

# KLIMAATVERANDERING KLIMAATBELEID

Achtergrondrapport

## Inzicht in keuzes voor de Tweede Kamer

### **Auteurs**

F.J. (Frans) Rooijers

I. (Ingeborg) de Keizer

S. (Stephan) Slingerland

J. (Jasper) Faber

R.C.N. (Ron) Wit

*CE, Oplossingen voor Milieu, Economie en Technologie*

J. (Koos) Verbeek

R. (Rob) van Dorland

A.P. (Aad) van Ulden

*Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut*

R.W.A. (Ronald) Hutjes

P. (Pavel) Kabat

*Alterra, Wageningen UR*

E.C. (Ekko) van Ierland

*Dpt. Maatschappijwetenschappen, Wageningen UR*

September 2004



# Inhoud

Samenvatting	1
1 Achtergrond en uitvoering	3
1.1 Aanleiding	3
1.2 Doelstelling	4
1.3 Opzet van het onderzoek	5
1.4 Uitvoering van het onderzoek	7
1.5 Afbakening	8
1.6 Klankbordgroep en begeleidingscommissie	8
1.7 Resultaten en leeswijzer	9
2 Aard, omvang en gevolgen van klimaatverandering	11
2.1 Aanleiding en leeswijzer	11
2.2 Veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer	14
2.3 De invloed van het broeikaseffect op het klimaat	19
2.4 Waargenomen klimaatveranderingen en de oorzaken ervan	26
2.5 Het klimaat in de 21 <sup>ste</sup> eeuw	33
2.6 Klimaatprojecties voor het komende millennium	40
2.7 Effecten van klimaatverandering	42
2.8 Case studies	55
2.9 Hoe zeker is de verandering van het klimaat?	59
3 Huidige klimaatbeleid	63
3.1 Inleiding en leeswijzer	63
3.2 Mitigatiebeleid, een overzicht	63
3.3 Verkeer en vervoer	84
3.4 Gebouwde omgeving	88
3.5 Industrie	92
3.6 Elektriciteitsvoorziening	95
3.7 Land- en tuinbouw	99
3.8 Conclusie	101
4 Toekomstig klimaatbeleid	103
4.1 Inleiding en leeswijzer	103
4.2 Vier fundamentele keuzes voor het klimaat	103
4.3 Reductiemogelijkheden per sector	117
4.4 De kosten van klimaatbeleid	134
4.5 Prangende kwesties voor post-Kyoto klimaatbeleid	139
4.6 Keuze 1: Welke verhouding tussen adaptatie of mitigatie is wenselijk?	140
4.7 Keuze 2: Op welke schaalniveaus dient het klimaatbeleid gevoerd te worden?	151
4.8 Keuze 3: Hoe kan de overheid optimaal sturen?	162
4.9 Keuze 4: Welke maatregelen zijn te prefereren?	174

5	Literatuurlijst	183
5.1	Aard, omvang en gevolgen van klimaatverandering	183
5.2	Huidige klimaatbeleid	188
5.3	Toekomstig beleid	191
	De doelstellingen en de organisatie van het IPCC	201

# Samenvatting

## Wetenschappelijke inzichten klimaatverandering

- 1 De menselijke invloed op het klimaat in de tweede helft van de 20<sup>e</sup> eeuw is aangetoond. In de komende eeuw wordt een forse toename van de concentraties broeikasgassen verwacht. Hierdoor zal de aarde verder opwarmen.
- 2 Volgens de huidige inzichten leidt dat zonder mitigatiemaatregelen tot een wereldgemiddelde temperatuurstijging van 1,4 tot 5,8°C in 2100.
- 3 De effecten van de klimaatverandering worden inmiddels op grote schaal waargenomen. Weerpatronen veranderen, de zeespiegel stijgt, gletsjers en ijskappen worden kleiner en woongebieden van planten en dieren verschuiven. Deze effecten worden in de toekomst sterker. In Nederland wijzigen neerslagpatronen en temperatuur, leidend tot grotere kansen op zowel wateroverlast als aanhoudend droge perioden.
- 4 Om deze effecten beheersbaar te houden mag de wereldwijde temperatuurstijging niet meer dan 2°C bedragen in de komende eeuw. Dit vereist emissiereducties van 60-80% in 2100. Een minder strenge doelstelling brengt onherstelbare schade toe aan de menselijke leefomgeving op vele plekken op de aarde.
- 5 De maatregelen om de emissie van broeikasgassen te beperken (mitigatiebeleid) hebben niet meteen effect. Ze kunnen niet voorkomen dat de huidige trends in klimaatverandering de komende eeuw toch zullen doorzetten.

## Evaluatie huidig beleid

- 6 In het Kyoto-protocol is een eerste start gemaakt met emissiereductie met als doelstelling -5,2% gemiddeld voor alle geïndustrialiseerde landen. Voor de EU en NL is dit respectievelijk -8 en -6%. Het Kyoto-protocol is nog niet van kracht, doordat een aantal belangrijke landen (nog) niet heeft geratificeerd. De onderhandelingen voor reductiedoelstellingen na 2012 zijn nog niet begonnen.
- 7 Nederland zal de doelen van het Kyoto-protocol waarschijnlijk halen. Het verwachte succes van het Nederlandse beleid is te danken aan een forse reductie van niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen en inkoop van buitenlandse emissierechten. De emissies van CO<sub>2</sub> zijn echter met 8% toegenomen t.o.v. 1990. Nederland is er dus nog niet in geslaagd om een structurele veranderingen in het gebruik van fossiele brandstoffen door te voeren.
- 8 De kosten van het huidige Nederlandse beleid bedragen 0,25% van het Nederlandse BBP in 2003 en zijn vergelijkbaar met kosten voor andere milieuthema's. Het Nederlandse klimaatbeleid is tot nu toe gericht op sector-specifieke maatregelen, met grote verschillen in de kosteneffectiviteit van de genomen maatregelen. Inzicht in de huidige kosten van adaptatiebeleid is beperkt.

## Toekomstig beleid

- 9 Klimaatverandering is een mondiaal probleem, en het beleid moet om effectief te zijn mondiaal worden opgezet. Mondiaal mitigatiebeleid is aanmerkelijk goedkoper dan beleid op een lager schaalniveau en schaadt de concurrentiepositie niet. Vanwege de tendens tot 'free riding' (d.w.z. dat landen



- wachten tot anderen het probleem oplossen) is het noodzakelijk krachtig in te zetten op een sterke coördinatie van het internationale klimaatbeleid. Wanneer alleen de geïndustrialiseerde landen klimaatbeleid voeren, zijn de welvaartsverliezen voor Nederland zes keer zo groot als bij mondiaal beleid.
- 10 De EU heeft als beleidsdoel gesteld dat de aarde de komende eeuw niet meer dan 2°C mag opwarmen. Nederland heeft zich aan deze doelstelling gecommitteerd. Deze beperking vereist een relatief snelle en forse reductie van de emissie van broeikasgassen in de post-Kyoto periode.
  - 11 Omdat een beperkte mate van klimaatverandering inmiddels onafwendbaar is, zal het belang van adaptatiemaatregelen toenemen. Deze aanpassingen liggen in Nederland vooral op het terrein van waterbeheer. De toenemende kans op droogte en wateroverlast kunnen grote gevolgen hebben voor de watervoorziening, landbouw en energievoorziening.
  - 12 Om alle landen bij het klimaatbeleid te betrekken kan Nederland zich in internationaal verband richten op een sterke coalitievorming en een eventuele kopgroepvorming waarmee de (morele) druk op achterblijvers kan worden opgevoerd. Ter ondersteuning daarvan kan Nederland zich voor drie zaken sterk maken.
    - a Een billijke (redelijk en rechtvaardig) verdeling van de lasten van klimaatbeleid.
    - b Een internationale oplossing om de aanpassingskosten van laaggelegen ontwikkelingslanden te dragen.
    - c De emissies van de internationale lucht- en scheepvaart agenderen.
  - 13 De macro-economische kosten van verdergaand klimaatbeleid zijn beperkt voor Nederland, mits het efficiënt wordt vormgegeven. Dat wil zeggen met gebruik van marktconforme instrumenten die op doelen sturen (emissiehandel, heffingen, concessies) voor alle geïndustrialiseerde landen. Alleen dan behoudt klimaatbeleid het noodzakelijke draagvlak.
  - 14 Aanvullend op de internationale marktconforme instrumenten kan op nationaal niveau de overheid zich richten op:
    - a Het mede laten profiteren van de innovatiekracht van Nederland van klimaatbeleid zonder dat het leidt tot sturing op specifieke technieken.
    - b Het invoeren van verdergaande nationale maatregelen voor de verkeerssector en de gebouwde omgeving omdat dit niet snel leidt tot negatieve effecten op de concurrentiepositie.
    - c Beperken afhankelijkheid van olie door verschuiving naar hernieuwbare bronnen. Hiermee verlaagt de overheid economische risico's van hoge olieprijsen en versterkt klimaatbeleid de energievoorzieningszekerheid van Nederland.
- Dergelijk beleid dient meer dan alleen het klimaatdoel, is daardoor efficiënter en kan op meer draagvlak rekenen.



# 1 Achtergrond en uitvoering

## 1.1 Aanleiding

De Commissie Van Middelkoop (Tijdelijke Commissie Klimaatvraagstuk) heeft in 1996 het kameronderzoek klimaatverandering uitgevoerd. Het rapport van de commissie gaf een beeld van de kennis op het gebied van klimaatverandering en schetste mogelijkheden voor klimaatbeleid. Nu, ruim zeven jaar later, is dat rapport niet meer op alle punten actueel: het Kyoto-protocol is opgesteld, er is meer kennis over klimaatverandering en er is meer kennis over de effecten van het beleid.

### **Klimaatverdrag**

In 1992 is in Rio de Janeiro het klimaatverdrag van de Verenigde Naties gesloten. Dit Klimaatverdrag heeft als doel de concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer te stabiliseren op een niveau waarbij 'een gevaarlijke menselijke beïnvloeding van het klimaat wordt vermeden' [RIVM, 2004b]. Dit betekent dat op termijn - in 2100 - de mondiale emissies van broeikasgassen met circa 40-50% moeten dalen ten opzichte van 1990.

In 1997 is het Klimaatverdrag uitgebreid met het Kyoto-protocol. Hierin zijn afspraken gemaakt over de reductie van de emissies van broeikasgassen.

Binnenkort zal de discussie over het klimaatbeleid in de periode na 2012 beginnen (dit is de periode na afloop van het Kyoto-protocol). Naar verwachting zal de Europese Unie in 2005 met een gemeenschappelijke inzet komen. De Staatssecretaris van Milieu heeft aangegeven dat hij in 2020 een reductie van broeikasgassen van 30% ten opzichte van 1990 wil bereiken. Voor de Tweede Kamer is de opstelling van Nederland in de internationale onderhandelingen een belangrijk discussiepunt. Om als Kamer goed beslagen ten ijs te komen in het debat met de regering is het noodzakelijk dat de Kamer over voldoende kennis beschikt omtrent klimaatverandering en mogelijkheden voor verdergaand klimaatbeleid.

De Tweede Kamer heeft om deze reden aan CE opdracht verleend voor het uitvoeren van het onderzoek 'Klimaatverandering, klimaatbeleid; Inzicht in keuzes voor de Tweede Kamer'. CE heeft deze opdracht aanvaard en dit rapport is het resultaat van het onderzoek. CE heeft in het onderzoek samengewerkt met het KNMI en WUR.

CE is verantwoordelijk voor het totale eindresultaat. KNMI en WUR zijn verantwoordelijk voor de wetenschappelijke integriteit van de door hen aangeleverde informatie. Het KNMI is specifiek verantwoordelijk voor het onderdeel 'klimaatverandering'.

De doelstelling van het onderzoek is breder dan een analyse van de kennis over klimaatverandering. Wetenschappelijk onderzoek wijst erop dat de noodzakelijke reductie van emissies na 2012 een veelvoud zou moeten zijn van de huidige reductiedoelstellingen om significant effect te sorteren. Alle redenen om tijdig na te denken welke doelstellingen moeten worden geformuleerd, of en hoe deze gedefi-

ferentieerd moeten worden naar binnenlandse en buitenlandse maatregelen en naar economische sectoren. Welke instrumenten worden ingezet? En wat zijn de macro-economische en maatschappelijke gevolgen voor Nederland en de Europese Unie? Het is daarbij belangrijk te leren van de huidige instrumenten: waar zijn ze effectief en waar niet?

Het rapport dat u op dit moment in handen heeft, is het **achtergrondrapport**. Hiernaast is een **hoofdrapport** verschenen. Lezers die geïnteresseerd zijn in een samenvatting van de argumenten en overwegingen die in het achtergrondrapport uitgebreid worden belicht, verwijzen wij dan ook graag naar het hoofdrapport.

## 1.2 Doelstelling

Het doel van het onderzoek is de Kamer inzicht te verschaffen:

- in de stand van zaken van de klimaatwetenschap en het internationale klimaatbeleid als vervolg op het werk van de Commissie Van Middelkoop uit 1996;
- in verschillende beleidsopties en het in te zetten overheidsinstrumentarium;
- in de (macro-economische, maatschappelijke en milieu-)kosten en baten van die beleidsopties;
- in de dilemma's ten aanzien van het milieu, economie en andere maatschappelijke ontwikkelingen als gevolg van klimaatverandering en klimaatbeleid.

Het onderzoek heeft daarmee tot doel de stand van zaken rondom klimaatverandering in 2004 inzichtelijk te maken en de (effecten van de) beleidsopties aan te geven voor de toekomst om daarmee de Kamer stof te geven voor de discussie met de Regering over het beleid voor de post-Kyoto periode.

### **Broeikasgassen: wat en hoe?**

Broeikasgassen zijn gassen die bijdragen aan de opwarming van de dampkring. Een half procent van de atmosfeer bestaat uit natuurlijke broeikasgassen. Deze zorgen ervoor dat de zonwarme die door de zon wordt ingestraald op het aardoppervlak wordt vastgehouden. Zonder dat effect zou de gemiddelde grondtemperatuur  $-18^{\circ}\text{C}$  bedragen. Het natuurlijke broeikaseffect verhoogt die temperatuur naar  $+15^{\circ}\text{C}$ . Het belangrijkste natuurlijke broeikasgas is waterdamp. Het natuurlijke broeikaseffect wordt versterkt door de uitstoot van broeikasgassen door de mens, de zogenaamde antropogene broeikasgassen. De temperatuurstijging als gevolg van deze antropogene emissies heeft verder tot gevolg dat meer water verdampt, waardoor ook het natuurlijke broeikaseffect verder wordt versterkt.

### **De belangrijkste antropogene broeikasgassen zijn:**

**CO<sub>2</sub>:** Kooldioxide (CO<sub>2</sub>) komt van nature in de lucht voor. Door verschillende oorzaken, o.a. menselijke activiteiten, neemt de hoeveelheid CO<sub>2</sub> in de lucht toe, waardoor het broeikaseffect versterkt wordt. CO<sub>2</sub> draagt wereldwijd voor meer dan de helft bij aan dit effect.

**CH<sub>4</sub>:** Methaan (CH<sub>4</sub>) is het tweede belangrijke broeikasgas. Dit draagt wereldwijd voor ongeveer 20% bij aan het versterkte broeikaseffect. Belangrijke bronnen van methaan zijn: de vee-teelt, vuilstortplaatsen, rijstbouw en de verliezen bij de olie- en gaswinning. Een andere bron van methaan is moerasgas.





$N_2O$ : De emissie van  $N_2O$ , lachgas, is relatief klein, maar de stof blijft 150 jaar in de atmosfeer aanwezig. Het broeikas effect is daardoor bijna 300 keer sterker dan dat van koolstofdioxide. Lachgas is voor ruim de helft van natuurlijke oorsprong. Daarnaast is lachgas vooral afkomstig van de industrie, het verkeer en de landbouw.

*HFK's, PFK's en SF6* : HFK's zijn gehalogeneerde fluorkoolwaterstoffen, oftewel koolwaterstoffen met chloor, broom of jodium. PFK's zijn perfluorkoolwaterstoffen. Deze stoffen worden gebruikt in koelinstallaties, schoonmaakmiddelen, airconditioning, brandblusapparaten en bij de productie van schuimplastics. SF6 staat voor zwavelhexafluoride. Deze fluorverbinding wordt gebruikt als isolatorgas in hoogspanningsschakelaars en komt vrij door lekkage. Ook wordt SF6 gebruikt in de halfgeleiderindustrie als schoonmaak- en etsmiddel. Het is het broeikasgas dat per kg de grootste bijdrage levert aan de versterking van het broeikas effect.

#### CO<sub>2</sub>-eq

Elk broeikasgas draagt op een eigen manier bij aan klimaatverandering. Om de verschillende bijdragen te kunnen vergelijken, worden emissies uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-eq. In de onderstaande tabel worden de omrekeningsfactoren weergegeven zoals bepaald door het IPCC.

Broeikasgas	CO <sub>2</sub> -eq
CO <sub>2</sub>	1
Methaan (CH <sub>4</sub> )	23
Lachgas (N <sub>2</sub> O)	296
HFK's	150 - 12.000
PFK's (m.n. CF <sub>4</sub> en C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> )	5.700 - 11.900
SF6	22.200

Bron: database CML, <http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/ssp/index.html>

### 1.3 Opzet van het onderzoek

Bij de opzet en de uitvoering van het onderzoek is verschil gemaakt tussen de kennis over klimaatverandering enerzijds en het klimaatbeleid anderzijds.

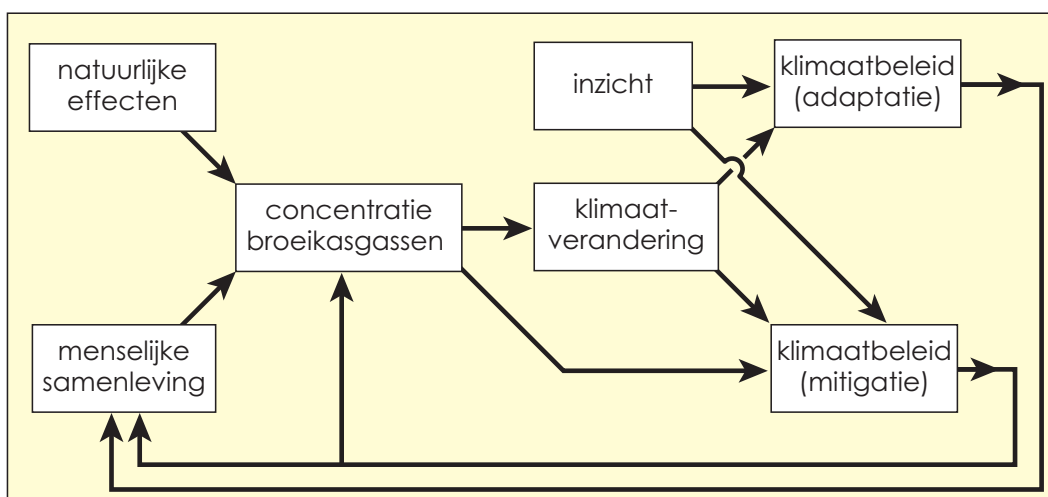
#### Klimaatverandering

Het onderdeel klimaatverandering is gericht op het actuele inzicht in de aard en omvang van klimaatverandering en de mate waarin dit wordt veroorzaakt door menselijk handelen. Wat zijn de effecten van klimaatverandering op de landbouw, de natuur, de waterhuishouding en het ruimtegebruik? De nadruk ligt op de Nederlandse situatie, maar ook de belangrijkste internationale effecten komen aan bod.

#### Klimaatbeleid

Voor wat betreft het klimaatbeleid is onderscheid gemaakt tussen mitigatie- en adaptatiebeleid. Bij *mitigatie* richten het beleid en de maatregelen zich op het verminderen van klimaatverandering door de uitstoot van broeikasgassen te beperken. Bij *adaptatie* richten het beleid en de maatregelen zich op maatschappelijke aanpassingen aan de effecten van klimaatverandering (dijkverzwaring, overloopgebieden, en dergelijke). Beide soorten beleid hebben effect op de menselijke samenleving, de leefbaarheid in Nederland en de gevolgen voor de economie zoals weergegeven in figuur 1.

figuur 1 Samenhang tussen mitigatie- en adaptatiebeleid



Opmerking: Het onderdeel 'inzicht' betreft het inzicht door bijvoorbeeld het gevoerde beleid in de afgelopen jaren en het wetenschappelijke inzicht.

Voor het onderdeel klimaatbeleid is onderscheid gemaakt tussen het huidige en het toekomstige klimaatbeleid.

### **Huidig Klimaatbeleid**

In het gedeelte over het huidige klimaatbeleid is een overzicht gemaakt van de doelstellingen die momenteel gehanteerd worden op nationaal en internationaal niveau. In onderstaande tekstbox is voor het leesgemak de doelstelling voor Nederland weergegeven.

#### **Doelstelling Nederland**

Nederland mag op basis van de Kyoto-afspraken in 2010 maximaal 219 Mton broeikasgassen uitstoten, gemeten in CO<sub>2</sub>-eq. Dit komt overeen met een reductie van 6% ten opzichte van het jaar 1990.

Daarnaast is aandacht besteed aan de maatregelen en instrumenten die geïmplementeerd dan wel voorzien zijn in de periode tot 2012, het einde van de Kyoto-periode. Hierbij zijn verschillende sectoren te onderscheiden: verkeer en vervoer, gebouwde omgeving, industrie, elektriciteitsvoorziening en de land- en tuinbouw.

Voor al deze sectoren is tevens de effectiviteit van de maatregelen en instrumenten in beeld gebracht. Hierbij is de effectiviteit uitgedrukt zowel in termen van reductie van broeikasgassen als in termen van kosten.

Tot slot is per sector de internationale en maatschappelijke context aangegeven.



### **Toekomstig Klimaatbeleid**

In het onderdeel toekomstig klimaatbeleid staan de mogelijkheden in het post-Kyoto-tijdperk (dus na 2012) centraal. Voor welke keuzes komt de overheid te staan? En welke consequenties hebben deze keuzes? Welke barrières, dilemma's en knelpunten komen we dan tegen?

De negen meest prangende kwesties zijn in dit hoofdstuk op een rijtje gezet.

## **1.4 Uitvoering van het onderzoek**

De uitvoering van het onderzoek was in handen van CE. Daarbij heeft samenwerking plaatsgevonden met het KNMI en WUR.

De inhoudelijke informatie voor de studie is afkomstig van een selectie uit de vele bronnen die zijn verschenen op het gebied van klimaatverandering en -beleid. Het betreft hier materiaal dat openbaar is, zowel nationaal (RIVM, TNO, ECN, universiteiten) als internationaal (IEA, EEA, OESO, buitenlandse universiteiten). Met name de rapportages van het IPCC waren belangrijk voor de uitvoering van het onderzoek. Een toelichting op het IPCC en de wijze waarop rapportages in dat kader tot stand komen is weergegeven in onderstaande tekstbox.

Verder is gebruik gemaakt van de kennis en expertise die aanwezig is bij CE, KNMI en WUR.

#### **IPCC**

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is een intergouvernementele organisatie dat ten behoeve van de meer dan 180 partijen van het Klimaatverdrag van de Verenigde Naties het volgende doel nastreeft: beleidsmakers voorzien van objectieve natuurwetenschappelijke, technische en sociaal-economische informatie over klimaatverandering, de gevolgen ervan voor milieu en maatschappij en de maatregelen die ertegen genomen kunnen worden. Met klimaatverandering worden dan zowel natuurlijke als door mensen veroorzaakte klimaatverandering bedoeld. Alle leden van het United Nations Environment Programme en/of de World Meteorological Organisation (vrijwel alle landen ter wereld) hebben de mogelijkheid toe te treden tot het IPCC.

Het IPCC verricht zelf geen wetenschappelijk onderzoek maar stelt op basis van bestaande, erkende wetenschappelijke literatuur wetenschappelijke overzichten op. De vijfjaarlijkse Assessment Reports (AR) die sinds 1990 worden opgesteld lopen als een rode draad door het bestaan van IPCC. Daarnaast publiceert het IPCC ook Special Reports (SR) waarin specifieke onderwerpen uitgediept worden.

De eisen die aan IPCC-rapporten worden gesteld zijn zeer hoog. Idealiter zijn de rapporten volledig, wetenschappelijk verantwoord, leesbaar, evenwichtig, zonder beleidsvoorschrijvende elementen en tot stand gekomen door geografisch gebalanceerde schrijversteams.

Meer informatie over (de werkwijze van) het IPCC is weergegeven in de laatste bijlage.

Tot slot is de rapportage aan het eind van het project als discussiestuk ingebracht in een tweetal expertmeetings. Doel hiervan was het toetsen van de onderzoeksresultaten. Hiertoe is één bijeenkomst georganiseerd rondom het thema klimaatverandering. Tijdens de andere bijeenkomst stond het huidige en toekomstige klimaatbeleid centraal. De verschillende deelnemers zijn opgenomen in tabel 1. De suggesties en opmerkingen uit deze bijeenkomsten zijn verwerkt in het huidige rapport.

tabel 1 Deelnemers aan de expertmeetings

<b>Expertmeeting 1: Klimaatverandering</b>	
<b>Naam</b>	<b>Organisatie</b>
De heer Vandenberghe	Universiteit van Amsterdam
De heer Komen	KNMI
De heer Labohm	Verbonden aan Clingendael
De heer Schäfer	Natuur- en Milieu Planbureau
<b>Expertmeeting 2: Klimaatbeleid</b>	
<b>Naam</b>	<b>Organisatie</b>
Mevrouw Harmelink	Ecofys
Mevrouw Bartels	Greenpeace Nederland
Mevrouw Van Geuns	Clingendael
De heer De Groot	VNO-NCW
De heer Oude Lohuis	RIVM
De heer Van Vuuren	RIVM
Mevrouw Kip	Essent Duurzaam
De heer Lenstra	Ministerie van VROM
Mevrouw Van der Rest	Shell International BV

CE is verantwoordelijk voor het totale eindresultaat. KNMI en WUR zijn verantwoordelijk voor de wetenschappelijke integriteit van de door hen aangeleverde informatie. Het KNMI is specifiek verantwoordelijk voor het onderdeel 'klimaatverandering'.

## 1.5 Afbakening

Het uitgevoerde onderzoek was gericht op het beter ontsluiten van al bestaand onderzoek en niet het uitvoeren van nieuw onderzoek. In het onderzoek is dan ook gebruik gemaakt van beschikbare kennis.

Daarnaast stond het creëren van inzicht en het verhelderen van keuzes centraal. Hieraan is dan ook de meeste aandacht besteed. Het is aan de politici om eigen conclusies te trekken en stellingen in te nemen.

## 1.6 Klankbordgroep en begeleidingscommissie

Tijdens de uitvoering van het onderzoek was een klankbordgroep actief bestaande uit de woordvoerders milieu van de diverse fracties en leden van de vaste commissie voor VROM. De klankbordgroep bestond uit:

- *J.W.E. Spies* (CDA) - voorzitter;
- *B. van der Ham* (D66);
- *P. de Krom* (VVD);
- *D.M. Samsom* (PvdA);
- *K. van Velzen* (SP);
- *A.J.W. Duyvendak* (Groen Links).



De dagelijkse leiding was in handen van de ambtelijke begeleidingscommissie, bestaande uit:

- *S.J. Oostlander*, hoofd Onderzoeks- en Verificatiebureau van de Tweede Kamer der Staten-Generaal;
- *M. van der Leeden*, griffier van de Vaste commissie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer;
- *N.T.L. Hogenhuis*, medewerker Onderzoeks- en Verificatiebureau van de Tweede Kamer der Staten-Generaal.

Deze begeleidingscommissie heeft in opdracht van de Tweede Kamer tijdens de uitvoering van het onderzoek de kwaliteit bewaakt.

## **1.7 Resultaten en leeswijzer**

De resultaten zijn weergegeven in drie delen:

- 1 Aard, omvang en gevolgen van klimaatverandering (hoofdstuk 2);
- 2 Effecten Huidig Klimaatbeleid waarbij de volgende sectoren worden onderscheiden: verkeer en vervoer, gebouwde omgeving, industrie, elektriciteitsvoorziening en land- en tuinbouw (hoofdstuk 3);
- 3 Toekomstig Klimaatbeleid (hoofdstuk 4).

Elk van deze hoofdstukken begint met een inleiding en een leeswijzer voor het betreffende hoofdstuk. Om het leescomfort verder te vergroten zijn daarnaast in de hoofdstukken 2 en 3 de conclusies van iedere paragraaf samengevat in een blauwe tekstbox aan het begin van de betreffende tekst. Het gaat hier om conclusies van de onderzoekers op basis van de geanalyseerde informatiebronnen. Indien conclusies afkomstig zijn uit bestaande bronnen dan wordt expliciet een bronvermelding weergegeven.

Voor hoofdstuk 4 is een andere opbouw gehanteerd. Deze wordt uitgebreid beschreven in de leeswijzer van dat hoofdstuk.

Tot slot is in hoofdstuk 5 een uitgebreid overzicht weergegeven van alle bronnen die zijn geraadpleegd.



## 2 Aard, omvang en gevolgen van klimaatverandering

### 2.1 Inleiding en leeswijzer

Dit hoofdstuk beschrijft de actuele natuurwetenschappelijke inzichten in de aard, de omvang en de gevolgen van klimaatverandering vanuit een natuurwetenschappelijk perspectief, met accenten op de menselijke invloed en wetenschappelijke onzekerheden. Het rapport-Van Middelkoop uit 1996 dient daarbij als referentiepunt: 'wat heeft er zich sindsdien klimatologisch voorgedaan en wat zijn de vorderingen geweest van het onderzoek?'.

De gedachtegang achter de klimaatproblematiek komt op het volgende neer. De hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer neemt toe. Die toename wordt in belangrijke mate veroorzaakt door de mens. Broeikasgassen verhogen de temperatuur aan het aardoppervlak. De mens warmt de aarde dus op. Die opwarming heeft allerlei gevolgen voor mens en natuur.

In het rapport-Van Middelkoop (1996) trekt de Tijdelijke Commissie Klimaatverandering langs deze gedachtegang onder meer de volgende conclusies:

- a *Geconcludeerd kan worden dat de huidige concentraties van enkele broeikasgassen in de atmosfeer uitzonderlijk zijn (p. 30).*
- b *De stijging van de atmosferische concentraties van broeikasgassen gedurende de periode vanaf het preïndustriële tijdperk tot nu, is voornamelijk het gevolg van activiteiten van de mens (p.33).*
- c *Geconcludeerd is, dat ... de verstoring van de energiehuishouding (N.B. van het klimaat) sinds het preïndustriële tijdperk ten gevolge van activiteiten door de mens ... niet langer verwaarloosbaar is (p.39).*
- d *Waarnemingen wijzen uit dat de aarde gedurende de laatste eeuw duidelijk warmer geworden is (p.44).*
- e *... niet verwacht mag worden dat de effecten van een door de mens veroorzaakte klimaatverandering nu reeds waarneembaar zijn (p.65).*

Deze conclusies geven een beeld van de stand van de wetenschap op dat moment en laten zien dat toentertijd bovengenoemde gedachtegang op twee punten een hypothetisch karakter had: er werd geen expliciet, kwantitatief verband gelegd tussen de menselijke activiteiten en de waargenomen temperatuurstijging, en de effecten van de opwarming werden niet waargenomen. De wetenschap was niet in staat een eventuele menselijke invloed helder te onderscheiden van natuurlijke klimaatvariëaties. Deze twijfel komt tot uiting in de kernconclusie van het tweede klimaatrapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change van de Verenigde Naties (IPCC, zie [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)) uit 1996: *The balance of evidence suggests a discernible human influence on global climate.*

## Samenvatting

**Hoe is de stand van zaken met betrekking tot klimaatverandering op dit moment? In vogelvlucht kunnen de conclusies als volgt worden aangescherpt:**

- a De broeikasgasconcentraties blijven stijgen. Zo ligt de huidige atmosferische concentratie CO<sub>2</sub> 4% hoger dan in 1996. Er is meer informatie beschikbaar gekomen over de broeikasgasconcentraties in het verre verleden. De concentratie CO<sub>2</sub> is sinds 420.000 jaar (de periode waarover betrouwbare gegevens beschikbaar zijn) niet zo hoog geweest als nu.
- b Het inzicht in de kringlopen van de broeikasgassen is toegenomen. De directe relatie tussen de huidige stijging van de broeikasgasconcentraties en menselijke activiteiten is wetenschappelijk bewezen.
- c Er is meer inzicht in de factoren die het huidige wereldklimaat beïnvloeden. De klimaatmodellen (computermodellen) zijn verbeterd. De ontwikkeling van de wereldgemiddelde temperatuur in de loop van de 20ste eeuw kan inmiddels kwantitatief worden verklaard aan de hand van de invloeden van vulkaanuitbarstingen, zonneactiviteit en het door de mens versterkte broeikaseffect. Uit deze studies blijkt dat het grootste deel van de opwarming vanaf 1950 waarschijnlijk is veroorzaakt door de mens. Daarnaast is ook het begrip van regionale klimaatvariaties toegenomen.
- d De wereldwijde opwarming heeft zich sinds 1996 onmiskenbaar voortgezet: alle jaren erna zijn beland in de toptien van warme jaren sinds 1856. Ook de Nederlandse temperatuur is verder gestegen. Er is meer informatie beschikbaar gekomen over het verleden klimaat waaruit blijkt dat de huidige opwarming waarschijnlijk uniek is in duizend jaar. De prognose voor de temperatuurstijging in de 21<sup>ste</sup> eeuw is naar boven bijgesteld van 1,0-3,5°C [IPCC, 1996] tot 1,4-5,8°C [IPCC, 2001].
- e De effecten van de opwarming worden inmiddels op grote schaal waargenomen en zijn niet uitsluitend negatief. De weerpatronen, waaronder de neerslag, passen zich aan. De temperatuur van het oceaanwater neemt toe waardoor de zeespiegel stijgt. De bedekking van het aardoppervlak door sneeuw en ijs neemt af. De bloeiperiode van planten neemt wereldwijd toe. Ook dieren (trekvoogels, insecten etc.) reageren op de opwarming. Bij verschuivingen in de verspreiding van een aantal planten- en diersoorten en het sterven van koraalriffen spelen veranderingen in het klimaat vermoedelijk ook een rol.

Deze vorderingen (betere fundamentele inzichten, betere klimaatmodellen) en ontwikkelingen (aantal recordwarme jaren, waargenomen gevolgen) maken dat het overgrote deel van de klimaatwetenschappers niet langer twijfelt aan een significante menselijke invloed op het wereldwijde klimaat. In de woorden van het IPCC (2001): *There is new and stronger evidence that most of the warming observed over the last 50 years is attributable to human activities.*





Toch is er wel ruimte voor twijfel. In dit hoofdstuk worden de huidige wetenschappelijke inzichten met betrekking tot de deelstappen in bovengenoemde gedachtegang verder toegelicht, waarbij de onzekerheden steeds aan de orde zullen komen.

Die onzekerheden worden misschien wel het scherpst verwoord door de klimaatsceptici, die onder meer de volgende vraagtekens zetten, zie bijvoorbeeld [Labohm et al, 2004]:

- a *De gegevens over verleden broeikasgasconcentraties zijn onbetrouwbaar. De huidige concentraties zijn vanuit een geologisch perspectief normaal.*
- b *De natuurlijke uitwisseling van broeikasgassen tussen oceaan, land en biosfeer is zeer groot. De menselijke uitstoot valt daarbij in het niet.*
- c *De computermodellen deugen niet. Natuurlijke invloeden, zoals de zonneactiviteit, zijn niet goed begrepen en wellicht allesoverheersend. Geologische studies laten zien dat de CO<sub>2</sub>-concentratie reageert op temperatuurveranderingen en er dus niet de oorzaak van is. Waterdamp heeft verreweg de sterkste broeikaswerking waarbij de invloed van CO<sub>2</sub> in het niet valt.*
- d *De opwarming doet zich niet voor. De vermeende temperatuurstijging is het gevolg van meetfouten en verstedelijking. Satellietmetingen laten geen temperatuurstijging zien. De reconstructies van het verleden klimaat deugen niet.*
- e *Voor zover zich effecten voordoen, zijn ze veelal gunstig van aard. CO<sub>2</sub> is goed voor de planten. Klimaatverandering is niet erg.*

In de volgende paragrafen worden de wetenschappelijke inzichten aangedragen die bijdragen aan het begrip van de verschillende aspecten van de klimaatproblematiek, waarbij deze sceptische opmerkingen impliciet aan bod komen. In paragraaf 2.9 worden de sceptische vragen expliciet beantwoord.

De immense complexiteit van het klimaatsysteem maakt dat van onomstotelijke bewijsvoering geen sprake kan zijn. De onderzoekers komen tot een standpunt door een grote hoeveelheid feiten en inzichten in samenhang te beoordelen. Dat is geen eenvoudige zaak omdat de feiten en inzichten een veelheid aan wetenschappelijke disciplines beslaan. Een standpuntbepaling in de klimaatproblematiek vraagt derhalve om een multidisciplinaire, geïntegreerde beoordeling (*integrated assessment*) van de veelheid aan deels fragmentarische wetenschappelijke kennis. Dergelijke *assessments* worden op nationale (b.v. KNMI, Amerikaanse National Academy of Sciences) en internationale (Intergovernmental Panel on Climate Change van de VN, Europese Unie) schaal opgesteld. De informatie uit dit hoofdstuk is mede gebaseerd op de *assessments* van het IPCC, het KNMI en Wageningen UR.

Er wordt door de klimaatsceptici regelmatig kritiek geuit op wetenschappelijke *assessments*, in het bijzonder die van het IPCC [Labohm, 2004]. Veelgehoorde kritiekpunten zijn 1) eenzijdige samenstelling van de schrijverteams, 2) negeren van afwijkende wetenschap, 3) politieke beïnvloeding van wetenschappelijke uitspraken, 4) verdoezeling van onzekerheden en 5) overdrijving om onderzoeksfondsen veilig te stellen.

In de laatste bijlage zal de werkwijze van het IPCC besproken worden in het licht van deze kritiek.

## Leeswijzer

De opbouw van dit hoofdstuk volgt bovengenoemde gedachtegang. Achtereenvolgens komen aan de orde de veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer (paragraaf 2.2), de invloed van het broeikaseffect op het klimaat (paragraaf 2.3), waargenomen klimaatveranderingen en de oorzaken ervan (paragraaf 2.4), het klimaat in de 21<sup>ste</sup> eeuw (paragraaf 2.5), klimaatprojecties voor het komende millennium (paragraaf 2.6) en de gevolgen van klimaatverandering (paragraaf 2.7). In paragraaf 2.8 is ter illustratie een drietal cases uitgewerkt. In paragraaf 2.9 worden de wetenschappelijke onzekerheden op een rij gezet.

## 2.2 Veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer

### Conclusies

De samenstelling van de atmosfeer is aanmerkelijk veranderd sinds het begin van de industriële revolutie (1750). De atmosferische concentraties van de meeste broeikasgassen hebben in de afgelopen tien jaar de hoogste waarde sinds het begin van de metingen bereikt. Voor de meeste broeikasgassen is er sprake van een steeds sneller verlopende toename sinds het begin van het industriële tijdperk. Zowel de huidige concentraties als de snelheid van toename van de meeste broeikasgassen zijn zeer uitzonderlijk, ook in het geologische perspectief van 420.000 jaar. Het staat wetenschappelijk vast dat de toename van de hoeveelheid broeikasgassen vrijwel geheel is veroorzaakt door menselijke activiteiten.

De atmosfeer bestaat voor 99,5% uit de gassen stikstof, zuurstof en argon. Het resterende deel bestaat uit broeikasgassen, zoals waterdamp, kooldioxide, ozon, methaan en lachgas. Daarnaast zijn water- en ijswolken en kleine deeltjes, die in de atmosfeer zweven (aërosolen), belangrijke atmosferische elementen. Broeikasgassen, wolken en aërosolen beïnvloeden de warmtehuishouding van de atmosfeer. Veranderingen in de hoeveelheid of de aard ervan hebben daarom een invloed op het klimaat.

### Broeikasgassen

In figuur 2a zijn de ontwikkelingen te zien van achtereenvolgens de atmosferische concentraties CO<sub>2</sub>, methaan en lachgas in de loop van de afgelopen duizend jaar. In figuur 2b wordt de hoeveelheid sulfaataërosolen vanaf het jaar 1600 getoond. Dergelijke gegevens worden afgeleid uit ijsboringen. De curven zijn ieder opgebouwd uit een aantal onafhankelijke studies, die onderling consistent zijn en ook overeenstemmen met directe atmosferische waarnemingen. De gegevens zijn wetenschappelijk betrouwbaar. In alle vier de gevallen is er sprake van een stabiele periode van vele honderden jaren gevolgd door een onmiskenbare, sterke toename sinds de aanvang van de industriële revolutie (1750). Zo is de CO<sub>2</sub>-concentratie van 280 ppm (= delen per miljoen volumedelen lucht) met 34% toegenomen tot 375 ppm in 2003. Uit isotopenanalyse blijkt dat deze toe-

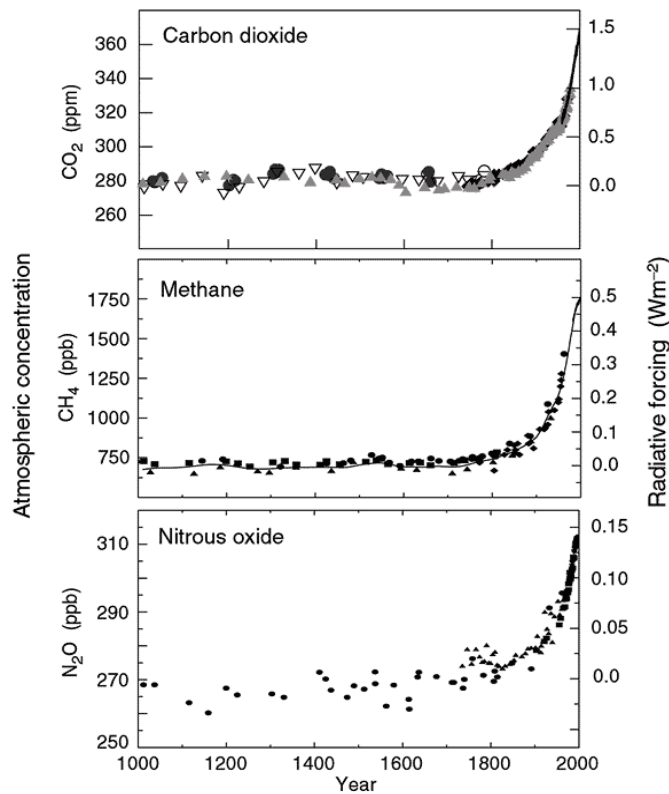
name vrijwel geheel veroorzaakt is door de verbranding van fossiele brandstoffen [IPCC, 2001a].

