Bay, Antarctica (76°S)



Figuur 29.

De gemiddelde hoeveelheid ozon, uitgedrukt in Dobson-eenheden, in een luchtkolom die zich uitstrekt van het aardoppervlak bij Halley Bay op Antarctica tot de bovenkant van de atmosfeer, is volgens metingen de afgelopen decennia gedurende de maand oktober sterk afgenomen. Oktober is de maand waarin de afbraak van ozon in de ozonlaag boven Antarctica het grootst is. Bron: WMO/UNEP

straling van de zon tegen, waardoor er minder ultraviolette straling het aardoppervlak bereikt dan in afwezigheid van de ozonlaag.

De eerder genoemde gehalogeneerde kool(water)stoffen, die voor het overgrote deel slechts van antropogene origine zijn, reageren met het ozon in de ozonlaag. Hierdoor wordt de ozonlaag dunner. Als gevolg hiervan kan er meer ultraviolette straling door de ozonlaag dringen en het aardoppervlak bereiken. Deze extra hoeveelheid straling die doordringt kan (extra) schade doen aan mensen, dieren, planten, en materialen.

Alhoewel de ozon- en de broeikasproblematiek verschillend zijn, is er bij zowel de oorzaken als de effecten sprake van interacties.

Inzake de oorzaken kan gezegd worden dat alle gassen die de ozonlaag aantasten broeikasgassen zijn. Het omgekeerde geldt niet. Het berekenen van de bijdrage van de ozonaantastende gassen aan de versterking van het broeikaseffect is echter moeilijk. Dit komt doordat ozon zelf ook een broeikasgas is en het verdwijnt bij reactie met de ozonaantasters. De bijdrage van een toename in de atmosferische concentraties van de ozonaantastende gassen aan de versterking van het broeikaseffect, wordt zo deels weer teniet gedaan door de afname van ozon.

De lange-termijn afname van de ozonconcentratie in de ozonlaag boven Antarctica gaat gepaard met korte-termijn schommelingen van vergelijkbaar karakter als in het geval van kooldioxide. Ook bij deze schomme-

lingen, die tot gevolg hebben dat het ozongat het ene jaar wat groter is en het ander jaar wat kleiner, wordt de oorzaak gezocht in natuurlijke variaties binnen het klimaatsysteem.

De reacties die ervoor zorgen dat er een gat in de ozonlaag boven Antarctica ontstaat, treden alleen bij extreem lage temperaturen op. Onderzoek geeft aan dat deze temperaturen in de toekomst ten gevolge van de versterking van het broeikas-effect vaker en op andere plaatsen zullen voorkomen (N.B. er wordt hier bedoeld op temperaturen op hoogtes van meer dan tien kilometer boven het aardoppervlak). Hierdoor is het mogelijk dat het gat in de ozonlaag in de toekomst groter wordt dan nu gedacht en wellicht ook op andere plaatsen ontstaat.

Inzake de effecten zijn er ook reeds vele interacties tussen de broeikas- en de ozonproblematiek geïdentificeerd. Voor een aantal van deze interacties, die elkaar soms tegenwerken en elkaar soms versterken, wordt verwezen naar het verslag van de openbare hoorzitting van prof. dr J.C. van der Leun.

Ondanks de vele interacties tussen de oorzaken en de effecten van de ozon- en de broeikasproblematiek, worden de beleidsmatige aspecten van beide onderwerpen in verschillende internationale verdragen behandeld, namelijk via, respectievelijk, het verdrag ter bescherming van de ozonlaag en het klimaatverdrag. Ook de resultaten van onderzoek worden via verschillende internationale fora bijeengebracht. Dit kan ertoe leiden dat belangrijke interacties over het hoofd gezien worden.

Welke effecten hebben klimaatveranderingen op het beheren en keren van zoet water?

Een stijging in de wereld-gemiddelde temperatuur zal leiden tot een versterking van de hydrologische kringloop. Dit betekent dat gemiddeld genomen meer water van het aardoppervlak **in** de atmosfeer zal komen door middel van verdamping en dat meer water **uit** de atmosfeer in de vorm van neerslag op het aardoppervlak zal komen. Deze versterking van de hydrologische kringloop zal gekenmerkt worden door grote regionale verschillen. Op sommige plaatsen zal de hoeveelheid regen veel meer toenemen dan wereld-gemiddeld, op andere plaatsen zal de toename kleiner zijn of zal zelfs sprake zijn van een afname. Daarnaast zal ook de statistiek van neerslag veranderen, zoals bijvoorbeeld de duur, intensiteit en de frequentie van buien.

Gelijktijdige veranderingen in temperatuur en neerslag zullen, mede door de effecten hiervan op verdamping en bodemvocht, veranderingen in rivierafvoeren veroorzaken. Dit kan gevolgen hebben voor de frequenties waarmee rivieren overstromen en voor de drinkwatervoorziening.

Het is moeilijk veranderingen in rivierafvoeren te berekenen. Door niet-lineariteiten in de riviersystemen kunnen klimaatveranderingen, zelfs al zouden zij in gemiddelde zin exact bekend zijn, niet direct vertaald worden in veranderingen in de frequentie en intensiteit van hoge afvoerpieken. Als na intense regenval, om dit te illustreren, alle berging in de bodem en de stuwmeren van een gebied is opgesoupeerd, wordt nieuwe neerslag sneller afgevoerd. Dit heeft grotere afvoerpieken tot gevolg dan als het water over een langere periode afgevoerd wordt.

Hieruit blijkt het belang van informatie over de statistiek van neerslag voor de kennis omtrent mogelijke veranderingen in rivierafvoeren. Afvoerpieken zijn sterk afhankelijk van of en, zo ja, hoe de neerslag valt; in een geconcentreerde periode of over een langere periode. Informatie over toekomstige veranderingen in de statistiek van neerslag is niet beschikbaar.

Klimaatveranderingen leiden ertoe dat de sneeuwgrens in de Alpen zich terugtrekt waardoor de Rijn, in sterkere mate dan nu het geval is, een regenrivier zal worden. Hierdoor verschuift de maximale afvoer van het voorjaar en de zomer naar de winter. Het gevolg zal zijn dat in Nederland de afvoer in de winter toeneemt en in de zomer afneemt.

Uit effect-studies volgt dat de winterneerslag ten tijde van een verdubbeling van de broeikasgasconcentraties mogelijk met tien tot twintig procent is toegenomen. Verwacht wordt dat deze verdubbeling zich in ongeveer zeventig jaar zal voltrekken. Voor de Rijn kan deze toename leiden tot een toename in de extreme winterafvoer in de orde van tien procent. De Maas, die een kleiner gebied beslaat en nog meer het karakter van een regenrivier heeft, is gevoeliger voor veranderingen in neerslag. Hiervoor is een toename in de extreme winterafvoer ten gevolge van klimaatveranderingen berekend van tien tot twintig procent. Toenames in extreme winterafvoeren hebben een grotere kans op overstromingen tot gevolg doordat overschrijdingsfrequenties van hoogwater zullen toenemen. Als indicatie is gemeld dat een dergelijke toename al snel in de orde van een factor tien ligt. Dat wil zeggen dat een verschijnsel dat onder de huidige omstandigheden eens per eeuw optreedt, ten gevolge van klimaatveranderingen in de toekomst eens per decennium zal optreden.

Effect-studies wijzen op lagere gemiddelde rivierafvoeren in toekomstige zomers. Hierdoor zal de Rijn gevoeliger worden voor droge perioden. Droogten kunnen langer en intenser worden, met als mogelijk gevolg belemmeringen voor de scheepvaart en een verminderde hoeveelheid water die ingenomen kan worden ten behoeve van de drinkwatervoorziening en de landbouw.

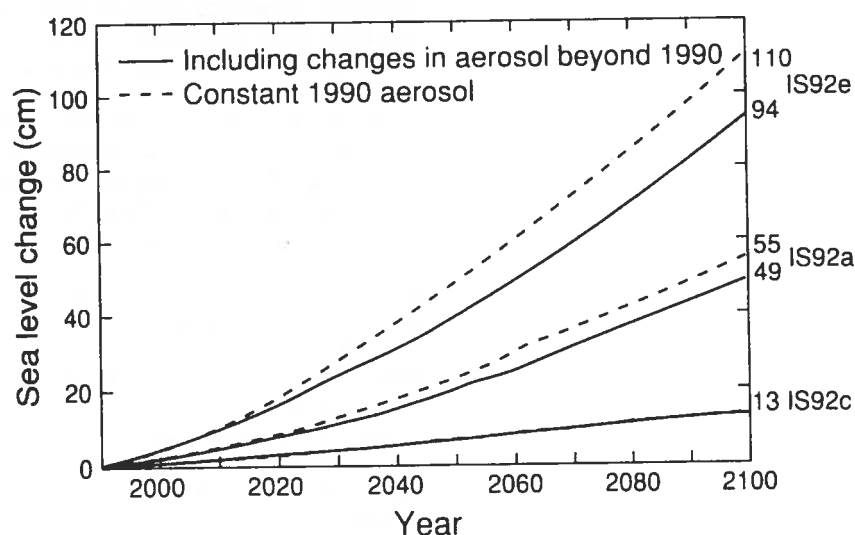
Overigens hebben ook veranderingen in de bodemsoort, in het landgebruik door de mens, en in de verdamping door veranderingen in temperatuur en begroeiing, invloed op de afvoeren van de Nederlandse rivieren. De effecten van deze factoren op de rivierafvoeren lijken echter kleiner dan de verwachte directe effecten van neerslagveranderingen zoals hierboven gepresenteerd.

Welke effecten hebben klimaatveranderingen op het beheren en keren van zout water?

De zeespiegel zal de komende eeuw stijgen. De stelligheid van deze uitspraak vloeit voort uit het gegeven dat zeespiegelstijging een groot-schalig kenmerk is van de door klimaatmodellen voorspelde klimaatverandering.

Een in deze context vaak geciteerde set klimaatvoorspellingen is te vinden in het Tweede Integrale IPCC-Rapport. De set heeft betrekking op de verwachte wereld-gemiddelde zeespiegelstijging in 2100 ten opzicht van 1990 en heeft een bandbreedte van ruim tien centimeter tot ruim een meter (figuur 30). De ondergrens van ruim tien centimeter is een gevolg van de gecombineerde aanname van een lage gevoeligheid van het klimaatsysteem voor een verstoring van de stralingsbalans en een lage groei van de mondiale emissies van broeikasgassen. Veranderingen in de emissies van deeltjes zijn hierbij van weinig invloed. De bovengrens van ruim een meter is een gevolg van de aanname van een hoge klimaatgevoeligheid, een hoge groei van de broeikasgasemissies, en een gelijkblijvende mondiale emissie van deeltjes.

Overigens zal doordat oceaanstromingen door klimaatveranderingen qua karakter kunnen veranderen en doordat de verwachte opwarming niet gelijk over de wereld verdeeld zal zijn, de stijging regionaal kunnen afwijken van de wereld-gemiddelde stijging.



Figuur 30.

Drie factoren die een grote invloed hebben op de temperatuurstijging in het jaar 2100 ten opzichte van 1990 (zie figuur 22), bepalen ook in sterke mate in hoeverre de wereld-gemiddelde zeespiegel in 2100 zal zijn gestegen. Het experiment van figuur 22 is daarom herhaald om de marge van de zeespiegelstijging te bepalen, waarbij de mate waarin landijs door een temperatuuroename smelt, als vierde onzekere factor in de beschouwing is meegenomen. Op basis van dit experiment kan geconcludeerd worden dat de zeespiegel in 2100 ten opzichte van 1990 met minimaal 13 centimeter zal zijn gestegen (afvlakkende stijging van de broeikasgasconcentraties, lage smelt-snelheid, stijging van de deeltjesconcentratie, en lage klimaatgevoeligheid). De zeespiegelstijging in 2100 zal maximaal 110 centimeter bedragen (sterke stijging van de broeikasgasconcentraties, hoge smelt-snelheid, stabilisatie van de deeltjesconcentratie, en hoge klimaatgevoeligheid. Bron: IPCC.

De stijging van de zeespiegel zal naar verwachting voor iets minder dan de helft worden veroorzaakt doordat het water van oceanen en zeeën bij een toenemende temperatuur uit zal zetten. Een bijdrage van ééntiende tot een kwart zal worden geleverd doordat bij een toenemende temperatuur gletsjers en ijskappen versneld zullen afsmelten. De bijdrage van het smelten van landijs op Groenland zal ongeveer éénvijfde van de stijging verklaren. De bijdrage van veranderingen in de massabalans van het landijs op Antarctica is erg onzeker. Deze bijdrage zou volgens de huidige kennis best een kwart van het geheel kunnen bedragen; zij zou echter ook negatief kunnen zijn wat betekent dat door accumulatie van landijs op Antarctica ten gevolge van neerslagtoenames ter plekke, de zeespiegelstijging minder snel zal gaan dan verwacht. Door genoemde onzekerheden kan niet uitgesloten worden dat de zeespiegelstijging in 2100 buiten genoemde bandbreedte ligt.

Overigens zal door de traagheid van het klimaatsysteem de stijging van de zeespiegel, zelfs bij een stabilisatie van de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer, nog eeuwen kunnen doorgaan (figuur 26). De grote warmtecapaciteit van de oceanen is een belangrijke oorzaak van deze traagheid; de zeewatertemperatuur past zich slechts zeer langzaam aan de veranderde temperatuur van de lucht aan. En het is, zoals gezegd, juist de stijging van de zeewatertemperatuur die in hoge mate verantwoordelijk is voor de stijging van de zeespiegel.

Ten gevolge van de stijging van de zeespiegel zal de kans op erosie van de kust en op overstromingen **mondiaal** gezien groter worden. Ook wordt verwacht dat getijden zullen veranderen en dat transport van nutriënten, sediment, en vervuiling anders zal verlopen door veranderingen in zeestromingen. Daarnaast zal meer zoutwater de binnenlanden

indringen waardoor langs de kust gronden en waterige gebieden, zoals riviermonden, in sterkere mate dan nu het geval verziltten. Dit kan gevolgen hebben voor de drinkwatervoorziening en de landbouw ter plekke.

De voor het jaar 2100 geschatte omvang van de groep mensen die wereldwijd het risico loopt slachtoffer te worden van een overstroming is volgens het Tweede Integrale IPCC-Rapport bij ongewijzigde bevolkingssomvang ongeveer het dubbele van de groep die momenteel risico loopt, te weten honderd miljoen mensen versus vijftig miljoen mensen.

In gebieden waar de kustverdediging niet berekend is op de voorspelde zeespiegelstijging, wordt verlies van land verwacht, en dientengevolge kapitaalverlies en migratie van mensen. Een extreem voorbeeld in voornoemd IPCC-rapport van landverlies betreft de Marshall-eilanden. Als de zeespiegel volgens de bovengrens van de voorspellingen zal stijgen, zal ongeveer vier vijfde van het grondgebied van de Majuro Atoll in 2100 onder de zeespiegel liggen.

De kosten van het beschermen door het aanpassen van de kustverdediging aan de verwachte zeespiegelstijging zijn voor de meeste landen bescheiden, maar voor sommige landen wellicht onoverbrugbaar. Zij kunnen vertaald naar de huidige context oplopen tot tientallen procenten van het bruto nationaal product van een land, waarbij wordt opgemerkt dat kosten ten gevolge van andere effecten van klimaatveranderingen hierbij niet in beschouwing zijn genomen. Daarnaast kunnen aanpassingen van de kustverdediging belangrijke nadelige neveneffecten hebben, bijvoorbeeld voor de natuur.

In **Nederland** wordt bij infrastructuur met een lange voorziene levensduur rekening gehouden met een stijging van zestig centimeter de komende eeuw. Dit is iets boven het midden van de hierboven gepresenteerde IPCC-range, dat ligt op ongeveer vijftig centimeter. De oorzaak hiervan is dat Nederland in een gebied ligt dat aan het dalen is. Hierdoor is de relatieve zeespiegelstijging (= de zeespiegelstijging ten opzichte van het vasteland) groter dan de absolute zeespiegelstijging (= de zeespiegelstijging ten opzichte van de zeebodem).

Nederland zal zich aan deze stijging dienen aan te passen. Dit kan door aanpassing van de waterhuishouding en de waterkeringen, bijvoorbeeld via dijkverhogingen, door versterking van duinen en stranden, door bescherming van buitendijkse gebieden, en door het installeren van meer en grotere gemalen omdat er meer gepompt zal moeten worden. De jaarlijkse kosten hiervan gedurende de komende eeuw worden geschat op minder dan ééntiende procent van het bruto nationaal product. Dit is een eerste-orde schatting die buiten het kader van het rapport van de Commissie Boertien gemaakt is en waarin bijkomende zaken, zoals schade voor milieu en landschap, en de compensaties daarvan, niet verwerkt zijn.

Welke effecten hebben klimaatveranderingen op ecosystemen?

Het klimaat en het niet-levende deel van de aarde, zoals rotsen en water, hebben een sterke invloed op welke flora en fauna zich in een bepaald gebied ontwikkelen. De flora en fauna van een gebied vormen tezamen, en in interactie met, het niet-levende deel van de aarde, het ecosysteem ter plekke.

Net als het klimaatsysteem zijn ecosystemen complexe, dynamische systemen. Zo treden van nature jaar-op-jaar-fluctuaties op in de omvang en de samenstelling van populaties die gezamenlijk deel uitmaken van een ecosysteem. Fluctuaties in het weer zijn hier mede debet aan. De effecten van de verwachte klimaatverandering worden door onderzoekers

dan ook apart van de effecten van de fluctuaties in weersomstandigheden zoals die van nature voorkomen, beschouwd.

Complexe systemen zijn slechts in beperkte mate kenbaar. Mede daardoor is hun gedrag beperkt voorspelbaar. Hoe ecosystemen reageren op een verstoring, zoals bijvoorbeeld een klimaatverandering, zal daardoor niet precies berekend kunnen worden. De hieronder gepresenteerde resultaten moeten dan ook vooral gezien worden als een indicatie van de gevoeligheid van ecosystemen voor verstoringen, bijvoorbeeld in de vorm van een klimaatverandering.

Wereldwijd staan ecosystemen reeds ten gevolge van andere zaken dan klimaatverandering onder druk. Dit uit zich door verwoestijning, verlies aan biodiversiteit, verlies aan ecosysteemfuncties, verlies aan bodemvruchtbaarheid, enzovoorts. Het adaptatievermogen van het betreffende ecosysteem bepaalt in hoeverre de schade van blijvende aard is.

Algemeen wordt aangenomen dat het adaptatievermogen van ecosystemen onder nog grotere druk komt te staan als, zoals voorspeld wordt, de temperatuur met meer dan één graad Celsius per eeuw stijgt. Verwacht wordt dat een gedeelte van de flora en fauna zich hier niet, of slechts met verlies van kwaliteit, aan kan aanpassen. Van het gedeelte dat zich niet aan kan passen zullen sommige soorten wel in staat zijn zich te verplaatsen, maar andere soorten niet. Hierbij speelt een grote rol of de mens bij de inrichting van het land rekening heeft gehouden met de mogelijke verplaatsingsbehoefte van soorten in de toekomst. Als vestigingsgebieden van flora en fauna al-dan-niet kunstmatig van elkaar zijn afgescheiden, wordt bij een klimaatverandering de kwetsbaarheid van de ter plekke levende soorten relatief sterk vergroot. Wat dit allemaal precies voor gevolgen heeft is onduidelijk, maar dat vele ecosystemen van karakter zullen veranderen en dat soorten zullen verdwijnen staat vast.

Met de temperatuur zullen ook andere weersvariabelen veranderen. Dit maakt de studie naar de effecten van klimaatverandering complex. Zo hebben, om een voorbeeld te geven, de temperatuur en de beschikbare hoeveelheid water effect op de groei- en ontwikkelingssnelheid van planten. Bij een stijgende temperatuur en meer neerslag komen planten niet alleen meer, maar ook sneller in bloei. De productiviteit van ecosystemen neemt zo toe, zij het niet voor alle planten op dezelfde manier. Er ontstaat een andere verhouding van concurrentie tussen planten. Dit beïnvloedt de samenstelling van de vegetatie sterk. Dat is weer van invloed op de stabiliteit van ecosystemen, op de wijze waarop ziekten en plagen op een systeem inwerken. Dergelijke mechanismen zijn in alle ecosystemen actief, maar zullen overal anders uitwerken.

Enkele verwachte effecten van de in het voorgaande als robuust beschouwde grootschalige kenmerken van de verwachte klimaatverandering op **ecosystemen** zijn: verschuiving van ecosystemen richting polen in het algemeen, en bergopwaarts in berggebieden. Daarnaast worden in zijn algemeenheid invasies van exoten, zoals onkruid en concurrenten, en van ziekten en plagen verwacht in de huidige ecosystemen. Ook wordt een versnelling van de ecosysteemontwikkeling verwacht, doordat er meer stikstof per tijdseenheid in de bodem vrij zal komen. Stikstof is een belangrijke voedingsstof voor planten. Een versnelde ecosysteemontwikkeling zal gevolgen hebben voor de concurrentieverhoudingen van soorten omdat de versnelling in de ontwikkeling voor elke soort weer anders is.

De genoemde effecten zijn in het bijzonder van invloed op trage systemen, zoals bossen. Een natuurlijke regeneratie van bossen veronderstelt dat de omstandigheden gedurende de levenscyclus van een boom, die in de orde van een eeuw is, constant blijven, zodat nieuwe bomen

opgroeien in voor hun optimale omstandigheden. Veranderingen in concurrentiekracht en dergelijke zullen de natuurlijke regeneratie van bossen bemoeilijken wanneer het klimaat verandert, omdat er dan feitelijk niet meer het optimum bestaat voor de bomen die ter plekke in het vroegere, andere klimaat zijn gegroeid.

Zoutwaterige natuurgebieden, zoals kwelders, schorren, mangroves en intergetijdegebieden als platen en slikken, zullen over het algemeen de zeespiegelstijging en veranderingen in zee- of oceaanstromingen kunnen volgen, mits er sediment in de vorm van zand of slib beschikbaar is om met die veranderingen mee te kunnen groeien. De beschikbaarheid van sediment hangt sterk af van hoe kustgebieden ingericht worden en of zandsuppleties door de mens kunnen worden uitgevoerd, c.q. worden uitgevoerd. In dit verband is gemeld dat Nederland in de gelukkige omstandigheid is dat er in de Noordzee een enorme zandvoorraad beschikbaar is, maar dat elders in de wereld veelal sprake is van sediment-schaarste als gevolg van inpoldering, zandwinning, afdammen, en het leggen van dammen in rivieren. Als dan ook geen zandsuppleties worden uitgevoerd ontstaat schade aan deze gebieden. Dit proces is momenteel wereldwijd gaande. De verwachting is dat deze tendens bij klimaatverandering of zeespiegelstijging versterkt zal doorzetten.

Genoemde natuurgebieden zijn fourageergebieden voor trekvogels. Mochten betreffende gebieden vervallen doordat zij door zeespiegels-tijging, al dan niet in combinatie met een veranderende inrichting van het kustgebied en met het uitblijven van zandsuppleties, onderlopen, dan verhoogt dit de kwetsbaarheid van trekvogelsystemen.

Voor het **Nederlandse waddengebied** zal de toename van de kwetsbaarheid van trekvogelsystemen waarschijnlijk minder groot zijn. Zolang Nederland de sedimentaanvoer in kustgebieden door middel van zandsuppleties kunstmatig op peil houdt, kan het waddengebied binnen zekere grenzen als het ware met het zeeniveau meestijgen. De **fysieke gevolgen** van zeespiegelstijging lijken zodoende hanteerbaar. In dit kader is opgemerkt dat een verlaging van de bodem van het waddengebied door eventuele extra gaswinning gecompenseerd zal moeten worden om de kwetsbaarheid van het gebied niet extra te vergroten. Bij extra gaswinning zal namelijk de relatieve zeespiegel sneller stijgen doordat de bodem sneller, dan nu het geval is, zal dalen. Onduidelijk is wat de **directe ecologische gevolgen** van een klimaatverandering voor het wadden-gebied zijn.

Welke effecten hebben klimaatveranderingen op de landbouw?

De mogelijke effecten van klimaatveranderingen zijn voor de landbouw beter bekend dan voor ecosystemen. Dit is voor een belangrijk deel terug te voeren op het feit dat landbouwsystemen minder complex, en daardoor makkelijker te bestuderen zijn dan ecosystemen. Landbouwsystemen bestaan immers vaak uit slechts één enkele plant of gewas. Ook spelen economische motieven wellicht een rol bij de relatief grote beschikbaarheid van gegevens over de gevolgen van klimaatveranderingen voor landbouwsystemen.

De effecten van klimaatveranderingen op landbouwgewassen worden vaak bestudeerd door één gewas in twee kassen te laten groeien. In de ene kas heersen de huidige omstandigheden; in de andere kas zijn één of meerdere klimatologische of anorganische variabelen anders. Klimatologische variabelen die van belang zijn voor de groei van gewassen zijn temperatuur en temperatuurvariabiliteit, neerslag en neerslagvariabiliteit, het stralingsregime (= de mate en de verdeling van zonnestraling), en de

kooldioxide-concentratie (tabel 5). Anorganische variabelen die van belang zijn voor de groei, zijn de nutriënten stikstof en fosfor. Vaak is informatie beschikbaar over de reacties van landbouwgewassen op veranderingen in klimatologische variabelen in combinatie met de invloed van een gewijzigde nutriëntvoorziening.

Een temperatuurverandering heeft effecten op de lengte van de vorstvrije periode en op de start van het groeiseizoen. Als het warmer wordt zullen planten wat eerder beginnen te groeien. Tegelijkertijd zal de snelheid van de groei, naarmate het warmer wordt, toenemen. Afbraakprocessen zullen ook sneller plaatsvinden als het warmer wordt; in de bodem zullen zo meer organische stoffen afbreken. Bij een stijging van de temperatuur neemt de behoefte aan water toe omdat een plant meer zal verdampen. Een stijging van de temperatuur met één graad Celsius leidt tot een stijging van de verdamping van het bladoppervlak van planten met zes procent. In de praktijk zal dit alles de volgende effecten kunnen hebben:

Als de **temperatuur** hoger wordt zal in het algemeen een gewas sneller rijpen. Omdat een gewas dat in kortere tijd rijp is geworden minder kans zal hebben gehad om te groeien, zal een hogere temperatuur vaak tot een lagere **opbrengst** leiden.

Een plant ontwikkelt vaak een zekere **winterhardheid** door aanhoudende koude; de plant wordt afgehard. Als de plant onvoldoende wordt afgehard, omdat de gemiddelde temperatuur niet ver genoeg of niet langdurig genoeg daalt, dan blijft er een latente vorstgevoeligheid. Deze situatie zal zich vaker voordoen als de gemiddelde temperatuur hoger wordt. Deze **vorstgevoeligheid** kan tot schade leiden als de temperatuur even beneden het vriespunt daalt, zoals wanneer er sprake is van nachtvorst.

Bij **extreem hoge temperaturen** kunnen andere problemen ontstaan. Bij rijst, bijvoorbeeld, leidt een te hoge temperatuur gedurende het stadium waarin hij bestoven moet worden ogenblikkelijk tot steriliteit. Dat houdt in dat er geen **korrelvorming** ontstaat. Problemen kunnen ontstaan in die gebieden waar momenteel rijst net onder de uiterste temperatuur verbouwd wordt.

Kooldioxide wordt onder invloed van licht, in de plant met water omgezet in suiker. Een hogere kooldioxide-concentratie betekent in zijn algemeenheid meer te eten voor de plant en daarom een grotere biomassa. De toename in biomassa zal bij stijgende concentraties relatief steeds minder worden, totdat er op zeker moment geen sprake van toename in biomassa meer is. Dit zal zijn bij een kooldioxide-concentratie van rond de 1000 ppmv, ofwel in de buurt van een verdrievoudiging van de huidige kooldioxide-concentratie van 360 ppmv. De huidige jaarlijkse toename in de kooldioxide-concentratie is iets boven de 0.4% ofwel rond de 1.5 ppmv.

Tegelijkertijd heeft een hogere kooldioxide-concentratie tot gevolg dat planten per gewichtseenheid minder water verdampen. Zo zal bij een hogere kooldioxide-concentratie per beschikbare hoeveelheid water meer plantenmassa groeien. Per saldo zal het **waterverbruik** door de toename in biomassa iets toenemen. Wanneer in combinatie met het ten gevolge van een hogere kooldioxide-concentratie hogere watergebruik, in de zomer de temperatuur toeneemt of de neerslag afneemt, is er het risico van **verdroging**. In Nederland kan een waarschijnlijk geachte afname van de neerslag in de zomer zich extra laten gelden wanneer de huidige tendens van een lager wordend grondwaterpeil zich doorzet.

Iets wat samenhangt met een toename van de kooldioxide-concentratie maar wat nog slecht begrepen wordt, is dat het **eiwitgehalte** in bladmassa's daalt. Dit heeft consequenties voor mensen en dieren die het eiwit uit planten voor hun dieet nodig hebben. Problemen kunnen

ontstaan als zij van nature al een voedingspakket hebben waarin weinig eiwitten zitten, zoals vaak het geval is in tropische landen. Ook kunnen problemen ontstaan als in korte tijd een bepaalde hoeveelheid eiwit nodig is om een bepaald proces op gang te brengen.

In zijn algemeenheid kan gezegd worden dat de effecten van klimaatveranderingen op de **mondiale voedselvoorziening** klein zullen zijn als de voedselvraag op het huidige niveau blijft. Hierbij wordt aangetekend dat nog onbekend is in welke mate ziekte, plagen en onkruid zullen toenemen. Dit heeft mogelijk een negatief effect op de mondiale voedselvoorziening.

Doordat productiezones zullen verschuiven zullen regionaal wel problemen ontstaan. Gebieden waarin momenteel op beperkte schaal landbouw mogelijk is en waarin men door de economische situatie minder toegang heeft tot technologische ontsnappingsmogelijkheden, zullen door een kleine verandering in neerslag en verhoging van temperatuur sterker lijden dan de gebieden die een vruchtbare bodem en betere groeiomstandigheden hebben.

Bij een voortdurende bevolkingsgroei kunnen de voorziene problemen zich sterker laten gelden. De algemene conclusie is dat bij een voortdurende bevolkingsgroei de arme gebieden het meest zullen lijden. Voor de rijke landen worden ook onder die omstandigheden geen problemen verwacht.

Per saldo lijkt de toekomstige situatie voor de **voedselvoorziening in Nederland** gunstig. Er zijn weinig redenen om aan te nemen dat de landbouw in Nederland er bij klimaatveranderingen op achteruit zou gaan. Nederland haalt echter ook veel producten uit het buitenland. Het is nog onduidelijk in hoeverre veranderingen in productiezones in landen waar Nederland momenteel voedsel vandaan haalt, de huidige voedselvoorziening in Nederland beïnvloeden.

Wat is de relatieve betekenis van kennis inzake de effecten van klimaatveranderingen?

Bij het bepalen van de effecten ten gevolge van klimaatveranderingen moet niet uit het oog verloren worden dat ten gevolge van andere ontwikkelingen dan klimaatveranderingen, gebieden in meer of mindere mate kwetsbaarder kunnen worden vóór klimaatveranderingen. Dergelijke ontwikkelingen worden meestal niet in effect-studies meegenomen. Hierdoor zullen berekende effecten van klimaatverandering in werkelijkheid negatiever kunnen uitpakken. Dit wordt aan de hand van een voorbeeld tastbaar gemaakt.

Rivieren en kustgebieden zijn grootschalige, dynamische natuurgebieden. Het zijn natuurlijke gebieden, waar natuurkrachten een rol spelen. Hierdoor hebben deze gebieden de mogelijkheid, zich op veranderingen in te stellen. Als er bijvoorbeeld bij een zware storm aan de kust een hap uit de duin gaat, voeren de wind en de golven in de periode daarna het zand terug naar de kust en repareren zij zo, en al dan niet geholpen door de mens, geheel of gedeeltelijk de schade. De kust en de rivieren zijn dus niet statisch, maar reageren op veranderingen. Een voorwaarde is dat de kust en de rivieren de ruimte moeten hebben om deze veranderingen te bewerkstelligen. Een dilemma ontstaat als men, zoals in Nederland en elders, de wens heeft om steeds dichterbij de rivier of zee te bouwen. Het beslag dat onze samenleving op kusten en rivieren legt, speelt in dit perspectief een belangrijke rol in de schatting van toekomstige effecten. Stel dat door een stijging van de zeespiegel steeds meer zand van de kust wordt weggevoerd of dat door hogere rivierafvoeren in de winter de dijken worden verzwakt. De gevolgen hiervan zullen negatiever uitwerken als door bebouwing aan de kust of in het winterbed, de natuur minder

gelegenheid heeft de ontstane schade te repareren. De natuur zal bij haar pogingen tot reparatie nog sterker gehinderd worden als in het kader van de algemene veiligheid besloten wordt tot het nemen van infrastructurele beschermingsmaatregelen.

Andere voorbeelden die in dit kader gepresenteerd zijn aan de Commissie hebben betrekking op de interacties tussen de gevolgen van een verhoogde instraling van ultraviolet licht door een verdunning van de ozonlaag en de gevolgen van klimaatveranderingen. Deze voorbeelden zijn te vinden in het verslag van de hoorzitting van prof. dr J.C. van der Leun.

Bij het op waarde schatten van de effecten ten gevolge van klimaatveranderingen dienen vergelijkbare effecten ten gevolge van direct menselijk ingrijpen mede in beschouwing te worden. Laatstgenoemde effecten kunnen groter zijn dan eerstgenoemde. Lage rivierafvoeren, bijvoorbeeld, kunnen tot verdroging leiden, maar als de mens doorgaat met het kunstmatig verlagen van het grondwaterpeil kan dat een groter effect hebben op verdroging dan de effecten van klimaatveranderingen. Effecten van mogelijke door de mens veroorzaakte klimaatveranderingen zullen zodoende altijd in het perspectief dienen te worden geplaatst van vergelijkbare, niet-klimaatgerelateerde effecten.

§ 4. Hoe komt het IPCC tot haar bevindingen?¹

Wat is het IPCC?

Het «Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC» is door de Verenigde Naties in het leven geroepen. **Het IPCC is opgedragen om de wetenschappelijke, technische en sociaal-economische informatie met betrekking tot de broeikasproblematiek op uitgebreide, open en doorzichtige wijze door middel van rapportages samen te brengen.** Hiertoe heeft het IPCC drie werkgroepen ingesteld. Werkgroep I stelt een rapport op over de stand van zaken betreffende de natuurwetenschappelijke achtergrond van klimaat en klimaatverandering, Werkgroep II stelt een rapport op over de ecologische en sociaal-economische gevolgen van klimaatverandering, en Werkgroep III stelt een rapport op over de onderlinge samenhang tussen sociaal-economische activiteiten en klimaatverstoring en brengt de gevolgen van het al dan niet nemen van beheersmaatregelen in beeld. De drie rapporten tezamen vormen, na elk voorzien te zijn van een samenvatting voor beleidsmakers, het integrale IPCC-rapport over klimaatverandering. Het eerste Integrale IPCC-Rapport over klimaatverandering verscheen in 1990, het tweede in 1996.

In het kader van het onderzoek van de Commissie, waarbij de interacties tussen de ozon- en broeikasproblematiek expliciet aan de orde zijn gekomen, is gemeld dat de interactie tussen het werk van het IPCC en het werk van de organisatie die de wetenschappelijke kennis inzake de ozonproblematiek in kaart brengt, verbetering behoeft. Gemeld is dat momenteel een aantal processen onderbelicht blijven die tot gevolg kunnen hebben dat de oorzaken en effecten van klimaatverandering sterker of minder sterk uitwerken dan momenteel gedacht.

Waarom heeft de Commissie aandacht besteed aan het IPCC?

De Commissie constateert dat wanneer in discussies over de broeikasproblematiek onderzoeksresultaten worden gepresenteerd, deze veelal komen uit rapporten die zijn opgesteld door het IPCC. Verondersteld wordt dat bij weinig andere onderwerpen met een sterk wetenschappe-

¹ Over dit onderwerp is in de openbaarheid gesproken met dr A. P. M. Baede, prof. dr.ir. Tennekes en prof. dr C. J. F. Böttcher. Ook is in de beslotenheid over dit onderwerp gesproken met dr R. J. van Duinen, prof. dr H. N. A. Priem en K. Knip.

lijke basis, sprake is van een dergelijke, wellicht onbedoelde invloed van één enkele organisatie. Tegelijkertijd is geconstateerd dat met name in de publieke discussie aanhoudend kritiek valt te beluisteren omtrent de werking en de resultaten van het IPCC.

Op basis van deze constatering heeft de Commissie gemeend er goed aan te doen zich te laten informeren over de manier waarop het IPCC wetenschappelijke resultaten uit het klimaatonderzoek verwerkt, alvorens tot een taxatie te komen van de ernst van de broeikasproblematiek. Reeds in een vroeg stadium is gemeld dat het IPCC zelf geen onderzoek doet of financiert. Daardoor werd het van weinig belang geacht om de in de IPCC-rapportages bijeengebrachte wetenschappelijke bevindingen te (laten) toetsen. Niettemin, **een eenzijdige belichting van onderzoeksmateriaal of een selectieve keuze uit de mogelijk te behandelen onderwerpen zou tot een verkeerd beeld van de huidige wetenschappelijke kennis inzake klimaatverandering kunnen leiden.** Daarom is tijdens de openbare hoorzittingen expliciet aandacht gegeven aan de werkwijze van het IPCC en de door haar gehanteerde procedures, en de aanmerkingen die daarop mogelijk zijn.

Welke procedures hanteert het IPCC voor het totstandkomen van zijn wetenschappelijke rapporten?

Het IPCC heeft procedures ingesteld waardoor deskundigen uit zoveel mogelijk landen en organisaties kunnen deelnemen aan het opstellen van een rapport.

Ieder hoofdstuk van een IPCC-rapport komt tot stand onder verantwoordelijkheid van een team van onderzoekers uit het betreffende vakgebied. Daarbij heeft elk team de expliciete opdracht andere specialisten uit dit vakgebied uit te nodigen een bijdrage te leveren. De **selectie** van alle deskundigen gaat via een open proces. Hierbij speelt de deskundigheid van de desbetreffende persoon een doorslaggevende rol. Deze deskundigheid moet blijken uit publicaties in erkende wetenschappelijke tijdschriften. Dit zijn tijdschriften die zijn onderworpen aan een technisch-inhoudelijke beoordeling door collega's, onder wetenschappers meestal «peer-review» genoemd.

Doordat in de IPCC-rapporten zo goed als alleen informatie is te vinden die is gepubliceerd in de erkende wetenschappelijke tijdschriften, worden **meningen** van personen die niet publiceren in deze tijdschriften niet gehoord. Geopperd is dat hieraan tegemoet kan worden gekomen door de instelling van een soort arbitragecommissie die meningen op hun inhoudelijke aspecten beoordeelt. Overigens is gemeld dat IPCC expliciet moeite doet om aandacht te besteden aan wetenschappelijke inzichten die opvallend afwijken van gangbare. Dit blijkt ook bij nadere bestudering van de rapporten.

Door de gehanteerde procedures is sprake van een goede **toegankelijkheid** van alle materiaal dat in IPCC-rapporten te vinden is via de openbare literatuur.

De **inhoudelijke structurering** van de IPCC-rapportages is voor verbetering vatbaar. Met name de voorspelbaarheid van het klimaat, de interacties tussen de gevolgen van klimaatverandering en de gevolgen van de verdunning van de ozonlaag, en de interacties tussen veranderingen in landgebruik en klimaat, zijn genoemd als onderwerpen die meer aandacht behoeven in komende rapportages.

Van meer **methodologische aard** is de vraag in hoeverre het klimaatsysteem kenbaar is. Hieraan wordt in IPCC-kader weinig aandacht besteed.

De hoofdstukken van een IPCC-rapport worden als concept twee keer ter **beoordeling** voorgelegd aan de teams van andere hoofdstukken en aan andere deskundigen. Tijdens de tweede beoordelingsronde wordt het rapport tevens voorgelegd aan elke VN-lidstaat. Deze laat door zijn deskundigen een nationaal-gecoördineerd beoordelingsrapport opstellen over de wetenschappelijke inhoud van het concept.

Wanneer kritiek niet wordt verwerkt in het rapport, krijgt de persoon die deze kritiek heeft aangeleverd **geen terugmelding** waarom dat zo is. Dit heeft vooral een praktische reden en lijkt vooralsnog geen afbreuk te doen aan de inhoudelijke kwaliteit van de rapporten.

Via deze procedure worden ook **beleidmakers** in de gelegenheid gesteld de teksten van de rapportages te beïnvloeden. In dit kader is gemeld dat bijdragen van beleidmakers aan de wetenschappelijke rapporten weliswaar welkom zijn, maar dat opname van deze bijdragen slechts wordt overwogen na positieve beoordeling van het technisch-wetenschappelijke gehalte.

Welke procedures hanteert het IPCC voor het totstandkomen van de Samenvattingen voor Beleidmakers?

De conclusies van elk van de drie rapporten worden door de teams van de betreffende werkgroep samengevat voor beleidmakers. Deze Samenvatting voor Beleidmakers wordt vervolgens regel voor regel voorgelegd aan de algemene vergadering van nationale afgevaardigden met de teams van onderzoekers van de betreffende Werkgroep.

