

2. Klimaatverandering

Voorname

bevindingen

Sinds 1900 zijn de Europese gemiddelde jaartemperaturen met 0,3 tot 0,6°C gestegen. Klimaatmodellen voorspellen tot het jaar 2100 een verdere stijging met zo'n 2°C ten opzichte van het niveau van 1990, waarbij de temperatuurstijgingen in het noorden van Europa groter zullen zijn dan in het zuiden. Tot de mogelijke gevolgen hiervan behoren een stijging van het zeeniveau, meer en hevigere stormen, overstromingen en droogten, en veranderingen in biota (flora en fauna) en in de voedselproductiviteit. Hoe ernstig deze gevolgen zullen zijn, is deels afhankelijk van de mate waarin men er de komende jaren en decennia in zal slagen zich aan de veranderende omstandigheden aan te passen.

Om te zorgen dat verdere temperatuurstijgingen beperkt blijven tot maximaal 0,1°C per decennium en de stijging van zeespiegel tot maximaal 2 cm per decennium (voorlopig aangenomen duurzaamheidsnormen), moeten de geïndustrialiseerde landen de emissies van broeikasgassen (kooldioxide, methaan, distikstofdioxide en diverse gehalogeneerde verbindingen) tegen het jaar 2010 met ten minste 30-55% ten opzichte van de niveaus van 1990 hebben verminderd.

Dergelijke reducties zijn veel hoger dan de toezeggingen die de ontwikkelde landen in december 1997 in Kyoto hebben gedaan tijdens de derde conferentie van de partijen bij het Raamverdrag van de Verenigde Naties inzake klimaatverandering (UNFCCC), en die erop neerkomen dat de emissie van broeikasgassen in de meeste Europese landen vóór 2010 met 8% wordt verminderd ten opzichte van 1990. Sommige Midden- en Oost-Europese landen zegden toe dat ze de uitstoot van broeikasgassen vóór 2010 met 5-8% zouden verminderen ten opzichte van 1990, terwijl de Russische Federatie en Oekraïne beloofden hun emissies op de niveaus van 1990 te stabiliseren.

Het is onzeker of de EU de doelstelling van het oorspronkelijke klimaatverdrag uit 1992 - stabilisering van de emissies van kooldioxide (het belangrijkste broeikasgas) in 2000 op het niveau van 1990 - zal halen, omdat de desbetreffende emissieniveaus in 2000 volgens de huidige voorspellingen 5% hoger zullen zijn dan in 1990. Bovendien geeft het meest recente "business as usual"-scenario van de Europese Commissie (van vóór Kyoto) voor de periode 1990-2010 een *stijging* in kooldioxide-emissies aan van 8%, met de grootste stijging (39%) in de vervoerssector, hetgeen in schril contrast staat met de Kyoto-doelstelling om de emissies van broeikasgassen (een pakket van zes gassen, waaronder kooldioxide) vóór 2010 met 8% te *verminderen*.

Het voorstel voor een van de belangrijkste maatregelen op EU-niveau, een energie/koolstofheffing, is nog niet aangenomen, maar in sommige West-Europese landen (Oostenrijk, Denemarken, Finland, Nederland, Noorwegen en Zweden) zijn dergelijke heffingen wel al ingevoerd. Daarnaast is er ruimte voor andere soorten maatregelen om de CO₂-uitstoot te reduceren, waarvan er momenteel diverse door verschillende Europese landen en de EU worden uitgevoerd. Daartoe behoren onder meer programma's voor efficiënt energiegebruik, de bouw van warmtekrachtinstallaties, het omschakelen van kolen op aardgas en/of hout als brandstof, maatregelen om de vervoerswijzekeuze te beïnvloeden, en maatregelen gericht op de absorptie van CO₂ (vergroting van de koolstofput) door middel van bebossing.

Energieverbruik, voor het overgrote deel door de verbranding van fossiele brandstoffen, levert de belangrijkste bijdrage aan de uitstoot van kooldioxide. In West-Europa is door de economische recessie, de herstructurering van de industrie in Duitsland en de overschakeling van kolen op aardgas in de elektriciteitsproductie, de uitstoot van kooldioxide door de verbranding van fossiele brandstoffen tussen 1990 en 1995 met 3% gedaald. De energieprijzen in West-Europa waren de afgelopen tien jaar stabiel en in vergelijking met de prijzen in het verleden

betrekkelijk laag, waardoor de stimulans om de energie-efficiëntie te vergroten gering was. De energie-intensiteit (energiegebruik per eenheid BBP) is sinds 1980 slechts met 1% per jaar gedaald.

De patronen in energieverbruik vertoonden tussen 1980 en 1995 wel opmerkelijke veranderingen. In de vervoerssector steeg het verbruik met 44%, in de industrie daalde het met 8% en in andere sectoren was er sprake van een stijging van 7%, hetgeen hoofdzakelijk een afspiegeling vormt van de groei van het wegvervoer en het afnemende belang van de energie-intensieve zware industrie. Tussen 1985 en 1995 steeg het totale energieverbruik met 10%.

Het aandeel van kernenergie in de totale energievoorziening steeg in West-Europa tussen 1980 en 1994 van 5% naar 15%. Zweden en Frankrijk zijn voor circa 40% van hun totale energiebehoefte afhankelijk van deze energiebron.

In Oost-Europa daalden de CO₂-emissies afkomstig van de verbranding van fossiele brandstoffen tussen 1990 en 1995 met 19%, voornamelijk als gevolg van de economische herstructurering. Het energieverbruik door het vervoer daalde in die periode in de LMOE met 3% en in de NOS met 48%. In de industrie daalde het energieverbruik in de LMOE met 28% en in de NOS met 38%. De energie-intensiteit is in de LMOE ongeveer drie maal zo groot als in West-Europa, en in de NOS waarschijnlijk vijf maal zo groot; er is dus een aanzienlijk potentieel voor energiebesparing. Volgens een basis-"business as usual"-scenario zal het energieverbruik in 2010 in de NOS 11% lager zijn dan in 1990 en in de LMOE 4% hoger dan in 1990.

Het aandeel van kernenergie in de totale energievoorziening steeg tussen 1980 en 1994 van 2% naar 6% in de NOS en van 1% naar 5% in de LMOE. In Bulgarije, Litouwen en Slovenië dekt kernenergie ongeveer een kwart van de totale energiebehoefte.

De methaanemissies in de LMOE en de NOS daalden tussen 1980 en 1995 met 40%. In heel Europa bestaan echter nog aanzienlijke mogelijkheden voor verdere reducties, die vooral moeten worden gezocht in gasdistributiesystemen en in de kolenwinning. Ook de emissie van distikstofoxide (lachgas) door de industrie en door het gebruik van kunstmest in minerale vorm zou in heel Europa verder gereduceerd kunnen worden.

Door de geleidelijke beëindiging van de productie en het gebruik van CFK's zijn de emissies van deze stoffen snel verminderd. Het gebruik en de emissie van de vervangingsmiddelen voor CKF's, de HCFK's (die eveneens broeikasgassen zijn), neemt echter toe, net als die van betrekkelijk recent geïdentificeerde broeikasgassen als SF₆, HFK's en PFK's, die deel uitmaken van het pakket gassen waarvoor in Kyoto reductiedoelstellingen zijn vastgesteld.

2.1. Inleiding

Klimaatverandering wordt algemeen erkend als een ernstige potentiële bedreiging van het milieu. De aanpak van het probleem wordt geregeld via het Raamverdrag van de Verenigde Naties inzake klimaatverandering (UNFCCC), het meest recent nog tijdens de derde conferentie van de verdragspartijen in december 1997 in Kyoto. Door de EU is het aangewezen als een van de voornaamste milieuthema's in het kader van het Vijfde Milieuactieprogramma.

Het klimaat wordt sterk beïnvloed door veranderingen in de concentraties van een aantal gassen in de atmosfeer die infrarode straling van het aardoppervlak vasthouden (het "broeikaseffect"). Waterdamp en kooldioxide (CO₂) in de atmosfeer zorgen voor een natuurlijk broeikaseffect; als dat er niet was, zou het aan het aardoppervlak ongeveer 33°C kouder zijn dan het nu is (IPCC, 1990). Andere belangrijke broeikasgassen zijn methaan (CH₄), distikstofoxide (N₂O), en gehalogeneerde verbindingen zoals CFK's en perfluorkoolwaterstoffen (PFK's).

De afgelopen honderd jaar ongeveer hebben menselijke activiteiten geleid tot een toename van de concentraties broeikasgassen en andere verontreinigende stoffen in de atmosfeer. In dezelfde periode is een - historisch gezien - grote stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde waargenomen. Hoewel niet helemaal duidelijk is in hoeverre deze opwarming is toe te schrijven aan broeikasgassen, staat wel vast dat menselijke activiteiten een versterkt broeikaseffect of opwarming van de aarde veroorzaken (IPCC 1996a).

De verbranding van fossiele brandstoffen is de voornaamste drijvende kracht achter het versterkte broeikaseffect. Andere activiteiten die een rol spelen zijn de landbouw, veranderingen in bodemgebruik

waaronder ontbossing, bepaalde industriële processen zoals cementproductie, het storten van afval, en het gebruik van koelmiddelen, schuimblaasmiddelen en oplosmiddelen.

De klimaatverandering die voortvloeit uit het versterkte broeikaseffect zal naar verwachting grootschalige consequenties hebben, zoals:

- het stijgen van de zeespiegel en mogelijk onderlopen van laaggelegen gebieden;
- het afsmelten van gletsjers en zeeijs;
- veranderingen in neerslagpatronen, met gevolgen in de zin van overstromingen en droogteperioden;

- veranderingen in de incidentie van extreme weersomstandigheden, met name extreem hoge temperaturen.

Deze effecten van klimaatverandering zullen gevolgen hebben voor ecosystemen, voor de volksgezondheid, voor belangrijke economische sectoren zoals de landbouw, en voor de waterhuishouding.

Over de ernst van de mogelijke gevolgen bestaat geen zekerheid, hoewel de internationale wetenschap de laatste jaren aanzienlijk meer inzicht heeft verworven in de relaties tussen bijvoorbeeld de emissies van broeikasgassen, de concentraties in de atmosfeer, de temperatuur, en de economische kosten van klimaatverandering. Het "Intergovernmental Panel on Climate Change" (IPCC) heeft voor de periode tot 2100 de mogelijke consequenties van een verdergaande verhoging van de concentraties broeikasgassen door de mens onderzocht aan de hand van een aantal scenario's. Deze lopen uiteen van "business as usual" tot scenario's die uitgaan van een geringe groei en vooral een flinke verschuiving naar het gebruik van niet-fossiele energiebronnen en een grote toename van de energie-efficiëntie.

De bevindingen van het IPCC (IPCC, 1996a) vertonen grote variaties, bijvoorbeeld een stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde met tussen 1°C en 3,5°C tot het jaar 2100. Veel aspecten van de klimaatverandering zijn onzeker, met name op regionaal en lokaal niveau. Europees onderzoek heeft weliswaar bijgedragen tot het verminderen van de onzekerheid, maar verder onderzoek is noodzakelijk, bijvoorbeeld om betere regionale klimaatmodellen te verkrijgen.