De jaarlijkse uitstoot van CO<sub>2</sub> door menselijke activiteiten bedraagt 3% van de natuurlijke uitwisseling van CO<sub>2</sub> tussen land, atmosfeer, oceaan en biosfeer en lijkt daarmee onbeduidend. Zoals blijkt uit figuur 2a is de natuur op dit punt vrijwel in balans: ondanks de grote hoeveelheden die van nature worden uitgewisseld blijven de atmosferische concentraties, zonder de menselijke verstoring, constant. Onderzoek laat zien dat het natuurlijke systeem in staat is om ongeveer de helft van de menselijke uitstoot te absorberen. Het resterende deel geeft aanleiding tot de waargenomen toename in de concentratie CO<sub>2</sub>.

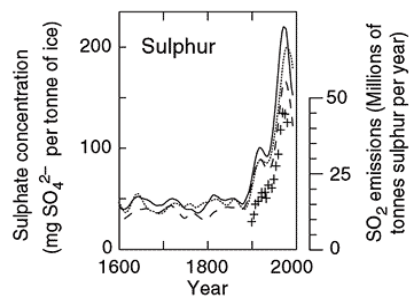
figuur 2 De concentraties CO<sub>2</sub>, methaan en lachgas in de laatste duizend jaar (b) de hoeveelheid sulfaataerosolen sinds 1600 (lijnen) en de bijbehorende emissies (plusjes)

### Indicators of the human influence on the atmosphere during the Industrial Era

(a) Global atmospheric concentrations of three well mixed greenhouse gases



(b) Sulphate aerosols deposited in Greenland ice



Bron: IPCC, 2001

De toename van de hoeveelheden methaan en lachgas wordt ook in verband gebracht met menselijke activiteiten, zoals landbouw, veeteelt, gaswinning en industrie. Via ingewikkelde chemische reacties leidt de toename van methaan, koolmonoxide, stikstofoxiden en koolwaterstoffen tot de vorming van extra ozon nabij het aardoppervlak. Anders dan in de hoge atmosfeer (stratosfeer), waar ozon een beschermende werking heeft tegen ultraviolette straling, draagt ozon in de lagere atmosfeer vooral bij aan het broeikas effect.

Voor een vijftigtal synthetische broeikasgassen is de concentratie sinds zij voor het eerst door de mens werden gefabriceerd, gestegen vanuit een nulsituatie. Het betreft hier de zogenaamde gehalogeneerde koolwaterstoffen, waartoe de CFKs behoren. De totale concentratie van deze groep broeikasgassen ligt iets boven de 1 ppt (=delen per biljoen volumedelen lucht). Voor enkele gassen uit deze familie nemen de concentraties sinds het midden van de jaren negentig af als gevolg van het succesvolle beleid dat in het kader van het verdrag ter bescherming van de ozonlaag, het Montreal Protocol, in gang is gezet.

In tabel 2 zijn de ontwikkelingen met betrekking tot de door de mens verhoogde broeikasgasconcentraties samengevat (voor de effecten zie paragraaf 2.3).

tabel 2 Wereldwijde ontwikkelingen van broeikasgasconcentraties vanaf het jaar 1000. ppm correspondeert met delen per miljoen. ppb correspondeert met delen per miljard

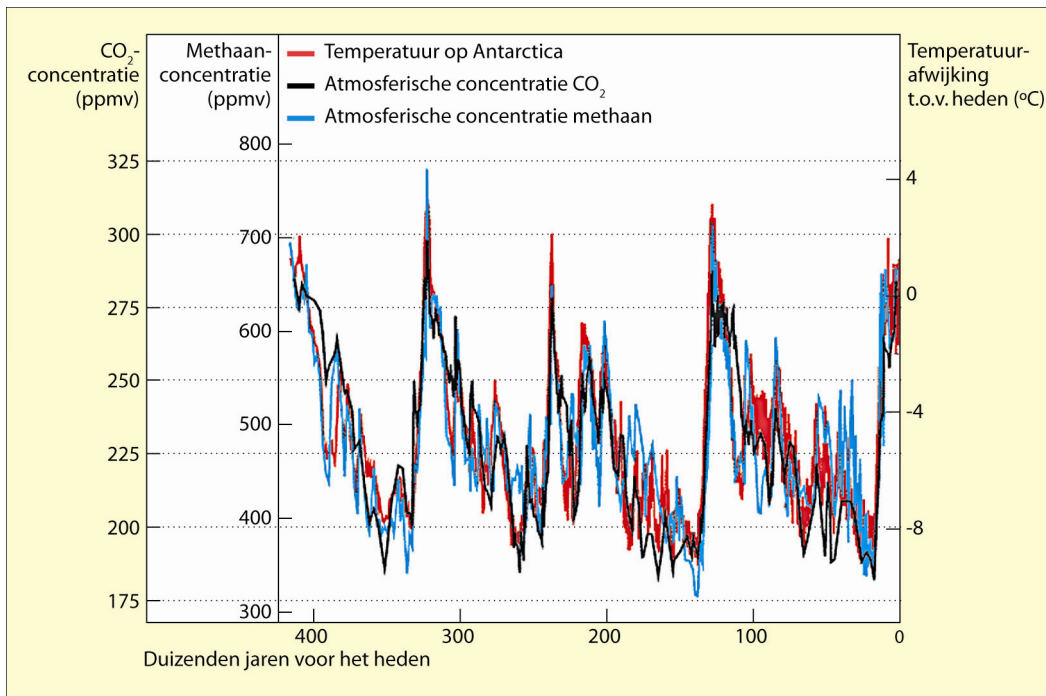
Broeikasgas	Waargenomen verandering
CO <sub>2</sub>	280 ppm van 1000 – 1.750 tot 375 ppm in 2003 (+34%)
Methaan	700 ppb van 1000 – 1.750 tot 1.750 ppb in 2000 (+150%)
Gehalogeneerde koolwaterstoffen	Wereldwijde toename in de laatste 50 jaar
Troposferische ozon	Toename met 35% van 1750 tot 2000 (varieert per regio)
Stratosferisch ozon	Afname met 6% sinds 1970 (60N - 60S), sterkere afname in poolgebieden afhankelijk van seizoen
Lachgas	270 ppb van 1000 - 1750 tot 316 ppb in 2000 (+17%)

De ozonconcentratie in de lagere atmosfeer is sinds het begin van de metingen met gemiddeld 30% toegenomen. In industriële gebieden, waaronder Europa, is sprake van een verdubbeling van de ozonconcentratie, met nadelige gevolgen voor de luchtkwaliteit. De bijdrage van troposferisch ozon aan het versterkte broeikas effect neemt toe. Ozon is een reactief gas met een beperkte levensduur van enkele weken tot enkele maanden en daarom, anders dan bijvoorbeeld CO<sub>2</sub> en methaan, zeer variabel in ruimte en tijd.

Op grotere hoogte in de atmosfeer, waar zich van nature de grootste hoeveelheid ozon bevindt, zijn de ozonconcentraties de afgelopen decennia afgenomen door de aanwezigheid van chloor- en broomhoudende stoffen (b.v. CFK's). Veranderingen van de ozonconcentratie op grote hoogte beïnvloeden de temperatuur van de stratosfeer en hiermee de stromingspatronen. De afname van stratosferisch ozon is sterker dan de toename van troposferisch ozon. Een combinatie van metingen en berekeningen toont aan dat hierdoor de hoeveelheid ultraviolette stra-

ling (UV) aan het aardoppervlak in de afgelopen 20 jaar met 6 tot 14% is toegenomen [Bregman et al, 2003].

figuur 3 Het temperatuurverloop en de CO<sub>2</sub> en methaanconcentraties in de afgelopen 420.000 jaar



Bron: IPCC, 2001

### Temperatuur en broeikasgasconcentraties in een ver verleden

In figuur 3 is te zien dat, in tegenstelling tot de laatste duizend jaar (zie figuur 7), over langere termijn gemeten de CO<sub>2</sub> en methaanconcentraties aanzienlijke natuurlijke fluctuaties hebben vertoond. De huidige waarden (375 ppm en 1.750 ppb respectievelijk) liggen ver buiten de natuurlijke bandbreedte (de y-as van de grafiek) van de afgelopen 420.000 jaar (de periode waarover betrouwbare informatie uit ijsboringen beschikbaar is). Gedurende deze periode zijn vier ijstijden opgetreden die goed zichtbaar zijn in het verloop van de temperatuur. De overeenstemming van deze gegevens met geologische informatie over de ijstijden, die langs totaal andere weg verkregen is, bevestigt de betrouwbaarheid van de temperatuurgegevens. Opvallend is het parallelle verloop van de temperatuur en de concentraties CO<sub>2</sub> en methaan. Het blijkt dat in bepaalde perioden de broeikasgasconcentraties zich aanpassen aan veranderingen in de temperatuur, terwijl op andere momenten veranderingen in de broeikasgasconcentraties voorafgaan aan temperatuurswijzigingen. Er is dus niet sprake van een eenduidige oorzaak-gevolg-relatie. Dit wordt toegeschreven aan terugkoppelingen in het klimaatstelsel (zie ook paragraaf 2.4). Een voorbeeld van zo'n terugkoppeling is het verschijnsel dat er bij een temperatuurstijging broeikasgassen uit de oceaan vrijkomen, omdat de oplosbaarheid van gassen in oceaanwater afneemt met toenemende temperatuur. Die extra broeikasgassen leiden dan weer tot verdere temperatuurstijging, enzovoort. Een andere terugkoppeling bij temperatuurstijging is de ontdooiing van permafrost waarbij grote hoeveelheden methaan vrij-

komen die op hun beurt tot verder temperatuurstijging leiden. Aan de andere kant veroorzaken wisselende concentraties broeikasgassen temperatuurveranderingen. Zonder externe invloed evolueren temperatuur en broeikasgasconcentraties in samenhang. Wordt één van de twee door een externe oorzaak veranderd dan volgt de ander en is het zinvol om in termen van oorzaak en gevolg te spreken.

### **Aërosolen**

Menselijke activiteiten verhogen ook de aërosolconcentraties in de atmosfeer. Aërosolen is een verzamelnaam van niet-gasvormige componenten van verschillende grootte en chemische samenstelling. Aërosolen worden direct uitgestoten, zoals roet, of gevormd uit gassen, zoals sulfaataërosolen, die uit zwavelhoudende gassen ontstaan. Aërosolen in de lagere atmosfeer (troposfeer) hebben een betrekkelijk korte verblijftijd en zijn daardoor zeer variabel in ruimte en tijd. Sinds 1996 zijn grote vorderingen gemaakt om stralingsmetingen van satellieten te interpreteren in termen van de hoeveelheden aërosol, waardoor de kennis over aërosolen sterk is toegenomen. Sinds de jaren tachtig neemt wereldgemiddeld gezien de hoeveelheid sulfaataërosol af (zie figuur 2b) als gevolg van maatregelen met betrekking tot de zure-regen-problematiek. Veel andere aërosolcomponenten laten stijgende concentraties zien.

### **Waterdamp**

De atmosfeer bevat een variabele hoeveelheid waterdamp, afhankelijk van de meteorologische condities, met name de temperatuur. Grondwaarnemingen, radiosonde en satellietmetingen laten zien dat de totale hoeveelheid waterdamp op het noordelijke halfrond sinds het begin van de jaren zeventig met waarschijnlijk 5 tot 10% is toegenomen. Uit satellietobservaties blijkt bovendien een toename van waterdamp op grotere hoogte (8-15 km) in de tropen van 2% in de periode 1980-1997. Ook is op basis van zowel radiosonde als satellietwaarnemingen een toename van de hoeveelheid stratosferisch waterdamp (boven de 18 km) met 20% in de periode 1981-2000 geconstateerd.

### **Wolken**

Evenals waterdamp hangen aard en hoeveelheid van de bewolking sterk af van de meteorologische omstandigheden en zijn daarmee zeer variabel in ruimte en tijd. Sinds het begin van de twintigste eeuw is de bewolking boven land op grote delen van de gematigde breedten en polaire gebieden waarschijnlijk toegenomen met 2%. Sinds het midden van de jaren negentig lijkt de totale bedekkinggraad weer iets af te nemen. Kleine variaties in bedekkingsgraad zijn belangrijk gezien de sterke invloed van wolken op straling.

Wolken zijn overigens niet afgenomen zoals de toename van de zonneactiviteit zou impliceren volgens sommige aanhangers van de kosmische stralingstheorie.





## 2.3 De invloed van het broeikaseffect op het klimaat

### Conclusies

De werking van het klimaatsysteem voor wat betreft de fysische, chemische en biologische processen, inclusief hun wisselwerking, is in grote lijnen bekend. De theorie van het broeikaseffect is fysisch goed begrepen. De grootte van de menselijke invloed op het broeikaseffect wordt *grosso modo* bepaald door enerzijds het opwarmende effect van de broeikasgassen en anderzijds het koelende effect van niet-gasvormige bestanddelen van de lucht (aërosolen). De verstoring van de stralingsbalans, de zogeheten stralingsforcering, door langlevende broeikasgassen, zoals CO<sub>2</sub>, is met een nauwkeurigheid van 10% bekend. De totale stralingsforcering van aërosolen is slechts in beperkte mate bekend, met name vanwege de complexe wisselwerking met bewolking.

De temperatuurrepons op een verandering van de samenstelling van de atmosfeer, wordt bepaald door terugkoppelingen in het klimaatsysteem. Zowel waarnemingen als modelexperimenten geven een indicatie voor een versterkend effect op tijdschalen van 10 tot 100 jaar. Onderzoek met behulp van meer gedetailleerde waarnemingen en met verbeterde klimaatmodellen richt zich op verdieping van deze kennis.

### Het klimaatsysteem

Het klimaatsysteem omvat de atmosfeer (troposfeer en stratosfeer), de oceaan en het landoppervlak. Naast fysische processen, spelen ook chemische en biologische processen en hun onderlinge beïnvloeding een belangrijke rol. Er is de laatste decennia een enorme vooruitgang geboekt bij de studie van dit 'complexe systeem'. Een complex systeem is echter nooit helemaal te begrijpen en te voorspellen: er kunnen altijd onverwachte dingen gebeuren. Ondertussen is er heel wat bekend over de invloed van (veranderingen in) de samenstelling van de dampkring op het klimaat.

### Het broeikaseffect

De energie in het klimaatsysteem is afkomstig van de zon. Van de inkomende zonnestraling (100%) wordt 30% direct gereflecteerd door wolken, aërosolen, gassen en het aardoppervlak. Die energie verdwijnt in het heelal en heeft dus geen invloed op het klimaat. De resterende 70% wordt geabsorbeerd door de atmosfeer (23%) en het aardoppervlak (47%), die daardoor opwarmen. Het opwarmende aardoppervlak en de atmosfeer zenden daardoor warmtestraling (infrarode straling) uit die uiteindelijk aan de rand van de atmosfeer in het heelal verdwijnt. Op die manier ontstaat een evenwicht waardoor de aardse temperatuur niet blijft oplopen.

Het blijkt dat slechts 10% van de warmtestraling die aan het aardoppervlak ontstaat ongehinderd kan ontsnappen. Het grootste deel wordt geabsorbeerd door de broeikasgassen in de atmosfeer. In essentie komt het er dus op neer dat de zonnestralen het aardoppervlak veel gemakkelijker kunnen bereiken (47%), dan

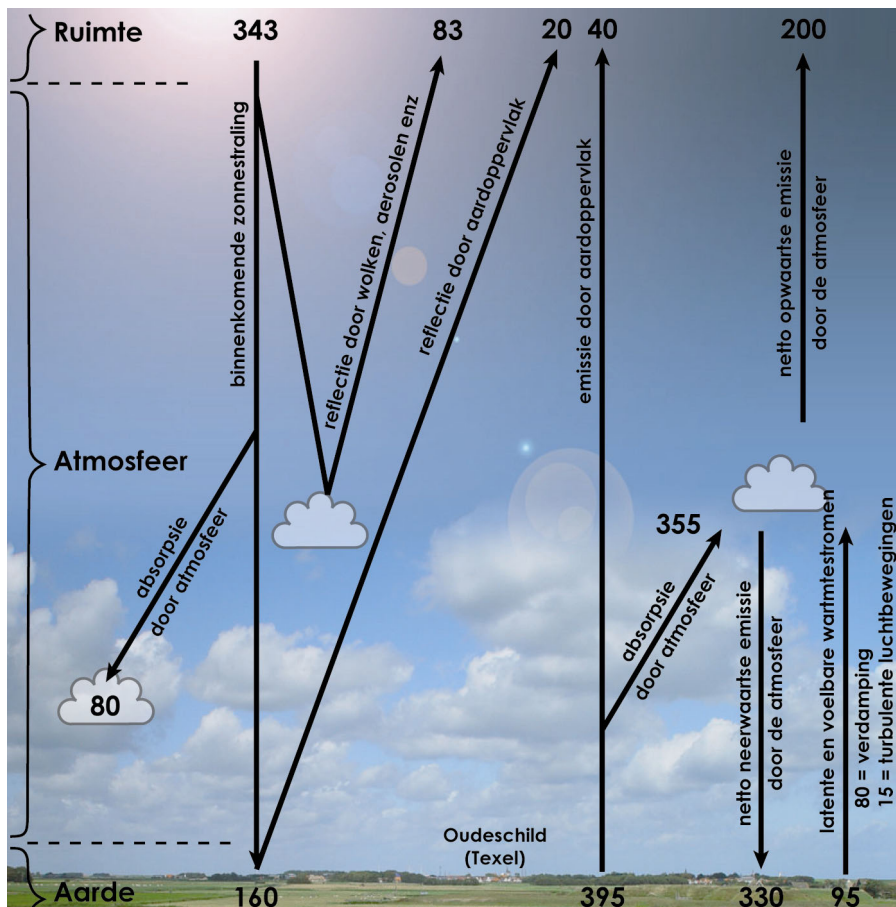
de warmtestraling ervan kan ontsnappen (10%), waardoor de oppervlaktetemperatuur hoger is dan in een situatie zonder broeikasgassen. Dat is het broeikas effect.

Zonder het broeikas effect zou de oppervlaktetemperatuur op aarde  $-18^{\circ}\text{C}$  bedragen en was de aarde dus een dode planeet. De van nature aanwezige broeikasgassen verhogen die temperatuur tot  $+15^{\circ}\text{C}$  en zijn dus van levensbelang.

De theorie van het broeikas effect is wetenschappelijk goed begrepen en bijvoorbeeld ook toepasbaar op de klimaatsystemen van onze buurplaneten, Venus en Mars.

In figuur 4 worden wat nadere details gegeven over de stralingshuishouding van de atmosfeer.

figuur 4 Wereldgemiddelde energiehuishouding van het klimaatsysteem. Energiestromen zijn uitgedrukt in  $\text{Wm}^{-2}$ . Links: het stralingstransport van kortgolvlige straling afkomstig van de zon. Rechts: het stralingstransport van langgolvlige (infrarode) straling afkomstig van het aardoppervlak en de atmosfeer. Rechtsonder: energiestromen die verband houden met voelbare (via turbulente luchtbewegingen) en latente warmtestromen (via verdamping en condensatie van water)



Bron: Van Dorland 1999





## Stralingsforcering

Een verandering van de chemische samenstelling van de atmosfeer beïnvloedt de hiervoor besproken energiebalans van het klimaatsysteem. Beschouwen we eerst het geïdealiseerde geval waarin de hoeveelheid broeikasgassen plotseling eenmalig toeneemt. Zo'n verhoging leidt tot een afname van de warmtestraling die de aarde uitstraalt naar het heelal. Omdat de inkomende straling ongewijzigd is, is het netto effect een toename van de hoeveelheid straling die er is voor de verwarming van de aarde. Men spreekt daarom in zo'n geval van een positieve stralingsforcering (Engels: *radiative forcing*). Het resultaat is een opwarming van de aarde, die pas stopt als er een nieuw stralingsevenwicht bereikt is. Het duurt overigens enige tijd voor zo'n nieuw evenwicht bereikt is. In de meer realistische situatie van een voortdurende stijging van de broeikasgasconcentraties zal de aardtemperatuur voortdurend bezig zijn om zich (opwaarts) aan te passen, waarbij de grootte van de stralingsforcering een maat voor de omvang van de klimaatverandering is.

Het verband tussen stijgende broeikasgasconcentraties en de stralingsforcering wordt bepaald door de reeds aanwezige hoeveelheid broeikasgassen en de sterkte van hun absorptiebanden. Zo geven de relatief lage concentraties CFK's in de atmosfeer aanleiding tot een lineair verband tussen de toename van deze gassen en de stralingsforcering. De huidige CO<sub>2</sub>-concentratie is daarentegen dermate hoog dat er sprake is van een logaritmisch verband: dit betekent dat een verviervoudiging van de CO<sub>2</sub>-concentratie een tweemaal zo grote stralingsforcering geeft als een verdubbeling van de CO<sub>2</sub>-concentratie. Dit wordt veroorzaakt doordat in een klein spectraal interval rondom de sterkste absorptieband van CO<sub>2</sub>, de zogenaamde 15 µm band, sprake is van verzadiging, dat wil zeggen dat een toename van CO<sub>2</sub> geen effect heeft op de stralingshuishouding in dit smalle spectrale interval [IPCC, 1996]. Voor de overige broeikasgassen, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O en O<sub>3</sub>, geldt een verband dat ligt tussen lineair en logaritmisch.

De invloed van aërosolen op de stralingsforcering is complex. Er worden twee categorieën aërosolen onderscheiden: 'witte' aërosolen, zoals sulfaataërosolen, die het zonlicht verstrooien en zo via reflectie van zonlicht een koelende werking (negatieve stralingsforcering) hebben en 'zwarte' aërosolen, zoals roet, die het zonlicht absorberen en daarmee een opwarmende werking hebben. Op deze wijze dragen ze direct bij aan de stralingsforcering. Daarnaast is het van belang of de aërosolen een wateraantrekkende (hygroscopisch) of juist een waterafstotende werking hebben. Afhankelijk van deze eigenschap kunnen aërosolen invloed hebben op de vorming van wolken en daarmee de stralingsforcering indirect beïnvloeden. Zo veroorzaken meer condensatiekernen in de atmosfeer kleinere wolkendruppeltjes, waardoor de wolken witter worden en langer bestaan omdat neerslag dan later op gang komt. Beide effecten koelen het klimaat.

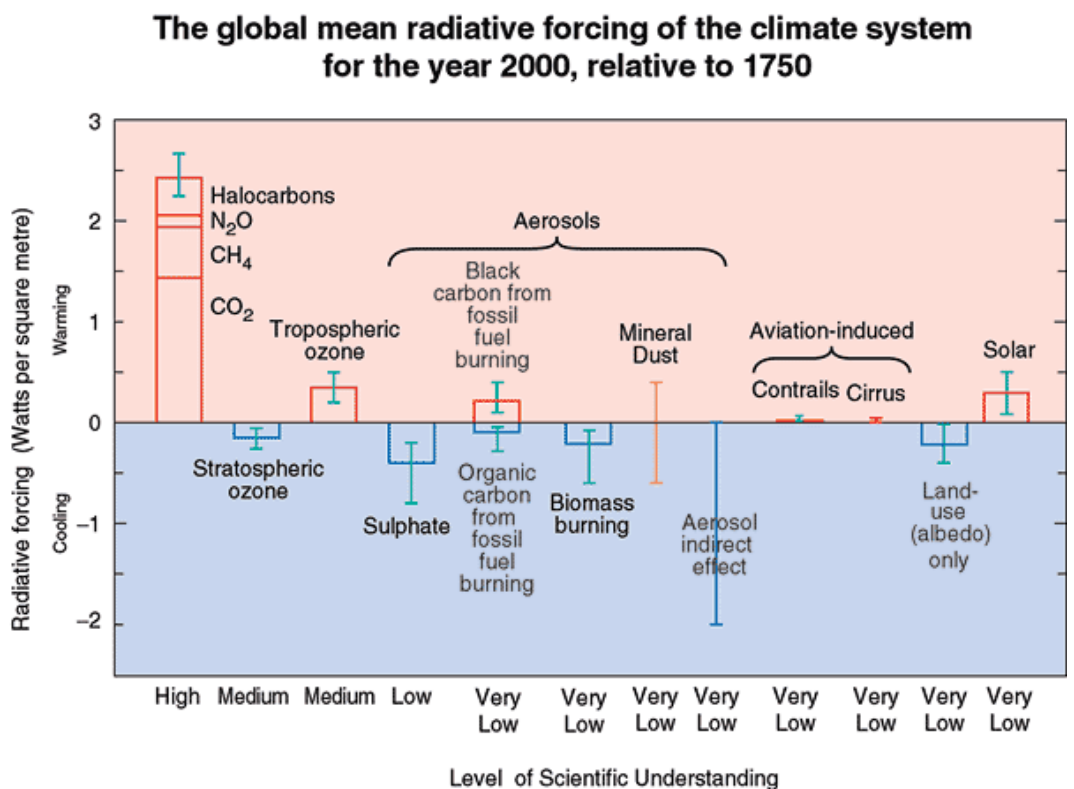
Sinds 1996 is het begrip van het directe aërosoleffect aanzienlijk verbeterd. Door de sterke variaties in ruimte en tijd van de aërosolcomponenten, hun aantallen en hun grootteverdeling is de kwantitatieve onzekerheid in het directe aërosoleffect nauwelijks verkleind. Schattingen van het indirecte aërosoleffect blijven problematisch, hoewel waarnemingen wijzen op een negatieve stralingsforcering in la-

ge bewolking. Over de sterkte van het netto afkoelende effect van aërosolen bestaat dus discussie. Er is echter een grote mate van overeenstemming dat aërosolen het versterkte broeikaseffect in de afgelopen vijftig jaar slechts ten dele hebben gecompenseerd.

Mineraal stof (fijn zand) heeft een niet te verwaarlozen invloed op het klimaat. De invloed van de mens op stofvorming in de atmosfeer is vooralsnog onduidelijk.

In figuur 5 zijn de belangrijkste stralingsforceringen weergegeven. De hoogte van de balken geeft de sterkte van het effect weer. Per balk is de onzekerheid in de waarde aangegeven met een verticale lijn. Onder aan de figuur wordt aangegeven in hoeverre het verschijnsel wetenschappelijk wordt begrepen. Uit de figuur is op te maken dat de grootte van de menselijke invloed op het klimaat *grosso modo* wordt bepaald door enerzijds het opwarmende effect van de broeikasgassen en anderzijds het koelende directe (reflectie zonlicht) en indirecte (invloed op wolkenvorming) effect van de aërosolen. De figuur benadrukt dat met name vergroting van het inzicht in de werking van aërosolen verbetering behoeft. Overigens worden er op dat gebied de laatste jaren wel vorderingen gemaakt.

figuur 5 Stralingsforceringen en bijbehorende onzekerheden (voor verdere toelichting, inclusief de rol van waterdamp, zie tekst)



Bron: IPCC, 2001

De totale stralingsforcering kan worden bepaald door de verschillende bijdragen op te tellen. Zowel door de mens veroorzaakte effecten als natuurlijke schommelingen (zon, vulkanische aërosolen) dienen hierbij in rekening te worden ge-



bracht. Daarnaast zijn ook regionale variaties van belang, ten gevolge van de inhomogene verdeling van stralingsforcering door aërosolen, in tegenstelling tot de veel gelijkmatigere stralingsforcering door lang in de atmosfeer verblijvende broeikasgassen.

### **De gevoeligheid van het klimaatsysteem**

Zoals hierboven al ter sprake kwam is het wetenschappelijk begrip van de invloed van broeikasgassen op de stralingshuishouding relatief groot. Dat begrip is evenwel niet afdoende om te kunnen voorspellen hoe het klimaat zal reageren op een toename van de hoeveelheid broeikasgassen, omdat onder invloed van een dergelijke verstoring allerlei processen in gang gezet worden die de opwarming verder versterken of juist verzwakken. Het bepalen van het uiteindelijke temperatuureffect van de stijging in broeikasgasconcentraties vergt daarom een zeer gedetailleerde kennis van het klimaatsysteem. Dit geldt in het bijzonder bij de bepaling van effecten op regionale schaal omdat daarbij de spontane klimaatschommelingen (interne variabiliteit) ook nog een grote rol spelen.

Zo stijgt de temperatuur bij een verdubbeling van het CO<sub>2</sub>-gehalte op grond van het stralingseffect alleen met ongeveer 1,1°C. Daarmee is het verhaal niet af. Veel processen in de dampkring zijn temperatuurafhankelijk en kunnen zo'n temperatuurverandering zowel tegengaan als versterken. We noemen dit respectievelijk tegenkoppelen en meekoppelen. Het veranderen van de mondiaal gemiddelde temperatuurrepons door veranderingen in fysische processen wordt met een algemene term ook wel terugkoppelen genoemd.

Met name veranderingen in de waterkringloop (hydrologische cyclus) koppelen sterk terug. Zo stijgt de hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer bij een temperatuurstijging waardoor vanwege het broeikaseffect van die extra hoeveelheid waterdamp, de temperatuur extra toeneemt met een factor die niet onomstreden is maar door velen op ongeveer 1,8 geschat wordt. De temperatuurstijging door een verdubbeling van het CO<sub>2</sub>-gehalte zou hiermee dus op ongeveer twee graden (1,1 maal 1,8) komen. Maar de sterkte van deze meekoppeling hangt af van de ruimtelijke verdeling van de waterdamp en de veranderingen hierin.

Een tweede terugkoppeling, die samenhangt met de waterkringloop is de zogeheten ijs-albedo-feedback. Bij een temperatuurstijging neemt het totale oppervlak van land en zee-ijs af, waardoor er minder zonnestraling door de aarde wordt gereflecteerd en de temperatuur extra stijgt. De sterkte van deze meekoppeling is afhankelijk van de hoeveelheid ijs en van de geografische verdeling.

Een derde terugkoppeling wordt mogelijk veroorzaakt door veranderingen van wolkeneigenschappen, zoals veranderingen in de ruimtelijke verdeling, de hoeveelheid wolkenwater en de gemiddelde druppel en ijskristallengrootte. Er bestaat een grote onzekerheid over deze effecten. Sommige modellen geven een verzwakking van de temperatuurrepons, anderen juist een versterking. Ten slotte worden hier de terugkoppeling van opwarming met oceaan- en luchtstromingen en de biosfeer genoemd die van invloed kunnen zijn op klimaatverandering.

Om veranderingen in het klimaat te begrijpen dienen alle relevante terugkoppelingen in rekening te worden gebracht.

De huidige generatie zeer complexe gekoppelde oceaan-atmosfeer-biosfeer modellen geven een *range* voor de netto terugkoppelfactor van 1,5 tot 3,8. Dat impliceert, naast een tamelijk grote onzekerheid, dat het klimaatsysteem als geheel verwacht wordt mee te koppelen, met andere woorden, dat de oorspronkelijke temperatuuroename door de stralingseffecten van broeikasgassen door terugkoppelingen verder versterkt wordt. De modellen worden nog steeds verbeterd, met name op het gebied van de ruimtelijke detaillering en de representatie van fysische, chemische en biologische processen.

De verhouding van de uiteindelijke verandering van de oppervlaktetemperatuur als gevolg van een bepaalde stralingsforcering inclusief de terugkoppelingen in het klimaatsysteem wordt de klimaatgevoeligheid genoemd. Deze grootheid is de vertaalfactor van wereldgemiddelde stralingsforcering naar temperatuurrespons. Bestudering van de klimaatgevoeligheden van de beste klimaatmodellen levert de huidige onzekerheid in deze parameter: de waarde ligt tussen de 0,46 en  $1,13^{\circ}\text{C}/(\text{Wm}^{-2})$  (temperatuuroename in  $^{\circ}\text{C}$  per eenheid van forcering in Watt per vierkante meter). Het verkleinen van deze grote onzekerheid heeft de hoogste prioriteit in het klimaatonderzoek.

Ook vanuit de waarnemingen zijn pogingen gedaan om de klimaatgevoeligheid te schatten. Hiervoor zijn zowel paleoklimatologische data [Alley, 2003] als data uit de instrumentele periode [Knutti et al., 2002; Forest et al., 2002] gebruikt. Om de klimaatgevoeligheid hieruit te berekenen wordt gebruik gemaakt van relatief simpele klimaatmodellen. Onzekerheden in de waarnemingen en in de mate van warmteopname door de oceanen leiden eveneens tot een bandbreedte in klimaatgevoeligheid, die redelijk consistent is met die uit complexe klimaatmodellen. Vanwege de grote onzekerheid in aërosolforcering behoort een gevoeligheid groter dan de bovengrens van de modellen ( $1,13^{\circ}\text{C}/(\text{Wm}^{-2})$ ) tot de mogelijkheden.

Om de bandbreedte in de klimaatgevoeligheid te verkleinen is het noodzakelijk het totale aërosoleffect te kwantificeren. Immers wanneer de totale stralingsforcering van de menselijke invloed (broeikasgassen en aërosolen) bekend is, kan gegeven het temperatuurverloop in de 20e eeuw (waarbij rekening gehouden wordt met de vertraging van de temperatuurrespons door de bufferwerking van de oceanen) de klimaatgevoeligheid met grotere nauwkeurigheid berekend worden.

### **De rol van de stratosfeer**

Aanvankelijk richtte het klimaatonderzoek zich vooral op processen in de onderste 13 km van de dampkring. De afgelopen jaren is het inzicht gegroeid dat processen in de hogere, ijlere luchtlagen (de stratosfeer) ook een belangrijk rol spelen in het klimaat [Schindell et al., 2001]. Zo is er een vermoeden dat de waargenomen afkoeling van de stratosfeer boven de Noordpool, als gevolg van het versterkte broeikas effect en de afbraak van de ozonlaag, een invloed uitoefent op

de overheersende windrichting in Noord West Europa, met zachtere winters en warmere lentes in Nederland tot gevolg [Verbeek et al., 2003].

### **De rol van oceanen**

Het aardoppervlak bestaat voor circa 70% uit oceanen, die gemiddeld vier kilometer diep zijn. De oceanen hebben een enorm vermogen om warmte vast te houden (ruim 1.000 maal groter dan de atmosfeer). Daardoor duurt het vele honderden jaren voordat het klimaatsysteem weer in evenwicht is na een verstoring van de stralingsbalans. Oceanen zijn daarmee een vertragende factor in de temperatuurrepons.

De overheersende oceaanstromingen verplaatsen de warmte over de aarde en hebben in samenhang met overheersende luchtstromingen een grote invloed op het regionale klimaat. Zo transporteert de Noord Atlantische Golfstroom warm tropisch oceaانwater naar het noorden. De overheersende westenwinden op het Noordelijk Halfrond nemen die warmte mee naar het Europese continent met een mild klimaat tot gevolg.

De oceaan speelt verder een belangrijke rol in de koolstofkringloop en bij het ontstaan van spontane klimaatschommelingen zowel in de oceaan zelf als in het gekoppelde oceaan/atmosfeer systeem.

### **De rol van het landoppervlak en van de biosfeer**

Het landoppervlak speelt ook een grote rol in het klimaat. Hierbij moet worden gedacht aan de albedo (reflecterend vermogen) ten gevolge van sneeuw en ijsbedekking en landgebruik, hydrologische processen in de bodem en aan de rol van planten in een veranderend klimaat.

## 2.4 Waargenomen klimaatveranderingen en de oorzaken ervan

### Conclusies

De wereldgemiddelde temperatuur is in de loop van de 20<sup>ste</sup> eeuw met 0,6°C toegenomen. Een dergelijke opwarming heeft zich in de laatste 1.000 jaar waarschijnlijk niet eerder voorgedaan.

De opwarming blijkt ook uit allerlei effecten die ermee samenhangen. De bedekking van de aarde met sneeuw en ijs is op grote schaal afgenomen. De zeespiegel is met 10 tot 20 cm gestegen. De hoeveelheid neerslag op de gematigde en hogere breedtegraden is toegenomen, terwijl in de subtropen een afname is geconstateerd. Op gematigde en hogere breedtegraden is de lengte van het groeiseizoen toegenomen. Al deze feiten wijzen op een significante opwarming van het wereldwijde klimaat.

Klimaatmodellen kunnen het klimaat van de 20<sup>ste</sup> eeuw in grote lijnen simuleren. Dit betreft niet alleen het wereldgemiddelde klimaat, maar ook de patronen van klimaatverandering. Hierdoor is het vertrouwen in klimaatmodellen met inachtneming van de bandbreedte in modelresultaten sinds 1996 toegenomen. Ofschoon studies met deze modellen in details verschillen blijkt het grootste deel van de waargenomen opwarming vanaf 1950 in de meeste modellen te zijn veroorzaakt door de menselijke uitstoot van broeikasgassen. Deze conclusie wordt bevestigd door analyses van meetgegevens.

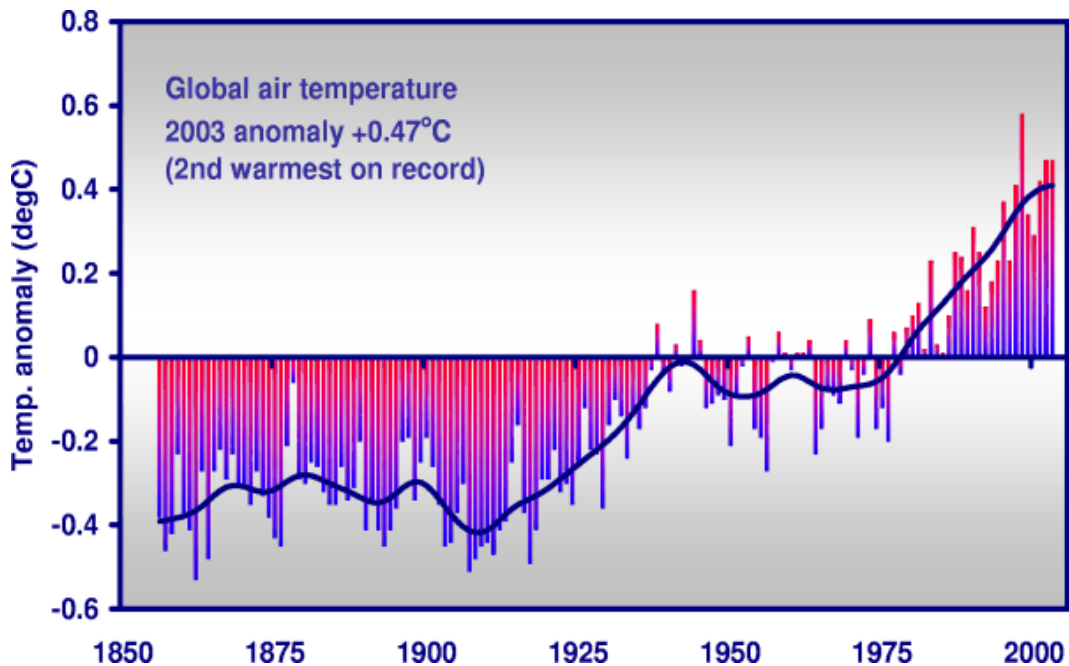
Bij beschouwingen over klimaatverandering is het van belang om onderscheid te maken tussen de wereldgemiddelde temperatuur en de temperatuur op een bepaalde locatie, zoals bijvoorbeeld De Bilt. De wereldgemiddelde temperatuur is minder grillig dan de temperatuur op een bepaalde plaats. De invloed van de mens is het makkelijkste vast te stellen in de wereldgemiddelde temperatuur. Daarom richt veel van het onderzoek zich op deze grootheid.

### Waargenomen klimaatveranderingen

De temperatuur aan het aardoppervlak is in de twintigste eeuw gemiddeld met ongeveer 0,6°C gestegen. In het begin van de 21<sup>ste</sup> eeuw (tot aan het heden) heeft de opwarming zich verder voortgezet met ongeveer 0,1°C. De opwarming is niet gelijkmatig verlopen. Tussen 1910 en 1945 (zie figuur 6) is de wereldgemiddelde temperatuur toegenomen met 0,14°C per decennium. In de periode tussen 1945 en 1976 is er sprake van een licht dalende temperatuurtrend, terwijl in de afgelopen 25 jaar een stijging van 0,17°C per decennium is waargenomen. Het is opmerkelijk dat zes recente jaren (1995, 1997, 1998, 2001, 2002 en 2003) in ieder geval de warmste jaren waren sinds de directe temperatuurmetingen en waarschijnlijk zelfs in de afgelopen duizend jaar.



figuur 6 Afwijking van de wereldgemiddelde oppervlaktetemperatuur ten opzichte van de periode 1961-1990



Bron: Jones et al. 2003. Copyright: Climatic Research Unit (cru@uea.ac.uk)

Voorts is de dagelijkse gang van de temperatuur in de periode 1950-1993 gemiddeld op de meeste plaatsen in de wereld. Wereldwijd gezien zijn de minimumtemperaturen, die doorgaans 's nachts gehaald worden, tweemaal zo hard gestegen als de maximumtemperaturen. Naast de toename in broeikasgassen heeft ook de toename in bewolking (zie paragraaf 2.2) hier mogelijk aan bijgedragen. Ook is er een invloed van verstedelijking. Een schatting van dit laatste effect kon worden bepaald uit de vergelijking van de dagelijkse gang tussen verstedelijkte en niet-verstedelijkte meetlocaties (zie pagina 30, 'kan de huidige wereldtemperatuur goed worden bepaald?').

Metingen van de neerslag boven land op de gematigde en hoge breedten van het noordelijke halfrond laten een toename van 7% tot 12% in de 20e eeuw zien. Uitzondering hierop vormen enkele gebieden in Oost Rusland. Over subtropische continentale gebieden is een afname van de hoeveelheid neerslag waargenomen met 3%.