Het vaststellen van de Samenvattingen voor Beleidmakers gebeurt via **consensusvorming**. Dit geeft aanleiding tot uitgebreide discussie tussen vertegenwoordigers van belanghebbende landen en vertegenwoordigers van de teams over formuleringen in de samenvatting, waarbij de toon van de formuleringen vaak even zwaar weegt voor de politici als de wetenschappelijke correctheid voor de auteurs. Aan deze discussies nemen ook vertegenwoordigers van belangengroeperingen deel, zoals milieu-organisaties en lobbygroepen uit de wereld van de energievoorziening. Daardoor ontstaat de mogelijkheid dat belangengroeperingen schriftelijk of verbaal in indirecte zin invloed uitoefenen op de inhoud van de Samenvattingen voor Beleidmakers. Misbruik van deze mogelijkheid wordt beperkt door de voorwaarde dat de consensus altijd tot stand dient te komen binnen de randvoorwaarden, die door de achterliggende wetenschappelijke rapporten in inhoudelijke zin gecreëerd worden. Hierdoor zijn de samenvattingen steeds in overeenstemming en consistent met de hoofd rapporten.

Door de gehanteerde procedure is sprake van een zekere **filtering** van de resultaten van de wetenschappelijke rapporten. In de praktijk komt dit meestal neer op afzwakking van de conclusies van de eraan ten grondslag liggende wetenschappelijke rapporten.

Wanneer de VN-lidstaten zich achter de samenvattingen scharen, accepteren zij daarmee «de facto» de inhoud van de wetenschappelijke rapporten. Tot op heden heeft dit in voorkomende gevallen telkens geleid tot een breed internationaal **draagvlak** van de resultaten van de IPCC-rapporten.

Een **alternatieve aanpak** wordt gehanteerd door de organisatie die de ozonproblematiek onderzoekt. Daar is ervoor gekozen om het opstellen van de samenvattingen volledig aan de betrokken wetenschappers over te laten, juist om filtering ten gevolge van onderhandelingen met belanghebbenden te voorkomen.

Uiteindelijk beoordeelt de vergadering van de nationale afgevaardigden met vertegenwoordigers van de teams van onderzoekers van één van de drie Werkgroepen, of het betreffende rapport inderdaad een uitgebreide,

objectieve, open en doorzichtige weergave is, en of de samenvatting goed en bruikbaar is. Als deze beoordeling voor alle drie de rapporten positief is, worden zij voorgelegd aan de **plenaire** vergadering van IPCC. Het Integrale IPCC-Rapport over Klimaatverandering is gereed als de drie Samenvattingen vervolgens door de plenaire vergadering van IPCC zijn overgenomen. Tot op heden is dit in voorkomende gevallen telkens een formaliteit geweest.

§ 5. De ernst van de broeikasproblematiek: definities, bevindingen, taxatie

De gehanteerde definities

Eerder heeft de Commissie in haar voortgangsrapportage vier vragen nader geformuleerd. In het navolgende worden deze vragen herhaald en vervolgens beantwoord.

Wat wordt verstaan onder klimaatverandering?

De Commissie heeft inzake het begrip klimaatverandering de definitie, zoals die gegeven is in Artikel 1 van het Klimaatverdrag van de Verenigde Naties, aangehouden. In het Klimaatverdrag is klimaatverandering als volgt gedefinieerd: «*Climate change* means a change of climate which is attributed directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere and which is in addition to natural climate variability observed over comparable periods». Aldus verstaat de Commissie onder een klimaatverandering, een verandering van het klimaat die in directe of indirecte zin is toe te wijzen aan wereldwijde veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer ten gevolge van activiteiten door de mens, en die komt bovenop de natuurlijke variabiliteit van het klimaat.

En is het broeikaseffect daaraan debet of mede debet?

Het (natuurlijke) broeikaseffect is in deze rapportage gedefinieerd als de isolerende werking van de atmosfeer die ontstaat door de aanwezigheid van broeikasgassen in de atmosfeer. De isolerende werking zorgt ervoor dat het aan het aardoppervlak warmer is dan zonder deze werking. Wanneer de concentraties van de broeikasgassen in de atmosfeer stijgen, wordt de isolerende werking van de atmosfeer sterker. Deze versterking van de isolerende werking van de atmosfeer wordt het versterkte broeikaseffect genoemd. Het klimaatsysteem zal zich aanpassen aan een versterking van het broeikaseffect door te veranderen, c.q. door het aardoppervlak nog verder op te warmen.

Wanneer de concentraties toenemen ten gevolge van activiteiten door de mens, dan verandert het klimaat zoals bedoeld in Artikel 1 van het Klimaatverdrag. Met andere woorden, het door de mens versterkte broeikaseffect is debet aan klimaatverandering.

Zo ja, wat zijn dan de oorzaken van natuurlijke aard/oorprong, en welke bijdrage is aan menselijk gedrag toe te schrijven?

Per definitie moet een klimaatverandering zoals in Artikel 1 van het Klimaatverdrag gedefinieerd, volledig aan menselijk gedrag worden toegeschreven. Vragen die hierbij van belang zijn, zijn in welke mate het klimaat mogelijk door natuurlijke oorzaken zal veranderen, in welke mate het klimaat mogelijk door een antropogene versterking van het broeikaseffect zal veranderen, en of iets gezegd kan worden over de verschillen in de mate waarin het klimaat door antropogene of natuurlijke oorzaken verwacht wordt te veranderen.

Voorbeelden van natuurlijke oorzaken van klimaatverandering zijn vulkaanuitbarstingen, variaties in zonne-activiteit, en spontane fluctuaties in het klimaatsysteem. Aan de hand van reeds opgetreden klimaat-

veranderingen en met behulp van klimaatmodellen zijn schattingen gedaan van de maximale natuurlijke klimaatveranderingen die gedurende een bepaalde periode en gemiddeld over een bepaald gebied mogelijk worden geacht (= natuurlijke variabiliteit). Klimaatmodellen zijn ook gebruikt om schattingen te geven van mogelijke klimaatveranderingen die gedurende vergelijkbare periodes ten gevolge van antropogene oorzaken worden verwacht. Op basis van beide soorten schattingen is geconcludeerd dat het onwaarschijnlijk is dat de stijging van de wereld-gemiddelde temperatuur die gedurende de afgelopen eeuw is waargenomen, geheel aan natuurlijke oorzaken kan worden toegeschreven. Ook is op basis van beide soorten schattingen de verwachting uitgesproken dat het klimaat door antropogene oorzaken de komende decennia wereldwijd zodanig zal veranderen dat daarbij de geschatte grenzen van de natuurlijke variabiliteit van het klimaat zullen worden overschreden.

En wat is de Nederlandse bijdrage daarbij?

Op basis van mondiale emissies in 1990 voor de broeikasgassen kooldioxide, methaan en lachgas en het Nederlandse aandeel daarin, kan gesteld worden dat het Nederlandse aandeel aan de versterking van het broeikas effect in relatieve zin momenteel minder dan een procent is (zie de annex bij deze sectie voor een berekening van deze bijdrage). Om dit aandeel in een perspectief te plaatsen: per hoofd van de bevolking is de Nederlandse bijdrage aan de versterking van het broeikas effect ongeveer het dubbele van de bijdrage van de gemiddelde wereldburger. Het Nederlandse aandeel in de mondiale emissies zal in het recente verleden iets hoger geweest zijn en verwacht wordt dat het aandeel de komende decennia in belang af zal nemen gezien de voorziene ontwikkeling inzake de emissies van broeikasgassen in andere delen van de wereld.

Bevindingen op hoofdlijnen

De werkwijze van de Commissie is er op gericht geweest van wetenschappers kennis te verwerven en aan wetenschappers uitspraken te ontlokken¹, die politiek verantwoordelijken in staat stellen zich een begrijpelijk beeld te vormen van het klimaatvraagstuk. De Commissie hoopt hierin geslaagd te zijn en spreekt hierbij haar waardering uit voor de behulpzaamheid van de wetenschappers die in de openbaarheid en in de beslotenheid gehoord zijn.

De Commissie heeft in de hieraan voorafgaande delen de natuurwetenschappelijke kennis die haar door de gehoorde is aangeboden, met behulp van zes vragen geordend. In het navolgende worden deze vragen herhaald en vervolgens beantwoord. Deze antwoorden bevatten derhalve de bevindingen van de Commissie.

Wat zeggen waarnemingen over veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer?

Voor enkele broeikasgasconcentraties blijkt sprake van een steeds sneller verlopende toename gedurende de periode vanaf het pré-industriële tijdperk tot nu. De concentraties van kooldioxide en methaan zijn respectievelijk met ongeveer 30% en 150% toegenomen; de concentraties zijn nu hoger dan gedurende de afgelopen 200 000 jaar. Lachgas is met ruim 10% toegenomen; de huidige concentratie is hoger dan gedurende de afgelopen 45 000 jaar. Op basis van schattingen voor de jaarlijkse budgetten van kooldioxide, methaan en lachgas, zoals die volgen uit experimenten met stofkringloopmodellen en uit het opstellen van inventarisaties, is geconcludeerd dat de stijging van de atmosferische concentraties van deze broeikasgassen de afgelopen twee eeuwen, voornamelijk het gevolg is van activiteiten door de mens.

¹ Zie de Bijlage 2 voor een bijdrage van dr J. van Lenthe over de verwachtingen die men op het laatste punt kan koesteren.

Voor de zogenoemde gehalogeneerde kool(water)stoffen, waartoe de CFKs behoren, is de concentratie sinds het moment dat zij voor het eerst door de mens gefabriceerd werden, gestegen vanuit een nulsituatie. Voor enkele gassen uit deze familie nemen de concentraties sinds kort niet verder toe. Dit is toe te schrijven aan het verdrag ter bescherming van de ozonlaag (= het Montreal-protocol).

Voor het van nature voorkomende broeikasgas ozon is de wereld-gemiddelde concentratie, en de verandering daarin, door haar grote variabiliteit in ruimte en tijd moeilijker vast te stellen. Uit waarnemingen en modellen valt te concluderen dat de verandering in de ozonconcentratie gedurende de afgelopen decennia uitzonderlijk is en dat antropogene invloeden hierbij een rol hebben gespeeld.

Welke rol speelt de samenstelling van de atmosfeer in het klimaatsysteem?

Door de aanwezigheid van broeikasgassen in de atmosfeer heeft de atmosfeer een isolerende werking (= het broeikaseffect) die ervoor zorgt dat het aan het aardoppervlak ruim dertig graden warmer is dan in afwezigheid van deze werking. Wanneer de samenstelling van de atmosfeer verandert als gevolg van een toename van de broeikasgasconcentraties, zal deze isolerende werking van de atmosfeer versterkt worden (= het versterkte broeikaseffect). Hierdoor warmt het aardoppervlak verder op.

Bij de verbranding van fossiele brandstoffen en biomassa komen zwavel-, stikstof-, en koolstofhoudende deeltjes vrij, vaak aërosolen genoemd. De aanwezigheid van deze deeltjes in de atmosfeer heeft een compenserende werking op het broeikaseffect; een toename van deeltjes kan een versterking van het broeikaseffect tegenwerken. Deeltjes wijken qua verdeling en karakter af van broeikasgassen. Hierdoor zullen veranderingen in deeltjesconcentraties leiden tot andersoortige klimaatveranderingen dan veranderingen in broeikasgasconcentraties. Dit leidt ertoe dat het nooit zo zal zijn dat klimaatveranderingen door een toename van deeltjes klimaatveranderingen door een toename van broeikasgassen volledig compenseren.

De antropogene verstoring van het klimaat ten gevolge van de toename in de atmosferische concentraties van broeikasgassen en deeltjes, is niet langer verwaarloosbaar wanneer zij met natuurlijke verstoringen vergeleken wordt.

Wat zeggen waarnemingen over veranderingen in de klimaten op aarde?

Waarnemingen wijzen uit dat de aarde gedurende de laatste eeuw duidelijk warmer is geworden. Of dit betekent dat het klimaat veranderd is, kan in de context van het onderhavige rapport pas bevestigd worden als de verandering groter blijkt dan op grond van de natuurlijke variabiliteit verwacht mag worden. Het klimaat verandert van nature immers continu. De conclusie die in dit verband is ondersteund, is dat het onwaarschijnlijk is dat de mondiale opwarming de afgelopen eeuw in zijn geheel is toe te schrijven aan natuurlijke fluctuaties van het klimaatstelsel en dat het ruimtelijke patroon van deze opwarming wijst op een invloed van de mens op het klimaat.

Zullen de concentraties van broeikasgassen en deeltjes blijven toenemen?

Bij voortzetting van de huidige mondiale trends zal de stijging van de broeikasgasconcentraties voortduren. De concentratie van kooldioxide zal in dat geval in 2100 een waarde hebben bereikt van tweeënehalf maal de pré-industriële concentratie. De concentraties van deeltjes zullen waarschijnlijk minder snel toenemen.

Belangrijk is het onderscheid tussen de jaarlijkse emissies en de veranderingen in de atmosferische concentraties die daar het gevolg van zijn. Bij wereldwijde stabilisatie van emissies, zullen uiteindelijk ook de

concentraties stabiliseren. Door de lange verblijftijd van een aantal broeikasgassen zal een stabilisatie van concentraties pas lange tijd na stabilisatie van emissies optreden. Des te sneller emissies gestabiliseerd worden, des te lager het niveau is waarop de concentraties uiteindelijk stabiliseren. De concentraties zullen onder genoemde voorwaarden altijd hoger zijn dan de huidige.

De stijging van de broeikasgasconcentraties kan worden beperkt door de huidige mondiale emissies sterk te reduceren. De emissiereducties die hiervoor benodigd zijn, zijn sterk afhankelijk van de levensduur van het betreffende broeikasgas. Voor kooldioxide, dat een zeer lange levensduur heeft, zijn mondiale emissiereducties van meer dan negentig procent nodig om de concentratie op het niveau van 1990 (= 350 ppmv) te stabiliseren. Voor stabilisatie op een verdubbeling van de pré-industriële concentratie (= 280 ppmv), zullen de mondiale emissies uiteindelijk ongeveer zeventig procent lager dienen te zijn. Lachgas heeft een levensduur van ongeveer een eeuw. Voor stabilisatie van de lachgasconcentraties is een mondiale emissiereductie van rond de vijftig procent noodzakelijk. Doordat methaan een levensduur heeft van ongeveer een decennium, zijn emissiereducties in de orde van tien procent nodig om de concentratie op het huidige niveau te stabiliseren.

De invloed van een concentratie-stabilisatie op de versterking van het broeikaseffect is voor alle gassen verschillend. Omdat de emissies van kooldioxide voor meer dan de helft tot driekwart bijdraagt, en naar verwachting zal blijven bijdragen, aan de versterking van het broeikas-effect, zal een stabilisatie van de kooldioxide-concentraties in absolute zin een verdere versterking van het broeikaseffect het meest tegengaan.

Door versnelde verwijdering van broeikasgassen uit de atmosfeer, kan men de snelheid waarmee de concentraties stijgen gedurende een kortere periode laten afnemen en zo voor enige afvlakking in het concentratie-verloop zorgen.

Hoe zullen klimaten door een versterking van het broeikaseffect veranderen?

Als met de onzekere emissies van deeltjes rekening wordt gehouden, zal de temperatuur tussen de 1 tot 4.5 graden Celsius en de zeespiegel tussen de tien centimeter en ruim een meter gestegen zijn in 2100 ten opzichte van 1990.

De volgende projecties worden door de meeste modellen gegenereerd:

de opwarming zal richting polen groter zijn dan richting evenaar, vooral op het Noordelijk Halfrond. De opwarming zal in de herfst en winter groter zijn dan in de lente en zomer, en boven land groter dan boven zee. Delen van de oceanen rond Antarctica en van het noordelijk deel van de Noord-Atlantische Oceaan zullen achterblijven bij de wereld-gemiddelde opwarming;

gemiddeld over de aarde zullen verdamping en neerslag toenemen. In het bijzonder worden neerslagtoenamen in het gebied van de Aziatische moesson verwacht gedurende de zomer;

grote regionale verschillen zullen optreden in de mate waarin het klimaat verandert en in de daarmee samenhangende veranderingen in extreme weersverschijnselen.

De uitkomsten van klimaatmodellen kennen op kleinere ruimtelijke schalen grote onzekerheden. Een uitspraak over klimaatveranderingen binnen Nederland is in dit perspectief niet zinvol.

Door de traagheid van het klimaatsysteem zal het klimaat na 2100 doorgaan met veranderen, ook als op dat moment de broeikasgasconcentraties gestabiliseerd zijn. Zo zullen de stijging van de temperatuur en de zeespiegel zich nog eeuwen voortzetten.

Wat zijn de effecten van veranderende klimaten?

Na het aflopen van de laatste ijstijd is het klimaat op aarde een relatief

stabiele periode ingegaan. De huidige ecosystemen hebben zich gedurende deze periode aan het klimaat aangepast, en zo ook de mens door de wijze waarop hij van de aarde gebruik maakt.

Projecties van het toekomstige klimaat geven aan dat klimaatveranderingen zullen optreden, die snel zijn in vergelijking met de natuurlijke veranderingen die gedurende zeer lange periodes voorafgaande aan de huidige hebben plaatsgevonden. Voorzien wordt dat de snelheid waarmee het klimaat zal veranderen aanpassingsproblemen zal opleveren voor ecosystemen, sociaal-economische activiteiten en de volksgezondheid. Door het uitvoeren van effect-studies kan inzicht verkregen worden in deze problematiek. Doordat deze studies regionale klimaatprojecties behoeven en deze projecties meestal niet beschikbaar zijn, wordt meestal een aantal mogelijke klimaatveranderingen als basis genomen. Resultaten van effect-studies hebben hierdoor noodzakelijkerwijs een «als-dan»-karakter.

Ecosystemen algemeen

Mondiaal. Het adaptatievermogen van ecosystemen zal onder nog grotere druk komen te staan dan momenteel reeds het geval is ten gevolge van andere antropogene veranderingen, als de temperatuur met meer dan één graad Celsius per eeuw stijgt. Hierdoor zullen de omstandigheden waaraan de huidige ecosystemen zich hebben aangepast, verschuiven richting polen, en bergopwaarts in berggebieden. Een gedeelte van de flora en fauna zal zich hier niet, of slechts met verlies van kwaliteit, aan kunnen aanpassen. Van het gedeelte dat zich niet aan kan passen zullen sommige soorten wel in staat zijn zich te verplaatsen, maar andere soorten niet. Hierbij speelt een grote rol of de mens bij de inrichting van het land rekening heeft gehouden met de mogelijke verplaatsingsbehoefte van soorten in de toekomst. Als vestigingsgebieden van flora en fauna al-dan-niet kunstmatig van elkaar zijn afgescheiden, wordt bij een klimaatverandering de kwetsbaarheid van de ter plekke levende soorten relatief sterk vergroot. Dat vele ecosystemen door klimaatveranderingen van karakter zullen veranderen en dat soorten zullen verdwijnen staat vast. Aangenomen wordt dat in het bijzonder trage systemen, zoals bossen, nadelig beïnvloed zullen worden.

Naast de directe klimaatverandering speelt een rol dat invasies van exoten, zoals onkruid en concurrenten, en van ziekten en plagen anders over de wereld verdeeld zullen zijn. Ook wordt een versnelling van de ecosysteemontwikkeling verwacht; dit zal de huidige concurrentieverhoudingen tussen soorten doen veranderen.

Zeespiegelstijging

Mondiaal. Door de stijging van de zeespiegel zal de kans op erosie van de kust en op overstromingen wereldwijd groter worden, met name in laaggelegen gebieden. Ook zullen getijden veranderen en zal door veranderingen in zeestromingen transport van nutriënten, sediment, en vervuiling anders verlopen. Daarnaast zal meer zoutwater de binnenlanden indringen waardoor langs de kust gronden en waterige gebieden, zoals riviermonden, in sterkere mate dan nu het geval verziltten. Dit kan gevolgen hebben voor de drinkwatervoorziening en de landbouw ter plekke.

In gebieden waar de kustverdediging niet berekend is op de voorspelde zeespiegelstijging, zal land verloren gaan met als gevolg kapitaalverlies en migratie van mensen. De kosten van het aanpassen van de kustverdediging aan de zeespiegelstijging zijn voor de meeste landen bescheiden, maar voor sommige landen wellicht onoverbrugbaar. Zij kunnen vertaald naar de huidige context oplopen tot tientallen procenten van het bruto nationaal product. Hierbij zijn kosten ten gevolge van andere effecten van klimaatveranderingen niet meegerekend.

Nationaal. In Nederland wordt bij infrastructuur met een lange

voorzien levensduur rekening gehouden met een stijging van zestig centimeter de komende eeuw. Dit is iets boven het midden van de hierboven gepresenteerde range, dat ligt op ongeveer vijftig centimeter. De oorzaak hiervan is dat Nederland in een gebied ligt dat aan het dalen is. De jaarlijkse kosten van aanpassing gedurende de komende eeuw worden geschat op minder dan ééntiende procent van het bruto nationaal product. Dit is een eerste-orde schatting die buiten het kader van het rapport van de Commissie Boertien gemaakt is en waarin bijkomende zaken, zoals schade voor milieu en landschap, en de compensaties daarvan, niet verwerkt zijn.

Zoutwaterige natuurgebieden

Mondiaal. Zoutwaterige natuurgebieden zullen de zeespiegelstijging en veranderingen in zee- of oceaanstromingen kunnen volgen, mits er voldoende sediment beschikbaar is. De beschikbaarheid van sediment hangt sterk af van hoe kustgebieden ingericht worden en of zandsuppleties door de mens (kunnen) worden uitgevoerd. Op vele plaatsen in de wereld is sprake van sediment-schaarste. Hierdoor ontstaat momenteel reeds schade aan deze gebieden. Deze tendens zal bij klimaatverandering of zeespiegelstijging versterkt doorzetten.

Zoutwaterige natuurgebieden zijn fourageergebieden voor trekvogels. Mochten betreffende gebieden vervallen doordat zij door zeespiegelstijging, al dan niet in combinatie met een veranderende inrichting van het kustgebied en door het uitblijven van zandsuppleties, onderlopen, dan verhoogt dit de kwetsbaarheid van trekvogelsystemen.

Nationaal. Nederland heeft voldoende sediment beschikbaar om de zeespiegelstijging te kunnen compenseren. Hierdoor zal de toename van de kwetsbaarheid van trekvogelsystemen die foerageren in het wadden-gebied waarschijnlijk minder groot zijn dan in andere delen van de wereld. Het voorbehoud volgt uit de onzekerheid inzake de directe ecologische gevolgen van een klimaatverandering voor het wadden-gebied.

Zoetwatertoevoer

Nationaal. Doordat de sneeuwgrens in de Alpen zich terugtrekt, wordt de Rijn in sterkere mate dan vroeger een regenrivier. Hierdoor zal de afvoer in de winter toenemen en in de zomer afnemen.

Voor de Rijn en de Maas wordt ten gevolge van een toename van de winterneerslag ten tijde van een verdubbeling van de broeikasgasconcentraties een toename in de extreme winterafvoer verwacht van in de orde van tien tot twintig procent. Hierdoor zullen overschrijdingsfrequenties van hoogwater met een factor tien toenemen, met als gevolg een grotere kans op overstromingen.

Gemiddelde rivierafvoeren in de zomer zullen in de toekomst lager zijn. Hierdoor zullen Rijn en Maas gevoeliger worden voor droge perioden. Hierdoor ontstaan mogelijk belemmeringen voor de scheepvaart en kan minder water ingenomen worden ten behoeve van de drinkwatervoorziening en de landbouw.

Voedselvoorziening

Mondiaal. De effecten van klimaatveranderingen op de mondiale voedselvoorziening zullen klein zijn als de voedselvraag op het huidige niveau blijft. Toenamen van ziektes, plagen en onkruid zullen mogelijk een negatief effect hebben op de mondiale voedselvoorziening. Doordat productiezones verschuiven zullen regionaal wel problemen ontstaan. Gebieden waarin momenteel op beperkte schaal landbouw mogelijk is en waarin men door de economische situatie minder toegang heeft tot technologische ontsnappingsmogelijkheden, sterker lijden dan gebieden die een vruchtbare bodem en betere groei-omstandigheden hebben.

Bij een voortdurende bevolkingsgroei kunnen de voorziene problemen

zich sterker laten gelden. De algemene conclusie is dat in dat geval de arme gebieden het meest zullen lijden. Voor de rijke landen worden ook onder die omstandigheden geen problemen verwacht.

Nationaal. Doordat de toekomstige situatie voor de landbouw in Nederland als overwegend gunstig is voorgesteld, lijkt de voedselvoorziening in Nederland gewaarborgd.

Ten gevolge van andere ontwikkelingen dan klimaatveranderingen, kunnen gebieden kwetsbaarder worden voor klimaatveranderingen. Hierdoor kunnen berekende effecten van klimaatverandering in werkelijkheid negatiever uitpakken. Verder kunnen effecten ten gevolge van direct menselijk ingrijpen groter zijn dan effecten van klimaatveranderingen. Effecten van klimaatveranderingen zullen zodoende altijd in het perspectief dienen te worden geplaatst van vergelijkbare, niet-klimaatgerelateerde effecten.

De waardering van de onzekere projecties van het toekomstige klimaat

Het dilemma voor de Commissie bij de interpretatie van modeluitkomsten is telkens geweest dat onderzoekers benadrukten dat modeluitkomsten met de nodige onzekerheden zijn omgeven, maar dat zij daarbij tegelijkertijd aangaven dat zij wel serieus moeten worden genomen. Hierbij werd door de onderzoekers in het bijzonder benadrukt dat modeluitkomsten vooral inzicht verschaffen in de gevoeligheid van het klimaatsysteem voor verstoringen.

De Commissie heeft begrepen dat onderzoekers het optreden van een verschijnsel in de toekomst waarschijnlijk achten, wanneer dat verschijnsel fysisch gesproken plausibel is, en wanneer het in modellen van verschillende mate van complexiteit steeds aanwezig is en, in die zin, robuust is.

De door klimaatmodellen berekende grootschalige kenmerken van klimaatveranderingen ten gevolge van een verstoring in de energiehuishouding van het klimaatsysteem door een toename van de atmosferische concentraties van broeikasgassen, zijn in fysische zin plausibel. Ook is het zo dat deze kenmerken, wanneer zij door verschillende modellen van uiteenlopende complexiteit worden berekend, binnen zekere grenzen met elkaar in overeenstemming zijn. Zo is aangegeven dat experimenten met klimaatmodellen nog nooit hebben geleid tot de projectie van een wereld-gemiddelde afkoeling ten gevolge van een verdubbeling van de kooldioxide-concentratie. Op de fysische plausibiliteit en de robuustheid van een aantal modeluitkomsten baseren onderzoekers hun verwachting dat het klimaat zich inderdaad in de richting zal ontwikkelen als door uitkomsten van klimaatmodellen wordt aangegeven.

Hoe zijn de projecties op verschillende tijdschalen gewaardeerd?

De stijging van de broeikasgasconcentraties zal de komende decennia naar alle waarschijnlijkheid binnen de door wetenschappers geschatte marges doorgaan. In dit kader is het zogenoemde «bemestingseffect» aan de orde geweest. Onder het bemestingseffect wordt verstaan dat planten bij hogere kooldioxide-concentraties harder groeien en daardoor meer kooldioxide opslaan. Hierdoor werken planten ten dele de stijging in de kooldioxide-concentraties tegen. Gemeld is dat de huidige kennis inzake dit effect reeds is verdisconteerd in de projecties van de toekomstige ontwikkelingen in de concentraties van kooldioxide. Deze projecties worden als invoergegevens gebruikt bij experimenten met klimaatmodellen. Benadrukt is dat de vertraging in de stijging van de

kooldioxide-concentraties die het gevolg is van het bemestingseffect, waarschijnlijk al grotendeels heeft plaatsgevonden.

Wetenschappers hebben aangegeven dat klimaatprojecties met onzekerheden zijn omgeven. Niettemin achten vrijwel alle onderzoekers het in hoge mate waarschijnlijk dat klimaatveranderingen zullen optreden. In het bijzonder geldt de projectie van een mondiale temperatuurstijging gedurende de komende decennia als zeker. Plotselinge en ingrijpende grootschalige veranderingen lijken op termijnen van decennia niet waarschijnlijk. De uitkomsten van klimaatmodellen op regionale schaal zijn met grote onzekerheden omgeven, zelfs als het gaat over de komende decennia. Verrassingen zouden de komende decennia op regionale schaal wel voor onverwachte effecten kunnen zorgen.

Door zowel maatschappelijke ontwikkelingen als verrassingen binnen het systeem zelf, zijn de marges van de projecties inzake de broeikasgasconcentraties voor de laatste decennia van de volgende eeuw minder hard. In dit kader is opgemerkt dat extra UV-belasting van planten door een verlaging van de ozonconcentraties op grotere hoogte in de atmosfeer, het zogenoemde «bemestings-effect» deels zal tegenwerken. Ook blijkt uit onderzoek dat de productiviteit van plantaardige organismen in de oceanen (= phytoplankton) die enorme hoeveelheden kooldioxide vastleggen, terugloopt als de UV-belasting toeneemt. Hierdoor legt de biosfeer de komende eeuw wellicht minder kooldioxide vast dan nu wordt aangenomen. Klimaatmodellen houden met beide effecten momenteel geen rekening.

Met als basis de gepresenteerde onzekerheden inzake mogelijke ontwikkelingen binnen het klimaatsysteem en van de broeikasgasconcentraties de komende eeuw, concludeert de Commissie dat klimaatprojecties die een eeuw vooruitzien met meer onzekerheden zijn omgeven. De gepresenteerde kwantificeringen van grootschalige klimaatveranderingen voor het jaar 2100 ten opzichte van 1990 moeten in dit perspectief vooral als richtinggevend worden beschouwd, en minder als maatgevend. Aangegeven is dat op dergelijke tijdschalen rekening moet worden gehouden met verrassingen, ook ten aanzien van grootschalige veranderingen. Anderzijds is gemeld dat resultaten van modelexperimenten weinig aanleiding geven om verrassingen, die het huidige beeld inzake wereld-gemiddelde klimaatverandering sterk veranderen, als waarschijnlijk te bestempelen. Zo is gemeld dat de omstandigheden waarbij klimaatmodellen veranderingen in de oceaancirculatie aangeven van dien aard zijn, dat het onwaarschijnlijk wordt geacht dat de oceaancirculatie in werkelijkheid op tijdschalen tot een eeuw sterk zal veranderen. Mogelijk wordt regionaal door onverwachte processen een volledig ander beeld van klimaatverandering gerealiseerd dan momenteel gepercipieerd wordt.

Veranderingen in broeikasgasconcentraties gedurende de komende eeuwen kunnen groter zijn dan nu in het algemeen voor mogelijk wordt gehouden. Gemeld is dat de huidige tendensen inzake de broeikasgasconcentraties versterkt kunnen worden door grootschalige terugkoppelingen. Zo is het denkbaar dat door verschuivingen van ecosystemen bossen versneld afsterven. Hierdoor kunnen de komende één á twee eeuwen zeer grote hoeveelheden kooldioxide vrijkomen.

De Commissie concludeert dat projecties over perioden van eeuwen zoveel categorieën van onzekerheden kennen dat er geen uitspraak te doen valt over hun realiteitswaarde. De indruk bestaat dat op termijnen van eeuwen de mogelijkheid reëel is dat door terugkoppelingen zoals hierboven aangegeven, het klimaatsysteem onomkeerbaar verandert. Hierdoor zou het klimaatsysteem zich anders kunnen gedragen dan momenteel op basis van het door de mens ondervonden gedrag in heden en verleden voor mogelijk wordt gehouden. Grootschalige veranderingen

in de oceaancirculatie, bijvoorbeeld, worden op tijdschalen van eeuwen zeker mogelijk geacht.

Tot wat voor taxatie leidt dit alles bijeengenomen?

Alles overziende komt de Commissie tot de conclusie dat de energiehuishouding van het klimaatsysteem verstoord wordt door een toename van de atmosferische concentraties van broeikasgassen en deeltjes door activiteiten van menselijke origine;

dat deze verstoring niet langer verwaarloosbaar is en dat verwacht wordt dat deze verstoring verder in sterkte zal toenemen;

dat het klimaat op deze verstoring zal moeten reageren;

dat het onzeker is hoe het klimaat precies zal reageren op de verstoring, maar dat het als een gegeven is te beschouwen dat klimaat de komende decennia verder zal opwarmen;

dat de reactie van het klimaat op genoemde verstoring effecten op de natuurlijke en door de mens in cultuur gebrachte omgeving tot gevolg zal hebben,

dat de in dit kader berekende effecten een hoge mate van onzekerheid kennen, maar dat het waarschijnlijk is dat de effecten substantieel, en overwegend negatief zullen zijn voor de natuurlijke omgeving en voor de door de mens in cultuur gebrachte omgeving;

dat dit in elk geval voor de wereld als geheel geldt, daar in vele gebieden de middelen ontbreken om zich aan (de effecten van) klimaatveranderingen aan te passen en daar door de snelheid waarmee het klimaat zal veranderen op vele plaatsen ecosystemen zullen veranderen van samenstelling, waarbij soorten zullen verdwijnen;

dat voor Nederland het beeld genuanceerder is, aangezien enerzijds de effecten voor ecosystemen en inzake het keren en beheren van zoet en zout water overwegend negatief zijn, anderzijds positieve effecten verwacht worden voor de landbouw in Nederland, en de effecten op de volksgezondheid beheersbaar lijken.

Een politieke reactie

De Commissie hecht eraan bij het trekken van conclusies de onderscheiden verantwoordelijkheden scherp te markeren. Wetenschappelijke uitspraken zijn van een andere orde dan politieke. Het wetenschappelijke domein en het politieke domein hebben elkaar stellig veel te zeggen, maar elk domein kent zijn eigen professionaliteit, oordeelsvorming en verantwoordelijkheid.

Van de Commissie is niet gevraagd en mag ook niet worden gevraagd een wetenschappelijk oordeel te vellen over het bijeengebrachte kennismateriaal. Zulks is de taak en verantwoordelijkheid van wetenschappers. Met waardering merkt de Commissie op dat de unieke internationale wetenschappelijke samenwerking in het IPCC beleidmakers in staat stelt zich een omvattend beeld te vormen van het klimaatvraagstuk, dat wetenschappelijk breed wordt gedragen, «up-to-date» is en gezaghebbend. In reactie op de evenwel ook geuite kritiek, meent de Commissie dat het IPCC-proces nog verbeterd kan worden. De Commissie zou het IPCC willen meegeven zich in te spannen de procedures zo aan te passen dat voorzien wordt in een terugmelding wanneer inhoudelijke kritiek niet verwerkt wordt in de betreffende wetenschappelijke rapporten van het IPCC en dat de vaststelling van de Samenvattingen voor Beleidmakers in openbaarheid plaatsvindt. Alles bijeengenomen meent de Commissie dat de oordeelsvorming zoals deze in IPCC-kader tot stand komt, voldoende basis vormt om ten grondslag te kunnen liggen aan politieke en beleidsmatige reacties.

In het voorgaande is een indrukwekkende hoeveelheid wetenschappelijk materiaal gepresenteerd met betrekking tot het thema klimaatverandering. Uit de wijze waarop de Commissie dit materiaal heeft verwerkt mag blijken dat het haar niet is ontgaan dat zeer vele uitspraken en prognoses op dit moment met tal van onzekerheden zijn omgeven. De vraag die zich derhalve aandient is of er desondanks voldoende gronden zijn voor het kwalificeren van klimaatverandering als milieuvraagstuk. Of anders gezegd, of de conclusie gewettigd is dat een verantwoorde, c.q. duurzame omgang met het klimaat als milieufactor aanleiding moet zijn voor een politieke reactie.

De Commissie meent dat dit het geval is. Buiten kijf is dat de emissie van kooldioxide als voorname oorzaak van het versterkte broeikas-effect resultante is van het benutten van fossiele brandstoffen, waarvan de exploitatie eindig is. Dit is een voorwerp van zorg voor het huidige en toekomstige energiebeleid. De kernvraag hier is of het tegenover komende generaties te verantwoorden is dat de politiek en maatschappelijk verantwoordelijken van nu afzien van beleidsreacties, die gericht zijn op het tegengaan en voorkomen van de vermoedelijke risico's die voortvloeien uit de verwachte verandering van het klimaat. Immers, welke definitie van duurzaamheid men ook hanteert, tot de kern daarvan behoort de notie van intergenerationele rechtvaardigheid.

Welnu, de Commissie is van oordeel dat de signalen dat een toename van de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer leidt tot klimaatverandering met mogelijk ingrijpende en gevaarlijke effecten ernstig genomen moeten worden en dat adequaat en snel reageren noodzakelijk is. Voortgaand wetenschappelijk onderzoek is noodzakelijk, maar het zou naar de mening van de Commissie onverantwoord zijn de onzekerheden waarmee de problematiek thans nog is omringd te gebruiken als een alibi voor opteren voor een beleid van «business-as-usual» tot het moment dat volledig inzicht bestaat in de ernst en omvang van het verschijnsel. **De Commissie is derhalve van oordeel dat overheden en andere maatschappelijke actoren het zekere voor het onzekere dienen te nemen of, anders gezegd, dat er vanuit het voorzorgsbeginsel beleid gevoerd dient te worden.**

Annex bij § 5.

Antropogene emissies van broeikasgassen vanuit Nederland.

Om inzicht te verschaffen in de bijdrage van Nederland aan de mondiale versterking van het broeikas-effect, haar toe te wijzen aan verschillende bronnen, en haar in een mondiaal perspectief te plaatsen, wordt in deze annex de volgende informatie verschaft:

- 1) het mondiale aandeel van de broeikasgassen kooldioxide, methaan, en lachgas in de mondiale antropogene versterking van het broeikas-effect;
- 2) het aandeel van Nederlandse emissies van kooldioxide, methaan en lachgas in de mondiale antropogene versterking van het broeikas-effect;
- 3) de bijdrage van verschillende bronnen in Nederland in het Nederlandse aandeel in de mondiale antropogene versterking van het broeikas-effect.

Achterliggende doel is inzicht te verschaffen in de effectiviteit van de door de overheid voor verschillende sectoren voor te stellen maatregelen. Immers, het zou jammer zijn als achteraf geconstateerd wordt dat de overheid inzet op maatregelen die gezien de mogelijkheid te behalen reductie-emissie betiteld kunnen worden als «marginiaal».

Aannamen:

– Alle emissies in de berekeningen van 1) en 2) zijn omgerekend naar hun bijdrage aan de versterking van het broeikaseffect. Er wordt in dit stuk geen uitspraak gedaan over klimaatverandering, maar slechts over bijdrages van broeikasgasemissies aan de verstoring van het klimaatstelsel.

– Slechts de emissies van kooldioxide, methaan en lachgas zijn verantwoordelijk voor de versterking van het broeikaseffect. Deze aanname is te verdedigen daar zij zorgen voor een groot gedeelte, te weten 2.17 watt, van de 2.5 watt toename in stralingsforcering sinds het begin van het industriële tijdperk (zie de bevindingen van de Commissie in deze rapportage).

– De bijdrage van de emissies in 1990 aan de versterking van het broeikaseffect is omgerekend met behulp van zogeheten Global Warming Potentials of GWPs die betrekking hebben op een periode van een eeuw. Met behulp van een GWP kunnen emissies van broeikasgassen omgerekend worden in een kwantitatieve verstoring van het klimaatstelsel. Een tijdhorizon van een eeuw is de meest gebruikte tijdhorizon; alternatieven zijn twintig jaar of vijf eeuwen. De keuze van een bepaalde tijdhorizon heeft alleen invloed op de relatieve bijdrage van één gas aan de verstoring ten opzichte van een ander gas; een andere tijdhorizon leidt tot andere gewichten. Voor een tijdhorizon van een eeuw zijn de gewichten per eenheid massa als volgt: kooldioxide 1, methaan 21 en lachgas 310. Een kilo lachgas verstoort het klimaatsysteem dus 310 maal zwaarder dan een kilo kooldioxide.

– De getallen die zijn berekend gelden voor 1990 en zijn gebaseerd op informatie uit "Netherlands Communication on Climate Change Policies" voor zover het de Nederlandse situatie betreft en uit IPCC "Climate Change 1994" en "– 1995" voor zover het mondiale uitspraken betreft.

1) Het aandeel van de broeikasgassen kooldioxide, methaan, en lachgas in de mondiale antropogene versterking van het broeikaseffect

Op basis van antropogene emissies in 1990:	kooldioxide 71%, methaan 21%, lachgas 8%
Op basis van antropogene emissies gedurende de periode 1800–1990:	kooldioxide 72%, methaan 22%, lachgas 6%

2) Het aandeel van Nederlandse emissies van kooldioxide, methaan en lachgas in de mondiale antropogene versterking van het broeikaseffect

Op basis van Nederlandse antropogene emissies in 1990:	kooldioxide: 0.64% van mondiale kooldioxide-emissies; methaan: 0.28% van mondiale methaanemissies, lachgas: 0.67% van mondiale lachgasemissies; de drie gassen omgerekend en opgeteld om het aandeel van Nederland in de versterking van het broeikaseffect te berekenen leidt tot een waarde van (0.45+% + 0.06-% + 0.05+% =) 0.57%.
--	---

Hieruit volgt dat kooldioxide-emissies voor 80% verantwoordelijk zijn voor de Nederlandse bijdrage aan het broeikaseffect, en methaan- en lachgasemissies beide voor 10%.