Hoewel onduidelijk is welke mate van klimaatverandering als duurzaam zou kunnen worden beschouwd, is de conclusie over het algemeen dat beleidsmaatregelen essentieel zijn om de uitstoot van broeikasgassen te beteugelen en de opwarming van de aarde in de hand te houden. Ook wordt erkend dat het van belang is om te bepalen in hoeverre de schadelijke gevolgen van klimaatverandering zouden kunnen worden beperkt door middel van aanpassing. Vooral van belang is *wanneer* er maatregelen worden genomen, omdat er een groot tijdsverloop is tussen vermindering van de uitstoot van broeikasgassen en stabilisering van de concentraties in de atmosfeer.

Dit hoofdstuk beschrijft en analyseert eerst enkele van de voornaamste indicatoren van klimaatverandering, daarna de emissies en concentraties van broeikasgassen, en vervolgens het energiegebruik - de voornaamste drijvende kracht achter klimaatverandering. Het besluit met een overzicht van de uiteenlopende beleidsontwikkelingen die relevant zijn voor Europa.

2.2. Indicaties en gevolgen van klimaatverandering

Temperatuur

Sinds het einde van de negentiende eeuw is de gemiddelde luchttemperatuur op aarde met ongeveer 0,3°C à 0,6°C gestegen (IPCC, 1996b). In 1997, wereldwijd gezien het warmste jaar dat ooit is geregistreerd, lag de gemiddelde temperatuur 0,43°C boven het gemiddelde over de periode 1961-1990. Figuur 2.1 toont de gemiddelde temperatuur aan het aardoppervlak sinds 1900 vergeleken met het gemiddelde voor 1961-1990.

Voor Europa (figuur 2.2) is de algemene trend vergelijkbaar met de mondiale trend, met de jaren negentig als warmste periode. De variaties van jaar tot jaar zijn voor Europa groter dan voor de hele wereld omdat de tijdreeks over een kleiner gebied is uitgemiddeld.

Hoewel de centrale schatting van het IPCC is dat in 2100 de gemiddelde temperatuur op aarde 2°C hoger zal zijn dan in 1990 (de onzekerheidsmarge is 1°C tot 3,5°C), zouden er regionaal grotere variaties kunnen optreden. Klimaatmodellen geven aan dat de gemiddelde stijging van de temperatuur in Europa overeen zal komen met de geraamde wereldwijde stijging, waarbij de opwarming in het noorden groter zal zijn dan in het zuiden.

Zeespiegel

De opwarming van de aarde zorgt ervoor dat de oceanen warmer worden en dus uitzetten, en dat gletsjers en zeeijs sneller smelten. Op die manier kan klimaatverandering invloed hebben op het zeeniveau, dat inderdaad aan het stijgen is: de afgelopen 100 jaar is de zeespiegel met 10-25 cm gestegen (de marge hangt samen met verschillen in diverse delen van de wereld). De snelheid van de stijging lijkt niet te veranderen. Hoewel niet bekend is wanneer de huidige stijging is begonnen, is het tempo van de stijging beduidend hoger dan het gemiddelde over de afgelopen paar duizend jaar (IPCC, 1996b).

Uit schattingen op basis van modellen van het IPCC blijkt dat in 2100 het zeeniveau 50 cm (marge 15-95 cm) hoger zou kunnen liggen dan nu (IPCC, 1996b). Er bestaat nog aanzienlijke onzekerheid over de uitkomsten van de modellen, met name over de rol en het gedrag van polaire ijslagen (IPCC, 1996b).

Een stijging van de zeespiegel zou een aantal consequenties kunnen hebben, waaronder:

- het onderlopen en verschuiven van water- en moerasgebieden en laaggelegen gebieden;
- verzilting van estuaria;
- aantasting van watervoerende grondlagen.

Figuur 2.1 Gemiddelde temperatuur op aarde, 1900-1997
Jaarlijkse afwijking van gemiddelde jaartemperatuur 1961-1990
normaal gemiddelde
met Gauss-filter

Bron: WMO

Figuur 2.2 Gemiddelde temperatuur in Europa, 1900-1996
Jaarlijkse afwijking van gemiddelde jaartemperatuur 1961-1990
normaal gemiddelde
met Gauss-filter

Bron: ECSN (European Climate Support Network)

Klimaatverandering

De gebieden die het meeste risico lopen zijn getijdendelta's, kustvlakten, zandstranden, strandwaleilanden, water- en moerasgebieden langs de kust en estuaria. In Europa lopen de kuststroken in Nederland, Duitsland, de Baltische staten, Oekraïne, Rusland en een aantal delta's rond de Middellandse Zee de grootste risico's (IPCC, 1997).

In 1990 woonden in Europa ongeveer 30 miljoen mensen onder het niveau met een stormvloedkans van 1 maal per 1000 jaar; een zeespiegelstijging van 1 meter zou dit aantal tot ongeveer 40 miljoen doen toenemen (IPCC, 1997). Een dergelijke stijging van de zeespiegel zou naar schatting ook het totale kwelderoppervlak in Europa met 45% verminderen en andere bij eb droogvallende gebieden met 35%. Andere vormen van druk op deze gebieden zouden het totale effect versterken, wat ernstige gevolgen zou kunnen hebben voor de biodiversiteit, met name voor vogelpopulaties (IPCC, 1997).

Behalve door de stijging van de zeespiegel kunnen kustgebieden ook op andere manieren met klimaatverandering te maken krijgen. In Nederland bijvoorbeeld zou een toename van 10% in de kracht van stormen, waarbij de maximumkracht het belangrijkste is, gepaard met veranderingen in de windrichting, meer schade kunnen aanrichten dan een zeespiegelstijging van 60 cm (Bijlsma e.a., 1996, Peerbolte e.a., 1991).

Mogelijke reacties op de dreiging van een stijgende zeespiegel, die overigens ook gecombineerd zouden kunnen worden, zijn:

- gecontroleerde terugtrekking: land en gebouwen verlaten en landinwaarts verhuizen;
- aanpassing: zich aanpassen aan de dreiging maar de gebieden blijven gebruiken;
- bescherming: kwetsbare gebieden verdedigen.

De kosten van aanpassing en bescherming tegen een zeespiegelstijging van 1 meter zijn voor Nederland geschat op 12.300 miljoen US-dollar, voor Polen op 1400 miljoen US-dollar en voor Duitsland op 23.500 miljoen US-dollar (allemaal in dollarwaarde van 1990) (Bijlsma e.a., 1996).

In het Verenigd Koninkrijk is uitgebreid onderzoek gedaan naar de effecten en kosten van schade en aanpassing (UK CCIRG, 1996). Ongeveer 40% van de Britse verwerkende industrie bevindt zich langs of dicht bij de kust. In Engeland en Wales is 31% van de kust bebouwd en wonen 26 miljoen mensen in stedelijke agglomeraties langs de kust, terwijl 8% van de goede landbouwgrond ("klasse 1-3") minder dan vijf meter boven zeeniveau ligt en dus gevoelig is voor overstromingen (Whittle, 1990). Van deze grond geldt 198.000 ha als 57% van de beste ("klasse 1") landbouwgrond in Engeland en Wales. Zelfs als deze gebieden beter tegen overstroming worden beschermd, kunnen ze onder extreme omstandigheden nog steeds onderlopen. De hogere grondwaterspiegel zal drainage bemoeilijken en de bodem zouter maken. Dit alles zal schadelijk zijn voor de productiviteit van de landbouw. Elders zijn soortgelijke effecten te verwachten.

Hoewel de kosten van kustbescherming niet voor het Verenigd Koninkrijk als geheel zijn berekend, wordt geschat dat bescherming van het gebied East Anglia tegen een zeespiegelstijging van 80 cm (die een schade van 2.300 miljoen US-dollar zou veroorzaken) 800 miljoen US-dollar zou kosten.

Neerslag

De neerslaghoeveelheden en -patronen in Europa zijn deze eeuw veranderd. Vanwege de grote natuurlijke variatie is het echter moeilijk om duidelijke trends vast te stellen. Over het algemeen is de neerslag in de noordelijke helft van Europa toegenomen en in het zuiden afgenomen. Sinds 1900 is de neerslag in het noorden van Scandinavië met een snelheid van ongeveer 5% per eeuw toegenomen, terwijl in andere delen van Noord-Europa een stijging van ongeveer 2% per eeuw is gemeten (IPCC, 1996b). In het zuiden van Italië en Griekenland is een daling van ongeveer 5% per eeuw te zien.

Onderzoek van registraties in Schotland van 1757 tot 1992 wijst op een aanzienlijke toename van de jaarlijkse neerslag, met name sinds eind jaren zeventig, terwijl de regenval in de zomer is afgenomen (Smith, 1995).

Alle klimaatveranderingsmodellen wijzen in de richting van een toename van de gemiddelde neerslag op aarde, waarbij de toename in Europa onder het wereldgemiddelde ligt. Hoewel neerslag een groot direct effect heeft op de vegetatie, kan het zijn dat de bodemvochtigheid belangrijker is voor de plantengroei en het voortbestaan van planten. De opwarming van de aarde heeft invloed op de bodemvochtigheid via toenemende verdamping en veranderingen in het afvoerpatroon. Modellen van deze processen geven aan dat de bodemvochtigheid in Europa zou kunnen afnemen.

Hydrologie en waterhuishouding

Sinds het midden van de negentiende eeuw trekken de gletsjers in de Alpen zich terug (Haeberli en Hoelzle, 1995). Dit heeft met name invloed gehad op het seizoenspatroon in de afvoer van rivieren. In dezelfde periode heeft de mens echter steeds meer invloed gekregen op de kringloop van het water, waardoor de invloed van klimaatverandering wordt gemaskeerd. De afgelopen decennia is er een toename in de omvang van het rivierafvoer in Noord-Europa (McMichael e.a., 1996), hetgeen overeenkomt met de waargenomen toename van de neerslag (Dai e.a., 1997).

Veranderingen in het klimaat zullen waarschijnlijk leiden tot meer watergebonden problemen in gebieden in Europa die hydrologisch gezien toch al gevoelig zijn: het Middellandse-Zeegebied, de Alpen, Noord-Scandinavië, kustgebieden en Midden- en Oost-Europa (IPCC, 1997).

Door de opwarming van de aarde zou de gletsjermassa in de Alpen de komende 100 jaar voor 95% kunnen afsmelten (Haerberli en Hoelzle, 1995). Daarnaast zou bij iedere temperatuurstijging van 1°C ter plaatse, de sneeuwgrens met 150 meter doen opschuiven. Deze veranderingen zouden invloed hebben op het tijdstip en het volume van de waterafvoer. De gevolgen daarvan voor de waterkringloop zijn moeilijk te overzien; het gaat onder meer om een eventuele toename van de frequentie en de ernst van overstromingen, en mogelijk een verslechtering van de waterkwaliteit vanwege het binnendringen van zout water in watervoerende lagen langs de kust en een lagere stroomsnelheid van de rivieren. Daar waar verzilting reeds een probleem is vanwege de overexploitatie van het grondwater, zal de waterkwaliteit het meest onder druk komen te staan (IPCC, 1997).