Door de temperatuurstijging is de bedekking van de aarde met sneeuw en ijs afgenomen. Wereldwijd is 90% van de gletsjers korter geworden. In enkele marieme gebieden, zoals in Noorwegen en Nieuw Zeeland is vergroting van het gletsjervolume waargenomen. Dit wordt verklaard door een toename van de neerslag. Ook is de jaarlijkse duur van de ijsbedekking op meren en rivieren op het noordelijke halfrond in de loop van de 20<sup>ste</sup> eeuw met twee weken afgenomen. In de Noordelijke IJszee is zowel de ijsdikte als het ijsoppervlak in de loop van de 20<sup>ste</sup> eeuw kleiner geworden. Op Antarctica is het ijsvolume in de loop van de 20<sup>ste</sup> eeuw toegenomen door toename van de hoeveelheid neerslag. Sinds 1978 zijn geen noemenswaardige veranderingen geconstateerd in de zeeijsbedekking rond Antarctica.



De zeespiegel is in de twintigste eeuw gestegen met 10 tot 20 centimeter voornamelijk door de opwarming van zeewater en het smelten van landijs. Metingen van de warmte-inhoud van de drie oceanen in de periode 1948-1998 zijn in goede overeenstemming met de waargenomen wereldgemiddelde temperatuurstijging van de luchttemperatuur nabij het aardoppervlak. Verder blijkt uit waarnemingen van de vegetatie dat wereldwijd de lengte van het groeiseizoen is toegenomen.

Al deze feiten wijzen op een opwarming van het wereldwijde klimaat.

### **Temperatuurtrends in de hogere atmosfeer**

Het verticale verloop van de temperatuur van de atmosfeer wordt sinds 1958 systematisch direct gemeten met behulp van weerballonnen. Sinds 1979 wordt daarnaast met satellieten ook de gemiddelde temperatuur in atmosferische lagen met een dikte van enkele kilometers bepaald. De interpretatie van deze satellietmetingen gebeurt met computermodellen waarmee de verticale stralingsprofielen in de atmosfeer berekend worden, gegeven het atmosferische temperatuurprofiel en de hoogteafhankelijke concentraties van (broeikas)gassen en aërosolen. Een moeilijkheid bij deze interpretatieslag is het feit dat de gemeten straling afkomstig is van vele niveaus in de atmosfeer. Bovendien moet gecorrigeerd worden voor de temperatuur van het onderliggende aardoppervlak. De satelliettemperaturen worden dus langs ingewikkelde, indirecte weg afgeleid uit stralingsmetingen. Daarmee hebben satellietwaarnemingen het nadeel dat ze minder betrouwbaar zijn dan directe metingen. Daar staat tegenover dat satellieten wereldwijde dekking hebben (ballonnen meten in situ, dus op één locatie).

De temperatuurtrends in de hogere atmosfeer die sinds 1979 met satellieten gemeten zijn komen overeen met ballonmetingen, maar zijn significant lager dan de temperatuurtrends aan het aardoppervlak, bepaald met behulp van het netwerk van thermometers. Deze verschillen duiden op een reëel fysisch effect, niet op meetfouten. De verklaring wordt gezocht in het effect van wolken, aërosolen, El Niño en ozon op de temperatuur van de bovenlucht. Computermodellen waarmee het klimaat gesimuleerd wordt zijn nog niet goed in staat dat effect goed weer te geven. Satellietmetingen ontkennen de opwarming van het aardoppervlak dus niet, zoals soms wel beweerd wordt, maar geven aan dat modellen verbeterd moeten worden met betrekking tot de beschrijving van de bovenlucht. Radiosonde metingen van de temperatuur in de bovenlucht laten in de periode 1958-1976 overigens ook een kleinere dalende temperatuurtrend zien ten opzichte van die van het aardoppervlak, zodat bezien over het gehele tijdvak sinds 1958 de temperatuurtrends in de bovenlucht beter overeenkomen met die van het aardoppervlak. Zeer recent onderzoek heeft opgeleverd dat de rekenmodellen waarmee satellietwaarnemingen worden vertaald in temperaturen moeten worden bijgesteld [Fu et al., 2004]. De verschillen tussen satellietmetingen en grondmetingen zijn vermoedelijk kleiner dan tot nu toe is aangenomen.

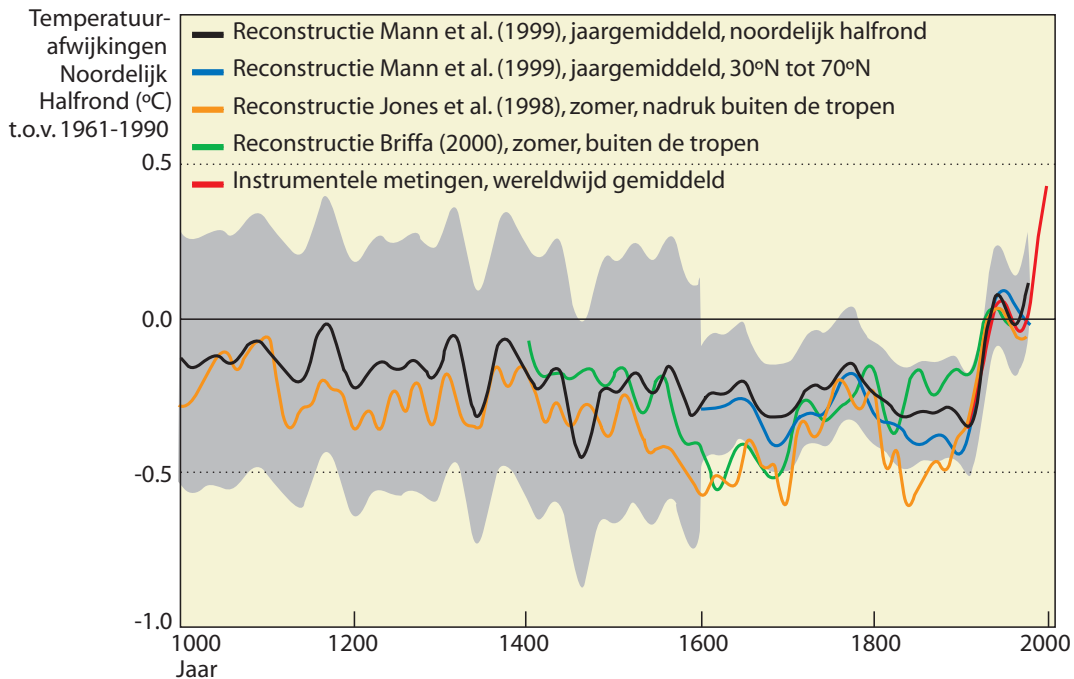




## Temperatuurreconstructies in het laatste millennium

Ook in het laatste millennium hebben zich klimaatfluctuaties voorgedaan. Dit soort informatie kan worden afgeleid uit de dikte van boomringen, koralen, ijsboringen en gelaagde sedimenten in meren en oceanen. In figuur 7 zijn vier reconstructies weergegeven van het verloop van de temperatuur op het Noordelijk Halfrond. De spreiding van de lijnen zegt iets over de precisie waarmee dat kan gebeuren.

figuur 7 Vier reconstructies van de gemiddelde temperatuur op het Noordelijk Halfrond in de afgelopen 1.000 jaar. Het grijze gebied geeft de onzekerheid aan in de meest geavanceerde reeks (zwarte getrokken lijn van Mann et al.)



Bron: IPCC, 2001

Een recente heranalyse van boomringgegevens suggereert iets sterkere variaties – in de orde van een halve graad – op een tijdschaal van eeuwen, waardoor mogelijk de warme middeleeuwen en de Kleine IJstijd meer geprononceerd zijn dan in figuur 7 tot uiting komt. Het probleem met boomringstudies is dat ze uit de aard der zaak alleen temperatuurgegevens buiten de tropen verdisconteren (tropische boomringen bevatten geen temperatuurinformatie). Aangezien de tropen een dempende werking hebben op de wereldgemiddelde temperatuur heeft het weglaten van tropische gegevens kunstmatig grote variaties tot gevolg (zie bijvoorbeeld de Briffa reeks in figuur 7). De temperatuurreeks van Mann (ook wel ‘de hockeystick’ genoemd, de zwarte lijn in figuur 7) maakt gebruik van de meeste gegevens, uit verschillende bronnen, met de grootste geografische spreiding, en houdt rekening met ruimtelijke patronen in het klimaatsysteem, ter compensatie van ontbrekende data. Om die reden wordt de Mann-reeks [Mann et al., 1999, rectificatie in Mann et al., 2004] op dit moment als het meest representatief beschouwd. Het onderzoek van [Mann et al. 1999] is bekritiseerd door [McIntyre en McKittrick, 2003]. Die kritiek heeft geleid tot een rectificatie door [Mann et al.,

2004]. De gemaakte fouten (in de beschrijvingen van de gebruikte gegevens in de oorspronkelijke publicatie) zijn niet van invloed op het eindresultaat (figuur 8).

### **Kan de huidige wereldtemperatuur goed worden bepaald?**

De toevallige variaties in de temperatuur op een locatie zijn veel groter dan de variaties in het wereldgemiddelde. De berekening van dat gemiddelde moet dan ook zorgvuldig gebeuren. Het blijkt dat 100 gelijkmatig over de aarde verdeelde meetstations volstaan om een betrouwbare wereldtemperatuur vast te stellen. Dit hangt samen met het feit dat atmosferische patronen afmetingen hebben van enkele duizenden kilometers. Er zijn 5.000 stations beschikbaar met een acceptabele geografische spreiding. De wereldgemiddelde oppervlaktetemperatuur kan nu dan ook voldoende nauwkeurig worden bepaald, dat wil zeggen met een precisie van ongeveer 0,2°C. Terug in de tijd neemt de nauwkeurigheid af doordat de bedekking in het verleden minder goed was.

De temperatuurmetingen worden gecorrigeerd voor de effecten van verstedelijking. De aanwezigheid van een stad heeft een reëel, plaatselijk verhogend effect op de temperatuur. Het is daarom denkbaar dat de toenemende verstedelijking een kunstmatige verhoging van de gemeten wereldgemiddelde temperatuur tot gevolg heeft, omdat in de loop der tijd een toenemend, niet representatief aantal meetstations in stedelijk gebied is komen te liggen. Onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat dit effect maximaal 0,1°C bedraagt. De waargenomen wereldgemiddelde opwarming in de loop van de 20<sup>ste</sup> eeuw van 0,6°C is dus geen kunstmatig gevolg van de verstedelijking.

### **Oorzaken van klimaatveranderingen**

De klimaatschommelingen in de 20<sup>ste</sup> eeuw tot aan 1950 zijn hoofdzakelijk veroorzaakt door drie natuurlijke oorzaken: sterke vulkaanuitbarstingen, variaties in zonneactiviteit en zogeheten interne variabiliteit. Sterke vulkaanuitbarstingen blazen enorme hoeveelheden aërosol tot grote hoogte in de atmosfeer. Deze deeltjes verblijven gemiddeld een paar jaar in de hogere atmosfeer en kaatsen zonlicht terug waardoor het aardoppervlak afkoelt. Daarnaast is de zon geen constante energiebron. Processen op de zon zorgen voor kleine wisselingen in de hoeveelheid energie die de aarde bereikt, waardoor de atmosfeer opwarmt of juist afkoelt. De derde natuurlijke factor wordt gevormd door zogeheten interne variabiliteit, waarvan El Niño de meest bekende is. El Niño is de naam gegeven aan een complexe wisselwerking tussen de oceaan en atmosfeer die eens in de drie à zeven jaar de zeewatertemperatuur in een gebied ten westen van Peru abnormaal verhoogt. De wisselwerking met de atmosfeer zorgt vervolgens voor wereldwijde afwijkingen van de bewolking, de neerslag en de temperatuur.

In de periode 1880 tot 1920 was sprake van verhoogde vulkanische activiteit, terwijl er tussen 1920 en 1960 geen vulkaanuitbarstingen van betekenis zijn geweest. Samen met een toename van de zonneactiviteit kan de opwarming in de eerste helft van de 20<sup>ste</sup> eeuw daarmee verklaard worden. De dalende temperatuurtrend tussen 1945 en 1976 wordt in verband gebracht met enerzijds een lichte afname van de zonneactiviteit en anderzijds een toename van grote vulkaan-

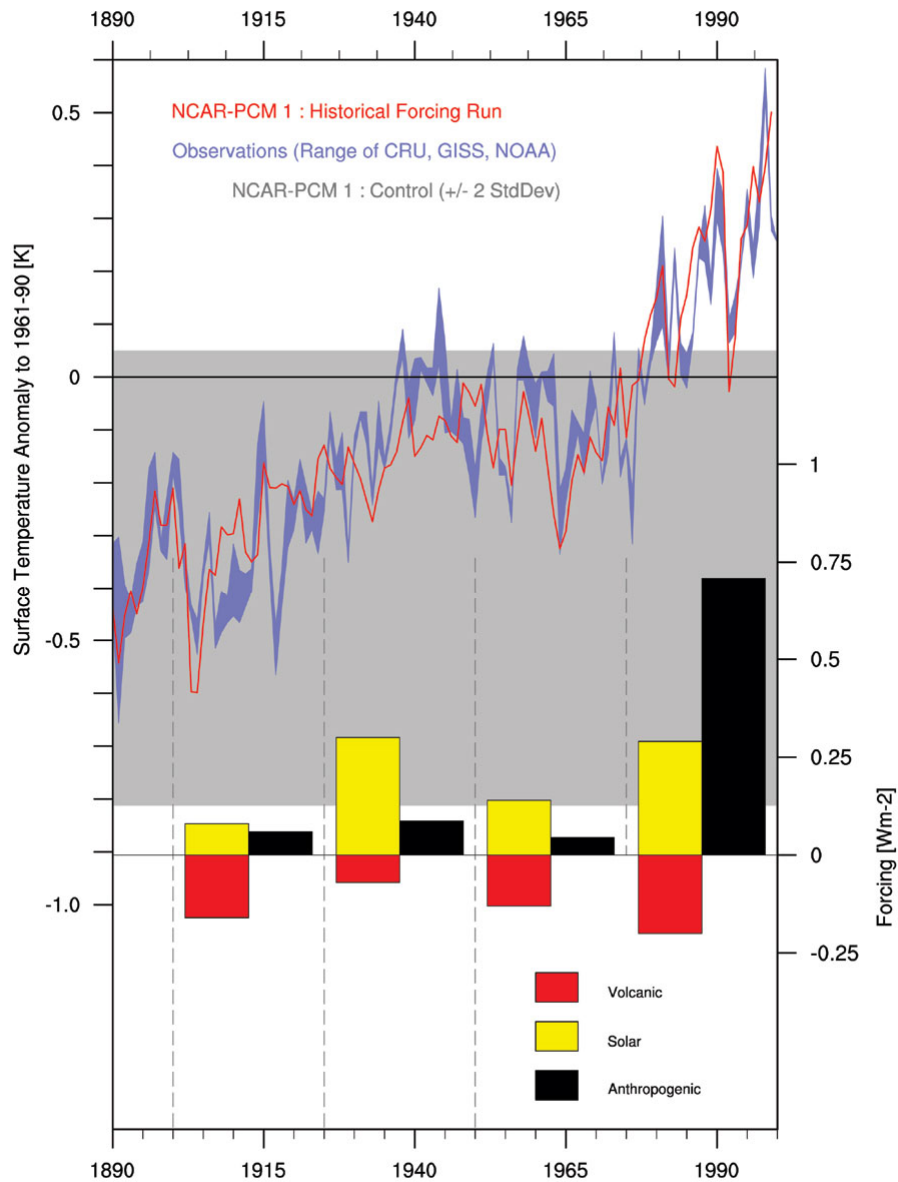


uitbarstingen in de tweede helft van deze periode, beginnend met de uitbarsting van de vulkaan Agung in 1963.

Vanaf 1950 kan het verloop van de wereldgemiddelde temperatuur alleen goed verklaard worden door de menselijke invloed in rekening te brengen. Daarbij speelt de verandering van de atmosferische samenstelling een belangrijke rol. Veranderingen in het landgebruik dragen vermoedelijk ook bij. Klimaatmodellen, die gevoed worden met zowel de natuurlijke als antropogene (door de mens veroorzaakte) verstoringen kunnen het waargenomen temperatuurverloop in de 20e eeuw in grote lijnen simuleren (zie figuur 8). Ook langs andere weg, waarbij de waargenomen wereldgemiddelde temperatuur gecorrigeerd wordt voor de beste schattingen van de belangrijkste natuurlijke factoren, vulkaanforcering, zonneactiviteit en El Niño, blijft een markante temperatuurstijging over in de tweede helft van de twintigste eeuw van circa 0,5°C, die qua vorm en timing sterk overeenkomt met wat klimaatmodellen aan menselijke invloed berekenen [Van Ulden et al., 2000]. Uit dit soort studies blijkt dat de menselijke invloed op de temperatuurstijging vanaf 1950 overheersend is geworden.

Tevens kunnen de waargenomen patronen van klimaatveranderingen in de 20<sup>ste</sup> eeuw, zoals de sterkere opwarming van de continenten op het noordelijk halfrond met name in het winterseizoen en de contouren van de geografische verdeling van neerslagveranderingen, met de huidige klimaatmodellen worden gesimuleerd. Hierdoor is het vertrouwen in klimaatmodellen met inachtneming van de bandbreedte in modelresultaten sinds 1996 aanmerkelijk toegenomen.

figuur 8 Het verloop van de wereldgemiddelde temperatuur in de 20<sup>ste</sup> eeuw. De waarnemingen zijn weergegeven met de blauwe lijn, waarvan de breedte de onzekerheid aangeeft. De rode lijn geeft de gesimuleerde temperatuur aan. De gekleurde balken geven voor vier tijdvakken de relatieve klimaatinvloed weer van vulkaanuitbarstingen, variaties in de zonneactiviteit en de mens. Het parallelle verloop van de waarnemingen en de simulatie is een maat voor de kwaliteit van de simulatie. De sterke menselijke (antropogene) invloed vanaf het midden van de 20<sup>ste</sup> eeuw blijkt uit de hoogte van de zwarte balk



Bron: Ammann et al., 2004



## 2.5 Het klimaat in de 21<sup>ste</sup> eeuw

### Conclusies

De aarde is een complex systeem dat door de mens verstoord wordt. Een complex systeem is nooit helemaal te begrijpen en te voorspellen. Een aanzienlijke verdere toename van de broeikasgasconcentraties in de loop van de 21<sup>ste</sup> eeuw lijkt evenwel zeer aannemelijk.

Volgens de huidige inzichten zal dat aanleiding geven tot een verdere temperatuurstijging met 1,4°C tot 5,8°C. De grote onzekerheidsmarge hangt enerzijds samen met onvolledige kennis van met name de terugkoppelingen in het klimaatsysteem en anderzijds met de inherente onzekerheid in voorspellingen van de toekomstige menselijk uitstoot van broeikasgassen en aërosolen (beide onzekerheden zijn van vergelijkbare grootte). Deze temperatuurstijging heeft grote gevolgen voor de waterkringloop. De bedekking van de aarde met sneeuw en ijs zal verder afnemen. Het niveau van de zeespiegel zal naar verwachting stijgen met 9 tot 88 cm.

De huidige klimaatmodellen geven aan dat de te verwachten temperatuurstijging in Nederland nagenoeg in de pas loopt met die van het wereldgemiddelde. Voor Nederland zijn met name de gevolgen voor het waterbeheer van belang: zo wordt gemiddeld meer en extremere neerslag verwacht en een frequenter optreden van zomerdroogte, met onder andere gevolgen voor de waterstanden in de grote rivieren.

### Is het klimaat voorspelbaar?

Een klimaatverwachting doet een uitspraak over het gemiddelde weer (=klimaat) in de toekomst. Het gaat er in dat geval niet om óf het regent op 1 april 2050, maar hoe groot de kans dan is op regen. Dat maakt een groot verschil uit. Voor de weersverwachting is het van belang de ontwikkeling van de weersystemen heel precies te volgen. Deze ontwikkeling hangt zeer nauw samen met de begin-toestand van de atmosfeer, waarmee de computermodellen hun berekeningen starten. Een kleine afwijking in de begintoestand, bijvoorbeeld door een onjuiste meting, kan al na een aantal dagen tot grote afwijkingen in de positie van een lage drukgebied leiden. Dit wordt het chaotische gedrag van de atmosfeer genoemd. De precieze positie en timing van de druksystemen zijn van belang voor het weerbeeld van dag tot dag. Het chaotische gedrag van de atmosfeer leidt dus tot een beperkte verwachtingstermijn. Dit wordt ook wel voorspelbaarheidshorizon genoemd.

Het gemiddelde weerbeeld (klimaat) en de variaties daarin zijn praktisch ongevoelig voor de begintoestand van de atmosfeer maar hangen veel meer samen met de algemene circulatie, die aangedreven wordt door de energiestromen in het klimaatsysteem. Een computermodel van de atmosfeer genereert bij gelijkblijvende randvoorwaarden, zoals inkomend zonlicht, reflecterend vermogen van de planeet, atmosferische samenstelling et cetera dezelfde statistieken, en dus hetzelfde klimaat, ongeacht de weersituatie waarmee de simulatie begonnen is.

Voorwaarde is wel dat een voldoende groot gebied beschouwd wordt en de periode, waarover gemiddeld wordt, lang genoeg is. Het klimaat is dus beter voorspelbaar dan het weer.

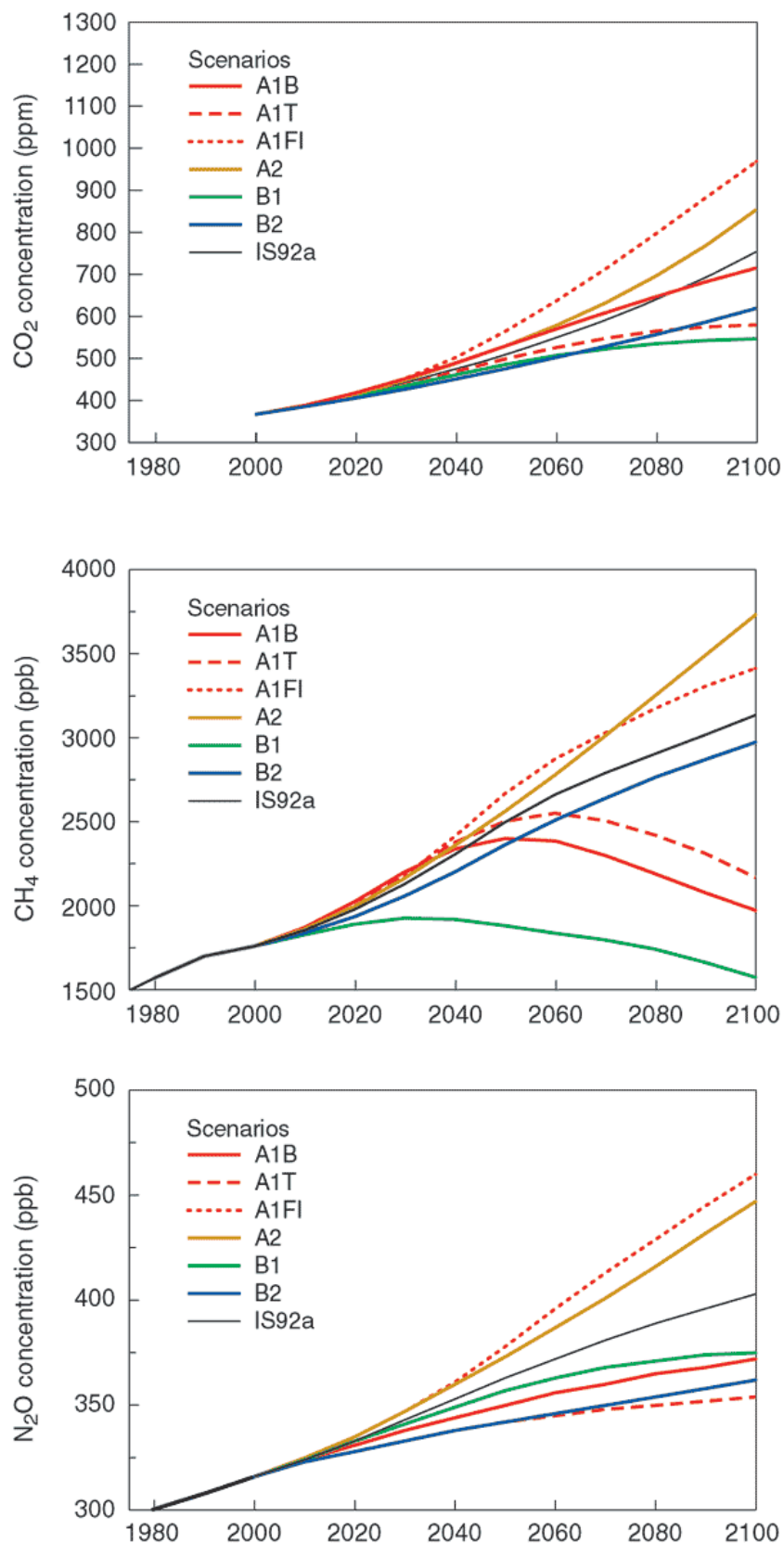
Bovendien blijkt uit modelexperimenten dat gemiddeld over de aardbol het klimaatsysteem zich nagenoeg lineair (rechtlijnig) gedraagt: een tweemaal zo grote aangebrachte verstoring bijvoorbeeld in het binnenkomende zonlicht leidt tot een tweemaal zo groot effect. Dit suggereert dat er geen voorspelbaarheidshorizon voor klimaatvoorspellingen is. Toch zit hier een addertje onder het gras. De laatste jaren groeit het besef dat het klimaatsysteem door zijn complexiteit een aantal verrassingen in petto kan hebben, die het systeem dermate sterk verstoren dat de lineaire eigenschap doorbroken wordt en daarmee de voorspelbaarheid niet meer opgaat. Dit inzicht is gebaseerd op enerzijds paleoklimatologisch onderzoek, anderzijds op modelstudies (zie paragraaf 2.6 en paragraaf 2.8, case c). Voorbeelden van mogelijke niet-lineaire processen zijn veranderingen in overheersende grootschalige luchtstromingen, de invloed van het versneld afsterven van het Amazone-bos op de koolstofhuishouding, het stilvallen van de Noord Atlantische Golfstroom, het vrijkomen van methaan bij de dooi van permafrost en het vrijkomen van methaan uit hydraten op de oceaانبodem [Rial et al., 2004].

### **Zullen de concentraties bij de huidige trends blijven toenemen?**

Voor het doen van voorspellingen van de ontwikkelingen in de 21<sup>ste</sup> eeuw is het noodzakelijk een beeld te hebben van de uitstoot van broeikasgassen en aërosolen in de toekomst. Daarvoor is het noodzakelijk een beeld te hebben van de toekomstige mondiale demografische, sociaal-economische en technologische ontwikkelingen. Dat beeld is uit de aard der zaak speculatief. In de klimaatwetenschap werkt men daarom met scenariotechnieken. Scenario's schetsen alternatieve beelden van mogelijke ontwikkelingen die gezamenlijk de contouren schetsen van een denkbare toekomst. Het IPCC heeft recentelijk (in 2000) een veertigtal nieuwe scenario's opgesteld ten behoeve van het klimaatonderzoek naar de toekomstige klimaatverandering en de gevolgen ervan [IPCC, 2000]. Deze scenario's zijn gebaseerd op de uitgebreide wetenschappelijke literatuur op dit gebied en zijn ingedeeld in vier 'families' (verhaal lijnen A1, A2, B1, B2) met ieder een bepaald karakter (veel of juist weinig globalisering, veel of weinig economische groei, diensten- en informatie economie of juist een materiele economie, wel of geen duurzame ontwikkeling etc.). Voor een nadere beschrijving van de scenario's wordt hier verwezen naar bijvoorbeeld de laatste pagina van de Summary for Policymakers van deel I van het Derde IPCC assessment Report [[www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf](http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf)].



figuur 9 Atmosferische concentraties CO<sub>2</sub>, methaan en lachgas in 21<sup>ste</sup> eeuw voor een aantal representatieve IPCC scenario's



Bron: IPCC, 2001





In figuur 9 zijn de ontwikkelingen in de atmosferische concentraties CO<sub>2</sub>, methaan en lachgas weergegeven voor een zestal (A1B, A1T, A1FI, A2, B1, B2) representatieve IPCC scenario's. Ter vergelijking is ook een ouder scenario (IS92a) opgenomen dat in omloop was in 1996. Ondanks de grote spreiding en daarmee de grote mate van onzekerheid, is het duidelijk dat de hoeveelheden broeikasgassen hoe dan ook worden verwacht toe te nemen en wel in aanzienlijke mate.

Het is vrijwel zeker dat ook de komende eeuw de ontwikkeling van de concentratie CO<sub>2</sub> in de atmosfeer zal worden bepaald door de verbranding van fossiele brandstoffen. Naarmate de hoeveelheid CO<sub>2</sub> toeneemt, vermindert het vermogen van oceanen om extra CO<sub>2</sub> op te nemen. Aan het eind van de 21<sup>ste</sup> eeuw wordt een CO<sub>2</sub>-concentratie van 1,5 tot 2,6 maal de huidige waarde verwacht. In alle scenario's neemt de relatieve bijdrage van CO<sub>2</sub> aan het netto broeikaseffect gedurende de 21<sup>ste</sup> eeuw toe. De verkoelende werking van aërosolen wordt relatief kleiner. Zo verwacht men in de meeste scenario's dat de uitstoot van zwavelhoudende gassen, die een belangrijke bron zijn van aërosolen, afneemt of constant blijft. Elementen, zoals roet die het broeikaseffect versterken, worden verwacht toe te nemen in de 21<sup>ste</sup> eeuw.

Een belangrijk verschil tussen de meeste broeikasgassen en aërosolen is de verblijftijd in de atmosfeer. CO<sub>2</sub> heeft bijvoorbeeld een atmosferische verblijftijd van meer dan 100 jaar. Daarentegen hebben aërosolen een zeer korte verblijftijd in de orde van een week en accumuleren daardoor niet. Dit in tegenstelling tot de CO<sub>2</sub>-concentraties die zelfs bij gelijkblijvend gebruik van fossiele brandstoffen nog lang zullen blijven stijgen.

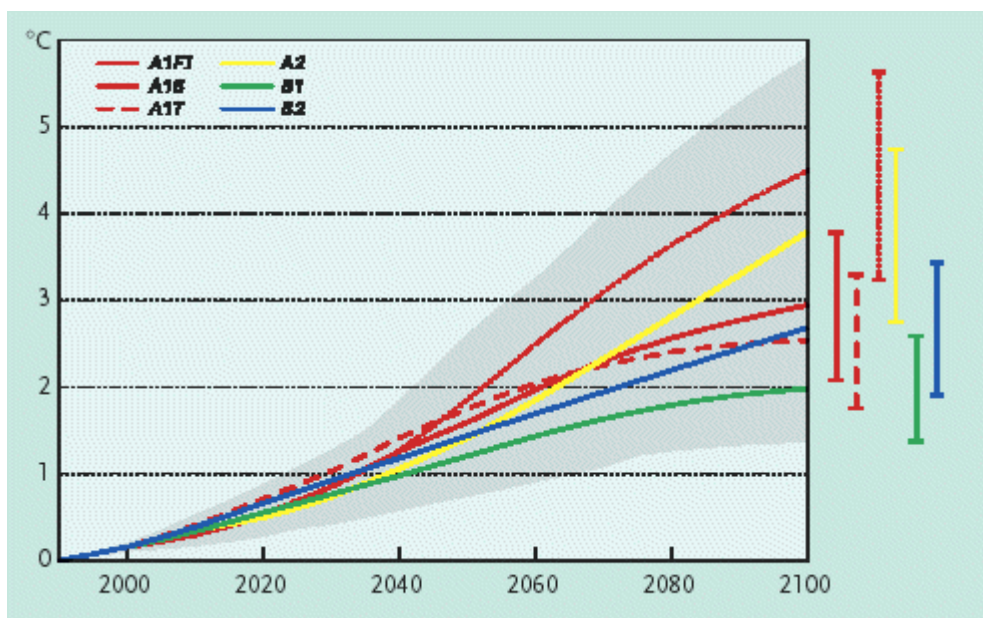
### **Wat zeggen klimaatmodellen over het toekomstig klimaat?**

Computersimulaties laten zien dat de hierboven genoemde scenario's leiden tot een toename van de wereldgemiddelde temperatuur met 1,4 tot 5,8°C tot 2100 (zie figuur 10). Een ontwikkeling langs de bovengrens brengt de aarde in een totaal andere toestand, met zeer verstrekende gevolgen voor mens en natuur. De ondergrens brengt de aarde in een toestand die vergelijkbaar is met de warme periode voor de laatste ijstijd (het Eemien) [Hansen, 2004]. Er zijn aanwijzingen dat onder die omstandigheden grote ijsmassa's, zoals het ijs op Groenland, smelten. Dat zou op termijn van duizend jaar een zeespiegelstijging van een aantal meters tot gevolg kunnen hebben (zie figuur 10).





figuur 10 De ontwikkeling van de wereldgemiddelde temperatuur als gevolg van 6 representatieve IPCC scenario's. De gekleurde lijnen in de figuur tonen het temperatuurverloop voor ieder scenario. De curves zijn gemaakt met een eenvoudig klimaatmodel waarbij de gemiddelde klimaatgevoeligheid van zeven complexe klimaatmodellen is gebruikt. In deze representatie is de interne variabiliteit weggefilterd. De werkelijkheid zal naar verwachting grilliger verlopen door natuurlijke interjaarlijkse en interdecadale schommelingen. De gekleurde balken rechts geven de spreiding van klimaatgevoeligheid van de zeven klimaatmodellen weer. Het grijze gebied toont de spreiding (onzekerheid) van alle temperatuurprojecties



Bron: IPCC, 2001

De temperatuurtoename boven de continenten van het noordelijke halfrond zal over het algemeen tot ongeveer veertig procent sterker zijn dan boven zee. De opwarming zal de waterkringloop intensiveren, waardoor er mondiaal gemiddeld meer en heviger neerslag wordt voorzien. Die toename zal vermoedelijk vooral plaatsvinden op de gematigde breedten, terwijl in de subtropen juist een afname van de neerslag wordt verwacht. Dergelijke veranderingen gaan gepaard met toenemende verschillen van jaar tot jaar. Zee-ijs, gletsjers en landijs zullen verder terugtrekken, terwijl de ijsmassa van Antarctica, als gevolg van toename van de hoeveelheid neerslag, juist zal toenemen. Het niveau van de zeespiegel wordt verwacht te stijgen met 9 tot 88 cm. De opwarming zal ook na 2100 nog eeuwen doorwerken, waardoor uiteindelijk op een termijn van duizend jaar een zeespiegelstijging met enkele meters wordt voorzien (zie paragraaf 2.6).

Natuurlijke interjaarlijkse en interdecadale schommelingen spelen een relatief kleine rol in de wereldgemiddelde temperatuur. Voor een bepaald gebied, zoals Nederland zijn ze relatief groot, zodat het voor Nederland moeilijk is om het temperatuurverloop voor de komende decennia te voorspellen. Op termijn zal de menselijk invloed op de temperatuur naar verwachting ook lokaal domineren. De huidige klimaatmodellen geven aan dat die in Nederland nagenoeg in de pas loopt met de stijging van de wereldgemiddelde temperatuur. Uitgaande van de wereldgemiddelde temperatuurprojecties van het IPCC heeft het KNMI een vier-tal (drie natte en één droge) klimaatscenario's ontwikkeld voor het Nederlandse

klimaat in het jaar 2100. In deze scenario's is de veronderstelde temperatuurstijging vertaald in plausibele gevolgen. Die zien er dan als volgt uit.

tabel 3 KNMI natte klimaatscenario's voor Nederland in 2100 op basis van de mondiale IPCC temperatuurprognoses

Temperatuur	+1°C	+2°C	+4 tot +6°C
Gemiddelde zomerneerslag	+1%	+2%	+4%
Zomerverdamping	+4%	+8%	+16%
Gemiddelde winterneerslag	+6%	+12%	+25%
Intensiteit extreme winterneerslag	+10%	+20%	+40%
Kans op extreme winterneerslag	2 keer zo groot	4 keer zo groot	10 keer zo groot
Zeespiegelstijging	+20 cm	+60 cm	+110 cm

Bron: CBW21., 2000a

Voor wat betreft de neerslagveranderingen zijn deze scenario's opgesteld door de waargenomen verbanden tussen neerslag en temperatuur door te trekken naar de toekomstige temperaturen. De temperatuurrange onder de hoge schatting (+4 tot 6°C) geeft aan dat de bijbehorende effecten op de neerslag min of meer onveranderlijk zijn in dat temperatuur gebied. De zeespiegelstijging is hier gecorrigeerd voor naijleffecten en de Nederlandse bodemdaling.

Voorts is een droog scenario ontwikkeld in combinatie met de hoge schatting van temperatuurverandering (+4 tot 6°C). Hierbij is aangenomen dat de frontale neerslag in ieder seizoen afneemt met 10%, terwijl de convectieve (buiige) neerslag niet verandert ten opzichte van de huidige situatie. Dit scenario is met name van belang voor het doorrekenen van de effecten van klimaatverandering in Nederland in zomersituaties, waarbij door de temperatuurtoename de verdamping met 16% toeneemt en er zomerdroogte optreedt. Klimaat simulaties tonen een toenemende kans op dit effect van uitdroging en extremere hitte met name in Zuid-Europa (zie paragraaf 2.8, case a).

Deze klimaatscenario's zijn het uitgangspunt voor verkennende studies van de gevolgen van klimaatverandering voor Nederland en omgeving. Zo wordt het nationale waterbeleid voor de 21<sup>ste</sup> eeuw mede gebaseerd op deze inzichten.

De verwachte toename van de neerslag zal gepaard gaan met een toename van de kans op perioden met extreme neerslag en de kans op natte jaren. Waterbeheerders houden daar nu al rekening mee. Tegenover de kleine toename van de gemiddelde zomerneerslag staat een sterkere toename van de verdamping in de zomer, met grotere kans op verdroging tot gevolg. Toch neemt de kans op lokale wateroverlast ook in de zomer toe, als gevolg van de toename van de kans op hevige lokale buien (zie paragraaf 2.8, case b).

De verwachte invloeden op de neerslag en de verdamping in Europa vergroten de gemiddelde afvoer van de Rijn in de winter. Bij gelijke dijkhoogte verhoogt dat de kans op overstromingen. In de zomers wordt een verlaging van de gemiddel-



de afvoer voorzien. Dat leidt tot lagere waterstanden, die de scheepvaart kunnen hinderen. Lagere afvoeren hebben een negatieve invloed op de waterkwaliteit en vergemakkelijken het binnendringen van zout water. In droge zomers kan de vraag naar water de aanvoer overstijgen waardoor de kans op waterschaarste toeneemt.

De zeespiegelstijging vergroot de indringing van zoutwater in de kustgebieden, met gevolgen voor de drinkwatervoorziening en de landbouw. De kusterosie neemt toe. Het spuien van overtollig rivierwater uit bijvoorbeeld het IJsselmeer zal worden bemoeilijkt. De kans op hoge waterstanden aan de kust neemt in beginsel toe. De hoge onzekerheid van de invloed van klimaatverandering op het stormklimaat maakt dat veranderingen in de kans op stormvloed nog niet goed bekend zijn.

### **Wat is de status van modeluitspraken?**

Het fundamentele begrip van het klimaatsysteem en de mogelijkheid om op basis van dat begrip het toekomstige klimaat met computers te simuleren is de laatste jaren verbeterd. Dat geldt met name voor de rol van waterdamp in de atmosfeer, de effecten van zee-ijs en het transport van warmte door de oceanen. De huidige generatie klimaatmodellen is in staat om het klimaat in de 20<sup>ste</sup> eeuw te simuleren, zoals bijvoorbeeld blijkt uit figuur 8. De gesimuleerde patronen van klimaatverandering zowel in de tijd als ruimtelijk (op continentale schaal) komen goed overeen met de waarnemingen. Sinds 1996 is het aantal waarnemingen dat geanalyseerd is om het klimaat in kaart te brengen, toegenomen. Hierdoor is ook het inzicht in de opgetreden klimaatveranderingen verbeterd. Deze recente meetgegevens versterken het beeld van een warmer wordende wereld. Door de toename van de kennis van het klimaatsysteem is men nu beter in staat om de natuurlijke variaties van het klimaat te scheiden van de menselijke invloed.

Hoewel de onderzoekers nu meer zekerheid hebben over de in hoofdzaak menselijke oorzaak van de wereldgemiddelde temperatuurstijging in met name de laatste 50 jaar, laten de klimaatmodellen een bandbreedte in klimaatgevoeligheid zien. Dit leidt tot een onzekerheid in de vertaalslag van stijgende broeikasgasconcentraties naar mondiale temperatuurveranderingen. Ondanks deze onzekerheid laten alle emissiescenario's een antropogene verstoring van het klimaatsysteem in de 21<sup>ste</sup> eeuw zien, die een factor drie tot twaalf hoger is dan de natuurlijke variabiliteit in de 20<sup>ste</sup> eeuw. Wetenschappelijk gezien wordt nauwelijks meer getwijfeld aan een verdere opwarming van de wereld als gevolg van de menselijke invloed op het klimaat.

Regionale klimaatverwachtingen zijn relatief lastig omdat kleine verschuivingen in ruimtelijke klimaatpatronen al snel een groot verschil maken op de regionale schaal. Dit geldt in hoge mate voor veranderingen in de neerslagpatronen. Bovendien zijn de jaar tot jaar fluctuaties in specifieke regio's over het algemeen veel groter dan de veranderingen in het wereldgemiddelde. Van bijzonder belang zijn verschuivingen in extremen op de regionale en lokale schaal, aangezien dit soort gebeurtenissen vaak een grote impact op de samenleving heeft. De

komende jaren staat de verbetering van regionale klimaatprojecties dan ook hoog op de onderzoeksagenda.