Het getal van 0.7% dat vaak genoemd wordt, heeft alleen betrekking op de kooldioxide-emissies van Nederland al-dan-niet inclusief de emissies door de verbranding van «bunkerbrandstoffen» uit «bunkers» op

Nederlands grondgebied. Als deze «bunkeremissies» door de internationale lucht- en scheepvaart gezien zouden worden als Nederlandse emissies, zou dit de kooldioxide-emissies van Nederland met een kwart verhogen. Omdat Nederland naar verhouding minder methaan emitteert wordt het getal lager dan 0.7% als methaan in de beschouwing wordt meegenomen.

3) De bijdrage van verschillende bronnen in Nederland in het Nederlandse aandeel in de mondiale antropogene versterking van het broeikaseffect

Categorie en bronnen	Aandeel (%)	Gewicht
Verbranding van fossiele brandstoffen	81.3	
t.b.v. energie-opwekking en -omzetting, inclusief «alle» elektriciteitsverbruik	24.8	1
in de industrie (dus minus elektriciteitsverbruik)	16.1	0.65
t.b.v. transport van goederen en personen (dus minus b.v. trein!)	13.9	0.56
commerciële en dienstensector	4.6	0.18
huishoudens (dus minus elektriciteitsverbruik)	9.3	0.37
land- en bosbouw	4.1	0.17
emissies door productie + gebruik producten (plastics, ...)	7.1	0.29
verliezen bij productie, transport en verdeling olie + gas	1.4	0.06
Emissies tijdens industriële processen	3.7	
anorganische chemie	2.5	0.10
organische chemie	0.3	0.01
productie van mineralen	0.9	0.04
Landbouw	8.5	
herkauwers	3.8	0.15
mest	1.0	0.04
bodems	3.7	0.15
Afval	4.7	
storten	3.5	0.14
zuiveren van afvalwater	0.7	0.03
verbranden	0.5	0.02
Emissies door vervuild oppervlaktewater	1.8	0.07

In deze tabel is het aandeel van een aantal sectoren in Nederland in de versterking van het broeikaseffect door emissies van kooldioxide, methaan en lachgas met behulp van hun respectievelijke GWPs genormeerd met als referentie de sector die de grootste bijdrage levert, te weten de energiesector. Deze bijdrage is op 1 (één) gesteld. Uit de tabel valt op te maken dat, bijvoorbeeld, de bijdrage van de vervuiling van oppervlaktewater een factor 14 kleiner is dan de bijdrage van de energiesector. De situatie geldt voor 1990.

In de tabel zijn in de categorie «Verbranding van fossiele brandstoffen» de emissies aan een bron toegewezen, wanneer in directe zin sprake is van de verbranding van kolen, olie of gas. Bij gebruik van electriciteit, bijvoorbeeld door huishoudens of de trein, is in deze zin geen sprake van de verbranding van fossiele brandstoffen. In dit perspectief zijn ook andere toewijzingen van emissies aan bronnen denkbaar. Er zal echter in alle gevallen sprake zijn van een voorstelling van zaken waarbij bepaalde sectoren worden overbelicht ten opzichte van andere en vice versa.

§ 6. Mogelijke (denkbare) beheersmaatregelen tegen oorzaken en gevolgen van klimaatverandering

Elementen van strategische keuzes

De commissie heeft van veel deskundigen gehoord dat de klimaatproblematiek complex is en omgeven door vele onzekerheden, met name wat betreft de gevolgen in omvang, ruimte en tijd. Tevens is aangegeven dat het klimaatprobleem een mondiaal probleem is waarop de feitelijke

invloed van Nederland, in termen van de antropogene uitstoot van broeikasgassen, betrekkelijk gering is. Toch vormde de commissie de mening dat de mogelijke risico's van klimaatverandering van dien aard zijn dat de Nederlandse overheid in dezen een verantwoordelijkheid heeft en dat er vanuit het voorzorgsbeginsel een beleid gevoerd dient te worden. Het voorzorgsbeginsel stelt dat wanneer ernstige of onherstelbare schade dreigt te ontstaan, gebrek aan volledige wetenschappelijke zekerheid niet als grond mag dienen voor uitstel van kosteneffectieve maatregelen om die schade te voorkomen dan wel in te perken.¹ Voordat men kan overgaan tot het kiezen van concrete beleidsmaatregelen is er een overkoepelend plan of strategie nodig, waarin de grote lijnen van het beleid worden uitgezet. Er dienen dus strategische keuzes te worden gemaakt. Hieronder zullen elementen van strategische keuzes behandeld worden zoals ze in de hoorzittingen naar voren zijn gekomen.

Vanuit de wetenschap zijn een aantal beleidsopties aangereikt die in de discussie over strategie een rol kunnen spelen.² Onder het begrip beleidsoptie wordt hier niet verstaan een geïsoleerde beleidsmaatregel of beleidsinstrument, maar een geheel van opvattingen en veronderstellingen over de klimaatproblematiek, de eventuele effecten en mogelijke oplossingen. De beleidsopties hebben niet alleen betrekking op de mate waarin de ernst van het probleem gepercipieerd wordt en dus op de mate waarin de noodzaak tot ingrijpen gevoeld wordt, maar ook op het achterliggende besturingsconcept of besturingsparadigma. De onderscheiden beleidsopties worden genoemd No-regrets, Least-regrets, Stroomversnellen, Technologische innovatie en Institutioneel culturele verandering. De No-regrets optie hanteert een radicale vrije markt benadering. De onzekerheid over het klimaatprobleem wordt zo groot geacht dat er geen afzonderlijk klimaatbeleid gevoerd wordt. Alleen die maatregelen worden genomen die ook zinvol zijn als er geen klimaatverandering optreedt. Energie-besparingsmaatregelen worden gerechtvaardigd vanuit het perspectief van toekomstige schaarste aan fossiele brandstoffen. De Least-regrets optie is gebaseerd op een klassiek hiërarchisch besturingsmodel. Deze optie gaat uit van het bestaan van een klimaatprobleem en de noodzaak van een afzonderlijk klimaatbeleid. Het beleid is gebaseerd op normstelling die is afgeleid uit een inschatting van het risico van klimaatverandering. De kosten of baten van deze benadering zijn ondergeschikt aan de normstelling. Het succes van het beleid wordt gemeten aan de hand van het halen van de emissiedoelstellingen. In de optie Stroomversnellen wordt het klimaatprobleem weliswaar als urgent beschouwd, maar wordt het in het kader van het streven naar duurzame ontwikkeling geplaatst. Er wordt zoveel mogelijk actief meegelift met ander beleid, bijvoorbeeld beleid ten aanzien van technologie, landbouw, verkeer en vervoer, belastingheffing, enzovoort. Er zijn geen collectieve emissiedoelstellingen, maar het beleid is vooral gericht op het inzetten van de beste rendabele technologieën. De opties Technologische innovatie en Institutioneel culturele verandering worden gekenmerkt door een grote nadruk op technologische innovatie en leefstijlverandering, respectievelijk.

De strategische keuzes die in het kader van de klimaatproblematiek gemaakt moeten worden kunnen worden beschouwd als een stappenplan.³ De eerste stap, de strategische keuze die aan de andere voorafgaat, betreft de vraag of men zich beter kan aanpassen aan de mogelijke klimaatveranderingen of dat men zich actief moet toeleggen op de terugdringing of bestrijding van de uitstoot van broeikasgassen. Als het antwoord op deze vraag luidt dat men zich mede moet toeleggen op de terugdringing van de uitstoot van broeikasgassen, dan komen een aantal volgende strategische keuzes in beeld. Moet men zich richten op de terugdringing van de door de mens veroorzaakte uitstoot van alle

¹ Klimaatverdrag, Artikel 3.

² hoorzitting prof. dr. J. Klabbers

³ Hoorzitting dr. J. J. C. Bruggink

broeikasgassen of moet men zich beperken tot de terugdringing van de uitstoot van kooldioxide? Indien maatregelen overwogen worden, dienen die dan nu meteen genomen te worden of kan er soms beter gewacht worden? Moet Nederland bij het nemen van maatregelen internationaal vooroplopen of in de pas te lopen? Een volgende strategische keuze betreft de vraag of er een apart klimaatbeleid geformuleerd dient te worden of dat er zoveel mogelijk aangesloten moet worden bij ander beleid, zoals bijvoorbeeld het energie(besparings)beleid. Vergelijk het verschil tussen de bovengenoemde beleidsopties Least-regrets, waarin een apart klimaatbeleid wordt gevoerd, en Stroomversnellen, waarin wordt aangesloten bij ander beleid. Als er gekozen wordt voor afzonderlijk klimaatbeleid, moet dit beleid dan kwantitatieve doelen formuleren (voor uitstoot van broeikasgassen, voor concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer, voor maximale temperatuurstijging, of voor nog andere variabelen), of moet het meer een richting aangeven en een maatschappelijk en technologisch ontwikkelingsproces stimuleren?

De elementen voor de strategische keuzes zullen later in dit hoofdstuk nader uitgewerkt worden. Behalve door kennis over en inschatting van de ernst van het klimaatprobleem zullen deze keuzes worden beïnvloed door technologische mogelijkheden, mogelijkheden tot beleidsmatige interventie, de kosten-effectiviteit van beleidsmaatregelen en de verdeling van kosten en baten over verschillende groepen en sectoren, en overwegingen van meer ethische aard. De commissie heeft ook hierover diverse deskundigen gehoord. Maar eerst wordt nader ingegaan op de bestuurlijke, technologische en economische mogelijkheden tot het aanpassen aan klimaatveranderingen. Immers de meeste deskundigen achtten aanpassen aan klimaatverandering tot op zekere hoogte onvermijdelijk, ongeacht het te voeren bestrijdingsbeleid.

Aanpassen aan klimaatverandering

Klimaatverandering en de eventuele gevolgen daarvan zijn onzeker. Uitspraken over de maatschappelijke gevolgen van klimaatverandering hebben een voorwaardelijk karakter. Ze proberen antwoord te geven op de vraag wat de gevolgen kunnen zijn als het klimaat op een substantiële manier zou veranderen. Hieruit vloeien vervolgens de vragen voort in hoeverre het mogelijk is om zich aan die verandering aan te passen en wat de economische en sociale gevolgen van die aanpassing zouden kunnen zijn.

Klimaatverandering kan leiden tot zeespiegelstijging en daarmee tot gevolgen voor de kustverdediging. Tevens kunnen veranderingen in temperatuur en neerslag en de patronen daarvan gevolgen hebben voor rivieren, voor landbouw, veeteelt, tuinbouw en bosbouw, voor de natuur en voor menselijke gezondheid en welbevinden. De toename van kooldioxide in de lucht heeft een directe invloed op de plantaardige productie. Op internationale schaal zou klimaatverandering o.a. kunnen bijdragen aan verwoestijning, aantasting van waardevolle ecosystemen, uitbreiding van infectieziekten en emigratiestromen van bedreigde bevolkingsgroepen uit laaggelegen kustgebieden.

De IPCC hanteert voor de te verwachten versnelde zeespiegelstijging in de volgende eeuw een bandbreedte van 10 centimeter tot een meter. In Nederland is aanpassing aan zeespiegelstijging tot op zekere hoogte mogelijk. In de eerste plaats moet bedacht worden dat kustgebieden grootschalige, dynamische natuurgebieden zijn. In principe kunnen zij op natuurlijke wijze reageren op veranderingen. Voorwaarde is echter wel dat er voldoende zand of slib beschikbaar moet zijn om met de zeespiegelsstijging mee te groeien. Door inpoldering, zandwinning, afdammen en het

leggen van dammen in rivieren bestaat het gevaar van een tekort aan zand of slib voor de kustgebieden. Aanpassing aan zeespiegelstijging is in dit verband dus ook een planologische opgave. Technisch noodzakelijke aanpassingen van de waterhuishouding en waterkering aan zeespiegelsstijging omvatten dijkverhogingen, versterking van duinen en stranden, bescherming van commercieel belangrijke buitendijkse gebieden en een vergroting van de pompcapaciteit van gemalen. De directe kosten van deze aanpassingen aan de door het IPCC geprognostiseerde zeespiegelsstijging in de volgende eeuw zullen ca. 10 tot 30 miljard gulden bedragen.¹

Mondiaal gezien betekent de door het IPCC geschatte stijging van de zeespiegel dat het aantal mensen dat risico loopt, kan verdubbelen of verdrievoudigen. De kosten van bescherming zijn hoog voor armere, kwetsbare landen. De kosten kunnen oplopen tot tientallen procenten van het bruto nationaal produkt van die landen. Ook de natuur kan zich niet altijd aanpassen, ook al door de grote sociaal-economische druk in veel kustgebieden. Voor koralen kan met name de combinatie van zeespiegelsstijging en temperatuurverhoging rampzalig zijn.

Voor de landbouw is een verhoogde concentratie van kooldioxide in de lucht gunstig. Maar de effecten van temperatuurstijging, veranderingen in temperatuurverdeling en neerslagverandering zijn niet eenduidig. De Nederlandse landbouw zal zich door zijn hoge technologische kennisniveau wel weten aan te passen. Het IPCC heeft aangegeven dat ook de mondiale voedselvoorziening niet in gevaar hoeft te komen: landbouwgebieden zullen niet verdwijnen maar verschuiven. Voor sommige regio's kan dit echter wel degelijk grote problemen opleveren. De grootste problemen zullen zich voordoen in marginale gebieden in arme landen, dat wil zeggen gebieden die nu al zeer gevoelig zijn voor kleine veranderingen in klimaat. Deze gebieden zijn van nature kwetsbaar en de boeren hebben er, vanwege hun lage inkomens en kennisniveau, minder toegang tot technologische ontsnappings-mogelijkheden. Een grote onbekende bij de inschatting van het effect van klimaatverandering op de landbouw is de invloed van klimaatverandering op het vóórkomen van ziekten, plagen en onkruid.²

Klimaatverandering kan leiden tot schade aan ecosystemen. Bossen zijn trage systemen en zijn daardoor gevoelig voor klimaatverandering. De termijn van nu tot het jaar 2100 is nauwelijks meer dan de levenscyclus van een boom. Bossen zullen schade oplopen wanneer door temperatuurstijging een bossysteem vanuit het Zuiden gaat afsterven en door zijn traagheid niet snel genoeg naar het Noorden kan migreren. Verwacht wordt dat 65 procent van de boreale bossen (bossen van de gematigde en noordelijke klimaatzones) op die manier aangetast zal worden. Een bijkomend nadeel van het afsterven van bossen is dat de achtergelaten organische stof snel zal afbreken en extra kooldioxide-uitstoot zal veroorzaken. De aanpassingsmogelijkheden van deze bossen zijn dus betrekkelijk gering. In het algemeen is het belangrijk dat ecosystemen de ruimte hebben om zich aan te passen via migratie. Bij een beperkte temperatuurstijging is migratie in principe mogelijk. Er werd er echter op gewezen dat het huidige intensieve landgebruik en de intensieve stedelijke bebouwing -uitmondend in een landschappelijke «mozaiekstructuur» waar de natuur als het ware in «hokken» ziteen natuurlijke migratie kan belemmeren. Verwacht wordt dat de stabiliteit van veel ecosystemen onder grote druk komt als de temperatuur sneller stijgt dan 1°C per eeuw.³

De mate waarin aanpassing aan klimaatverandering mogelijk is en de kosten daarvan kunnen regionaal sterk verschillen. In verschillende hoorzittingen werd gesuggereerd dat hoewel Nederland en andere rijke

¹ Hoorzitting ir. L. Bijlsma

² Hoorzitting dr. S. C. van de Geijn

³ Hoorzitting dr. S. C. van der Geijn

landen zich in belangrijke mate zullen kunnen aanpassen, de situatie in veel ontwikkelingslanden veel minder rooskleurig zou zijn. Dit beeld wordt bevestigd door diverse scenario-berekeningen die zijn uitgevoerd om de mondiale schade van klimaatverandering te schatten. Deze scenario-berekeningen schatten de kosten van klimaatverandering veroorzaakt door een verdubbeling van de concentratie van kooldioxide in de atmosfeer (het zogenaamde 2xCO₂ scenario). De kosten zijn deels aanpassingskosten en deels onvermijdbare schade. Tabel 1 geeft een recente schatting weer van de kosten van klimaatverandering voor een negental wereldregio's. De kosten omvatten: kosten van zeespiegelstijging (kustverdediging, landverlies, gedwongen migratie); schade aan menselijke gezondheid door hittegolven en een grotere verspreiding van infectieziekten zoals malaria en gele koorts; schade aan de natuur; kosten én baten voor de landbouw; en kosten aan infrastructuur. Tabel 1 geeft aan wat het effect van het 2XCO₂ scenario zou zijn op de huidige economie van de verschillende wereldregio's. Voor de duidelijkheid moet hierbij vermeld worden dat hoewel deze schatting de beste is die de wetenschap op dit moment kan bieden, ze toch zeer speculatief is.

Tabel 1 Ruwe schatting van de kosten van klimaatverandering voor verschillende wereldregio's¹

Kosten van klimaatverandering (2 x CO ₂) in 2050, uitgedrukt als percentage van Bruto Binnenlands Produkt BBP in 1990		
Regio	Miljard dollar	Percentage van BBP
OESO-Amerika	68,4	1,3
OESO-Europa	35,3	0,7
OESO-Pacific	62,9	2,0
OESO landen	166,6	1,2
Centraal & Oost-Europa en voormalige Sovjet-unie	- 11,6	- 0,4
Midden Oosten	15,9	4,2
Latijns-Amerika	109,9	13,8
Zuid- en Zuid-Oost Azië	134,3	16,3
Centraal gepland Azië	69,6	16,2
Afrika	39,1	9,6
niet-OESO landen	357,2	6,3
Wereld	523,8	2,7

Tabel 1 geeft aan dat de kosten per regio sterk kunnen verschillen. Als percentage van het bruto nationaal produkt verschillen de kosten van minus 0,4 procent in Centraal en Oost-Europa en de voormalige Sovjet Unie, tot meer dan plus 16 procent in China en Zuid-Oost Azië. De scenario-berekeningen geven ook aan dat aanpassen aan klimaatverandering maar tot op zekere hoogte mogelijk en haalbaar is. In alle berekeningen komt men tot een belangrijke post onvermijdbare schade.

Bestrijden van klimaatverandering: kooldioxide-reductie²

De door de mens veroorzaakte uitstoot van kooldioxide kan analytisch gezien worden als het produkt van bevolkingsomvang, economie en technologie. Een eenvoudige rekenregel die gebruikt wordt in uitstootscenario's bepaalt de uitstoot van kooldioxide op een bepaald tijdstip in een bepaald gebied als het produkt van (i) bevolkingsomvang, (ii) inkomen per hoofd, (iii) energiegebruik per eenheid inkomen, en (iv) kooldioxide-uitstoot per eenheid energiegebruik.³ Het afzonderlijk belang van deze vier factoren kan variëren in ruimte en tijd. Enkele voorbeelden kunnen dit illustreren. Een land als India heeft ondanks een grote bevolkingsomvang en een hoog energiegebruik per eenheid inkomen (lage energie-efficiency) toch een betrekkelijk geringe uitstoot van kooldioxide vanwege zijn lage inkomen en samenhangende lage

¹ Hoorzitting prof. dr. H. Verbruggen

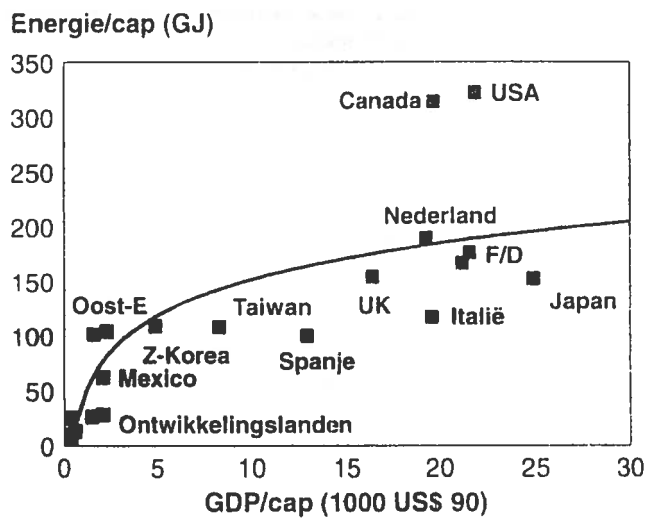
² De overige broeikasgassen komen verderop aan de orde.

³ Hoorzitting dr ir R. Swart

energiegebruik per hoofd. Een land als Zwitserland heeft ondanks zijn hoge inkomen en energiegebruik toch een betrekkelijk lage kooldioxide-uitstoot vanwege zijn geringe afhankelijkheid van fossiele brandstoffen (dus een lage kooldioxide-uitstoot per eenheid energiegebruik). Figuur 1 presenteert een algemene relatie tussen energiegebruik en inkomen. Uit de figuur blijkt dat in arme landen het energiegebruik proportioneel stijgt met het inkomen. Naarmate landen rijker worden vlakt de stijging van het energiegebruik af. Dit kan verklaard worden door toenemende energie-efficiency en veranderingen in de economische structuur (een toenemend belang van de dienstensector in rijkere landen). De relatie tussen energiegebruik en kooldioxide-uitstoot wordt uiteraard bepaald door het kooldioxide-gehalte van de gebruikte brandstoffen in de verschillende landen.

Figuur 1 De relatie tussen energiegebruik en inkomen

Inkomen versus energie 1992



Maatregelen om de uitstoot van kooldioxide te beperken kunnen, in principe, op alle vier de factoren aangrijpen. De mondiale bevolkingsgroei wordt door velen als een belangrijke drijvende kracht achter veel milieuproblemen gezien, inclusief het klimaatprobleem. Toenemende bevolkingsdruk in ontwikkelingslanden leidt vaak tot verdergaande ontbossing door de omzetting van bos in landbouwgrond. Ontbossing is wereldwijd een belangrijke bron van kooldioxide-uitstoot. Een toenemende bevolking leidt ook tot meer energiegebruik en dus tot meer kooldioxide-uitstoot, maar toenemend energiegebruik wordt ook veroorzaakt door veranderende leefpatronen. De invloed op de kooldioxide-uitstoot van veranderende leefpatronen bij een stijgend inkomen is relatief groter dan de invloed van bevolkingsgroei op zich. De economische ontwikkeling en het daarmee gepaard gaande toenemende energiegebruik van dichtbevolkte ontwikkelingslanden zal een belangrijk effect hebben op de toekomstige mondiale uitstoot van kooldioxide.

Belangrijke aangrijpingspunten voor kooldioxide-reductiebeleid liggen bij de factoren energiegebruik per eenheid inkomen en kooldioxide-uitstoot per eenheid energiegebruik. Energiegebruik per eenheid inkomen kan worden verminderd door **besparen**: minder energie gebruiken per eenheid productie en consumptie. Ook kan er op kooldioxide bespaard

worden door de energievraag te verschuiven van koolstofrijke naar koolstofarme fossiele energiedragers (bijvoorbeeld van kolen naar gas). De kooldioxide- uitstoot per eenheid energiegebruik kan worden verminderd door **vervangen** van fossiele energie door duurzame energie of kernenergie. Tenslotte kan de kooldioxide-uitstoot per eenheid energiegebruik worden verminderd door afvangen en **opslaan** van kooldioxide uit stook- en rookgassen. Achtereenvolgens worden de technische en economische mogelijkheden van besparen, vervangen en opslaan behandeld. Er wordt onderscheid gemaakt tussen uitspraken van wetenschappers en uitspraken van maatschappelijke organisaties.

Besparen

Wetenschappers

Er zijn grote technische mogelijkheden voor directe en indirecte energiebesparing, cq. verbetering van de energie-efficiency in productie en consumptie. Met behulp van het databestand Icarus, dat door de Universiteit van Utrecht is ontwikkeld en dat 900 energiebesparingsmaatregelen omvat, is het technisch potentieel aan verbetering van energie-efficiency in Nederland in de periode 1990–2015 op 55 procent geschat.¹ Op zeer lange termijn worden voor verschillende sectoren zelfs percentages tussen de 50 en 90 procent verwacht. Het technisch potentieel werd ook geïllustreerd door een modelstudie naar de materialenvoorziening in de Nederlandse economie bij een zeer stringent kooldioxide-beleid. Deze studie wees uit dat het indirect energiegebruik aanzienlijk zou kunnen verminderen door een verschuiving van cement en staal naar hout en aluminium.² Veel van de energiebesparingsmaatregelen in het technisch potentieel verdienen zich terug over de economische levensduur van de investering. Ook als er rekening gehouden wordt met rendementseisen (discount rate) of minimale terugverdientijden (van bijvoorbeeld 3 jaar), dan nog blijft er een groot economisch potentieel aan besparingsmogelijkheden over dat tegen negatieve kosten benut zou kunnen worden. Technische studies die energiebesparings-potentiëlen onderzoeken, zogenaamde bottom-up studies³, komen over het algemeen uit op een kostenloze energiebesparing van tussen de 10 en de 40 procent. Macro-economische studies, zogenaamde top-down studies, geven gewoonlijk een ander beeld. De gemiddelde jaarlijkse kosten van ca. 20 procent kooldioxide-reductie t.o.v. de voorspelde emissies in 2010 die in een groot aantal studies over meerdere landen zijn geschat, komen in top-down studies uit op 1 á 2 procent van het bruto nationaal produkt, met enkele uitschieters naar boven (Finland, Japan, Nederland) waar al relatief veel aan energiebesparing is gedaan.

Beide benaderingen, top-down en bottom-up, hebben hun eigen sterke punten en beperkingen.⁴ De bottom-up studies geven goed inzicht in de technische mogelijkheden, terwijl de macro-economische modellen nog niet zo goed met technologische ontwikkeling om kunnen gaan. De macro-economische studies zijn echter wel gebaseerd op feitelijke gedragsrelaties, iets wat in de bottom-up studies ten ene male ontbreekt. Zo gaan ze er bijvoorbeeld van uit dat huidige inefficiënties in energiegebruik op termijn, door nieuwe technologie, zullen verdwijnen. Er is echter geen enkele reden om dat op voorhand te veronderstellen. Ook zijn bottom-up studies gebaseerd op partiële analyse, wat betekent dat ze geen rekening houden met allerlei maatschappelijke interacties en terugkoppelingsmechanismen. Macro-economische modellen houden hier, via het prijsmechanisme, wel rekening mee.

¹ Hoorzitting prof dr W. C. Turkenburg

² Hoorzitting dr. J. J. Bruggink

³ De term «bottom-up» wordt gebruikt door een wetenschappelijke aanpak waarbij men op grond van analyse van technische en economische relaties op het microniveau (bijvoorbeeld bij bedrijven) uitspraken doet over het macroniveau (bijvoorbeeld een land). De «top-down» benadering, daarentegen, gaat uit van technische en economische relaties zoals die op het macroniveau gevonden worden.

⁴ Hoorzitting prof. dr. H. Verbruggen

Van de fossiele brandstoffen is gas de schoonste in termen van kooldioxide. De uitstoot van kooldioxide bij de verbranding van gas is 40 procent minder dan bij de verbranding van kolen, en 20 procent minder dan bij de verbranding van olie. Per Kwh geproduceerde elektriciteit wordt de verhouding nog gunstiger. Als de kooldioxide-uitstoot per kWh van een conventionele kolencentrale op 100 gesteld wordt, is de uitstoot van een moderne met gas gestookte warmtekrachtcentrale slechts 15 per kWh.

Maatschappelijke organisaties

Vanuit het bedrijfsleven is er grote aandacht voor energiebesparing en met name voor een verbetering van de energie-efficiency. Volgens de Olie Contact Commissie is energie efficiency altijd een punt van aandacht voor de raffinage-industrie geweest, want energiekosten bepalen 50 procent van de raffinagekosten. In de periode 1972-1989 is de energie efficiency van de Nederlandse raffinage-industrie met 40 procent gestegen. In de periode 1989-2000 zal deze nogmaals met 10 procent stijgen. De Nederlandse raffinage industrie staat wat betreft energie-efficiency aan de wereldtop. Echter, het verder terugdringen van het aromaat- en zwavelgehalte in petroleumproducten zal de brandstofconsumptie van raffinaderijen, en daarmee de kooldioxide-uitstoot, onvermijdelijk doen stijgen.

De *Gasunie* werkt aan energiebesparing via het Milieuplan Industrie. Deskundigen van de Gasunie meten samen met deskundigen van een industriële vestiging de energie- en emissiehuishouding van die vestiging door. In de 270 vestigingen die in de afgelopen 3 jaar zijn doorgemeten blijkt dat gemiddeld 25 procent energie bespaard kan worden; en zelfs 10 procent met een terugverdientijd van drie jaar of korter. De belangrijkste besparingsbron is het installeren van een warmtekrachtinstallatie. *EnergieNed*, *Gasunie* en *Sep* werken samen in het Integraal Milieuplan voor de Energiesector (IMES), waarin energiebesparing en vermindering van de kooldioxide uitstoot belangrijke doelstellingen zijn. *EnergieNed*, *Sep* en regionale energiebedrijven hebben een inventariserende studie in het knooppunt Arnhem-Nijmegen uitgevoerd waarin is gebleken dat een consequente toepassing van exergie-optimalisatie een energiebesparing zou kunnen opleveren van ca. 35 procent. De gemeente Nijmegen heeft er voor gekozen in nieuwe wijken een infrastructuur aan te leggen waarmee daarop ingespeeld wordt. Er zijn in principe grote mogelijkheden voor exergie in de nieuwbouw in de Vinex-lokaties (ca. 1 miljoen woningen), maar dan moet er snel gehandeld worden.

De *Gasunie* wees op de grote mogelijkheden die er wat betreft vervanging van kolen door aardgas in Oost-Europa liggen. Er moeten in Oosteuropese landen belangrijke investeringen in de elektriciteitsproductie worden gedaan. Er moet nu gekozen worden tussen kolen aan aardgas. Een belangrijke strategische en psychologische barrière voor een grootschalige substitutie naar gas in die landen is de afhankelijkheid van één gasleverancier, namelijk Rusland. Nederland zou als gasland een belangrijke rol kunnen spelen in de keuze vóór gas in Oost-Europa door de levering van Nederlands gas om zodoende de Oosteuropese afhankelijkheid van Russisch gas te verminderen.

Volgens *VNO/NCW* is bij het industriële grootbedrijf al veel aan energie-efficiencyverbetering gedaan. Er kan nog meer gedaan worden, onder andere door nog meer gebruik te maken van warmtekrachtkoppeling. Voor het midden- en kleinbedrijf zijn er volgens *MKB Nederland* nog grotere mogelijkheden voor de verbetering van de energie-efficiency. In de land- en tuinbouw is volgens het *Centrum voor Landbouw en Milieu* door middel van no-regret maatregelen een broeikasgasreductie (in kooldioxide-equivalenten) van 20 procent te

bereiken, waarbij in volume het meest bij de rundveehouderij en de glastuinbouw te realiseren is. In de transportsector zal energiebesparing volgens de *EVO, Nederland Distributieland en Transport en Logistiek Nederland* vooral gezocht moeten worden in verbetering van de voertuig-techniek, een zuiniger rijgedrag, de verbetering van de logistieke organisatie en de verbetering van de kwaliteit van de alternatieven voor het wegvervoer, zoals het spoorvervoer, de kust-en binnenvaart en het multimodaal transport.

Vervangen

De uitstoot van kooldioxide per eenheid energiegebruik kan worden verminderd door een vervanging van fossiele energie door duurzame energie en kernenergie.

Duurzame energie

Wetenschappers

Het technisch potentieel (*het technisch maximaal haalbare volume*) van duurzame energiebronnen op Nederlands grondgebied wordt geschat op ca. 700 PJ.¹ Dit is een kwart van het huidige energiegebruik. Van dit totale potentieel levert zon-elektrisch de grootste bijdrage met 360 PJ, waarna wind met 180 PJ en afval en biomassa met 170 PJ op respectievelijk de tweede en derde plaats komen. De kosten van zonnecellen in Nederland vormen echter een probleem. De laagst mogelijke prijs voor elektriciteit uit zonnecellen wordt geschat op 15 tot 20 cent per Kwh; dit is aanzienlijk meer dan de huidige prijs van elektriciteit. Voor wind en biomassa liggen de kosten gunstiger. De grootste markt voor duurzame energiebronnen (ook voor kosten-effectieve toepassingen van zonne-energie) ligt echter buiten Nederland. Nederlandse bedrijven opereren al op deze internationale markt: ruim tien procent van de wereldmarkt voor windturbines is in Nederlandse handen. Op wereldschaal overtreft het technisch potentieel van duurzame energiebronnen het huidige energiegebruik met een factor 2,5 of meer.

Tabel 2 kooldioxide besparingspotentiëlen van duurzame energiebronnen

Het potentieel aan duurzame energie in Nederland (PJ/jaar) en mondiaal (EJ/jaar)*		
Bron	Nederland (PJ/jaar)	Mondiaal (EJ/jaar)
Wind	180	115
Zon-elektrisch	360	1050
Zon-thermisch	15	70
Aardwarmte	50-100	20
Afval en biomassa	170	150-300
Waterkracht	3	50
Getijden	PM	5
Golf energie	PM	5
Totaal	778-828	1465-1615

* In uitgespaarde fossiele brandstof, uitgaande van een omzettings-rendement in geavanceerde elektriciteitscentrales van 60%.

Maatschappelijke organisaties

Volgens LTO Nederland kan de Nederlandse land- en tuinbouw een bijdrage leveren aan de produktie van duurzame energie, met name in de vorm van windenergie, biomassa, groene transportbrandstoffen en afbreekbare plastics. Ook het Centrum voor Landbouw en Milieu ziet voor de Nederlandse landbouw een rol als energieproducent, maar dan vooral gericht op de produktie van biomassa voor elektriciteitsproduktie. Met name hennep, wilg en populier zouden hiervoor zeer geschikt zijn.

¹ Hoorzitting prof dr W. C. Turkenburg

EnergieNed plaats een kritische kanttekening bij windenergie. Het ruimtebeslag is erg groot. Voor de vervanging van een centrale van 750 MW zou een windmolenpark van ca. 8000 windmolens nodig zijn. Vooral voor de kortere afstanden en stadsdistributie ziet Transport en Logistiek Nederland in de toekomst mogelijkheden voor de elektrische auto. Helaas is de techniek van elektrische wagens nu nog niet helemaal volwassen. VNO/NCW is een voorstander van de stimulering van duurzame energie. Ze merkt echter op dat de Nederlandse R&D uitgaven voor duurzame energie de laatste jaren sterk zijn teruggelopen.

Kernenergie

Wetenschappers

De huidige bijdrage van kernenergie aan mondiale kooldioxide-reductie wordt geschat op zeven procent. Dat wil zeggen, zonder kernenergie zou er wereldwijd jaarlijks zeven procent meer aan kooldioxide uitgestoten worden. Het potentieel aan kernenergie is sterk afhankelijk van de schatting van winbare voorraden uranium (6 tot 30 miljoen ton). Het potentieel wordt geschat op tussen de zes en twintig procent van de cumulatieve kooldioxide uitstoot in de periode 1990–2100. Volgens verschillende deskundigen mag de optie kernenergie als bijdrage aan kooldioxide-reductie niet op voorhand uitgesloten worden. Men wees echter wel op het geringe maatschappelijke draagvlak voor kernenergie-opwekking in Nederland. Vanuit risico-analytisch perspectief werd gewezen op het feit dat het lange-termijn effect van een eventueel ongeval met een kerncentrale in termen van maatschappelijke ontwrichting, onvergelijkbaar veel ernstiger is dan de effecten van het meest ernstige ongeval in de ook gevaarlijke chemische industrie. Ook werd gewezen op de risico's van de langdurige opslag van radio-actief afval.

Maatschappelijke organisaties

Volgens de Sep moet kernenergie als optie om de uitstoot van kooldioxide te verminderen in beschouwing worden genomen. De Sep constateerde echter dat er op dit moment onvoldoende politiek en maatschappelijk draagvlak voor kernenergie bestaat in Nederland. Tevens zijn er nog onzekerheden over de kosteneffectiviteit van kernenergie voor elektriciteits-opwekking. VNO/NCW wees erop dat in Nederland stroom uit Frankrijk wordt geïmporteerd die voor 90 procent met kernenergie is opgewekt. In het kader van de klimaatdiscussie is het volgens VNO/NCW zinvol om de discussie aan te gaan onder welke condities kernenergie in Nederland mogelijk zou zijn. CLM wilde de optie kernenergie niet principieel afwijzen, maar wees er wel op dat in het geval van een ongeluk met een centrale het, nog afgezien van andere effecten, in één klap afgelopen zou zijn met de Nederlandse exportpositie op agrarisch gebied.

Opslaan

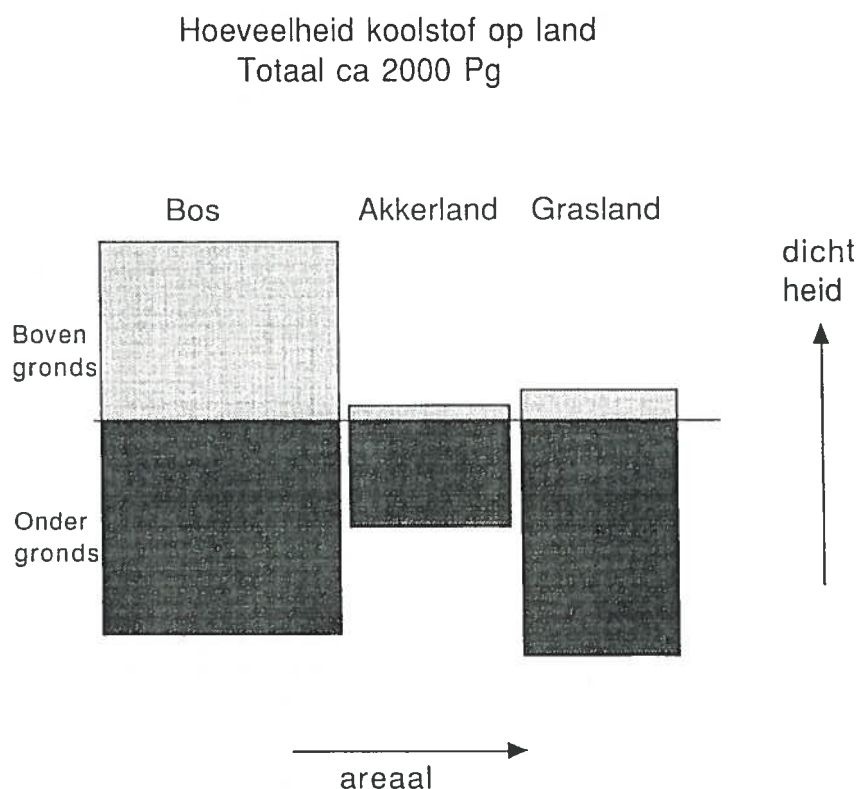
Wetenschappers

Kooldioxide kan uit stook- en rookgassen worden afgevangen en worden opgeslagen. Toepassing hiervan is niet nieuw. Een commerciële toepassing hiervan is de techniek enhanced oil recovery die in de oliewinning wordt gebruikt. Hierbij wordt gas verbrand om daaruit kooldioxide te winnen. Deze kooldioxide wordt vervolgens in het olieveld teruggepompt. De kooldioxide die door elektriciteitscentrales wordt uitgestoten kan ook worden afgevangen en vervolgens in lege aardgasvelden worden gepompt. De produktiekosten van elektriciteit zouden

ongeveer met 30 tot 50 procent toenemen (van 8 c/kWh naar 10 tot 12 c/kWh). Door bezuinigingen is het onderzoek op dit terrein in Nederland grotendeels stil komen te liggen.

Kooldioxide kan worden opgeslagen in biomassa. Figuur 2 geeft een schematisch overzicht van de koolstofopslag in een drietal landgebruikstypen: bos, grasland en akkerland.¹ De koolstof is deels bovengronds en deels ondergronds opgeslagen. Over het algemeen is niet zo goed bekend hoeveel koolstof er ondergronds in grasland is opgeslagen. Als bos of grasland wordt omgezet in akkerland komt er veel kooldioxide vrij. Ontbossing, het in cultuur brengen van bosgrond, genereert een stroom kooldioxide naar de atmosfeer in de orde van ongeveer een zesde van de huidige uitstoot van fossiele brandstoffen. Dit geeft tevens een gevoel van de mogelijkheden om door herbebossing weer kooldioxide vast te leggen.

Figuur 2 Koolstofopslag in bos, grasland en akkerland



Maatschappelijke organisaties

Volgens de Sep zijn ook mogelijkheden om atmosferische kooldioxide vast te leggen door middel van bosaanplant en door het tegengaan van ontbossing. Sep is via de stichting FACE actief in bosaanplant (vnl. in het buitenland) ter gedeeltelijke compensatie van de kooldioxide-uitstoot bij elektriciteitsopwekking.

Samenvattend kan gezegd worden dat er technisch veel mogelijk is. Wereldwijd kan de kooldioxide-uitstoot beperkt worden van 6 GtC in 1990 naar 4 GtC in 2050 en 2 GtC in 2100. De cumulatieve uitstoot van kooldioxide in de periode 1990–2100 kan met ca. 70 procent worden verminderd. Onzeker is welk deel van dit technisch potentieel economisch aantrekkelijk en maatschappelijk haalbaar is.