Ecosystemen, landbouw en bosbouw

Het is moeilijk te voorspellen hoe ecosystemen in het algemeen zullen reageren op veranderingen in temperatuur, neerslag en bodemvochtigheid, kooldioxide in de lucht en andere factoren die samen met het klimaat veranderen. In ieder geval zullen de effecten van klimaatverandering op de natuurlijke flora en fauna en op de land- en bosbouw in Europa complex zijn. Er zijn geen duidelijke gegevens op grond waarvan veranderingen in het verleden in verband kunnen worden gebracht met klimaatverandering. Iedere raming zal slechts een poging zijn en met een grote mate van onzekerheid gepaard gaan.

Het voornaamste effect op de afzonderlijke in het wild voorkomende soorten zal naar verwachting de verandering in geografische spreiding zijn (Huntley, 1991). Een stijging van de gemiddelde jaartemperatuur met 1°C komt overeen met een verschuiving van 200-300 km naar het noorden of, in de bergen, een verschuiving van 150-200 m omhoog.

Als de temperatuur in Europa in 50 jaar 2°C zou stijgen, zouden klimaatzones zo snel naar het noorden opschuiven dat de migratiesnelheid van veel plantensoorten daarbij achterblijft. Daarnaast zou het verspreidingsgebied van planten in berggebieden naar hoger gelegen delen worden gedwongen, waar misschien geen ruimte voor hen is. Vanwege de intensiteit van het grondgebruik zouden de mogelijkheden voor migratie in grote delen van Europa beperkt zijn.

Klimaatverandering zou allerlei effecten kunnen hebben op de landbouw en de bosbouw, onder meer in de zin van verspreidingsgebieden, groeiseizoenen en productiviteit. Bij een onbestendig klimaat zouden bepaalde gewassen met grotere risico's te maken kunnen krijgen, zoals late vorst. Sommige studies geven aan dat de opwarming van de aarde in een groot deel van Europa tot een hogere landbouwproductie kan leiden (Peris e.a., 1996). Er kan zich echter ook een toename van bepaalde plagen en ziekten voordoen (UK CCIRG, 1991).

De mogelijke schadelijke effecten van klimaatverandering zouden op een aantal manieren kunnen worden beperkt via aanpassing (IPCC, 1997). De natuurlijke flora en fauna zouden minder kwetsbaar gemaakt kunnen worden door te zorgen dat ze in andere opzichten minder onder druk komen te staan of dat ze kunnen migreren. De landbouwsector zou zich kunnen aanpassen door andere zaaitijden te hanteren of door rassen met een langere rijpingstijd te gebruiken. Ook zouden gewassen uit warmere klimaten kunnen worden gebruikt. In de bosbouw zou het kunnen gaan om betere brand-, ongedierte- en ziektebestrijding en om herbebossing.

2.3. Concentraties van broeikasgassen en hun aandeel in de opwarming van de aarde

De bijdrage van broeikasgassen aan de opwarming van de aarde, en dus hun effect op de zeespiegel, de neerslag en ecosystemen, is afhankelijk van hun concentratie in de atmosfeer, hun verblijftijd in de atmosfeer en hun vermogen om straling vast te houden. CFK's bijvoorbeeld, die slechts in zeer kleine concentraties in de

Tabel 2.1 Broeikasgassen - bronnen en aandeel in de opwarming van de aarde		
Gas	Voornaamste door de mens veroorzaakte bronnen	Aandeel (%)
CO ₂	Energiegebruik, ontbossing en veranderingen in bodemgebruik, cementproductie	65
CH ₄	Energieproductie en -gebruik, dieren, rijstvelden, afvalstoffen, stortplaatsen, verbranding van biomassa, huishoudelijk afvalwater	20
Gehalogeneerde verbindingen	Industrie, koelsystemen, aerosolen, schuimblaasmiddelen, oplosmiddelen	10
N ₂ O	Bodembemesting, ontbossing, zuurproductie, verbranding van biomassa, verbranding van fossiele brandstoffen	5

Bron: IPCC, 1996b

atmosfeer voorkomen, zijn van belang omdat hun verblijftijd ongeveer 100 jaar is en iedere molecule een broeikas effect heeft dat enkele duizenden malen groter is dan dat van een kooldioxidemolecule. Om de invloed van verschillende gassen te vergelijken, wordt vaak gebruik gemaakt van het aardopwarmend vermogen (global warming potential; GWP) in verhouding tot CO₂, waarbij de waarde van CO₂ gelijk is aan 1. GWP-waarden hangen sterk af van de periode waarover geëvalueerd wordt. Het aardopwarmend vermogen over een periode van 100 jaar is bijvoorbeeld 21 voor CH₄, 310 voor N₂O en een paar duizend voor een aantal gehalogeneerde verbindingen (IPCC, 1996b). De eenheid die wordt gebruikt om het aardopwarmend vermogen van emissies uit te drukken is "CO₂-equivalent".

Tabel 2.1 laat de huidige procentuele bijdragen van de voornaamste door de mens veroorzaakte broeikasgassen aan de opwarming van de aarde zien, en de voornaamste bronnen waaruit ze afkomstig zijn (gedetailleerder beschreven in paragraaf 2.4).

Naast de gassen in tabel 2.1 kan ook troposferische ozon (O₃) de opwarming van de aarde versterken. Het IPCC schat dat ozon momenteel nog eens 16% toevoegt aan het totale opwarmings effect van de voornaamste tot op heden uitgestoten door de mens veroorzaakte broeikasgassen.

Aërosolen, die uit kleine deeltjes of druppeltjes bestaan en hetzij rechtstreeks worden uitgestoten (primaire aerosolen) hetzij in de atmosfeer ontstaan uit SO₂, NO_x en ammoniak (secundaire aerosolen), kunnen een afkoelingseffect hebben, zowel direct door de verstrooiing van zonlicht als indirect door veranderingen in de eigenschappen van wolken. De omvang van het effect is onduidelijk. Het IPCC gaat er in zijn modellen van uit dat aerosolen ongeveer 50% van de totale opwarming ten gevolge van de voornaamste broeikasgassen tot nu toe hebben geneutraliseerd. In tegenstelling tot de voornaamste broeikasgassen hebben aerosolen echter een korte verblijftijd in de atmosfeer, zodat ze zich niet over de hele planeet kunnen verspreiden. Het effect ervan is dus regionaal en kortstondig van aard en treedt voornamelijk op boven gebieden als Europa, de VS en China. De uitstoot van SO₂ en NO_x, en dus ook het ontstaan van secundaire aerosolen, neemt in Europa echter af (zie hoofdstuk 4, paragraaf 4.5), waardoor het afkoelingseffect van aerosolen in Europa mogelijk geringer is dan bijvoorbeeld in China.

Door de grote verschillen in levensduur van broeikasgassen in de atmosfeer kan de duur van hun bijdrage aan de opwarming van de aarde variëren tussen twintig en duizenden jaren. Er is een aanzienlijk tijdsverloop tussen het moment dat de uitstoot van een stof wordt verminderd en het moment dat de concentratie ervan in de atmosfeer zich stabiliseert. Als klimaatverandering zich eenmaal manifesteert, zal het lang duren voordat omkeringsmaatregelen effect zullen hebben.

Figuur 2.3 CO₂-concentraties, 1958-1995

Mauna Loa (Hawaiï)

Schauinsland (Duitsland)

Bron: Thoning e.a., 1994, Fricke & Wallasch, 1994

Figuur 2.4 CH₄-concentraties, 1983-1996

Mauna Loa (Hawaiï)
Mace Head (Ierland)

Bron: Dlugokencky e.a. 1993, Prinn e.a. 1983, Prinn e.a. 1997

Figuur 2.5 N₂O-concentraties, 1978-1996

Point Matatula, Amerikaans Samoa
Adrigole, Ierland
Mace Head, Ierland

Bron: Prinn e.a. 1983, Prinn e.a. 1990,
Prinn e.a. 1997

Klimaatverandering

Het gehalte aan CO₂, CH₄ en N₂O in de atmosfeer is sinds het preïndustriële tijdperk significant toegenomen. De concentraties gehalogeneerde verbindingen, die van nature niet in de atmosfeer voorkomen, zijn door het grootschalige gebruik ervan de afgelopen decennia snel gestegen (zie hoofdstuk 3, figuur 3.4). De concentraties halonen, chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's), 1,1,1-trichloorethaan en koolstoftetrachloride zijn aan het dalen.

Het kooldioxidegehalte is met 30% toegenomen, te weten van het preïndustriële niveau van ongeveer 280 ppmv naar 358 ppmv in 1995, en stijgt verder met een snelheid van ongeveer 1,5 ppmv per jaar. Figuur 2.3 geeft de gemiddelde maandconcentraties die zijn geregistreerd op de vulkaan Mauna Loa op Hawaï en de berg Schauinsland in Duitsland. Het meetstation op de Mauna Loa is afgelegen en kent weinig invloeden van plaatselijke bronnen, zodat het goede benaderingen van de mondiale gemiddelde concentraties oplevert. De seizoensvariaties hangen samen met de opname van koolstof door planten tijdens het groeiseizoen.

De gemiddelde methaanconcentratie op aarde bedroeg in 1995 ongeveer 1720 ppbv, oftewel zo'n twee en een half maal de preïndustriële concentratie van circa 700 ppbv, en neemt momenteel met ongeveer 8 ppbv per jaar toe. Figuur 2.4 geeft de meetresultaten weer van Mauna Loa en van een meetstation in Ierland. De hogere concentraties in Ierland duiden op grotere emissies in die regio.

In 1995 werd de gemiddelde concentratie distikstofoxide in de atmosfeer geraamd op ongeveer 312 ppbv, circa 15% boven het preïndustriële niveau. De huidige toename bedraagt ongeveer 0,5 ppbv per jaar. Figuur 2.5 toont meetresultaten van Point Matatula, Amerikaans Samoa, en uit Ierland.

Aanverwante stoffen en de samenhang met andere problemen

Sommige broeikasgassen en andere broeikasversterkende stoffen kunnen, behalve de opwarming van de aarde, ook andere milieueffecten hebben. Veel van die effecten komen in andere hoofdstukken aan de orde en worden daarom hier niet verder besproken. Deze problemen kunnen echter een onderlinge samenhang vertonen, en maatregelen tegen het ene probleem kunnen heel goed positieve of negatieve effecten hebben op andere problemen. Bijvoorbeeld:

- het terugdringen van de CFK-uitstoot om de aantasting van de ozonlaag tegen te gaan, vermindert ook de directe opwarming van de aarde door deze gassen (maar niet de indirecte afkoeling die wordt veroorzaakt door de afbraak van stratosferisch ozon);
- het terugdringen van de methaanuitstoot om de opwarming van de aarde tegen te gaan, vermindert ook de algemene achtergrondconcentraties van troposferische ozon;

Figuur 2.6 Mondiale CO₂-emissies

Oceanië
 Noord-Amerika
 Midden-Oosten
 Verre Oosten
 Planeconomieën Azië
 Midden-/Zuid-Amerika
 Afrika
 Oost-Europa
 West-Europa

Bron: Marland & Boden, 1997

- het terugdringen van de emissie van SO₂, NO_x en ammoniak zal de verzuring doen afnemen. Een bijkomend effect is echter dat de productie van sulfaat- en nitraataërosolen, die regionaal een afkoelingseffect hebben, ook wordt verminderd;
- het terugdringen van de uitstoot van rook van fossiele brandstoffen (roet), een broeikasversterkende stof, zorgt zowel voor minder opwarming van de aarde als voor minder luchtverontreiniging in de steden.