## 2.6 Klimaatprojecties voor het komende millennium

### Conclusie

Het is moeilijk om voorspellingen te maken voor de verdere toekomst, in het bijzonder als het aardsysteem ver uit het evenwicht komt, omdat er dan processen kunnen gaan optreden die we nu nog niet kennen. Toch zijn er pogingen gedaan om duizend jaar vooruit te kijken op basis van de kennis die we nu hebben. Dat leidt dan tot het volgende beeld:

Ook na de 21<sup>ste</sup> eeuw zal de opwarming, ook bij gelijkblijvende concentraties broeikasgassen, nog vele eeuwen doorwerken, met uiteindelijk op termijn van duizend jaar een zeespiegelstijging van enkele meters tot gevolg. Een onzekere factor hierin is het tempo van afsmelten van de ijskappen van Groenland en Antarctica. Samenhangend met deze onzekerheden kan momenteel de mate van temperatuurstijging door het versterkte broeikaseffect, waarbij sprake is van een gevaarlijke antropogene klimaatverandering, niet met precisie worden vastgesteld. Stabilisatie van de CO<sub>2</sub>-concentratie op 450 ppm kan worden bereikt door een CO<sub>2</sub>-emissiereductie van 60 tot 80% aan het eind van de 21<sup>ste</sup> eeuw. Hierbij heeft de mate van reductie een sterkere invloed dan de exacte fasering in de komende vijftig jaar.

De voorspelbaarheidshorizon voor klimaatprojecties wordt beperkt door een toenemende kans op klimaatverrassingen, zoals het afzwakken van de warme Golfstroom (zie paragraaf 2.8, case c) of het smelten van een aanzienlijke hoeveelheid landijs van West Antarctica in een sneller tempo dan op grond van de temperatuurontwikkeling verwacht mag worden. Onder de aanname dat dergelijke inherent onvoorspelbare processen zich niet voordoen is het mogelijk op basis van algemene overwegingen uitspraken te doen over het klimaat op de langere termijn.

Van belang daarbij zijn de relatief lange verblijftijden van broeikasgassen in de atmosfeer, zoals CO<sub>2</sub>, en de traagheid van de klimaatrespons door de aanwezigheid van de oceanen en landijs in het klimaatsysteem. Oceanen hebben een enorme warmtecapaciteit, waardoor de opwarming zeer traag verloopt (zie paragraaf 2.3). Ijskappen hebben een trage respons vanwege de tijdschaal waarop aangroei door neerslag, afsmelten door de temperatuurtoename en afkalving door trage stromingen in de ijskap plaatsvindt.

Het verstoken van alle conventionele fossiele brandstofvoorraden (geschat op 4.000 gigaton koolstof), zoals olie, gas en steenkool met piekwaarden van koolstofemissies in 2100 zal volgens schattingen [Hasselmann et al., 2003] resulteren in een atmosferisch CO<sub>2</sub>-gehalte van meer dan 1.000 ppm (vier maal pre-industrieel) rond het jaar 2200. De piekwaarde van het versterkt broeikaseffect



wordt hiermee anderhalf maal zo groot als aan het eind van de 21<sup>ste</sup> eeuw (zie paragraaf 2.5). Zelfs bij het afbouwen van de koolstofemissies tot nul in het jaar 2300, blijft de CO<sub>2</sub>-concentratie en daarmee de menselijke invloed op de temperatuur, in de atmosfeer hoog (meer dan 500 ppm in 3000). Wanneer ook niet conventionele koolstof bevattende voorraden, zoals zware olie, teerhoudende zanden en leisteenuolie, worden verstookt (15.000 gigaton koolstof of meer) met piekwaarden van de koolstofemissies rond het jaar 2300, kan de CO<sub>2</sub> concentratie in de atmosfeer oplopen tot zelfs 4.500 ppm rond het jaar 2500 met in het huidige millennium almaar oplopende temperaturen tot ruim driemaal de toename die in 2100 verwacht wordt.

De grootste bedreiging van bovengenoemde scenario's is de stijging van de zeespiegel, die door najleffecten in de komende duizend jaar toeneemt met minimaal 3 meter voor het verstoken van de conventionele voorraden tot 7 meter voor het hoogste scenario. Bij een dergelijke klimaatverstoring zou (een deel van) de West Antarctische ijsplaat kunnen smelten. Dit zou aanleiding geven tot een additionele zeespiegelstijging met enkele meters. Volgens het IPCC (2001) wordt 75% van de verwachte zeespiegelstijging in 2100 veroorzaakt door thermische expansie en het resterende deel door het smelten van landijs. In de eeuwen daarna wordt het aandeel van smeltend landijs steeds prominenter.

Er zijn aanwijzingen dat het smelten van de ijskap van Groenland en uiteindelijk ook van Antarctica mogelijk sneller verlopen dan tot nu toe is gedacht [Hansen, 2004]. Uit paleoklimatologische gegevens blijkt dat ijskappen snel kunnen desintegreren. Zo ging de opwarming van veertienduizend jaar geleden gepaard met een zeespiegelstijging van 4 tot 5 meter per eeuw [Kienast et al., 2003]. Volgens [Hansen, 2004] zijn er enkele fysische processen, die tot een snellere desintegratie van ijskappen leiden: zo kan smeltwater aan de onderkant van de ijskap de afkalving versnellen en depositie van antropogeen roet op de ijskap het reflecterend vermogen doen afnemen, waardoor het afsmelten bevordert wordt. Verder hebben wellicht de sterke zonale winden rond de noord- en zuidpool, deels veroorzaakt door de ozonafbraak in de stratosfeer in de laatste decennia, de opwarming in Groenland en Antarctica getemperd. Het verwachte herstel van de ozonlaag in de komende decennia door de reeds ingezette reductie van CFK emissies, kan het smelten van landijs in deze regio's dus juist versnellen.

### **Kunnen de concentraties gestabiliseerd worden?**

Stabilisatie van broeikasgasconcentraties vergt een vermindering van de broeikasgasemissies vanwege de accumulatie in de atmosfeer. De accumulatie is een gevolg van grotere bronnen (emissie) dan putten (opname in onderdelen van het klimaatsysteem) in combinatie met de lange verblijftijd van broeikasgassen in de atmosfeer. Hoe eerder begonnen wordt met een substantiële reductie van CO<sub>2</sub> uitstoot, des te groter de effectiviteit op de lange termijn. Hierbij heeft natuurwetenschappelijk gesproken de mate van reductie een sterkere invloed dan de exacte fasering in de komende vijftig jaar.

Het [IPCC, 2001a] geeft aan dat voor stabilisatie op een atmosferische CO<sub>2</sub>-concentratie van 450 ppm 60 tot 80% reductie van de koolstofemissies aan het

eind van de 21<sup>ste</sup> eeuw nodig is. Op de lange termijn wordt de wereldgemiddelde temperatuurstijging hiermee beperkt met 1 tot 3 graden. Dit wordt beschouwd als ondergrens van een 'gevaarlijke' antropogene klimaatverandering, hoewel hierover discussie is, zowel over de definitie van het begrip gevaarlijke verandering, als in verband met de onzekerheden met betrekking tot veranderingen in de ijskappen op langere termijn.

## 2.7 Effecten van klimaatverandering

### 2.7.1 Inleiding

In het voorgaande is geschetst hoe de samenstelling van de atmosfeer verandert en hoe dat leidt tot veranderingen in het klimaat. In het volgende worden de effecten van klimaatverandering op onze omgeving beschreven. De ernst van die effecten zal sterk worden bepaald door het vermogen van maatschappij, landbouw en natuur tot aanpassing. Dit aanpassingsvermogen is sterk gerelateerd aan economische kracht enerzijds en anderzijds aan de druk die door andere (milieu)problemen op deze systemen wordt gelegd. De 'ernst' van de effecten, bijvoorbeeld van het mogelijk uitsterven van bepaalde dier- of plantensoorten, is veelal ook een subjectieve, politieke inschatting. Hier beperken we ons tot een beschrijving van effecten zonder ons uit te spreken over de 'ernst' ervan.

In Nederland hangen de effecten van klimaatverandering nauw samen met een veranderende hydrologie die daarom apart wordt beschreven. Effecten op natuur, landbouw en b.v. volksgezondheid zullen we aangeven voor in de Nederlandse situatie, zowel als voor de internationale situatie. In eerste instantie beschrijven we de effecten van matige klimaatverandering, ongeveer 2-3° temperatuurstijging behorend bij een CO<sub>2</sub>-concentratie van ongeveer 500 ppmv in 2100. Effecten bij sterkere en of snellere klimaatverandering zullen in relatieve termen ten opzichte hiervan worden aangegeven. De reden voor deze keuze is de volgende.

Twee graden opwarming die zich in minimaal 100 jaar voltrekt is de drempelwaarde die aan de basis van het Kyoto-protocol staat (1997), omdat volgens de toen geldende inzichten daarmee '...*dangerous* anthropogenic interference with the climate system' wordt voorkomen (artikel 2 van de UN Framework Convention on Climate change, 1992). Recent wordt dit uitgangspunt in verschillende studies geherevalueerd. Deze studies hebben niet tot een herziening van de +2°C doelstelling geleid, o.a. [Gupta et al., in prep]. Gezien de bandbreedte in klimaatgevoeligheid voor CO<sub>2</sub> komt 2°C in 2100 ongeveer overeen met een CO<sub>2</sub>-stabilisatie rond 450-550 ppmv.

*Welke aspecten van klimaatveranderingen zijn van belang?*

Klimaatverandering gaat gepaard met:

- a Een verhoging van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer. Planten nemen CO<sub>2</sub> op. Een concentratieverandering kan leiden tot een hogere plantaardige productie (als andere factoren zoals nutriëntenvoorziening dat toelaten) en/of





- een efficiëntere productie (planten kunnen daardoor bijvoorbeeld zuiniger met water omgaan). Daarmee verandert de koolstofcyclus zelf.
- b Een verandering van de gemiddelde temperatuur en neerslaghoeveelheid leiden veelal tot areaalverschuivingen van soorten. Of soorten inderdaad mee kunnen schuiven hangt ook af van andere omgevingsfactoren (bijvoorbeeld grondsoort), obstakels (versnippering van natuur) en vooral de snelheid van klimaatverandering.
  - c Een toename in de kans op extreem weer (bijvoorbeeld extreem droge en natte periodes) verhoogt kans op schade aan landbouw, natuur en infrastructuur. Indien extremen elkaar te snel gaan opvolgen krijgen deze systemen geen kans zich te herstellen. Extremen (grotere piekbelastingen) vragen om grotere aanpassingen dan op grond van de gemiddelde verandering nodig zou zijn.
  - d Zeespiegelstijging leidt tot groter overstromingsrisico en zoutwater intrusie in laaggelegen kustgebieden. Het zijn juist deze gebieden die dichtbevolkt en economisch belangrijk zijn.

#### *Hoe wordt informatie over effecten verkregen?*

Klimaatverandering is al waar te nemen, en dit geldt ook voor de effecten van klimaatverandering. We zien reeds veranderingen in b.v. de lengte van het groeiseizoen, of in een toename van meer zuidelijke dier en plantensoorten in Nederland. Analyse van deze reeds waar te nemen effecten vormen een (steeds) belangrijke(re) basis voor de inschatting van toekomstige effecten. In de zgn. Millennium Ecosystem Assessment [[www.millenniumassessment.org](http://www.millenniumassessment.org)] wordt dit momenteel op mondiale schaal gedaan. Ook case studies van extreme seizoenen leren ons veel over de impact van klimaatverandering. Voor verkenningen naar de toekomst worden modelstudies gebruikt. Twee belangrijke complicaties beperken het kwantitatief voorspellend vermogen hiervan. In de eerste plaats zijn effectenstudies sterk locatie specifiek en vereisen dus klimaatvoorspellingen voor een bepaalde regio. Ondanks aanmerkelijke verbeteringen sinds 1996 is de onzekerheid in voorspeld regionaal klimaat aanzienlijk groter dan voor het mondiaal klimaat. Ten tweede worden effecten op vooral natuur mede bepaald door andere stressoren. Landgebruik en daarmee gepaard gaande habitatfragmentatie, waterbeheer en belasting door nutriënten en schadelijke stoffen beperken in sterke mate de mogelijkheden voor aanpassing. Studies naar multi-stress effecten staan nog in de kinderschoenen, maar het niet meenemen van andere stress-factoren leidt eigenlijk altijd tot een onderschatting van de klimaateffecten, niet tot een overschatting. Tot slot is onze kennis over de aanpassingsmogelijkheden van natuur op genetisch, soorts- en ecosysteemnivo, en over de snelheid waarmee dat kan beperkt - enkele uitzonderingen daargelaten.



## 2.7.2 Effecten op zoetwater-management en waterkering binnenwateren

### Conclusie

Door de toenemende kans op droge perioden in de zomer, en op wateroverlast in de winter, neemt de complexiteit van het waterbeheer - om aan beide problemen het hoofd te bieden - toe. De verdrogingsproblematiek neemt toe. Watertekorten in de bodem nemen sneller toe dan oppervlaktewatertekorten. Parallel daar aan nemen de problemen in landbouw en natuur sneller toe (tot 25% meer schade) dan in scheepvaart, recreatie en elektriciteitsvoorziening. Om wateroverlast in de winter het hoofd te bieden, moet de ontwerpafvoer voor waterkeringen verhoogd worden, voor de Maas meer (10% per graad temperatuurstijging) dan voor de Rijn (5% per graad). Ook de ontwerpafvoer voor rioleringstelsels moet omhoog.

Wereldwijd neemt de ernst van de waterproblematiek door klimaatverandering extra toe. Watertekorten worden vooral groter in mediterrane en semi-aride gebieden.

In een warmer klimaat wordt de hydrologische cyclus intensiver. In Nederland zullen vooral extremen vaker voorkomen: perioden met een watertekort of met wateroverlast. In de zomer zullen vaker langdurige periodes met geen of weinig neerslag voorkomen die leiden tot watertekorten. Tegelijkertijd zal de zomerneerslag in buien van een hogere intensiteit komen die kunnen leiden tot lokale, kortdurende maar grote wateroverlast. In de winter zijn het vooral langdurige periodes met veel neerslag die kunnen leiden tot wateroverlast. Vooral neerslaggevoede rivieren (Maas, Schelde) zullen daardoor grotere variaties in waterstanden gaan laten zien. Watertekorten en -overschotten hebben een andere maatschappelijke impact wanneer ze optreden in bodemwater dan wanneer ze optreden in oppervlaktewater.

*Bodemwater.* Nederland heeft al een droogte probleem. Het waterbeheer is gericht op het voorkomen van wateroverlast. Daarom wordt nu water 's winters versneld afgevoerd, waarmee de 'voorraad' voor de zomer kleiner is dan soms wenselijk. Onder klimaatverandering behoeft deze afweging wellicht herziening omdat de droogte schade in de zomer mogelijk groter wordt dan de natschade in de winter [RIZA, 2003].

Het droogte probleem manifesteert zich sterker in bodem- dan in oppervlaktewater. Droogte in de bodem leidt vooral tot problemen in de landbouw en natuur, droogte in oppervlaktewater leidt tot problemen voor scheepvaart, recreatie en elektriciteitsvoorziening (koelwater tekort). Economisch is de schade in de landbouw veruit het grootst. De schade in de landbouw zal bij klimaatverandering gaan toenemen met 25-35%. De herhalingsfrequentie van (extreem) droge jaren neemt toe.



tabel 4 Overzicht van de verwachte schade aan bodem- en oppervlaktewater in een extreem droog jaar ten opzichte van de situatie in een normaal jaar

	Bodemwater			Oppervlaktewater			Schade recreatie M€
	Watertekort		Schade landbouw nu M€	Watertekort		Schade scheepvaart / energie M€	
	Huidig	2050		Huidig	2050		
Normaal Jaar	21	25-28 (+19-36%)	200	5,7	5,8-6,0 (+2-4%)		
Extreem droog jaar	143	153-165 (+8-17%)	1.800	12,4	11,7-12,2 (-6- -2%)		<60
Verwachtings schade*			400			>90+45	

Bron: RIZA, 2003

\*) Verwachtingsschade is schade gemiddeld over alle jaren

De schade door wateroverlast door extreme neerslag (dus geen dijkdoorbraken) in het najaar van 1998 is becijferd op 605 M€ waarvan 70% gecompenseerd werd door rijk (WTS, OSR) en verzekeringen. De herhalingskans hiervan in het huidige klimaat is ongeveer 1 op 125. Ook de herhalingsfrequentie van dit soort neerslagpieken neemt toe [Van Duijn et al., 1999].

Regionale watersystemen moeten worden aangepast om de grotere seizoensvariaties en extremen op te kunnen vangen. De Commissie Waterbeheer 21<sup>ste</sup> eeuw [Tielrooij et al., 2001] heeft de kosten daarvoor geraamd op 45 M€ per jaar tot 2050. De ontwerp afvoer van rioleringen zal omhoog moeten om neerslagpieken in stedelijke gebieden te kunnen opvangen. Ook de ontwerpbelasting van met name platte daken zal aangepast moeten worden.

#### *Oppervlaktewater en waterkeringen*

De waterstand in de grote rivieren stijgt de komende decennia met enkele decimeters. Klimaatverandering is daarin een belangrijke factor: de zeespiegel stijgt waardoor afvoer naar zee bemoeilijkt wordt, de aanvoer stijgt door neerslag en smeltwater toename. Daarnaast spelen factoren als bodemdaling en verstedelijking een rol.

Het afvoer regime van de Rijn zal veranderen van een gemengd neerslag/smeltwater regime naar een regime gedomineerd door neerslag. De afvoer in winter en voorjaar zal toenemen (met 15-55%), die in zomer en najaar licht dalen (0-20%) [Van Middelkoop et al., 2002]. De afvoer van de Maas zal toenemen in de winter. De effecten van klimaatverandering op de zomerafvoer van de Maas zijn minder eenduidig aan te geven [De Wit et al., 2001,2002]. Hoge waterstanden in IJsselmeer en Markermeer en ook in Noordzee- en Amsterdam-Rijn kanaal zullen toenemen door enerzijds beperktere lozingsmogelijkheden t.g.v. de zeespiegelstijging, en anderzijds hogere aanvoer. Gemiddeld zal de peilstijging in het IJsselmeer ongeveer de helft van de zeespiegelstijging bedragen [Buiteveld et al., 1999].

De ontwerpafvoer voor waterkeringen in de rivieren moet omhoog. Voor de Rijn neemt de afvoer met 5% per graad temperatuurstijging toe, voor de Maas met 10% per graad temperatuurstijging. Echter, een verdere verhoging van de dijken is niet gewenst, omdat de doorbraak van een 'torenhoge' dijk leidt tot een enorme overstroming. De jaarlijkse kosten voor aanpassingen in rivieren, IJsselmeer en kustwateren worden door de Commissie Waterbeheer 21<sup>ste</sup> eeuw [Tielrooij et al., 2001] geschat op 180 M€ tot 2050 (uitgaande van 2°C opwarming).

*Mondiaal.* De geschetste veranderingen in extremen treden vrijwel overal op en verhogen dus de kans op overstromingen en ernstige droogteperioden. In Europa zal de winterneerslag vooral in Noord Europa toenemen. De zomerneerslag neemt in Midden en vooral Zuid-Europa sterk af [Parry et al., 2000]. Daardoor neemt de watervraag ten behoeve van irrigatie in de landbouw toe. Bij een groeiende waterbehoefte neemt de kans op problemen, vooral watertekorten in Midden- en Zuid-Europa toe.

Wereldwijd zullen watertekorten vooral verergeren in mediterrane en semi-aride gebieden, vooral wanneer daarin grote bevolkingsconcentraties bevinden (megasteden India, China). In slechts enkele gebieden zullen watertekorten minder nijpend worden [Hare, 2003].

De waterkwaliteit komt verder onder druk te staan, ook al bij geringe temperatuurverhoging van het oppervlaktewater. Watertekorten zullen de kwaliteit verder doen achteruitgaan ook wanneer emissies van vervuiling gelijk zouden blijven .

### 2.7.3 Effecten op kustverdediging en zoutwater-management

#### Conclusie

Zeespiegelstijging zal vragen om een sterkere kustverdediging en een toenemende behoefte aan zandsuppletie. De gezamenlijke kosten hiervoor worden geraamd op € 8 miljard tot 2090. Zeespiegelstijging plus zomerdroogte leidt tot meer zoutwater intrusie in laag Nederland. De beheersmogelijkheden (doorspoeling) zijn beperkt. Verzilting zal effecten hebben op landbouw, natuur en drinkwatervoorziening van laag Nederland.

Mondiaal gezien heeft zeespiegelstijging ernstige effecten op vrijwel alle kustgebieden en rivierdelta's, gebieden waar ook de grootste bevolkingsconcentraties zijn. Vooral ontwikkelingslanden (bijvoorbeeld Bangladesh) en kleine eilandstaten zullen daaronder te leiden hebben.

Zeespiegelstijging ontstaat vooral door thermische expansie van het water. De traagheid van dit proces is zeer groot. Ook na eventuele stabilisatie van emissies en luchttemperatuur zal de zeespiegelstijging nog lang doorzetten.



*Nederland.* Zeespiegelstijging heeft grote gevolgen voor kwelders en wadden. De snelheid van zeespiegelstijging (gecombineerd met eventuele bodemdaling) zal bepalen of deze mee kunnen groeien of onderlopen. Voor de Wadden ligt de kritieke grens op 3 mm/jaar voor kwelders bij 8,5 mm/jaar; de huidige zeespiegelstijging is 2 mm/jaar. De vraag naar zand in kwelders en Wadden zal een toenemende erosie van de Noordzeestranden tot gevolg hebben. Met toenemende zeespiegelstijging zal de erosie met vele tientallen procenten toenemen (250% bij 6 mm/jaar, 330% bij 8,5 mm/jaar). De kosten die gemaakt zullen moeten worden om deze erosie door middel van zandsuppletie tegen te gaan worden geraamd op € 4,5 miljard tot 2.090 (45 M€/jaar; [MinVenW, 2000]).

*Kustverdediging.* De verwachte kosten om de kustverdediging op Deltaplan niveau te houden bedragen € 3,6 miljard tot 2090 (36 M€/jaar [Ronde et al., 1990]).

De extra effecten ten gevolge van eventuele veranderingen in storm(vloed)-frequenties op zowel kusterosie als op noodzakelijke dijk-aanpassingen zijn nog niet te kwantificeren.

Zeespiegelstijging leidt tot meer zoutwater intrusie via grond en oppervlaktewater in laag Nederland. De toenemende kans op droge periodes zal dit probleem verergeren [Jacobs et al., 2000]. De beheersmogelijkheden zijn beperkt, juist omdat in droge periodes ook de waterbeschikbaarheid niet voldoende zal zijn om doorspoeling met zoetwater mogelijk te maken. Ook infrastructurele beperkingen maken doorspoeling in sommige gebieden niet mogelijk [Van Kruiningen, 2004]. Verzilting zal effecten hebben op landbouw, natuur en drinkwatervoorziening van laag Nederland.

*Mondiaal.* De mate en effecten van zeespiegelstijging zijn regionaal sterk verschillend door verschillen in bodemdaling, getijden, stormfrequentie en -intensiteit en stormopzet. Tegelijkertijd zijn de kustgebieden van de wereld dé centra van economische en bevolkingsgroei. Zeespiegelstijging zal in 2050 leiden tot een verdubbeling van het aantal mensen dat blootstaat aan overstromingsrisico's. Kustmoerassen en mangrovebossen staan zwaar onderdruk met gevolgen voor natuurwaarden én kustverdedigingsaspecten. Rivierdelta's zijn extragevoelig door bedreiging van twee zijden. Enerzijds bestaat de kans op overstroming vanuit zee en rivier. Anderzijds door toenemende erosie door afname van rivierafvoer van water (watergebruik ten behoeve van irrigatie stroomopwaarts) en afname van sedimentaanvoer (dammen).

Vooraf ontwikkelingslanden zullen de gevolgen ondervinden, evenals vele zgn. kleine eilandstaten. Als voorbeeld van een land dat extreem gevoelig is voor zeespiegelstijging geldt Bangladesh. Bij 10 cm stijging zonder aanpassingen loopt 100.000 km<sup>2</sup> en daarmee 90% van de bevolking jaarlijks kans op overstromingen. De economische schade bedraagt dan 10% van het BNP [Gupta et al., in prep].

## 2.7.4 Effecten op natuur

### Conclusie

Door klimaatverandering verschuift het optimale areaal voor dier en plantensoorten. Of soorten zich kunnen aanpassen, c.q. verplaatsen hangt af van de snelheid van klimaatverandering en van beperkingen opgelegd door andere factoren. De belangrijkste beperkende factor daarbij is wellicht habitatversnippering. Algemene soorten passen zich makkelijker aan, specialistische, c.q. endemische soorten moeilijk. Klimaatverandering leidt tot verlenging van het groeiseizoen en tot verschuivingen in levensritmiek van planten en dieren. Dit kan verstrend werken op de onderlinge afhankelijkheid in een voedselweb. Met name trekkende soorten ondervinden daarvan de hinder. Het netto effect is een afname van biodiversiteit en het versneld uitsterven van rode lijst soorten.

Klimaatverandering grijpt in op de koolstofcyclus. Bij beperkte klimaatverandering ( $<3^{\circ}\text{C}$ ) zal de koolstofopslag (sink) waarschijnlijk toenemen en werkt dus remmend op klimaatverandering. Bij grotere opwarming kan de sink in een source omslaan en klimaatverandering verder in de hand werken.

*Leefgebiedverschuiving.* Door klimaatverandering verschuift het verspreidingsgebied van veel soorten richting de polen en naar boven in berggebieden. In West-Europa heeft deze verschuiving ook een sterke West-Oost component. Deze verschuivingen zijn reeds zichtbaar. In Nederland neemt vooral sinds 1990 het aantal soorten uit zuidelijker streken in aantal toe, terwijl noordelijke soorten (nog?) niet verdwijnen. Deze trend is gedocumenteerd voor zowel libellen en vlinderachtigen, korstmossen en hogere planten, trekvogels, en voor fytoplankton in Noordzee en kustwateren [RIVM, 2003; EEA, 2004]. Op mondiale schaal zijn reeds verschuivingen geconstateerd in vooral soorten van het hooggebergte en soorten van hogere breedtegraden. IPCC metastudies geven aan dat 80% van de waargenomen veranderingen consistent zijn met klimaatveranderingen slechts 20% daarmee in tegenspraak [Gitay et al., 2002; IPCC, 2002].

Toekomstige klimaatverandering zal leiden tot verdere verschuivingen. Voor Nederland en andere laaggelegen kustgebieden in Europa zijn de verwachte verschuivingen relatief beperkt. Bij een opwarming tot  $2^{\circ}\text{C}$  blijft dit gebied geschikt voor 90% van de huidige soorten, tot  $3^{\circ}\text{C}$  voor 80% van de soorten [Bakkenes et al., 2002]. Op mondiale schaal zullen vooral gematigde en boreale bossen verschuiven: tussen de 50 en 85% zal nog op plaatsen te vinden zijn waar ze ook nu voorkomen. Voor toendra ecosystemen geldt dit slechts voor 25-30%. De snelheid van klimaatverandering is van invloed op het aanpassingsvermogen van ecosystemen. Bij een opwarming van  $0,1^{\circ}\text{C}$  per 10 jaar zal zo'n 50% zich binnen deze eeuw kunnen aanpassen, waarbij bijvoorbeeld graslanden dat beter kunnen dan bossen. Bij een opwarming van  $0,3^{\circ}\text{C}$  per decade is dat nog slechts 30%. Natuurreservaten worden extra bedreigd omdat ze vaker in gevoelige gebieden liggen [Leemans et al., 2004].







Grootste beperking voor aanpassing door verschuiving van leefgebieden is de habitatversnippering. Dit speelt sterk in Nederland, maar ook in andere dichtbevolkte verstedelijkte gebieden. Versnippering beperkt de verplaatsingsmogelijkheden van vooral niet, of slechts weinig mobiele soorten, en van soorten met specialistische standplaatseisen, in Nederland bijv hoogveen- en heidevennensorten [Opdam et al., 2003].

*Ritmiekveranderingen.* Door klimaatverandering verandert de lengte van het groeiseizoen en andere aspecten van de levensritmiek van soorten, zoals bloei en zaadzetting, broedperiode, etc. In Nederland is het groeiseizoen nu drie weken langer dan voor 1980. De verschillen tussen soorten zijn echter groot. Dit heeft gevolgen voor de interacties tussen soorten. Soorten kunnen in de problemen komen doordat bijv het uitkomen van jongen niet meer samenvalt met de grootste piek in het voedselaanbod. Hoewel verschillende cases (binnen en bui-

ten Nederland) gedocumenteerd zijn, is dit soort kennis moeilijk te veralgemenen (c.q. te modelleren) en zijn daarmee de effecten in de toekomst moeilijk te voorspellen. Kwetsbaar in deze context zijn soorten met een beperkte voedselkeuze die weinig overlapt in de tijd, en soorten die over grote afstanden trekken. Voor deze laatste groep kan klimaatverandering in winter en zomer gebied erg verschillend uitpakken [RIVM, 2003].

*Verstoringen.* Klimaatverandering gaat gepaard met een toenemende kans op extreem weer. Langdurige droogtes, extreem natte perioden, of erg zachte winters hebben een rechtstreeks effect op soorten, maar ook een indirect effect door bijv. een toegenomen kans op bosbranden of op ziekten en plagen. Als de frequentie van extremen zodanig toeneemt dat herstel na een klap niet volledig is voor het volgende extreem zich aandient, dan kan dit leiden tot een structurele achteruitgang. Ook hier vormt versnippering van habitats een extra beperking voor de snelheid van herstel [Opdam et al., 2003].

Het netto effect van bovengenoemde factoren, areaalverschuiving, ritmiekverandering en extremen is waarschijnlijk negatief. Nieuwe soorten zullen zich in Nederland manifesteren, sommige bestaande soorten en ecosystemen zullen profiteren, maar anderen zullen zich niet kunnen aanpassen en zullen uit Nederland of zelfs uit Noord-West Europa verdwijnen. Zo'n 20% van de aandachtvogels in Nederland (soorten van rode lijst, vogelrichtlijn of doelsoortenlijst) is (zeer) kwetsbaar voor klimaatverandering. Het tegen gaan van habitatfragmentatie door inrichting van de EHS, nationaal en internationaal levert een belangrijke bijdrage aan de adaptatiemogelijkheden van natuur.

*Koolstofcyclus.* Plantaardige productie en afbraak staan sterk onder invloed van het klimaat. Productie, fotosynthese, is veelal effectief gebonden aan een temperatuur optimum (15-35°C afhankelijk van de soort), waardoor beperkte opwarming kan leiden tot meer biomassa productie. Ook de hogere concentratie aan CO<sub>2</sub> in de atmosfeer kan planten stimuleren tot snellere groei (CO<sub>2</sub>-fertilisatie), en tot relatief efficiënter watergebruik, mits nutriënten voldoende voorhanden (zie ook de volgende paragraaf). Afbraak, respiratie, neemt continue toe met temperatuurverhoging, mits er bijvoorbeeld ook voldoende vocht aanwezig is. Dit leidt er toe dat netto, mondiaal, de terrestrische koolstofsink bij geringe klimaatverandering waarschijnlijk toeneemt en daarmee dus verdergaande klimaatverandering kan vertragen. Bij opwarming met mondiaal meer dan zo'n 3°C is het effect op afbraak echter groter dan op productie, met als gevolg dat de koolstofsink omslaat in een source en klimaatverandering juist versneld wordt [Cramer et al., 2001]. Over het precieze omslagpunt bestaan nog veel onzekerheden. Dit effect is in de IPCC-TAR scenario's daarom nog niet meegenomen.





## 2.7.5 Effecten op landbouw en voedselzekerheid

### Conclusie

Klimaatverandering leidt in Nederland enerzijds waarschijnlijk tot een productiviteittoename, en biedt kansen voor nieuwe gewassen. Anderzijds zal de nat- en vooral droogteschade toenemen. Het risico van plagen en ziektes wordt groter in vooral de biologische landbouw. De toenemende verzilting laag Nederland leidt zowel tot beperkingen maar biedt ook nieuwe kansen. De druk op de visserijsector neemt toe. Het netto effect op de Nederlandse economie is relatief klein.

Op mondiale schaal leidt klimaatverandering tot een toename van landbouw mogelijkheden op het noordelijk halfrond en een geringe afname in de tropen. Wel kunnen belangrijke voedselgebieden verschuiven. Waar lokale voedselvoorziening belangrijk is (ontwikkelingslanden) nemen de problemen toe. De sociaal-economische impact zal sterk afhankelijk zijn van de lokale aanpassingsmogelijkheden. Het aantal mensen dat risico loopt geconfronteerd te worden met hongersnoden neemt met enkele tientallen miljoenen toe.

*Nederland.* De gemiddelde temperatuurstoename in Nederland leidt waarschijnlijk tot een grotere productiviteit in de akkerbouw, vooral door een toename in de lengte van het groeiseizoen. Ook de effecten van CO<sub>2</sub>-fertilisatie zijn in de landbouw positief. Voor sommige gewassen echter kan een warmere zomer leiden tot versnelde afrijping van de vruchten, en daarmee tot een vermindering van de totale opbrengst. Kwantificering voor de totale akkerbouw zijn nog niet voorhanden [Van Ierland et al., 2001].

De toenemende kans op extreem natte en droge periodes kan dit positieve effect echter teniet doen. Natte periodes, vooral wanneer die in de herfst plaatsvinden, kunnen tot gewasschade leiden en bemoeilijken de bereikbaarheid van het land en daarmee de oogstbaarheid van de gewassen. De totale omvang van natschades in de landbouw nu en in de toekomst is nog niet gekwantificeerd.

Nu al is droogteschade één van de grootste kostenposten in de landbouw. Deze schade wordt nu in een normaal jaar geschat op € 200 miljoen. Die schade loopt in een extreem droog jaar op naar zo'n € 1.800 miljoen. Het langjarig gemiddelde van de schade in de landbouwsector wordt geschat op € 400 miljoen per jaar. Schade door zout water maakt deze kosten post ongeveer 10% hoger. Regionaal kan de zoutschade hoger zijn. Klimaatverandering en de daardoor toenemende kans op droge periodes zal de economische schade in de landbouw met 25 à 35% per hectare doen toenemen. Omdat er ook een verkleining van het landbouwareaal met 15 à 20% wordt verwacht, zal de economische schade op landelijke schaal slechts met ongeveer 10% toenemen [RIZA, 2003].

Klimaatverandering kan kansen bieden voor nieuwe gewassen, voor areaal uitbreiding van bestaande gewassen naar het noorden (bijvoorbeeld asperges) of

voor teelt op open grond in plaats van in de kas. Anderzijds kunnen vooral zachte winters leiden tot een toename van bestaande ziekten en plagen, en kan de algehele opwarming leiden tot nieuwe 'pests'. In de conventionele landbouw leidt dit naar verwachting niet tot extra problemen door de (extra) inzet van bestrijdingsmiddelen. In de biologische landbouw kan dit wel tot extra problemen leiden, omdat de bestrijdingsmogelijkheden beperkt zijn. Toenemende verzilting in laag Nederland kan verplaatsing en/of aanpassing (genetische modificatie) van bestaande activiteiten noodzakelijk maken, maar kan ook kansen bieden voor nieuwe gewassen.

De effecten van de reeds bestaande druk (overbevising, vervuiling) op de visserij worden door klimaatverandering waarschijnlijk groter. Paai en visserijgronden kunnen zich verplaatsen. De effecten voor Noordzeevisserij zijn waarschijnlijk beperkt, elders op de wereld kunnen zij groter zijn [Van Ierland et al., 2001; Hare, 2003].

*Mondiaal.* Bij beperkte klimaatverandering (1-2°C) in de komende decennia neemt de potentiële graanproductie in veel gematigde en noordelijke streken toe, in de meeste (sub-) tropische gebieden is het effect klein maar voornamelijk negatief. Ook in Europa neemt de totale productiemogelijkheid toe, met uitzondering van het Iberisch schiereiland en de Oekraïne. Bij verdergaande klimaatverandering (meer dan 3°C mondiaal) zal de graanproductie in meer en meer gebieden onder druk komen te staan, te beginnen in de tropen later ook op meer gematigde breedtes. Ook mondiaal nemen de effecten van extremen toe met verdergaande klimaatveranderingen. Eén en ander kan leiden tot belangrijke verschuivingen in productiegebieden. Met name de graanschuur in het Midden-Westen van de Verenigde Staten kan onder druk komen te staan door toenemende droogte, en zal zich richting Canada verplaatsen [Fischer et al., 2002]. De zelfvoorzienende landbouw in (vooral) tropische ontwikkelingslanden wordt het grootste slachtoffer van klimaatverandering door de vaak beperktere mogelijkheid tot aanpassing en vooral door de veel geringere capaciteit tot het opvangen van klappen. Dit laatste gecombineerd met de ook daar een toenemende kans op extremen en dus misoogsten maakt dat wereldwijd het aantal mensen dat risico op hongersnoden loopt kan toenemen met 5-40 miljoen tot 2050, en met 80-120 miljoen in 2080. Veel zal echter afhangen van de sociaal-economische kracht van die landen [Parry et al., 2001].

## 2.7.6 Overige effecten en aanpassingsmogelijkheden

### Conclusie

Klimaatverandering heeft effecten op de volksgezondheid. In Nederland zijn de effecten waarschijnlijk gering en vooral gerelateerd aan luchtkwaliteit. Mondiaal zijn de effecten ernstiger, met name in landen met slechte gezondheidszorg.

## Overige effecten

*Gezondheid.* Klimaatverandering heeft effecten op de volksgezondheid. Deze hebben verschillende oorzaken, mogelijk door:

- veiligheidsrisico's: het risico op overstromingen langs kusten en rivieren neemt toe (overstromingen);
- temperatuur gecorreleerde mortaliteit: en aantal doden ten gevolge van hittegolven zal toenemen; deze toename is waarschijnlijk groter dan een afname ten gevolge van zachtere winters en zal niet geheel door het 'uitsteleffect' gecompenseerd worden;
- de luchtkwaliteit neemt af: de kans op smogvorming neemt toe met temperatuurstijging, en ook het hooikoortsseizoen kan langer worden;
- nieuwe besmettelijke ziekte kunnen zich gaan voor doen in gebieden waar ze eerder niet voorkwamen;
- de kans op ziekte door voedsel- en drinkwatervergiftiging neemt toe door een versnelde afname van de kwaliteit bij hogere temperaturen.

De precieze uitwerking en omvang van de hier geschetste factoren is nog onduidelijk. Het netto effect voor Nederland is naar verwachting gering, en door geleidelijke aanpassingen in de gezondheidszorg goed op te vangen. Het belangrijkste effect in Nederland zal gerelateerd zijn aan de luchtkwaliteitsfactoren. Mondiaal is de gezondheidsproblematiek ernstiger, vooral in landen met beperkte sanitaire voorzieningen en een slechter functionerende gezondheidszorg [McMichael et al., 2003].

*Toerisme.* Toerisme is wereldwijd een van de belangrijkste economische sectoren, en tegelijkertijd het meest klimaatafhankelijk. De attractiviteit van een bestemming hangt af van het klimaat ter plaatse in vergelijking tot dat van 'thuis', waardoor de relatieve aantrekkingskracht van bestemmingen varieert met de seizoenen. Daarnaast spelen indirecte factoren een rol: natuurgerelateerde en culturele aantrekkingskracht.

Klimaatverandering zal de aantrekkingskracht van Mediterrane gebieden in de zomer doen verminderen, terwijl men in Noord-Europa door betere zomers dichterbij huis zal blijven. De piek in Mediterraan toerisme zal waarschijnlijk meer naar voor- en najaar verschuiven. Stedenbezoek kan te lijden krijgen onder toenemende smogkansen. De sneeuwzekerheid van vele huidige skigebieden in de Alpen loopt aanzienlijk terug. Toenemende transportkosten (emissieheffingen ten behoeve van het klimaat) zullen ook beperkende effecten op lange afstandstoerisme hebben. Het netto effect van dit soort verschuivingen is moeilijk te becijferen.

Door dit soort factoren zal van de internationale toeristenindustrie aanzienlijke aanpassingen gevraagd worden. Voor Nederland zal het netto effect van klimaatverandering op binnenlands toerisme waarschijnlijk positief zijn [Gupta et al., in prep].

## Aanpassingsmogelijkheden

Voor de geschetste gevolgen van klimaatverandering bestaan verschillende aanpassingsmogelijkheden. Deze zijn weergegeven in tabel 5.

tabel 5 Gevolgen van klimaatverandering met aanpassingsmogelijkheden voor Nederland

	Gevolgen van klimaatverandering	Aanpassingsmogelijkheden
Natuurlijke systemen (water, bodem, natuur)	Droge periodes.	Flexibel waterpeilbeheer en optimaliseren van waterretentie in de stroomgebieden.
	Toename hoogwater in rivieren.	Aanleg waterbekkens, ruimte voor water. Dijkverzwaring.
	Zeespiegelstijging	Kustverdediging via harde en zachte structuren.
	Omgeving ongeschikt voor huidige natuur.	Versnelde invoering EHS, ruimte voor natuur. Natuurbeeld aanpassen.
Landbouw	Droge periodes	Aanpassing van de beschikbare rassen en variëteiten is gewenst (droogte tolerantie, grotere stressbestendigheid).
	Nattere periodes	Aanpassen plant- en oogstdata. Verplaatsen van bedrijven.
	Verzilting.	Verplaatsing van bedrijvigheid bij zoutschade in laag Nederland. Aanpassing van de beschikbare rassen en variëteiten is gewenst (zouttolerantie, grotere stressbestendigheid).
Bosbouw	Stormschade	Risicospreiding en verhogen van de veerkracht door verhogen van genetische- en soortendiversiteit van het bos.
	Omgeving ongeschikt voor huidige boomsoorten.	Acceptatie van zekere veranderingen in soortensamenstelling en waardering voor 'nieuwe' natuurwaarden.
Visserij	Verstoring zoet-zout gradiënt	Spuiregimes aanpassen.
Transport, Energie en Verzekering	Toename aantal zonne-uren tijdens de zomer maanden.	Faciliteren en zonne-energie.
	Hoogwater in rivieren.	Aanpassingen aan waterbeheer (ruimte voor water).
	Schade aan infrastructuur	Aanpassingen aan de infrastructuur, dijken, wegen en spoor.
	Toenemende vraag naar verzekeringen	Aanpassen polissen en verzekeringswezen.
Volksgezondheid	Toename in hitte-gerelateerde sterfte en allergieën	Waarschuwingssystemen. Adequate gezondheidszorg.
Recreatie	Zonniger zomers met korte periodes van intensieve neerslag.	Diversificatie in aanbod.
*) Of en hoe storm frequentie en intensiteit door klimaatverandering zullen veranderen is op dit moment niet eenduidig aan te geven.		