¹ Hoorzitting prof dr ir J. Goudriaan

Beleidsinstrumenten

Uit het voorgaande blijkt dat er op zichzelf volop technische mogelijkheden bestaan (of in ontwikkeling zijn) om de uitstoot van kooldioxide te verminderen, zowel nationaal als internationaal. Deze mogelijkheden worden echter niet altijd benut. Dat kan het gevolg zijn van financiële barrières, zoals het ontbreken van financieringsmiddelen, een te laag rendement, concurrentievervalsing of een te lange terugverdientijd van investeringen in energiebesparing. Ook andere bedrijfseconomische overwegingen kunnen een rol spelen.

Toch worden ook rendabele besparingsopties lang niet altijd benut. Dat kan te maken hebben met onbekendheid met de technologie bij degenen die haar zouden kunnen toepassen. In de hoorzittingen kwam naar voren dat 10 tot 40 procent van de technisch beschikbare, rendabele energiebesparingsopties om deze reden niet wordt gebruikt, en (wat niet per definitie hetzelfde is) dat 10 tot 40 procent kooldioxide-reductie mogelijk is tegen negatieve kosten. Naast onbekendheid kan onzekerheid (b.v. over de toekomstige ontwikkeling van de energiemarkten) bedrijven weerhouden van energiebesparing. Verder kunnen institutionele belemmeringen (zoals het bestaan van een bepaalde infrastructuur) een rol spelen. Een overheid die haar beleid wil richten op het wegnemen van deze barrières, zal in haar instrumentkeuze met de aard van deze obstakels rekening moeten houden.

Tijdens de hoorzittingen gebruikten de gehoorde verschillende manieren om (milieu-) beleidsinstrumenten in categorieën in te delen. Hieronder wordt de driedeling aangehouden:

- directe regulering (normen, geboden, verboden, bindende convenanten¹, e.d.);
- communicatieve instrumenten of «sociale regulering» (voorlichting, convenanten e.d.);
- financieel-economische instrumenten (heffingen, belastingen, subsidies, statiegeld-systemen, e.d.).

Tevens wordt er apart aandacht geschonken aan:

- verhandelbare emissierechten; en
- Joint Implementation.

Voor de uitstoot van kooldioxide is niet alleen het milieu- en energiebeleidsinstrumentarium van belang. Maatregelen die op andere terreinen van overheidsbeleid worden genomen (b.v. in de sfeer van economisch beleid, ruimtelijke ordening, verkeer en vervoer) hebben vaak een grote invloed op de kooldioxide-uitstoot. Zulke maatregelen (of aanpassingen van bestaand beleid op die terreinen) kunnen soms een efficiëntere vorm van broeikasbeleid zijn dan specifiek energie- en milieubeleid. Bij de hoorzittingen zijn er enkele aan de orde gekomen. Zij worden hierna besproken.

Klimaatbeleid kan op verschillende schaalniveaus worden gevoerd: mondiaal, internationaal, nationaal, regionaal en lokaal. Gezien het mondiale karakter van de klimaatproblematiek verdienen de supranationale aspecten van het beleidsinstrumentarium (Verhandelbare Emissierechten en «Joint Implementation») speciale aandacht. Hieronder wordt daar afzonderlijke aandacht gegeven. Daaraan voorafgaande worden de drie categorieën instrumenten beschreven en worden de opvattingen van de door de commissie gehoorde wetenschappers en maatschappelijke organisaties over deze instrumenten samengevat.

¹ Wegens hun beperkte afdwingbaarheid werden convenanten gewoonlijk bij de categorie sociale regulering ingedeeld. Volgens de Commissie is er bij convenanten echter sprake van een zekere ontwikkeling naar minder vrijblijvendheid, zodat ze ook gedeeltelijk onder directe regulering kunnen vallen.

Directe regulering

Wetenschappers

Het beperken van emissies door het stellen van normen, voorschriften en verboden is in grote delen van het milieubeleid de gangbare praktijk. Als instrument voor het beperken van de uitstoot van kooldioxide wordt van directe regulering echter (nog) vrijwel geen gebruik gemaakt. Wel worden hier en daar normen gehanteerd die indirect (kunnen) leiden tot een vermindering van kooldioxide-reducties, zoals energieprestatie-normen in de bouw. Voor apparaten en voertuigen biedt de Wet Energiebesparing Toestellen mogelijkheden. Sommige deskundigen achtten normstelling een zeer effectieve methode om energiebesparing te bevorderen, vooral in de bouwsector en de huishoudens. Een ander voorbeeld van directe regulering is rantsoenering van energiegebruik. Dit wordt, behoudens in crisissituaties, in de praktijk niet toegepast. Hetzelfde geldt in het algemeen voor het opleggen van kwantitatieve beperkingen aan maatschappelijke activiteiten die leiden tot kooldioxide uitstoot, zoals verkeer en vervoer (behoudens de beperking van de maximum snelheid waarbij milieuoverwegingen een rol hebben gespeeld). Bindende convenanten met bedrijfstukken kunnen ook als een vorm van directe regulering worden gezien. Er is een tendens tot een grotere juridische afdwingbaarheid van afspraken in convenanten. Toch zullen convenanten echter ook nog bij sociale regulering worden besproken.

Buiten het terrein van energie- en milieubeleid liggen diverse mogelijkheden om door middel van (veranderingen in) regelgeving een beperking van de kooldioxide-uitstoot te bewerkstelligen. Een aantal voorbeelden werden genoemd. De recente liberalisering van de winkeltijdenwetgeving leidt naar schatting tot een stijging van het energiegebruik in de dienstensector met 10 procent¹. Andere voorbeelden liggen op het terrein van de ruimtelijke ordening en de goederen- en personenmobiliteit. Bij toekomstige maatregelen op deze terreinen zouden effecten op kooldioxide-uitstoot mede in de overwegingen betrokken kunnen worden.

Maatschappelijke organisaties

Het WNF bepleitte om, in navolging van de Verenigde Staten, normen in te voeren voor het energiegebruik van auto's. Daarmee zouden auto's binnen tien jaar 40 procent zuiniger kunnen worden. Ook vindt deze organisatie dat er grenzen moeten worden gesteld aan de mobiliteit. De SNM is voorstander van normen voor het elektriciteitsverbruik van apparaten, omdat de prijselasticiteit daar zeer gering is. EnergieNed stelde dat de overheid verspilling van energie dient tegen te gaan, bijvoorbeeld door een energieprestatienorm voor woningen te benutten. Met betrekking tot vervoertechniek en brandstofkwaliteit in het goederenvervoer sprak de EVO zich uit voor een systeem van voortschrijdende normstelling. KNV drong erop aan om kritisch te kijken naar bestaande regelgeving (zoals die m.b.t. maten en gewichten van voertuigen) die innovatie in de weg staan. Het CLM pleitte voor een informatie- en registratieplicht m.b.t. energiegebruik voor de landbouw en toeleverende sectoren.

Communicatieve instrumenten

Wetenschappers

Communicatieve instrumenten maken geen gebruik van dwang of financiële prikkels, maar van informatie-overdracht en overreding. Toepassing van deze categorie instrumenten is met name opportuun als

¹ Hoorzitting dr. J. J. C. Bruggink

de doelgroep geacht mag worden potentieel bereid te zijn om het gewenste gedrag (b.v. energiebesparing) uit eigen beweging te vertonen, maar als gevolg van bepaalde barrières (zoals het ontbreken van informatie of verantwoordelijkheidsbesef) nog niet spontaan tot dit gedrag overgegaan is.¹

Convenanten (met name de zogenaamde Meerjarenaafspraken energiebesparing) en andere vormen van zelfopgelegde verplichtingen (zoals het MAP van de energiesector) zijn een belangrijk instrument in het huidige energiebesparingsbeleid. Ze hebben dus het voordeel van bekendheid. Het instrument past ook goed bij de Nederlandse politieke en maatschappelijke cultuur (het streven naar consensus). Opgemerkt is reeds dat er een tendens is convenanten minder vrijblijvend te maken. Over de effectiviteit van convenanten bestond geen eenstemmigheid onder de door de commissie ondervraagde wetenschappers. Sommigen vonden het een goed instrument om bedrijven tot innovatie te stimuleren. Met name zouden Meerjarenaafspraken energiebesparing bedrijven dwingen na te denken over een zuiniger gebruik van energie, daarop gerichte activiteiten en diensten te ontwikkelen, energiecoördinaten op te zetten en onderzoek te doen. De eventuele kenniskloof zou daarmee overbrugd kunnen worden. Andere wetenschappers plaatsten vraagtekens bij convenanten. Gewezen werd op de onduidelijkheid over de hardheid van de gemaakte afspraken en op de kritiek van de OESO op het gemak waarmee Nederland het instrument convenant omarmt.

Voorlichting kan ondermeer betrekking hebben op versterking van het maatschappelijk probleembesef, op het verhelderen van de gevolgen van gedrags- en beleidsopties, en op het zichtbaar maken van de mogelijkheden die burgers en bedrijven hebben om hun gedrag in maatschappelijk gewenste richting aan te passen. Ook kunnen overheden, branche-organisaties en andere groeperingen door middel van voorlichtingscampagnes proberen om het normen- en waardenpatroon van individuen en groepen te beïnvloeden, in de hoop dat dit leidt tot veranderingen in leefstijl die minder belastend zijn voor het milieu.

Maatschappelijke organisaties

VNO/NCW beschouwt convenanten (meerjarenaafspraken, MJA's) als een belangrijk instrument, dat ook internationaal geldt als een voorbeeld van een effectieve aanpak van energiebesparing in het bedrijfsleven. De efficiencyverbetering in bedrijfstakken met MJA's zou aanzienlijk hoger zijn dan de autonome ontwikkeling, vooral als gevolg van de toepassing van WKK. LTO Nederland stelt dat de MJA voor de glastuinbouw geleid heeft tot een energiebesparing van 50 procent per eenheid product. EnergieNed pleit voor een instrumentarium dat gebaseerd is op afspraken met het bedrijfsleven, d.w.z. met degenen die brandstoffen converteren, verbranden of anderszins verbruiken. De effectiviteit van zulke afspraken (waar ook het MAP toe behoort) is volgens EnergieNed aangetoond. Wel vraagt men zich af hoe e.e.a. in een vrije energiemarkt zal verlopen. Het WNF is voorstander van toepassing van energiebesparingsconvenanten op Europese schaal.

Financieel-economische beleidsinstrumenten

Wetenschappers

Financieel-economische beleidsinstrumenten geven producenten en consumenten een prijsprikkel die ze tot een bepaald gewenst gedrag moet overhalen. De prijsprikkel kan positief zijn (subsidies, fiscale faciliteiten, etc.) of negatief (heffingen, belastingen).

¹ Hoorzitting prof dr C. A. J. Vlek

Financieel-economische instrumenten (met name **heffingen**) werden vooral door de economische deskundigen aanbevolen als milieubeleidsinstrument. Daarbij gaat het hen niet zozeer om de financierende functie van heffingen (de opbrengsten voor de overheid die ze genereren), maar vooral om de permanente prikkel die ervan uitgaat om emissies of energiegebruik te verminderen. Als de laatstgenoemde functie voorop staat, spreekt men doorgaans van een regulerende heffing. Domineert de financierende functie, dan wordt de term bestemmingsheffing gebruikt.

Vastgesteld kan worden dat er geen eenduidigheid bestaat in het gebruik van termen als heffing, (milieu-)belasting en ecotax. In de praktijk worden deze termen door elkaar gehanteerd. Overigens wordt in de fiscaal-juridische vakliteratuur doorgaans geen reden gezien voor een onderscheid tussen belastingen en andere overheidsheffingen¹. Wel zou men kunnen stellen dat een heffing die uitsluitend een regulerende functie heeft (d.w.z. de opbrengst wordt volledig teruggestuurd, of er zijn geen opbrengsten omdat het heffingsobject niet meer gebruikt of geëmitteerd wordt²) geen belasting is. Het verwerven van inkomsten door de overheid ontbreekt dan immers als motief. Ook zijn er heffingen die niet door de overheid worden opgelegd en dus ook niet als belasting kunnen worden beschouwd (b.v. de MAP-heffing). Het begrip heffing omvat dus meer dan het begrip belasting. In het navolgende zal het algemene begrip heffing gehanteerd worden, tenzij bedoeld wordt op een specifieke heffing of belasting.

Heffingen kunnen onder bepaalde omstandigheden als efficiënt beschouwd worden, als ze leiden tot uitstootvermindering of energiebesparing daar waar dat het goedkoopst kan en niet zal leiden tot ongewenst gedrag, zoals het verplaatsen van de heffingsgrond buiten het heffingsgebied (bedrijfsverplaatsing). De effectiviteit van deze instrumenten is afhankelijk van de elasticiteit, d.w.z. de mate waarin energiegebruik of emissies gevoelig zijn voor de door de heffing veroorzaakte prijsstijging. Daarbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen de effectiviteit op korte termijn (directe gedragsaanpassingen in reactie op hogere prijzen) en op langere termijn (de sturende invloed van het prijssignaal op de technologische ontwikkeling).

In de hoorzittingen werd de potentiële effectiviteit van heffingen geïllustreerd aan de hand van de gerealiseerde vermindering van vervuilende lozingen in reactie op de Nederlandse heffing op grond van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren. Hoewel die heffing oorspronkelijk een financieringsdoelstelling had, is het resultaat mede geweest dat veel bedrijven hun eigen afvalwater gingen reduceren of zuiveren. Ook heeft de heffing een invloed gehad op de technologische ontwikkeling, waardoor Nederland op het gebied van waterzuiveringstechnologie op de wereldmarkt nu een goede positie heeft (het z.g. «voordeel van degene die het eerst beweegt»). Een ander voorbeeld is de uitstootvermindering tot 40 procent die door de Zweedse NOx-heffing in een paar jaar is bewerkstelligd. Door een heffing op energie zou de neiging van bedrijven om in energiebesparing te investeren eveneens flink kunnen toenemen. Bij een forse heffing (die de energieprijzen met 25 tot 50 procent zou doen stijgen) zou volgens recent onderzoek gerekend mogen worden op een vermindering van het energiegebruik met ca. 30 procent over de komende 20 jaar. Dat is veel meer dan wat de Commissie Wolfson voor de OESO-landen becijferde (5 à 10 procent «echte» besparing bij een verdubbeling van de energieprijzen). Dat kan te maken hebben met het feit dat de Commissie Wolfson de neiging van bedrijven om zich in reactie op hogere energieprijzen naar het buitenland te verplaatsen overschat. Bovendien zou het negatieve effect van energieheffingen op de nationale

¹ Zie b.v. het in 1990 uitgebrachte advies van de Commissie ter bestudering van het begrip «belastingen» aan de Vereniging voor Belastingwetenschap.

² Een voorbeeld van zo'n «prohibitieve» heffing is de belasting op gelode «normale» benzine.

concurrentiepositie wellicht kunnen worden verminderd door restitutie aan de buitengrenzen.¹

In de hoorzittingen werd ook gesteld dat eventuele energieheffingen bij voorkeur in internationaal verband moeten worden ingevoerd. Verscheidene Noordwest-Europese landen hebben overigens al stappen gezet in de richting van energieheffingen als instrument voor het broeikasbeleid. Ook binnen de EU is een discussie gaande over een kooldioxide-/energieheffing (oplopend van \$ 3 tot \$ 10 per vat olie). De uitstootvermindering die daarvan verwacht kan worden is in eerste instantie niet spectaculair (6 à 7 procent in zeven jaar), maar het lange-termijn-effect op de technologie zou een veelvoud van dat percentage kunnen opleveren.²

Sommige wetenschappers stonden sceptisch tegenover het instrument heffingen. Uit onderzoek op bedrijfsniveau zou gebleken zijn dat de effectiviteit van heffingen (en subsidies) op energiebesparing gering zijn.³ Er werd gewezen op de lage prijselasticiteit van de vraag naar energie, wat betekent dat de vraag naar energie relatief ongevoelig is voor prijsverandering en dus ook voor heffingen.

Bij het beoordelen van de effectiviteit van een heffing als klimaat-beleidsinstrument moet ook gekeken worden naar de besteding van de opbrengsten ervan. Als dit geld wordt gestoken in de ontwikkeling van schone en energie-efficiënte technologie, betekent dat een versterking van het effect. Worden de opbrengsten gebruikt voor lastenverlichting of ongerichte investeringssteun, dan betekent dit een macro-economische impuls die de bereikte energiebesparing weer gedeeltelijk teniet kan doen. De besteding van de opbrengsten heeft niet alleen gevolgen voor de effectiviteit, maar leidt ook tot verdelingseffecten. Zo werd de mogelijkheid geopperd internationale ontwikkelingsprojecten te financieren uit de opbrengsten van heffingen.

Subsidies en andere vormen van financiële ondersteuning van energiebesparing en emissiereductie kunnen gebruikt worden om de ontwikkeling van nieuwe technologieën te stimuleren en om de toepassing van (bijvoorbeeld) energie-efficiëntere apparatuur te bevorderen. Tot deze categorie instrumenten kunnen ook fiscale faciliteiten gerekend worden, zoals mogelijkheden voor versnelde afschrijving van investeringen in energiebesparing. Ook zou gedacht kunnen worden aan het stimuleren van leaseconstructies. Zulke faciliteiten kunnen met name van belang zijn als financieringsproblemen bedrijven weerhouden van zulke investeringen.

Maatschappelijke organisaties

De *Stichting Natuur en Milieu* wil zo veel mogelijk de milieukosten (vervangingskosten voor natuurlijke hulpbronnen en functies van de natuur, alsmede schade door vervuiling) in de energieprijzen doorberekenen, bijvoorbeeld in de vorm van een heffing. Het WNF pleit voor BTW op vliegtickets en voor een kerosineprijs die vergelijkbaar is met die van benzine. Het ondersteunt ook het initiatief van de minister van VROM om met zes gelijkgestemde EU-landen initiatieven te nemen op het gebied van energieheffingen. M.b.t. de transportsector verwachten de drie gehoorde milieu-organisaties dat een forse stijging van de energieprijzen weliswaar tot een lagere groei zullen leiden, maar dat voor een vermindering van de mobiliteit aanvullende maatregelen nodig zijn. *Transport en Logistiek Nederland* denkt dat de prijselasticiteit van transport, zeker op kortere afstanden gering is, zodat hogere vervoerprijzen weinig effect

¹ Voorzitting prof dr J. B. Opschoor

² Hoorzitting prof dr J. B. Opschoor

³ Hoorzitting prof dr. W. C. Turkenburg

zullen hebben. Men verwacht dat negatieve prijsprikkels zullen leiden tot passief gedrag bij de ondernemers.

Het *WNF* beschouwt een energieheffing als een ondersteunende maatregel, in aanvulling op sterkere instrumenten als normstelling en convenanten/meerjarenafspraken. De *SNM* ziet een stijging van de energieprijzen d.m.v. een heffing vooral op langere termijn als een effectief instrument. Volgens *EnergieNed* hebben (regulerende) heffingen op het eindverbruik van energie slechts een marginaal effect, omdat dan de hele keten al doorlopen is. De per 1/1/1996 ingevoerde (regulerende) energieheffing zou in verband met de lage elasticiteit niet veel bijdragen aan energiebesparing. *EnergieNed* geeft de voorkeur aan een heffing aan de bron, waarbij de meest vervuilende brandstof het zwaarst wordt belast. Ook de *Sep* is tegen eindverbruikersheffingen, omdat die te globaal werken (als ze al werken). Eventueel zou wel aan bestemmingsheffingen kunnen worden gedacht, met in ieder geval een selectieve toepassing. Volgens *EnergieNed* is de *MAP*-heffing (een voorbeeld van een bestemmingsheffing) een effectief instrument.

FNV/CNV is in het algemeen voorstander van ecologisering van de belastingen en denkt dat de ervaringen met de recente kleinverbruikersheffing niet wijst op het ontbreken van voldoende draagvlak voor energieprijsverhogingen. Wel vond men de presentatie van de heffing ongelukkig, omdat voor de meeste mensen niet duidelijk was dat tegenover de prijsverhoging een compenserende belastingverlaging stond. De vakcentrale pleit verder voor regulering van verkeer en vervoer via prijsmaatregelen, zoals rekeningrijden, aanpassing reiskostenforfait (in relatie met het arbeidskostenforfait), differentiatie overdrachtsbelasting e.d.. *MKB Nederland* beschouwt de energieheffing als een negatief instrument voor de concurrentiepositie van het MKB, terwijl het milieurendement minimaal geacht wordt. Negatieve prijsprikkels wijst men af. Ook *VNO/NCW* heeft bezwaren tegen de energieheffing. De ondernemersorganisatie vindt dat bedrijven die in een MJA participeren vrijgesteld moeten worden van de heffing. De effectiviteit van energieheffingen is volgens haar marginaal. Gezien de lage elasticiteit zou een hoge heffing nodig zijn, maar dat stuit op zeer grote sociaal-economische nadelen.

Het *CLM* vindt dat de vrijstelling van de energieheffing voor de glastuinbouw opgeheven kan worden, mits de opbrengst volledig naar de sector wordt teruggesluisd. Ook stelt het *CLM* een heffing met terugsluizing voor in de hele agrarische sector (inclusief de toeleverende industrie). De terugsluizing zou moeten geschieden naar rato van productie, zodat de meest energie-efficiënte bedrijven per saldo van de heffing zouden profiteren. *LTO Nederland* is tegen energieheffingen. In de eerste plaats omdat er volgens het *LTO* bij het huidige instrumentarium al sprake is van een maximale inzet. Men ziet niet wat heffingen hier nog aan toe zouden kunnen voegen. Bovendien heeft men er geen vertrouwen in dat volledige terugsluizing mogelijk is.

Milieudefensie pleitte voor een bezuiniging op de diverse (directe en indirecte) subsidies op activiteiten die kooldioxide-emissies veroorzaken, zoals investeringen in infrastructuur, luchtvaart e.d.. De *EVO* is voorstander van subsidiemaatregelen om de aanschaf van de meest milieuvriendelijke vracht- en bestelauto die op de markt is te stimuleren en wijst daarbij op de effectiviteit van de inmiddels beëindigde *SELA*-regeling. Ook *KNV* en *TLN* geloven in een stimulerende werking van subsidies en fiscale faciliteiten zoals de *VAMIL*-regeling. *VNO/NCW* bepleitte een financieel ondersteuningsprogramma voor R&D en marktintroductie van duurzame energie, met een systeem van terugleververgoedingen voor elektriciteit uit duurzame energie. *MKB Nederland* is

voorzitter van een MKB-Groenpremiefonds, te voeden uit o.a. de MAP-gelden, waaruit ondernemers in het MKB een premie van 15 tot 25 procent van hun energiebesparingsinvesteringen zouden moeten ontvangen. Ook het CLM vindt dat initiatieven ter vermindering van kooldioxide-uitstoot financieel beloofd zouden moeten worden.

Verhandelbare emissierechten

Wetenschappers

Naast energieheffingen krijgen ook **verhandelbare emissierechten** als economisch instrument in het klimaatbeleid veel aandacht. Met name in de Verenigde Staten en Nieuw-Zeeland heeft dit instrument zijn effectiviteit binnen het milieubeleid bewezen. Het blijkt vooral goed te werken als er een doorzichtige markt is en als er aanzienlijke verschillen in kosten van emissiereductie bestaan, waardoor er met de handel in emissierechten winst te behalen valt. In Europa kijkt men wat argwanend tegen verhandelbare rechten aan, al wordt het instrument buiten het eigenlijke milieubeleid wel toegepast (b.v. melk- en mestquota). Een mondiaal systeem van (verhandelbare) kooldioxide-uitstootquota, zoals o.a. bepleit door de IPCC, zou een zeer efficiënt instrument kunnen zijn, omdat het (net als een uniforme heffing overigens) theoretisch leidt tot het realiseren van emissiereducties daar waar dat tegen de laagste kosten kan. Met name voor ontwikkelingslanden zou het systeem ook aantrekkelijk kunnen zijn. Die krijgen daarmee immers kapitaal (in de vorm van verkoopbare emissierechten) ter beschikking. Wel doet zich daarbij het vraagstuk van de rechtvaardige verdeling voor. Ook bestaan er twijfels over de uitvoerbaarheid: er is immers een internationale autoriteit nodig voor de verdeling van de quota en de controle op de uitvoering.¹

Maatschappelijke organisaties

Milieudefensie sprak zich uit voor een systeem van verhandelbare kooldioxide-emissierechten, waarvan de uiteindelijke toedeling (op lange termijn) zou moeten plaatsvinden op basis van een gelijke hoeveelheid per wereldburger. Dit kan voordelig zijn voor de relatief energie-efficiënte Nederlandse industrie, maar ook voor landen met een relatief laag energiegebruik per hoofd van de bevolking, die hun overtollige rechten te gelde kunnen maken. Ook de Stichting Natuur en Milieu ondersteunt dit idee. *MKB Nederland* beschouwt verhandelbare emissierechten echter als een intellectuele oplossing, waar de belastingbetaler slecht mee af is. Ook *VNO/NCW* ziet het als een studeerkameridee, dat Nederland niet alleen kan toepassen.

Joint implementation

Wetenschappers «Joint Implementation» is een mogelijkheid om mondiaal tot een efficiëntere vorm van kooldioxide-uitstootvermindering te komen. Bij dit systeem, waarover internationaal volop gediscussieerd wordt in het kader van het VN Klimaatverdrag, zou vanuit een land met relatief hoge kosten van uitstootvermindering (Verenigde Staten, Europa, Japan) geïnvesteerd kunnen worden in broeikasgasvermindering in een land met relatief lage kosten van uitstootvermindering (Centraal en Oost-Europa en ontwikkelingslanden). De gerealiseerde uitstootvermindering zou dan geheel of gedeeltelijk op het conto van het investerende land bijgeschreven (gecrediteerd) kunnen worden. Volgens diverse deskundigen zou dit een interessante optie kunnen zijn. Wel werd opgemerkt dat Joint Implementation zijn efficiency in feite ontleent aan een inefficiënte internationale reductiestrategie: een gelijk reductiepercentage per land. Joint Implementation zou niets kunnen

¹ Hoorzitting prof dr J. B.Opschoor

toevoegen aan een efficiënte internationale reductiestrategie, waarbij landen die goedkoper kooldioxide kunnen reduceren ook meer zouden reduceren dan landen met relatief hogere kosten.¹ Joint Implementation werd daarom een «second-best» instrument genoemd. Het meest efficiënte instrument -internationaal verhandelbare emissierechten- ligt echter, zoals hierboven al geconstateerd werd, internationaal erg moeilijk.

In de hoorzittingen werd een onderzoek aangehaald waarin is berekend dat het realiseren van 20 procent emissiereductie in de OESO-landen in het jaar 2010 in totaal een bedrag van 2,5 à 3 biljoen dollar zou kosten.² Als de OESO-landen mogen gaan investeren in ontwikkelingslanden om dezelfde 20 procent kooldioxide-reductie te bereiken in 2010, dan blijken de kosten met meer dan de helft te dalen, terwijl er voor de ontwikkelingslanden zelfs een gering voordeel te behalen valt. Als er niet alleen tussen regio's, maar ook in de tijd mag worden gehandeld, dan dalen de kosten met nog eens de helft, terwijl de voordelen voor de ontwikkelingslanden toenemen.

In ontwikkelingslanden heerst echter nogal wat weerstand tegen een dergelijk systeem. Het wordt vaak gezien als een vorm van inmenging in de interne aangelegenheden van die landen. Bovendien bestaat de vrees dat op deze wijze de goedkoopste opties door de rijke landen worden benut, zodat in de toekomst de ontwikkelingslanden zelf alleen nog maar dure mogelijkheden voor energiebesparing zouden hebben. In Oost-Europa is deze weerstand minder; daar zijn het vooral institutionele barrières die Joint Implementation projecten bemoeilijken.³

In het VN Klimaatverdrag is momenteel een proefperiode afgesproken, waarin Joint Implementation projecten uitgevoerd kunnen worden maar waarin nog niet gecrediteerd mag worden. Eventuele Nederlandse Joint Implementation projecten kunnen dus nog niet op de internationale doelstelling van Nederland (stabilisatie van de uitstoot van broeikasgassen op het 1990 niveau) in mindering gebracht worden. Wellicht zal dit na het jaar 2000 veranderen. In een van de hoorzittingen werd de verwachting uitgesproken dat geleidelijk ook de weerstanden tegen de conditionaliteiten en de inmenging in interne aangelegenheden minder zullen worden.

Maatschappelijke organisaties

Het WNF is van mening dat het beleid m.b.t. energiebesparing in ontwikkelingslanden niet verengd moet worden tot een discussie over Joint Implementation. Energiebesparing zou ook een veel prominenter positie moeten innemen binnen de ontwikkelingssamenwerking. Men is niet principieel tegen JI, maar vindt dat eerst de aangegane verplichtingen m.b.t. technologie-overdracht moeten worden nagekomen. Ook de *SNM* pleit voor kennis- en technologie-overdracht als basis voor JI. Milieudefensie denkt dat de ontwikkelingslanden nooit serieuze gesprekspartners in de klimaatonderhandelingen zullen worden zo lang de rijke landen via JI op een goedkope manier hun doelstellingen proberen te realiseren.

Sep en EnergieNed staan in principe positief tegenover JI, wanneer beide partijen daar belang bij hebben. *Sep* houdt zich al met JI-achtige activiteiten bezig, zoals het vastleggen van kooldioxide in bossen (via de Stichting FACE) en het verbeteren van de energie-efficiency in Roemenië. *VNO/NCW* beschouwt JI in principe als een goed instrument voor een mondiale aanpak van het broeikasprobleem. Men vindt echter wel dat dit uit de algemene middelen betaald moet worden. Of de werkgevers bereid zijn tot financiering van JI-projecten ter implementatie van de door hen aangegane MJA-verplichtingen werd uit de hoorzittingen niet duidelijk.

¹ Hoorzitting Prof dr H. Verbruggen

² Hoorzitting dr J. J. C. Bruggink

³ Hoorzitting prof dr ir P. Vellinga

Bestrijden van klimaatverandering: andere broeikasgassen

In vergelijking met beheersmaatregelen voor kooldioxide, is er tijdens de hoorzittingen weinig gesproken over beheersmaatregelen voor andere broeikasgassen, zoals methaan (CH₄), lachgas (N₂O) en chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK). Ter reductie van de uitstoot van het broeikasgas CFK wordt er al internationaal beleid gevoerd in het kader van de ozon-problematiek. Er werden enkele maatregelen geopperd om de uitstoot van methaan te beperken. Op korte termijn zouden emissies uit afval en uit aardgasleidingen bestreden kunnen worden. Een verkleining van de rundveestapel (en dus minder vleesconsumptie) zou ook bij kunnen dragen aan een vermindering van de methaan uitstoot. Veranderingen in de techniek van de rijstproductie zou een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de beperking van methaanemissies.¹ Er werd echter ook gesteld dat het technologisch vaak veel en veel moeilijker is om andere broeikasgassen (dan kooldioxide) aan te pakken, terwijl de kosten daarvan in het algemeen veel hoger zouden liggen.² Er was overeenstemming over het feit dat het onderzoek naar de uitstoot van andere broeikasgassen relatief achter loopt op het onderzoek naar de uitstoot van kooldioxide. Volgens het *Centrum voor Landbouw en Milieu* vormen methaan en lachgas een belangrijke bijdrage aan de uitstoot van broeikasgassen uit de Nederlandse landbouw. Nauwkeurige metingen hieromtrent zijn echter nog volstrekt onvoldoende. CLM pleitte er voor om N₂O te betrekken bij de ontwikkeling van het stikstofbeleid in Nederland.

Strategie

In het begin van dit hoofdstuk zijn enkele strategische keuzes aangegeven die in het kader van de klimaatproblematiek aan de orde komen. De keuzes waren:

- * aanpassen of bestrijden?
- * alle broeikasgassen of alleen kooldioxide?
- * maatregelen nu of later?
- * apart klimaatbeleid of aansluiten bij ander beleid?
- * kwantitatieve doelstellingen of richting aangeven?
- * internationaal vooroplopen of in de pas lopen?

In het voorgaande is gesproken over de technische en economische mogelijkheden van aanpassen en bestrijden. Ook is er over beleidsinstrumenten gediscussieerd. Nu komen meer specifiek de strategische keuzes aan de orde.

Aanpassen of bestrijden? De gehoorde deskundigen waren het er over eens dat er aangepast én bestreden zal moeten worden. Verschillen van mening waren er slechts over het tempo en de mate van bestrijding. Allen vonden aanpassen aan klimaatverandering noodzakelijk. Door de traagheid van het klimaatsysteem zullen de gevolgen van eventuele klimaatveranderingen in de volgende eeuw niet geheel voorkomen kunnen worden ongeacht de mate van bestrijding van de uitstoot van broeikasgassen die men op korte termijn zou kunnen realiseren. Overigens, mochten klimaatveranderingen niet veroorzaakt worden door menselijk handelen, dan is aanpassen uiteraard ook onvermijdelijk.

Een beslissings-deskundige benadrukte het feit dat het onvermijdelijk is dat in een zo onheldere en weinig uitgekristalliseerde situatie als de klimaatproblematiek, waarbij het niet alleen om natuurwetenschappelijke maar ook om sociaalwetenschappelijke aspecten gaat, normatieve aspecten insluiten in de uitspraken van wetenschappers.³ Zolang wetenschappers deze normatieve elementen expliciet maken behoeft dit geen probleem te zijn. Maar het betekent wel dat de uiteindelijke afweging

¹ Hoorzitting prof dr P. Crutzen

² Hoorzitting dr J. J. C. Bruggink

³ Hoorzitting prof dr J. C. M. van Eijndhoven

die aan een bepaalde strategie ten grondslag ligt een buiten-wetenschappelijke activiteit is, een politieke activiteit. Tekenend in deze was het feit dat diverse wetenschappers hun betoog afronden met een persoonlijke mening over de te volgen strategie. Desgevraagd antwoordden zij dat zij het gevoel hadden dat deze mening «persoonlijk» was daar zij niet rechtstreeks uit hun voorgaande wetenschappelijke betoog viel af te leiden. De persoonlijke mening bevatte dus, naar hun oordeel een normatief, buiten-wetenschappelijk element.

Alle broeikasgassen of alleen kooldioxide? De vraag of beheersmaatregelen gericht moeten worden op alleen het broeikasgas kooldioxide of op alle broeikasgassen van antropogene oorsprong werd niet geheel eensluidend beantwoord (zie paragraaf over andere broeikasgassen). Verschillende deskundigen maanden tot meer onderzoek naar de uitstoot van andere broeikasgassen, zoals methaan en lachgas.

Maatregelen nu of later? Moeten er nu meteen maatregelen genomen worden of is het beter nog wat te wachten? De keuze werd ook beschreven in de Amerikaanse termen «early action» en «wait and see». Beide opties hebben hun voor- en nadelen.¹ Een vroeg ingezet klimaatbeleid heeft als mogelijk voordeel dat de door dat beleid veroorzaakte technologische innovaties een land een competitief voordeel geven op de wereldmarkt. Dit wordt het «first mover» voordeel genoemd. Anderzijds kan een vroeg ingezet klimaatbeleid leiden tot economische schade als het leidt tot omvangrijke kapitaalvernietiging of vlucht van investeringen over de grens heen. Een meer afwachtende benadering heeft het voordeel dat men kan wachten tot de technologische ontwikkeling bepaalde opties beter en goedkoper heeft gemaakt. Daar staat tegenover dat men er niet zeker van kan zijn dat de technologische ontwikkeling wel de goede kant op zal gaan. Ook houdt de «wait and see» benadering bepaalde risico's in verband met het lange-termijn karakter van investeringen in de energie-infrastructureur. Landen die nu beslissingen nemen over hun energie-infrastructureur leggen deze over een zeer lange termijn vast. Als ze nu geen rekening houden met mogelijke klimaatverandering en bijvoorbeeld hun infrastructuur op kolen richten, zal het erg moeilijk zijn om dit later terug te draaien. Tenslotte is het er probleem van de langdurige verblijfstijd van kooldioxide in de atmosfeer. Alle kooldioxide die nu wordt uitgestoten zal een lange tijd in de atmosfeer verblijven. Als het later noodzakelijk wordt gevonden de concentratie van kooldioxide in de atmosfeer te reduceren of op een bepaald niveau te stabiliseren, dan zal men de uitstoot dan des te meer moeten beperken naarmate er nu minder uitstootbeperkende maatregelen zijn getroffen. Dit zou dus weer voor «early action» pleiten. Werkgevers en werknemers hebben niet voor uitstel van maatregelen gepleit. VNO/NCW benadrukte dat bedrijven er zich volstrekt van bewust zijn dat energiebesparing cruciaal is als centraal punt in de milieudoelstellingen.

Apart klimaatbeleid of aansluiten bij ander beleid? Veel deskundigen hebben ervoor gepleit om met het klimaatbeleid «actief mee te liften met» ander beleid. Zuinig omgaan met energie kan ook heel goed gemotiveerd worden vanuit de eindigheid van de reserves aan fossiele energiedragers. De fileproblematiek geeft, los van de klimaatproblematiek, aanleiding om na te denken over de groei van verkeers- en vervoersstromen. Sommige deskundigen betwijfelden of de klimaatproblematiek op zich wel voldoende tot de verbeelding sprak om de maatschappij te mobiliseren; andere deskundigen betwijfelden juist of er voor sommige maatregelen wel voldoende draagvlak zou bestaan zonder expliciete verwijzing naar het klimaatprobleem.

¹ Hoorzitting dr ir R. Swart

Kwantitatieve doelstellingen of richting aangeven? Moet het klimaatbeleid werken met kwantitatieve doelstellingen? Vanuit de wetenschap der risico-analyse werd betoogd dat de klimaatproblematiek zich slecht leent voor een kwantitatieve normstelling op grond van een risico-analyse.¹ Risico-analyses worden vaak gehanteerd op het gebied van de externe veiligheid, bijvoorbeeld de veiligheid van industriële installaties. In de risico-analyse wordt dan gekeken welke ongelukken zich voor kunnen doen, welke effecten kunnen optreden (bijvoorbeeld in termen van het verlies aan mensenlevens) en welke kans er is dat die ongevallen en effecten zullen optreden. Het begrip risico wordt geformuleerd in termen van «kans maal effect». Bijvoorbeeld, een omwonende moet een kans van minder dan 10^{-6} hebben op een dodelijk ongeval. Wanneer er politiek een bepaalde norm voor risico wordt vastgesteld (bijvoorbeeld 10^{-6}), dan kan via de risico-analyse worden vastgesteld of een bepaalde installatie wel veilig genoeg is. Er moet aan een aantal eisen worden voldaan om succesvol tot een kwantitatieve normstelling te komen via risico-analyse. Ten eerste moet er overeenstemming bestaan over de modellen die gebruikt worden om negatieve effecten te voorspellen. Ten tweede moet er overeenstemming bestaan over de maat waarin de negatieve effecten uitgedrukt worden (bijvoorbeeld mensenlevens in het geval van externe veiligheid). Ten derde moet de beslissituatie betrekkelijk eenvoudig zijn (wie mag beslissen over wat). Met betrekking tot de klimaatproblematiek is niet aan deze voorwaarden voldaan. Over de modellen die effecten voorspellen bestaat geen overeenstemming, er is geen eenduidige maat voor de effecten (soms is het niet eens duidelijk of ze positief of negatief zijn; en moeten negatieve effecten van beleid meegewogen worden), en er is absoluut geen sprake van een eenvoudige beslissituatie. Er werd betoogd dat het een onjuiste gedachte is dat het mogelijk is om in het klimaatbeleid tot normstelling te komen op basis van een eenduidige, sterk objectieveerbare redenering.

In het kader van het VN Klimaatverdrag is afgesproken dat de deelnemende landen voor de periode na het jaar 2000 niet alleen moeten proberen kwantitatieve uitstootbeperkingen af te spreken, maar ook moeten proberen afspraken te maken over maatregelen en beleidsinstrumenten.²

Kwantitatieve reductiedoelstellingen kunnen «inspiratie» en richting geven. Men heeft een kwantitatief doel nodig om iedereen op dezelfde lijn te krijgen. Ook heeft men een kwantitatieve doelstelling nodig om de benodigde inspanningen te verdelen naar landen en sectoren. Maar dit kwantitatieve doel dat gesteld wordt om risico's te vermijden mag er niet toe leiden dat bepaalde kansen en mogelijkheden op termijn uit het oog worden verloren. Bij het bekijken van technologische opties op de lange termijn zou het zo kunnen zijn dat men op korte termijn iets moet inleveren om op lange termijn een effect makkelijker te kunnen bereiken. Het koste wat kost vasthouden aan kwantitatieve doelstellingen, zou het letten op kansen en mogelijkheden als het ware negatief kunnen beïnvloeden.

WNF is wel voor strenge doelstellingen. In een recente studie heeft het WNF een maatregelenpakket samengesteld waarmee de Europese Unie een jaarlijkse kooldioxide reductie van twee procent kan realiseren. Bij een systeem van internationaal verhandelbare emissierechten, zoals bepleit door *Milieudéfensie*, wordt er uitgegaan van één mondiale kwantitatieve doelstelling. Voor afzonderlijke landen zijn er dan geen nationale kwantitatieve doelstellingen meer. Nederland zou zijn emissies in een dergelijk systeem zelfs kunnen laten groeien als het in staat zou zijn emissierechten van andere landen te kopen. *EnergieNed* is tegen het instellen van een absoluut kooldioxide plafond voor Nederland, mede

¹ Hoorzitting prof dr J. C. M. van Eijndhoven

² Hoorzitting prof dr ir P. Vellinga

gezien de betrekkelijk geringe bijdrage van Nederland aan de mondiale kooldioxide-uitstoot. Wel vindt men dat er naar gestreefd moet worden om per eenheid produkt zo weinig mogelijk fossiele brandstof in te zetten. VNO/NCW is tegen het vaststellen van absolute kooldioxide-doelstellingen voor Nederland, maar de argumentatie hiervoor ligt meer bij de volgende strategische keuze.