2.4. Trends in de emissies van broeikasgassen

Kooldioxide

De grootste door de mens veroorzaakte bron van kooldioxide is het verbranden van fossiele brandstoffen, ofwel voor de opwekking van elektriciteit, danwel rechtstreeks, om warmte te produceren of in het vervoer en in de industrie. Andere belangrijke bronnen zijn veranderingen in bodemgebruik en de productie van cement. Als onderdeel van de natuurlijke koolstofcyclus zorgen natuurlijke systemen voor het vrijkomen en vastleggen van grote hoeveelheden CO₂ door middel van fotosynthese en ademhaling. Deze processen zijn normaal gesproken in evenwicht en leiden dus niet tot een netto emissie. Menselijke activiteiten kunnen deze systemen echter verstoren en zorgen voor netto emissie (bijv. door ontbossing) of voor netto absorptie of opslag (bijv. door een nieuw bos te laten groeien).

Wereldwijd gezien zijn de voornaamste bronnen de verbranding van fossiele brandstoffen (77%), industriële processen zoals de productie van cement (2%), en veranderingen in bodemgebruik (21%). Binnen Europa is de verdeling anders (fossiele brandstoffen: 98%, industriële processen: 2%), en kunnen veranderingen in bodemgebruik feitelijk voor opslag kunnen zorgen en mogelijk zo'n 13% van de CO₂-uitstoot in Europa absorberen. Schattingen van emissies als gevolg van veranderingen in bodemgebruik zijn veel minder zeker dan schattingen voor andere bronnen. Figuur 2.6 laat de mondiale emissies (alleen van fossiele brandstoffen en cementproductie) sinds 1950 zien. Op dit moment is Europa verantwoordelijk voor 29% van de totale door de mens veroorzaakte CO₂-emissies afkomstig van verbranding en industrie.

Figuur 2.7 geeft een gedetailleerder beeld van de trends in totale CO₂-uitstoot in Europa sinds 1980. De aanzienlijke afname van de emissies in Midden- en Oost-Europa en de NOS (20% tussen 1990 en 1995) hangt samen met de economische herstructurering.

Het feit dat de emissies in West-Europa tussen 1990 en 1995 met 3% daalden, was hoofdzakelijk te danken aan teruglopende industriële en economische groeicijfers, de herstructurering van de industrie in Duitsland, en de overschakeling van elektriciteitsproducenten van kolen op aardgas.

Figuur 2.7 CO₂-emissies in Europa, 1980-1994

miljoen ton
Nieuwe Onafhankelijke Staten
Midden- en Oost-Europa
West-Europa

Bron: EMA-ETC/AE, 1997

Figuur 2.8 CO₂-emissies in Europa per inwoner in 1994

West-Europa
Midden- en Oost-Europa
Nieuwe Onafhankelijke Staten

Luxemburg
Denemarken

België
Finland
Nederland
Duitsland
Verenigd Koninkrijk
Ierland
Noorwegen
IJsland
Griekenland
Oostenrijk
Liechtenstein
Zweden
Italië
Frankrijk
Zwitserland
Spanje
Portugal

Estland
Malta
Tsjechië
Polen
Bulgarije
Slowakije
Slovenië
Hongarije
Litouwen
Letland
Roemenië
Macedonië
Kroatië
Turkije
Bosnië-Herzegovina
Albanië

Russische Federatie
Oekraïne
Wit-Rusland
Azerbeidzjan
Moldavië
Georgië
Armenië

x 1000 ton per inwoner

Bron: EMA-ETC/AE, 1997

In figuur 2.8 staat de emissie van CO₂ per hoofd van de bevolking weergegeven. De onderlinge verschillen tussen landen komen voor de drie groepen landen globaal overeen (Luxemburg heeft een hoge emissie per inwoner omdat het een kleine bevolking en een grote staalindustrie heeft, en omdat brandstof er relatief goedkoop is).

Een belangrijke leidraad voor toekomstige trends in emissies zijn vergelijkingen waarbij verschillen in rijkdom in aanmerking worden genomen. De CO₂-emissies per eenheid BBP in 1994 zijn te zien in figuur 2.9. Behalve voor delen van het voormalige Joegoslavië en Albanië geldt dat de emissies per eenheid BBP in Midden- en Oost-Europa (3,3 ton/\$) en de Nieuwe Onafhankelijke Staten (2,4 ton/\$) aanzienlijk hoger zijn dan in West-Europa (0,55 ton/\$). Dit weerspiegelt het inefficiënte energiegebruik en de overheersende rol van de energie-intensieve zware industrie in Oost-Europa.

De sector die in West-Europa voor de grootste emissies zorgt, is sinds 1990 de energievoorziening, met name de opwekking van elektriciteit (figuur 2.10). De emissies van de industrie zijn afgenomen en die van het vervoer toegenomen, zodat ze nu vrijwel vergelijkbaar in omvang zijn. De voornaamste verschillen tussen West-Europa en Midden- en Oost-Europa zijn dat in Midden- en Oost-Europa het aandeel van het vervoer kleiner is en dat van de industrie en de energievoorziening groter. Tussen 1990 en 1995 namen in Midden- en Oost-Europa de emissies in alle sectoren af. Te verwachten is echter dat de emissies van het wegvervoer op dezelfde manier als in West-Europa zullen gaan toenemen.

Methaan

De wereldwijde door de mens veroorzaakte emissies van methaan bedragen 375 miljoen ton per jaar, waarvan ongeveer 27% het gevolg is van het gebruik van fossiele brandstoffen. Europa heeft een aandeel van circa 11% in dit totaal. De voornaamste bronnen zijn lekken in aardgasdistributienetten, de steenkolenwinning en de landbouw - met name herkauwers en rijstvelden. Natuurlijke bronnen zoals water- en moerasgebieden spelen ook een significante rol en kunnen verantwoordelijk zijn voor ongeveer 20% van de totale methaanemissies op aarde (IPCC, 1996b).

Figuur 2.11 laat trends zien in de emissies in Europa sinds 1980. De gegevens zijn minder zeker dan die voor CO₂-emissies omdat de voornaamste agrarische bronnen minder goed gekwantificeerd zijn. De gegevens voor Oost-Europa zijn onzekerder dan die voor West-Europa; de gegevens van vóór 1990 zijn mogelijk niet compatibel met latere gegevens.

Figuur 2.9 CO₂-emissies per eenheid BBP in 1994

West-Europa
Midden- en Oost-Europa
Nieuwe Onafhankelijke Staten

Griekenland
Luxemburg
Portugal
Ierland
België
Nederland
Verenigd Koninkrijk
Duitsland
Finland
Spanje
Denemarken
Italië
IJsland
Oostenrijk
Noorwegen

Frankrijk
Zweden
Zwitserland
Liechtenstein

Estland
Polen
Tsjechië
Bulgarije
Roemenië
Slowakije
Litouwen
Macedonië
Hongarije
Malta
Letland
Kroatië
Turkije
Slovenië
Bosnië-Herzegovina
Albanië

Azerbeidzjan
Oekraïne
Russische Federatie
Armenië
Wit-Rusland
Georgië

Opmerking: in US-dollarwaarde van 1994
Bron: EMA-ETC/AE, 1997

Figuur 2.10 CO₂-emissies per sector

West-Europa
LMOE
overige
huishoudens
vervoer
industrie
energie

Bron: EMA-ETC/AE, 1997

Figuur 2.12 laat zien hoe het procentuele aandeel van verschillende sectoren in de methaanemissies tussen 1980 en 1995 is veranderd. Er is sinds 1980 weinig verandering geweest in het aandeel van de diverse sectoren. De emissies door de energiesector zijn voornamelijk afkomstig van kolenmijnen en lekkende gasleidingen. De afvalsector, hier opgenomen onder de industrie, vormt een belangrijke bron met grote emissies uit vuilstortplaatsen. Ook de landbouw is een omvangrijke emissiebron, met name vanwege de methaanproductie door koeien.

Distikstofoxide

De mondiale door de mens veroorzaakte emissies van N₂O liggen tussen 3 en 8 miljoen ton per jaar. De grote onzekerheidsmarge hangt samen met het feit dat er nog te weinig inzicht is in de betrokken processen en de mogelijke wereldwijde variatie daarvan. Wereldwijd zijn de grootste emissies afkomstig van het gebruik van kunstmest in de landbouw. Een aantal grote industriële emissies is afkomstig van specifieke processen zoals de fabricage van adipinezuur (onderdeel van de productie van nylon) en salpeterzuur (die in sommige landen, vooral in Europa, aanzienlijk kan zijn). Het verbranden van fossiele brandstoffen zorgt slechts voor geringe emissies.

Figuur 2.13 toont trends in de N₂O-emissies in Europa sinds 1980. Evenals voor methaan geldt dat de gegevens onzekerder zijn dan voor de CO₂-emissies omdat de voornaamste agrarische bronnen minder goed gekwantificeerd zijn.

Door een vermindering van het gebruik van kunstmest is in Midden- en Oost-Europa de emissie van distikstofoxide door de landbouw afgenomen (figuur 2.14). In mindere mate is door de economische herstructurering ook de emissie door de industrie - grotendeels afkomstig van de productie van salpeterzuur en nylon - afgenomen. In West-Europa zijn de industriële emissies licht afgenomen, terwijl de emissies in de landbouw stabiel zijn gebleven. De emissies door het wegvervoer in West-Europa zijn gestegen. Hoewel het verkeer is toegenomen, is deze stijging grotendeels toe te schrijven aan de invoering van driewegkatalysators. Deze zorgen weliswaar voor een aanzienlijke vermindering van de emissie van stikstofoxiden, koolmonoxide en koolwaterstoffen, maar ook voor een geringe emissie van distikstofoxide.

Gehalogeneerde gassen

Trends in de emissie van gehalogeneerde gassen, zoals CFK's, komen in hoofdstuk 3 aan de orde. Hoewel de emissie van CFK's snel terugloopt door de geleidelijke afschaffing ervan in het kader van het Protocol van Montreal (zie hoofdstuk 3), neemt de emissie van vervangende stoffen toe, met name HCFK's en HFK's, wat eveneens broeikasgassen zijn. Andere potentieel belangrijke broeikasgassen zoals perfluorkoolwaterstoffen (bijv. CF₄ en C₂F₆) en zwavelhexafluoride (SF₆) worden slechts in kleine hoeveelheden uitgestoten en hebben dus een gering effect op de opwarming van de aarde. Gegevens over de emissies van deze gassen zijn te beperkt om trends te kunnen vaststellen, maar door hun lange levensduur en grote aardopwarmende vermogen worden ze belangrijker als de emissie ervan blijft toenemen. Trends in de concentraties van een aantal van deze gassen in de atmosfeer staan weergegeven in figuur 3.4.

Figuur 2.11 CH₄-emissies in Europa, 1980-1995

Nieuwe Onafhankelijke Staten
Midden- en Oost-Europa
West-Europa
miljoen ton

Bron: EMA-ETC/AE, 1997

Figuur 2.12 CH₄-emissies per sector

overige
huishoudens
landbouw

vervoer
industrie
energie
West-Europa
LMOE

Bron: EMA-ETC/AE, 1997

De uitstoot van broeikasgassen in Europa samengevat

Figuur 2.15 geeft de CO₂-equivalente emissies van CO₂, CH₄ en N₂O in West-Europa en Midden- en Oost-Europa weer, zowel in absolute cijfers als per hoofd van de bevolking. Hoewel de totale uitstoot in Midden- en Oost-Europa lager is dan in West-Europa, zijn de emissies per hoofd van de bevolking vergelijkbaar.