Bron: Van Ierland et al., 2001



## 2.8 Case studies

In het voorafgaande zijn de verschillende wetenschappelijke aspecten van klimaatverandering aan de orde gekomen. In de komende drie paragrafen worden een drietal voorvallen beschreven die in de media en elders in verband worden/zijn gebracht met klimaatverandering: 'zijn het de voorboden van ons nieuwe klimaat?'. De eerste twee zijn opties die daadwerkelijk voor kunnen komen als gevolg van de huidige klimaatveranderingen. De kans op het optreden van deze opties is relatief groot. De hiermee verbonden risico's zijn aanzienlijk, maar niet zo groot als bij de derde optie. Deze derde optie, het stilvallen van de warme golfstroom, heeft een relatief kleine kans om op te treden, maar de gevolgen zijn wel enorm.

### A De extreem warme, droge zomer van 2003

In Europa was de zomer van 2003 de heetste in meer dan 500 jaar. Dat blijkt uit onderzoek van de Universiteit van Bern. De gemiddelde zomertemperatuur in Europa was bijna 2 graden hoger dan het langjarig gemiddelde van 17,5 graden over het tijdvak 1901-1995. Het centrale deel van Europa en vooral het Alpengebied hadden de grootste temperatuurafwijking, van meer dan 5 graden boven normaal.

Het tijdvak 1994-2003 was het warmste decennium in 500 jaar. De Europese zomertemperaturen waren in dit tijdvak 1,5 graden hoger dan in het koudste decennium, het tijdvak 1907-1916. In het tijdvak 1978-2003 zijn de zomertemperaturen in Europa ongeveer 2,8 graden gestegen, een opwarming die waarschijnlijk in geen vijf eeuwen heeft plaatsgevonden. De warmste Europese zomer was tot voor kort die van 1757, toen het vooral heet was in het zuiden van Scandinavië, het oosten van Europa en het westen van Rusland.

Ook de zomers van 1947, 1976 en 1994 waren in verschillende Europese landen bijzonder warm maar staan in de schaduw bij de extreme temperaturen die in 2003 zijn gemeten. In Nederland was het minder extreem. De Nederlandse zomer van 2003 was met een gemiddelde temperatuur van 18,6 graden nog net 0,1 graad minder warm dan de zomer van 1947, de warmste van de 20<sup>ste</sup> eeuw. Daarnaast was de zomer 2003 in grote delen van Europa extreem droog. Extreme droogte versterkt de hitte. Wanneer tijdens een langdurige warmteperiode een groot deel van het bodemvocht verdampt is, wordt de door het aardoppervlak opgenomen zonne-energie vrijwel geheel gebruikt voor de opwarming van het oppervlak en de lucht erboven. Indien er nog wel voldoende vocht in de bodem zit gaat namelijk een groot deel van de opgenomen zonne-energie 'verloren' aan het verdampen van water.

De gevolgen van de hete droge zomer van 2003 in Nederland waren vooral van hydrologische aard. Eind september 2003 bereikte de waterstand in de Rijn een historisch dieptepunt van 6,90 meter boven NAP. Het oude record was 7,16 meter op 17 augustus 2003, gevolgd door 7,22 meter op 13 september 1991. De lage waterstanden in de grote rivieren worden slechts voor een klein deel bepaald door de actuele droogte in Nederland, maar vooral door de neerslag in de stroomgebieden van de grote rivieren.

Door de lage aanvoer in de Rijn drong de verzilting vanuit zee langzaam landinwaarts, waardoor medio augustus de inlaatpunten van de Hoogheemraadschappen Rijnland en Schieland verziltten. In normale situaties wordt hier zoetwater ingelaten om a) het waterpeil in het polder-boezemsysteem van Midden-Holland binnen marges van 10-20 cm te houden en om b) de interne verzilting (aanvoer door grondwater) tegen te gaan. Beide inlaatfuncties waren medio augustus niet meer te combineren. Evaluatie van de situatie heeft de prioriteit van het peilbeheer nogmaals onderstreept. Vragen omtrent alternatieve zoetwateraanvoerroutes of zoetwaterbergingsgebieden zijn momenteel in studie.

Door de hoge watertemperaturen in combinatie met de lage waterstanden werd de koelcapaciteit van een aantal energiecentrales bedreigd. Om de lozingsis dat koelwater niet warmer mag zijn dan 30 graden konden verschillende bedrijven uitsluitend voldoen door hun productiecapaciteit te verlagen of door het effectueren van aanvullende investeringen. Ook de waterkrachtcentrales in de Maas, Nederrijn en de Vecht hebben een aantal weken op zeer beperkte capaciteit gedraaid (10-25% van normaal). Daardoor dreigde Nederland uit te komen op een reëel tekort aan elektriciteit: op het meest precaire moment was er een reserve van slechts 90 MW paraat.

Door de droogte is ook een aantal veendijken bezweken (Wilnis, Rotterdam, Stadskanaal). Nederland heeft zo'n 3.500 km veendijken in laag Nederland. Door de aanhoudende droogte is een aantal dijken gaan scheuren (door krimp) en veel lichter geworden, en op een gegeven moment bezweken. Naar aanleiding daarvan is een reeks van onderzoeken gestart naar het effect van de droogte op de regionale keringen, en naar natuurlijke en kunstmatige bevochtiging van de veenkaden. Door de relatief droge winter 2003-2004 hebben de veendijken de stevigheid nog niet terug.

In Nederland zijn door de hittegolf in 2003 zo'n 500 personen overleden. Voor heel Europa bedraagt de schatting 27.000 personen, waarvan meer dan de helft in Frankrijk. In grote delen van Europa was de graanoogst door de droogte veel minder dan normaal (niet in Nederland). Voor de EU-15 als geheel was de oogst de slechtste sinds de statistieken in 1961.

Het is moeilijk om een relatie te leggen tussen een eenmalige gebeurtenis, zoals een extreem warme, droge zomer en het versterkte broeikaseffect. Met een toename van de gemiddelde zomertemperatuur - in De Bilt iets meer dan een graad - neemt weliswaar de kans op hittegolven toe, maar het aantal dagen met een maximumtemperatuur boven de 25 of 30 graden in De Bilt wordt door zoveel toevalsfactoren bepaald dat er over de afgelopen eeuw geen trend in te vinden is. Een effect van maar één graad valt in het niet bij de natuurlijke schommelingen van week tot week, en al helemaal bij de hitte van de zomer 2003. In Nederland was de zomer van 2003 vergelijkbaar met die van 1947 die ook extreem warm was.

De warme droge zomer past wel in het beeld van de mondiale opwarming. De verwachting is dat deze eeuw de wereldgemiddelde temperatuur verder zal stij-



gen met 1 tot 6 graden, dus veel meer dan de halve graad van de vorige eeuw. De zomertemperatuur in Nederland zal hiermee ook verder stijgen en daarmee neemt de kans op hittegolven toe. Hoewel het grillige karakter van veranderingen in neerslagpatronen de toekomstige ontwikkeling onzeker maakt, is er een redelijke wetenschappelijke overeenstemming dat de zomerneerslag in Zuid-Europa voor het gemiddelde scenario met meer dan 20% gaat afnemen. Door de hogere zomertemperaturen in Zuid-Europa neemt de verdamping toe, wat in combinatie met de verminderde neerslag leidt tot uitdroging [Schär et al., 2003]. Een mogelijk gevolg is dat de waterstanden in de grote rivieren in de zomer beduidend lager kunnen uitvallen.

### **B De extreem natte zomer van 2002 (Elbe)**

Hevige regenval gedurende de eerste helft van augustus 2002 leidde in Duitsland, Tsjechië en Oostenrijk tot overstromingen, dijkdoorbraken en grote wateroverlast. Zowel in het Duitse kustgebied als in Oost Beieren, Bohemen en Oostenrijk bedroeg de hoeveelheid neerslag gedurende de eerste week van augustus plaatselijk meer dan 140 mm, hetgeen neerkomt op vrijwel tweemaal de normale maandhoeveelheid. Ook in de tweede week bleef de regen aanhouden. Bij het overtrekken van een actieve depressie op 10 en 11 augustus kwamen zeer extreme regenhoeveelheden voor: op de Brockentop in de Harz werd op 11 augustus een hoeveelheid van 102 mm geregistreerd. Te Dresden viel ten gevolge van dezelfde depressie op 12 augustus 158 mm neerslag en te Zinnwald-Georgenfeld ten zuiden van Dresden in het Ertsgebergte viel zelfs 312 mm. Voor Duitsland is dit sinds het begin van de systematische neerslagregistratie het absolute record. Het oude record bedroeg tot dusver 260 mm en werd zowel op 6 juli 1906 nabij Dresden als op 7 juli 1954 nabij München gehaald. De overstromingen in augustus 2002 leidden in Duitsland, Tsjechië en Oostenrijk tot respectievelijk 19, 9 en 9 doden. De economische schade in deze drie landen bedroeg € 9,5, 1,9 en 1,6 miljard.

Ook in Nederland was sprake van extreme lokale regenval. Op 12 dagen viel in Nederland op minstens één neerslagstation van het KNMI 50 mm of meer. Daarmee staat deze zomer met die van 2001 aan kop op de ranglijst vanaf 1951. Door het grillige karakter van de buien, anders dan in Midden Europa waarbij de extreme neerslag samenhang met het overtrekken van een depressie, liepen de hoeveelheden neerslag over korte afstanden sterk uiteen en waren er grote verschillen.

Naar aanleiding van de overstromingen in het Elbe gebied heeft het KNMI in samenwerking met het Waterloopkundig Laboratorium en het RIZA een studie verricht naar de mogelijke implicaties van een dergelijke case voor Nederland [Van de Langhemheen et al., 2002]. Hiertoe is het neerslagpatroon zoals dat van 1 tot 20 augustus is opgetreden in het Elbe-gebied verplaatst middels verplaatsings-scenario's naar het stroomgebied van Rijn en Maas. Verplaatsing naar Rijn en Maas leidt – gezien het vlakkere landschap – tot ongeveer 10% minder neerslag dan in het stroomgebied van de Elbe is gevallen. De zo berekende hoeveelheid neerslag is dan ongeveer 20% groter dan de neerslag in de winter van 1993 in het Maasstroomgebied en in de winter van 1995 in het Rijnstroomgebied. Ver-



plaatsing van de neerslag naar de Rijn en de Maas leidt tot een – voor een zomerse situatie – ongekend hoogwater voor beide rivieren. De eindschattingen voor de piekdebieten bedragen 11.600 m<sup>3</sup>/s bij Lobith (Rijn) en 2.600 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen (Maas). Wat betreft de Rijn is dit debiet iets lager dan tijdens de winter van 1995, maar ruim boven die van de winter 1993. De Maasafvoer is lager dan tijdens de winters van 1993 en 1995, maar beduidend hoger dan tijdens het zomerhoogwater van 1980.

Ook de zomer van 2002 past in het beeld van de mondiale opwarming, evenals de extreem warme en droge zomer van 2003. In klimaatsimulaties, die gevoed worden met de stijgende concentraties broeikasgassen in de 21<sup>ste</sup> eeuw, wordt de kans op zowel een zomer met 'normale' temperaturen en extreme neerslag als een extreem warme en droge zomer groter dan in de 20<sup>ste</sup> eeuw. De kans op koele zomers neemt af. Kortom, de interjaarlijkse variabiliteit van de zomers neemt toe [Schär et al., 2004], waarbij de langjarig gemiddelde zomertemperatuur gelijke tred houdt met de mondiaal gemiddelde temperatuur.

### **Zijn de zomers van 2002 en 2003 een gevolg van het versterkte broeikas-effect?**

Een individuele weergebeurtenis, of het nu gaat om een overstroming, een zware bui, of om een hittegolf, kan nooit regelrecht toegeschreven worden aan het broeikas-effect. Het enige wat het broeikas-effect doet, is het veranderen van de kans op zulke gebeurtenissen. Wanneer die in de loop van de tijd merkbaar veranderen, dan kan dit wel in verband gebracht worden met het broeikas-effect. Door de inherente zeldzaamheid van extreme gebeurtenissen kan het echter wel een tijd duren voordat we met zekerheid hierover uitspraken kunnen doen.

### **C Kansen op en gevolgen van het afzwakken van de warme Golfstroom**

De laatste jaren groeit het besef dat het klimaatsysteem een aantal verassingen in petto kan hebben. Dit inzicht is gebaseerd op enerzijds paleoklimatologisch onderzoek, anderzijds op modelstudies. IJskerndata en diepzee sedimentgegevens tonen dat in de laatste honderdduizend jaar verschillende snelle klimaatveranderingen zijn opgetreden (de zogeheten Dansgaard-Oeschger en Heinrich gebeurtenissen). Dit geldt in het bijzonder voor het Noord Atlantisch gebied, maar er zijn ook aanwijzingen voor wereldwijde synchrone klimaatveranderingen.

Studies met oceaanmodellen en gekoppelde atmosfeer/oceaanmodellen laten vergelijkbare snelle veranderingen zien bij grote verstoringen in temperatuur en/of de zoetwatertoevoer door veranderingen in neerslag of smeltend landijs in het Noord Atlantisch gebied. Het zeewater aan het oppervlak in deze regio wordt dan te licht om in pluimen naar de zeebodem te zakken. Hiermee wordt de oceaancirculatie vertraagd, waardoor de warme Golfstroom verzwakt. Voor Europa betekent dit koudere tijden, aangezien ons klimaat sterk wordt bepaald door de warme Golfstroom. Geschat wordt dat in geval van het volledig tot stilstand komen van de oceaancirculatie het klimaat in Europa 2 tot 5 graden afkoelt afhankelijk van de uitbreiding van de ijsbedekking.

De kans op de verzwakking van de warme Golfstroom neemt toe met de stijging van de wereldgemiddelde temperatuur. De kans op het volledig stil vallen van de



warme Golfstroom in de 21<sup>ste</sup> eeuw wordt door het IPCC rapport (2001) zeer klein geacht. Hierdoor is de verwachting dat de afkoeling in Europa door het stilvallen van de warme Golfstroom de mondiale opwarming slechts ten dele compenseert. Van een nieuwe ijstijd, zoals geschetst in het Pentagon rapport en in de film 'The day after tomorrow' zal dan geen sprake zijn. Hoewel de kans op het stilvallen van de warme Golfstroom en daarmee op een abrupte klimaatverandering klein is, zijn de gevolgen van snelle klimaatveranderingen voor de maatschappij groot.

## 2.9 Hoe zeker is de verandering van het klimaat?

In de voorgaande paragrafen zijn de nieuwe natuurwetenschappelijke inzichten in klimaatverandering uiteengezet. In deze paragraaf vatten we de belangrijkste onzekerheden nogmaals samen. Vervolgens komen een aantal sceptische opmerkingen ten aanzien van de in de introductie genoemde natuurwetenschappelijke gedachtegang achter de klimaatproblematiek aan bod.

*De hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer neemt toe. Die toename wordt in belangrijke mate veroorzaakt door de mens*

Gegevens over huidige en verleden broeikasgasconcentraties zijn wetenschappelijk betrouwbaar. Het aandeel van de mens in de sterke toename van die concentraties sinds het begin van de industriële revolutie staat wetenschappelijk vast. De ontwikkeling van de hoeveelheden niet-gasvormige atmosferische componenten (aërosolen, met zowel een koelend als een opwarmend effect, de koeling overheerst) en de menselijke invloed hierop zijn veel minder goed bekend.

*Broeikasgassen verhogen de temperatuur aan het aardoppervlak*

Het opwarmend effect van broeikasgassen is wetenschappelijk goed begrepen en is geen punt van discussie. Hoe het klimaatsysteem als geheel op dat opwarmend effect reageert is een veel moeilijker vraag vanwege de terugkoppelingen (processen die in gang worden gezet door de opwarming en op hun beurt een koelend of een opwarmend effect hebben). Een belangrijk voorbeeld is de invloed van de opwarming op wolkenvorming. Op dit gebied is de onzekerheid relatief groot. Volgens de huidige inzichten versterken de terugkoppelingen tezamen genomen het opwarmend effect van de broeikasgassen, maar de mate van de versterking is onderwerp van wetenschappelijk debat.

*De mens warmt de aarde dus op*

Er bestaat een behoorlijk, kwantitatief inzicht in de belangrijke klimaatinvloeden (vulkaanuitbarstingen, zonneactiviteit, de mens) op tijdschalen tot honderden jaren. Aan de hand van modelstudies en analyses van meetgegevens is men inmiddels in staat het verloop van de wereldgemiddelde temperatuur in de loop van de 20<sup>ste</sup> eeuw te verklaren. Er is sprake van een spreiding in de verschillende analyses, met wetenschappelijke onzekerheid tot gevolg. Als deze onzekerheid wordt meegewogen stelt het merendeel van de klimaatonderzoekers dat de invloed van de mens op het klimaat vanaf het midden van de 20<sup>ste</sup> eeuw overheersend is geworden.

*De opwarming heeft allerlei gevolgen voor mens en natuur*

De belangrijkste onzekerheden met betrekking tot de effecten van toekomstige klimaatverandering hangen samen enerzijds met de vertaling van mondiale naar regionale en lokale klimaatveranderingen, en anderzijds met de inschatting van het vermogen tot aanpassing van natuur, landbouw en economie.

Hieronder worden een aantal sceptische opmerkingen met betrekking tot de gedachtegang achter de klimaatproblematiek van commentaar voorzien [Crutzen et al., 2004].

*De gegevens over verleden broeikasgasconcentraties zijn onbetrouwbaar*

De gegevens over verleden broeikasgasconcentraties worden afgeleid uit ijsboringen. Er zijn verschillende boringen beschikbaar die onderling consistent zijn en overeenstemmen met directe atmosferische metingen, voor zover beschikbaar. Het parallelle verloop van de concentraties CO<sub>2</sub> en methaan, zowel onderling als ten opzichte van de temperatuur (zie figuur 3 in hoofdstuk 2), gecombineerd met het achterliggende wetenschappelijke inzicht, bevestigen de deugdelijkheid van de metingen.

*De huidige concentratie CO<sub>2</sub> is geologisch gezien normaal*

Op een tijdschaal van 420.000 jaar (de periode waarover betrouwbare gegevens beschikbaar zijn) is de huidige atmosferische concentratie CO<sub>2</sub> (375 ppm) extreem. In een verder verleden, bijvoorbeeld voordat de fossiele brandstoffen gevormd waren, zijn de CO<sub>2</sub>-concentraties wel veel hoger geweest. Hoewel wetenschappelijk interessant kan men zich afvragen of dergelijke informatie van nut is bij het inschatten van maatschappelijke risico's. Zo is de zeespiegel in het geologische verleden vele tientallen meters hoger geweest dan nu, waarmee niet gezegd is dat die toestand vanuit een maatschappelijk perspectief als normaal (acceptabel) beschouwd kan worden.

*De menselijke uitstoot van CO<sub>2</sub> valt in het niet bij de natuurlijke uitwisseling*

De menselijke uitstoot van CO<sub>2</sub> bedraagt ongeveer 3% van de hoeveelheid die de oceaan, de atmosfeer, het land en de biosfeer van nature uitwisselen en lijkt daarmee onbetekenend. Het blijkt evenwel dat de natuurlijke uitwisseling in evenwicht is: het netto effect op de atmosferische concentratie is vrijwel nihil. De natuur is in staat ongeveer de helft van de menselijke CO<sub>2</sub>-uitstoot te absorberen. Het resterende deel geeft aanleiding tot de waargenomen toename.

*De klimaatmodellen deugen niet*

Klimaatmodellen (computermodellen) zijn gebaseerd op natuurwetenschappelijke wetmatigheden en worden getest (gevalideerd) aan de hand van hun vermogen het huidige en verleden klimaat te simuleren. Het blijkt dat de *state of the art* modellen daartoe in staat zijn. Simulaties van het toekomstige klimaat kunnen uit de aard der zaak niet worden gevalideerd aan de hand van waarnemingen. In die gevallen worden modellen getest door ze onderling te vergelijken. Het blijkt dat er een behoorlijke spreiding (en daarmee onzekerheid) optreedt die wordt verdisconteerd in de wetenschappelijke uitspraken over het toekomstige klimaat. Zo zijn modelonzekerheden verantwoordelijk voor de helft van de spreiding in de uitspraak dat de wereldgemiddelde temperatuur zal toenemen met 1,4 tot 5,8°C.



De andere helft van de onzekerheid hangt samen met onzekerheden in de toekomstige emissies van broeikasgassen.

*Natuurlijke invloeden zijn niet goed begrepen en wellicht allesoverheersend*

De belangrijkste natuurlijke klimaatinvloeden zijn inmiddels geïdentificeerd. Het blijkt dat op een termijn van honderden jaren variaties in de zonneactiviteit, grote vulkaanuitbarstingen en natuurlijke ('interne') variaties zoals El Niño de klimaat-schommelingen kunnen verklaren. Vanaf 1950 is de menselijke invloed via het broeikas-effect waarschijnlijk overheersend geworden. De huidige klimaatmodellen kunnen de ontwikkeling van de wereldgemiddelde temperatuur kwantitatief verklaren aan de hand van deze klimaatinvloeden.

*Geologische studies laten zien dat de CO<sub>2</sub>-concentratie de temperatuur volgt in plaats van andersom*

Het blijkt dat in bepaalde perioden de broeikasgasconcentraties zich aanpassen aan veranderingen in de temperatuur, terwijl op andere momenten veranderingen in de broeikasgasconcentraties voorafgaan aan temperatuurswijzigingen (zie figuur 3). Er is dus niet sprake van een eenduidige oorzaak-gevolg-relatie. Dit wordt toegeschreven aan terugkoppelingen in het klimaatsysteem. Een voorbeeld van zo'n terugkoppeling is het verschijnsel dat er bij een temperatuurstijging broeikasgassen uit de oceaan vrijkomen, omdat de oplosbaarheid van gassen in oceaanwater afneemt met toenemende temperatuur. Die extra broeikasgassen leiden dan weer tot verdere temperatuurstijging, enzovoort. Aan de andere kant veroorzaken wisselende concentraties broeikasgassen temperatuurveranderingen. Zonder externe invloed evolueren temperatuur en broeikasgasconcentraties in samenhang. Wordt één van de twee door een externe oorzaak veranderd dan volgt de ander en is het zinvol om in termen van oorzaak en gevolg te spreken.

*Waterdamp heeft verreweg de sterkste broeikaswerking waarbij de invloed van CO<sub>2</sub> in het niet valt*

Waterdamp is het belangrijkste broeikasgas en neemt een bijzondere positie in omdat water in overvloed aanwezig is op aarde. De concentratie waterdamp in de lucht wordt in hoofdzaak bepaald door de temperatuur. Bovendien is de verblijftijd van waterdamp in de atmosfeer kort – in de orde van een week (de verblijftijd van CO<sub>2</sub> bedraagt vele tientallen jaren tot eeuwen). Daardoor hebben door de mens veroorzaakte emissies of onttrekking van waterdamp geen invloed op het broeikas-effect. Stijgt de temperatuur, bijvoorbeeld door een toename van de hoeveelheid CO<sub>2</sub>, dan stijgt de hoeveelheid waterdamp mee, waardoor, vanwege het broeikas-effect van die extra waterdamp de temperatuur nog eens extra toeneemt. Zo wordt het broeikas-effect van CO<sub>2</sub> met ongeveer een factor twee versterkt. Waterdamp speelt dus een sleutelrol, maar verzwakt de invloed van de andere broeikasgassen niet.

*De vermeende opwarming is het gevolg van meetfouten en de kunstmatige invloed van verstedelijking*

De toevallige variaties in de temperatuur op een locatie zijn veel groter dan de variaties in het wereldgemiddelde. De berekening van dat gemiddelde moet dan ook zorgvuldig gebeuren. Het blijkt dat 100 gelijkmatig over de aarde verdeelde meetstations volstaan om een betrouwbare wereldtemperatuur vast te stellen. Er zijn 5.000 stations beschikbaar. De wereldgemiddelde oppervlaktetemperatuur kan dan ook zonder problemen worden bepaald met een precisie van ongeveer 0,2°C.

De aanwezigheid van een stad heeft een plaatselijk verhogend effect op de temperatuur. Het is denkbaar dat de toenemende verstedelijking een kunstmatige verhoging van de gemeten wereldgemiddelde temperatuur tot gevolg heeft, omdat in de loop der tijd een toenemend aantal meetstations in stedelijk gebied is komen te liggen. Onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat dat effect maximaal 0,1°C bedraagt. De waargenomen opwarming van ongeveer 0,6°C is dus niet te wijten aan het stadseffect.

*De oude temperatuurgegevens deugen niet*

De temperaturen van voor 1861 worden indirect vastgesteld en zijn onnauwkeurig in vergelijking met de instrumentele metingen. De meest geavanceerde reconstructies maken gebruik van gegevens met een zo groot mogelijke geografische spreiding en houden rekening met de ruimtelijke patronen in klimaatfluctuaties. De verschillen tussen de reconstructies betreffen met name de sterkte, niet zozeer het moment van de fluctuaties. Klimaatreconstructie is een actief onderzoeksgebied. De komende jaren zullen meer details bekend worden over het wereldklimaat in het verre verleden, maar het is onwaarschijnlijk dat het beeld van een opvallende opwarming in de 20ste eeuw zal moeten worden bijgesteld. De recente kritiek van McIntyre en McKittrick op de tijdreeks van Mann et al. (de 'hockeystick', zie figuur 3) heeft uiteindelijk niet geleid tot herziening van Mann's resultaten (voor verdere details zie 'Temperatuurreconstructies van het laatste millennium', pagina 29).

*Satellietmetingen ontkennen de opwarming*

Satellieten kijken door de atmosfeer en meten de temperatuur van dikke luchtlagen. Zo kan de gemiddelde atmosferische temperatuur in de onderste 8 kilometer worden bepaald. Het blijkt dat deze temperatuur in bepaalde perioden afwijkt van de grondtemperatuur. Die verschillen worden bevestigd door ballonoplatingen en duiden op een reëel, fysisch effect, niet op meetfouten. De verklaring wordt gezocht in het effect van wolken, stofdeeltjes, El Niño en ozon op de temperatuur in de bovenlucht. De computermodellen waarmee het klimaat gesimuleerd wordt zijn nog niet goed in staat dat effect goed weer te geven. De satellietmetingen ontkennen de opwarming dus niet, maar geven aan dat de klimaatmodellen verbeterd moeten worden met betrekking tot de beschrijving van de bovenlucht.



## 3 Huidige klimaatbeleid

### 3.1 Inleiding en leeswijzer

Dit hoofdstuk gaat in op het mondiale, Europese en Nederlandse klimaatbeleid. Bij dit klimaatbeleid kan een onderscheid gemaakt worden tussen mitigatie- en adaptatiebeleid. Het *mitigatiebeleid* richt zich op maatregelen om klimaatverandering zo veel mogelijk te voorkomen. *Adaptatiebeleid* richt zich op maatschappelijke aanpassingen die nodig zijn als gevolg van klimaatverandering.

Het grootste deel van het wereldwijde klimaatbeleid op dit moment bestaat uit mitigatiebeleid. Daar staan we in dit hoofdstuk dan ook vooral bij stil. In eerste instantie wordt een beeld geschetst op hoofdlijnen van het mitigatiebeleid tot dusver. We gaan daarbij in paragraaf 3.2 in op doelen, maatregelen, effecten, kosten en de internationale en maatschappelijke context. Vervolgens worden in paragraaf 3.3 tot en met 3.7 beelden geschetst van de verschillende sectoren:

- verkeer en vervoer;
- gebouwde omgeving;
- industrie;
- elektriciteitsvoorziening;
- land- en tuinbouw.

Mondiaal en op Europees vlak zijn geen specifieke doelstellingen per sector opgesteld, voor Nederland is dat wel het geval. Voor ieder van deze sectoren bespreken we daarom met name de Nederlandse situatie. We gaan in op de specifieke doelstellingen en de tot dusver behaalde beleidsresultaten in termen van emissiereductie. Vervolgens bekijken we de kosteneffectiviteit van deze beleidsinstrumenten. Waar mogelijk geven we ook de internationale en maatschappelijke context sectorgewijs aan.

### 3.2 Mitigatiebeleid, een overzicht

#### 3.2.1 Doelstellingen

In 1992 is in Rio de Janeiro het klimaatverdrag van de Verenigde Naties gesloten. Dit Klimaatverdrag heeft als doel de concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer te stabiliseren op een niveau waarbij 'een gevaarlijke menselijke beïnvloeding van het klimaat wordt vermeden' [RIVM, 2004b]. Dit betekent dat op termijn - in 2100 - de mondiale emissies van broeikasgassen met circa 40-50% moeten dalen ten opzichte van 1990 [UNFCCC, 2003a].

In 1997 is het Klimaatverdrag uitgebreid met het Kyoto-protocol. In dit protocol zijn afspraken gemaakt over de reductie van de emissies van broeikasgassen. Het Protocol wordt van kracht wanneer tenminste 55 landen het hebben geratificeerd en de CO<sub>2</sub>-emissie van de ratificerende industrielanden in 1990 tenminste 55% is van de totale CO<sub>2</sub>-emissie van alle industrielanden (de zogenoemde



Annex-I landen). In augustus 2003 was dit percentage 44%. De Europese ministers van milieu hebben in maart 2002 besloten het Kyoto-protocol te ratificeren, waarna Nederland ook heeft ingestemd.

Om het protocol in werking te laten treden komt het er in de praktijk op neer dat ofwel de Verenigde Staten of Rusland moet ratificeren. Aangezien de Verenigde Staten, net als Australië, heeft aangegeven het protocol niet te ratificeren, waren alle ogen op Rusland gericht. En hoewel het er lang naar uitzag dat Rusland het verdrag niet wilde ratificeren en verschillende adviseurs van Poetin verdeeld zijn, heeft de president recent, op 24 mei 2004, aangegeven dat Rusland toch stappen zal zetten om tot ratificatie over te kunnen gaan. Daarmee zou het Kyoto-protocol formeel in werking treden.

Het doel van het Kyoto-protocol is het bereiken van een gemiddelde emissiereductie van broeikasgassen van de geïndustrialiseerde landen met 5,2% over de periode 2008-2012 ten opzichte van 1990<sup>1</sup>. Dit is inclusief de landen in Oost-Europa en de voormalige Sovjet-Unie. Voor de EU als geheel is de reductiedoelstelling 8%, en voor Nederland 6%. De overeenkomstige absolute plafonds zijn weergegeven in tabel 6.

Hierbij moet opgemerkt worden dat niet alle sectoren in Kyoto zijn opgenomen: luchtvaart en internationale scheepvaart vallen bijvoorbeeld niet onder het verdrag. De Annex-I landen moeten wel de emissies van deze sectoren rapporteren op basis van de hoeveelheid bunkerbrandstoffen die per land worden afgenomen. Deze emissies worden echter niet bij de nationale totalen opgeteld. Wel staat in het Kyoto-protocol dat de partijen streven naar beperking of reductie van deze emissies.

tabel 6 Relatieve en absolute doelstellingen Kyoto-protocol

	<b>Relatieve doelstelling: verandering in 2008-2012 t.o.v. 1990 of 1995</b>	<b>Absoluut plafond (Mton CO<sub>2</sub> eq.)</b>
Wereld (Annex I landen Kyoto-protocol: 'de industrielanden')	- 5,2%	18.091
Europese Unie	- 8%	3.868
Nederland	- 6%	219

Het absolute plafond voor Nederland is een uitstoot van 219 Mton CO<sub>2</sub>-eq in het jaar 2010.

Deze waarde is tot stand gekomen door het verschil te nemen van de referentiewaarde bij business-as-usual (239 Mton CO<sub>2</sub>-eq in 2010 als er geen klimaatbeleidsmaatregelen zouden zijn genomen) en de totale hoeveelheid emissierechten van Nederland op grond van de afspraken in het Kyoto-protocol (199 Mton CO<sub>2</sub>-eq). Dit levert een emissiereductiedoelstelling van 40 Mton CO<sub>2</sub>-eq. voor het jaar 2010 op. De helft hiervan (20 Mton CO<sub>2</sub>-eq) mag, volgens de afspraken uit de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid, uitgevoerd worden met buitenlandse maatregelen via de aankoop van emissierechten via de Kyoto-mechanismen. Op grond hier-

<sup>1</sup> Feitelijk gaat het hier om een emissiereductiedoelstelling voor de periode 2008/2012 ten opzichte van het basisjaar 1990 voor de broeikasgassen CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub>, en ten opzichte van het basisjaar 1995 voor de overige broeikasgassen (F-gassen).





van kan de totale binnenlandse uitstoot worden vermeerderd met dezelfde 20 Mton CO<sub>2</sub>-eq, waaruit het plafond van 219 Mton volgt [TK, 28240/4, 2004; RIVM, 2004b]<sup>2</sup>.

**Doelstellingen en resultaten: de eenheden**

Doelstellingen en resultaten van het klimaatbeleid worden weergegeven in verschillende eenheden: (Mega)tonnen koolstof (Mton C), (Mega)tonnen CO<sub>2</sub> en (Mega)tonnen CO<sub>2</sub>-eq zijn vaak voorkomende begrippen. Deze kunnen in elkaar worden omgerekend.

*CO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>-eq*

CO<sub>2</sub> is het belangrijkste broeikasgas, maar er zijn er meer. Elk broeikasgas draagt op een eigen manier bij aan klimaatverandering. Om de verschillende bijdragen te kunnen vergelijken, worden emissies uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-eq. In de onderstaande tabel worden de omrekeningsfactoren weergegeven zoals bepaald door het IPCC.

Omrekeningsfactoren naar CO<sub>2</sub>-eq

Broeikasgas	CO <sub>2</sub> -eq
CO <sub>2</sub>	1
Methaan (CH <sub>4</sub> )	23
Lachgas (N <sub>2</sub> O)	296
HFK's	150 - 12.000
PFK's (m.n. CF <sub>4</sub> en C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> )	5.700 - 11.900
SF <sub>6</sub>	22.200

Bron: database CML, <http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/ssp/index.html>

*CO<sub>2</sub> en C*

Eén Mton C is 12/44 Mton CO<sub>2</sub>, dus een factor 0,27.

Eén Mton CO<sub>2</sub> is 44/12 Mton C, dus een factor 3,67.

Het plafond van 219 Mton is vervolgens vertaald naar streefwaarden. Omdat CO<sub>2</sub> voor alle sectoren het belangrijkste broeikasgas is, zijn hiervoor streefwaarden op sectorniveau vastgesteld. Met betrekking tot 'overige broeikasgassen' is een streefwaarde vastgesteld voor alle sectoren gezamenlijk. In tabel 7 wordt een overzicht gegeven.

<sup>2</sup> Aanvankelijk werd in de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid (1999) uitgegaan van een emissie van 249 Mton, waardoor de reductiedoelstelling dus 50 Mton was. N.a.v. de Referentieraming uit 2002 is het geraamde emissieniveau bijgesteld naar 239 Mton, waardoor een reductiedoelstelling is ontstaan van 40 Mton.

tabel 7 Streefwaarden voor broeikasgassen per sector

Sector	Streefwaarde 2010 (Mton CO <sub>2</sub> -eq)	Aandeel van <i>Totaal</i>
<b>CO<sub>2</sub></b>		
Industrie en energie	112	51%
Landbouw	7	3%
Verkeer en vervoer	38	17%
Gebouwde omgeving	29	13%
<b>Totaal CO<sub>2</sub></b>	<b>186</b>	<b>85%</b>
<b>Overige broeikasgassen</b>		
Alle sectoren samen	33	15%
<b>Totaal overige gassen</b>	<b>33</b>	<b>15%</b>
<b>Totaal CO<sub>2</sub> en overige broeikasgassen</b>	<b>219</b>	

Bron: Milieubalans, 2004

Recent heeft een discussie plaatsgevonden over de Nederlandse doelstelling met betrekking tot de sector industrie en energie. Een toelichting is weergegeven in onderstaande tekstbox.

#### Discussie over doelstellingen

Voor de eerste handelsperiode, 2005-2007, waren de Nederlandse overheid en de sectoren aanvankelijk een doelstelling overeengekomen van 115 Mton gemiddeld per jaar. Dit plafond was groter dan de streefwaarde voor deze sector voor 2010, namelijk 112 Mton. Dit was voor het Nederlands kabinet toch aanvaardbaar, omdat de periode 2005-2007 niet direct relevant is voor het behalen van het Kyoto-doel. De periode 2005-2007 wordt vooral gezien als overgangperiode waarin overheid en bedrijfsleven ervaring moeten opdoen met het systeem van emissiehandel en waarin moet worden geïnvesteerd in een systeem waarmee broeikasgassen over een lange periode en wereldwijd teruggedrongen worden.

Zeer recent werd bekend dat de Europese Commissie hiermee niet akkoord ging gezien de emissieprognose van 109 Mton. Minister Brinkhorst (EZ) heeft vervolgens op 23 juni 2004 een brief geschreven waarin het plafond (weer) wordt teruggebracht naar 112 Mton [Brinkhorst, 2004].

Van het verschil van 3 Mton zal 1,5 Mton afkomstig zijn uit de reservering voor 'onbekende nieuwkomers'. De verwachting is dat er voor 2007 geen (nieuwe) bedrijven zullen toetreden met grote emissies. De Europese Commissie vond de reserve van 3% op zich ook te hoog en keurde toedeling van overgebleven reserve aan de sectoren af.

Voor de andere 1,5 Mton zal overleg met het bedrijfsleven plaatsvinden. Naar verwachting zal de algemene correctiefactor van 3% naar 4% gaan.

### 3.2.2 Maatregelen en instrumenten

Mondiaal, Europees en in Nederland is tot dusver een groot aantal maatregelen genomen met als doel emissies van broeikasgassen te verminderen. Daarbij kan onderscheid gemaakt worden naar technische maatregelen om broeikasgasemissies te beperken en beleidsinstrumenten die de invoering van deze technische maatregelen moeten bevorderen. Daarnaast bestaat nog de categorie operationele maatregelen. Voorbeelden hiervan zijn de maatregelen binnen het programma 'Langzaam rijden' en 'good housekeeping'.



## Technische maatregelen

Bij technische maatregelen zijn globaal drie routes te onderscheiden:

- 1 Zuinig - vooral verminderen van het energieverbruik.
- 2 Hernieuwbaar - vooral hernieuwbare bronnen inzetten.
- 3 Opslag - vooral CO<sub>2</sub>-opslag en CO<sub>2</sub> vastleggen in 'sinks'.

Deze drie routes hebben betrekking op CO<sub>2</sub>. Daarnaast wordt er beleid gevoerd gericht op reductie van de overige broeikasgassen methaan, lachgas en fluorhoudende koolwaterstoffen. Landbouw en industrie zijn de belangrijkste sectoren waarin deze technische maatregelen worden gerealiseerd.

### Voorbeelden van de routes 'zuinig', 'hernieuwbaar' en 'opslag'

Toegepaste technische maatregelen hebben voor wat betreft de route 'zuinig' onder meer betrekking op het verbeteren van de energie-efficiëntie van utiliteitsgebouwen en woningen in de sector gebouwde omgeving, verbeteringen in de voertuigtechniek bij verkeer en vervoer, en procesverbeteringen in de industrie. De route 'hernieuwbaar' heeft vooral betrekking op de energiesector. Biomassa, wind, zon, waterstof en water (stuwdammen, getijdencentrales) zijn hier toegepaste opties. Ook kernenergie is een optie die in de energiesector wordt ingezet ter vermindering van broeikasgasemissies. Onder 'opslag' kan onder meer worden verstaan het opslaan van CO<sub>2</sub> in oude gasvelden. Met deze optie vinden momenteel praktijkexperimenten plaats. De tijdelijke opslag van CO<sub>2</sub> in 'sinks' als bossen en de bodem spelen hier eveneens een belangrijke rol.

## Beleidsinstrumenten

Een groot aantal beleidsinstrumenten wordt in de praktijk wereldwijd toegepast om de technische routes naar vermindering van broeikasgasemissies te bevorderen. Deze zijn onder te verdelen in:

- directe regulering (wet- en regelgeving, inclusief standaards);
- vrijwillige overeenkomsten (met bedrijfsleven);
- financiële instrumenten (belasting, subsidies, heffingen);
- communicatieve instrumenten (informatie, training, opleiding);
- onderzoek en ontwikkeling;
- flexibele instrumenten zoals emissiehandel.

### Mondiaal

In de meeste landen met klimaatbeleid wordt een mix van maatregelen en instrumenten toegepast. De samenstelling van deze mix is heel divers. Een uitgebreid overzicht van toegepaste klimaatmaatregelen is te vinden in een database van de IEA [<http://www.iea.org/dbtw-wpd/textbase/envissu/pamsdb/index.html>].

Internationaal zijn Joint Implementation en het Clean Development Mechanism instrumenten die al sinds het Kyoto-protocol door landen kunnen worden toegepast. Landen kunnen hierbij aan hun nationale verplichtingen voldoen door emissierechten in te kopen. Dat kan in Oost-Europa ('Joint-Implementation', oftewel JI) en in ontwikkelingslanden ('Clean Development Mechanism', kortweg CDM). Vanaf 2005 bestaat ook voor bedrijven die onder het Europese emissiehandelsstelsel vallen de mogelijkheid om tegoeden van JI- en CDM-projecten te gebruiken om aan hun verplichtingen in het kader van het handelssysteem te voldoen [Memo/03/154, 2003].

In de praktijk gebeurt dat nog heel weinig. Nederland is hier een van de voorlopers (zie 'Nederland', pagina 70).

#### **Klimaatbeleid mondiaal**

Brazilië werd het centrum van alternatieve brandstof in de jaren '80, aangespoord door moeilijkheden met olie in de jaren '70. Het experiment bereikte zijn hoogtepunt in 1985, toen 91% van alle nieuwe auto's dat jaar op suikerriet-ethanol liep. Drijfveer hiervoor was in eerste instantie het economische perspectief, niet klimaat. Zodra de olie weer goedkoper werd, liep de vraag naar auto's op ethanol weer terug. Nu, met de komst van de nieuwe FFV's (Flex Fuel Cars), die zowel op benzine als ethanol lopen, schieten de verkoopcijfers weer omhoog. Het zou er toe kunnen leiden dat Brazilië zijn afhankelijkheid van olie drastisch naar beneden kan brengen – het importeert 80% - en een wereldleider in alternatieve brandstof kan worden. China denkt er over het voorbeeld van Brazilië te volgen en Thailand heeft er ook al oren naar.