Internationaal vooroplopen of in de pas lopen? Moet Nederland internationaal vooroplopen of moet het in de pas lopen? Er werd betoogd dat Nederland, wat betreft het klimaatbeleid, beslist geen Einzelgänger is, zoals wel eens gesuggereerd zou worden. Sterker nog, Nederland zou zijn best moeten doen om de internationale ontwikkelingen op het gebied van de vermindering van kooldioxide-uitstoot bij te houden. Er werd met name verwezen naar landen zoals Denemarken, Duitsland, het Verenigd Koninkrijk, Oostenrijk en Zweden.¹ Een pleidooi voor gematigd vooroplopen werd onderbouwd met de volgende analyse.² De economische kosten van een klimaatbeleid bestaan vooral uit aanpassingskosten over een langere periode. De aanpassingskosten worden veroorzaakt doordat de economie zich moet aanpassen aan hogere energiekosten. Een kooldioxide-reductiebeleid betekent immers altijd een stijging van energieprijzen, hetzij direct – via een heffing of een accijns op brandstoffen-, hetzij indirect – via een fysieke beperking van het energiegebruik door middel van convenanten, energieprestatienormen of andere instrumenten. De hoogte van deze aanpassingskosten is afhankelijk van de flexibiliteit van de economie, de efficiëntie van het gevoerde klimaatbeleid, de energie-intensiteit van de economische structuur, de energieinfrastructuur, de openheid van de economie, en de mate van internationale beleidscoördinatie. Een kwalitatieve beoordeling van deze factoren in de Nederlandse situatie leidt tot de conclusie dat Nederland relatief gevoelig is voor toekomstig internationaal klimaatbeleid. Dit wordt met name veroorzaakt door de energie-intensiteit van de Nederlandse economische structuur en de openheid van de economie. Ook bij een volledig internationaal geharmoniseerd klimaatbeleid zullen de relatief energie-intensieve landen en sectoren de grootste aanpassingskosten kennen. De meest gevoelige sectoren voor klimaatbeleid zijn landbouw (glastuinbouw), chemische industrie, openbaar nut, aardolie industrie en vervoer. Voor Nederland is het dus zeer belangrijk om vroegtijdig te anticiperen op (internationaal) klimaatbeleid en om een actieve internationale milieudiplomatie te voeren teneinde de onvermijdelijke aanpassingskosten te minimaliseren. Aan de andere kant is het ook zo dat de industrie in Nederland erg energie-efficiënt is. Als er internationaal erg uit de pas zou worden gelopen, zouden sectoren kunnen verhuizen naar landen die minder energie-efficiënt zijn. Dit zou per saldo tot een toename van de kooldioxide-uitstoot kunnen leiden. Deze twee argumenten (anticiperen, maar niet te zeer uit de pas lopen) leiden tot het pleidooi voor «gematigd vooroplopen» met klimaatbeleid.

Bovenstaande analyse (met name wat betreft de kwetsbaarheid van de Nederlandse industrie) werd onderschreven door VNO/NCW, alleen deelden zij niet de conclusie. Eenzijdige Nederlandse maatregelen sorteren volgens VNO/NCW geen merkbaar effect op het broeikas-effect, maar zullen wel schade aan de economie toebrengen en aangezien de Nederlandse proces-industrie tot de meest energie-efficiënte ter wereld behoort, zal een gedwongen verplaatsing van deze internationaal opererende industrieën naar het buitenland per saldo alleen maar milieu-nadelen opleveren. FNV/CNV bepleitte een actievere opstelling. Volgens FNV/CNV zal Nederland hoe dan ook op een vermindering van de kooldioxide-uitstoot moeten anticiperen. FNV/CNV constateerde dat het kabinet in de Derde Energienota heeft gekozen voor de formule «stabilisatie tenzij». Alleen als er internationale overeenstemming bereikt kan

¹ Prof dr ir P. Vellinga

² Hoorzitting prof dr H. Verbruggen

worden wil het kabinet verdere uitstootvermindering overwegen.
FNV/CNV kiest voor de formule «vermindering tenzij», waarmee wordt
ingezet op vermindering en pas als blijkt dat er geen goede internationale
afspraken te maken zijn kan het nodig zijn om de ambities te temperen.

HOOFDSTUK V TOETSING VAN BEHEERSMAATREGELEN

Algemeen

De Commissie is, zoals blijkt uit het voorgaande Hoofdstuk na afronding van de bevindingen inzake de wetenschappelijke inzichten en opvattingen over het klimaatvraagstuk tot het oordeel gekomen, dat overheden en andere maatschappelijke actoren het **zekere voor het onzekere** moeten nemen. Anders gezegd: het elders al geformuleerde voorzorgbeginsel vergt ondanks de onzekerheden over de voorspellende kracht van de klimaatmodellen en over de gevolgen in omvang, ruimte en tijd heldere strategische beleidskeuzen. Een enkelvoudige keuze voor het tegengaan of verminderen van de gevolgen zoals aanpassing aan temperatuurstijging, omgevingsveranderingen en zeespiegelstijging is volgens de Commissie te beperkt. Naast de beheersing van de gevolgen moeten vooral de oorzaken van klimaatverandering worden aangepakt. Een en-en-benadering ligt dus voor de hand, temeer waar door het geheel of gedeeltelijk wegnemen van de oorzaken de gevolgen eveneens worden bestreden. Bovendien is adaptatie in Nederland denk aan de dijkverzwaring en de zeewering – bestaand beleid. De Commissie besteedt daarom vooral aandacht aan de mogelijke beheersmaatregelen, gericht op de vermindering van belangrijkste broeikasgassen.

Methaan en lachgas

Uit de documenten van het IPCC en op grond van de informatie, verkregen bij de hoorzittingen¹, heeft de Commissie kunnen vaststellen, dat naast de reductie van kooldioxide ook de terugdringing van de emissie van **methaan** van grote betekenis is bij de beheersing van de broeikasgassen. Daarnaast vergt de uitstoot van **lachgas** ook aandacht en beleid. De belangrijkste methaanbronnen zijn de verliezen bij productie en transport van aardgas, de emissies bij de veeteelt en de uitwerp bij rijstbouw. Voorzover van invloed op de Nederlandse methaan-emissie moet aan deze uitstoot meer aandacht worden besteed. Het wetenschappelijk onderzoek en de monitoring moeten worden geïntensiveerd. Met de aardgasproducenten en de Gasunie dienen afspraken te worden gemaakt over verdere beperking van de methaan-emissies. Overigens valt internationaal (bij voorbeeld: Rusland, Noorwegen, Algerije) nog meer winst te boeken. In overleg met de agrarische sector moet worden nagegaan, of in samenhang met het mestbeleid aanscherping van de normen voor methaan mogelijk is en of andere maatregelen² gerealiseerd kunnen worden..

Kooldioxide

De Commissie richt zich vervolgens vooral op de uitstoot van het broeikasgas kooldioxide, dat in kwantitatieve zin de grootste bijdrage aan het broeikas effect levert. Tijdens de hoorzittingen is ook veruit de meeste aandacht besteed aan het thema van de **reductie van kooldioxide**, uiteraard in samenhang met het energiebeleid. De Commissie heeft namelijk geconstateerd, dat de door de mens veroorzaakte uitstoot van broeikasgassen, i.h.b. kooldioxide, op een bepaald tijdstip en in een bepaald gebied beschouwd kan worden als de vermenigvuldiging van de factoren omvang van de bevolking, inkomen per hoofd, energiegebruik per eenheid inkomen en de uitstoot van kooldioxide per eenheid energiegebruik. De samenhang met het energiebeleid is onmiskenbaar, omdat fossiele energiedragers nog altijd het grootste deel van de mondiale energiebehoefte dekken.

¹ Verwezen zij met name naar de hoorzitting met Prof. Dr. P. Crutzen

² Verwezen zij naar de hoorzittingen met LTO en CLM

De factoren bevolkingsomvang, inkomen per hoofd, BNP en aard van de energiedragers zijn van grote invloed op het gebruik van een nog steeds toenemend energievolume. De beheersing van het klimaatvraagstuk heeft daarmee niet alleen een forse **demografische invalshoek**, maar kent ook belangrijke sociale en economische aspecten. Aan de grote, mondiale verschillen in sociale, economische en andere leefomstandigheden kan niet worden voorbijgegaan gegaan. De Commissie vraagt, hoewel deze punten strikt genomen niet tot de taak van de Commissie horen, daarom op deze plaats ook aandacht voor de relatie tot het bevolkingsvraagstuk en voor de wisselwerking met internationale verdelingsvraagstukken

De Commissie richt zich vooral op het strategische beleid en de keuze uit de opties, inclusief de daarbij te hanteren beleidsinstrumenten. Het zwaartepunt ligt voornamelijk op **maatregelen ter beperking van de uitstoot van kooldioxide** in de meest ruime zin. Energiebesparing is daarbij de eerste opgave, mede gelet op de synergie met andere milieubeleidsdoelen zoals de vermindering van de uitstoot van zwavel- en stikstofoxiden. Energie- en dus kooldioxide-besparing wordt op de voet gevolgd door substitutie van kooldioxide: vervanging van fossiele energiedragers door stromingsbronnen en fysische energiedragers. De tijdelijke of blijvende opslag van kooldioxide wordt ook in de beschouwing betrokken, hoewel opslag minder bijdraagt aan de reductie dan besparing en substitutie.

Beoordeling van beleidsopties

Beoordeling van de haalbaarheid en wenselijkheid van de **technologische opties** voor de beperking van de uitstoot van kooldioxide en van de in te zetten **beleidsinstrumenten** vergt toetsing. Het criterium van de effectiviteit de vermindering van de hoeveelheid kooldioxide per eenheid energie – telt zwaar. Maar de efficiency moet gegeven de marktwaarde van energiedragers enerzijds en de milieuschade anderzijds ook in beschouwing worden genomen. Andere belangrijke factoren zijn het tijdsbeslag, dat met de toepassing van maatregelen is gemoeid, de (inter)nationale reikwijdte en het maatschappelijk draagvlak. Die afweging is niet eenvoudig, zo leerden ook de hoorzittingen. Op zichzelf doelmatige opties als zonne-energie en kernenergie zijn of (nog) te kostbaar, of roepen weer andere bezwaren op.

Tabel 1 : Omschrijving van de criteria

Criterion	Omschrijving
Effectiviteit	De mate, waarin de aangeduide optie of maatregel bijdraagt aan de reductie van kooldioxide
Milieusynergie	De mate, waarin de aangeduide optie of maatregel een positieve of negatieve invloed heeft op andere milieucomponenten
Snelheid	Het tijdsbestek, waarbinnen de optie of maatregel geëffectueerd kan worden
Efficiency	Globale beantwoording van de vraag of de kosten van de optie of maatregel opweegt tegen de te behalen baten
Draagvlak	Aanduiding van het maatschappelijk draagvlak voor de betreffende optie of maatregel
Haalbaarheid	Aanduiding van de politieke haalbaarheid gegeven de huidige stand van zaken (1994–1998)

De technologische opties en de beleidsinstrumenten vergen een **toetsing aan de hand van criteria**, die tijdens de hoorzittingen im- of

expliciet aan de orde zijn gekomen: effectiviteit naast efficiency, snelheid naast draagvlak, milieusynergie naast (politieke) haalbaarheid. Bij de criteria draagvlak en haalbaarheid moet bovendien onderscheid gemaakt worden tussen de nationale en de internationale invalshoek. De omschrijving van de criteria, zoals gehanteerd door de Commissie, is opgenomen in tabel 1.

Voor de **toetsing** van de opties en beleidsinstrumenten kiest de Commissie vooralsnog uit vijf mogelijkheden om de verschillende maatregelen met elkaar te kunnen vergelijken, en tot een aanvaardbaar pakket aan beleidsmaatregelen te komen. De waardering volgens een vijftal gradaties, weergegeven in tabel 2, is arbitrair maar biedt de gelegenheid voor een globaal oordeel. De snelheid of realisatie van beleidsopties kent drie aanduidingen: K (korte termijn: voor 2005); M (middellange termijn: tussen 2005 en 2015) en L (lange termijn: na 2015). Overigens bleek ook bij de hoorzittingen, dat de deskundigen soms een uiteenlopende taxatie gaven over de haalbaarheid van de diverse opties. Ter illustratie wijst de Commissie op de verschillen van opvatting over kernenergie en over sommige beleidsinstrumenten, met name van financiële aard.

Tabel 2 : Waardering toetsingscriteria

Waardering	--	-	0	+	++
Effectiviteit	Geen	Onvol- doend e	Matig	Redelijk	Hoog
Milieusynergie	Slecht	Negatie f	Matig	Redelijk	Hoog
Efficiency	Slecht	Onvol- doende	Twijfel- achtig	Vol- doende	Goed
Draagvlak	Afwezig	Slecht	Mati g	Redelijk	Hoog
Haalbaarheid	Afwezig	Slecht	Matig	Redelijk	Hoog

De tabellen 3 en 4, respectievelijk over de technologische maatregelen en de instrumenten bieden een **globale oriëntatie over de verschillendebeleidsopties**. De Commissie maakt daarbij onderscheid tussen de opslag, de besparing van en de vervanging van kooldioxide door een verschuiving van fossiele naar niet-fossiele energiedragers. Aangetekend zij wel, dat een hoge waardering van een bepaalde optie op zichzelf niet hoeft te betekenen dat een grote bijdrage aan de oplossing van het klimaat-vraagstuk wordt gegeven. De reikwijdte van de optie speelt immers een grote rol, naast de potentiële besparingsmogelijkheden van de optie zelf, gegeven de actuele stand van zaken. Een maximaal effect in Nederland kan op wereldschaal weinig betekenen, terwijl een in Nederland minder acceptabele optie groot effect kan hebben wanneer elders in Europa of mondiaal een dergelijke optie wel mogelijk is. De Commissie waardeert in de volgende paragrafen de beleidsopties nader alvorens tot een eindafweging te komen.

Technologische beleidsopties

Tabel 3: Beoordelingskader CO₂-reductiemaatregelen – technologie

Beoordelingsaspecten Beleidsopties v	Effectiviteit	Synergie	Snelheid ³	Efficiency	Draagvlak Ned ⁴	Draagvlak Int	Haalbaar Ned	Haalbaar Int
CO₂ – opslag								
Bebossing	+	+ /++	M	0/+	+ /++	+ /++	+ /++	+
Tegengaan ontbossing	+ /++	++	M/L	+ /++	++	+	+ /++	0
Opslag, o.m. in gasholten	+ /++	0/+	M	0/+	-/+	-/+	0/+	0/+
Binding in carbonaten	0/+	0/+	M	-/0	0	0	-/0	-/0
CO₂-besparing								
Energiebesparing (huis)	+ /++	+ /++	M	+ /++	+ /++	+ /++	+ /++	0/+
Energiebesparing (ind)	+ /++	+	M	+	+	0/+	+	0/+
Materiaalbesparing	+ /++	+ /++	M/L	+	+	+	+	0/+
Warmte-kracht (WKK)	++	+ /++	K	++	++	+ /++	+ /++	+
Exergie	+ /++	+ /++	M/L	+ /++	0/+	0/+	+ /++	0/+
Duurzaam bouwen	+ /++	+ /++	K/M	+ /++	+ /++	+	+ /++	0/+
Warmteplanning ⁵	+ /++	+ /++	M	+ /++	+ /++	0/+	+ /++	0/+
Personenvervoer (auto)	+ /++	0/++	K/M	0/++	0	-/0	0	-/0
Goederenvervoer (auto)	0/++	0/++	M	0/++	0/+	0	0	0
Vliegverkeer	+ /++	+ /++	M	0/++	0/+	-/0	-/0	-/0
Kolentechnologie ⁶	0/+	+	K/M	0/+	+	0/+	0/+	0/+
CO₂-substitutie								
Zonne-energie	++	+ /++	L	0	+ /++	0/+	0/+	0/+
Windenergie	+ /++	0/+	K	0/+	+	+	0/+	0/+
Waterkracht	+ /++	0	M/L	0/+	0/+	+ /++	—	+ /++
Getijde-energie	0/+	0	M/L	-/0	-/0	0/+	-/0	0
Opslagsystemen ⁷	+	0	L	-/+	-/+	0/+	-/0	0/+
Kernenergie	+ /++	-/+	K/L	0/+	-/0	0/+	—	0/+
Aardwarmte	+	0/+	L	0/+	+	0/+	-/0	-/+
Biomassa	+ /++	0/++	M/L	+ /++	+ /++	+	+	+
Brandstofcellen	+ /++	0/++	M/L	+	+	0/+	0/+	0/+

³ K = Korte termijn; M=Middellange termijn; L=Lange termijn

⁴ Ned: nationaal; Int: internationaal

⁵ Integrale energievoorziening KAN-gebied (SEP-Energiened)

⁶ Voorbeelden: kolenvergassing en wervelbedverbranding

⁷ Peak-shaving facilities (destijds: Plan Lievense, gekoppeld aan windenergie)

Kosten in geld van klimaatverandering (2 x CO₂) in 2050, uitgedrukt als percentage van BNP in 1990^a

region	(10 ⁹)	(% GDP)
OECD-America	68.4	1.3
OECD-Europe	35.3	0.7
OECD-Pacific	62.9	2.0
OECD	166.6	1.2
Central Eastern Europe & former SU	-11.6	-0.4
Middle East	15.9	4.2
Latin America	109.9	13.8
South & South East Asia	134.3	16.3
Central Planned Asia	69.6	16.2
Africa	39.1	9.6
nOECD	357.2	6.3
World	523.8	2.7

^aThe figures are based on market exchange rates the percentage GDP figures can of course be compared directly

Opslag van kooldioxide

Bebossing kan naar het oordeel van de Commissie een bijdrage leveren aan de stabilisatie of vermindering van de kooldioxide-concentratie in de lucht. De effectiviteit is weliswaar niet optimaal, omdat bossen geen eeuwig leven hebben. Een significante bijdrage vergt voorts een forse uitbreiding van het bosareaal. Maar de natuurlijke opslag van kooldioxide

in hout is toch voldoende effectief en efficiënt om bebossing, zowel nationaal als internationaal als een harde beleidsdoelstelling te formuleren. Hoewel effecten pas op middellange termijn mogen worden verwacht, is het maatschappelijk draagvlak goed, de haalbaarheid evenzeer, zeker in relatie tot het instrument Joint Implementation. Ter illustratie noemt de Commissie het FACE-project van SEP.

Ontbossing op grote schaal, met name in (Zuid)-Amerika en Afrika is naast de verbranding van fossiele energiedragers een van de oorzaken van de toename van kooldioxide. Het **tegengaan van ontbossing** is daarom volgens de Commissie een effectief en efficiënt middel om via het behoud van het bosareaal de opslag van kooldioxide op peil te houden. Het natuurlijke leefklimaat wordt voorts gediend evenals – in sommige streken – het waterbeheer. Het behoud van de tropische regenwouden is in Nederland al lange tijd een onomstreden actiepunt. Het internationale draagvlak is aanwezig. De haalbaarheid is echter minder groot door sociale en economische belangen in de betreffende landen.

De Commissie acht de **opslag van kooldioxide in (voormalige aard-) gasholten** of in aquifers¹ een doeltreffend middel om dit broeikasgas uit de atmosfeer te verwijderen. De verwerkings- en beheerskosten zijn echter aan de hoge kant. De veelal geuite bezwaren tegen de overigens tijdelijke opslag van aardgas in gasholten gelden in zekere zin ook voor de opslag van kooldioxide. Het draagvlak lijkt overigens wel aanwezig, zowel in Nederland als daarbuiten. De haalbaarheid van deze middellange termijn oplossing hangt af van de geografische beschikbaarheid en van de kostenfactoren². Naar het oordeel van de Commissie verdient de deze opslag-optie het voordeel van de twijfel.

Binding van kooldioxide in carbonaten is mogelijk naar analogie van de verwijdering en omzetting van zwaveldioxide in gips. De kosten zijn echter relatief hoog, als gevolg waarvan de afzet van de carbonaten op de markt problematisch kan worden. De Commissie oordeelt gematigd positief over de technologische mogelijkheden maar heeft twijfels over de (inter)nationale haalbaarheid van deze optie en over de realisatie op korte termijn. Nader onderzoek is in elk geval geboden, waar mogelijk in samenhang met de optimalisering van grootschalige verbrandingsprocessen. De Commissie wijst ook nog op de opslag van kooldioxide in oceanen, een mogelijkheid op termijn.

Kooldioxide-reductie via energiebesparing

Energiebesparing is al lange tijd – feitelijk sinds de 1e en 2e oliecrisis – een algemeen aanvaarde, ook maatschappelijk gedragen beleidsdoelstelling, nationaal en internationaal. In de loop van de 80-er jaren is de druk op de energiebesparing afgenomen, vooral als gevolg van de dalende olieprijs en de lagere dollarkoers. De klimaatproblematiek heeft opnieuw de aandacht gevestigd op de noodzaak van energiebesparing, waarmee overigens ook andere milieudoelen worden gediend. De Commissie is dan ook van oordeel, dat uit oogpunt van effectiviteit, synergie en efficiency energiebesparing een van de belangrijkste beleidsopties blijft, in Nederland en elders. In de sector van de **huishoudens** is nog steeds winst te boeken, zij het dat daarbij ook het ruimtelijk en bouwbeleid moet worden betrokken. De haalbaarheid is redelijk gewaarborgd, zij het minder in landen met grote overschotten aan energie (Rusland) of met een andersoortige energie- c.q. electriciteitsvoorziening (Frankrijk).

¹ Aquifer: watervoerende sedimentlaag

² r. J.A. Over en ing. J. Stork: Ondergrondse opslag van CO₂: de mogelijkheden voor Nederland, Energie- en milieuspectrum, nr 8, augustus 1996, blz 20-23

Hoewel de Commissie de opvatting deelt, dat de Nederlandse **industrie** op het terrein van de energiebesparing al koploper is in de wereld, zijn verdere inspanningen mogelijk en haalbaar. De met de industrie gemaakte meerjaren-afspraken leren volgens de Commissie, dat op middellange termijn nieuwe resultaten mogen verwacht, met behoud van effectiviteit en efficiency. Om uiteenlopende redenen worden draagvlak en haalbaarheid buiten Nederland lager ingeschat. Om die reden moet bij de verschillende beleidsmaatregelen de internationale concurrentie-positie van het Nederlandse bedrijfsleven in de beschouwing worden betrokken. De Commissie is wel van oordeel, dat een actief besparingsbeleid de industrie de gelegenheid biedt tot innovatie. De extra kansen kunnen – zo nodig gestimuleerd door de overheid – ook voor het bedrijfsleven gunstig werken.

Materiaalbesparing levert naar het oordeel van de Commissie een belangrijke, aanvullende bijdrage aan het kooldioxide-reductie-programma, omdat bij de winning en bewerking van grondstoffen en bij de productie van halffabrikaten en zelfs eindproducten meestal veel energie nodig is. Ter illustratie wijst de Commissie op de aluminium- en staalindustrie en op de papier-, kunststof- en baksteen-industrie. In Nederland is overigens al heel wat bereikt. Niettemin acht de Commissie verdere besparingen mogelijk en haalbaar. Ook in het geval van de materiaalbesparing zijn de synergie met andere milieubeleidsdoelen en de efficiency verzekerd. De wat lager ingeschatte haalbaarheid in internationaal verband vergt opnieuw de aandacht in verband met de concurrentiepositie van het Nederlandse bedrijfsleven.

De Commissie acht **WKK, de gecombineerde opwekking van warmte en kracht** uit aardgas, een uiterst effectief middel om de emissie van kooldioxide te verminderen. Daarbij zij wel aangetekend, dat die besparing van relatieve aard is. Anders gezegd: de effectiviteit is groot ten opzichte van electriciteitsopwekking uit steenkool, aardolie of grootschalige opwekking van stroom uit aardgas, maar klein ten opzichte van niet-fossiele energiedragers. De grote belangstelling voor WKK, ook vanuit het bedrijfsleven, bewijst, dat productie van warmte en stroom via WKK op efficiënte wijze mogelijk is. De synergie met andere milieudoelen is toereikend, zij het niet 100 %, omdat de uitworp van stikstofoxiden vermeden moet worden. De internationale belangstelling voor WKK wordt lager gewaardeerd dan die in Nederland. Bevordering van WKK blijft volgens de Commissie niettemin een van de pijlers van het kooldioxide-reductiebeleid.

De Commissie heeft redelijk hoge verwachtingen van **exergie**¹ om tot terugdringing van de uitstoot van kooldioxide te komen. Via de afstemming en optimalisering van de gas- en electriciteitsvoorziening kan namelijk extra energiebesparing worden verwezenlijkt. Effectiviteit en efficiency, alsmede de gunstige effecten voor het milieubeleid in meer algemene zin bevestigen de indruk, dat exergie op middellange termijn een bijdrage van formaat kan leveren, zeker in samenhang met het ruimtelijk en het (woning)bouwbeleid. Het draagvlak lijkt nog niet groot, wel toereikend. De haalbaarheid zal zich positief ontwikkelen, wanneer de aardgas- en olieprijs op een wat hoger niveau terecht komt dan in de afgelopen jaren. De internationale perspectieven worden door de Commissie lager ingeschat.

Duurzaam bouwen is al geruime tijd doelstelling van het Nederlandse bouw- (en milieu)beleid. De resultaten zijn volgens de Commissie nog niet spectaculair, maar bewijzen wel de potentiële energiebesparingen wanneer in de woning- en utiliteitsbouw nog meer rekening wordt gehouden met de planologische en bouwkundige eisen, die energiebe-

¹ Exergie: het maximale, in bruikbare vorm omzetbare deel van de energie; het thermodynamisch begrip wordt in overdrachtelijke zin gebruikt

sparing stelt. Bij de uitwerking van de plannen voor de VINEX-lokaties moet met deze aspecten rekening worden gehouden. Regelgeving via normstelling en doelvoorschriften is daarbij het aangewezen instrument. Ter illustratie noemt de Commissie de energiebesparingsnormen. Extra aandacht vergt de bestaande woningvoorraad, met name in oudere hoogbouwcomplexen. Afhankelijk van de ontwikkeling van de prijzen op de olie- en gasmarkt is voor dat deel van de woningvoorraad flankerend beleid, onder meer met financiële instrumenten noodzakelijk

Warmteplanning levert naar het oordeel van de Commissie een effectieve bijdrage aan de energiebesparing, zeker in huishoudens en in het midden- en kleinbedrijf. Ook de land- en tuinbouw is gebaat bij een goed systeem van warmteplanning, waarbij afvalwarmte kan worden benut. Draagvlak en haalbaarheid worden in Nederland hoger ingeschat dan elders, mede als gevolg van de grote bevolkingsdichtheid en de locatie van grote industriële projecten en elektriciteitscentrales. Ook WKK moet in dit verband genoemd worden. De kosten-baten-analyse pakt volgens de Commissie zodanig uit, dat stimulering van warmte-planning verantwoord is.

Kooldioxide-besparing in verkeer en vervoer

De Commissie heeft zowel bij het bronnenonderzoek als bij de hoorzittingen geconstateerd, dat de sector verkeer en vervoer een bijzondere aandacht vergt. Een belangrijk deel van de fossiele brandstoffen wordt immers verstoekt in verbrandingsmotoren, die voor verkeer en vervoer onmisbaar zijn geworden. Alternatieve systemen zijn wel in ontwikkeling (brandstofcellen, elektromotoren) maar komen niet op korte termijn op ruime schaal beschikbaar. Hoewel Nederland al een relatief schoon wagenpark heeft is in het **personenvervoer** – voornamelijk via auto en bus nog een verdere kooldioxide-reductie te bereiken door introductie van zuinige motoren, door selectiever gebruik van de auto en door de verbetering en stimulering van het openbaar vervoer. De Commissie acht een effectieve besparing op relatief korte termijn mogelijk, vooral wanneer een goede afstemming met het ruimtelijk beleid wordt gerealiseerd. Draagvlak en haalbaarheid zijn echter aan de lage kant door de grote vraag naar mobiliteit. Als gevolg daarvan roept het noodzakelijke volumebeleid nog te veel spanningen op..

Wat voor het personenvervoer geldt, gaat ook op voor het **goederenvervoer**, zij het dat de economische betekenis van het gehele professionele vervoer zwaarder moet worden ingeschat dan een deel van het personenvervoer. De Commissie stelt vast, dat een eensluidende waardering van de criteria een moeizame opgave is, mede als gevolg van de internationale invalshoek en de betekenis van Nederland als distributieland. Vervangend vervoer via railverkeer en over de waterwegen is nuttig en noodzakelijk, ook op relatief korte termijn. De Commissie hecht aan de inzet van schonere motoren, aan gecombineerde vervoerssystemen, en aan verbetering van logistiek en vervoersplanning. Uit de hoorzitting is gebleken dat van het bedrijfsleven medewerking valt te verwachten. Haalbaarheid en draagvlak zijn echter twijfelachtig, met name door economische factoren, waardoor volumebeleid een zware opgave wordt. Zowel op nationaal als internationaal vlak moeten daarom afspraken gemaakt worden over een zodanige optimalisering van het goederenvervoer, dat een redelijke bijdrage aan de energiebesparing wordt geleverd.

De Commissie is van oordeel dat de beheersing c.q. beperking van het **vliegverkeer** een effectieve bijdrage kan leveren aan de reductie van kooldioxide-emissies. De synergie met het milieubeleid staat ook vast. De

maatschappelijke betekenis van het vliegverkeer onderkennend, acht de Commissie beperkingen op het vliegverkeer een moeilijke opgave. Over de efficiency en het draagvlak in Nederland bestaan nog geen eensluidende opvattingen, hoewel de kritiek op de groei van het vliegverkeer wel toeneemt. De beheersing van het vliegverkeer is overigens een internationaal vraagstuk, dat nadere studie vergt, vervolgens heldere beleidskeuzen, en instrumenten, die voor een mogelijke beheersing moeten worden ingezet. De Commissie pleit voor een debat over de vraag, of en op welke wijze het luchtverkeer kan worden beperkt, zonder de positieve aspecten van mobiliteit en vervoer uit het oog te verliezen.

Kooldioxide-besparing via kolentechnologie

De Commissie acht verschillende vormen van moderne **kolentechnologie** zoals o.m. wervelbedverbranding, kolenvergassing en poederkooltechnieken op zichzelf van betekenis in het kader van de kooldioxide-reductie. Door een optimalisering van het verbrandingsproces kan immers de uitworp van kooldioxide relatief worden verminderd. De effectiviteit is redelijk maar zeker niet hoog, omdat nu eenmaal verbranding van koolstof uitgangspunt blijft. Wel worden andere milieudoelen – vermindering van zwaveldioxide- en stikstofoxidenemissies – gediend. De Commissie is van oordeel, dat voor wat kolenvergassing betreft de resultaten van de proefprojecten, met name in Nederland (Buggenum) geëvalueerd dienen te worden voordat van intensivering van grootschalige kolenvergassing sprake kan zijn.

Kooldioxide-substitutie via zon, wind of water

De Commissie is van oordeel, dat **zonne-energie** een uiterst effectieve vervanging van fossiele brandstoffen is. Zonne-energie scoort qua potentie en effectiviteit op lange termijn zelfs hoger dan een bron als biomassa. De doelmatigheid (of efficiency) laat vooralsnog te wensen over vanwege de hoge kostprijs en de nog steeds (te) lage energieopbrengst van de zonnecellen. Zonne-energie vergt voorts opslag-systemen, in omvang afhankelijk van de toepassing. De toepasbaarheid is afhankelijk van de geografische plaats, van het tijdstip en van de weersomstandigheden. Daar staat tegenover, dat de maatschappelijke acceptatie groot is. Bovendien valt te verwachten, dat door de wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen op middellange termijn de efficiency van de verschillende systemen groter zal worden. Op grond van milieu-, energie- en industriepolitieke overwegingen dient het wetenschappelijk en technologisch onderzoek te worden bevorderd. Voorts kunnen investeringssubsidies de aanloopkosten voor zonnesystemen verminderen. De internationale acceptatie en haalbaarheid is toereikend. De financiële middelen vormen veelal een belemmering bij de introductie van zonne-energie in zonrijke (ontwikkelings)landen. De Commissie pleit voor steun aan proefprojecten, bij voorbeeld in Afrika of Indonesië.

De Commissie meent, dat **windenergie** evenzeer van betekenis is voor de substitutie van fossiele energiedragers. De directe omzetting in elektrische energie is evenzeer van belang als het ontbreken van emissies. De meningen lopen uiteen inzake de synergetische effecten. Achtergrond daarvan is de afweging tussen de mogelijke kooldioxide-reductie en de problematiek van de ruimtelijke inpassing, de geluidshinder en de verstoring van de vogelstand. Het maatschappelijk draagvlak is meer dan voldoende, de haalbaarheid ook, zij het met de kanttekening, dat vooralsnog financiële instrumenten als stimuleringssubsidies en gegarandeerde terugleververgoedingen noodzakelijk zijn om het prijsverschil met fossiele of kernstroom te overbruggen. Op middellange termijn mag een verdere prijsdaling van windturbines worden verwacht,

evenals een hogere energie-opbrengst. De Commissie acht een vergroting van het windpotentieel in Nederland mogelijk, wanneer planologische belemmeringen worden weggenomen.

Waterkracht vervangt volgens de Commissie in theoretisch en praktisch opzicht op effectieve wijze fossiele energiedragers bij de midden- en grootschalige opwekking van elektriciteit. De jarenlange ervaring in landen als Frankrijk en Noorwegen leert, dat weliswaar forse investeringen noodzakelijk zijn, naast pittige ingrepen in het landschap, als gevolg waarvan andere milieuschade kan ontstaan. Daar staat een vrijwel permanente levering van elektriciteit tegenover, vooropgesteld, dat voorzien is in opslagsystemen van formaat. De realisering van nieuwe voorzieningen kost tijd en geld, en is slechts op een beperkt aantal plaatsen mogelijk. Naar het oordeel van de Commissie levert waterkracht voor Nederland geen noemenswaardige bijdrage aan de kooldioxide-substitutie, ook al past waardering voor de klein- en middenschalige voorzieningen, die in enkele grote rivieren zijn gebouwd. In internationaal verband dient waterkracht wel te worden gestimuleerd, ook via langdurige leveringscontracten met landen met electriciteitsoverschotten. Randvoorwaarden inzake natuur en milieu blijven wel essentieel.

Energiewinning door gebruik te maken van getijdestromen lijkt op het eerste gezicht een effectieve optie, indien bezien tegen de mogelijke vervanging van kooldioxide. Deze energiebron is echter niet overal toepasbaar. Gebruik van **getijde-energie** in Nederland is zo niet geheel uitgesloten, dan toch vrijwel onhaalbaar. De kosten-baten-analyse pakt ongunstig uit. De Commissie acht tegen die achtergrond getijde-energie voor Nederland een vrijwel onmogelijke optie. Toepassing elders is wel mogelijk.

Opslagsystemen zijn geen primaire energiebronnen maar kunnen wel een bijdrage leveren aan een doelmatig gebruik van de beschikbare energie en daarmee aan een relatieve vermindering van het energiegebruik. Bovendien zijn opslagsystemen onmisbaar bij de omzetting van periodieke stromingsenergie (waterkracht, windenergie) in continue electriciteitsproductie. Ter illustratie noemt de Commissie de stuwmeren, elders in Europa en het niet tot uitvoering gekomen Plan Lieveuse in Nederland. De efficiency hangt daarmee in sterke mate af van de vulling van de opslagsystemen. Realisering van opslagsystemen in Nederland blijft voorlopig een moeilijke opgave. Een nieuw onderzoek is noodzakelijk naar de koppeling van grootschalige windparken en opslagsystemen. De Commissie wijst voorts op de mogelijkheid van warmte-opslag in de bodem.

Kooldioxide-substitutie via kernenergie

De Commissie is van mening, dat kernsplijting op zichzelf een effectieve energiebron is, indien uitsluitend beoordeeld op het aspect van de substitutie van kooldioxide. De voorraad aan splijtstoffen is weliswaar ook eindig. Maar tijdens de hoorzittingen bleek, dat de wereld lange tijd vooruit kan. De emissie van kooldioxide bij electriciteitsproductie wordt in belangrijke mate verminderd wanneer kolen, olie of gas – in die volgorde als energiebron wordt vervangen door splijtbaar uranium. Daar staat echter tegenover, dat de toepassing van **kernenergie** andere bezwaren kent: de produktie van radio-actief afval, en de relatief hoge investeringen ter waarborging van de veiligheid. Daarbij komt nog, dat de situering van kerncentrales tamelijk kritisch is, mede gelet op het aspect van de veiligheid. De efficiency van kerncentrales hangt in belangrijke mate af van de prijsvorming van fossiele energiedragers. Het draagvlak voor

kernenergie is in Nederland beduidend kleiner dan in enkele andere (Europese) landen, met name België en Frankrijk.

De Commissie komt evenmin als de tijdens de hoorzitting geraadpleegde deskundigen tot een eensluidende waardering van de synergie en de efficiency van **kernenergie** als optie voor de substitutie van kooldioxide. Zij volstaat vanwege de uiteenlopende opvattingen over de wenselijkheid van kernenergie met de aanduiding van de op deze energiebron toegespitste keuzemogelijkheden. De beleidsopties zijn:

a. Uitsluiten van kernenergie als middel voor kooldioxide-substitutie wegens de genoemde bezwaren en het geringe maatschappelijk draagvlak.

b. Behoud van kennis en expertise, en participatie in wetenschappelijk onderzoek naar derde en vierde generatie kernreactoren om in de toekomst wel kernenergie te kunnen toepassen;

c. Betrokken blijven bij de ontwikkeling van kerncentrales, o.m. via joint venture projecten met andere West-Europese electriciteitsproducenten, met name in Duitsland, België en Frankrijk

d. Op langere termijn: vervanging van de bestaande kerncentrales door nieuwe eenheden, eventueel uitbreiding van kernvermogen

Overige technologische beleidsopties

De Commissie beoordeelt de effectiviteit van **aardwarmte** ter vervanging van fossiele energie als positief, maar tekent daarbij wel aan, dat de efficiency niet op voorhand vast staat, gelet op de relatief kostbare investeringen, die gedaan moeten worden om tot een bevredigende opbrengst aan energie te komen. Op korte termijn zijn geen opzienbarende resultaten te verwachten, zeker niet in Nederland, waar onderzoek al heeft uitgewezen, dat een verantwoorde exploitatie onzeker is. Niettemin dient de benutting van aardwarmte wel als onderzoek- en beleids optie open gehouden te worden.

Het gebruik van **biomassa**, zo is ook bij de hoorzittingen gebleken, als een belangrijke (bio)technologische optie gezien om tot een partiële sluiting van de koolstofkringloop te komen. De omzetting van zonne-energie in biomassa, die vervolgens weer als brandstof bij voorbeeld: biodiesel, vergassing van biomassa, houtsnippers in elektriciteitscentrales – wordt gebruikt is een effectieve vervanging van fossiele energiedragers. De efficiency kan volgens de Commissie redelijk positief uitpakken, afhankelijk van de biotechnologische opzet, de schaalgrootte en het verwerkings- en verbrandingsproces. Enige milieubelasting is niet op voorhand uitgesloten, vandaar de onzekerheid over de synergetische effecten. Draagvlak en haalbaarheid worden positief beoordeeld, ook buiten Nederland.

De Commissie acht de ontwikkeling van **brandstofcellen** een veelbelovende technologische optie, een effectieve benutting ook van primaire energiedragers, waarbij de belasting van het milieu waarschijnlijk te verwaarlozen is. De ontwikkeling is overigens nog niet in een zodanig stadium, dat op korte termijn een grote bijdrage aan de reductie van kooldioxide mag worden verwacht. Op langere termijn echter zullen brandstofcellen een effectieve en efficiënte rol spelen in de energievoorziening, met name in kleinen middenschalige toepassingen. Over draagvlak en haalbaarheid valt nog niet veel te zeggen gelet op het ontwikkelingsstadium: de verwachtingen zijn echter positief.

De Commissie vestigt in aansluiting op het gestelde over de brandstofcellen de aandacht op de wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen inzake de **waterstofkringloop**, die in de toekomst een deel van de

doorbroken koolstofkringloop kan vervangen. Verbranding van waterstof levert veel energie, en water als natuurlijk produkt, dat via elektrolyse weer in waterstof en zuurstof kan worden gesplitst. De daartoe noodzakelijke elektriciteit moet dan wel uit niet-fossiele bronnen worden gewonnen (zon, wind, water, kernsplijting- of fusie). Het onderzoek naar de toepassing van waterstofkringlopen dient naar het oordeel van de Commissie te worden geïntensiveerd, ook vanwege het belang voor de sector verkeer en vervoer.