Alles bij elkaar waren de emissies in Europa in 1994 verantwoordelijk voor zo'n 30% (onzekerheidsmarge 24-38%) van de totale door de mens veroorzaakte bijdrage aan de opwarming van de aarde, uitgaande van een periode van 100 jaar voor het berekenen van de CO₂-equivalenten.

2.5. Drijvende krachten

Energiegebruik, landbouw, afval en industriële activiteiten vormen de voornaamste drijvende krachten achter de klimaatverandering. Het meest kritieke probleem is stabilisatie van het kooldioxidegehalte, en de oplossing daarvoor ligt in de terugdringing van het gebruik van fossiele brandstoffen. De uitstoot van methaan kan waarschijnlijk worden verminderd door maatregelen zoals meer hergebruik of herverwerking (in plaats van storten) en het beperken van lekkages uit pijpleidingen. CFK's worden geleidelijk uitgebannen, maar het gebruik van ozonvriendelijke vervangers - deels broeikasgassen - neemt toe (zie hoofdstuk 3, paragraaf 3.4). Omdat ontwikkelingen in het gebruik van fossiele brandstoffen de kern van het klimaatveranderingsprobleem vormen, spitst deze paragraaf zich toe op energie en energie-efficiëntie. Hiermee samenhangende informatie over verkeer en vervoer is te vinden in hoofdstuk 4, paragraaf 4.6.

2.5.1. Energiegebruik - de voornaamste factor

Het grootste deel van deze eeuw is het energiegebruik op aarde sneller toegenomen dan ooit tevoren, en hoewel hernieuwbare en nucleaire energie de afgelopen decennia belangrijker zijn geworden, voorzien fossiele brandstoffen nog steeds in meer dan 90% van de wereldenergiebehoefte (UNEP, 1994). Sinds 1990 is de groei van de wereldenergievraag afgenomen, vooral door het lagere energieverbruik in Oost-Europa.

Figuur 2.16 laat zien hoe het eindverbruik van energie (energiegebruik door consumenten, exclusief verliezen tijdens productie en distributie) in West-Europa geleidelijk is gestegen, met een totale toename van 10% tussen 1985 en 1995. In de LMOE daalde het energieverbruik tussen 1990 en 1995 met 18% en in de NOS met 26%. Het totale energiegebruik in Europa is tussen 1990 en 1995 met 11% gedaald.

Figuur 2.17 laat zien hoe het eindverbruik in een aantal sectoren in Europa tussen 1980 en 1995 is veranderd. In West-Europa deed de grootste verandering zich voor in de vervoerssector, waar het energiegebruik met 44% toenam. In diezelfde periode daalde het energiegebruik in de industrie met 8%, terwijl het overige brandstofgebruik met 7% toenam. Dit is vooral een afspiegeling van de groei van het wegvervoer en het afnemende belang van de energie-intensieve zware industrie.

In Midden- en Oost-Europa is het energiegebruik sinds 1990 teruggelopen: met 3% in de vervoerssector, met 28% in de industrie en met 15% in andere sectoren. In de NOS waren de veranderingen opvallender, met een afname van 48% in het vervoer, 38% in de industrie en 30% in het overige energieverbruik. Sommige van deze schijnbare veranderingen in de NOS kunnen te maken hebben met verschillen in

Figuur 2.13 N₂O-emissies in Europa, 1990-1994

miljoen ton
Midden- en Oost-Europa
West-Europa

Opmerking: West-Europa exclusief Spanje; LMOE alleen Bulgarije, Kroatië, Tsjechië, Hongarije, Roemenië en Slowakije

Bron: EMA-ETC/AE, 1997

Figuur 2.14 N₂O-emissies per sector

overige
huishoudens
landbouw
vervoer
industrie
energie
West-Europa
LMOE

Bron: EMA-ETC/AE, 1997

gehanteerde definities, maar de sterke vermindering van het totale energiegebruik in die landen is een feit en hangt samen met de economische veranderingen sinds 1990.

Figuur 2.18 toont de veranderingen in de verhouding tussen verschillende soorten brandstoffen in de primaire energievoorziening voor alle doeleinden, inclusief de opwekking van elektriciteit. Globaal gezien is er een verschuiving opgetreden van kolen en olie naar aardgas, kernenergie en duurzame vormen van energie. Omdat aardgas minder CO₂ veroorzaakt per eenheid geproduceerde energie dan steenkool of olie, terwijl kernenergie en duurzame energiebronnen helemaal geen CO₂ uitstoten, heeft deze verschuiving tot lagere CO₂-emissies geleid. De meest opvallende verandering, en ook de meest relevante in het kader van de klimaatverandering, is dat het belang van steenkool en olie in de primaire energievoorziening in West-Europa tussen 1980 en 1995 naar verhouding is verminderd: het aandeel van steenkool daalde van 24% naar 22% en dat van olie van 52% naar 44%. Het gebruik van kernenergie is tussen 1980 en 1994 in West-Europa en de NOS verdrievoudigd, terwijl het in Midden- en Oost-Europa is verzesvoudigd. In België, Zwitserland, Litouwen, Bulgarije en Slovenië levert kernenergie meer dan 20% van de totale (bruto) verbruikte energie, en in Frankrijk en Zweden meer dan 40%.

2.5.2. Energieprijzen

De vraag naar energie, de verhouding tussen het aandeel van de diverse brandstoffen, en investeringen in energiebesparing en -efficiëntie zijn sterk afhankelijk van de prijs. In de ontwikkelde landen is er een sterke negatieve correlatie tussen het energieverbruik en de energieprijzen. De ontwikkeling van de energieprijzen sinds 1978 is te zien in figuur 2.19. De prijs van ruwe olie kan als representant van de energieprijzen in het algemeen gelden, aangezien de prijs van andere energiebronnen zoals aardgas, olieproducten en steenkool gewoonlijk aan de olieprijs was gekoppeld. Het energieverbruik wordt ook beïnvloed door factoren zoals de noodzaak van internationale concurrentie, waardoor de industrie op de productiekosten moet besparen.

2.5.3. Energie-efficiëntie

Als energie goedkoop is, is de stimulans om er efficiënter mee om te gaan minder groot, zelfs als dat zonder al te veel moeite bereikt kan worden. Er is geen eenvoudige indicator voor energie-efficiëntie op nationaal of Europees niveau; wel is het zo dat de energie-intensiteit (energieverbruik per eenheid BBP) samenhangt met de energie-efficiëntie, hoewel deze ook duidelijk wordt beïnvloed door factoren zoals de vervanging van energie door arbeid en de structuur van de economie.

Figuur 2.20 laat zien hoe de energie-intensiteit zich in Europa sinds 1986 heeft ontwikkeld. De geleidelijke daling van de energie-intensiteit in West-Europa met gemiddeld 1% per jaar heeft te maken met de combinatie van een licht toenemend energieverbruik (zie figuur 2.16) en een iets sneller toenemend BBP. In de betrokken periode was er enige verbetering in de efficiëntie van het energiegebruik, en waren er structurele verschuivingen van zeer energie-intensieve traditionele industrieën naar minder energie-intensieve dienstverlenende sectoren. Uit meer recente gegevens blijkt echter dat de energie-intensiteit momenteel minder snel afneemt. Het merendeel van de meest kosteneffectieve energiebesparende maatregelen zijn reeds doorgevoerd (OESO/IEA, 1996 en 1997),

Figuur 2.15 Europese emissies van broeikasgassen (CO₂-equivalent), 1994

ton CO₂-equivalent
ton CO₂-equivalent per inwoner
West-Europa
LMOE

Bron: EMA-ETC/AE, 1997

Figuur 2.16 Energieverbruik in Europa, 1980-1995

miljoen ton aardolieëquivalent (toe)
West-Europa

NOS
LMOE

Bron: Eurostat, IEA

en in de meeste landen heeft de grootschalige economische omwenteling van energie-intensieve industrieën naar dienstverlenende sectoren inmiddels plaatsgevonden.

Om diverse redenen is de energie-intensiteit in Oost-Europa hoger, onder meer vanwege de relatief inefficiënte productie van energie, het intensieve energiegebruik als gevolg van de traditioneel lage energieprijzen, de over het algemeen lage toegevoegde waarde in de economische productie en het verhoudingsgewijs grote aandeel van energie-intensieve industrieën. De energie-intensiteit in Midden- en Oost-Europa loopt terug, terwijl de energie-intensiteit in de NOS tot ongeveer 1992 toenam en daarna vrijwel constant bleef. Het verschil tussen de LMOE en de NOS wordt veroorzaakt door het feit dat het BBP in de NOS sinds 1990 sterker is gedaald. Het totale energieverbruik per hoofd van de bevolking is vergelijkbaar met dat in West-Europa, maar het BBP is een stuk lager. Daardoor is de energie-intensiteit in de LMOE ongeveer vier maal zo hoog, en in de NOS zes maal zo hoog als in West-Europa. De onderlinge verschillen tussen de landen in Midden- en Oost-Europa en de NOS zijn veel groter dan in West-Europa. Er zijn duidelijk aanzienlijke mogelijkheden voor een verdere reductie van de energie-intensiteit in Oost-Europa.

Er zijn allerlei technische mogelijkheden om de energie-efficiëntie te verbeteren, zoals zuinigere voertuigen en huishoudelijke apparaten of betere isolatie van gebouwen. Dergelijke verbeteringen leiden over het geheel genomen echter niet per definitie tot energiebesparing. Een verbeterde efficiëntie van auto's (in de zin van km/liter) kan tenietgedaan worden door meer autogebruik, en kan het autogebruik zelfs stimuleren omdat de kosten per kilometer lager worden.

Hoewel de energie-intensiteit in West-Europa over het algemeen is afgenomen, wordt het effect hiervan negatief beïnvloed door trends in een aantal belangrijke energieverbruikende sectoren, met name de drie die hieronder worden besproken (IEA, 1997). Voor Midden- en Oost-Europa en de NOS zijn weinig vergelijkbare gegevens beschikbaar.

Particulier autobezit

Het autobezit in Europa (behalve de Russische Federatie) is sinds 1980 met ongeveer 40% toegenomen. Het gemiddelde brandstofverbruik is in die periode weinig veranderd en bedraagt nog steeds ongeveer 8 tot 10 liter benzine-equivalent per 100 km. Er is globaal gezien echter een kleine toename geweest in de jaarlijks afgelegde afstand per auto. Mensen reizen meer, wat voor meer broeikasgasemissies zorgt, en ruilen energie-efficiëntere middelen van transport (lopen, fietsen, bus en trein) in voor de auto. Dit komt tot uitdrukking in de toenemende CO₂-emissies door het binnenlands verkeer in alle IEA-landen en in het feit dat het energiegebruik door auto's in Europa sinds 1973 meer dan verdubbeld is. Deze combinatie wekt de indruk dat, over het geheel genomen, het binnenlands verkeer de afgelopen 20 jaar minder energie-efficiënt is geworden.