#### **Europa**

Voor de Europese Unie als geheel is een reductiedoelstelling afgesproken voor de zes broeikasgassen (-5,2%). Ter controle daarop heeft de EU een beleidsstrategie voor klimaatverandering gepubliceerd en een monitoringsysteem opgezet. Lidstaten moeten hun emissiegegevens jaarlijks aan de Commissie melden. Deze verwerkt de gegevens en controleert de voortgang.

Daarnaast heeft de Europese Unie via richtlijnen op alle deelsectoren invloed op klimaatbeleid in de lidstaten. Onder meer bestaan er Europese beleidsstrategieën, of worden deze van kracht, voor duurzame energie, energie-efficiëntie in de gebouwde omgeving, voertuigtechnologie en brandstoffen, energiezuinige apparaten, warmtekracht en vermindering van uitstoot van gefluoriseerde koolwaterstoffen. Bovendien vindt financiering plaats van onderzoek en innovatie op al deze gebieden.

Een belangrijke nieuwe bijdrage van de Europese Unie aan het broeikasbeleid is de opzet van een Europees emissiehandelssysteem dat per 1 januari 2005 van kracht moet worden.



### Europese emissiehandel, Joint Implementation (JI) en het Clean Development Mechanism (CDM)

De start van het Europese systeem van emissiehandel is gepland voor 1 januari 2005. In eerste instantie nemen hieraan alleen bedrijven deel uit de sectoren industrie en energie, waarbij in een aantal gevallen een minimumcapaciteit of –hoeveelheid geldt. Iedere lidstaat van de Europese Unie moest voor 1 april 2004 een nationaal toewijzingsplan voor emissiehandel publiceren. Dit plan omvat de periode 1 januari 2005 tot 1 januari 2008. In het plan moet iedere lidstaat aangeven hoeveel emissierechten hij wil uitgeven, en aan welke installaties de emissierechten worden toegewezen. Voor zowel de eerste periode, als de periode na 2008 moeten de rechten kosteloos worden toegekend ('grandfathering').

De lidstaten moeten waarborgen dat de emissiehandel goed verloopt. Ze moeten ervoor zorgen dat de exploitant van iedere installatie uiterlijk op 30 maart van elk jaar een hoeveelheid emissierechten inlevert die gelijk is aan de totale uitstoot van die installatie gedurende het voorafgaande kalenderjaar. De ingeleverde rechten worden vervolgens geannuleerd.

Europese emissiehandel, Joint Implementation en het Clean Development Mechanism zijn via een richtlijn van de Europese Unie met elkaar verbonden (het zgn. 'Linking Directive'). Dat betekent dat emissierechten die verkregen zijn via projecten in Oost-Europa of ontwikkelingslanden ook mogen worden verhandeld in het Europese emissiehandelssysteem.

Het Nederlandse systeem gaat in 2005 van start en omvat 333 inrichtingen uit de sectoren industrie en elektriciteitsvoorziening [IP/04/862, 2004]. Het totale emissieplafond bedraagt 112 Mton CO<sub>2</sub>, oftewel de streefwaarde voor de industrie in 2010.

De lidstaten moeten voor dit handelssysteem plannen indienen hoeveel emissierechten zij willen toewijzen en op welke manier. De stand van zaken op 7 juli 2004 is weergegeven in tabel 8 [IP/04/862, 2004].

tabel 8 Stand van zaken met betrekking tot het indienen en de goedkeuring van de allocatieplannen van de verschillende lidstaten

Land	Stand van zaken
Nederland	Goedgekeurd, incl. naar beneden bijgestelde cap van 112 Mton
Denemarken	Goedgekeurd
Ierland	Goedgekeurd
Slovenië	Goedgekeurd
Zweden	Goedgekeurd
Duitsland	Goedgekeurd, mits enkele technische correcties
Verenigd Koninkrijk	Goedgekeurd, mits enkele technische correcties
Oostenrijk	Goedgekeurd, mits enkele technische correcties
België	Nog niet beoordeeld
Frankrijk	Nog niet beoordeeld
Italië	Nog niet beoordeeld
Luxemburg	Nog niet beoordeeld
Portugal	Nog niet beoordeeld
Spanje	Nog niet beoordeeld
Griekenland	Nog niet ingediend

Bron: IP/04/862, 2004



### **Klimaatbeleid binnen de EU**

*Denemarken* had sinds eind jaren '90 beleid gericht op windenergie. Resultaat was een groei van geïnstalleerd vermogen van 317 MW in 1998, 388 MW in 1999 en op het hoogtepunt 566 MW (2000). In 2001 was dit nog slechts 77 MW. Oorzaak: wijziging van de regeling. Denemarken kende een systeem waarin energiebedrijven windenergie inkochten van de eigenaren van windmolens tegen een vaste prijs: 85% van de consumentenprijs. Voordelen van dit systeem zijn de eenvoud en de lage risico's. Vanaf 2000 gold deze regeling niet meer met als resultaat een forse daling van het geïnstalleerde vermogen aan windenergie. De daling lijkt structureel te zijn, want in 2003 is tot en met juni nog slechts 36 MW opgesteld [EWEA, 2003].

Ook *Duitsland* kent sinds 25 februari 2000 een systeem met terugleververgoedingen: het Erneuerbare-Energie-Gesetz. Voordeel van deze regeling is dat het investeerders zekerheid biedt voor langere tijd: de terugleververgoeding staat voor ongeveer 10 jaar vast. Daarnaast hebben de energiebedrijven de verplichting om duurzame energie af te nemen. Dit geeft zekerheid voor het behalen van de doelen ten aanzien van duurzame energie. De prijzen staan vast per type technologie.

In het *Verenigd Koninkrijk* is in 2002 een nieuw systeem voor de belasting van lease auto's ingevoerd. De belastingtarieven in dit nieuwe systeem zijn afhankelijk gemaakt van de CO<sub>2</sub>-uitstoot, terwijl in het oude systeem gebaseerd was op de prijs van de auto en het aantal kilometers dat ermee gereden werd. De eerste evaluatie geeft aan dat dit - wat klimaat betreft - geresulteerd heeft in een reductie van 0,2 Mton, oftewel 0,5%, in de CO<sub>2</sub>-emissies van het wegverkeer. Op termijn lijken reducties mogelijk van 0,5 tot 1 Mton [Inland Revenue, 2004].

### **Nederland**

De kaders voor het klimaatbeleid in Nederland in de laatste jaren zijn vastgelegd in de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid [VROM, 1999]. Hierin wordt een onderscheid gemaakt tussen in Nederland te realiseren maatregelen, en internationaal te realiseren maatregelen via Joint Implementation en het Clean Development Mechanism.

#### *Binnenlandse reducties*

In het binnenlandse deel van de Uitvoeringsnota worden verschillende maatregelenpakketten gepresenteerd: een basispakket van maatregelen dat vanaf 2002 is ingezet, een reservepakket van maatregelen dat toegepast kan worden bij een tegenvallende emissieontwikkeling, en een vernieuwingspakket van maatregelen voor de lange termijn.

Het basispakket bevat tal van maatregelen in de sectoren gebouwde omgeving, industrie, elektriciteitsvoorziening, verkeer en vervoer en landbouw. Deze worden op dit moment toegepast. Het reservepakket bestaat uit vier maatregelen: verhoging van de regulerende energiebelasting, verhoging van de accijnzen op motorbrandstoffen, N<sub>2</sub>O-reductie bij salpeterzuurfabricage en CO<sub>2</sub>-opslag. Behalve de verhoging van de accijnzen worden deze maatregelen op dit moment toegepast, of is toepassing hiervan gepland. De resultaten van de N<sub>2</sub>O-reductie in de industrie gelden daarbij als een algemene reserve, die bij het volgende ijkmoment voor het Nederlandse klimaatbeleid, in 2005, zullen worden toebedeeld aan ofwel het binnenlandse deel, of wel het buitenlandse deel van de doelstellingen [TK, 28240/2, 2002]. CO<sub>2</sub>-opslag in een gasveld wordt in de praktijk onderzocht door Gaz de France bij een productieplatform in de Noordzee. Het vernieuwingspakket bestaat uit het bevorderen van technologische vernieuwing voor de introductie van klimaatneutrale energiedragers en onderzoek gericht op introductie van



emissiehandel. Het eerste krijgt vooral via het GAVE programma vorm (Onderzoeksprogramma gasvormige en vloeibare energiedragers), het tweede heeft via de Commissie Vogtländer geresulteerd in een uitgewerkt plan voor de Nederlandse bijdrage aan de Europese emissiehandel.

In 2004 zijn onder het kabinet Balkenende beleidswijzigingen doorgevoerd die effect hebben op de totale binnenlandse CO<sub>2</sub>-uitstoot. Deze wijzigingen en de bijbehorende effecten zijn weergegeven in tabel 9. Netto resulteren de beleidswijzigingen in een vrijwel gelijkblijvende emissiereductie ten opzichte van eerdere beleidspakketten (+ 0,1 Mton CO<sub>2</sub>) [TK, 28240/4, 2004].

tabel 9 Beleidswijzigingen in Nederland in 2004 ten opzichte van 2002

Sector	Beleidswijzigingen	Effect in Mton CO <sub>2</sub>
Industrie (incl. energie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Langer openhouden Borssele</li> <li>• Introductie MEP</li> <li>• Aanpassing fiscale regelingen</li> <li>• Aanpassing EIA</li> <li>• Verhoging REB in 2005</li> </ul>	- 2,0
Landbouw	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introductie MEP</li> <li>• Aanpassen EIA lijst</li> </ul>	0
Verkeer en vervoer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geen kilometerheffing</li> <li>• Spoedwet wegverbreding</li> <li>• Geen teruggave kwartje van Kok</li> <li>• Aanpassing fiscale regelingen</li> <li>• Wijziging behandeling woon/werkverkeer</li> </ul>	+ 1,6
Gebouwde omgeving	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementatie Europese regelgeving</li> <li>• Afschaffing EINP</li> <li>• Korting op EPR</li> <li>• Verhoging REB in 2005</li> </ul>	+ 0,5
Totaal		+ 0,1

Bron: TK, 28240/4, 2004

### *Buitenlandse reducties*

In het buitenlandse deel van de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid worden de Nederlandse inspanningen voor wat betreft Joint Implementation, Clean Development Mechanism en emissiehandel uiteengezet. Ten tijde van het uitkomen van de Uitvoeringsnota is hier alleen op heel beperkte schaal ervaring mee opgedaan, maar ondertussen is de ontwikkeling hier een stuk verder. In de akkoorden van Bonn en Marrakesh zijn de spelregels voor JI en CDM nader uitgewerkt en Nederland heeft met verschillende Oost-Europese en ontwikkelingslanden zogenoemde 'Memoranda of Understanding' voor samenwerking afgesloten.

### 3.2.3 Effecten

Klimaatbeleid is gericht op reductie van de emissies van broeikasgassen. De ontwikkelingen in de emissies zijn dan ook een belangrijke graadmeter voor de effectiviteit van het klimaatbeleid. In deze paragraaf bespreken we emissies tot dusver en de prognoses tot 2010 op mondiaal, Europees en nationaal niveau. We gaan ook in op de verschillen in ontwikkeling tussen CO<sub>2</sub> en de overige



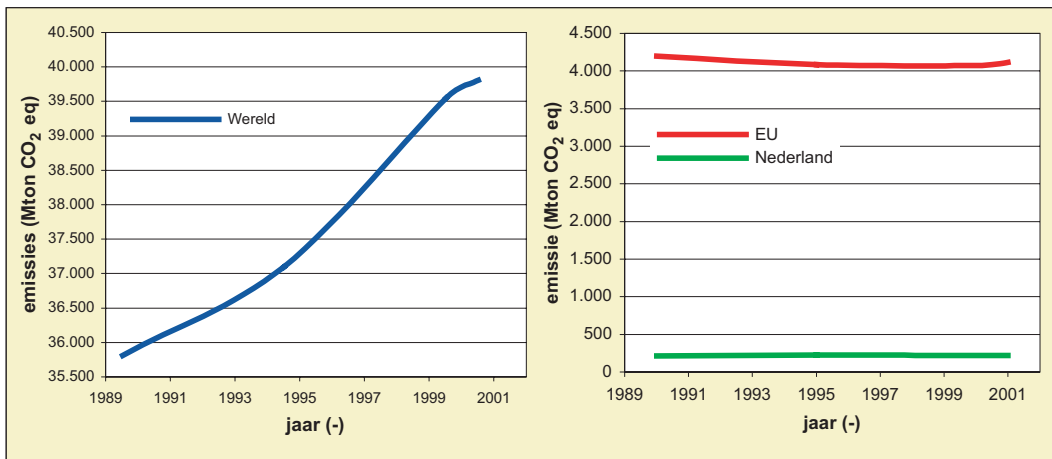
broeikasgassen. CO<sub>2</sub> is verreweg het belangrijkste broeikasgas. Het draagt mondiaal ca. 80% bij aan de totale uitstoot van broeikasgassen.

Ook wordt aandacht besteed aan de verschillen in emissieontwikkeling tussen sectoren. Tot slot worden de onzekerheden die gepaard gaan met het meten van emissies en prognoses in beeld gebracht.

### Emissies broeikasgassen tot dusver

Een totaaloverzicht van de ontwikkeling in broeikasgasemissies tot dusver is weergegeven in figuur 11 [RIVM, 2004; EEA, 2003].

figuur 11 Ontwikkeling van broeikasgasemissies mondiaal, in de EU en in Nederland



Bron: RIVM, 2004; EEA, 2003

Uit figuur 11 blijkt dat de totale emissies van broeikasgassen over de periode 1990-2001:

- mondiaal zijn gestegen met 11%;
- in de EU met 2% zijn gedaald. De meest opvallende dalingen vonden plaats in respectievelijk Duitsland en Engeland (-18%) en in Luxemburg (-44%). In de overige EU-landen bleven de emissies gelijk of stegen ze;
- en in Nederland zijn gestegen met 1,5%.

Specifiek met betrekking tot de Annex-I landen (dus de landen behorend tot de OECD, oftewel Annex-II plus Oost-Europa) blijkt een daling van 3% over de periode 1990-2000 [UNFCCC, 2003a].

### Emissies CO<sub>2</sub> en overige broeikasgassen

Uit de verschillende cijfers blijkt dat CO<sub>2</sub> op alle niveaus het belangrijkste broeikasgas is. Het aandeel van CO<sub>2</sub> is door de jaren heen steeds groter geworden ten opzichte van het aandeel overige broeikasgassen.

Deze ontwikkeling is voor de Nederlandse situatie inzichtelijk gemaakt in figuur 12 [TK, 28240/2, 2002-2004<sup>3</sup>] Om de percentages te kunnen plaatsen in de con-

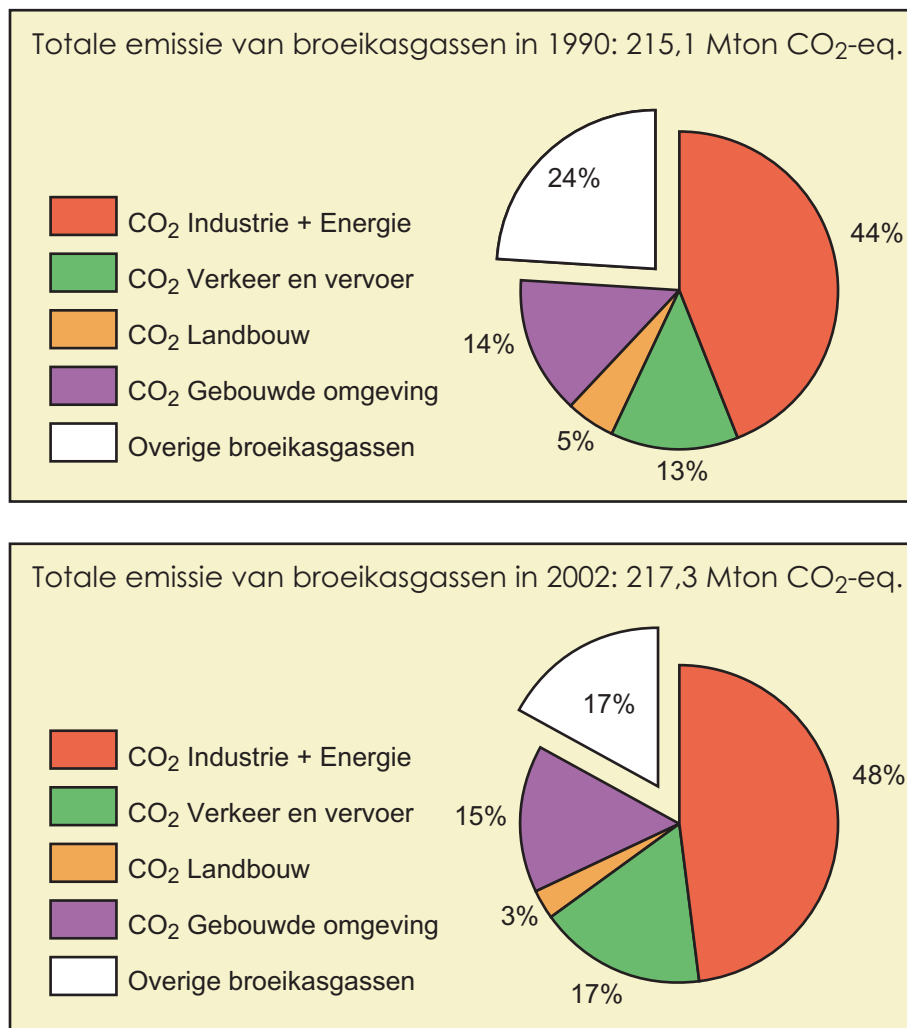
<sup>3</sup> Op basis van Referentieramingen



text zijn voor ieder jaar de absolute emissies van het totaal aan broeikasgassen weergegeven. Tevens is onderscheid gemaakt naar de vijf sectoren die in belangrijke mate bijdragen aan de emissies van broeikasgassen:

- verkeer en vervoer;
- gebouwde omgeving;
- industrie;
- elektriciteitsvoorziening;
- land- en tuinbouw.

figuur 12 Aandeel van CO<sub>2</sub> en overige broeikasgassen verdeeld naar de belangrijkste sectoren voor de jaren 1990 en 2000 in de Nederlandse situatie [TK, 28240/2, 2002-2004]



De specifieke ontwikkelingen per sector die ten grondslag liggen aan figuur 12 bespreken we ieder apart in de navolgende paragrafen.

### Emissieprognoses broeikasgassen

Prognoses voor de emissieontwikkeling van broeikasgassen in 2010 op de verschillende beleidsniveaus zijn samengevat in tabel 10.

tabel 10 Relatieve doelstellingen en emissieramingen van broeikasgassen voor verschillende beleidsniveaus

	Wereld	Annex-I	Europese Unie	Nederland
Doelstelling	geen	-5,2%	-8%	-6%
Emissies tot dusver (sinds 1990) <sup>1)</sup>		-3%	-2%	+3%
Prognose 2010		+10%	-0,5% <sup>2)</sup> -5% tot -7% <sup>3)</sup>	-6%

Bron: RIVM, 2004a; Boonekamp et al., 2003; EEA, 2003

- 1) Meest recente gegevens: wereld en Annex-I: 1990-2000, Europa 1990-2001, Nederland 1990-2002.  
 2) Bij voortzetting huidig beleid.  
 3) Met al aangekondigde extra beleidsmaatregelen.

Op *mondiale* schaal zijn geen concrete emissiereductiedoelstellingen afgesproken. Voor de *Annex-I landen* wordt bij het huidige beleid een emissieniveau van 10% boven dat in 1990 verwacht. De doelstelling voor 2010 is -5,2%.

De *Europese Unie* berekent voor 2010 een emissie van -0,5% bij voortzetting van het huidige beleid, en -5 tot -7% wanneer al aangekondigde beleidsinitiatieven van verschillende lidstaten worden gerealiseerd. Doelstelling voor 2010 is -8%. Wanneer een lineaire emissiedaling wordt verondersteld, dan liggen Frankrijk, Engeland, Duitsland, Luxemburg en Zweden op schema bij het realiseren van hun Kyoto-doelstellingen, de overige landen - waaronder Nederland - niet [EEA, 2003].

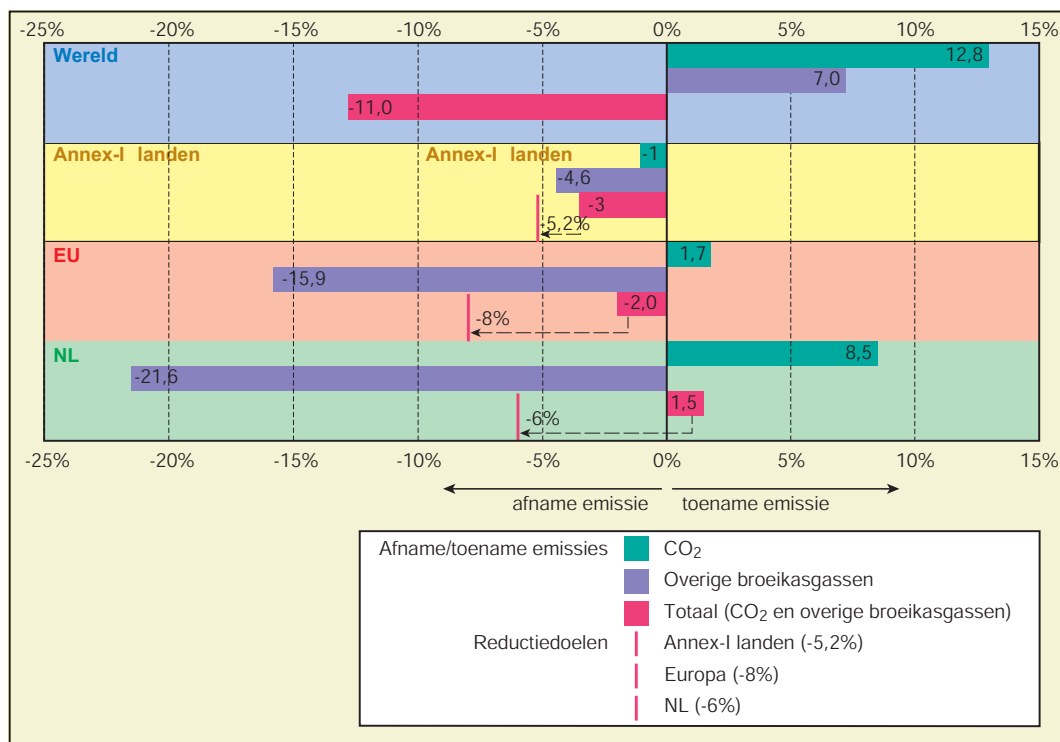
In *Nederland* wordt verwacht dat de emissiereductiedoelstelling van -6% in 2010 precies wordt gehaald. Dit is volgens de nieuwste emissieramingen echter ten dele toeval. Sinds de Referentieraming 2002 zijn namelijk diverse niet-beleidsgerelateerde wijzigingen doorgevoerd. Voorbeelden zijn een bijstelling als gevolg van een eerdere dubbeltelling bij de sector industrie en aanpassing van enkele sectorale trends [Van den Wijngaart et al., 2002; Boonekamp et al., 2003].

### **Emissieprognoses CO<sub>2</sub> en overige broeikasgassen**

In figuur 13 wordt het netto effect, zoals hierboven is weergegeven, uitgesplitst naar de bijdrage van CO<sub>2</sub> en die van overige broeikasgassen [EEA, 2004; RIVM, 2004b].



figuur 13 Emissieniveaus van CO<sub>2</sub>, overige broeikasgassen en totale emissies in 2001 ten opzichte van 1990 voor verschillende niveaus en de afstand tot de uiteindelijke doelstellingen (Annex-I: 2000 t.o.v. 1990)



Bron: EEA, 2004; RIVM, 2004b

Duidelijk is dat de emissies van CO<sub>2</sub> sterker stijgen dan die van de overige broeikasgassen. Daar waar emissiereducties gerealiseerd zijn, is dit met name een gevolg van een reductie in de emissies van de overige broeikasgassen. Een echte daling van CO<sub>2</sub>-emissies heeft in de periode tot en met 2001 nog niet plaatsgevonden. Uit de cijfers van het EEA over 2002 is recentelijk gebleken dat de uitstoot van CO<sub>2</sub> voor het eerst is gedaald. In de EU is 0,5% minder CO<sub>2</sub> uitgestoten en in Nederland 1,1% ten opzichte van 2001. De belangrijkste redenen hiervoor zijn een lager energieverbruik als gevolg van het relatief warme weer in Europa in 2002 en een langzame economische groei en de omschakeling bij veel elektriciteitscentrales van kolen naar gas. Tevens hebben specifieke maatregelen effect gehad op de waargenomen daling [EEA, 2004].

Dit zijn tevens ontwikkelingen die onzekerheden veroorzaken in zowel metingen als prognoses.

### **Emissies: onzekerheden**

De emissieprognoses tot dusver geven aan dat het huidige klimaatbeleid niet voldoende is om de doelstelling voor de Annex-I landen en voor de Europese Unie te halen. Daarbij moet nog aangetekend worden dat een gedeelte van de bereikte emissiereducties tot dusver het gevolg is van autonome ontwikkelingen, en niet zozeer van het klimaatbeleid. Zo is de daling van de totale broeikasgasemissies in de Annex-I landen met 3% over de periode 1990-2000 grotendeels het gevolg van een sterke daling in emissies in EIT landen (Oost-Europa) in deze periode (-37%) [UNFCCC, 2003a]. Deze sterke daling is weer het gevolg van de

economische teruggang in deze landen. In Europa werd een belangrijke bijdrage aan de daling van 2% geleverd door de economische herstructurering in Oost-Duitsland.

Voor Nederland geven de prognoses tot dusver aan dat de doelstellingen wel gehaald zullen worden (inclusief buitenlandse aankoop van rechten), maar ook deze prognose is met enige onzekerheid omgeven. Dit komt doordat niet alle maatregelen zullen worden uitgevoerd zoals gepland of een andere reductie opleveren dan vooraf berekend was. Daar staat tegenover dat enige reserve is ingebouwd in de berekende effecten van de maatregelen tot dusver.

#### **Betrouwbaarheid van emissiegegevens en prognoses**

Om uitspraken te kunnen doen over de resultaten van klimaatbeleid zijn betrouwbare gegevens over broeikasgasemissies, en van effecten van specifieke klimaatbeleidsmaatregelen op de emissies nodig. Deze moeten de effecten van klimaatbeleid kunnen onderscheiden van die van overig beleid en van autonome ontwikkelingen.

Op mondiaal niveau zijn de gegevens over de huidige emissies tot dusver zeer onvolledig [IPCC, 2001b]. Prognoses voor toekomstige emissies worden daardoor minder betrouwbaar. Op Europees en Nederlands niveau zijn wel vollediger emissiegegevens beschikbaar.

Prognoses zijn verder onzeker omdat ze gebaseerd zijn op verwachtingen over macro-economische ontwikkelingen, veranderingen in de olieprijs, demografische ontwikkelingen en andere variabelen waarvan het verloop in de toekomst onzeker is. In Nederland wordt hiervoor een onzekerheidsmarge aangegeven die verschilt per type emissie. Voor CO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>-eq is de onzekerheid in jaarlijkse emissies ±3% respectievelijk ±5% van de absolute hoeveelheden. Voor CH<sub>4</sub> wordt een marge gehanteerd van ±25%. Voor N<sub>2</sub>O en de F-gassen is dit ±50%. Deze onzekerheden in de jaarlijkse emissies werken door in de trend over een langere periode. Voor de periode 1990-2002 betekent dit voor CO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>-eq een onzekerheidsmarge van ±3% respectievelijk ±4%. Voor CH<sub>4</sub> wordt gerekend met een marge van ±6%. En N<sub>2</sub>O en de F-gassen tenslotte worden waarden gehanteerd van ±11% en ±9%, zie [<http://www.milieucompendium.nl>, 2004]. Van de Europese berekeningen zijn alleen voor een aantal landen gevoeligheidsanalyses beschikbaar. Deze liggen in de orde grootte van de Nederlandse [EEA, 2003].

Dat er zeker nog verbeteringen mogelijk zijn in de Nederlandse monitoring komt ook tot uitdrukking in recente bijstellingen. Zo is de referentieraming broeikasgassen 2004 aangepast ten opzichte van de raming in 2002 [TK, 28240/4, 2004]. Een fout in de emissieregistratie van de sector industrie maakte dat eerder structureel te hoge emissies voor deze sector werden berekend. Deze fout is gecorrigeerd voor de periode 1998-2002. Dit resulteert in een 4 Mton lagere CO<sub>2</sub>-emissie vanaf 1998.

### **3.2.4 Kosten**

Op mondiaal en Europees vlak zijn relatief weinig overzichten beschikbaar van kosten van tot dusver genomen klimaatbeleidsmaatregelen. Wel zijn er veel modellen beschikbaar die schattingen geven van de kosten die noodzakelijk zijn om aan de klimaatdoelen van Kyoto te voldoen.

Hoewel de exacte waarden van de verschillende modellen uiteenlopen, geven ze wel aan dat veel klimaatmaatregelen genomen kunnen worden tegen hogere opbrengsten dan directe kosten. Het IPCC gaat uit van een wereldwijd emissiereductiepotentieel van 3.600 tot 5.050 Mton C per jaar tot 2020 (omgerekend is dit



982 tot 1.377 Mton CO<sub>2</sub>). De helft van deze maatregelen kan volgens het IPCC voor 2020 gerealiseerd worden met grotere netto opbrengsten dan directe kosten. De andere helft kost tot 100 US\$ per ton C (prijzen van 1998 en een discontovoet van 5% tot 12%)<sup>4</sup>. Wel kunnen bij de directe kosten in sommige gevallen nog aanzienlijke kosten voor implementatie komen [IPCC, 2001a]. Dat deze maatregelen desalniettemin niet genomen worden, heeft verschillende oorzaken die te maken hebben met de aard van de maatregel (bijvoorbeeld extra kosten) zelf of met de maatschappelijke context (zie verder paragraaf 3.2.5).

#### **Klimaatsceptici en kosten van klimaatbeleid**

Klimaatsceptici richten hun pijlen vooral op klimaatverandering zelf, en de wetenschappelijke aannames hierbij. Voor zover zij het hebben over klimaatbeleid, benadrukken zij met name de kosten van klimaatmaatregelen ten opzichte van andere wereldwijde maatschappelijke problemen. In 2004 organiseerde de auteur van het boek 'The Sceptical Environmentalist', Björn Lomborg, een 'Copenhagen Consensus Conference' van internationale economen. Deze maakten een rangschikking van 17 beleidsmaatregelen om tien verschillende maatschappelijke problemen aan te pakken op kosteneffectiviteit. De drie klimaatmaatregelen (drie manieren van een koolstofheffing) bezetten daarbij de laatste drie plaatsen. Oordeel van de economen was dat 'de kosten van de maatregelen de opbrengsten waarschijnlijk zouden overtreffen'. Prioriteit van de economen lag bij de Aidsbestrijding: van een budget van 50 miljard US\$ zouden zij 27 miljard hieraan besteden [www.copenhagenconsensus.com].

### **Europa**

De Europese Unie heeft een onderzoek laten verrichten naar de least-cost allocatie van klimaatdoelstellingen in Europa [EC, 2001]. De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 11. Conclusie van de studie is dat de marginale emissiereductiekosten om te voldoen aan de Kyoto-doelstellingen € 20 per ton CO<sub>2</sub> bedragen bij de meest kosteneffectieve aanpak.

Bij een least-cost aanpak zouden de sectoren 'niet-CO<sub>2</sub>-fossiele brandstoffen'<sup>5</sup> (-16%), 'diensten' (-15%), 'energievoorziening' (-13%), 'industrie' (-12%) en 'afval' (-13%) de grootste relatieve bijdrage leveren aan het bereiken van de Kyoto-doelstelling. In deze sectoren zijn dus volgens de studie de meeste kosteneffectieve maatregelen te nemen. Voor huishoudens (-6%) en transport (-4%) geldt dat in veel mindere mate. De transportsector is echter met name een uitdaging voor het beleid, omdat hier als gevolg van autonome ontwikkelingen een hoge groei van emissies wordt voorzien. De kosten om die trend om te buigen in een reductie zijn dan ook evenredig hoog.

<sup>4</sup> Dollarkoers op 6 januari 1998: 1 US\$ = fl. 1,9992, oftewel € 0,91 [Oil Bulletin Petrolier, EC DG Energy].

<sup>5</sup> Het gaat hierbij om emissies van niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen afkomstig van de winning van fossiele brandstoffen, transport en distributie.

tabel 11 Resulterende CO<sub>2</sub>-emissiedoelstellingen per sector in de EU-15 bij een Europawijde least-cost aanpak € 20 (uit 1999) per ton CO<sub>2</sub>-eq

<b>Sector</b>	<b>Emissies 1990/1995</b>	<b>Emissies 2010, baseline<sup>6</sup></b>	<b>Kosteneffectieve emissiedoelstelling voor 2010</b>	<b>Verandering t.o.v. 1990</b>	<b>Verandering t.o.v. 2010, baseline</b>
	<i>Mton CO<sub>2</sub> eq</i>	<i>Mton CO<sub>2</sub> eq</i>	<i>Mton CO<sub>2</sub> eq</i>	%	%
Energievoorziening	1.190	1.206	1.054	-11%	-13%
Niet CO <sub>2</sub> -fossiele brandstoffen <sup>7</sup>	95	61	51	-46%	-16%
Industrie	894	759	665	-26%	-12%
Transport	753	984	946	26%	-4%
Huishoudens	447	445	420	-6%	-6%
Diensten	176	200	170	-3%	-15%
Landbouw	417	398	382	-8%	-4%
Afval	166	137	119	-28%	-13%
<b>Totaal</b>	<b>4.138</b>	<b>4.190</b>	<b>3.807</b>	<b>-8%</b>	<b>-9%</b>

Bron: EC, 2001

Bij de least-cost benadering bedragen de totale kosten voor het voldoen aan de Kyoto-doelstellingen € 3,7 miljard (uit 1999) per jaar voor de periode 2008-2012, ofwel 0,06% van het BNP van de EU in 2010. Daarbij wordt uitgegaan van het realiseren van de doelstellingen per sector op de meest kosteneffectieve plek binnen de EU, los van de lidstaten. Wanneer de kosteneffectieve benadering echter per lidstaat wordt toegepast, dan verdubbelen de uitvoeringskosten: resultaat is dan een marginale kostprijs van € 42 (uit 1999) per ton CO<sub>2</sub>-eq, ofwel in totaal € 7,5 miljard voor de hele EU.

## **Nederland**

### *Huidige kosten*

In Nederland is, op basis van partiële databases, wel informatie beschikbaar over kosten van beleid tot dusver. Deze kosten lopen sterk uiteen binnen sectoren, maar vooral ook tussen sectoren. Opvallend zijn vooral de hoge kosten van maatregelen in de sector gebouwde omgeving ten opzichte van andere sectoren (figuur 14).

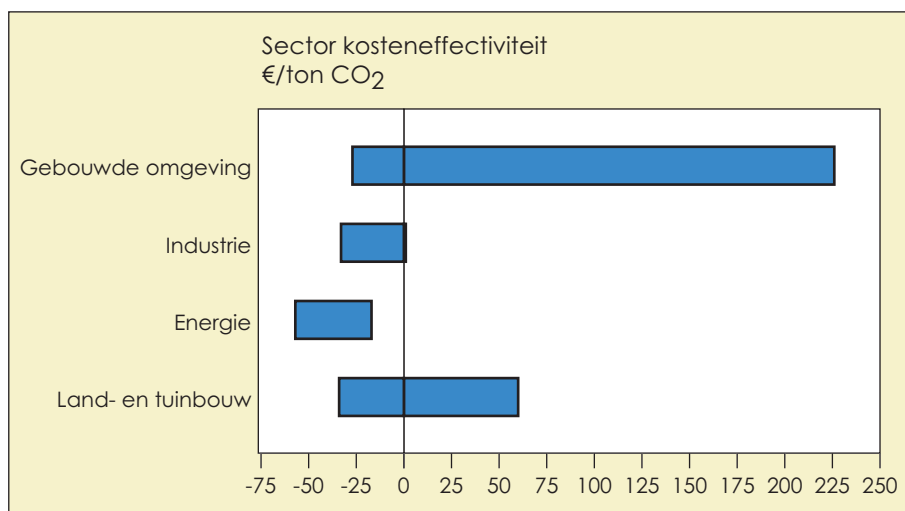
<sup>6</sup> Baseline emissies zijn gebaseerd op 'business as usual'.

<sup>7</sup> Het gaat hierbij om emissies van niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen afkomstig van de winning van fossiele brandstoffen, transport en distributie.





figuur 14 Kosteneffectiviteit van maatregelen voor de verschillende sectoren in Nederland in de periode 1990-2000

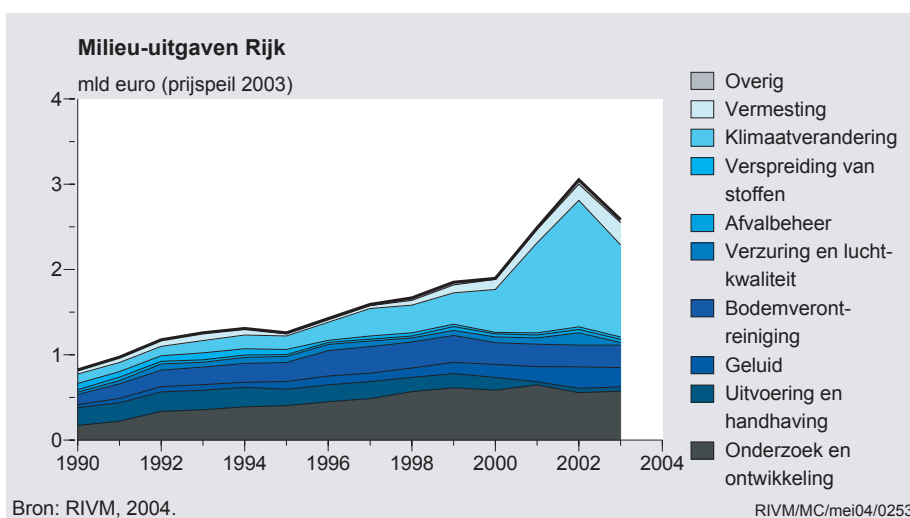


Bron: Boonekamp et al., 2004

Een negatieve waarde wil zeggen dat de opbrengsten hoger zijn dan de kosten.

Het huidige aandeel van klimaatbeleid in de totale uitgaven van milieubeleid bedraagt ca. 45%. De milieu-uitgaven van het Rijk (figuur 15) zijn toegenomen van € 0,8 miljard in 1990 tot ruim € 2,5 miljard in 2003. Deze toename komt vooral door een grote stijging in uitgaven voor klimaatverandering (onder andere het stimuleren van energiebesparing en duurzame energie). De uitgaven voor klimaat zijn in de jaren 2001-2002 met bijna € 1 miljard toegenomen. Deze sterke stijging werd voor meer dan de helft veroorzaakt door de grote groei in vraag naar groene stroom die door een vrijstelling van de regulerende energiebelasting (REB) werd gesubsidieerd. Ook uitgaven met betrekking tot verschillende andere stimuleringsregelingen, waaronder de Energie-investeringsaftrek (EIA) en Energiepremieregeling (EPR) [<http://www.milieucompendium.nl>, 2004].

figuur 15 Milieu-uitgaven Rijk



Bron: RIVM, 2004.

RIVM/MC/mei04/0253

Door bezuinigingen zijn de uitgaven voor dit thema in 2003 ten opzichte van 2002 met ruim een kwart (€ 400) miljoen afgenomen. Deze betreffen met name de vervanging van de REB-regeling voor subsidie van groene stroom door de nieuwe regeling in de Wet Milieukwaliteit Elektriciteitsproductie (MEP) en het grotendeels afschaffen van de Energiepremiereregeling. Op verzoek van de Tweede Kamer zijn enkele subsidie-opties in de EPR behouden. Dit zijn echter wel de relatief dure opties. Een overzicht is gegeven in figuur 16.

figuur 16 Effectiviteit van milieusubsidies

Optie	Regeling	Euro/ton CO <sub>2</sub>
Warmtekrachtkoppeling	MEP	25
Diermeel (verbranden)	MEP	50
Stortgasbenutting	MEP	50
Meestook biomassa in kolencentrales	MEP	75
Dubbel glas	EPR-oud	160
Hoog-Rendementsketel	EPR-oud	
Woningisolatie	EPR-oud	
Extra energiezuinig witgoed	EPR-oud	
Wind op land	MEP	200
Zuivere biomassa	MEP	200
Zonneboilers	EPR-oud	250
Bio-installatie	MEP	250
Wind op zee	MEP	250
Golf- en getijdenenergie	MEP	250
Zonnecellen (PV)	MEP	250
Zonnecellen (PV)	EPR	990
Hybride auto (elektrisch/benzine)	Fiscaal verkeer	1.400

Bron: Milieubalans, 2004

#### *Kostenraming binnenlandse maatregelen*

[ECN, 2004] heeft de CO<sub>2</sub>-reductiekosten berekend van het beleid voor de periode van 2001 tot 2010. In tabel 12 zijn de resultaten weergegeven. Hierbij zijn ook de kosten van reeds genomen, maar nog niet geïmplementeerde maatregelen uit het zogenaamde Pijpbeurtbeleid voor de sectoren industrie en energie weergegeven om een totaaloverzicht te creëren.

Ook hier vallen met name de hoge kosten van maatregelen in de sector gebouwde omgeving ten opzichte van de andere sectoren op.