Beleidsinstrumenten

Tabel 4: Beoordelingskader CO2-reductie – beleidsinstrumenten

Beoordelingsaspecten >	Effectiviteit	Synergie	Snelheid	Efficiency	Draagvlak Ned ¹¹	Draagvlak	Haalbaar Ned	Haalbaar Int
Directe regulering								
Gebodswetgeving ¹²	+ /++	+ /++	M	+	+	0/+	0/+	0/+
Verbodswetgeving	+	+ /++	M	0/+	0/+	-/0	0/+	-/0
Convenanten ¹³	+	+ /++	K/M	+ /++	+ /++	0/+	+ /++	0/+
Communicatief								
Voorlichting	0/+	+	K	+ /++	+ /++	0/+	+ /++	0/+
Educatie	+ /++	+ /++	K	+ /++	+ /++	0/++	+ /++	0/++
Stimuleringsprojecten	+ /++	+ /++	K/M	+ /++	+ /++	+	+ /++	0/++
Milieudiplomatie	+ /++	+ /++	K/M	+ /++	+ /++	0/+	+ /++	0/+
Financieel-Economisch								
Energiebelasting ¹⁴	-/+	0/+	K	-/+	0	-/0	0	-/0
Bestemmingsheffing ¹⁵	-/++	+ /++	K	-/++	0/+	-/0	0/+	-/0
Regulerende heffing ¹⁶	-/++	+ /++	M	-/++	-/+	-/0	0/+	-/0
Overige fiscale instrumenten	0/++	+ /++	K/M	-/+	0/+	-/0	0	-/0
Terugleververgoeding ¹⁷	0/++	+ /++	K/M	+ /++	+ /++	0/+	+ /++	0/+
Verhandelbare emissierechten ¹⁸	+ /++	+ /++	M/L	+	0/+	-/+	-/+	-/+
Overige instrumenten								
Joint Implementation	+ /++	+ /++	K/M	+ /++	+ /++	0/++	+ /++	0/++
Stimulering onderzoek ¹⁹	+ /++	+ /++	K/M	+ /++	+ /++	0/++	+ /++	0/++

¹¹ Ned: nationaal; Int: internationaal

¹² Voorbeeld: Wet energiebesparing toestellen

¹³ Bedoeld zijn afdwingbare convenanten of meerjaren afspraken

¹⁴ Energieparagraaf uit de Wet op de milieubelasting; opbrengst in beginsel naar algemene middelen

¹⁵ Specifieke heffingen gericht op CO2-reductie

¹⁶ Conform Rapport Commissie Wolfson

¹⁷ Vergoeding volgens de norm van de uitgespaarde brandstofkosten bij levering van via WKK of uit duurzame bronnen opgewekte stroom aan het net

¹⁸ Bedoeld zijn verhandelbare emissierechten

¹⁹ Inclusief subsidies

Directe regulering

De Commissie acht **gebodswetgeving** een doelmatig en doeltreffend instrument om de reductie van kooldioxide via besparing, substitutie en wellicht ook opslag te bevorderen. Resultaten worden – afgezien van de nu al beschikbare instrumenten zoals de Wet energiebesparing toestellen – verwacht op middellange termijn, omdat nieuwe wetgeving enige tijd vergt. Daarnaast moet aan bedrijfsleven en huishoudens ruimte worden gegeven de nieuwe normen en doelvoorschriften te implementeren. Het maatschappelijk draagvlak is volgens de Commissie nog niet overtuigend maar groter dan elders in Europa. De haalbaarheid hangt in sterke mate af van de bewustwording inzake het klimaatvraagstuk en van de ontwikkeling van communautaire regelgeving.

Verbodswetgeving verdient volgens de Commissie niet de schoonheidsprijs, maar is niettemin een redelijk effectief instrument om de terugdringing van de uitstoot van kooldioxide te bevorderen. De synergie met andere milieubeleidsmaatregelen is onmiskenbaar. De Commissie acht verbodswetgeving tamelijk efficiënt, overigens afhankelijk van het toepassingsgebied. Het draagvlak is echter nationaal en internationaal minder groot door de afkeer van verboden. Een goede handhaving is dus essentieel. De haalbaarheid roept mede daarom vooralsnog enkele vraagtekens op. Internationale afstemming is volgens de Commissie ook een vereiste.

Convenanten hebben in Nederland hun nut als beleidsinstrument al bewezen, ook op het terrein van de energiebesparing en dus kooldioxide-reductie. De Commissie oordeelt positief over de effectiviteit van convenanten, hoewel voortgangscontrole geboden blijft, naast sancties wanneer de afspraken niet worden nagekomen. Ook de synergie met andere beleidsmaatregelen dient genoemd te worden, naast de mogelijkheid om op betrekkelijk korte termijn behoorlijke resultaten te boeken. Draagvlak en haalbaarheid zijn in Nederland – ook door de opgedane ervaringen – hoog te noemen. Op het internationale moet echter nog het een en ander gebeuren. Nederland kan daarbij een stimulerende rol spelen, ook via het internationaal georiënteerde bedrijfsleven.

Communicatieve instrumenten

De Commissie acht **voorlichting** een onmisbaar instrument in het kader van de bewustwording. Weliswaar is het directe effect niet erg groot. Maar de haalbaarheid van het klimaatbeleid hangt toch in grote mate af van het maatschappelijk draagvlak voor beleidsmaatregelen, zeker wanneer die maatregelen – denk aan de eventuele beperking van de mobiliteit of aan lastenverhoging ingrijpen in de persoonlijke vrijheid. De Commissie heeft bij de hoorzittingen vastgesteld, onder meer uit de bijdragen vanuit het bedrijfsleven – werkgevers- en vooral werknemersorganisaties – dat al veel aandacht wordt besteed aan het aspect voorlichting. De overheid dient daarbij volgens de Commissie een activerende en ondersteunende rol te spelen. Ook de consumentenorganisaties en de milieubeweging kunnen hierbij van grote betekenis zijn.

Educatie verdient als meer structurele wijze van informatie-overdracht volgens de Commissie een bijzondere plaats in het milieubeleid, dus ook bij de bewustmaking voor de aanpak van het klimaatvraagstuk. Effectiviteit en synergie met het milieubeleid worden hoger ingeschat dan bij de meer incidentele voorlichting. De praktijk heeft al geleerd, dat milieueducatie via het onderwijs efficiënt kan plaats vinden. De belangstelling is ook zodanig, dat draagvlak en haalbaarheid gewaarborgd zijn. De Commissie heeft de indruk, dat de situatie elders in Europa nogal verschilt van die in Nederland.

De Commissie wil een lans breken voor **stimuleringsprojecten** als communicatief beleidsinstrument. Effectiviteit en efficiency worden zeer positief gewaardeerd, evenals de invloed op het milieubeleid als zodanig. Stimuleringsprojecten kunnen – evenals educatie en voorlichting – op korte termijn vruchten afwerpen. Ter illustratie wijst de Commissie op de destijds bevordering van windenergie, en op de stimulering van andere vervoersvormen.

Fiscale en andere financiële beleidsinstrumenten

Fiscale beleidsinstrumenten hebben volgens de Commissie primair tot doel de directe of indirecte bevordering van het beoogde beleid. Daarnaast genereren deze instrumenten een financiële opbrengst, die geheel, gedeeltelijk of zelfs niet ingezet wordt voor het specifieke beleid. Tegen die achtergrond onderscheidt de Commissie belastingen, heffingen en accijnzen. De opbrengst van belastingen gaat in principe naar de algemene middelen. De opbrengst van bestemmingsheffingen dient een doel, dat rechtstreeks verband houdt met de aard van de heffing. Regulerende heffingen worden in het algemeen rechtstreeks teruggesluisd naar de samenleving. Accijnzen zijn een bijzondere vorm van verbruiksbelasting, en als zodanig bestemd voor de algemene middelen van de overheid. De omvang van elk van deze instrumenten bepaalt de regulerende werking, en de tegenkrachten, wanneer internationale afstemming en harmonisatie uitblijft.

Gelet op de (nog te voeren) discussie over de vergroening van het fiscale stelsel merkt de Commissie op, dat de vormgeving van het fiscale stelsel van invloed is op het te voeren (milieu)beleid. Binnen de Commissie leven verschillende opvattingen over **milieu en energiebelastingen**. De verschillen betreffen met name de effectiviteit als instrument voor kooldioxide-reductie, terwijl ook zij het minder twijfels bestaan over de efficiency en de synergie van het middel. Maatschappelijk draagvlak en haalbaarheid scoren vooralsnog laag, vooral internationaal. In Nederland valt overigens een toenemende politieke steun waar te nemen voor de verschuiving van belasting op arbeid naar belasting op vervuiling. Ook bij de hoorzittingen werd de fiscale instrumenten meermalen genoemd, in negatieve maar ook positieve zin. De al bestaande Wet op de milieubelasting leert, dat regelgeving op zichzelf op relatief korte termijn mogelijk is. De Commissie tekent daarbij wel aan, dat aan de presentatie van dit type beleidsmaatregelen hoge eisen moeten worden gesteld. Voorts kan eenzijdige invoering van energiebelasting in Nederland leiden tot een belasting- en investeringsvlucht naar elders. Harmonisatie is derhalve een vereiste.

De Commissie rekent **accijnzen op brandstoffen en de belasting op voertuigen** tot de fiscale instrumenten, die in werking gelijk gesteld kunnen worden aan de milieu- en energiebelasting. Ter illustratie: de effecten van de variabilisatie van de belasting op brandstoffen en voertuigen.

De Commissie stelt vast, dat de waardering voor **bestemmingsheffingen**, waarbij de opbrengst (vrijwel) geheel besteed wordt voor een specifiek doel, dat samenhangt met de grondslag van de heffing – voorbeeld: zuiveringslasten met synergie naar het milieubeleid groter is dan voor energiebelastingen die naar de algemene middelen vloeien. Dat draagvlak en haalbaarheid niet optimaal zijn, vindt waarschijnlijk zijn oorsprong in de wijze waarop de overheid in het verleden met een aantal bestemmingsheffingen, waaronder de vroegere kooldioxide-heffing, is omgegaan. Bestemmingsheffingen op fossiele energiedragers zijn volgens de Commissie mogelijk, wanneer de volledige opbrengst wordt gebruikt voor de stimulering van energiebesparing en niet-fossiele energiebronnen. Wat betreft aard en omvang dient rekening gehouden te worden met de internationale concurrentiepositie van het bedrijfsleven. Echter: bij gerichte besteding van de middelen kan innovatie ook tot een structurele voorsprong leiden.

De Commissie oordeelt verschillend over **regulerende heffingen** als financieel beleidsinstrument. Tegenover positieve waardering van de

effectiviteit en efficiency van dit type heffingen staan twijfels over de eigenlijke werking en de omvang van de beoogde effecten. Ook tijdens de hoorzittingen waren uiteenlopende opvattingen te horen over dit instrument, dat overigens in Nederland meer aanhangers telt dan daarbuiten. De Commissie acht op korte termijn een nader beleidsmatig onderzoek noodzakelijk, wil het draagvlak en de haalbaarheid van regulerende heffingen als instrument voor kooldioxide-reductie worden vergroot. Een dergelijke studie dient meer helderheid te verschaffen over aspecten, die bepalend zijn voor het eventuele welslagen van het instrument: aard en omvang van regulerende heffingen, de mogelijkheden van terugsluizing inclusief de voors en tegens, de internationale concurrentiepositie, de verschillen tussen een eenzijdige, partiële of volledig Europese aanpak.

Naast de belastingen en de heffingen kunnen volgens de Commissie ook **andere fiscale instrumenten** een rol spelen bij het milieu- en klimaatbeleid. Het toestaan van vervroegde afschrijving of het verlenen van fiscale vrijstelling ter stimulering van investeringen ten gunste van het milieu staan aan de ene kant van de streep, instrumenten zoals het reiskostenforfait aan de andere kant. Hoewel over de haalbaarheid van een enkel instrument verschillend wordt gedacht, is de Commissie van oordeel, dat fiscale instrumenten positief moeten worden gewaardeerd.

Terugleververgoedingen zijn al een bekend instrument in de electriciteitswereld, die al geruime tijd zorg draagt voor een goede inpassing van elektriciteit uit WKK of van windmolens in de electriciteitsvoorziening. Over de hoogte en omvang van de vergoedingen mag dan regelmatig discussie plaats vinden, vast staat ook volgens de Commissie, dat terugleververgoedingen in het algemeen positief worden gewaardeerd.

Het instrument van de **verhandelbare emissierechten** heeft tijdens de hoorzittingen veel aandacht gekregen. De Commissie heeft ondanks de soms verdeelde adviezen en de twijfels over draagvlak en haalbaarheid, vooral internationaal, geconstateerd, dat dit instrument zowel op grond van effectiviteit als efficiency een forsere stimulering verdient. Resultaten mogen echter niet op korte termijn worden verwacht. Het thema van de creditering vergt een nadere studie, ook om te bezien of in deelsectoren of deelgebieden een begin kan worden gemaakt.

Overige instrumenten

Milieudiplomatie is volgens de Commissie onontbeerlijk bij de aanpak van milieuvraagstukken, die van internationale, zelfs mondiale aard zijn. Naarmate in eigen land een geloofwaardiger beleid wordt gevoerd, kan Nederland met name in Europees verband indruk te maken in het streven het klimaatbeleid een groot internationaal draagvlak te verschaffen. Kennis van zaken en argumenten moeten overtuigend werken, naast het begrip voor de onderlinge afhankelijkheid van de lidstaten. De Commissie pleit voor een versterking van de milieudiplomatie, waarbij doortastendheid gepaard wordt aan bescheidenheid.

Joint Implementation is blijkens vrijwel alle commentaren het aangewezen instrument om het klimaatvraagstuk met zijn mondiale oorzaken en gevolgen aan te pakken. De Commissie deelt die opvatting, temeer waar Joint Implementation op verschillende manieren kan worden toegepast, rekening houdend met de nationale of regionale situatie. Draagvlak en haalbaarheid kunnen en moeten worden vergroot, zeker naar de kritische ontwikkelingslanden, wanneer met respect voor de soevereiniteit gewerkt wordt aan milieu-innovatie, die meer doelen dient.

Naast de bosbouw illustreert de Commissie het belang van Joint Implementation met de preventie van aardgaslekken in Rusland en de stimulering van zonne-energie in diverse ontwikkelingslanden.

Stimulering van **wetenschappelijk onderzoek** en technologische innovatie is op vrijwel elk beleidsterrein onmisbaar. Datzelfde geldt, wellicht in nog sterkere mate, voor het onderzoek naar de oorzaken en gevolgen van de klimaatveranderingen en naar de maatregelen tot beheersing van het klimaatvraagstuk. Het zekere voor het onzekere nemen impliceert volgens de Commissie ook, dat Nederland in aansluiting op de al opgebouwde expertise een forse en structurele bijdrage blijft leveren aan het internationale klimaatonderzoek. Uit de al aangeduide technologische beleidsopties kan volgens de Commissie afgeleid worden, dat zowel de baisfinanciering als het gerichte onderzoek naar energiebesparing en naar diverse vormen van kooldioxide-substitutie ook op langere termijn moet worden veilig gesteld. Prioriteit verdienen integraal besparingsbeleid, vervoerssystemen, waterstof-economie en zon- en windenergie.

HOOFDSTUK VI SLOTAKKOORD

1. De Commissie komt ter afronding van haar bevindingen tot een letterlijk en figuurlijk te nemen slotakkoord waarin de richting van het te voeren klimaatbeleid in de internationale en nationale context wordt bezien. De Commissie kiest, het geheel aan bevindingen overziende voor het **voorzorgbeginsel** als richtsnoer voor het beleid. De Commissie heeft zich uitvoerig op de hoogte gesteld van de opvattingen onder wetenschappers over de klimaatproblematiek en de menselijke factor daarin. Hoewel de Commissie niet de pretentie heeft om een wetenschappelijk oordeel te geven, is zij wel van oordeel dat de signalen, dat een toename van de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer leidt tot klimaatverandering met mogelijk ingrijpende en gevaarlijke effecten, ernstig genomen moeten worden. Adequaat en snel reageren is noodzakelijk. De aanwezigheid van wetenschappelijke onzekerheden en de noodzaak van verder onderzoek mogen geen alibi zijn voor een beleid van «business as usual»; de Commissie meent dat het zekere voor het onzekere moet worden genomen.

2. De Commissie herinnert er aan dat in artikel 2 van het Klimaatverdrag is vastgelegd dat de concentraties van broeikasgassen gestabiliseerd moeten worden op een niveau waarbij een gevaarlijke beïnvloeding van het klimaat door menselijk handelen wordt voorkomen. Algemeen wordt aangenomen dat hiervan sprake is wanneer de temperatuur mondiaal gemiddeld met meer dan 1°C per eeuw stijgt.

Als de broeikasgassen volgens de huidige trends aan de atmosfeer worden toegevoegd, zullen de concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer nog zeer lange tijd blijven toenemen. De wetenschappelijke verwachting is dat mondiaal de gemiddelde temperatuur tussen 1990 en 2100 binnen een marge van 1 tot 4.5°C zal stijgen, en de zeespiegel binnen een marge van 10 cm en een meter.

Om de concentratie van kooldioxide, het belangrijkste broeikasgas, te stabiliseren op één, resp. twee maal het preindustriële niveau is een mondiale emissiereductie nodig van 90%, resp. 70% ten opzichte van 1990. Dit illustreert de ernst van het vraagstuk. Zeer grote mondiale emissiereducties zijn dan ook noodzakelijk. Dit is een enorme opgave omdat de al maar stijgende trend moet worden omgebogen in een stevig dalende.

3. De Commissie meent dat dit voor de **geïndustrialiseerde landen** in nog sterkere mate geldt, omdat voor ontwikkelingslanden enige groei van emissies onvermijdelijk moet worden geacht, gezien de verwachte bevolkingstoename en economische groei. Overigens is de positie van ontwikkelingslanden in het Klimaatverdrag erkend, evenals de afspraak dat de geïndustrialiseerde landen de leiding dienen te nemen bij het bestrijden van klimaatverandering, gezien hun economische en technologische voorsprong en hun relatief hoge niveau van emissies.

4. De Commissie beantwoordt de vraag of **kwantitatieve doelstellingen** moeten worden vastgesteld positief omdat die richting en inspiratie aan het beleid geven en vooral het ambitieniveau vastleggen dat overheid en maatschappelijke actoren willen of moeten bereiken. Kwantitatieve doelstellingen bieden ook het aangrijpingspunt om tot een verdeling tussen landen, en nationaal gezien tussen sectoren te kunnen komen. Voor sommige instrumenten als Joint Implementation en verhandelbare emissierechten is het stellen van kwantitatieve doelen zelfs een voorwaarde als maatstaf waartegen landen en/of bedrijven hun inspanningen kunnen crediteren, resp. verhandelen.

5. Omdat klimaatverandering een mondiaal probleem is, moet volgens de Commissie de afweging, hoeveel emissiereductie Nederland moet realiseren en in welk tempo, worden afgezet tegen het mondiale decor. Het gaat er dus om een zodanige Nederlandse inzet te kiezen dat in de internationale onderhandelingen een maximaal resultaat wordt bereikt.

De Commissie stelt vast dat door de energie-intensieve productie en consumptie de bijdrage van **Nederland** aan de emissies van broeikasgassen per hoofd van de bevolking vergeleken met andere landen weliswaar hoog is, maar dat de totale uitstoot van ons land minder dan 1% van de mondiale emissies is. Een grote emissieverlaging in ons land zal dan ook gepaard moeten gaan met een vergelijkbare verlaging in met name de andere geïndustrialiseerde landen.

Omdat Nederland een relatief energie-intensief productie- en consumptiepatroon heeft, is het een nationaal eigenbelang om vroegtijdig te anticiperen op toekomstig energie- en klimaatbeleid om schoksgewijze aanpassingen te voorkomen.

Tegelijk is de Nederlandse industrie internationaal gezien energie-efficiënt. Dus schoksgewijze veranderingen en desinvesteringen moeten worden voorkomen omdat die zouden kunnen leiden tot een verplaatsing in plaats van een reductie van emissies.

6. De Commissie is van oordeel dat er in Nederland een grote potentie is om door **technologische verbeteringen en vernieuwingen** op de middellange termijn aanzienlijke emissiereducties te realiseren. De Commissie acht een reductie van 30 tot 40% in 2020 ten opzichte van 1990 haalbaar. De feitelijke omvang hangt uiteraard af van de te kiezen beleidsopties. De Commissie bepleit een maximale inspanning van overheid en maatschappelijke actoren om zoveel mogelijk van de technologische opties te benutten. De overheid moet, mede met het oog op de internationale concurrentiepositie, een bijdrage leveren aan het wegnemen van de spanning tussen technische en economische mogelijkheden door de inzet van effectieve beleidsinstrumenten.

7. Op basis van de inventarisatie van beleidsopties acht de Commissie energiebesparing bij bedrijven en huishoudens het meest kansrijk. Vervanging van fossiele brandstoffen door zonne- en windenergie en biomassa biedt ook (internationaal) grote mogelijkheden. Minder kansrijk, maar wel van belang als tussenoplossing zijn opslagsystemen van kooldioxide zoals door bebossing en ondergrondse opslag. Op langere termijn kan veel verwacht worden van brandstofcellen en van waterstof als energiedrager.

Voorts zijn technologische en maatschappelijke doorbraken nodig alsmede aanpassing van consumptie- en productiepatronen. De Commissie ziet hier de navolgende knelpunten: het vraagstuk van de mobiliteit; voorts de vraag of en onder welke condities financiële en fiscale instrumenten worden ingezet, en tenslotte energiediversificatie (vooral het al dan niet toepassen van kernenergie). Zonder deze knelpunten aan te pakken, wat grote politieke investeringen vergt, is het oplossen van de klimaatproblematiek schier onmogelijk.

8. Alles overziende bepleit de Commissie dat Nederland langs de volgende twee sporen een geloofwaardig beleid gaat voeren:

* Nederland zet in de internationale onderhandelingen in op een mondiale lange termijn doelstelling die de ernst van de klimaatproblematiek weerspiegelt. Dat betekent dat de industriële landen, inclusief Nederland, zich er aan moeten verbinden de volgende eeuw de emissies van met name kooldioxide gezamenlijk met vele tientallen procenten terug te brengen. Omdat Nederland deel uitmaakt van de Europese Unie ligt het voor de hand dat deze verplichting in Europees

verband wordt overeengekomen. De volgende onderhandelingsronde in het Klimaatverdrag die eind 1997 in Japan wordt afgerond, biedt hiervoor de eerste gelegenheid.

* Nederland legt zich vast op een nationale reductiedoelstelling die hierbij past en neemt daartoe concrete beleidsmaatregelen. Nederland laat daarmee zien zich daadwerkelijk in te spannen om de klimaatproblematiek aan te pakken.

Dr. A.P.M. Baede

28 februari 1996
Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
Het IPCC-proces van binnenuit

Dr. S.C. van de Geijn

28 februari 1996
Instituut voor Agrobiologisch Onderzoek
De kwetsbaarheid van groene ecosystemen

Dr. J. Marks

28 februari 1996
Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen Directie Onderzoek
en Wetenschapsbeleid
Verschillen in benadering tussen internationale
klimaatonderzoeksprogramma's

Prof. dr. ir. P. Vellinga

29 februari 1996
Instituut voor Milieuvraagstukken
De gevolgen van klimaatverandering voor het Nederlands kustgebied

Prof. dr. ir. H. Tennekes

29 februari 1996
Vrije Universiteit
Klimaatmodellen vanuit dynamisch-meteorologisch perspectief

Prof. dr. C.J.F. Böttcher

29 februari 1996
The Global Institute for the Study of Natural Resources
Geloof en ongeloof in conventioneel klimaatdenken

Dr. A. Kattenberg

14 maart 1996
Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
De werking van klimaatmodellen en de betrouwbaarheid van hun
uitkomsten

Dr. J. van Lenthe

14 maart 1996
Rijksuniversiteit Groningen – Interfacultaire Vakgroep Energie en
Milieukunde
De bruikbaarheid van expertmeningen

Dr. A.P. van Ulden

18 maart 1996
Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
Oorzaken en gevolgen van de verstoring van de stralingsbalans door
menselijke activiteiten

Ir. L. Bijlsma

21 maart 1996
Rijksinstituut voor Kust en Zee
Gevolgen van klimaatverandering voor de waterhuishouding in Nederland

Dr. R.J. van Duinen

28 maart 1996

Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek
De onafhankelijkheid van de Nederlandse klimaatonderzoeker

K. Knip

28 maart 1996

NRC Handelsblad – Redactie Wetenschap & Onderwijs
Het IPCC-proces van buitenaf

Prof. dr. J.C. van der Leun

28 maart 1996

Academisch Ziekenhuis Utrecht – Afdeling Dermatologie
Koppelingen tussen de broeikas- en de ozonproblematiek

Prof. dr. ir. J. Goudriaan

11 april 1996

Landbouwwuniversiteit te Wageningen – Theoretische Productie Ecologie
De koolstofkringloop

Prof. dr. H. Hooghiemstra

11 april 1996

Hugo de Vries Laboratorium
Voorspelde klimaatverandering in het perspectief van verleden
klimaatveranderingen

Prof. dr. J. Oerlemans

11 april 1996

Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek
Klimaatverandering en de cryosfeer

Prof. dr. C.J.E. Schuurmans

11 april 1996

Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek Utrecht
Verleden adviezen aan de regering aangaande de klimaatproblematiek

Dr. F. Krause

18 april 1996

International Project for Sustainable Energy Paths
Een integrale economische benadering van het
kooldioxide-emissiereductiepotentieel

Dr. ir. E.T. Feguson

22 april 1996

MacFergus
Een beleidsoptie voor het beheersen van klimaatverandering uit het
ongerijmde

Dr. ir. R. Swart

22 april 1996

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
Hoe komen broeikasgasscenario's tot stand en wat leren zij ons

Prof. dr. W.C. Turkenburg

22 april 1996

Universiteit Utrecht – Vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving
Technologische opties om klimaatverandering te beheersen

Prof. dr. J.H.G. Klabbers

24 april 1996

Klabbers Management & Policy Consultancy B.V.

Maatschappelijke percepties van de ernst van de broeikasproblematiek

Prof. dr. ir. R. Rabbinge

24 april 1996

Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid

De klimaatproblematiek in het perspectief van de stellingname van de

WRR omtrent duurzame risico's

Prof. dr. C.A.J. Vlek

24 april 1996

Rijksuniversiteit Groningen – Sociale en Organisationspsychologie

Een gedrags- en besliskundige benadering van de klimaatproblematiek

Mw. prof. dr. J.C.M. van Eijndhoven

25 april 1996

Rathenau Instituut

De bruikbaarheid van een risicobenadering als beleidsoptie voor het

beheersen van klimaatverandering

Prof. dr. J.B. Opschoor

25 april 1996

Institute for Social Studies

Beleidsinstrumenten die gebruikt kunnen worden om klimaatverandering

te beheersen

EnergieNed (Vereniging van energiedistributiebedrijven in Nederland)

Dr. R.H.J. van 't Hullenaar, Dhr. Blok en Mw. mr. W.N. Kip 13 mei 1996

SEP (Samenwerkende elektriciteits-productiebedrijven)

Mr. M.A.P.C van Loon, en Ir. Kleinbloesem

13 mei 1996

VNO/NCW (Raad van Nederlandse werkgeversverbonden)

Drs. J.C. Blankert, J.L. Van den Akker, Ir. M.P.H. Korten, Ir. L. Koster en Ir. H. van den Wetering

13 mei 1996

MKB-Nederland

Prof. dr. ir. N. Wijnolst en drs. M.W.Chr. Udo

13 mei 1996

SIGE (Samenwerkingsverband industriële grootafnemers van energie)

Ir. C. Parlevliet

13 mei 1996

FNV

Dhr. H.J. Leemreize

13 mei 1996

EVO (ondernemersorganisatie voor logistiek en transport)

Ir. L. D'Hont

13 mei 1996

Nederland Distributieland

Dhr. Radstaak

13 mei 1996

ANWB

Dhr. Engelsman en dhr. Langeweg
13 mei 1996

CLM (Centrum voor landbouw en milieu)

Ir. E.E. Biewinga en drs. W.J. van der Weyden
13 mei 1996

LTO Nederland (Federatie van land- en tuinbouworganisaties)

Dhr. G.J. Doornbos en Dhr. J.W. Straatsma
13 mei 1996

Wereld Natuurfonds

Dhr. E. Nijpels
13 mei 1996

Stichting Natuur en milieu

Dhr. van den Biggelaar
13 mei 1996

Milieudefensie

Dhr. Th. Wams
13 mei 1996

Prof. dr. H.N.A. Priem

30 mei 1996
Instituut voor aardwetenschappen

Shell Nederland B.V.

Dr. Chr. Anastasi en dhr. L. Koster
30 mei 1996

Overzicht openbare hoorzittingen deel 1

Thema: «Oorzaken en gevolgen klimaatverandering»

Maandag	6 mei 1996
11.00–12.30	Algemene inleiding. Dr. G.J. Komen (KNMI)
13.30–15.00	De verwachte klimaatverandering in historisch perspectief, klimaatverandering de afgelopen eeuw, zeespiegelstijging. Prof. dr. J. Oerlemans (Universiteit Utrecht)
15.15–16.45	De koolstofkringloop. Prof. dr. ir. J. Goudriaan (Landbouwuniversiteit te Wageningen)
Woensdag	8 mei 1996
10.00–11.30	Koppeling ozon- en broeikasproblematiek. Prof. dr. J.C. van der Leun (Academisch Ziekenhuis Utrecht)
	Alle volgende sprekers: fundamentele fysische processen (stralingsbalans en dynamisch gedrag van de atmosfeer), klimaatvoorspellingen, klimaatmodellen.
11.45–13.15	Dr. A.P. van Ulden (KNMI)
14.00–15.30	Prof. dr. ir. H. Tennekes (Vrije Universiteit Amsterdam)
15.45–17.15	Dr. A. Kattenberg (KNMI)
Donderdag	9 mei 1996
10.00–11.30	Gevolgen van klimaatverandering voor de waterhuishouding in Nederland. Ir. L. Bijlsma (Rijksinstituut voor Kust en Zee)
11.45–13.15	Gevolgen van klimaatverandering voor (agro-)ecosystemen. Dr. S.C. van de Geijn (Instituut voor Agrobiologisch onderzoek)
14.00–15.30	Het IPCC-proces van buitenaf beoordeeld. Prof. dr. C.J.F. Böttcher (The Global Institute for the Study of Natural Resources)
15.45–17.15	Het IPCC-proces van binnenuit gezien. Dr. A.P.M. Baede (KNMI)

n.b.: zie ook de hoorzitting maandag 3 juni 1996 met Prof. dr. P.J. Crutzen (Max Planck Instituut für Chemie) met betrekking tot de ozonlaag en het klimaatsysteem

Overzicht openbare hoorzittingen deel 2

Thema: «Mogelijke beheersmaatregelen en sociale aspecten betreffende klimaatverandering»

Maandag	20 mei 1996
11.00–12.30	Algemene inleiding Dr. J.J.C. Bruggink (Energieonderzoek Centrum Nederland)
13.30–15.00	Internationale strategieën en besturingsmogelijkheden Prof. dr. J. Klabbers (KMPC)
15.15–16.45	Hoe komen mensen tot gedrag en is dit gedrag te veranderen? Prof. dr. C.A.J. Vlek (Rijksuniversiteit Groningen – Sociale- en Organisationspsychologie)
Woensdag	22 mei 1996
10.00–11.30	Typen van beleidsinstrumenten Prof. dr. J.B. Opschoor (Institute for Social Studies)
11.45–13.15	Technologische opties Prof. dr. W.C. Turkenburg (Universiteit Utrecht – Vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving)
14.00–15.30	Uitgangspunten en resultaten van broeikasgas-scenario's Dr. ir. R. Swart (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne)
15.45–17.15	Beheerskosten Prof. dr. H. Verbruggen (Instituut voor Milieuvraagstukken)
Donderdag	23 mei 1996
14.00–15.30	De klimaatproblematiek vanuit een risicobenadering Prof. dr. ir. R. Rabbinge (Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid)
15.45–17.15	De klimaatproblematiek vanuit een onzekerheidsbenadering Prof. dr. J.C.M. van Eijndhoven (Rathenau Instituut)

Overzicht openbare hoorzittingen deel 3

Thema: «Gewenste beheersmaatregelen, in nationaal, Europees en mondiaal perspectief»

Maandag	3 juni 1996
11.00–12.30	Ozonlaag, klimaatsysteem Prof. dr. P.J. Crutzen (Max Planck Institut für Chemie) <i>Deze hoorzitting behoort tot het thema van de eerste serie hoorzittingen «Oorzaken en gevolgen klimaatverandering»</i>
14.00–15.00	Internationaal onderhandelingsklimaat Prof. dr. P. Vellinga (Instituut voor Milieuvraagstukken)
15.00–16.00	Agrarische sector LTO Nederland – G.J. Doornbos
16.00–17.00	CLM – drs. W.J. van der Weyden en ir. E.E. Biewinga Fossiele brandstoffen Olie Contact Commissie – dr. ir. C.A.P. Bakker Gasunie – drs. G. Verberg en ir. E. Freese
Woensdag	5 juni 1996
10.00–11.00	Werkgevers VNO/NCW – drs. J.C. Blankert en ir. M.P.H. Korten MKB Nederland – prof. dr. ir. N. Wijmolst en drs. M.W.C. Udo
11.00–12.00	Werknemers FNV – J. Stekelenburg CNV – mr. A.A. Westerlaken
12.00–13.00	Verkeer en Vervoer Nederland Distributieland – B.G. Radstaak EVO – ir. L. D'Hont Transport en Logistiek Nederland – mr. F.J.D. Wiegerink
14.00–15.00	Electriciteitsleverantie SEP – mr. M.A.P.C. van Loon EnergieNed – dr. R.H.J. van 't Hullenaar
15.00–16.00	Milieu-organisaties Wereld Natuur Fonds – S. Schöne Stichting Natuur en Milieu – prof. dr. L. Reijnders Milieudefensie – mw. M. Buitenkamp

Geïllustreerd aan de klimaatproblematiek

*J. van Lenthe
Interfacultaire vakgroep Energie en Milieukunde Rijksuniversiteit
Groningen*

Deze bijlage vormt een uitwerking van de presentatie «*Ontlokken van onzekere kennis aan experts*» die gehouden is tijdens een besloten hoorzitting van de Tijdelijke Commissie Klimaatverandering op 14 maart 1996. Vooraf werd door de commissie verzocht om met name in te gaan op (a) de vraag wat het klimaatprobleem onderscheid van andere door middel van openbare hoorzittingen onderzochte problemen en (b) de kwestie van het ontlokken en kwantificeren van (onzekere) kennis van experts.

De bijlage begint met een beschouwing over de wenselijkheid van het inschakelen van experts bij hoorzittingen (Par. 1). De klimaatproblematiek is exemplarisch voor de complexe en multidisciplinaire problematiek waarbij het raadzaam is om experts te raadplegen (Par. 2). In de bijlage worden twee studies besproken die illustreren dat expertoordelen vaak worden gekenmerkt door onzekerheid en behoorlijke onderlinge verschillen (Par. 3). Daarna wordt kort ingegaan op het kwantificeren van onzekere kennis (Par. 4) en op het vergelijken van een hoorzitting met «*integrated assessment*» van een onderzoekprogramma (Par. 5). Vervolgens worden een aantal aandachtspunten bij het inschakelen van experts bij hoorzittingen behandeld (Par 6.1 tot 6.7). De bijlage wordt afgesloten met een conclusie en aanbevelingen (Par. 7).

1. Experts bij hoorzittingen

Volgens de «*Notitie hoorzittingen*» van mei 1994 kan een hoorzitting worden gedefinieerd als «*een bijeenkomst van een commissie waarbij personen en/of organisaties worden gehoord met het oog op het verkrijgen van informatie ten behoeve van een betere oordeelsvorming*». Bij sommige beleidsproblemen blijkt er behoefte te zijn aan een wetenschappelijke fundering van de oordeelsvorming. Het ligt dan voor de hand experts te raadplegen. Ze zijn op de hoogte van de wetenschappelijke stand van zaken en vormen daardoor een doeltreffende manier voor het snel verkrijgen van relevante informatie.

Een snelle toegang tot wetenschappelijke kennis is echter niet de enige reden voor het inschakelen van experts. Het raadplegen van experts is vooral raadzaam bij complexe, multidisciplinaire problemen waarbij bovendien de beleidsvragen op een vrij hoog aggregatieniveau spelen. In dat geval is de inbreng van experts nodig voor het interpreteren, combineren en integreren van de beschikbare kennis in een vorm die bruikbaar is voor de oordeelsvorming. Daardoor wordt een subjectieve component in de expertoordelen geïntroduceerd die groter wordt naarmate het probleem meer gekenmerkt wordt door onzekerheden en lacunes in wetenschappelijke kennis. Bij gebrek aan objectieve gegevens moet dan een beroep worden gedaan op subjectieve inschattingen en interpretaties van de expert. De rol van experts bij hoorzittingen zal worden toegelicht aan de hand van de klimaatproblematiek.

2. Experts over klimaatverandering

Bij de klimaatproblematiek worden onzekerheden en kennislacunes aangetroffen langs de gehele causale keten van maatschappelijke en economische ontwikkelingen via het versterkt broeikaseffect naar allerlei ecologische en sociaal-economische gevolgen. Enerzijds worden de onzekerheden veroorzaakt door de inherente onvoorspelbaarheid van toekomstige ontwikkelingen (bevolkingsgroei, economische groei, technologische ontwikkelingen). Anderzijds worden ze veroorzaakt door het nog onvoldoende bekend zijn van onderliggende fysische en maatschappelijke processen.

Het kan nog wel enige tijd duren voor er meer definitieve gegevens beschikbaar komen. Het is echter de vraag of beleid daarop kan/moet wachten. Gezien de mogelijk ernstige risico's van onomkeerbare processen moet wellicht overwogen worden om nu al maatregelen te treffen. Voor het nemen van een beslissing over maatregelen zijn we althans op dit moment voor een deel van de achtergrondgegevens aangewezen op de kennis van experts.

Wat betreft de beschikbare kennis en informatie over het probleem van klimaatverandering kan een onderscheid gemaakt worden tussen: (1) wetenschappelijke feiten, (2) wetenschappelijke schattingen met onzekerheidsmarges, (3) oordelen over nog niet voldoende onderzochte grootheden en (4) waarderingen die inherent subjectief zijn. De rol van de expert hangt voor een belangrijk deel af van het soort kennis waarnaar gevraagd wordt.

Een relatief klein deel van de beschikbare informatie bestaat uit onweerslegbare *wetenschappelijke feiten*. In dit geval bestaat de rol van de expert uit het doorgeven van informatie en ligt de nadruk dus op «**informereren over**». Vaak is er echter sprake van diverse onderzoeksresultaten die elkaar deels wel en elkaar deels niet ondersteunen. In dergelijke situaties wordt van experts verwacht dat ze de beschikbare gegevens beoordelen en combineren tot *wetenschappelijke schattingen met onzekerheidsmarges*. Hierbij gaat de rol van de expert verder dan informeren en gaat het tevens om het (min of meer subjectief) **combineren en interpreteren** van de gegevens.

Daarnaast zijn er onderdelen van het klimaatprobleem waar nog nauwelijks onderzoek naar gedaan is en waar dus nauwelijks of geen gegevens over bekend zijn. Bij het geven van *oordelen over nog niet voldoende onderzochte grootheden* fungeert de expert in feite zelf als een kennisbron. Het gaat dan niet meer om «informereren over» of «combineren en interpreteren van» maar de expert geeft zijn/haar eigen subjectieve inschatting, zijn/haar eigen «**educated guess**». Tot slot bestaat een deel van de klimaatproblematiek uit *waarderingen die inherent subjectief zijn*. Het gaat dan om zaken als de waardering van natuurschoon of biodiversiteit die bijvoorbeeld moeten worden afgezet tegen de kosten van een verminderde economische groei. Voor deze waarderingen moeten niet alleen experts uit de wetenschap maar allerlei groeperingen uit de samenleving worden geraadpleegd.

De relatief grote onzekerheden en lacunes in wetenschappelijke kennis onderscheiden de klimaatproblematiek van andere met behulp van openbare hoorzittingen onderzochte problemen. Bij een hoorzitting met experts gaat het daarom, naast kennisoverdracht, ook om interpreteren en het geven van een «educated guess». Er is dus sprake van een subjectieve component die groter wordt naarmate de onderzoeksgegevens meer verschillen of naarmate er minder onderzoeksgegevens bekend zijn. De

subjectieve component heeft twee belangrijke implicaties. Ten eerste zullen de expertoordelen gekenmerkt worden door onzekerheid die op één of andere manier (kwantitatief) moet worden uitgedrukt. Ten tweede zorgt de subjectieve component ervoor dat de experts niet inwisselbaar zijn en de verkregen informatie waarschijnlijk van expert tot expert zal verschillen.

3. Enkele studies

Het gebruik en belang van expertkennis in de context van het klimaatprobleem begint ook langzamerhand door te dringen in de wetenschappelijke literatuur. De eerste min of meer oriënterende studies hebben inmiddels plaatsgevonden. Twee recente studies zullen kort worden behandeld. Ze vormen een aardige illustratie van het feit dat expertoordelen over de klimaatproblematiek gekenmerkt worden door onzekerheid en behoorlijke onderlinge verschillen.