Figuur 2.17 Energieverbruik per sector in Europa, 1980-1995

Energieverbruik industriesector
Energieverbruik vervoerssector
Overig energieverbruik
miljoen ton aardolieëquivalent (toe)
West-Europa
NOS
LMOE

Bron: Eurostat, IEA

Huishoudens

In termen van vloeroppervlak per bewoner worden de huizen in West-Europa groter. Steeds meer woningen hebben centrale verwarming, wat een belangrijk deel vertegenwoordigt van energiegebruik door huishoudens (figuur 2.21). Het verzadigingspunt is waarschijnlijk bijna bereikt. Het bezit van een vaatwasmachine, dat representatief is voor het bezit van elektrische apparaten in het algemeen, is beduidend toegenomen van vrijwel nul tot gemiddeld een op de vier huishoudens.

Energiebesparende maatregelen hebben zich meer op huishoudens gericht dan op andere sectoren. Door hogere energieprijzen, betere isolatie van bestaande gebouwen en strengere voorschriften voor nieuwbouw is in de betrokken periode het energiegebruik voor verwarming per hoeveelheid vloeroppervlak in de meeste landen afgenomen. Hoewel er meer elektrische apparaten worden gebruikt, zijn deze veelal energiezuiniger.

Globaal gezien lijken de technologische en andere verbeteringen in energie-efficiëntie in West-Europa teniet te zijn gedaan door een toename in het percentage huizen met centrale verwarming en huishoudelijke apparaten.

Verwerkende industrie

De verwerkende industrie was altijd de grootste energieverbruiker in Europa, maar het aandeel van deze sector is gestaag afgenomen. In de meeste West-Europese landen is de productie van de verwerkende industrie toegenomen, maar er zijn grote verschillen tussen de diverse landen en industriële sectoren (zie paragraaf 1.3.2). Figuur 2.22 laat zien dat de energie-intensiteit in de meeste verwerkende sectoren in West-Europa is gedaald. Het netto effect van de toegenomen productie en de verminderde energie-intensiteit is een kleine afname van het totale energieverbruik.

2.6. Beleid en beleidsdoelstellingen

2.6.1. Beleidsdoelstellingen

Regeringen uit de hele wereld hebben op de bezorgdheid over klimaatverandering gereageerd door tijdens de VN-conferentie van 1992 over milieu en ontwikkeling (in Rio de Janeiro) het Raamverdrag inzake klimaatverandering (UNFCCC) aan te nemen. Inmiddels hebben meer dan 160 landen of groepen landen dit verdrag ondertekend, waaronder ook de Europese Gemeenschap en alle 15 lidstaten en de meeste andere Europese landen. De ontwikkelde landen (vermeld in bijlage I bij het verdrag) zegden toe

Figuur 2.18 Brandstoffen voor primaire energievoorziening in Europa, 1980, 1990 en 1995

steenkool
 ruwe olie
 aardgas
 kernenergie
 waterkracht
 overige
 totaal
 West-Europa
 Midden- en Oost-Europa

Bron: Eurostat, IEA

Figuur 2.19 Indexcijfers reële energieprijzen voor eindgebruikers in de Europese OESO-landen

olieproducten
 aardgas
 ruwe olie
 steenkool

Opmerking: Prijzen zijn inclusief belastingen en kortingen

Bron: OESO

ernaar te zullen streven hun emissies van broeikasgassen (voorzover niet geregeld door het Protocol van Montreal) vóór het jaar 2000 terug te brengen tot de niveaus van 1990.

De derde conferentie van partijen bij het Raamverdrag werd in december 1997 gehouden in Kyoto (Japan). In maart 1997 deed de Raad van milieuministers van de EU het voorstel, bedoeld als onderhandelingspositie voor Kyoto, dat de ontwikkelde landen de uitstoot van broeikasgassen vóór 2010 met 15% zouden terugdringen ten opzichte van 1990 (Europese Commissie, 1997a en 1997b). Deze doelstelling is gebaseerd op een gecombineerde reductie van de voornaamste broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O), rekening houdend met hun aardopwarmend vermogen per 100 jaar. Sommige EU-lidstaten zouden hun emissies mogen vergroten omdat dit door verminderingen in andere lidstaten zou worden gecompenseerd.

In Kyoto kwamen de ontwikkelde landen (van bijlage I) overeen om hun emissies van zes broeikasgassen - CO₂, CH₄, N₂O, HFK's, PFK's en SF₆ - ten opzichte van 1990 in totaal met 5% te verminderen (UNFCCC, 1997b). De samengevoegde reductie van de CO₂-equivalente uitstoot van deze zes broeikasgassen moest in de periode tussen 2008 en 2012 worden bereikt. De partijen deden verschillende toezeggingen ten aanzien van de reducties (tabel 2.2). De EU als geheel beloofde de uitstoot met 8% te verminderen. Een aantal Midden- en Oost-Europese landen verplichtte zich tot reducties van 5 tot 8%, terwijl de Russische Federatie en Oekraïne toezegden hun emissies op de niveaus van 1990 te handhaven. Alle verdragspartijen zijn verplicht om vóór 2005 aantoonbare vooruitgang te boeken met het nakomen van hun toezeggingen.

Toekomstige UNFCCC-conferenties, met name die in Buenos Aires in november 1998, zullen een aantal belangrijke kwesties nader moeten uitwerken:

- het vaststellen en verifiëren van gegevens over CO₂- "sinks" (verdwijnpunten) en -voorraden. Netto veranderingen in die reservoirs en voorraden zouden kunnen worden gebruikt om aan de toegezegde emissiereducties te voldoen als ze het gevolg zijn van "directe door de mens teweeggebrachte veranderingen in bodemgebruik en bosbouwactiviteiten, althans bebossing, herbebossing en ontbossing sinds 1990";
- richtlijnen voor de controle op, verslaggeving over en verantwoordelijkheid voor de verhandeling van emissierechten en de gezamenlijke uitvoering door de bijlage-I-landen;
- definities en organisatorische en financiële mechanismen voor het invoeren van het voorgestelde "schone-ontwikkelingsmechanisme"

Figuur 2.20 Energie-intensiteit, 1986-1995

ton aardolieëquivalent/miljoen US-dollar

NOS

LMOE

West-Europa

Bron: Eurostat, IEA

Figuur 2.21 Percentage woningen met centrale verwarming

Zweden

Denemarken

Finland

Duitsland

Frankrijk

Verenigd Koninkrijk

Italië

Bron: Eurostat, IEA

Figuur 2.22 Energie-intensiteit in de verwerkende industrie, 1971-1991

ferrometalen
papier en pulp
non-ferrometalen
niet-metallieke mineralen
chemische stoffen
voedingsmiddelen en dranken
overige verwerkende industrie

Bron: nationale energie- en industriestatistieken voor Denemarken, Finland, Frankrijk, voormalig West-Duitsland, Italië, Zweden en het Verenigd Koninkrijk zoals geanalyseerd door de Lawrence Berkeley National Laboratory.

om niet-bijlage-I-partijen te helpen tot duurzame ontwikkeling te komen, met inbegrip van de mogelijkheid dat bijlage-I-landen reducties door projecten in niet-bijlage-I-landen op hun reductiebalans mee kunnen laten tellen om hun eigen reductiedoelstellingen te halen.

2.6.2. *Beleidsplannen en maatregelen*

Kader 2.1 geeft een overzicht van beleidsplannen en maatregelen op EU- en nationaal niveau.

Een cruciaal EU-voorstel voor een energie/koolstofheffing is niet aangenomen, maar sommige landen hebben dergelijke heffingen reeds ingevoerd (Denemarken, Finland, Zweden, Oostenrijk, Nederland en Noorwegen). Uit een recent onderzoek naar de effectiviteit van milieuheffingen (EMA, 1996) kwam naar voren dat de bestudeerde koolstofheffingen (Zweden en Noorwegen) weliswaar bepaalde gunstige effecten hadden, waaronder enige emissiereducties in Noorwegen, maar dat deze effecten meer en gedetailleerder onderzoek behoeven. Over het algemeen zijn de energieprijzen te laag om stimulerend te kunnen werken op het terugdringen van het energiegebruik voor auto's en voor de verwarming van woningen.

2.7. Vooruitgang en vooruitblik

2.7.1. *Vooruitgang tot 2000*

In paragraaf 2.4 is al gezegd dat de CO₂-uitstoot in West-Europa tussen 1990 en 1995 met ongeveer 3% is afgenomen, voornamelijk door een tijdelijke terugval van de economische groei, de herstructurering van de industrie in Duitsland en de ontwikkeling van aardgasgestookte elektriciteitscentrales. Blijkens onderzoek van de EU (Europese Commissie, 1996a en 1996b) is het echter de vraag of de doelstelling van het Vijfde Milieuactieprogramma, namelijk om de CO₂-emissies in 2000 te stabiliseren op het niveau van 1990, gehaald zal worden. Daarvoor zou het nodig zijn om de geplande nationale maatregelen van de lidstaten voor de volle honderd procent te realiseren. Veel van die maatregelen zullen pas na 2000 effect hebben. Als de energieprijzen laag blijven en het BBP sneller zou groeien dan momenteel voorzien, zouden de emissies in 2000 de niveaus van 1990 met 5% kunnen overschrijden.

In tegenstelling tot West-Europa zijn de emissies van broeikasgassen in Oost-Europa sinds 1990 aanzienlijk gedaald. Het is niet te verwachten dat het energieverbruik boven het niveau van 1990 zal uitkomen, ook niet in 2010 (ECE, 1996). Daarnaast zal er waarschijnlijk een verschuiving plaatsvinden naar brandstoffen die minder broeikasgassen veroorzaken (IIASA, 1997). Maar ook zonder verandering in de brandstofkeuze of vermindering van de energie-intensiteit zullen de emissies in 2000 naar verwachting 22% lager zijn dan in 1990.

2.7.2. *"Business as usual"-scenario's tot 2010*

Het "business as usual"-scenario van de Commissie voor de periode 1990 tot 2010 (Europese Commissie, 1997c) gaat uit van geen nieuwe beleidsplannen of maatregelen om de CO₂-uitstoot terug te dringen, een groei van het BBP met 2% per jaar en een daling van de energie-intensiteit met 1,3% per jaar, hetgeen tussen 1990 en 2010 zou leiden tot een toename van de CO₂-uitstoot met 8%. De grootste toename zou zich voordoen in de vervoerssector (+39%), gevolgd door de energiesector (elektriciteit- en warmteproductie) (+12%). Alleen de industrie zou lagere emissies laten zien (-15%). Uitgaande van nationale informatie ten behoeve van de UNFCCC (1997a) zou het huidige beleid in Noorwegen en IJsland in 2010 tot nog hogere "business as usual"-emissies leiden ten opzichte van 1990 (respectievelijk +33% en +35%).

Volgens voorspellingen voor sommige van de Nieuwe Onafhankelijke Staten (Wit-Rusland, Moldavië, Russische Federatie en Oekraïne) zal het energieverbruik daar in 2010 11% lager zijn dan in 1990 (ECE, 1996) en het BBP 10% lager. Volgens een ander scenario (IIASA, 1997), dat ervan uitgaat dat de energie-intensiteit in deze landen zal dalen tot het niveau van West-Europa, zou het energieverbruik er in 2010 27% lager kunnen zijn dan in 1990. Hoewel dit misschien geen realistisch scenario is, geeft het wel aan welke reducties in deze landen mogelijk zijn op het gebied van energieverbruik en de uitstoot van broeikasgassen.