#### *Kostenraming buitenlandse maatregelen*

Voor de 20 Mton reductie per jaar die Nederland in het buitenland wil halen worden zogenaamde 'Kyoto-mechanismen' ingezet. Met deze mechanismen kan Nederland 'credits' kopen van andere landen: 1 credit komt overeen met 1 ton broeikasgasreductie. Nederland moet dus 20 miljoen credits per jaar kopen. Een schatting is dat deze € 4-5 per stuk zullen gaan kosten [RIVM, 2004b]. Voor de periode 2008 tot 2012 moet in totaal 100 Mton CO<sub>2</sub>-eq reductie ingekocht worden in het buitenland. Dat kost de overheid dus waarschijnlijk in totaal € 400-500 miljoen. Per jaar is dit minder dan 0,02% van het BBP bij een voorzichtige raming



van de groei van het BBP, ongeveer 4% van de huidige overheidsuitgaven aan milieubeleid en een tiende van de huidige uitgaven aan klimaatbeleid. Ook deze kosten zijn opgenomen in tabel 12 [Menkveld, 2002].

tabel 12 CO<sub>2</sub>-reductiekosten van het beleid, per jaar voor de periode 2001-2010

Sector	Reductie in 2010 (Mton CO <sub>2</sub> )	Totale kosten (mln €/jaar)	Kosteneffectiviteit (€/ton CO <sub>2</sub> )
<b>Binnenland</b>			
Gebouwde omgeving	3,3	658	201
Industrie	1,7	-38	-23
Reeds genomen maatregelen, maar nog niet geïmplementeerd (Pijplijnbeleid)			5
Land- en tuinbouw	1,8	-38	-21
Energie	8,6	181	21
Reeds genomen maatregelen, maar nog niet geïmplementeerd (Pijplijnbeleid)			-13
<b>Buitenland</b>			
Emissierechten	100 <sup>*)</sup>	100-125 <sup>*)</sup>	4-5

<sup>\*)</sup> Dit geldt voor de periode 2008-2012. De totale kosten in die periode komen dus uit op 400-500 mln Euro.

### 3.2.5 Internationale en maatschappelijke context

Klimaatbeleid kan niet bekeken worden als een afzonderlijke factor, geïsoleerd van andere ontwikkelingen in de maatschappij. Maatschappelijke ontwikkelingen hebben invloed op broeikasgasemissies, en soms is deze invloed veel groter dan de effecten van klimaatbeleid zelf. Omgekeerd kan klimaatbeleid invloed hebben op de maatschappelijke context.

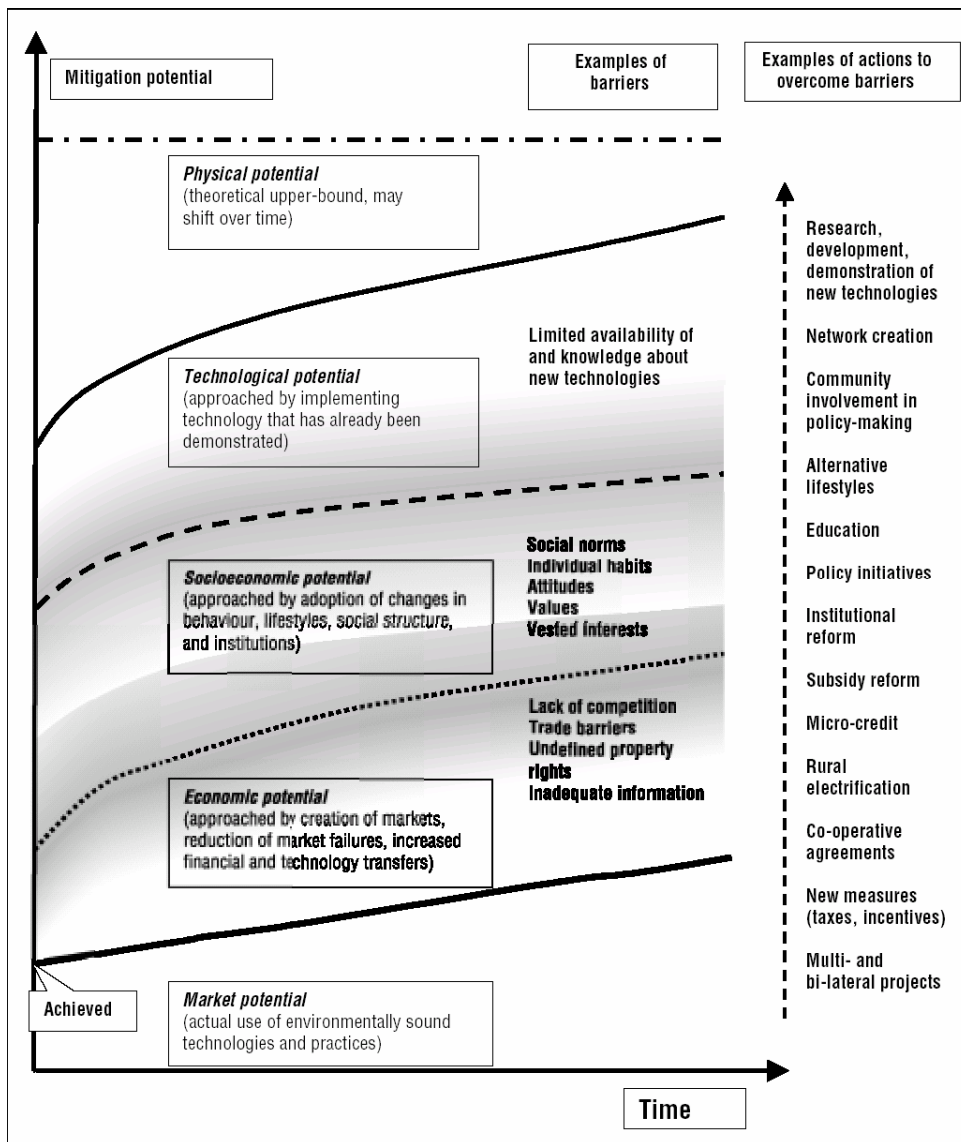
Tijdens de afgelopen periode zijn diverse maatregelen in de energiehuishouding gestimuleerd die zowel bijdragen aan verlaging van de CO<sub>2</sub>-emissie als aan de reductie van verzurende emissies. Het gaat dan om maatregelen die de efficiency bevorderen en om benutting van hernieuwbare energiebronnen. Maatregelen op basis van JI en CDM hebben dit voordeel voor de Nederlandse samenleving niet. Door sommige partijen wordt gepleit voor het integraal afwegen door de overheid van de voordelen op de verschillende beleidsterreinen (voorzieningszekerheid, klimaatbeleid, verzuringsbeleid, bereikbaarheid, e.d.). Daar staan weer anderen tegenover die juist pleiten voor sturing op doelen vanuit elk beleidsterrein, waarmee burgers en bedrijven hun optimale keuzes kunnen maken. Het gaat hierbij om een keuze voor de wijze van sturen door de overheid.

#### Maatschappelijke ontwikkelingen van invloed op klimaatbeleid

Een belangrijke factor die zowel in het voor- als in het nadeel van broeikasgasemissies kan werken zijn de macro-economische omstandigheden. Zo zijn de emissiereducties die in Annex-I landen tot dusver gerealiseerd zijn voor een groot deel te danken aan de economische teruggang in Oost-Europa. Ook heeft de omwenteling in Oost-Duitsland een groot effect gehad op de emissieontwikkeling in de EU.

Anderzijds leidt economische groei tot een toename van CO<sub>2</sub>. De relatie tussen CO<sub>2</sub>-emissie en economische groei is zeker niet één op één. In Nederland bleven de emissies van CO<sub>2</sub> licht toenemen, ondanks de stagnatie in economische groei in de laatste twee jaren. De verklaring daarvoor moet gezocht worden in het feit dat de stagnatie vooral optrad in de minder energie-intensieve dienstensector, terwijl de productie in de energie-intensieve industrie, elektriciteitssector en transport redelijk op peil bleef [RIVM, 2004a].

figuur 17 Maatschappelijke barrières voor het realiseren van emissiereducties



Bron: IPCC, 2001

Naast het effect van economische groei op het klimaatbeleid zijn er andere maatschappelijke factoren die het realiseren van emissiereducties belemmeren. Deze barrières worden door de [IPCC, 2001a] ingedeeld in verschillende categorieën. Het wegnemen van deze barrières leidt tot respectievelijk het realiseren van het economische, het socio-economische, technische en fysieke potentieel van



broeikasgasreductie, zie figuur 17. In het klimaatbeleid in de meeste landen wordt een mix van maatregelen toegepast, die gericht is op het wegnemen van deze barrières.

### **Effect klimaatbeleid op maatschappelijke ontwikkelingen**

Een maatschappelijk effect van klimaatbeleid kan ook liggen in een verslechtering van de concurrentiepositie en het wegtrekken van industrie naar landen met een minder strikt klimaatbeleid. Landen met een energie- en transportintensief bedrijfsleven, zoals Nederland, zouden hierdoor in het nadeel kunnen zijn. Het feit dat de chemie in Frankrijk nu buiten het emissiehandelssysteem valt en in andere landen deels of geheel erin kan in dit opzicht bijvoorbeeld voor knelpunten zorgen.

Onderzoek tot dusver wijst echter niet in die richting. Milieubeleid is slechts een van de vele factoren waar bedrijven in hun locatiekeuze rekening mee houden [CPB, 2002]. Het milieu staat over het algemeen laag op de lijst van relevante factoren. Eventuele verplaatsingseffecten zijn volgens een modelberekening van het CPB geconcentreerd in de energie-intensieve sectoren. Verdergaand milieubeleid in West-Europa zou de werkgelegenheid in deze sectoren met gemiddeld 0,4% doen dalen (variërend van +0,2% in Frankrijk en Engeland tot -1,2% in Spanje, Nederland -0,5%). Empirisch is er volgens het CPB echter weinig inzicht in de landenspecifieke omvang van verplaatsingseffecten.

Tegenover de kosten en eventuele negatieve maatschappelijke effecten van klimaatbeleid staan de bijkomende opbrengsten van dit beleid. Deze liggen onder meer in positieve gezondheidseffecten die kunnen optreden doordat de bestrijding van broeikasgasemissies ook bijdraagt aan onder meer vermindering van verzurende emissies en lokale luchtverontreiniging. Ook kan verdergaand milieubeleid innovatie stimuleren en zo concurrentievoordelen opleveren ten opzichte van landen die hierin achterblijven. Op klimaatbeleid en innovatie gaan we in het volgende hoofdstuk nader in.

### 3.3 Verkeer en vervoer

#### Samenvatting sector verkeer en vervoer

**Doel 2010:** 38 Mton CO<sub>2</sub>, een groei van 33% t.o.v. de CO<sub>2</sub>-emissies door de sector in 1990.

**Emissies:** De CO<sub>2</sub>-emissies in Nederland tot dusver bedragen 35,8 Mton (stand 2002), een groei van 26% ten opzichte van 1990. Het aandeel van de sector verkeer en vervoer in de totale CO<sub>2</sub>-emissie van Nederland in 2002 komt hiermee op 20%. Ten opzichte van de totale uitstoot van broeikasgassen is dit aandeel 16%. Deze emissies komen vooral uit het wegtransport.

De emissies van overige broeikasgassen (N<sub>2</sub>O en CH<sub>4</sub>) zijn beperkt, ca. 0,5 Mton CO<sub>2</sub>-eq.

Internationale zeescheepvaart en luchtvaart worden hier niet meegerekend, omdat ze niet onder de reductieverplichtingen vallen van het Kyoto-protocol. De bijdrage van de luchtvaart aan het versterkte broeikaseffect is meer dan verdubbeld sinds 1992. Van dit effect wordt 2/3 veroorzaakt door andere emissies dan CO<sub>2</sub>. De emissies van de zeescheepvaart groeiden in deze periode met ca. 15% (1,5% per jaar).

**Kosten:** Tot dusver niet in detail bekend.

#### Internationale en maatschappelijke context:

Wereldwijd steeg het aandeel van transport in de totale CO<sub>2</sub>-emissies van 19% in 1971 tot 23% in 1997. In de Europese Unie groeiden de emissies voor transport met 21% in de periode 1990-2001. De groei trad met name op door volumegroei in het wegtransport. De CO<sub>2</sub>-emissie per kilometer is daarbij slechts licht gedaald.

Een verdere sterke groei van de CO<sub>2</sub>-emissies van deze sector tot 2010 (en daarna) wordt verwacht. In de Europese Unie is de prognose 34% emissiegroei over de periode 1990-2010.

#### 3.3.1 Doelstellingen

De huidige streefwaarde voor de sector verkeer en vervoer is een CO<sub>2</sub>-emissie van 38 Mton in 2010. Deze streefwaarde betekent een groei met 33% van de emissies ten opzichte van de CO<sub>2</sub>-emissie van 28,5 Mton in 1990 [TK, 28240/4, 2004; RIVM, 2004]. De Ministeries van Verkeer en Waterstaat en VROM zijn gezamenlijk verantwoordelijk voor het behalen van deze doelstelling.

In deze streefwaarde voor de sector verkeer en vervoer zijn overigens nog niet de effecten van de biobrandstoffenrichtlijn van de EU verwerkt. De EU heeft in deze richtlijn niet-bindende streefwaarden aangegeven voor het aandeel van biobrandstoffen in de totale brandstofmix. De Nederlandse invulling hiervan is dat in 2006 biobrandstoffen een aandeel van 2% in de markt moeten hebben, zo is recent in de Nota Verkeeremissies vastgesteld. Het is dus te verwachten dat de streefwaarde nog naar beneden wordt bijgesteld.



Daarnaast moet worden opgemerkt dat internationale lucht- en zeescheepvaart niet onder het Kyoto-verdrag vallen, en niet in deze streefwaarde zijn opgenomen. Voor deze sectoren zijn nog geen doelstellingen afgesproken.

### 3.3.2 Maatregelen en instrumenten

In tabel 13 wordt een overzicht gegeven van specifieke beleidsinstrumenten voor reductie van broeikasgasemissies in de sector verkeer en vervoer zoals die waren voorzien in de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid [VROM, 1999]. Aangrijpingspunten van instrumenten zijn efficiëntere voertuigtechnieken en beprijzen van verkeer, en daarmee op gedrag. De doelstelling van deze maatregelen was een CO<sub>2</sub>-reductie van 2,2 - 2,9 Mton.

Een gedeelte van deze instrumenten is ondertussen geïmplementeerd, deels is het beleid door het huidige en vorige kabinet bijgesteld. Zo is besloten rekeningrijden (later omgevormd tot kilometerheffing) de komende jaren (nog) niet in te voeren, en is de energiepremie voor zuinige auto's per 1 januari 2003 afgeschaft. Daarnaast is een aantal instrumenten en maatregelen in deze sector ingevoerd die juist een toename van de CO<sub>2</sub>-uitstoot tot gevolg hebben [TK, 28240/4, 2004]:

- besloten is om de inkomsten van het 'kwartje van Kok' te besteden aan extra aanleg van wegen en aan extra investeringen in het openbaar vervoer;
- er is besloten tot de Spoedwet Wegverbreding;
- een aantal veranderingen aan de fiscale behandeling van de auto van de zaak en woon-werkverkeer is doorgevoerd.

Al deze maatregelen leiden tot meer verkeer en (dus) tot meer emissies. Het kabinet heeft overigens toegezegd dat als de laatste maatregel tot negatieve milieuconsequenties leidt, dit zal worden gecompenseerd [TK, 28240/4, 2004].

In totaal leiden deze beleidswijzigingen tot een emissieverhoging in deze sector met 1,6 Mton CO<sub>2</sub> in 2010.

tabel 13 Overzicht klimaatbeleidsinstrumenten in de sector verkeer en vervoer zoals voorzien in de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid

Type instrument	Instrument
Vrijwillige overeenkomsten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EU-ACEA Convenant met autoproducenten (zuiniger auto's)</li> </ul>
Communicatief	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stimuleren zuinige auto's via etikettering van auto's</li> <li>• Verhoging bandenspanning</li> </ul>
Directe regulering	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versterkte handhaving snelheidslimieten</li> </ul>
Fiscaal en financieel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stimuleren zuinige auto's via CO<sub>2</sub>-differentiatie in BPM belasting</li> <li>• Bevordering in-car instrumenten via convenant et autobranche en fiscale regeling</li> <li>• Rekeningrijden</li> <li>• Belastingmaatregelen ter beperking van het personenverkeer</li> <li>• Stimuleringsregeling projecten verkeer/vervoer</li> </ul>
Reservepakket	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accijnsverhogingen</li> </ul>

Bron: VROM, 1999

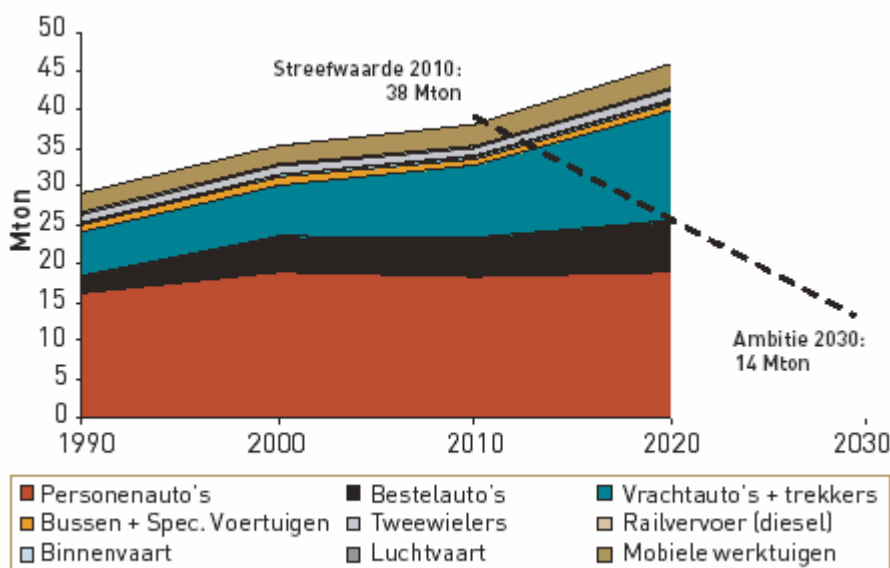


### 3.3.3 Effecten

De emissies van CO<sub>2</sub> in de sector verkeer en vervoer tot dusver bedragen 35,8 Mton (stand 2002), ofwel 20% van de totale emissie van CO<sub>2</sub> in Nederland. Ten opzichte van de totale uitstoot van broeikasgassen in Nederland in 2000 is dit aandeel 16% [RIVM, 2004].

De ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-emissies in deze sector, en van de verschillende vervoermiddelen afzonderlijk, staan uitgezet in figuur 18. Personenauto's hebben het grootste aandeel in het totaal, sterkst stijgend zijn de emissies van vrachtauto's en bestelauto's. Hierbij dient te worden opgemerkt dat op basis van de huidige wetenschappelijke inzichten is vastgesteld dat de CO<sub>2</sub>-emissies van de luchtvaart slechts circa 35% vormen van de totale bijdrage van de luchtvaart aan het broeikas effect. Het relatieve aandeel van de luchtvaart aan het totale broeikas effect is dus veel groter dan wordt aangegeven in figuur 18 indien ook de niet-CO<sub>2</sub>-effecten worden meegenomen. Dit geldt niet of in zeer geringe mate voor de andere transportvormen.

figuur 18 CO<sub>2</sub>-emissies sector transport in Nederland, 1990-2030



Bron: VROM, 2004

Door deze stijging in broeikasgasemissies neemt de bijdrage van de sector verkeer en vervoer aan de totale broeikasgasemissies ook de komende jaren nog sterk toe. In 2010 zal het aandeel van de sector aan de totale broeikasgasemissies 18% bedragen, tegen 16% in 2000.



De oorzaak van deze continue groei van de CO<sub>2</sub>-emissies in verkeer ligt bij de sterke stijging van zowel de personenmobiliteit als ook van het goederentransport. Deze groei van het verkeersvolume wordt niet gecompenseerd door een evenredige daling van het brandstofverbruik van voertuigen.

Ondanks dat de motoren steeds efficiënter worden, daalt het brandstofverbruik (en dus de CO<sub>2</sub>-uitstoot) per kilometer slechts langzaam. De redenen hiervoor zijn:

- personenauto's worden steeds zwaarder, o.a. door de toename van accessoires (zoals airco's, CD spelers) en extra veiligheidsmaatregelen (bijv. extra verstevigingen, airbags);
- motoren moeten aan steeds strengere emissie-eisen voldoen (voor NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, etc.). Deze emissiereductie gaat in een aantal gevallen ten koste van het brandstofverbruik, ofwel de CO<sub>2</sub>-emissies.

Zoals figuur 18 laat zien is de verwachting dat - bij het huidige beleid - deze groei van de verkeersemissies ook de komende decennia nog verder doorgaat.

### 3.3.4 Kosten

Over de kosten van maatregelen in de sector transport is vrijwel niets bekend, ook in Nederland niet. De Milieubalans 2004 vermeldt de kosten in deze sector als 'PM'. De Beleidsnota Verkeersemissies [VROM, 2004] gaat in het geheel niet op kosten van maatregelen in.

### 3.3.5 Internationale en maatschappelijke context

Ook internationaal groeien de emissies in de transportsector sterk. In de Annex-landen groeiden de emissies door transport met 20% over de periode 1990-2000. In Europa namen de emissies door transport met 21% toe in de periode 1990-2001. Dit was met name het gevolg van de groei van het wegtransport. Tot 2010 wordt een verdere groei van de emissies in Europa verwacht tot 34% boven het niveau van 1990 [EEA, 2003].

Internationale zeescheepvaart en luchtvaart vallen niet onder de Kyoto-verplichtingen en worden dus niet meegerekend bij de emissies van de transportsector. Klimaatbeleid wordt in deze sectoren nog niet gevoerd. De relevante partijen hiervoor zijn de International Civil Aviation Organisation (ICAO) en de International Marine Organisation (IMO).

## 3.4 Gebouwde omgeving

### Samenvatting sector gebouwde omgeving

**Doel 2010:** 29 Mton CO<sub>2</sub>, een reductie van 7% ten opzichte van de emissies van CO<sub>2</sub> door de sector in 1990.

**Emissies:** De uitstoot van CO<sub>2</sub> tot dusver ligt op 32,5 Mton (stand 2002), oftewel 18% van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot in Nederland in 2000. Ten opzichte van de totale emissies aan broeikasgassen is het aandeel gebouwde omgeving 15%.

**Kosten:** Maatschappelijke kosten variëren van -27 € per ton CO<sub>2</sub> tot +226 €/ton CO<sub>2</sub> (in 2000). Met name voor maatregelen bij huishoudens zijn de kosten van maatregelen relatief hoog.

#### Internationale en maatschappelijke context:

Op *wereldschaal* nemen de CO<sub>2</sub>-emissies in de sector gebouwde omgeving sterker toe dan gemiddeld over alle sectoren. Redenen daarvoor liggen volgens het IPCC vooral in de toegenomen comfortverwachting van mensen en modernisering en uitbreiding van commerciële sector in zich ontwikkelende economieën [IPCC, 2001]. In *Europa* worden voor de sector gebouwde omgeving geen aparte gegevens bijgehouden.

### 3.4.1 Doelstellingen

Doelstelling van het Nederlandse beleid in de sector gebouwde omgeving is een streefwaarde van 29 Mton CO<sub>2</sub>-emissie in 2010. Dit betekent een reductie van 7% ten opzichte van de CO<sub>2</sub>-emissie in deze sector in 1990 (31,2 Mton). Verantwoordelijk departement voor het behalen van deze streefwaarde is VROM [TK, 28240/4, 2004; RIVM, 2004].

### 3.4.2 Maatregelen en instrumenten

In tabel 14 wordt een overzicht gegeven van de beleidsinstrumenten voor het klimaatbeleid in de gebouwde omgeving die in Nederland op dit moment worden ingezet.



tabel 14 Overzicht beleidsinstrumenten Nederlands Klimaatbeleid Gebouwde Omgeving

Type instrument	Huishoudens	Diensten
Directe regulering	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energie Prestatie Nieuwbouw (EPN)</li> <li>Energielabels</li> <li>Implementatie EU richtlijn Energy Performance of Buildings</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Meerjarenafspraken (MJA2)</li> <li>Energie Prestatie Coëfficiënt Utiliteitsbouw (EPC-U)</li> <li>Implementatie EU richtlijn Energy Performance</li> </ul>
Vrijwillige overeenkomsten		
Communicatief	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energie Prestatie Advies (EPA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energie Prestatie Advies Utiliteitsbouw (EPA-U)</li> </ul>
Financieel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regulerende Energiebelasting (REB)</li> <li>Energie Premie Regeling (EPR)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regulerende Energiebelasting (REB)</li> <li>Brandstoffenbelasting (BSB)</li> <li>Energie Investerings Aftrek (EIA)</li> <li>Variabele aftrek milieu-investeringen (Vamil)</li> <li>Energie Investeringsregeling Non Profit (EINP)</li> </ul>
Overig	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bestuursakkoord Nieuwe Stijl Rijk, Provincies en Gemeenten (BANS)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bestuursakkoord Nieuwe Stijl Rijk, Provincies en Gemeenten (BANS)</li> </ul>

Bron: Boonekamp et al., 2003

Klimaatbeleidsinstrumenten in de sector gebouwde omgeving richten zich zowel op huishoudens (woningbouw) als op diensten (utiliteitsbouw). Daarbij wordt een onderscheid gemaakt naar nieuwbouw en bestaande bouw. In het verleden was het beleid vooral gericht op nieuwbouw, met instrumenten als Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC), Energie Prestatie Norm (EPN), Energie Prestatie op Locatie (EPL) en Optimalisatie Energie Infrastructuur (OEI). Sinds de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid uit 1999 staat ook de bestaande bouw meer in de aandacht. Een belangrijk instrument uit deze nota is het Energie Prestatie Advies (EPA), waarmee de energetische kwaliteit van een woning of utiliteitsgebouw in kaart wordt gebracht en tips voor energiebesparende maatregelen worden gegeven. Het Energie Prestatie Advies is een vrijwillige maatregel.

De belangrijkste recente beleidsaanpassingen (sinds 2002) zijn de implementatie van de EU richtlijn 'Energy Performance Buildings', afschaffing van de EINP, een korting op de EPR en een verhoging van de REB in 2005. Door implementatie van de EU richtlijn wordt een energiecertificaat bij bestaande gebouwen die van eigenaar of gebruiker wisselen in 2006 verplicht. Hoewel de kwaliteit van deze adviezen mogelijk minder is dan die van de bestaande vrijwillige EPA adviezen, wordt door het verplicht stellen hiervan een positief effect verwacht op de CO<sub>2</sub>-emissies. Ook een verhoging van de REB voor kleinverbruikers vanaf 2005 met 10% wordt verwacht een positief effect te hebben op de emissies. Afschaffing van de EINP en een sterke vermindering van de vergoedingen uit de EPR worden daarentegen verondersteld de emissies te laten toenemen. Ten opzichte van de eerdere referentieraming uit 2002 geeft dat een vrijwel gelijkblijvende trend van daling van emissies (*exclusief* elektriciteitsverbruik) [TK, 28240/2, 2004].

### 3.4.3 Effecten

De update van de referentieraming van [Boonekamp et al., 2003] constateert een dalende tendens in de CO<sub>2</sub>-emissies in de gebouwde omgeving sinds 1995, nadat de emissies in de periode 1990-1995 waren opgelopen. De eerdere stijging werd vooral veroorzaakt door de economische groei van de dienstensector en overheid, waardoor het aantal werknemers toenam. Dit vertaalde zich in grotere en meer utiliteitsgebouwen. De daling wordt met name toegeschreven aan betere isolatie en verbeterde rendementen van verwarmingsketels [Jeeninga et al., 2002].

Ondanks de ingezette daling in emissies sinds 1995 ligt de huidige emissie van CO<sub>2</sub> (32,5 Mton, stand 2002) nog boven die van 1990 (31,2 Mton).

Het aandeel CO<sub>2</sub> van de gebouwde omgeving in de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van Nederland komt hiermee op 18%. Ten opzichte van het totaal aan broeikasgassen dat Nederland in 2000 heeft uitgestoten, is dit aandeel 15%.

Volgens de meest recente schattingen [Boonekamp et al., 2003] zal de CO<sub>2</sub>-emissie in de gebouwde omgeving in 2010 29 Mton CO<sub>2</sub>-bedragen. Dat betekent dat de doelstelling van -7% emissie in deze sector precies zou worden gehaald. Uit de evaluatie van het klimaatbeleid gebouwde omgeving [Joosen et al., 2004] blijkt dat de fiscale instrumenten het meest effectief zijn geweest in de periode 1995-2002. Als voorbeelden worden genoemd de REB, EINP en de EIA.

Een kanttekening is hierbij op zijn plaats. In de CO<sub>2</sub>-emissies van de sector zijn alleen de directe emissies van brandstofverbruik meegerekend. Het elektriciteitsverbruik bij huishoudens en diensten is niet meegenomen, terwijl dat juist groeiende is. Deze indirecte emissies ten gevolge van het verbruik van elektriciteit zijn ondergebracht bij de elektriciteitssector.

De omvang van deze groei is weergegeven in tabel 15.

tabel 15 CO<sub>2</sub>-emissies als gevolg van elektriciteitsverbruik door huishoudens en de utiliteit

	Elektriciteitsverbruik		Groei
	PJ	Mton	(%)
Huishoudens	163 (1993)	192 (2002)	+ 18%
Utiliteit	65 (1995)	75 (1999)	+ 15%

Bron: Joosen et al., 2004

Andere grote onzekerheden zijn de effecten van economische groei en de vertaling daarvan in het aantal werknemers, de effectiviteit van nieuw ingezet beleid (EPA), het effect van energieprijzen op het investeringsgedrag en ook onnauwkeurigheid in de cijfers van het energiegebruik in het basisjaar. Het laatste werkt door in de verwachting voor 2010 [Boonekamp et al., 2003].



#### 3.4.4 Kosten

Beschikbare cijfers uit verschillende databases [Boonekamp et al., 2004] komen voor maatregelen in de sector gebouwde omgeving op reductiekosten die variëren van € -27 tot +226 per ton CO<sub>2</sub> (maatschappelijke kosten, bij prijzen van 2000). Een database waarin vooral maatregelen uit demonstratietoepassingen zijn meegenomen komt tot kosten van € 350 per ton CO<sub>2</sub>. [Boonekamp et al., 2004, p. 15] meldt hierover het volgende: 'De reductiekosten voor huishoudens blijken relatief hoog te zijn; dit is een gevolg van de verplichte besparingsmaatregelen voor nieuwbouw die onrendabel waren en dus positieve reductiekosten veroorzaken. Ook voor de introductie van de EPN waren de reductiekosten bij woningbouw (...) al relatief hoog. Voor de dienstensectoren worden relatief gunstige kosteneffectiviteiten gevonden, mede dankzij de relatief hoge energieprijzen in deze sectoren.'

#### 3.4.5 Internationale en maatschappelijke context

De bijdrage van deze sector aan de mondiale energiegerelateerde CO<sub>2</sub>-uitstoot bedroeg 31% in 1995, met een jaarlijkse emissiegroei van 1,8% sinds 1971. Deze groei is hoger dan die van het totale mondiale energiegebruik over dezelfde periode. De hoogste groei vond plaats van bij utiliteitsgebouwen (3%) [IPCC, 2001a]. Dit komt volgens het IPCC vooral door de toename in het comfortniveau dat door verbruikers gevraagd wordt.

Er bestaat mondiaal een grote variëteit aan technische reductiemogelijkheden in deze sector. Veel verschillende opties zijn in de afgelopen jaren al gerealiseerd, maar er blijft een groot aantal zeer kosteneffectieve maatregelen over dat tot 2010 nog geïmplementeerd kan worden. Die opties liggen vooral in ontwikkelingslanden, maar ook in de OECD en EIT-landen zijn er nog veel mogelijkheden voor emissiereductie die grotere netto opbrengsten hebben dan kosten. Belemmeringen voor deze opties bij ontwikkelde landen liggen volgens IPCC onder andere in de marktstructuur die efficiencyverbeteringen onvoldoende beloont, verkeerde prikkels en gebrek aan informatie.

Op Europees niveau worden geen aparte cijfers bijgehouden voor de sector gebouwde omgeving, zodat ontwikkelingen hier moeilijk zijn te volgen.

## 3.5 Industrie

### Samenvatting sector industrie

**Doel 2010:** 112 Mton CO<sub>2</sub> voor de sectoren industrie én elektriciteitsvoorziening, oftewel een groei van bijna 17% ten opzichte van de CO<sub>2</sub>-emissies door deze sectoren in 1990.

**Emissies:** In 2002 bedroegen de emissies van de beide sectoren samen 104,7 Mton, een stijging van 9% ten opzichte van 1990. De emissie vormt hiermee 58% van de totale uitstoot van CO<sub>2</sub> in Nederland in 2002. Ten opzichte van alle broeikasgasemissies is dit aandeel 48%.

De sector industrie (incl. raffinaderijen) zelf emitteerde in 2002 49,6 Mton CO<sub>2</sub>, een daling van 8% ten opzichte van 1990. De sector is hiermee verantwoordelijk voor 28% van de totale uitstoot van CO<sub>2</sub> in Nederland in dat jaar. Het aandeel in het totaal van broeikasgassen in Nederland is 23%.

**Kosten:** De nationale kosteneffectiviteit varieert van +1 €/ton CO<sub>2</sub> tot -33 €/ton CO<sub>2</sub> (situatie in 2000).

#### Internationale en maatschappelijke context:

Op EU niveau zijn de emissies van broeikasgassen door de industrie met 8,8% gedaald. Dit is onder andere een gevolg van structurele veranderingen richting een minder energie-intensieve productie en investeringen in energie-efficiency maatregelen.

### 3.5.1 Doelstellingen

In 2010 is de streefwaarde met betrekking tot CO<sub>2</sub>-emissies voor de sectoren industrie en elektriciteitsvoorziening samen 112 Mton CO<sub>2</sub> [TK, 28240/4, 2004]. Er is geen aparte streefwaarde voor de sector industrie vastgesteld. Verantwoordelijk departement voor het behalen van de streefwaarde is EZ [TK, 28240/4, 2004].

### 3.5.2 Maatregelen en instrumenten

Het instrumentarium voor de industrie was de afgelopen jaren met name gericht op energie. Een voorbeeld is de MJA. In deze Meer Jaren Afspraken staat de verbetering van de energie-efficiency van bedrijven centraal. Het gaat hierbij om relatieve besparingen: energiebesparing per eenheid product. Ook het benchmarkconvenant is gericht op relatieve besparingen, maar dan op het niveau van installaties van bedrijven. Dit convenant is met name bedoeld voor de grote, energie-intensieve bedrijven. Een overzicht van de verschillende instrumenten is weergegeven in tabel 16.





tabel 16 Overzicht beleidsinstrumenten met betrekking tot de sector Industrie

Type instrument	Instrument
Directe regulering	Voorschriften in de milieuvergunning
Vrijwillige overeenkomsten	Convenant Benchmarking
	MJA1
	MJA2
	Kolenconvenant
Communicatief	
Fiscaal en financieel	REB (Regulerende Energie Belasting)
	EIA (Energie Investeringsaftrek)
	VAMIL (Regeling willekeurige afschrijving milieu-investeringen)
	Subsidies, o.a. voor restwarmtebenutting
	MIA (Milieu Investeringsaftrek)
Overig	Programma's met nieuwe thema's (energiezuinig productontwerp, duurzame bedrijventerreinen)

De REB die wordt genoemd in de tabel wordt opgelegd aan bijna alle elektriciteitsverbruikers in Nederland. Met dit instrument wordt het verbruik van energie uit milieubelastende bronnen meer belast dan energie uit schone bronnen en daarmee ontmoedigd. Hoe groter echter de hoeveelheid afgenomen elektriciteit, hoe lager de REB. In de praktijk betekent dit dat tot circa 15.000 kWh/jaar groene en grijze stroom even duur zijn. Daarboven zal de prijs voor groene energie hoger zijn dan grijze energie, doordat de REB-heffing per kWh per jaar navenant minder wordt. Boven een verbruik van 10 miljoen kWh wordt geen REB meer geheven.

Momenteel vindt een voorzichtige verschuiving plaats naar sturing op broeikasgassen zoals CO<sub>2</sub>. In de nieuwe ronde Meer Jaren Afspraken zijn zogenaamde verbredingsthema's opgenomen. Hiermee wordt bijvoorbeeld het toepassen van duurzame energie voor bedrijven interessant. Ook het indirecte energieverbruik van producten heeft binnen de tweede ronde Meer Jaren Afspraken Energie Efficiëntie (MJA2) een plaats gekregen.

### 3.5.3 Effecten

In 1990 bedroeg de CO<sub>2</sub>-emissie van de sector industrie (incl. raffinaderijen) 54 Mton. In 2002 was dit 49,6 Mton, dus in de periode 1990-2002 heeft een daling plaatsgevonden van 8%. De sector was in 2002 verantwoordelijk voor 28% van de totale uitstoot van CO<sub>2</sub> in Nederland. Het aandeel van de sector in het totaal van broeikasgasemissies was in 2002 23% [RIVM, 2004].

### Resultaten MJA

Per 1 januari 2003 nemen 869 bedrijven deel aan het MJA convenant. Hiervan behoren 269 bedrijven tot de MJA1 en 600 tot de MJA2-bedrijven. Dit aantal groeit jaarlijks [MJA Resultaten 2002]. Het totale energiegebruik van de betrokken sectoren is in 2002 139,3 PJ. Dit is circa 12% van het totale energiegebruik van de Nederlandse industrie en diensten.

Uit de resultaten van 2002 blijkt dat de industriële sectoren in de afgelopen jaren nagenoeg allemaal de energie-efficiency hebben verbeterd. De ambities voor duurzame energie en besparing in de bedrijfsketen zijn hoog. De effecten blijven echter doorgaans nog beperkt omdat efficiëncymaatregelen in die richting meestal recentelijk zijn opgestart. Hoopgevend is dat de eerste projecten toch al resultaat laten zien. Het gewogen gemiddelde van de gerealiseerde besparingen in de industriële sectoren laat een efficiencyverbetering zien van 10,2%. Het absolute energieverbruik is echter gestegen van 70,0 PJ in het referentiejaar 1998 tot 72,4 PJ in 2002.

Andere effecten die in dit kader relevant zijn om te noemen, zijn de verschillende beleidswijzigingen die zijn doorgevoerd nadat de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid is verschenen. In het Belastingplan 2004 is voorgesteld het verlaagde tarief voor groene stroom in twee stappen af te schaffen. Daartegenover staat dat de MEP vergoedingen voor in Nederland geproduceerde duurzame elektriciteit zullen worden verhoogd (zie ook *sector elektriciteitsvoorziening*). Ook wordt de REB per 1-1-2005 verhoogd.

Verder is de lijst ten behoeve van de Energie Investerings Aftrek (EIA) aangepast en is het energiedeel uit de Vervroegde Afschrijving Milieu-investeringen (VAMIL)-regeling geschrapt.

Het totale effect, inclusief de beleidswijzigingen in de sector elektriciteitsvoorziening, is een reductie van 2 Mton CO<sub>2</sub> [TK, 28240/4, 2004].

### 3.5.4 Kosten

In [Boonekamp et al., 2004] is de kosteneffectiviteit van emissiereductie berekend voor de situatie in 2000. Hieruit blijkt dat de nationale kosteneffectiviteit redelijk gunstig is. Deze varieert van -33 €/ton CO<sub>2</sub> tot +1 €/ton CO<sub>2</sub> (situatie in 2000).

De projecten binnen het CO<sub>2</sub>-reductieplan zijn wat duurder dan de EIA maatregelen (Energie Investerings Aftrek). Reden hiervoor is dat het binnen het CO<sub>2</sub>-reductieplan gaat om nieuwe technieken en bij de EIA om standaard besparingsmaatregelen. Aan de andere kant is voor nieuwe technieken ook meer subsidie beschikbaar, waardoor de kosteneffectiviteit voor de eindgebruikers soms anders uitvalt.

De effecten van het Pijplijnbeleid (het reeds geplande, maar nog niet ten uitvoer gebrachte beleid) en de klimaatmaatregelen in het Strategisch Akkoord zijn eveneens geraamd. De nationale kosteneffectiviteit hiervan voor de periode 2001-2010 is gemiddeld 5 €/ton CO<sub>2</sub> per jaar.



### 3.5.5 Internationale en maatschappelijke context

Op EU niveau zijn de emissies van broeikasgassen door de industrie met 8,8% gedaald. Dit is onder andere een gevolg van structurele veranderingen die zijn doorgevoerd richting een minder energie-intensieve productie. Daarnaast zijn investeringen gedaan in energie-efficiency maatregelen.

## 3.6 Elektriciteitsvoorziening

### Samenvatting sector elektriciteitsvoorziening

**Doel 2010:** 112 Mton CO<sub>2</sub> voor de sectoren industrie én elektriciteitsvoorziening, oftewel een groei van bijna 17% ten opzichte van de CO<sub>2</sub>-emissies door deze sectoren in 1990.

**Emissies:** In 2002 bedroegen de emissies van de beide sectoren samen 104,7 Mton, een stijging van 9% ten opzichte van 1990. De emissie vormt hiermee 58% van de totale uitstoot van CO<sub>2</sub> in Nederland in 2002. Ten opzichte van alle broeikasgasemissies is dit aandeel 48%.

De sector elektriciteitsvoorziening zelf emitteerde 53,4 Mton CO<sub>2</sub> in 2002, een stijging van bijna 30% ten opzichte van 1990. De sector is hiermee verantwoordelijk voor 30% van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot in Nederland in dat jaar. Het aandeel in het totaal van broeikasgassen in Nederland is 25%.

**Kosten:** De nationale kosteneffectiviteit varieert van -17 €/ton CO<sub>2</sub> tot -57 €/ton CO<sub>2</sub> (2000).

### Internationale en maatschappelijke context:

In de EU zijn de emissies van broeikasgassen met 9% gedaald, terwijl de energievraag met 23% is gestegen. Oorzaken zijn: overstap van kolen naar gas (met name in Duitsland en Engeland), toename van de efficiëntie van conventionele centrales en een toename van nucleaire en hernieuwbare bronnen.

Verder vormt ook in de Europese Unie de voorzieningszekerheid een punt van aandacht. Zie bijvoorbeeld de nieuwe EU-electriciteitsrichtlijn.

### 3.6.1 Doelstellingen

In 2010 is de streefwaarde met betrekking tot CO<sub>2</sub>-emissies voor de sectoren industrie en elektriciteitsvoorziening samen 112 Mton CO<sub>2</sub> [TK, 28240/4, 2004]. Er is geen aparte streefwaarde voor de sector elektriciteitsvoorziening vastgesteld. Verantwoordelijk departement voor het behalen van de streefwaarde is EZ [TK, 28240/4, 2004].