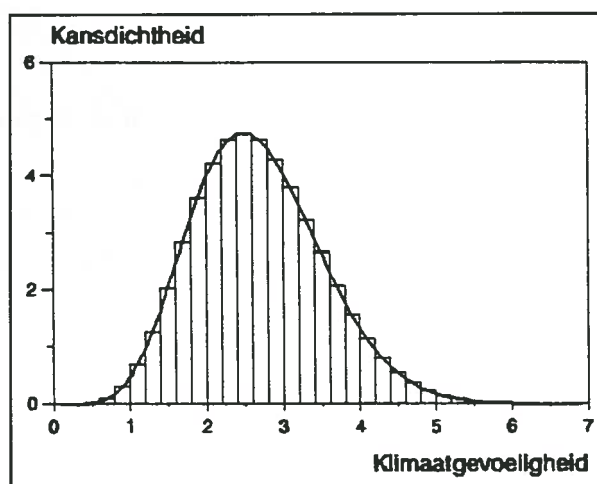
De studie *«Expert opinion on climatic change»* (Nordhaus, 1994) werd uitgevoerd om inzicht te krijgen in de gevolgen van klimaatverandering. Experts kregen vragen voorgelegd als *«Wat zijn de economische gevolgen in termen van het Bruto Wereld Produkt (BWP) van een temperatuurstijging van drie graad Celsius in het jaar 2090?»*. Bij de geraadpleegde economen (10), natuurwetenschappers (5), en sociaalwetenschappers (4) kwamen aanzienlijke onzekerheden en een grote diversiteit aan standpunten naar voren. De meeste schattingen lagen tussen 0 en 5 procent van het BWP waarbij de onzekerheidsmarges varieerden van 1 tot 15 procent. Twee experts beoordeelden de gevolgen aanmerkelijk pessimistischer en gaven een schatting van ± 20 procent met een marge van ± 30 procent. De grote variatie aan onzekerheidsmarges toont aan dat het belangrijk is om naast een beste schatting tevens te vragen naar de onzekerheid over die schatting. Een ander opvallend resultaat was dat de natuurwetenschappers de economische gevolgen van klimaatverandering aanmerkelijk ernstiger inschatten dan de economen. Vooral nog is het lastig om aan te geven wie er (meer) gelijk heeft. Enerzijds zijn de economen natuurlijk nauwelijks op de hoogte van klimaatprocessen die zich afspelen in natuurlijke systemen. Echter, anderzijds weten de natuurwetenschappers net zo weinig van het aanpassingsvermogen van economische systemen.

Ook in de studie *«Subjective judgments by climate experts»* (Morgan & Keith, 1995) werden grote verschillen tussen experts aangetroffen. Het onderzoek was gericht op het ontlokken (ofwel eliciteren) van de onzekere kennis van experts. Er werden verschillende methoden voor het ontlokken van expertkennis gebruikt. De methoden varieerden van open discussie voor de begripsvorming tot specifieke vragen over grootheden waarbij de onzekerheid werd gekwantificeerd door middel van kansverdelingen. Verder werd in het onderzoek relatief veel tijd besteed aan het formuleren van de «juiste» vragen voor de experts. Verschillende disciplines houden zich bezig met het klimaatprobleem en elke disciplines heeft zo z'n eigen representatie van het probleem. Het is daarom belangrijk om vooraf te zorgen voor een algemeen geaccepteerde probleemdefinitie.

4. Representatie onzekerheid

Onzekerheid kan op verschillende manieren worden uitgedrukt. De meest gebruikelijke manier is om naast een beste schatting tevens te vragen naar een ondergrens en een bovengrens. Dit kan geïllustreerd worden aan het voorbeeld van «klimaatgevoeligheid» d.i. de wereldgemiddelde temperatuurstijging ten gevolge van een verdubbeling van de CO₂ concentratie in een evenwichtsituatie. De onzekere kennis hierover

kan worden uitgedrukt in bijvoorbeeld een beste schatting van 2,5 graden Celsius en een onzekerheidsmarge van 3 graden die loopt van een ondergrens van 1,5 tot een bovengrens van 4,5 graden Celsius.

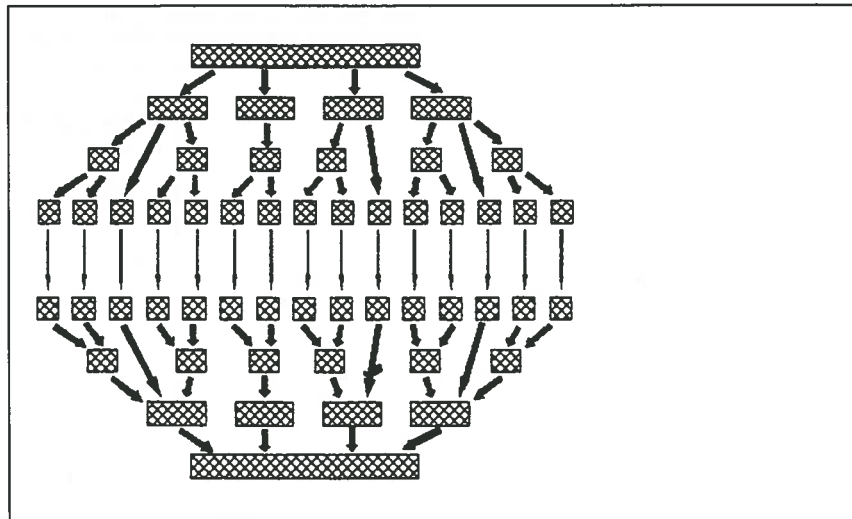


Figuur A. Onzekere kennis met betrekking tot «klimaatgevoeligheid» wordt gerepresenteerd door een (discrete en continue) kansverdeling.

Een andere manier is om de onzekerheid weer te geven is door middel van (een verdeling van) kansen. Bij het «klimaatgevoeligheid» voorbeeld kan de temperatuurschaal worden opgedeeld in intervallen. De expert wordt vervolgens gevraagd om voor elk interval een kans toe te kennen aan de gebeurtenis dat de waarde van de klimaatgevoeligheid binnen het interval ligt. Het resultaat is een discrete verdeling van kansen die zonnig kan worden omgezet in een continue kansverdeling (zie Figuur A). Onzekere kennis wordt dus weergegeven door een kansverdeling. De beste schatting wordt weergegeven door de top van de curve en de spreiding van de curve weerspiegelt de onzekerheid over de beste schatting. Een platte curve (grote spreiding) duidt op meer onzekerheid terwijl een steile curve (kleine spreiding) duidt op een grotere zekerheid. Voor meer informatie over het ontlocken en formaliseren van onzekere kennis in kansverdelingen wordt verwezen naar Van Lenthe (1993).

5. Integrated assessment

Een hoorzitting over de klimaatproblematiek lijkt op bepaalde punten op het uitvoeren van een «integrated assessment» van een onderzoekprogramma. In het beleidsgerichte Nationaal OnderzoekProgramma Mondiale Luchtverontreiniging en Klimaatverandering (NOP-MLK) wordt «integrated assessment» opgevat als een proces waarin een cluster van activiteiten moet zorgen voor een optimaal gebruik van wetenschappelijke kennis voor het ontwikkelen van nationaal en internationaal beleid. Het blijkt dat «integrated assessment» maar moeilijk van de grond komt. Een belangrijke oorzaak blijkt het ontbreken van een goeie dialoog tussen wetenschap en beleid. Daardoor is er te weinig aandacht geweest voor het uitwerken van beleidsrelevante onderzoeksvragen.



Figuur B. Onderzoeksplanning en integrated assessment.

Idealiter ziet het plaatje er als volgt uit (zie ook Figuur B). De planning van het onderzoek begint met een aantal centrale beleidsvragen die worden uitgewerkt in een hiërarchie van beleidsrelevante onderzoeksvragen waaraan vervolgens onderzoeksprojecten worden gekoppeld. Een initiële en algemeen geaccepteerde probleemrepresentatie kan nuttig zijn als leidraad voor het systematisch genereren van onderzoeksvragen waarbij alle onderdelen van het probleem aan de orde komen. Nadat het onderzoek is uitgevoerd begint het proces van integrated assessment waarbij de resultaten worden gecombineerd en geïntegreerd om antwoord te kunnen geven op de beleidsvragen van de verschillende niveaus (voor meer informatie, zie Van Lenthe et al., 1996).

Iets dergelijks is natuurlijk ook aan de orde bij de openbare hoorzittingen over de klimaatproblematiek. Ook bij de hoorzittingen moeten eerst relevante vragen worden geformuleerd en volgt daarna de lastige taak van combineren en integreren van de verkregen informatie tot een eindoordeel. Het verschil is dat er geen onderzoeksprojecten worden uitgezet, maar dat er experts worden gekoppeld aan de vragen.

6. Aandachtspunten bij inschakelen experts

In deze paragraaf worden een aantal aandachtspunten behandeld die van belang zijn bij het inschakelen van experts tijdens hoorzittingen over problemen die net als het klimaatprobleem worden gekenmerkt door relatief grote onzekerheden en kennislacunes.

6.1. Welke informatie?

Het is belangrijk om voldoende aandacht te besteden aan het definiëren van het probleem en het formuleren van de vragen. Er blijkt vaak een vrij groot verschil in perceptie en interesse tussen wetenschappers en beleidsmakers¹. Vanuit beleid beweegt de interesse zich meestal op een vrij hoog aggregatieniveau *Hoe ernstig is het probleem? Wat kunnen we er aan doen? Wat gaat dat kosten?* terwijl onderzoekers over het algemeen gericht zijn op meer specifieke onderdelen van het probleem. In eerste instantie zal een belangrijk deel van de inspanningen gericht moeten zijn op het verkrijgen van een gemeenschappelijke definitie van het probleem.

¹ Trouwens ook tussen wetenschappers onderling. Het probleem van klimaatverandering kan worden opgevat als puur klimaatprobleem maar ook als economisch of gedragsprobleem.

Dit om spraakverwarringen te vermijden, c.q. de communicatie te bevorderen.

6.2. Welke experts?

Het klimaatprobleem is een multidisciplinair probleem. Er zullen dus experts uit verschillende vakgebieden moeten worden benaderd (klimatologen, chemici, economen, psychologen, etc). Gezien het hoog-aggregatie gezichtspunt van de beleidmaker zal eerder een beroep worden gedaan op generalisten dan op specialisten. De generalist dient een adequaat en breed overzicht over het eigen vakgebied te hebben en bij voorkeur ook nog wel eens buiten het eigen vakgebied te kijken.

6.3. Selectie van experts?

Waar moeten we op letten bij de selectie van experts? In de eerste plaats moet de expert natuurlijk passen binnen een of meer van de gebieden waarover informatie gewenst is. Vervolgens moet de experts inderdaad iets te melden hebben over het probleem van klimaatverandering. Globaal gesproken zijn er een drietal criteria waarop bij de selectie van de experts gelet zou kunnen worden: de rol (hoogleraar, leider onderzoeksgroep), de competentie (wetenschappelijk aanzien) en de prestatie (op dit specifiek gebied) van de expert. Naast deze criteria kan er ook geselecteerd worden volgens een soort sneeuwbalprocedure. Een dergelijke procedure begint met een beperkt aantal vooraanstaande experts op het gebied te vragen naar namen van andere experts. De genoemde experts worden vervolgens benaderd met dezelfde vraag. Na een aantal rondes worden de meest genoemde experts in de uiteindelijk steekproef opgenomen. Op deze procedure bestaan allerlei varianten. Het is bijvoorbeeld mogelijk om experts te vragen elkaars expertise te beoordelen (bijvoorbeeld door het geven van een rapportcijfer).

6.4. Hoeveel experts?

Het aantal experts wordt natuurlijk in eerste instantie bepaald door het aantal betrokken vakgebieden. Elke discipline dient vertegenwoordigd te zijn en wel bij voorkeur door meer dan één expert. Doordat er een sterk beroep wordt gedaan op subjectieve inschattingen en interpretaties ligt het voor de hand dat ook experts binnen één vakgebied van mening zullen verschillen. Door een aantal experts te benaderen en door op één of andere manier te «middelen» over experts kunnen stokpaardjes en/of blinde vlekken worden vermeden. Voor het aantal experts geldt tot op zekere hoogte *hoe meer, hoe beter* maar in werkelijkheid zal het aantal worden beperkt door overwegingen van praktische aard. Echter drie à vijf experts per discipline lijkt toch wel het minimum.

6.5. Ontlokken expertoordelen

Wanneer de informatiebehoefte bepaald is en de experts bekend zijn, kan worden overgegaan tot het daadwerkelijk raadplegen van de experts. Er is een groot aantal technieken beschikbaar voor het ontlokken (eliciteren) van onzekere kennis van experts. Deze technieken variëren van min of meer gestructureerde interviews tot allerlei geavanceerde elicitatietechnieken. Het interview is de aangewezen methode wanneer het gaat om het verkrijgen van algemene informatie van meer kwalitatieve aard. Wanneer de nadruk komt te liggen op specifieke informatie van kwantitatieve aard dan zijn er specifieke elicitatietechnieken die helpen bij het ontlokken van onzekere kennis in de vorm van kansen of kansverdeling. Net zoals het nodig kan zijn om een aantal experts te raadplegen, kan het ook nodig zijn om meer elicitatietechnieken te gebruiken. Het is

namelijk bekend dat verschillende technieken kunnen leiden tot verschillende oordelen. Het is dus verstandig om verschillende technieken te gebruiken en vervolgens te middelen over technieken of eventuele discrepanties weer voor te leggen aan de desbetreffende expert.

6.6. Kwaliteit ontlokte oordelen

Er is veel onderzoek gedaan naar de prestaties van de menselijke beoordelaar. Over het algemeen gaat het goed en dat is ook logisch anders zou de menselijke soort niet kunnen overleven. Echter soms gaat het mis en dat heeft te maken met het feit dat menselijke beoordelaars en dus ook de experts gebruik maken van heuristieken een soort vuistregels die kunnen leiden tot systematische vertekeningen. Het boek *Judgment under uncertainty: heuristics and biases* (Kahneman, Slovic, & Tversky, 1984) wordt beschouwd als het standaardwerk op dit gebied. Een voorbeeld van een systematische vertekening is «anchoring and adjustment». Wanneer bijvoorbeeld eerst gevraagd wordt naar een beste schatting en pas daarna naar een ondergrens en een bovengrens dan kan de eerder gegeven beste schatting gaan fungeren als ankerwaarde waar de expert niet zo snel meer van afwijkt. Het gevolg is dat de onzekerheidsmarge in deze situatie kleiner uitvalt dan in de situatie waar eerst gevraagd zou zijn naar een ondergrens en een bovengrens. Er is veel onderzoek gedaan naar de kwaliteit (betrouwbaarheid, validiteit) van ontlokte kansen en kansverdelingen. De resultaten laten zien dat we bedacht moet zijn op een aantal biases (vertekeningen) in de oordelen. Een belangrijke bias is «overconfidence». Het blijkt dat men over het algemeen geneigd is om te zeker te zijn van een schatting. Dit betekent bijvoorbeeld dat de gespecificeerde kansverdelingen vaak te steil zijn. Overigens hangt het optreden en de mate van overconfidence ook af van de gehanteerde elicitatietechniek.

6.7. Combineren van expertoordelen

Het inschakelen van een groep experts zal waarschijnlijk leiden tot een grote diversiteit aan oordelen en inschattingen. De volgende kwestie betreft het combineren van verschillende expertoordelen tot een overall eindoordeel. Daarvoor zijn zowel gedragsmatige als mathematische procedures beschikbaar. Bij gedragsmatige procedures worden de experts in een groep gezet en wordt getracht om hen tot een consensus oordeel te laten komen. Eén van de nadelen hierbij is dat het eindoordeel ook afhankelijk is van allerlei groepsprocessen die weinig te maken hebben met de te beoordelen kwestie. Bij mathematische procedures wordt een soort «gemiddelde» beoordeling bepaald. Dat kan een zowel een ongewogen als een gewogen gemiddelde zijn. Bij een ongewogen gemiddelde telt iedere expert even zwaar mee. Bij een gewogen gemiddelde zou de kwaliteit van de expert een rol kunnen spelen, althans wanneer het mogelijk is een onderscheid te maken tussen goede en minder goede experts. Daarnaast zijn er natuurlijk combinaties van gedragsmatig en mathematisch combineren mogelijk. Voor meer informatie wordt verwezen naar bijvoorbeeld Wright & Bolger (1992).

7. Conclusie en aanbevelingen

Het probleem van klimaatverandering wordt gekenmerkt door grote onzekerheden en aanzienlijke lacunes in wetenschappelijke kennis. Bij een hoorzitting over het probleem wordt daardoor relatief groot beroep gedaan op de subjectieve inschattingen en interpretaties van de experts. Naast het informeren over wetenschappelijke feiten bestaat de rol van de expert tevens uit het combineren en interpreteren van elkaar tegen

sprekende gegevens en het geven van een «educated guess» over onderdelen die nog niet of nauwelijks zijn onderzocht.

De nadruk op de subjectieve component in de oordelen heeft twee belangrijke implicaties. Ten eerste zullen de expert oordelen gekenmerkt worden door onzekerheid. Het is van belang deze onzekerheden te onderkennen en te expliciteren. Ten tweede zullen de experts vaker en sterker van mening verschillen. De informatie kan van expert tot expert verschillen en de experts zijn dus niet inwisselbaar. Eén en ander heeft geleid tot het opstellen van een lijst met aandachtspunten bij het inschakelen van experts bij hoorzittingen over problemen die net als het klimaatprobleem gekenmerkt worden door onzekerheden en kennislacunes. Daarbij zijn de volgende zaken van belang:

Besteed ruim aandacht aan het formuleren van een gemeenschappelijke definitie van het probleem en het systematisch genereren van de vragen.

Stel van te voren een (min of meer objectieve) procedure vast voor het selecteren van de experts bijvoorbeeld een variant op de genoemde sneeuwbalprocedure.

Zorg voor een aantal experts bij voorkeur generalisten en minimaal 3 à 5 op elk van de onderscheiden deelgebieden van het probleem.

Hanteers verschillende technieken voor het ontlocken (en eventueel kwantificeren) van de onzekere kennis van de experts.

Wees beducht voor systematische vertekeningen in de expertoordelen «de expert is ook maar een mens».

Stel van te voren een (min of meer objectieve) procedure vast voor het combineren van de verschillende expertoordelen tot een overall eindoordeel.

Genoemde literatuur¹

Kahneman, D., Slovic, P., & Tversky, A. (Eds.). (1982). *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. Cambridge: University Press.

Morgan, M.G., Keith, D.W. (1995) Subjective judgments by climate experts. *Environmental science & technology*, **29** (10), 468A-476A.

Nordhaus, W.D. (1994). Expert opinion on climatic change. *American Scientist*, **82**, 45-51.

Van Lenthe, J. (1993). *ELI The use of proper scoring rules for eliciting subjective probability distributions*. Leiden: DSWO-Press.

Van Lenthe, J., Hendrickx, L., Vlek, C.A.J., & Biesiot (1996). *Using decision analysis for the integrated assessment of the climate change problem*. IVEM report OR-87. Center for Energy and Environmental Studies (IVEM), University of Groningen.

Wright, G., & Bolger, F. (1992). *Expertise and decision support*. New York: Plenum Press.

¹ Een uitputtend overzicht van de literatuur viel buiten het bestek van deze bijlage. De genoemde literatuur biedt echter een aardige ingang.

**ONDERSTAANDE SAMENVATTING VAN EEN BONSDAG-STUDIE
HEEFT DE COMMISSIE LATEN VERVAARDIGEN DOOR DE EIGEN
STAFMEDEWERKER**

**MEHR ZUKUNFT FÜR DIE ERDE; NACHHALTIGE ENERGIEPOLITIK
FÜR DAUERHAFTE KLIMASCHUTZ.**

**Schlußbericht der Enquete-kommission «Schutz der
Erdatmosphäre» des 12. deutschen Bundestages.**

Na een probleemstelling, samenstelling van de commissie en overzicht van werkzaamheden, geeft **deel A** als een uitgebreide inleiding een beeld van de wetenschappelijke inzichten over de antropogene beïnvloeding van het klimaat en van de atmosferische ozonlaag.

In hoofdstuk 4 van dit deel worden oorzaken en achtergronden van klimaatbenvloedende emissies besproken.

Hoofdstuk 5 van deel A geeft een beeld van het internationaal, nationaal en regionaal gevoerde beleid (het vervolg staat in hoofdstuk 2 van deel B) en hoofdstuk 6 behandelt grondslagen voor een effectief beleid om het klimaat te beschermen.

Een bijlage schetst de wetenschappelijke discussie.

Deel B concentreert zich op **ENERGIE**. In hoofdstuk 1 komen aanbod van en vraag naar energie aan de orde. Hoofdstuk 2 gaat vervolgt hoofdstuk 5 van deel A over het klimaatbeleid. Hoofdstukken 3 en 4 geven een overzicht van het onderzoek op het gebied van duurzame energie. Hoofdstuk 5 behandelt doelstellingen en hoofdstuk 6 mogelijkheden voor een beleid dat duurzame energievoorziening bevordert. Hoofdstuk 7 gaat in op instrumenten en beperkingen voor een internationaal en nationaal (Duits) energiebeleid dat het klimaat beschermt. Hoofdstuk 8 geeft een overzicht van geïntegreerde strategieën ter beperking van de emissies van broeikasemissies in Duitsland. De aanbevelingen van de commissie op energiegebied staan in hoofdstuk 9; minderheidsstandpunten van de commissie staan in hoofdstuk 10.

Deel C concentreert zich op de rol van het **VERKEER**. Hoofdstuk 2 beschrijft ontwikkelingen in het verleden en geeft prognoses. Hoofdstuk 3 laat mogelijkheden voor vermindering van emissies door het verkeer zien; hoofdstuk 4 mogelijke maatregelen om de doelstellingen te bereiken, hoofdstuk 5 geeft beperkingen voor beleid en hoofdstuk 6 aanbevelingen.

Deel D geeft aanbevelingen voor de **AGRARISCHE EN BOSBOUW-SECTOR**. In een bijlage wordt het aandeel van de agrarische en voedsel-sector voor klimaatverandering geschat.

Deel E behandelt de aanbevelingen van de conferentie in Berlijn van 28 maart tot 7 april 1995.

Bijlagen geven begrippenkader, afkortingen en literatuur.

DE TAAKSTELLING VAN DE DUITSE KLIMAATCOMMISSIE

De opdrachten van de Nederlandse en Duitse klimaatcommissies komen niet geheel overeen.

De Duitse commissie «Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre» moest zich een beeld vormen van de stand van zaken van het internationale wetenschappelijke onderzoek naar het klimaat en ook zelf onderzoek verrichten. Hierbij moesten ook de gevolgen van eventuele klimaatverandering op natuurlijke ecosystemen en verschuiving van klimaat-

zones worden betrokken. Ook de daaruit voortkomende politieke, economische, sociale en ecologische gevolgen van bovengenoemde moesten in kaart worden gebracht. De Duitse enquêtecommissie moest ook concrete maatregelen uitwerken op het gebied van het energieverbruik (huishoudens, industrie, diensten en industrie), de elektriciteitssector, de verkeerssector en de agrarische en bosbouwsector om het klimaat te beschermen. Hierbij zou speciale aandacht aan de voormalige DDR moeten worden geschonken.

Verder zou de enquêtecommissie aanbevelingen moeten doen voor de transfer van technologie en financiën en aandacht moeten schenken aan milieuvluchtelingen en aan het bevolkingsvraagstuk.

DEEL A. STAND VAN ZAKEN VAN HET WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK NAAR ANTROPOGENE BENVLOEDING VAN HET KLIMAAT EN VAN DE ATMOSFERISCHE OZONLAAG.

Hoofdstukken 1 en 2. Stand van zaken van het klimaatonderzoek

De wetenschappelijke kennis over antropogene veroorzaking van het broeikaseffect is sterk toegenomen.

Uit ijskernboringen blijkt een toename van kooldioxide boven waarden zoals die de laatste 250 000 jaar voorgekomen zijn. De kooldioxideconcentratie bewoog zich tussen ongeveer 220 ppm. in ijstijden en 280 ppm. in warmere perioden.

Ook bestaat er geen twijfel meer aan antropogene veranderingen in de concentratie en verdeling van atmosferisch ozon. Atmosferisch ozon nam af, troposferisch ozon nam toe.

Kritiek op modellen en op onvoldoende oog voor onzekerheden moet worden afgewezen.

Het rapport bevat een uitgebreide uiteenzetting van het klimaatstelsel (hoofdstuk 2). Enkele elementen zijn:

- De verschillen van bestraling door de zon tussen verschillende breedten veroorzaakt horizontaal warmtetransport van de tropen in de richting van de polen.
- Omdat de atmosfeer voortdurend energie verliest is ook verticaal warmtetransport noodzakelijk. Het belangrijkste element daarbij is de waterkringloop (energieverlies bij verdamping op de aardoppervlakte, afgifte van energie bij condensatie in de atmosfeer).
- Klimaatveranderingen werden in het verleden veroorzaakt door vulkanisme, veranderingen in de zonne-activiteit (cycli van 10 tot 100 jaar), veranderingen van de baan van de aarde (cyclus van 100 000 jaar), vorming van gebergten (verandering over 10 miljoen jaar), verdeling land/water, tektonische verschuivingen (verandering over 100 miljoen jaar) en afname van de zonnestraling (verandering over 1 miljard jaar).
- De laatste 130 jaar is de gemiddelde temperatuur in Europa met 1,3°C gestegen, maar de verschillen in regio's en jaargetijden zijn groot (in de zomer daalde de temperatuur rond Tsjechoslowakije, in de winter in Noord Scandinavië en in de herfst in Griekenland).

- Antropogene klimaatverandering

Op twee manieren beïnvloedt menselijk gedrag het klimaat:

1. Veranderingen van de oppervlakte van de planeet: het klimaat verandert door toenemend landgebruik en door ingrijpen in natuurlijke ecosystemen, vooral de waterhuishouding.
2. Het antropogene broeikaseffect leidt tot verhoging van de temperatuur (hoofdstuk 2.2). De antropogene verhoging van de concentratie van aerosolen (vooral door emissies van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak) in de atmosfeer leidt tot verlaging van de temperatuur door de terugkaatsing van zonlicht door de aerosolen en doordat aerosolen leiden tot kleinere wolkruppeltjes en dus meer terugkaatsing (hoofdstuk 2.3 en 2.7).

Aan verschillende gassen wordt een indirect broeikaseffect toegeschreven: hun chemische omzetting in de atmosfeer draagt bij tot de vorming of afbraak van broeikasgassen. Methaan is bijvoorbeeld niet alleen een direct broeikasgas, maar draagt bij de fotochemische afbraak

ervan ook bij aan de vorming van troposferisch ozon en stratosferische waterdamp met weer nieuwe effecten.

– Klimaatverandering leidt tot verschillende gevaren:

1. veranderingen van de regionale waterhuishouding kunnen leiden tot tekorten aan zoet water, minder agrarische opbrengsten, aantasting van ecosystemen, meer erosie, verwoestijning, andere regionale verdeling van flora en fauna, minder soortenrijkdom, meer ziekteverwekkers en parasieten. Stijging van de zeespiegel leidt tot overstroming en erosie van kustgebieden.

2. Klimaatverandering bedreigt op de eerste plaats de kustzones, semi-aride gebieden en hooggelegen ecosystemen, maar legt ook de vinger op de zwakke kanten van het milieu: overbevolking, overbemesting, enzovoorts (hoofdstuk 2.6).

Hoofdstuk 3. Ozon

– Ozon komt niet direct door natuurlijke noch antropogene bronnen in de atmosfeer terecht, maar wordt door chemische processen in de atmosfeer gevormd.

– In de troposfeer, de onderste laag van de atmosfeer, is ozon als gevolg van menselijke activiteiten toegenomen.

– In de stratosfeer, de laag in de atmosfeer die boven de troposfeer begint en tot 50 kilometer hoogte reikt, ligt de ozonlaag, tussen 15 en 30 kilometer hoogte. Deze ozon wordt bijna uitsluitend boven de tropen gevormd, vooral in het droge seizoen en van daar naar hogere breedten getransporteerd. Dit ozon wordt afgebroken door chemische reacties (afhankelijk van antropogene emissies van stikstofoxiden, vluchtige organische stoffen, methaan en koolmonoxide en van de straling door de zon), door fotolyse en door verticaal transport naar de troposfeer.

– Ozon absorbeert bijna alle ultraviolette straling door de zon tussen 230 en 320 nm.

– Hogere concentraties ozon in de troposfeer en de lagere stratosfeer (tot 35 km hoogte) versterken het broeikas-effect, vooral bij lagere temperatuur. Daarom heeft ozon in de hogere lagen van de troposfeer, bijvoorbeeld door vliegverkeer, veel meer invloed op het klimaat dan ozon vlak boven de grond.

– Het indirecte effect van ozon bestaat uit de sleutelrol bij de chemische processen, die zich in de troposfeer afspelen. Hierbij wordt bij voorbeeld methaan afgebroken in koolmonoxide en water.

Hoofdstuk 4. Oorzaken en veroorzakers van emissies die het klimaat beïnvloeden

Dit hoofdstuk geeft schattingen van de respectievelijke aandelen van de broeikasgassen (kooldioxide: 50%) en van de veroorzakende sectoren (energieopwekking inclusief verkeer 50%) in het antropogene broeikas-effect. De emissies worden onderscheiden naar directe broeikas-effectieve emissies (kooldioxide, methaan en stikstofdioxide), indirect broeikas-effectieve emissies (koolmonoxide, stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen) en algemeen broeikas-effectieve emissies (SO₂).

De schattingen voor de sector verkeer zijn met een onzekerheidsmarge van ±10 tot 20% veel beter dan voor de teruggang van het tropisch regenwoud, verbranding van biomassa en agrarisch bedrijf: ±50 tot 60%. In dit hoofdstuk worden ook schattingen gegeven van de regionale en Duitse bijdragen aan mondiale emissies.

Hoofdstuk 5. Doelstellingen om het klimaat te beschermen; politiek om het klimaat en de ozonlaag te beschermen.

In dit hoofdstuk wordt eerst verwezen naar internationale overeenkomsten, vooral de Raamovereenkomst. In paragraaf 2 wordt het beleid van de Europese Unie uiteengezet, in paragraaf 3 het Duitse beleid.

Hoofdstuk 6. Grondslagen voor een effectieve politiek om het klimaat te beschermen.

De uitkomsten van het wetenschappelijke klimaatonderzoek maken duidelijk dat verder onderzoek en handelen vanuit het voorzorgprincipe onomkooptbaar is.

De Raamovereenkomst wil de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer op een niveau stabiliseren, dat een gevaarlijke antropogene verstoring van het klimaatsysteem vermijdt, op een termijn die ecosystemen in staat stelt zich op natuurlijke wijze aan te passen, de voedselproductie niet in gevaar brengt en een duurzame economische ontwikkeling mogelijk maakt.

Voor het bereiken van de doelstellingen van de Raamovereenkomst acht de Duitse commissie het minimaal noodzakelijk dat de temperatuur in het jaar 2100 niet meer dan 2°C boven het niveau van 1860 ligt en de maximale temperatuurstijging 0,1°C per decade bedraagt tussen 1980 en 2100.

Om dit te bereiken moet in het jaar 2100 de kooldioxide-emissie ten opzichte van het jaar 1990 met 70% worden teruggebracht, stikstofdioxide met 50%, methaan met 5% en CFK's met 100%. Zouden deze doelstellingen verwezenlijkt worden, dan zal de concentratie broeikasgassen vanaf het jaar 2033 dalen tot 10% boven het niveau van 1990 in het jaar 2100; de concentratie kooldioxide stijgt dan overigens door tot na het jaar 2100.

De industrielanden moeten teneinde deze doelstellingen te halen, in het jaar 2005 een emissie van 25% onder het niveau van 1987 bereiken. In geen enkel land is over daartoe voerend beleid overeenstemming bereikt.

De Duitse klimaatcommissie dringt nadrukkelijk aan op een voldoende verplichtende concretisering van emissiedoelstellingen voor de langere termijn.

In een bijlage zijn de belangrijkste punten van kritiek op de wetenschappelijke bevindingen weerlegd:

- * De meetstations lagen meestal in of bij steden, waardoor de temperaturen stelselmatig te hoog werden gemeten.
- * Satellieten hebben geen opwarming van de aardatmosfeer gemeten.
- * Er is geen rekening gehouden met natuurlijke variaties als niet constante zonnestraling en vulkanisme.
- * Volgens de waterdamp-hypothese neemt de concentratie van waterdamp, het belangrijkste broeikasgas, af in de hoogste lagen van de troposfeer, als gevolg van de globale verwarming. Deze negatieve terugkoppeling beperkt de antropogene opwarming.

DEEL B. ENERGIE.

Hoofdstuk 1. Stand van zaken en perspectieven van de energievoorziening, van het energieverbruik

Het energieverbruik is verantwoordelijk voor ongeveer 50% van het antropogene broeikaseffect. Door de gevolgen voor het klimaat verandert de reden voor energiebesparing van een beperkte aanvoer van grondstoffen in een afvalprobleem.

Omdat kooldioxide meer dan een eeuw in de atmosfeer blijft, kan de gecumuleerde concentratie pas na het jaar 2100 gaan dalen.

Sinds de zeventiger jaren daalt in Duitsland de uitstoot van kooldioxide licht. De door de Duitse enquêtecommissie voorgestelde maatregelen kunnen de uitwerp van kooldioxide met 25% verminderen.

Modernisering en de-industrialisering in de nieuwe bondslanden leiden daar tot een halvering van de kooldioxide-emissies.

Voorlopig bestaat er geen behoefte aan nieuwe energiecentrales. De productie van bruinkool neemt sterk af.

Kernenergie levert een derde van de Duitse elektriciteit; waterkracht levert verreweg het grootste aandeel van de duurzame energie.

Duitse emissies van broeikasgassen leveren de volgende relatieve bijdragen aan het door Duitsland veroorzaakte broeikas-effect:

• CO ₂	1 031 mln. ton	50% aandeel
• CH ₄	6 mln. ton	13% aandeel
• N ₂ O	0,22 mln. ton	5% aandeel
• cfk's	0,04 mln. ton	17% aandeel
• O ₃	-	7% aandeel

De belangrijkste emittenten in Duitsland zijn:

• CH ₄ in 1000 ton	N ₂ O in 1000 ton	
• energie	1 750	35
• industrie	10	100
• agrarisch	2 050	75
• vuilverwerking	2 200	4
• totaal	6 000	220

Hoofdstuk 2. Klimaatbeschermingspolitiek.

De beperking van de tekst van de klimaatconventie van Rio de Janeiro op kwalitatieve doelstellingen acht de Duitse klimaatcommissie niet voldoende adequaat voor het oplossen van het probleem, maar wel politiek verklaarbaar.

De Europese Unie wil op verschillende wijzen het klimaat bereiken, dat de kooldioxide-emissie in het jaar 2000 op het niveau van 1990 gestabiliseerd wordt.

In Duitsland bestaan er zowel maatregelen op bondsniveau als op regionaal niveau (§ 2.3), maar ook andere acteurs als de industrie hebben maatregelen genomen.

Hoofdstuk 3. Onderzoek door de enquêtecommissie op energiegebied.

De enquêtecommissie deed onder ander onderzoek op de volgende gebieden:

- * Technische en economische analyses naar mogelijkheden voor de vermindering van energieverbruik vooral in de nieuwe bondslanden.
- * Mogelijkheden om de emissies van broeikasgassen bij energievoorziening te verminderen.
- * Mogelijkheden bij de economische betrekkingen met ontwikkelingslanden en Oost-Europese landen om de emissie van broeikasgassen terug te dringen.
- * Mogelijkheden binnen het kader van de Europese Unie om de emissie van broeikasgassen terug te dringen.

Hoofdstuk 4. Energie en duurzame economische ontwikkeling.

De enquêtecommissie tracht zich voor te stellen, hoe een duurzame maatschappij er in het jaar 2050 uit zou kunnen zien.

	Omvang bevolking in mln.		Emissie van CO ₂ in mln ton per hoofd
	in mln.	in mln. ton	
1990			
industrielanden	1 213 (22,1%)	15 900 (72,2%)	13,1
ontwikkelingslanden	4 271 (77,9%)	6 100 (27,8%)	1,6
totaal (wereld)	5 484	22 000	4,0
2050			
industrielanden	1 500 (15,0%)	3 500 (31,8%)	2,3
ontwikkelingslanden	8 500 (85,0%)	7 500 (68,2%)	0,9
totaal (wereld)	10 000	11 000	1,1

De verdeling tussen industrielanden en ontwikkelingslanden wordt nog verder verbijzonderd.

De enquêtecommissie bezint zich verder op de volgende vragen:

1. Hoeveel tijd is nodig voordat een teruggang van de emissies van broeikasgassen invloed heeft op de concentraties in de atmosfeer?
2. Hoe zal de politieke en maatschappelijke situatie zich wereldwijd ontwikkelen?
3. Hoe zal het wereldwijde aanbod van energie zich ontwikkelen?
4. Welke potentiële maatregelen ter reductie van de emissie van broeikasgassen worden effectief?

Voor Duitsland is het van belang, dat de maatregelen de concurrentiepositie niet verzwakken.

De Duitse commissie heeft vooral over twee vormen van beleid nagedacht:

1. Omdat blijkt dat het door Malthus voorspelde spookbeeld van beperkte middelen en belasting van het milieu niet de essentiële beperkende factoren vormen voor verdere groei, kan verwacht worden dat technische ontwikkeling een verdere groei van de wereldbevolking realistisch maakt. De begrenzingen van technische mogelijkheden liggen vooral bij maatschappelijke aanvaardbaarheid en de tweede wet van de thermodynamica. (Eerste wet: De totale hoeveelheid energie van een gesloten systeem blijft gelijk; tweede wet: de entropie van een geïsoleerd systeem kan niet afnemen, ze blijft gelijk bij reversibele processen en groeit bij processen in dit systeem die niet teruggedraaid kunnen worden. De in een geïsoleerd systeem aanwezige energie streeft dus naar dissipatie, naar gelijkmatig verdeelde warmte-energie.) Ook materie is onderhevig aan entropie, namelijk van beschikbare naar niet beschikbare materie. Dat betekent dat eenzijdige energiebesparing afgewezen moet worden en vervangen door beleid dat alle beperkte middelen zo efficiënt mogelijk benut.

Factoren die klimaatverandering veroorzaken zijn ook van invloed op andere gevolgen, zoals een vermindering van de soortenrijkdom, uitputting van vernieuwbare en niet vernieuwbare natuurlijke hulpmiddelen en bodemerosie.

Voor het bereiken van een duurzame energieverzorging in het jaar 2050 moeten het beleid nu al rekening daarmee houden om de aanpassingen niet onnodig duur te maken of zelfs te frustreren.

Een goede allocatie wordt in steeds meer landen bevorderd door pogingen om een groen nationaal inkomen te berekenen (in Nederland: 24 400, hoofdstuk XIII, nr. 48).

Het is nodig een tot 2050 lopend plan op te stellen en dat periodiek te toetsen aan de volgende criteria:

- * Voldoende energie voor een groeiende bevolking;
- * sluiten van duurzame kringlopen;
- * een risicomijdende benadering van leven en gezondheid van de mensen;
- * een efficiënte omzetting en benutting van energie;
- * sociale verdraagzaamheid en
- * internationale verdraagzaamheid (equity).

Voor het bereiken van de doelstellingen is technologische ontwikkeling een noodzakelijke voorwaarde. De commissie heeft de terreinen opgesomd waar technologische ontwikkeling bevorderd moet worden (paragraaf B-4.4.5).

Uit een vergelijking van scenario's blijkt dat vooral de technologische ontwikkeling en de economische en politieke verhoudingen heel verschillend worden ingeschat; slechts twee scenario's voorspellen een door de commissie gewenste halvering van de wereldwijde kooldioxide-uitstoot.

Voor het halen van deze doelstelling van het programma Vision 2050 en de Raamovereenkomst van Berlijn zijn inkrimping van het aanbod van energie en vervoegde afschrijvingen noodzakelijk; hiervoor is veel overreding nodig.

Hoofdstuk 5. De aan een Duits klimaatbeleid ten grondslag liggende doelstellingen op energiegebied.

Het Duitse energiebeleid heeft de volgende ladder:

1. Zo groot mogelijke energie-efficiency;
2. inzet van duurzame energiebronnen en
3. risicominimalisering van het aanbod van het resterend deel (bijvoorbeeld minder bruinkool en steenkool, meer kernenergie en schonere fossiele brandstoffen).

Globale milieu- en ontwikkelingssamenwerking geldt als toekomstige vredes- en ontwapeningspolitiek.

De commissie steunt de invoering van een energieheffing in de Europese Unie.

Hoofdstuk 6. Mogelijkheden en potenties voor vermindering van door energieverbruik veroorzaakte broeikasgassen in Duitsland.

Potenties zijn alle verminderingen van energieverbruik of kooldioxide-emissies, die het gevolg zijn van technologieën die het laboratorium- of pilotstadium nog niet gepasseerd zijn.

Energiebesparing is mogelijk door:

- * het vermijden van onnodig verbruik;
- * het zuiniger omgaan energie;
- * verbetering van de benuttingsgraad, bijvoorbeeld door optimale dimensionering;
- * het terugwinnen van energie, bijvoorbeeld WKK (B-6.2.5.2) en
- * exergie: het voorkomen van afvalwarmte.

Het blijkt dat er in Duitsland de volgende mogelijkheden voor energiebesparing bestaan bij *huishoudens* op het gebied van het koelen en invriezen, koken en bakken, wassen, drogen, vaatwassen, verlichting en

kleine huishoudelijke apparaten: in totaal 31,1% door gebruik van de zuinigste apparatuur die op de markt is, 44% door gebruik van apparatuur die binnenkort beschikbaar zal zijn en 55,5% door gebruik van apparatuur die op wat langere termijn beschikbaar komt.