In Midden- en Oost-Europa is de situatie anders. In 2010 zou het BBP daar 31% hoger kunnen liggen dan in 1990, terwijl het energieverbruik slechts met 4% zou toenemen (ECE, 1996). Het

Tabel 2.2 Emissiedoelstellingen Kyoto-protocol bij VN-Raamverdrag inzake klimaatverandering

Land	Gekwantificeerde emissiebeperking of reductietoezegging (percentage van het referentiejaar)
EU (Europese Gemeenschap) en elk van haar lidstaten	92
LMOE en NOS	
Bulgarije, Tsjechië, Estland, Letland, Litouwen, Roemenië, Slowakije, Slovenië	92
Kroatië	95
Hongarije, Polen	94
Russische Federatie	100
Oekraïne	100
Overige Europese landen	
IJsland	110
Liechtenstein, Zwitserland	92
Noorwegen	101

IIASA-scenario (waarin de energie-intensiteit toegroeit naar die in West-Europa) voorziet een stijging van het energieverbruik met slechts 1% voor deze periode.

2.7.3. Duurzame trajecten naar 2010

Om de CO₂-concentraties in de atmosfeer vóór 2010 te kunnen stabiliseren op het niveau van 1990, zou het nodig zijn om de door de mens veroorzaakte wereld-jaaremissies van broeikasgassen onmiddellijk met 50 tot 70% te reduceren en daarna nog verder (IPCC, 1996b).

De doelstelling van artikel 2 van het Raamverdrag inzake klimaatverandering is om te komen tot concentraties in de atmosfeer die een gevaarlijke mate van door de mens veroorzaakte verstoring van het klimaatstelsel voorkomen maar wel een duurzame economische ontwikkeling toelaten (IPCC, 1996a). De volgende voorlopige maximumwaarden om aan deze voorwaarden te voldoen zijn voorgesteld: een temperatuurstijging van 0,1°C per decennium (Krause e.a., 1989); een zeespiegelstijging van 2 cm per decennium (Rijsberman en Swart, 1990), en een maximale stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde met 1°C ten opzichte van 1990 (Vellinga en Swart, 1991). Grotere stijgingen zouden belangrijke en mogelijk onomkeerbare risico's met zich mee kunnen brengen voor ecosystemen, de voedselproductie en kwetsbare kustgebieden (paragraaf 2.2).

Om binnen deze grenzen te blijven zal er overeenstemming nodig zijn over:

- De verdeling van de totale door de mens veroorzaakte uitstoot van CO₂, CH₄ en N₂O tussen enerzijds de geïndustrialiseerde landen (de landen uit bijlage I van het Raamverdrag),

Kader 2.1: Beleidsplannen en maatregelen

Kooldioxide

Stand van zaken in de EU:

Beschikking van de Raad (93/389) inzake een bewakingssysteem voor de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen in de Gemeenschap.

Energie-efficiëntie (EU):

- SAVE-programma ter bevordering van de energie-efficiëntie;
- Richtlijnen betreffende energie-efficiëntie (boilers, etikettering van huishoudelijke apparaten en koelkasten);
- Mededeling over een strategie voor het beperken van de CO₂-uitstoot door auto's (doelstelling: brandstofverbruik 5 liter per 100 km voor benzineauto's en 4,5 liter per 100 km voor dieselauto's);
- nieuwe schone en zuinige energietechnologie: JOULE-THERMIE-programma's (O&O en demonstratie);
- bevordering van duurzame energie (ALTENER).

Nationale maatregelen in al dan niet tot de EU behorende landen (voorbeelden):

- vrijwillige overeenkomsten/convenanten met de industrie en de energiesector;
- energie/koolstofheffing;
- warmtekrachtinstallaties (industrie, stadsverwarming);
- overschakeling van steenkool op aardgas en/of hout (industrie, energiesector);
- maatregelen ten aanzien van mobiliteit en rijgedrag (bijv. Rekeningrijden);
- (her)bebouwing.

Methaan

Stand van zaken in de EU:

- Mededeling over een strategie voor het terugdringen van methaanemissies (mogelijke maatregelen: betere beheersing van de mestproblematiek, voorstel voor een richtlijn betreffende verplichte controle op methaanemissies uit biologisch afbreekbaar afval op afvalstortplaatsen, vermindering van lekkages bij de winning en distributie van aardgas);
- de hervorming van het GLB zal leiden tot een inkrimping van de veestapel en een afname van

methaanemissies.

Nationale maatregelen in al dan niet tot de EU behorende landen (voorbeelden):

- vermindering van de hoeveelheid gestort afval door preventie, hergebruik of herverwerking en meer verbranding;
- vermindering van de methaanuitstoot bij de steenkoolwinning (door toepassing van de best beschikbare technologieën).

Distikstofoxide

Stand van zaken in de EU:

De hervorming van het GLB zal leiden tot een vermindering van de mestproductie en van het gebruik van anorganische en dierlijke meststoffen en dus tot minder uitstoot van distikstofoxide.

Nationale maatregelen in landen in en buiten de EU (voorbeelden):

- technische maatregelen voor bepaalde industriële productieprocessen.

die in het referentiejaar 1990 verantwoordelijk waren voor een CO₂-equivalente emissie van 5,8 Gt C (55% van de totale uitstoot), en anderzijds de ontwikkelingslanden (niet-bijlage-I-landen), die verantwoordelijk waren voor 4,4 Gt C (45%). Op grond van het mandaat van Berlijn van het Raamverdrag hoeven de niet-bijlage-I-landen hun uitstoot nog niet aan banden te leggen,

- het moment waarop actie moet worden ondernomen om de effecten van klimaatverandering te beperken.

Naast het bereiken van overeenstemming over de totale emissiereducties en de tijdplanning daarvoor, zullen er strategieën moeten worden ontwikkeld voor ieder afzonderlijk broeikasgas. Het gebruik van CFK's moet krachtens het protocol van Montreal al in 2010 beëindigd zijn, maar sommige CFK-varianten vragen mogelijk extra aandacht (zie hoofdstuk 3). Hoewel CO₂ het belangrijkste broeikasgas is, kunnen matige reducties in de uitstoot van methaan of distikstofoxide naar verhouding veel effect hebben vanwege hun grote aardopwarmende vermogen. Het terugdringen van de uitstoot van deze gassen zal technisch en economisch gezien misschien eenvoudiger zijn dan het terugdringen van de CO₂-emissie, en zou daarnaast bijkomende voordelen hebben omdat ze ook bijdragen tot de vorming van troposferische ozon (zomersmog).

Emissiecorridors

Het IPCC heeft een reeks emissiescenario's ontwikkeld op basis van aannames over bevolkingsgroei, bodemgebruik, technologische ontwikkeling, energiebeschikbaarheid en brandstofkeuze, maar zonder specifiek emissiereductiebeleid. In deze IPCC-scenario's lopen de wereldwijde door de mens veroorzaakte CO₂-equivalente emissies in 2010 uiteen van 11,5 tot 15,3 Gt C (6,2 - 8,3 Gt C voor de geïndustrialiseerde en 5,3 - 7,0 Gt C voor de niet-geïndustrialiseerde landen). De hoogste waarde gaat uit van een betrekkelijk grote groei van economie en bevolking en van een sterke afhankelijkheid van fossiele brandstoffen. De laagste waarde gaat uit van geringe bevolkingsgroei, gunstige economische en technologische ontwikkeling, stopzetting van de ontbossing, meer gebruik van duurzame energie en volledige naleving van het protocol van Montreal (Leggett e.a., 1992).

De marges voor de toelaatbare emissies op aarde kunnen worden bepaald aan de hand van het begrip "emissiecorridors" (Alcamo en Kreileman, 1996). De breedte van deze corridors is afhankelijk van de beoogde klimaatdoelstellingen voor de lange termijn en geeft aan binnen welke marge emissies toelaatbaar zijn. Tabel 2.3 toont de emissiecorridors tot 2010 voor de EU-doelstelling van een maximale temperatuurstijging van 1,5°C tussen 1990 en 2100, uitgaande van een maximale jaarlijkse emissiereductie van 2%. De tabel bevat cijfers voor stijgingen van 0,1°C per decennium en 0,15°C per decennium. In het eerste (meest stringente) geval, is de bovenste grenswaarde van de emissiecorridor in 2010 9,5 Gt C (CO₂-equivalent).

Als de niet-bijlage-I-landen hun emissies volgens het bovengenoemde IPCC-scenario blijven vergroten (d.w.z. tot 5,3 - 7,0 Gt C in 2010), dan zouden de emissies van de geïndustrialiseerde (bijlage-I-)landen in 2010 moeten dalen tot 2,5 - 4,2 Gt C; vergeleken met het niveau van 1990 van 5,8 Gt C is dat een reductie met ongeveer 30 tot 55%. Een dergelijke reductie zou leiden tot een vermindering van de gemiddelde CO₂-uitstoot per inwoner in West-Europa van 8,8 ton in 1990 naar ergens tussen 5,8 en 3,7 ton in 2010 (waarbij nog enige bevolkingsgroei mogelijk is). Om dit in een bredere context te plaatsen: de huidige wereldwijde gemiddelde CO₂-emissie van fossiele brandstoffen per inwoner is 4 ton (1,8 ton in de niet-geïndustrialiseerde landen).

De minder stringente, maar niet duurzame, temperatuurstijging van 0,15°C per decennium is opgenomen om te laten zien dat het stellen van duurzaamheidseisen aan de drie voornaamste klimaatbeschermingsindicatoren (maximale temperatuurstijging 0,1°C per decennium, maximale zeespiegelstijging 2 cm per decennium, en maximale gemiddelde temperatuurstijging 1°C ten opzichte van 1990) belangrijke gevolgen heeft voor de vereiste emissiereducties in de bijlage-I-landen en dat dit dus ook belangrijke beleidsimplicaties heeft. Uitgaande van hetzelfde IPCC-scenario als voor de meer

stringente temperatuurstijging van 0,1°C per decennium, zou slechts een beperkte emissiereductie of zelfs een kleine emissieverhoging in de bijlage-I-landen mogelijk

Tabel 2.3 Maximaal toelaatbare CO₂-equivalente emissies voor bijlage-I-landen in 2010

Beoogde temperatuurstijging 1990-2100^a

Wereldwijde emissiecorridor in 2010

Maximaal toelaatbare emissies bijlage-I-landen in 2010^b
(°C/decennium) (Gt C CO₂-equiv.) (index 1990=100)

Opmerking:

Inclusief (onvermijdelijke) overschrijding van de temperatuurstijging tussen 1990 en 2010. Een temperatuurstijging van 0,1°C per decennium zou kunnen worden beschouwd als een beperkte kans op gevolgen. Een stijging van 0,15°C per decennium ligt aanzienlijk boven dit niveau.

De marge gaat uit van basisemissies in de niet-bijlage-I-landen van 5,3 - 7,0 Gt C (CO₂-equivalent) in 2010 en omvat alleen de bovenste grenswaarde van de emissiecorridor (kolom 2).