De *industrie* heeft door elektrificering en export van milieu-onvriendelijke industrie een daling van het energieverbruik sinds 1970 ingezet, ondanks een stijging van de productie. Ook in deze sector bestaan nog grote mogelijkheden.

Dat geldt ook voor de energiesector. De grootste potentie bestaat door het voorschakelen van een gasturbine. De potenties zijn zo groot omdat in het begin van de volgende eeuw veel centrales vervangen moeten worden.

Ook bij de winning en veredeling van primaire energiebronnen, de verliezen bij het transport van elektriciteit over het net, het beheer van gebouwen, vooral oudere gebouwen, warmtepompen en elektrische apparatuur kan veel energie bespaard worden.

Zonne-straling zorgt voor de belangrijkste vernieuwbare energiebronnen: direct (thermische energie, fotovoltaïsche energie) en indirect (windenergie, waterkracht, getijdenenergie, biomassa). De niet door de zon opgewekte duurzame energiebronnen (zwaartekracht, geothermie) leveren een verwaarloosbaar aandeel.

Een voordeel van de meeste duurzame energiebronnen is de mogelijkheid de energie dicht bij de plaats van verbruik op te wekken, zodat transportverliezen, die tot tweederde op kunnen lopen, vermeden kunnen worden.

Het aandeel van duurzame energiebronnen kan tussen 1990 en 2020 aan 17,7 tot 21,3% van de vraag naar energie voldoen. Voor het jaar 2020 wordt verwacht dat in Duitsland 3,2% van de energie door zonne-energie gedekt wordt.

Kernenergie berust niet op een chemisch proces en levert de energie zonder kooldioxide-emissie. Bij de bouw is fossiele energie nodig; wanneer een atoomcentrale dertig jaar draait komt dit neer op 5% van de kooldioxide-emissie van een steenkoolcentrale per Kwu. De maatschappelijke acceptatie in Duitsland is onvoldoende met als argumenten: het gevaar van de hele nucleaire keten, het ontbreken van een definitieve opslag voor nucleair afval en het proliferatiegevaar. In 1994 waren 422 kernsplijtingsreactoren in bedrijf en 56 in aanbouw. Mede vanwege de vereiste temperatuur van meer dan 100 miljoen graden C wordt geen bijdrage van kernfusie verwacht in de beschouwde periode tot 2050.

Opslag van warmte en stroom en chemische opslag worden snel economisch haalbaar. Ook door omzetting in secundaire energiedragers (elektriciteit, waterstof, methanol, ethanol, enzovoorts) is beperking van de kooldioxide-uitstoot mogelijk.

Opslag van kooldioxide leidt tot vertraging van de uitstoot kooldioxide naar de atmosfeer.

Hoofdstuk 7. Beperkingen en instrumenten van klimaatpolitiek op energiegebied: nationaal, Europees en internationaal.

Het gaat om beperkingen door tekortschietende motivatie, informatie en geld maar ook om te lage energieprijzen, averechts beleid door energieleveranciers en door averechts werkende wettelijke bepalingen als bouwvoorschriften. Deze beperkingen komen voor bij huishoudens, industrie en bij meerdere sectoren tegelijk. Deze beperkingen moeten niet

opgeheven worden door het inzetten van nieuwe instrumenten, maar door het beter toepassen van bestaande.

Internationale afspraken kunnen daarbij een grote rol spelen, zoals de Raamovereenkomst van Berlijn, die de commissie in deel E van haar rapport ter sprake stelt.

Internationale samenwerking op energiegebied tussen ontwikkelingslanden, nic's, industrielanden en supranationale organisaties is noodzakelijk tussen landen die meer dan gemiddeld moeten bijdragen, landen die wel profiteren zonder een bijdrage te leveren (treeplankgedrag, meeliften) en landen die daar ergens tussen opereren.

De Global environment facility moet landen ontwikkelingslanden en nic's de financiële middelen verschaffen die nodig zijn om de maatschappij zo energie-arm mogelijk in te richten. Ook ontwikkelingshulp, niet tarifaire handelsmaatregelen, technologietransfers, directe buitenlandse investeringen, internationale handelspolitiek en ruilhandel moeten hier meer op gericht worden. Transnationale ondernemingen hebben hier ook belang bij.

Joint implementation (de mogelijkheid, verplichtingen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen niet in het verplichtende land na te komen, maar in een ander) draagt er aan bij maatregelen die het klimaat beschermen daar te nemen waar de kosten het laagst liggen. Het globale karakter van het klimaatprobleem en de beperkte middelen voor klimaatbeleid maken joint implementation extra verdedigbaar. Joint implementation leidt wel vaak tot uitstel van maatregelen in industriestaten en tot moeilijker beoordeling of maatregelen binnen een klimaatbeleid thuis horen. Ecologische vernieuwing van de economieën van industrielanden is effectiever en sluit betrokkenheid in andere delen van de wereld niet uit.

Debt-for-nature swaps bieden een mogelijkheid voor joint implementation.

Initiatieven die passen binnen een klimaatbeleid kunnen vaak beter binnen het verband van de Europese Unie worden genomen.

Voorbeelden zijn het Altener programma voor duurzame energie, SAVE voor efficiënt energiegebruik, de gemeenschappelijke monitoring van kooldioxide-emissies en van andere broeikasgassen en een mogelijke Europese ecotax. De programma's Thermie (innovatieve energietechnologieën) en Joule (onderzoek en ontwikkeling van niet-nucleaire energie) zijn niet expliciet bedoeld voor klimaatbeleid, maar kunnen wel een bijdrage leveren.

Voorop lopen vergroot de geloofwaardigheid en geeft een signaal, maar heeft als nadeel dat de onderhandelingspositie in het verdere verloop verzwakt. Het bekend maken van een voorwaardelijk initiatief vergroot de politieke haalbaarheid.

De *Energieheffing* zoals die op 14 oktober 1991 door de Europese Commissie werd voorgesteld, is niet ingevoerd (B-7.3.2). Het was de bedoeling 50% op kooldioxide-emissies te heffen en de rest op energie-inhoud.

De mogelijkheid bestaat dat de olieproducerende landen er op zouden reageren.

Het is inefficiënt alleen het broeikasgas kooldioxide te belasten; voor een methaan- en vooral stikstofdioxide-heffing is nog veel onderzoek nodig.

Een heffing op andere broeikasgassen dan kooldioxide is onmogelijk vanwege het ontbreken van veel noodzakelijke informatie.

De Europese Commissie hoopt dat de Europese energiemarkt op milieuvriendelijke wijze beter kan voorzien in de vraag; de commissie verwacht vooral problemen voor de betrokkenen en voor een klimaatbeleid.

De commissie stelt een lijst met 61 *maatregelen* voor op energiegebied (tabel 7.4.1, blz 615 en verder) op het gebied van:

1. privé huishoudens: gebouw, warm water en huishoudelijke apparaten,
2. kleinverbruikerssector,
3. industrie,
4. energiesector en afvalverwerkingsindustrie,
5. de inzet van duurzame energiebronnen,
6. de inzet van afvalgas, inclusief uit biomassa,
7. de inzet van kooldioxide-arme fossiele energiedragers en
8. instrumenten, die in meerdere rubrieken thuishoren, zoals energieheffing en informatieverstrekking.

In tabel 7.4.2 zijn 61 extra maatregelen opgesomd, die naast de voorstellen van de commissie nog door de Duitse regering en het Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zijn voorgesteld (blz. 615 en verder).

De commissie legt verband tussen de maatregelen en de volgende probleemgebieden:

1. Energiebesparing bij verwarming;
2. betere benutting van warmte;
3. verhoging van de energie-efficiency van toestellen, apparaten;
4. hervorming van de energiesector, zodoende dat teruglevering aan het openbare net, wkk en andere mogelijkheden beter benut worden;
5. Uitbreiding van de analyse van energiebesparingsmogelijkheden vanaf de winning van de primaire energiebronnen tot en met het eindprodukt van de eindverbruiker (least cost planning), het Zwitserse programma RAVEL is een voorbeeld (§ B-7.4.3);
6. energiebesparing na afspraken, bijvoorbeeld convenanten, met derden daartoe, (contracting);
7. onderwijs, informatie, motivatie en internalisering.

De commissie liet zich informeren over de externe kosten van de verschillende vormen van energievoorziening (steenkol kernenergie, enzovoorts) blz. 675 en verder).

In paragraaf B-7.4.5 worden voor- en nadelen van een ecotax vergeleken.

Technologische en sociaal-economische ontwikkelingen kunnen een belangrijke bijdrage leveren op energiegebied en bij het verminderen van broeikasgassen (§ B-7.5). Tussen de verschillende opties moet een politieke keuze worden gemaakt. Zonder financiële steun van de staat zullen de potenties niet benut worden.

Hoofdstuk 8. Geïntegreerde strategieën in Duitsland die voor energie gemitteerde broeikasgassen verminderen.

De commissie liet extern twee studies verrichten:

1. Geïntegreerde strategieën voor de vermindering van emissies van broeikasgassen in de energiesector tot 2005 en 2010 door onderzoeksbureaus IER en DIW;

Door **scenario**-berekeningen werden de gevolgen van verschillende maatregelen ter vermindering van de emissies van broeikasgassen berekend, zodat rekening kon worden gehouden met: bevolkingsomvang,

hoeveelheid huishoudens en woningen, economische produktie, prijsontwikkeling voor ruwe olie, voor steenkool, voor aardgas en de ontwikkeling van de internationale energiemarkten (B-8.4-6).

Uitgaande van politieke randvoorwaarden (referentiescenario) vergelijkt de commissie vier reductiescenario's.

	na 2005 wordt door- gegaan met kerne- nergie	na 2005 wordt gestopt met kernenergie
scenario voldoet aan de doelstelling met betrekking tot emissie-reductie van de kooldi- oxide	R1	R2
scenario gaat uit van een energieheffing	R3	R4

Per scenario komen nog een variant met verminderd verbruik door het verkeer.

Gebruik werd gemaakt van scenario's van Prognos AG en van Shell.

Sinds 1950 dalen de energie-intensiteit en koolstofintensiteit per DM BNP door een rationeler energieverbruik door koolstofarmere energiebronnen; verwacht wordt een verdere daling van de energie-intensiteit maar ook enige verslechtering van de koolstofintensiteit.

Een vermindering van 30% kooldioxide-uitstoot blijkt zonder veel kosten mogelijk. Steeds stijgen BNP, prijzen en werkgelegenheid ten opzichte van het referentiescenario (B-8.7-8).

Als gevolg van een vermindering van het energieverbruik, vooral van bruinkool, in de nieuwe bondslanden is de uitstoot van kooldioxide gedaald tussen 1987 en 1993.

2. Economische gevolgen van strategieën voor de vermindering van emissies van broeikasgassen door ISI, DIW en EWI.

Ook voor dit onderzoek werden energiescenario's ontworpen (B-8.7). Het blijkt dat maatregelen in het kader van klimaatbeleid de volgende gevolgen hebben voor macro-economische aspecten:

- * de ontwikkeling van het nationaal produkt (daling van <0,3%),
- * de hoeveelheid arbeidsplaatsen (geen veranderingen)
- * het prijsniveau,
- * de consumptieve bestedingen (stijgen)
- * de investeringen (daling met 1,4 tot 2,2%) en
- * de internationale handel (daling rond 0,8%).

Een vermindering van de kooldioxide-uitstoot in 2020 van 40% ten opzichte van 1987 blijkt met alles bij elkaar weinig gevolgen mogelijk (B-8.7.4).

Door **energieheffing** door de Europese Unie daalt vooral het gebruik van steenkool ($\pm 10\%$) en bruinkool (± 25 tot $\pm 30\%$), een nationale energieheffing heeft iets geringere effecten alleen voor Duitsland. Een energieheffing leidt tot stijging van de consumptieve bestedingen. Hierbij wordt onderscheiden tussen drie varianten: 1. De belastingopbrengsten komen geheel ten goede aan huishoudens; 2. de belastingopbrengsten worden in mindering op de staatsschuld gebracht en 3. met de opbrengsten worden extra overheidsuitgaven gedaan.

Daarnaast lieten de regeringsfracties nog onderzoek doen naar: IER: Least-cost-scenario's (B-8.8.2.4 en bijlage 1) en EWI: Uitbreiding van kernenergie (bijlage 2).

Op verzoek van de oppositiepartijen werd in bijlage 3 bij dit hoofdstuk een samenvatting opgenomen van de studie door Greenpeace: Wat kost het stoppen met atoomenergie? Bijlage 4 geeft kritiek op deze studie.

Enkele leden van de commissie betreurden het dat de commissie de uit de scenario's naar voren komende aanbevelingen voor maatregelen wegens de extreme tijdsdruk niet beter op waarde kon schatten.

Hoofdstuk 9. Aanbevelingen van de enquêtemissie voor beleid

In hoofdstuk 10 staan de aanbevelingen van een commissieminderheid.

De commissie pleit voor een verdubbeling van de energie-efficiency en halvering van de koolstofintensiteit in het jaar 2020.

Hiermee kunnen de kooldioxide-doelstellingen van de commissie gehaald worden en bovendien de economie technologisch vernieuwd, de werkgelegenheid verbeterd en de milieu/economische toekomst verzekerd. Zonder inspanningen worden de doelstellingen op het gebied van kooldioxide-emissievermindering niet gehaald.

1. De commissie ziet in een energieheffing in de vorm van een broeikasgasbelasting het beste middel voor het verminderen van kooldioxide en methaan-emissies door energieverbruik. Zo betaalt de veroorzaker. Flankerende maatregelen zijn nodig om te waarborgen dat de markt zijn werk kan doen.

Een energieheffing is het best mogelijke sturings- en financierings-instrument wanneer voldaan wordt aan criteria van sociale verevening, schaarste van milieugoederen, het ontzien van de factor arbeid en economische efficiency. De door de EG-Commissie voorgestelde heffing moet snel worden ingevoerd.

2. Wanneer de prijsvorming rekening houdt met werkelijke schaarste en milieuschade kan de markt zijn werk beter doen dan welk bijsturings-mechanisme ook. Alle mogelijkheden voor een rationeler energiegebruik en voor kooldioxidevrije energiebronnen moeten benut worden. Onderzoek naar de mogelijkheden moet worden versterkt. Op een open markt functioneren geprivatiseerde energiebedrijven beter.

3. Er is veel meer onderzoek en ontwikkeling naar de mogelijkheden van energiebesparing, energievoorziening en kooldioxidevrije energiesystemen nodig. In paragraaf B-9.3.2-6 somt de commissie enige mogelijkheden voor onderzoek op.

De commissie pleit voor een open energie-binnenmarkt in de EG.

Bij gebouwen moet een laag-energiehuis standaard worden.

Het gebruik van steen- en bruinkool moet zover als sociaal mogelijk is worden teruggedrongen.

Voor kernenergie moeten voldoende wettelijke veiligheidsvoorschriften rechtskracht krijgen, zodat uitbreiding mogelijk wordt.

De commissie pleit voor een nieuw twintig jaren-programma met een verdubbeling van inspanning op het gebied van onderzoek, ontwikkeling, demonstratie, implementatie en opslag van hernieuwbare energiebronnen. Op duurzame energie mag geen accijns of energieheffing drukken. Voor duurzame energie moet zoveel mogelijk internationaal samengewerkt worden, bijvoorbeeld voor de bouw, samen met een land in de tropen bij de bouw van een zonnecentrale.

De commissie bepleit een instelling die joint implementation kan begeleiden (clearing, controle).

Ondanks grote onzekerheden acht de commissie het onvermijdelijk, verwachtingen voor het jaar 2050 te formuleren. Dit leidde tot Vision 2050, dat in gaat op het beleid met betrekking tot energiepolicies, vervoer, technologie en bouw.

Hoofdstuk 10. Beleidsaanbevelingen door een minderheid van de commissie

De beide oppositiepartijen stemmen in met alle beleidsaanbevelingen van de commissie, maar achten het tempo te laag. Het is onzeker in hoeverre een succesvol klimaatbeleid aan de markt overgelaten kan worden. Bijsturing met gestelde randvoorwaarden is nodig, niet deregulering. Het nut van energiebesparing wordt sterk onderschat. Een strategie van risicominimalisering met een vergelijking van de risico's van kernenergie en andere energiebronnen kan leiden tot het stoppen met kernenergie. Het stoppen met kernenergie maakt de weg en geld vrij voor grootschalige inspanningen voor duurzame energiebronnen en zuiniger energie.

Naast een Europese Unie-initiatief moet de bondsregering ook in Duitsland tot een energieheffing komen.

Joint implementation is alleen acceptabel onder strikte randvoorwaarden als toegift bij geforceerde efficiencyverbetering en invoering van hernieuwbare energiebronnen.

Belemmeringen voor de invoering van warmte-krachtkoppeling moeten bestreden worden.

Concurrentie op de energiemarkt moet vergroot worden door het splitsen van opwekking, transport en aflevering van stroom (deel B van dit hoofdstuk gaat verder in op de institutionele mogelijkheden).

In deel C van dit hoofdstuk staan voorstellen voor bijsturing van de industriepolitiek in het kader van het klimaatbeleid. Hierbij gaat het vooral om energiebesparing.

In hoofdstuk 2 van dit hoofdstuk worden de beleidsaanbevelingen van de commissie afzonderlijk geamendeerd.

DEEL C. VERKEER

Hoofdstuk 1. de invloed van het verkeer op het klimaat

Ongeveer 20% van de door energie-opwekking veroorzaakte kooldioxide-emissies is afkomstig van het verkeer. Bovendien veroorzaakt het verkeer koolstofmonoxide, methaan, vluchtige organische stoffen en stikstofoxiden.

	CO2	NOx	SO2	VOS	CO
personenauto's	66%	61%	51%	89%	95%
vrachtauto's	19%	29%	28%	9%	4%
luchtvaart	8%				
openbaar vervoer	3%				
spoor	3%				
binnenvaart	1%				
	100%				

Hoofdstuk 2. Verkeersontwikkeling.

Tussen 1959 en 1990 verachtvoudigde zich het gemotoriseerde personenvervoer. In de laatste dertig jaar daalde het niet-gemotoriseerde vervoer met bijna dertig procent en het openbaar vervoer stagneerde. De afgelegde afstand verdrievoudigde. Het recreatieve vervoer nam meer dan de helft van de afgelegde kilometers voor zijn rekening.

Tot 2010 worden de volgende stijgingen verwacht:

wegvervoer	30%
luchtverkeer	157%
personenspoorvervoer	56%
goederenwegvervoer	97%
goederenspoorvervoer	54%

De emissies door het verkeer hebben niet alleen nadelige gevolgen voor het klimaat, maar ook voor de gezondheid van mensen (benzol, ongelukken), voor het milieu (ozon, zure regen, geluid, grondstoffenverbruik). Het verkeer neemt ook veel oppervlakte in beslag. Aan de positieve kant staan economische aspecten.

Emissies door het verkeer kunnen omlaag door vermindering van verkeer, door substitutie door minder emitterende vervoerswijzen, efficiëntere verkeerssystemen en technische verbeteringen van vervoermiddelen. Het probleem is tot vermindering van emissies te komen door maatregelen te ontwerpen op het gebied van de prijsbeleid, structuurbeleid, ruimtelijke ordening en randvoorwaarden. De mogelijkheden van verbodsmaatregelen, als voor vliegverkeer door de stratosfeer, moeten onderzocht worden.

De commissie heeft de volgende doelstellingen voor de vermindering van kooldioxide-emissies:

- 25 tot 30% tot het jaar 2005,
- 50% tot 2020 en
- 80% tot 2050.

Omdat de rol van het verkeer belangrijk is voor de economie, is een afweging van maatregelen gecompliceerd. Het uitgangspunt, dat verkeer een belangrijke economische sector is met een gewenste dynamiek, leidt natuurlijk tot andere maatregelen dan het uitgangspunt dat verkeer een dienende functie vervult en dus ondergeschikt aan andere doelstellingen moet zijn.

1. Beleid, gericht op verbetering van spoorvervoer en terugdringing van files kan leiden tot een vermindering van kooldioxide-uitstoot met 2 tot 3%.
2. Ook versnelde privatisering van spoorwegen en integratie van verkeersplannen van verschillende overheden kan de kooldioxide-uitstoot met 2 tot 3% terugdringen.
3. Een Europees spoorwegbeleid kan een vermindering van 1 tot 2% opleveren.
4. Verbetering van het openbaar vervoer in de Europese Unie kan tot 4 tot 12 % vermindering van kooldioxide-emissie leiden.
5. Het bevorderen van autodelen kan 3 tot 6% opleveren.
6. Een verbeterde verkeersafwikkeling geeft 2 tot 10% daling.
7. Zuiniger auto's verminderen de kooldioxide-uitstoot met 12 tot 15%.
8. kooldioxide-zuiniger vliegtuigen en treinen geven een 3 tot 5% daling.
9. Ruimtelijke ordening kan 1 tot 3% opleveren.
10. Het beoordelen van andere regelgeving op gevolgen voor het klimaat leidt tot een vermindering van de kooldioxide-uitstoot met 3 tot 5%.

Een minderheidsstandpunt vraagt van het verkeer een minstens evenredige bijdrage in de terugdringing van klimaatbeïnvloedende emissies, ook omdat in deze sector maatregelen mogelijk zijn met relatief weinig moeite en kosten.

De energiebehoefte van het verkeer moet zo snel mogelijk dalen. Er moet een geïntegreerd vervoersbeleid komen. Met ruimtelijke ordening is meer mogelijk. Grotere besparingen dan hierboven geschat lijken mogelijk.

DEEL D. LAND- EN BOSBOUW.

Hoofdstuk 1. Samenvatting en belangrijkste aanbevelingen voor klimaatveranderingsbeleid in de sector landbouw

Uitstoot **landbouw**:

	aandeel in totale uitstoot	aandeel in broeikas-effect
Methaan	helft	minstens 9 tot 10%
NO ₂	50%	2 tot 3%
CO ₂	3 tot 5%	2%
totaal		minstens 15%
totaal Duitsland		12 tot 15%

Naast deze emissies is de landbouw verantwoordelijk voor eutrofiëring van ecosystemen, uitsterven van soorten, genetische verarming, de vernietiging van waardevolle biotopen toename van stikstof in het grondwater en aan zure regen (sterven van bossen). De kwaliteit van leefomgeving en levensmiddelen is verslechterd.

De emissies door de landbouw moeten worden teruggedrongen door een daling van de produktie-intensiteit, een extensivering van de landbouw. Hiervoor zijn verschillende subsidies noodzakelijk.

Het nut van bossen wordt vaak onderschat.

Indien **bosbouw** tot percelen met dezelfde leeftijd en soort leidt, nemen de ecologische instabiliteit en het economische risico toe.

In de Europese Unie is 34% van het oppervlakte bos licht en 24 duidelijk beschadigd door zure regen en dergelijke.

De boreale bossen moeten veel rationeler worden gekapt.

De kap van het tropisch regenwoud zorgt voor onder andere een teruggang van de soortenrijkdom, bodemerosie, regionale klimaatverandering en een aandeel van 20 tot 30% van het antropogene broeikas-effect.

Voor de financiering van projecten voor de bescherming van de bossen is een aparte faciliteit nodig. Er zijn nationale plannen voor de bescherming van de bossen nodig, naleving moet door subsidies bevorderd worden. Er moeten internationaal criteria voor een duurzame bosbouw worden vastgesteld.

In een bijlage is het resultaat opgenomen van een studie die de commissie heeft laten uitvoeren naar Landbouw en voeding, maar geen standpunt over de studie gevormd.

DEEL E. AANBEVELINGEN VAN DE ENQUETECOMMISSIE VOOR DE CONFERENTIE VAN BERLIJN IN 1995.

De commissie doet verschillende aanbevelingen, zoals:

- * een stabilisering van de antropogene kooldioxide-emissies in het jaar 2000 op het niveau van 1990;
- * een daling van de emissies van broeikasgassen na het jaar 2000;
- * een uitnodiging van de deelnemers aan de conferentie van Berlijn aan de tentoonstelling EXPO 2000 in Hannover.

absorptie: opname van stralingsenergie door een vaste stof, een vloeistof of een gas; hierbij wordt energie opgenomen en in andere energievorm, meestal warmte, omgezet.

aerosolen: gelijkmatig in een gas, meestal in de lucht, verdeelde vaste of vloeibare deeltjes met uitzondering van wateren ijsdeeltjes, met een omvang tussen 0,1 en 100 µm.

aforestation: het kunstmatig bebossen van land, dat vijftig jaar onbebost is geweest.

albedo: het terugkaatsingsvermogen van de aardoppervlakte, verhouding tussen de gereflecteerde en de invallende straling van een bepaalde golflengte op een bepaald oppervlakte, bijvoorbeeld zee, sneeuw.

alpine: de biogeografische zone boven de boomgrens, daaronder komt de montane zone.

anergie: het bij energieomzetting verloren gaande deel van de totale toegevoerde hoeveelheid energie. Zie ook exergie.

anticyclonaal: de windrichting rond een hoge drukgebied (met de klok mee op het noordelijk halfrond, tegen de klok in op het zuidelijk).

antropogeen: dat wat door menselijk handelen veroorzaakt of teweeggebracht is (het griekse antropos betekent mens en genes voortbrengen of doen ontstaan).

aride: droog klimaat met minder dan 250 milimeter of met minder dan drie maanden regen per jaar. Semi-aride land heeft meer dan 250 milimeter per jaar maar is nog niet erg productief en wordt onder de woeste gronden gerangschikt.

atmosfeer: de gasvormige schil om een hemellichaam, vooral om de aarde. De atmosfeer om de aarde wordt verdeeld in troposfeer, stratosfeer en nog hogere lagen van de atmosfeer (Grieks: atmos: damp en sphaira: kogel).

aquifer: een waterdragende aardlaag.

biodiversiteit: de hoeveelheid verschillende soorten of rassen van flora en fauna in een gebied of ecosysteem.

biogeen: door levende vormen veroorzaakt.

biogeochemische kringloop: bijvoorbeeld voor een sporengas als kooldioxide: chemische omzetting binnen en/of uitwisseling tussen de atmosfeer, biosfeer, landoppervlakte en oceanen.

biomassa: de totale hoeveelheid levende organismen, dus zowel de fytomassa (planten) als de zoömassa (dieren). Onder de dode of afgestorven biomassa worden de dode plantaardige resten verstaan.

biosfeer: de door levensvormen bewoonde lagen van de aarde: atmosfeer, hydrosfeer en pedosfeer (bovenste laag van de aardkorst).

boreaal: noordelijk; hetgeen onder de noordelijke klimaatzone hoort, in Europa, Azië en Amerika (Boreas: de koude noordenwind bij Ovidius).

broeikasewfect: gassen in de atmosfeer laten de relatief kortgolvlge zonnestraling praktisch ongehinderd naar de oppervlakte van de aarde passeren, maar absorberen grotendeels de relatief langgolvlge, infrarode terrestrische straling: elektromagnetische straling met een golflengte tussen de 4 en 100 µm. Door de warmte-isolerende werking van deze sporengassen ligt de temperatuur op aarde ongeveer 30°C hoger: het natuurlijk broeikasewfect: de invloed van van nature voorkomende broeikasgassen op de warmtehuishouding van de aarde. Een toename van antropogene broeikasgassen leidt tot het versterkt broeikasewfect.

broeikasgas: elk gas dat infrarode straling in de atmosfeer absorbeert; gas, dat langgolvlge straling van de aarde absorbeert en dat er voor zorgt dat de atmosfeer een isolerende werking heeft, voornamelijk waterdamp, kooldioxide, methaan, stikstofoxiden, ozon, cfk's.

calorie: de warmte die nodig is om een gram water van 1°C te verwarmen tot 15°C.

cfk's, chloor-fluor-koolwaterstoffen: industrieel geproduceerde organische halogeenvbindingen, vroeger vooral als drijfgas voor spuitbussen, nu voornamelijk toegepast als oplosmiddel, reinigingsmiddel of als koelmiddel. Cfk's zijn onschadelijk bij direct contact, maar ze worden in de stratosfeer onder invloed van zonlicht gescheiden in delen die de ozonlaag afbreken. Verder zijn cfk's broeikasgassen.

concentratie van broeikasgassen: typeert de mengverhouding van broeikasgassen met een volume, bijvoorbeeld van de atmosfeer.

convectie: het opstijgen van luchtmasa, vaak zeer lokaal.

cryosfeer: alle sneeuw, ijs en permafrost op aarde.

depositie: deponering van tijdelijk in de lucht voorkomende afvalstoffen op de oppervlakte.

desertificatie: verwoestijning.

dispersie: 1. fijne verdeling van de ene stof in een andere, zodat deeltjes van de ene stof in de andere zweven; 2. afhankelijkheid van de voortplantingssnelheid van een golfbeweging van de golflengte; 3. het breken van wit licht in een meerkleurig spectrum.

dissipatie (van energie): niet omkeerbare omzetting van een vorm van energie in warmte.

duurzaam bos: bos waarin de jaargangen niet gescheiden zijn en dat ontstaat doordat niet per perceel gekapt wordt maar per stam, zoals bijvoorbeeld het forêt municipal in Frankrijk.

ecosysteem: een uit organismen en anorganische structuren bestaande milieu bestaande eenheid, die door wisselwerking een gelijkblijvend systeem vormt.

El Niño: onregelmatige verandering van oceaanstrooming, waarbij het oppervlaktewater voor de kust van Equator en Peru en langs het equatoriale deel van de Stille Oceaan veel warmer, zoeter en voedingsmiddelenarmer is dan gemiddeld. El Niño stroomt meestal kort, maar soms meer

dan een jaar, waardoor de temperatuur van het water stijgt en de gevolgen voor het mariene milieu rampzalig zijn.

energie: het vermogen, arbeid te verrichten, aan of in stoffelijke lichamen veranderingen teweeg te kunnen brengen, «aan» kan zijn een versnelling, vertraging, richtingverandering; «in» kan een verwarming zijn. Energie wordt vaak gemeten in joules of calorieën (1 calorie = 4,168 joule), elektrische energie meet men in kilowattuur, een kWh is nodig om 10 lampen van 100W een uur te laten branden. Mechanische of kinetische energie bezit een in beweging gebracht systeem; potentiële energie bezit een voorwerp als gevolg van de plaats in een krachtenveld, bijvoorbeeld een uitgetrokken veer; warmte- of thermische energie is het gevolg van het temperatuurverschil van twee systemen, stralingsenergie wordt vertegenwoordigd door de hoeveelheid straling en is gelijk aan het produkt van de constante van Planck en de frequentie van de straling.

energie-efficiency: de verhouding tussen de energieopbrengst van een proces of systeem aan de ene kant en de verbruikte energie aan de andere kant.

erosie: In het algemeen het proces waarbij los materiaal door transporterende media als water, ijs en wind wordt afgevoerd; hier het antropogene deel van de vermindering van het voor agrarische doeleinden bruikbare deel van de bodem.

exergie: een begrip uit de termodinamica: het maximale in bruikbare vorm omzetbare deel van de toegevoerde energie onder bepaalde voorwaarden; het voor praktisch gebruik verloren gaande deel heet anergie.

exosfeer: laag van de atmosfeer vanaf ongeveer 400 kilometer, vanwaar deeltjes met voldoende snelheid naar de interplanetaire ruimte verdwijnen.

fauna: dierenwereld.

flora: (godin van de bloei van bloemen en veldgewas) het totaal van alle plantensoorten en lagere systematische eenheden die in een gebied worden aangetroffen.

fossiele brandstoffen: Uit afgestorven planten ontstane vaste, vloeibare en vluchtige brandstoffen als steenkool, aardolie en aardgas.

fotochemisch: een onder invloed van ultraviolette straling verlopende chemische reactie.

fotolyse: ontleding van moleculen door absorptie van elektromagnetische straling.

fotosynthese: de opbouw van koolhydraten uit kooldioxide en water door groene planten met behulp van zonlicht.

photovoltaïsch: in staat voltage voort te brengen bij blootstelling aan een stralingsenergie, vooral licht.

geothermie: betrekking hebbend op aardwarmte.

golflengte: de afstand tussen twee opeenvolgende keren dat een golf dezelfde fase heeft. Bij constante golfsnelheid stijgt de golflengte wanneer de frequentie daalt en omgekeerd.

halogenen: voornamelijk fluor, chloor, broom, jodium.

halonen: gebromeerde cfk's, ze hebben een zeer groot ozonverwoestend potentieel en worden vooral als brandvertrager gebruikt.

humide klimaat: klimaat met een neerslag van meer dan 600 liter per m².

IPCC (Intergovernmental panel on climate change): door het United nations environmental programme (UNEP) en de World meteorological organization (WMO) in het leven geroepen lichaam dat de antropogene invloed op het klimaat van de aarde en de gevolgen van antropogene klimaatveranderingen onderzoekt.

joint implementation: mogelijkheid voor staten, hun in het kader van de klimaatraamovereenkomst aangevane verplichtingen tot het reduceren van emissies van broeikasgassen na te leven door maatregelen, die in andere bij de raamovereenkomst betrokken staten leiden tot een reductie.

joule: energie-eenheid, voor het verplaatsen over een meter van een Newton (de kracht die benodigd is om een maasa van een kilo een meter te verplaatsen).

klimaat: toestand van de atmosfeer boven een bepaalde streek, die karakteristiek is voor een periode van minstens dertig jaar.

klimaatmodel: beschrijft het klimaat wiskundig-fysisch. Zie verder onder model.

klimaatparameter: de factoren die het klimaat karakteriseren, zoals temperatuur, neerslag en wind. Externe klimaatparameters zijn factoren die het klimaatsysteem wel beïnvloeden, maar niet in wisselwerking, zoals de hoeveelheid zonnestraling, vulkanen en antropogene emissies van broeikasgassen.

klimaatsysteem: Klimaat samen met omgevingsfactoren.

klimaatvariatie: kortdurende verandering van het klimaat.

kooldioxide: kleurloos, onbrandbaar, zwak zuur gas. Door fotosynthese wordt kooldioxide door planten met behulp van water en zonne-energie in koolhydraten en zuurstof omgezet. Bij de verbranding van planten of daaruit ontstane produkten als fossiele brandstoffen komt de in koolhydraten aanwezige koolstof weer als kooldioxide vrij. Kooldioxide is een belangrijk broeikasgas.

kooldioxide-emissiecoëfficiënt: factor, die de verhouding tussen verbruikte energie en de daarmee veroorzaakte kooldioxide-emissie uitdrukt. Of koolstofintensiteit: verhouding tussen de bij verbranding van fossiele brandstoffen vrijkomende kooldioxide en energie.

koolhydraten: plantaardige reservestoffen, als zetmeel en suiker.

koolstofequivalent: omrekening van niet kooldioxide-emissies naar een hoeveelheid kooldioxide, die hetzelfde broeikas effect sorteert.

litosfeer: harde deel van de aardkorst, inclusief de buitenste schil van de aardmantel.

marien: van, in of uit de zee of de oceaan.

mineralisatie: afbraak van dode organische stof tot anorganisch materiaal, vooral door heterotrope (niet tot fotosynthese in staat zijnde) micro-organismen.

model: voor klimaatonderzoek worden verschillende soorten modellen gebruikt. Met eendimensionale modellen kan de samenstelling van een luchtkolom voorgesteld worden en de verticale verdeling van een sporegas. Tweedimensionale modellen voegen de geografische breedte toe, zodat bijvoorbeeld ook de van de breedte afhankelijke zonne-straling bestudeerd kan worden. Driedimensionale modellen, typeren ook de geografische lengte.

Montreal: Het protocol van Montreal over stoffen die leiden tot afbraak van de ozonlaag beperkt de produktie en verbruik van de belangrijkste cfk's.

noordelijke streek: boreale, subarctische en arctische gebieden op het noordelijk halfrond.

ozon: uit drie zuurstofatomen bestaand molecuul, O₃. Het meeste atmosferische ozon zit in de stratosfeer tussen twaalf en veertig kilometer waar het een filter vormt tegen ultraviolette straling (UV-B) die wordt geabsorbeerd en in warmte wordt omgezet. Het wordt hier gevormd door fotolytische splitsing van zuurstof (O₂). Ozon in de troposfeer is giftig en versterkt het broeikas-effect, het ontstaat hier door fotochemische reactie van koolwaterstoffen en stikstofoxiden.

ozongat: door cfk's vermindert de concentratie ozon boven vooral Antarctica in september en oktober.

pakijs: niet aan de kust vastzittend, maar op zee, rivier of meer drijvend ijs.

pedosfeer: aardbodem, bestaande uit gesteenten, water, lucht en levensvormen.

permafrost: het hele jaar bevroren grond.

pH-waarde: logaritmische maatstaf voor de zuurgraad of het gehalte waterstof-ionen van een vloeistof (Een oplossing met een pH-waarde van 7 is chemisch neutraal, daaronder wordt de oplossing steeds zuurder).

postglaciaal: na de (meestal laatste) ijstijd.

potenties: verminderingen van energieverbruik of kooldioxide-emissie, die het gevolg zijn van technologieën die het laboratorium- of pilot-stadium nog niet gepasseerd zijn.

ppm of ppmv: parts per million (volume). Mengverhouding: in het atmosfeeronderzoek is het gewoonte geworden de hoeveelheid sporengassen te karakteriseren als mengverhouding, namelijk als de verhouding tussen de hoeveelheid moleculen van een bepaald gas en de hoeveelheid van alle moleculen. De volgende afkortingen worden gebruikt: 1 ppm, part per million, dus 1 molecuul sporegas per miljoen moleculen; 1 ppb, part per billion, dus een molecuul sporegas per miljard moleculen.

primaire energie: energie vóór de eerste omzettingstap, aanwezig in bronnen zoals die in de natuur voorkomen. Grondstoffen voor de winning van die energie zijn alle energiebronnen die natuurlijk voorkomen, dus de fossiele energiebronnen, kernbrandstoffen en duurzame energiebronnen.

put, carbon sink: wijze waarop kooldioxide uit de atmosfeer geabsorbeerd kan worden, bijvoorbeeld door koolsequestratie: het biochemisch proces waarbij dit gebeurt door biomassa als bomen.

reserves: de voorkomens van energiebronnen of mineralen, die technisch en economisch gewonnen kunnen worden.

sporengas: gas, dat in relatief slechts geringe hoeveelheid in de atmosfeer voorkomt, zoals kooldioxide, stikstofdioxide, methaan en cfk's.

stikstofoxiden: NO_x, verzamelnaam voor stikstofoxide en stikstofdioxide; stikstofoxiden worden bijna uitsluitend in de vorm van stikstofoxide aan de atmosfeer afgegeven, na een fotochemisch proces ontstaat een evenwicht tussen hoeveelheden stikstofoxide en stikstofdioxide.

straling: het proces waarbij energie vanuit een bron wordt afgegeven of deze energie zelf. Elektromagnetische straling wordt vaak opgevat als stukjes energie, fotonen of quanta genoemd. De frequentie en intensiteit van straling kunnen zeer verschillend zijn. Ceteris paribus gaat een lagere frequentie met een hertz samen met een hogere golflengte met een centimeter (en een foton minder energie). Het elektromagnetische spectrum loopt van de lage frequenties van radiogolven via tv-golven, magnetrongolven, infrarode straling, zichtbaar licht, ultraviolette straling, röntgenstraling en radioactieve straling naar steeds hogere frequenties. Van de zonnestraling heeft de helft de frequentie van het licht, dat noodzakelijk is voor de fotosynthese door planten en de biosynthese door plankton. Het is zeer opvallend dat de atmosfeer (en water) veel infrarode straling, ultraviolette straling en straling met hogere frequenties absorbeert, maar het licht niet.

stralingsforcering: verandering van de gemiddelde netto straling aan de buitenkant van de troposfeer die het gevolg is van een verandering van ofwel de atmosfeer binnenkomende zonnestraling of van de infrarode terrestische straling die de atmosfeer verlaat en waarvan de hoeveelheid verandert als gevolg van een verandering van de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer.

stralingshuishouding: verschil tussen opgenomen en afgegeven hoeveelheid straling.

stratosfeer: laag in de atmosfeer vanaf de troposfeer (17 kilometer hoogte) tot 50 kilometer. Hierin zit de ozonlaag.

scenario: onderzoek naar toekomstige stand van zaken bij bepaalde voorwaarden. In vergelijking met prognoses zijn de uitkomsten onafhankelijker van de randvoorwaarden.

thermodynamica: onderdeel van de fysica, dat de omzetting van warmte in een andere vorm van energie en omgekeerd bestudeert.

troposfeer: onderste laag van de atmosfeer, tot 17 kilometer hoogte. In deze laag spelen zich de belangrijkste klimaatbepalende processen af.

ultraviolette straling: elektromagnetische energie met kortere golflengtes dan zichtbaar licht. Er wordt onderscheid gemaakt tussen UV-A (van 320 tot 400 nm), UV-B (280 tot 320 nm) en UV-C (40 to 290 nm).

verblijfstijd: gemiddelde levensduur van een gas in de atmosfeer.

VOS: vluchtige organische stoffen.

vorticiteit: maatstaf voor de wervelsterkte van een luchtstroming.

warmte-krachtkoppeling, cogeneration: het zodanig genereren van bijvoorbeeld stroom, dat de afvalwarmte van koelwater en emissies benut wordt voor verwarmingsdoeleinden, zodat een veel hoger rendement kan worden behaald.

woestijn: een ecosysteem met minder dan honderd milimeter neerslag per jaar.

zonneconstante: $1\,370\text{ W/m}^2$; de gemiddeld bij de buitenrand van de atmosfeer aankomende straling van de zon.