Bron: RIVM

zijn. Dit geeft aan dat het verbinden van duurzaamheidvoorwaarden aan de drie voornaamste klimaatbeschermingsindicatoren een belangrijk effect heeft op de vereiste emissiereducties in de bijlage-I-landen en daardoor dus ook belangrijke beleidsimplicaties heeft.

Tijdplanning van maatregelen

Er bestaat discussie over de vraag *wanneer* er maatregelen moeten worden genomen om het risico van klimaatverandering in de geïndustrialiseerde landen te verminderen. Enerzijds wordt aangevoerd dat, als daarmee wordt gewacht, er een stevigere wetenschappelijke basis kan worden ontwikkeld, en dat de kosten van uitstootbeperkende maatregelen verlaagd kunnen worden door eerst betere (en waarschijnlijk goedkopere) technologieën te ontwikkelen. De tijd die nodig is voor de bewustmaking van het publiek en de ontwikkeling en uitvoering van beleidsmaatregelen, en de betrekkelijk kleine jaarlijkse omloopsnelheid van kapitaalgoederen, pleiten ook voor uitstel. Anderzijds betekent de lange verblijftijd van broeikasgassen in de atmosfeer dat, door te wachten met het invoeren van reductiemaatregelen, er in een later stadium zeker veel verdergaande maatregelen nodig zullen zijn. Ook het risico van onomkeerbare gevolgen voor ecosystemen en voor de samenleving zal groter worden naarmate actie uitblijft en men de concentraties broeikasgassen verder laat stijgen.

De gevolgen van uitstel kunnen met behulp van emissiecorridors worden beoordeeld. Als de voorspelde emissieniveaus in 2010 binnen de corridor liggen, is er ten minste één aanvaardbaar emissietraject naar 2100 waarmee de beoogde klimaatbeschermingsdoelstellingen kunnen worden bereikt. Bij uitstel van maatregelen zullen de emissieniveaus in 2010 hoger zijn; bij toepassing van het voorzorgsbeginsel juist lager. De gevolgen kunnen worden ingeschat door te kijken naar de mogelijke emissietrajecten na 2010. Lagere emissieniveaus in 2010 bieden toekomstige generaties meer gelegenheid om aanvaardbare emissietrajecten voor de toekomst te kiezen. Bij hogere niveaus in 2010 zullen toekomstige generaties (ook in niet-bijlage-I-landen) gedwongen zijn om een zeer smal neergaand traject te volgen om de beoogde klimaatbeschermingsdoelen te kunnen bereiken.

Literatuuropgave

Alcamo, J. en Kreileman, E. (1996). Emission scenarios and global climate protection. In *Global Environmental Change - Human and Policy Dimensions*, Vol. 6, p. 305-334.

Bijlsma, L., Ehler, C.N., Klein, R.J.T., Kulshrestha, S.M., McLean, R.F., Mimura, N., Nicholls, R.J., Nurse, L.A., Perez Nietro, H., Stakhiv, E.Z., Turner, R.K., Warrick, R.A. (1996). *Coastal Zones and Small Islands. Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analysis - Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the IPCC*. Cambridge, Cambridge University Press.

Europese Commissie (1996a). Verslag van de Commissie krachtens Beschikking 93/389/EEG van de Raad. Tweede evaluatie van de nationale programma's in het kader van het bewakingsmechanisme voor de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen in de Gemeenschap. Vorderingen ten aanzien van de doelstelling tot stabilisatie van CO₂ binnen de Gemeenschap. COM (96) 91 def.

Europese Commissie (1996b). Mededeling van de Commissie in het kader van het Raamverdrag inzake klimaatverandering van de Verenigde Naties. COM (96) 217 def.

Europese Commissie (1997a). Mededeling over een communautaire strategie betreffende klimaatverandering. Conclusies van de Raad, 3 maart 1997.

Europese Commissie (1997b). Mededeling over een communautaire strategie betreffende klimaatverandering. Conclusies van de Raad, 19-20 juni 1997.

Europese Commissie (1997c). Mededeling over de energiedimensie van klimaatverandering. COM(97) 196.

Dai, A., Fung, I.Y. en Del Genie, A.D. (1997). Surface Observed Global Land Precipitation Variation during 1900-88. In *Journal of Climate*, Vol. 10, p. 2943-2962.

Dlugokencky, E.J., Lang, P.M., Masarie, K.A. en Steele, L.P. Atmospheric Methane Mixing Ratios - The NOAA/CMDL Global Co-operative Air Sampling Network (1983-1993). In *Trends 93: A Compendium of Data on Global Change*. ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., VS.

Dlugokencky, E.J., Masarie, K.A., Lang, P.M., Tans, P.P., Steele, L.P., Nibs, E.G. (1994). A dramatic decrease in the growth rate of atmospheric methane in the Northern Hemisphere during 1992. In *J. Geophys. Res.*, Vol. 99, p. 17021-17043.

EMA (1996). *Environmental Taxes: Implementation and Environmental Effectiveness*, Europees Milieuagentschap, Kopenhagen, 1996. ISBN 92-9167-000-6.

Eurostat (1997). *Carbon dioxide emissions from fossil fuels 1985-1995*. Eurostat, Luxemburg.

Fricke, W. en Wallasch, M. (1994). Atmospheric CO₂ records from sites in the UBA air sampling network. In Trends 93: A Compendium of Data on Global Change. Red.: T.A. Boden, D.P. Kaiser, R.J. Sepanski, en F.W. Stoss. ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., VS.

Haerberli, W. en Hoelzle, M. (1995). Application of inventory data for estimating characteristics of and regional climate change effects on mountain glaciers - a pilot study of the European Alps. In Ann. Glaciol. Vol. 21, p. 206-212.

Huntley, B. (1991). How plants respond to climate change: migration rates, individualism and the consequences for plant communities. In Annals of Botany Vol. 67 (Supplement 1), p. 15-22.

IEA (1997). Indicators of Energy Use and Efficiency - Understanding the link between energy and human activity. ISBN 92-64-14919-8. IEA (1997). CO₂ emissions from fossil fuel combustion 1972-1995. OESO/IEA, Parijs, Frankrijk.

IIASA (1997). Integrated assessment of the environmental effects of application of the current EU air emission standards to CEECs. (Interim) Report to EMA.

IPCC (1990). Working Group II, 1990, Climate Change, The IPCC Impacts Assessment. Canberra, Australian Governments Publishing Service.

IPCC (1996a). Second Assessment Climate Change 1995, a Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (including summary for policy makers). WMO, UNEP, 1995.

IPCC (1996b). Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Red.: J.T. Houghton, L.G. Meira Filho B:A: Callander, N. Harris, A. Kattenberg en K. Maskell. Cambridge, Cambridge University Press.

IPCC (1997). The Regional Impacts of Climate Change, An Assessment of Vulnerability, R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss. Cambridge, Cambridge University Press.

Krause, F., Bach, W. en Koomey, J. (1989). Energy Policy in the Greenhouse, Volume 1: From Warming Fate to Warming Limit. Benchmarks for a Global Climate Convention. International Project for Sustainable Energy Paths. El Cerrito, California.

Leggett, J., Pepper, W.J. en Swart, R.J. (1992). Emissions Scenarios for the IPCC: an Update. Red.: J.T. Houghton, B.A. Callander en S.K. Varney. In Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge, p. 71-95.

Marland, G., en Boden, T.A. (1997). Global, Regional, and National CO₂ Emissions. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., VS.

McMichael, A.J., Haines, A., Sloof, R. en Kovats, S. (red.) (1996). Climate Change and Human Health. An assessment prepared by a Task Group on behalf of the World Health Organisation, the World Meteorological Organisation and the United Nations Environment Programme. WHO, Genève, Zwitserland.

OESO/IEA (1996). World Energy Outlook. OESO/IEA, Parijs, Frankrijk.

OESO/IEA (1997). Energy and climate change. OESO/IEA, Parijs, Frankrijk.

Peerbolte, E.B., de Ronde, J.G., de Vrees, L.P.M., Baarse, G. (1991). Impact of sea level rise on society: A Case Study for the Netherlands. Delft Hydraulics en Rijkswaterstaat, Delft/Den Haag, Nederland, 404 blz.

Peris, D.R., Crawford, F.W., Grashoff, C., Jeffries, R.A., Porter, J.R., Marshall, B. (1996). A simulation study of crop growth and development under climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 79(4) p. 271-287.

Prinn R., Simmonds, P., Rasmussen, R., Rosen, R., Alyea, F., Cardelino, C., Crawford, A., Cunnold, D., Fraser, P. en Lovelock, J. (1983). The Atmospheric Lifetime Experiment, I: Introduction, instrumentation and overview. In *J. Geophys. Res.*, Vol. 88, p. 8353-8368.

Prinn R., Cunnold, D., Rasmussen, R., Simmonds, P., Alyea, F., Crawford, A., Fraser, P. en Rosen, R. (1990). Atmospheric emissions and trends of nitrous oxide deduced from 10 years of ALE/GAGE data. In: *J. Geophys. Res.*, Vol. 95, p.18369-18385.

Prinn, R., Cunnold, D., Fraser, P., Weiss, R., Simmonds, P., Alyea, F., Steele, L. P. en Hartley, D. (1997). The ALE/GAGE/AGAGE Network (Update April 1997) In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., VS.

Rijsberman, F.R. en Swart, R.J. (red.) (1990). Targets and Indicators of Climatic Change. Stockholm Environmental Institute, Stockholm, Zweden, 166 blz.

Smith K. (1995). Precipitation over Scotland 1757-1992: Some aspects of temporal variability. In Int. J. Climatology, Vol. 15, p. 543-556.

Thoning, K.W., Tans, P.P. en Waterman, L.S. (1994). Atmospheric CO₂ records from sites in the NOAA/CMDL continuous monitoring network. Red.: T.A. Boden, D.P. Kaiser, R.J. Sepanski, en F.W. Stoss. In Trends 93: A Compendium of Data on Global Change. ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., VS.

UK CCIRG (1991). United Kingdom Climate Change Impacts Review Group, The Potential Effects of Climate Change in the United Kingdom. HMSO Londen, Verenigd Koninkrijk.

UK CCIRG (1996). United Kingdom Climate Change Impacts Review Group, Review of the Potential Effects of Climate Change in the United Kingdom. HMSO Londen, Verenigd Koninkrijk.

ECE (1996). Energy Balances for Countries in Transition 1993, 1994-2010 and Energy Prospects in CIS-Countries.

UNEP (1994). Environmental Data Report 1993-4. United Nations Environment Programme Blackwell, Verenigd Koninkrijk.

UNFCCC (1997a). National Communications from Parties included in Annex I to the Convention. FCCC/SBI/1997/19 and FCCC/SBI/1997/19/Addendum 1.

UNFCCC. (1997b). Kyoto protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. FCCC/CP/1997/L.7/Add.1, december 1997.

Vellinga, P. en Swart, R.J. (1991). The greenhouse marathon: A proposal for a global strategy. In Climatic Change, Vol. 18, p. 7-12.

Whittle, I.R. (1990). Lands at risk from sea level rise in the UK. Red.: J.C. Doornkamp. The Greenhouse Effect and rising sea levels in the United Kingdom. M1 Press, Long Eaton Notts., Verenigd Koninkrijk, p. 85-93.