### 3.6.2 Maatregelen en instrumenten

In tabel 17 wordt een overzicht gegeven van de beleidsinstrumenten voor het klimaatbeleid in de elektriciteitsvoorziening die in Nederland de afgelopen jaren zijn, of worden, ingezet.

tabel 17 Overzicht beleidsinstrumenten en effecten met betrekking tot de sector Elektriciteitsvoorziening

Type instrument	Instrument
Directe regulering	Convenant Benchmarking
	Kolenconvenant
Vrijwillige overeenkomsten	BLOW convenant windenergie
Communicatief	
Fiscaal en financieel	Milieu kwaliteit Energie Productie (MEP) (opvolger REB)
	Energie Premie Regeling
Overig	

Bron: Boonekamp et al., 2003; TK 28240/2

#### Voorzienings- en leveringszekerheid

De elektriciteitsvoorziening in Nederland bevindt zich - mede op grond van regelgeving van de Europese Unie - in een proces van privatisering en liberalisering. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is de voorzienings- en leveringszekerheid. De overheid wil situaties zoals in Californië, met structurele uitval van de energielevering, voorkomen. Om die reden houdt het Ministerie van Economische Zaken zich actief bezig met het vormgeven van beleid ten aanzien hiervan.

TenneT, de landelijke netbeheerder, ontwikkelt in dit kader concreet instrumentarium. Het gaat hierbij om een monitoringssysteem en een beoordelingssystematiek die moeten aangeven hoe het met de leveringszekerheid is gesteld [[www.tennet.nl/procedures/betrouwbaarheid](http://www.tennet.nl/procedures/betrouwbaarheid)]. Daarnaast heeft ECN recent onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van een monitoringssysteem voor de voorzieningszekerheid [Van Werven et al., 2004].

#### Duurzame energie

De rijksoverheid heeft zich tot doel gesteld om in 2020 in 10% van de energiebehoefte van Nederland op een duurzame wijze te voorzien. Voor zover noodzakelijk binnen de situatie van een geliberaliseerde markt worden hiervoor specifieke stimuleringsmaatregelen ingezet. Een voorbeeld is de fiscale stimulering voor afnemers van duurzame elektriciteit. Inmiddels zijn mede hierdoor veel klanten, naar schatting meer dan 30% van de Nederlandse huishoudens, overgestapt op 'groene stroom'.

De overheid heeft in 2001 aangegeven prioriteit te geven aan duurzame energieopties die de grootste bijdrage aan de doelstelling kunnen leveren. Volgens het ministerie zijn dat vooral wind op zee en biomassa. Om ervoor te zorgen dat de duurzame energie in Nederland wordt opgewekt, in plaats van grote hoeveelheden te importeren uit het buitenland, stimuleert het kabinet het investeringsklimaat voor windenergieopwekking. Hierdoor zou het mogelijk moeten worden om in 2020 de doelstelling van een totaal opwekkingsvermogen van 7.500 Megawatt (MW) te bereiken.



Om investeerders in duurzame elektriciteit meer zekerheid te geven over de financiële bijdrage van de overheid is de nieuwe stimuleringsregeling MEP ingevoerd. Daarnaast wordt ook gewerkt aan het scheppen van bestuurlijke en ruimtelijke mogelijkheden voor duurzame energie, waardoor het makkelijker wordt om duurzame elektriciteitsprojecten te realiseren.

Van andere duurzame opties, zoals zonneboilers en zonnecellen, wordt pas na 2020 een substantiële bijdrage verwacht. Dit betekent dat deze bronnen geen specifieke steun meer zullen krijgen: zo zullen de afspraken voor de marktintroductie van genoemde bronnen, 'mede in verband met hun geringe effectiviteit', niet worden voortgezet.

Tenslotte heeft het kabinet in het Hoofdlijnenakkoord verwoord dat de kerncentrale Borssele pas zal worden gesloten wanneer de technische ontwerplevensduur (ultimo 2013) geëindigd is. Onder andere naar aanleiding van dit besluit is de discussie over kernenergie weer hoger op de agenda gekomen. Tot nu toe wordt dit echter niet als wenselijke optie voor de toekomstige energievoorziening gezien [Boonekamp, 2003; Slingerland et al., 2004].

### 3.6.3 Effecten

In 1990 bedroeg de CO<sub>2</sub>-emissie van de sector energie 41,2 Mton. In 2002 was dit 53,4 Mton, dus in de periode 1990-2002 heeft een stijging plaatsgevonden van bijna 30%. De sector was in 2002 verantwoordelijk voor 30% van de totale uitstoot van CO<sub>2</sub> in Nederland. Het aandeel van de sector in het totaal van broeikasgasemissies was in 2002 25% [RIVM, 2004].

De toename van de CO<sub>2</sub>-emissies zijn met name een gevolg van een hogere elektriciteitsproductie. Import van elektriciteit is sinds 1999 sterk gestegen als gevolg van de liberalisering van de elektriciteitsmarkt. In de CO<sub>2</sub>-emissies is hierdoor een trendbreuk zichtbaar [TK, 27442, 2000-2001].

Sinds het verschijnen van de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid zijn enige beleidswijzigingen doorgevoerd die effect hebben op de emissies van de sector elektriciteitsvoorziening. De kerncentrale van Borssele is niet gesloten per 1-1-2004, maar zal open blijven tot in ieder geval 2013. Verder is stimulators voor de productie en het verbruik van duurzame energie vanuit de Regulerende Energiebelasting (REB) omgebouwd naar de nieuwe regeling Milieukwaliteit Elektriciteitsproductie (MEP).

Het totale effect, inclusief de beleidswijzigingen in de sector industrie, is een reductie van 2 Mton CO<sub>2</sub> [TK, 28240/4, 2004].

### 3.6.4 Kosten

In [Boonekamp et al., 2004] is ook voor de elektriciteitssector de kosteneffectiviteit van emissiereductie berekend voor de situatie in 2000. Hierbij valt op dat de kosteneffectiviteit voor deze sector over het algemeen beter scoort dan die van de sector industrie. Dit wordt mede veroorzaakt door het hanteren van een relatief lage rentevoet voor de destijds nog nutsbedrijven in de elektriciteitssector.

Voor raffinaderijen, die ook onder deze sector vallen, is de kosteneffectiviteit vergelijkbaar met die van de industrie. De nationale kosteneffectiviteit varieert van -17 €/ton CO<sub>2</sub> tot -57 €/ton CO<sub>2</sub> (situatie in 2000).

Ook voor de energiesector zijn de effecten van het Pijplijnbeleid en de klimaatmaatregelen in het Strategisch Akkoord geraamd. De nationale kosteneffectiviteit is voor de periode 2001-2010 gemiddeld -13 €/ton CO<sub>2</sub> per jaar.

### **3.6.5 Internationale en maatschappelijke context**

In de EU zijn de emissies van broeikasgassen met 9% gedaald, terwijl de energievraag met 23% is gestegen. Hiervoor kunnen drie redenen worden aangegeven. Ten eerste is op relatief grote schaal overgestapt van kolen naar gas voor het opwekken van elektriciteit. In Duitsland zijn bijvoorbeeld kolen- en bruinkoolcentrales gesloten. Zonder deze Duitse inbreng zou de emissieontwikkeling van de EU een stijgende lijn vertonen [EEA, 2003].

Naast deze ontwikkeling is de efficiëntie van conventionele centrales (verder) toegenomen. Tot slot is een toename van nucleaire en hernieuwbare bronnen waarneembaar [EEA, 2003].

Verder vormt ook in de Europese Unie de voorzieningszekerheid een punt van aandacht. In dat kader is inmiddels in de nieuwe EU-elektriciteitsrichtlijn een specifiek op monitoring gericht artikel opgenomen dat lidstaten verplicht tot nationaal gericht toezicht op de voorzieningszekerheid. De richtlijn schrijft voor dat de lidstaten periodiek (elke twee jaar) aan de EU moeten rapporteren over de bevindingen die de monitoring heeft opgeleverd [EC, 2003].



## 3.7 Land- en tuinbouw

### Samenvatting sector land- en tuinbouw

**Doel 2010:** 7 Mton CO<sub>2</sub> is het doel voor de sector land- en tuinbouw, dat is 2,8 Mton minder dan in 1990 (-29%).

**Emissies:** In 2002 bedroegen de CO<sub>2</sub>-emissies voor de sector land- en tuinbouw 7,3 Mton CO<sub>2</sub>, oftewel 26% minder is dan in 1990. Dit is het gevolg van beleid in met name de glastuinbouw.

De land- en tuinbouwsector was in 2002 verantwoordelijk voor 4% van de totale CO<sub>2</sub>-emissies in Nederland. Het aandeel in het totaal aan broeikasgassen in Nederland was in 2002 3%.

De sector levert echter wel een relatief grote bijdrage aan de emissie van het gedeelte overige broeikasgassen. Van de 37 Mton CO<sub>2</sub>-eq die in 2002 totaal werd uitgestoten was 15 Mton afkomstig van de land- en tuinbouw. In 1990 was dit 19 Mton. De reducties voor methaan en lachgas zijn voor het overgrote deel het gevolg van inkrimping van de veestapel, een autonome ontwikkeling los van klimaatbeleid.

**Kosten:** De nationale kosteneffectiviteit varieert van: -34 tot +81 €/ton.

### Internationale en maatschappelijke context:

De emissiereducties van overige broeikasgassen (niet-CO<sub>2</sub>) zijn vergelijkbaar met die voor Europa als geheel en zijn ook voornamelijk het gevolg van Europees landbouwbeleid.

### 3.7.1 Doelstellingen

Voor 2010 is de doelstelling voor de sector land- en tuinbouw voor wat betreft CO<sub>2</sub> 7 Mton. Verder levert de land- en tuinbouw een relatief grote bijdrage aan de emissie van overige broeikasgassen. De doelstelling voor het totaal over alle sectoren voor de overige broeikasgassen is gesteld op 33 Mton CO<sub>2</sub>-eq. In 1990 was het aandeel van de land- en tuinbouw in de overige broeikasgassen 19 Mton CO<sub>2</sub>-eq, tegenover 15 Mton CO<sub>2</sub>-eq in 2002.

### 3.7.2 Maatregelen en instrumenten

In tabel 18 wordt een overzicht gegeven van de beleidsinstrumenten voor het klimaatbeleid in de land- en tuinbouw die in Nederland de afgelopen jaren zijn, of worden, ingezet.



tabel 18 Overzicht beleidsinstrumenten en effecten met betrekking tot de sector land- en tuinbouw

Type instrument	Instrument
Directe regulering	AMvB Glastuinbouw
Vrijwillige overeenkomsten	Convenant Glastuinbouw en Milieu
Communicatief	
Fiscaal en financieel	Energie Investerings Aftrek (EIA)
	Milieukwaliteit Energie Productie (MEP)
Overig	

Bron: Boonekamp et al., 2003; TK 28240/2

Een belangrijk emissiereductie potentieel in de land- en tuinbouw betreft het energieverbruik in de glastuinbouw. In het Convenant Glastuinbouw en Milieu 1995 - 2010 (GLAMI) zijn afspraken gemaakt om de milieubelasting vanuit de glastuinbouw, waaronder broeikasgasemissies terug te dringen. Deze milieudoelen zijn vertaald naar individuele bedrijfsnormen en hebben een wettelijk kader gekregen door de AMvB Glastuinbouw (2002). Deze bevatten onder meer doelen en middelvoorschriften, die voor de verschillende teeltsectoren of gewasgroepen een doelstelling aangeven, afhankelijk van o.a. de stand der techniek. Daarin wordt beoogd een energie efficiency slag te maken van 65% in 2010 (ten opzichte van 1980, of nog 40% ten opzichte van 2000), het primair brandstofverbruik per m<sup>2</sup> jaarlijks te laten dalen met minimaal 1,5 - 2%, en te streven naar een toename van het aandeel in te zetten duurzame energie naar minimaal 4%.

Daarnaast zijn de belangrijkste instrumenten die onder EIA en MEP waarmee vooral de (verdere) introductie van de warmte kracht koppeling in de glastuinbouw gestimuleerd wordt.

De glastuinbouw gaat meedraaien in het emissiehandel systeem. In het recent gereedgekomen Allocatieplan CO<sub>2</sub>-emissierechten 2005 t/m 2007 wordt aan een drietal glastuinbouwbedrijven een emissierecht van 99,8 kton CO<sub>2</sub> per jaar verleend wat 1% is van de totaal gealloceerde emissierechten.

### 3.7.3 Effecten

In 2002 bedroegen de CO<sub>2</sub>-emissies voor de sector land- en tuinbouw 7,3 Mton-CO<sub>2</sub>, oftewel 26% minder dan in 1990. Dit is het gevolg van beleid in met name de glastuinbouw.

De land- en tuinbouwsector was in 2002 verantwoordelijk voor 4% van de totale CO<sub>2</sub>-emissies in Nederland. Het aandeel in het totaal aan broeikasgassen in Nederland was in 2002 3%.

De sector levert echter wel een relatief grote bijdrage aan de emissie van het gedeelte overige broeikasgassen. Van de 37 Mton CO<sub>2</sub>-eq die in 2002 totaal werd uitgestoten was 15 Mton afkomstig van de land- en tuinbouw. In 1990 was dit 19 Mton. De reducties voor methaan en lachgas zijn voor het overgrote deel het gevolg van inkrimping van de veestapel, een autonome ontwikkeling los van klimaatbeleid, en een enigszins verbeterde mestopslag. Lachgas emissies stegen tot 1995 ten gevolge van het anders toedienen van mest. Injectie van mest



(in plaats van sproeien) moest de ammoniakbelasting van het milieu (verzuring) terugdringen. Dit ging echter gepaard met een hogere lachgasuitstoot. Sinds 1996 daalt de lachgasemissie vooral ten gevolge van verminderd kunstmestgebruik.

### 3.7.4 Kosten

De nationale kosteneffectiviteit varieert van -34 tot +81 €/ton, zie tabel 19 [Boonekamp et al., 2004].

tabel 19 Kosteneffectiviteit emissiereductie land- en tuinbouw

	Prijzen nationaal (€/ton CO <sub>2</sub> )	
	1995	2000
Bron		
EIA	-11	-34
CRP	+81	+60

Bron: Boonekamp et al., 2004

### 3.7.5 Internationale en maatschappelijke context

De emissiereducties voor methaan zijn voor de EU van de zelfde grote orde als voor Nederland. Ook de reden van daling is hetzelfde: afnemende veestapel en verminderd mestgebruik. Voor lachgas rapporteert de EU een grotere reductie dan Nederland. Mestinjectie is een praktijk om een vooral in Nederland groot ammoniakprobleem op te lossen, maar speelt in andere landen aanmerkelijk minder.

## 3.8 Conclusie

Klimaatbeleid raakt aan een groot aantal andere beleidsterreinen. Daardoor kan er synergie ontstaan, maar ook een negatieve wederzijdse beïnvloeding. Het terugdringen van emissies kan zowel voor het klimaatbeleid als voor de volksgezondheid goed zijn. En klimaatbeleid kan innovaties uitlokken die de productiviteit van de industrie verbeteren, en daardoor bijdragen aan de doelstellingen van het innovatiebeleid.

Tijdens de afgelopen periode zijn diverse maatregelen in de energiehuishouding gestimuleerd die zowel bijdragen aan verlaging van de CO<sub>2</sub>-emissie als aan de reductie van verzurende emissies. Het gaat dan om maatregelen die de efficiency bevorderen en om benutting van hernieuwbare energiebronnen. Maatregelen op basis van JI en CDM hebben dit voordeel voor de Nederlandse samenleving niet. Door sommige partijen wordt gepleit voor het integraal afwegen door de overheid van de voordelen op de verschillende beleidsterreinen (voorzieningszekerheid, klimaatbeleid, verzuringsbeleid, bereikbaarheid, e.d.). Daar staan weer anderen tegenover die juist pleiten voor sturing op doelen vanuit elk beleidsterrein, waarmee burgers en bedrijven hun optimale keuzes kunnen maken. Het gaat hierbij om een keuze voor de wijze van sturen door de overheid.

Het Nederlandse klimaatbeleid lijkt tot op heden de aantrekkelijkheid van Nederland als vestigingsland niet te hebben aangetast. Studies suggereren dat concurreren

rentienadelen en verplaatsingseffecten in de eerste Kyoto-periode beperkt zijn. Maar hoe strenger het beleid, des te groter de invloed op de concurrentiepositie. Als de balans negatief uitslaat, zou het klimaatbeleid gecompenseerd moeten worden door andere factoren. De concurrentiepositie van een land is immers niet alleen afhankelijk van de prijs van emissies, maar ook van bijvoorbeeld de infrastructuur, belastingdruk, opleidingsniveau van de bevolking, nabijheid van afzetmarkten en grondstoffenvoorziening. Wanneer Nederland een eigenstandig klimaatbeleid zou willen voeren, dan zou de verslechtering van de concurrentiepositie die dit teweegbrengt gecompenseerd kunnen worden door een verbetering van andere factoren. Dit zal echter niet mogelijk zijn zonder welvaartsverlies mogelijk zijn.

Het huidige mitigatiebeleid kenmerkt zich door een groot aantal min of meer losstaande maatregelen. De kosteneffectiviteit van de maatregelen loopt sterk uiteen. Terwijl veel maatregelen in de industrie per saldo geld opleveren, lopen de kosten in de gebouwde omgeving sterk op. Er is in de toekomst veel ruimte om de kosteneffectiviteit van het mitigatiebeleid te verbeteren.

De introductie, verandering en afschaffing van beleidsmaatregelen heeft de investeringsbereidheid van de particuliere sector ondermijnd. Mitigatiebeleid kan meer steun ondervinden vanuit de particuliere sector wanneer het beleid stabiel is, zodat kosten en baten vooraf goed ingeschat kunnen worden.

Het binnenlandse mitigatiebeleid is tot nu toe voornamelijk gebaseerd op het terugbrengen van de uitstoot van niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen. Die blijkt goedkoper en makkelijker te zijn dan de reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie. De grenzen van dit beleid komen echter in zicht. Maatregelen om de uitstoot van niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen verder terug te brengen worden steeds duurder. Het toekomstige klimaatbeleid zal zich daarom meer moeten richten op het terugdringen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Dit kan ingrijpende gevolgen hebben voor de energiehuishouding. Het betekent echter niet dat vanuit klimaatoverwegingen bepaalde technieken verboden zouden moeten worden, de investeerders zullen alleen moeten beseffen dat klimaatemissies een toenemende prijs zullen krijgen.



## 4 Toekomstig klimaatbeleid

### 4.1 Inleiding en leeswijzer

Het klimaatbeleid is nog lang niet af. Zelfs wanneer het Kyoto-protocol in werking zou treden, is een enorme stijging van de temperatuur haast onafwendbaar. Het Protocol brengt daarvoor onvoldoende reducties teweeg en bovendien heeft het alleen betrekking op de periode tot 2012. Ook daarna zal de uitstoot van broeikasgassen en andere factoren moeten worden beperkt om de klimaatverandering in toom te houden. Het Kyoto-protocol schrijft voor dat in 2005 de onderhandelingen over klimaatbeleid na 2012 moeten beginnen. Ook het feit dat de VS en ontwikkelingslanden momenteel buiten het klimaatbeleid staan, terwijl mitigatiebeleid noodzakelijk is, maakt een spoedige ronde van internationale onderhandelingen over klimaatbeleid noodzakelijk. Nederland dient zijn standpunt daarover nu reeds te bepalen.

Dit standpunt is afhankelijk van een **viertal fundamentele keuzes**. Wij hebben hier voor elke keuze de overwegingen aangegeven die een rol spelen bij de beslissing. Met die fundamentele keuzes hangt een aantal prangende kwesties samen die bepalend zijn voor het bereiken van een effectief en efficiënt klimaatbeleid. Wij hebben **negen prangende kwesties** geïdentificeerd. Voor elke kwestie bespreken wij de beleidsopties en belangrijke factoren die van invloed zijn voor de keuze van deze oplossingsrichtingen. Voor ieder van de beleidsopties is helder gemaakt wanneer het om nationale beleid gaat en wanneer inzet vereist is in EU of mondiaal verband, bijvoorbeeld via diplomatie.

#### Leeswijzer

De opbouw van dit hoofdstuk volgt bovenstaande insteek. Paragraaf 4.2 bespreekt de vier fundamentele keuzes die aan het klimaatbeleid vooraf gaan. Het gaat bijvoorbeeld om de voor- en nadelen van adaptatie- en mitigatiebeleid, over het niveau van de beleidsformulering en -uitvoering en over het type maatregelen. In paragraaf 4.3 wordt aandacht besteed aan reductiemogelijkheden per sector. Paragraaf 4.4 geeft de kosten weer van het klimaatbeleid rekening houdend met verschillende wijzen van aansturing door de overheid. In paragraaf 4.5 beschrijven we een aantal prangende kwesties die de formulering en uitvoering van een goed klimaatbeleid in de weg staan. In de paragrafen 4.6 tot en met 4.9 worden de beleidskeuzes en de bijbehorende kwesties verder uitgewerkt.

### 4.2 Vier fundamentele keuzes voor het klimaat

Het publieke debat over klimaatbeleid spitst zich vaak toe op technieken die ondersteund zouden moeten worden of maatregelen die genomen zouden moeten worden. Het gaat dan bijvoorbeeld over de wenselijkheid van een omschakeling op een 'waterstofeconomie' of over de inzet van kernenergie om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen [Hoogenraad, 2004; Slingerland et al., 2004]. Deze vraagstukken zijn echter pas aan de orde als een aantal fundamentele keuzes over klimaatbeleid zijn gemaakt. Vanuit de fundamentele keuzes volgt in een aantal gevallen het antwoord op de praktische vragen. In andere gevallen

blijkt dat het antwoord niet door de politiek gegeven hoeft te worden, maar aan de markt kan worden overgelaten.

Aan het klimaatbeleid liggen vier fundamentele keuzes ten grondslag:

- 1 **Welke verhouding tussen adaptatie en mitigatie is wenselijk?**
- 2 **Op welke schaalniveaus het klimaatbeleid gevoerd moet worden?**
- 3 **Hoe kan de overheid optimaal sturen?**
- 4 **Welke maatregelen zijn te prefereren?**

De fundamentele keuzes verdelen de internationale gemeenschap. De VS denken bijvoorbeeld heel anders over de wenselijkheid van een fors mitigatiebeleid dan de EU [<http://www.whitehouse.gov>, 2002]. Sommige ontwikkelingslanden vinden dat de geïndustrialiseerde landen als eerste mitigatiebeleid moeten voeren, en dat zij pas in een later stadium hoeven mee te doen [Ott et al., 2003]. Op die manier vormen de fundamentele keuzes ook struikelblokken van het internationale klimaatbeleid, zoals dat bijvoorbeeld binnen de UNFCCC wordt geformuleerd. Nederland doet er goed aan om zijn standpunten te bepalen, om actief bij te kunnen dragen aan de formulering van het internationale beleid.

In de praktijk kunnen de vier fundamentele keuzes niet van elkaar worden gescheiden. Ze werken op elkaar in en een bepaalde keuze op het ene niveau beperkt de keuzevrijheid op andere niveaus. De analyse is echter helderder als de keuzes los van elkaar beschouwd worden. De rest van deze paragraaf is gewijd aan de vier fundamentele keuzes en hun gevolgen voor de inhoud, de effectiviteit en de gevolgen van het klimaatbeleid.

#### 4.2.1 **De eerste keuze: Welke verhouding tussen adaptatie en mitigatie?**

De eerste keuze die gemaakt moet worden, is of uitsluitend de negatieve gevolgen van klimaatverandering bestreden worden of dat een poging gedaan wordt om de klimaatverandering te beperken. Het eerste is adaptatiebeleid, het tweede mitigatiebeleid. Het is mogelijk om het klimaatbeleid volledig te grondvesten op adaptatiebeleid. In dat geval hoeft er nu geen mitigatiebeleid gevoerd te worden. Een beleid dat volledig gebaseerd is op mitigatiebeleid en alle effecten van het versterkte broeikas effect teniet doet, is echter niet meer mogelijk. De concentratie broeikasgassen in de atmosfeer is al zo sterk gestegen, dat enige klimaatverandering onafwendbaar is. Klimaatbeleid zal dus altijd ten dele bestaan uit adaptatiebeleid.

De mate waarin mitigatiebeleid wordt gevoerd heeft gevolgen voor de klimaatrisico's die huidige en toekomstige generaties lopen.

##### **Adaptatiebeleid**

Adaptatiebeleid bestrijdt de negatieve gevolgen van klimaatverandering door bijvoorbeeld dijken op te hogen, afwatering te verbeteren, en irrigatiesystemen aan te leggen. Adaptatiebeleid kan pas worden gevoerd op het moment dat de effecten van klimaatverandering optreden, zoals zichtbaar is gemaakt in figuur 19. Dat betekent dat de kosten niet ver voor de baten uitgaan, zoals bij mitigatiebeleid.





figuur 19 De Rhône gletsjer in 1930 (links) en 2001 (rechts). De verschillen zijn een gevolg van opwarming



Bron: Sammlung Gesellschaft für ökologische Forschung e.V

Adaptatiebeleid heeft een aantal voordelen. Het eerste is al genoemd: de baten treden op kort nadat de kosten gedragen zijn. Daardoor kan eenvoudig een afweging worden gemaakt of de kosten tegen de baten opwegen.

Het tweede voordeel vloeit voort uit het eerste. De grootste kosten voor het adaptatiebeleid hoeven pas in de toekomst genomen te worden, soms pas in de verre toekomst. Daardoor komt er nu geld vrij voor andere maatschappelijke doelen.

Het derde voordeel is dat adaptatiebeleid minder onzekerheden kent dan mitigatiebeleid. Het adaptatiebeleid richt zich immers op de gevolgen van het klimaatbeleid, dus wanneer er adaptatiebeleid gevoerd wordt, zijn de gevolgen duidelijk.

Tegenover de voordelen van adaptatiebeleid staat een aantal nadelen. Er is een aanzienlijk risico dat de gevolgen van de klimaatverandering zo ingrijpend zullen zijn, dat adaptatie nauwelijks meer mogelijk is, of alleen tegen exorbitant hoge kosten. Om een voorbeeld te noemen: wanneer de zeespiegel zo sterk stijgt dat een groot deel van Bangladesh onbewoonbaar wordt, zouden de kosten van herhuisvesting van de verdreven Bengalezen hoog oplopen. In het geval dat de stijgende zeespiegel bewoonde eilanden onder water zet, zijn die eilanden niet meer terug te winnen. Er kan wel land worden ingepolderd, maar dat zal nooit dezelfde natuurwaarde hebben als de verdronken eilanden.

Een ander nadeel van volledig vertrouwen op adaptatiebeleid is dat de opbouw van broeikasgassen in de atmosfeer onverminderd doorgaat. Als in de toekomst zou blijken dat een beperking van de broeikasgassen nodig is, zou de uitstoot in korte tijd enorm moeten worden teruggebracht om hetzelfde niveau te bereiken dat nu met kleine beperkingen van de uitstoot kan worden bereikt. Dat betekent ook dat de kosten van toekomstig mitigatiebeleid veel hoger zullen zijn dan de kosten van een mitigatiebeleid dat vandaag wordt ingezet. De Verenigde Staten proberen aan dit gevaar te ontsnappen door een klimaatbeleid te voeren waarbij niet de absolute emissies worden teruggebracht, maar de emissie-intensiteit van de economie: de uitstoot van broeikasgassen moet dalen per eenheid van het BBP [<http://www.whitehouse.gov>, 2002]. Een dergelijke aanpak is volgens velen echter niet voldoende om de klimaatschade te beperken [PEW, 2002; Lyon, 2003].

Voor Nederland zou een volledig op adaptatie gebaseerd klimaatbeleid als nadeel hebben dat het de toekomstige concurrentiepositie ernstig zou verslechteren. Nederland heeft als laagliggend land met grote rivieren bovengemiddeld veel last van een stijging van de zeespiegel. Het zal in de toekomst hoge kosten moeten maken om de waterhuishouding op orde te houden. Veel andere West-Europese landen hebben deze kosten niet, of in veel mindere mate. De financiering van de adaptatiemaatregelen zou in Nederland veel zwaarder drukken op de publieke middelen dan in andere landen, wat de aantrekkelijkheid van Nederland als vestigingsplaats zou schaden.

Verschillende laaggelegen ontwikkelingslanden hebben soortgelijke problemen. Maar deze problemen zijn ernstiger doordat ze op kortere termijn kunnen optreden en doordat de landen minder middelen hebben om adaptatiemaatregelen te nemen. De meest kwetsbare landen zijn de laaggelegen kustlanden en eilanden. Een zeespiegelstijging kan voor deze landen leiden tot grote sociale en economische problemen. Dit kan hun ontwikkelingsmogelijkheden verder beperken, of een reden zijn voor substantiële overdrachten van ontwikkelde landen.

In tabel 20 worden de voor- en nadelen samengevat van het volledig vertrouwen op adaptatiebeleid.

tabel 20 De voor- en nadelen van volledig vertrouwen op adaptatiebeleid

Voordelen	Nadelen
Goede afweging van kosten en baten mogelijk	Risico op onafwendbare gevolgen van klimaatverandering
Maakt nu geld vrij voor andere maatschappelijke doelen	Mitigatiebeleid in de toekomst is moeilijker
Later minder onzekerheden	Grote kosten voor laagliggende landen aan zee





## Mitigatiebeleid

Mitigatiebeleid, het alternatief voor adaptatiebeleid, beperkt de menselijke bijdrage aan de klimaatverandering door onder andere de uitstoot van broeikasgassen te beperken. Het is preventief in de zin dat het toekomstige negatieve gevolgen van klimaatverandering tempert. Dat betekent dat de kosten van mitigatiebeleid nu gedragen worden, terwijl de baten pas veel later vrijkomen. Bovendien zullen de baten waarschijnlijk nauwelijks worden opgemerkt, omdat ze bestaan uit vermeden kosten van adaptatie.

Er is veel discussie over de vraag of de kosten van mitigatiebeleid opwegen tegen de baten. Verschillende economen die hebben meegewerkt met het Copenhagen Consensusproject stellen bijvoorbeeld dat de kosten niet opwegen tegen de baten [Cline, 2004]. Het grote probleem bij de afweging van kosten en baten is het grote tijdsinterval tussen die twee. De bestaande rekenmethodes om tijdsintervallen te verdisconteren zijn niet goed toepasbaar wanneer de baten enkele eeuwen later optreden dan de kosten [Davidson, 2004]. Andere rekenmethoden geven wel een positief saldo van kosten en baten (zie ook paragraaf 4.4).

Het grote voordeel van mitigatiebeleid is dat de klimaatverandering er tot op zekere hoogte mee voorkomen kan worden. Enige klimaatverandering is echter onafwendbaar, gelet op de broeikasgassen die sinds de industriële revolutie (en ook al daarvoor) door menselijk handelen in de atmosfeer zijn gebracht [German Advisory Council on Global Change, 2003]. Mitigatie kan dus niet geheel in de plaats van adaptatie komen. Wel kunnen de kosten en de nadelen van adaptatie hiermee worden beperkt.

De voordelen van mitigatie zijn afhankelijk van het ambitieniveau. Een hoge doelstelling (bijvoorbeeld een temperatuurstijging van minder dan 2°C) kan ernstige klimaatproblemen voorkomen [German Advisory Council on Global Change, 2003]. Deze doelstelling vraagt echter om ingrijpende maatregelen [UNFCCC, 2003e]. Een minder ambitieuze doelstelling is makkelijker te bereiken, maar leidt mogelijk tot ernstiger schade.

Mitigatiebeleid beperkt de uitstoot van broeikasgassen en andere factoren die het versterkte broeikaseffect veroorzaken. Dit resulteert in veranderingen in relatieve factorprijzen. Energie uit fossiele bronnen wordt bijvoorbeeld relatief duurder. Hierdoor treden er structuurveranderingen op in de economie. Energie-intensieve sectoren komen onder druk te staan, terwijl energie-extensieve sectoren meer kansen krijgen om te groeien. Structuurveranderingen roepen op de korte termijn altijd weerstand op bij de sectoren die het meest lijden onder de hogere factorprijzen. Bovendien kunnen structuurveranderingen op de korte termijn leiden tot werkloosheid, als bijvoorbeeld energie-intensieve sectoren geconcentreerd zijn in andere regio's dan energie-extensieve sectoren, of als energie-extensieve bedrijven andere eisen stellen aan hun werknemers dan energie-intensieve bedrijven. Op de langere termijn hoeven structuurveranderingen echter geen negatieve invloed te hebben op de economie. De precieze invloed hangt af van de aard van de structuurverandering.

De voor- en nadelen van mitigatiebeleid staan samengevat in tabel 21.

tabel 21 De voor- en nadelen van mitigatiebeleid

Voordelen	Nadelen
Kan ernstige klimaatschade voorkomen	Brengt structuurveranderingen teweeg die maatschappelijke weerstand kunnen oproepen
	Kosten worden nu gedragen, terwijl de baten pas in de verre toekomst optreden
Afweging van kosten en baten is nog onzeker	

### Is er overheidsbeleid nodig om te mitigeren?

De afgelopen jaren is in veel geïndustrialiseerde landen een ont koppeling opgetreden: de uitstoot van broeikasgassen groeit minder snel dan de economie. Ongetwijfeld is dit ten dele te danken aan overheidsbeleid, maar het is ook een gevolg van autonome technische ontwikkelingen. Voor bedrijven zijn energie en grondstoffen immers een kostenpost, en het terugdringen hiervan draagt bij aan de winst. Investerings in emissiearme technologie kunnen daarom rendabel zijn. Dit roept de vraag op of de doelstellingen van het mitigatiebeleid bereikt kunnen worden zonder overheidsingrijpen. Is de autonome technische ontwikkeling voldoende om klimaatschade te voorkomen? En helpt een hoge olieprijs daarbij?

Om met de eerste vraag te beginnen, het is onwaarschijnlijk dat autonome technische ontwikkelingen voldoende zijn om een vermindering van de totale uitstoot van broeikasgassen teweeg te brengen. De VS hebben becijferd dat technologie daar in de komende jaren de emissie-intensiteit van de economie met 14% zal verminderen [<http://www.whitehouse.gov>, 2002]. Met andere woorden, als de economie niet groeit, neemt de uitstoot van broeikasgassen met 14% af. Echter, omdat de economie wel groeit, neemt de totale uitstoot toe, en daarmee ook de klimaatschade [PEW, 2002].

Een hoge olieprijs maakt meer investeringen in energiebesparing rendabel. Prijsstijgingen in het verleden hebben aantoonbaar geleid tot verbeteringen van de energie-efficiëntie van de productie [Jaffe et al., 2000]. Hogere olieprijsen hebben echter ook tot gevolg dat meer oliebronnen winstgevend kunnen worden geëxploiteerd, waardoor na verloop van tijd het aanbod stijgt en de prijs weer daalt. Bovendien hebben hoge olieprijsen een negatief effect op de economische groei, waardoor de vraag naar olie afneemt en de prijs daalt [IEA, 2004]. Al deze factoren leiden ertoe dat het effect van hogere olieprijsen meestal niet lang duurt. De toename van de energie-efficiëntie is eenmalig en een nieuw evenwicht wordt vrij snel bereikt [Jaffe et al., 2000]. Alleen een aanhoudend stijgende olieprijs zou een steeds toenemende energie-efficiëntie kunnen teweegbrengen, maar een voortdurende prijsstijging is onwaarschijnlijk.

In het algemeen is het niet waarschijnlijk dat publieke goederen, zoals een goed klimaat, kunnen worden geproduceerd door private partijen. Iedereen profiteert van publieke goederen, ook diegenen die niet aan de totstandkoming hebben



bijgedragen. De private opbrengst van een investering in een publiek goed is daarom altijd kleiner dan de maatschappelijke opbrengst. Private partijen investeren daarom minder dan maatschappelijk optimaal is. Een collectieve investering kan echter wel renderen, wanneer tenminste het collectief zo groot is dat er geen of weinig *free riders* zijn. De overheid is de enige partij die dergelijke collectieve investeringen kan doen of afdwingen.

Bovendien blijkt vaak dat technische ontwikkelingen uitgelokt worden door overheidsbeleid [Jaffe et al., 2000]. Dit staat bekend als de Paradox van Potma, naar Theo Potma, oud-directeur van CE: *er is alleen een technische oplossing voor een probleem als de overheid veronderstelt dat de techniek geen oplossing biedt*. Een duidelijke illustratie van de Paradox van Potma is de ontwikkeling van rioolwaterzuivering in de jaren 1970. pas nadat de overheid duidelijke regels had opgesteld voor deze sector ontstonden nieuwe zuiveringstechnieken die zonder overheidsbeleid hoogstwaarschijnlijk niet tot stand zouden zijn gekomen [Rooijers et al., 1998].

### **Conclusie**

Mitigatiebeleid is niet zonder problemen, maar het lijkt minder nadelen te hebben dan een klimaatbeleid dat uitsluitend gebaseerd is op adaptatie. Van het laatste zijn de risico's voor Nederland zeer groot. De autonome technische ontwikkeling is onvoldoende om de doelen van het mitigatiebeleid te bereiken. Om de verdergaande klimaatverandering te temperen of te keren is daarom overheidsbeleid noodzakelijk.

#### **4.2.2 De tweede keuze: Op welke schaalniveaus moet het klimaatbeleid gevoerd worden?**

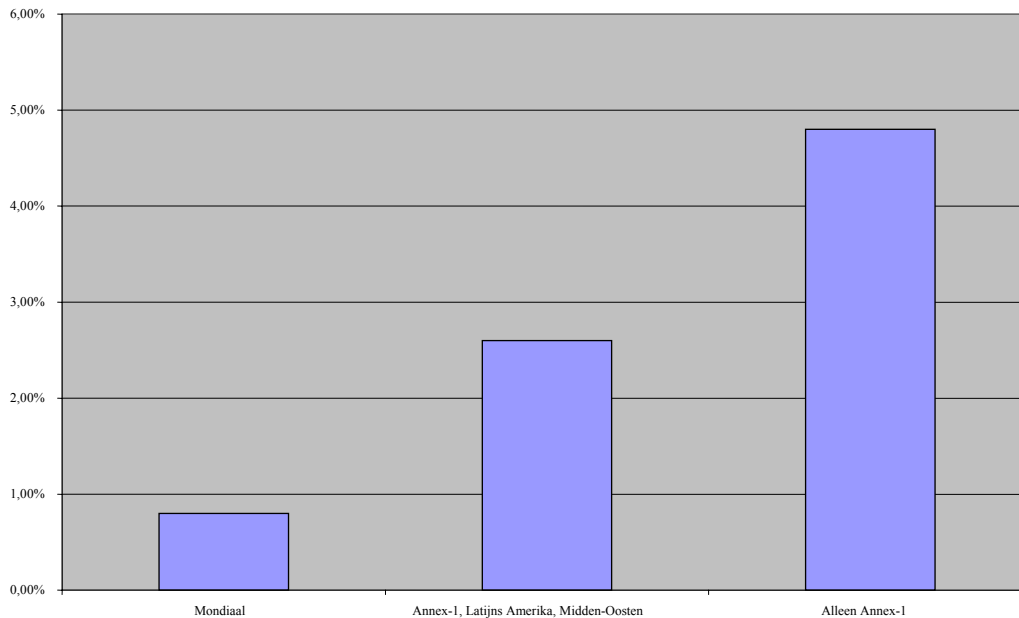
Het beleidskader voor het klimaatbeleid kan op nationaal, regionaal of mondiaal niveau worden vastgesteld. Het stelt de doelen van het klimaatbeleid, zowel in termen van klimaatverandering (bijvoorbeeld: maximaal 2°C temperatuurstijging), als in direct meetbare grootheden (bijvoorbeeld CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer). Het verdeelt ook de doelstellingen over landen of groepen van landen en definieert de manieren van internationale samenwerking. Het beleidskader hoeft niet noodzakelijkerwijs aan te geven hoe elk land zijn doelstellingen moet bereiken en welke beleidsinstrumenten het daarvoor moet gebruiken. Die afweging over beleidsinstrumenten komt in de volgende paragraaf aan bod.

De keuze van het niveau van het beleidskader heeft gevolgen voor de efficiëntie en de effectiviteit van het klimaatbeleid.

Een internationaal kader heeft als voordeel dat het beleidsniveau overeen komt met het niveau waarop het probleem zich voordoet; klimaatverandering is immers een mondiaal probleem. Hierdoor is een effectieve en efficiënte afstemming van doelen en middelen mogelijk. De reductie van emissies van broeikasgassen kan bijvoorbeeld in die landen, sectoren en bedrijven gebeuren die een technische achterstand hebben. Omdat hiervoor geen nieuwe technologie ontwikkeld hoeft te worden, is zo'n uitstootvermindering relatief goedkoop. In figuur 20 wordt duidelijk gemaakt hoe de kosten van klimaatbeleid afhangen van het niveau van het beleidskader [Bollen et al., 2004]. Een emissiereductie van 30% kost Nederland

in 2020 0,8% van het nationaal inkomen wanneer het beleid mondiaal wordt gevoerd, 2,6% wanneer Afrika en Azië niet meedoen en 4,8% wanneer alleen Annex-I landen een emissiereductie zouden doorvoeren.

figuur 20 Kosten klimaatbeleid voor Nederland nemen toe wanneer het aantal deelnemende landen afneemt



Bron: Bollen et al., 2004

De reden voor de grote verschillen in kosten, is dat er grote verschillen zijn in kosten die gemaakt moeten worden om uitstoot te verminderen. Landen met traditioneel hoge energieprijzen, zoals bijvoorbeeld Japan en de EU, hebben een relatief energie-efficiënte economie. Het verbruik van fossiele brandstoffen is daar relatief laag, waardoor ook de emissies per eenheid van het BBP laag zijn. Landen met lage energieprijzen daarentegen, zoals de VS of de OPEC landen, hebben veel minder prikkels ervaren om hun energie-efficiëntie te verbeteren. Dit heeft tot gevolg gehad dat ze per eenheid BBP veel broeikasgassen uitstoten. In die landen zijn tegen relatief lage kosten relatief grote uitstootreducties te verwezenlijken. Om een voorbeeld te geven, verschillende studies schatten dat de kosten van emissiereductie in de VS ongeveer de helft bedragen van de kosten in de EU [Fischer et al., 2003]. In landen als China, Zuid-Korea en India liggen de kosten nog lager.

Bij emissiehandel zal de prijs van emissierechten gelijk zijn aan de kosten die gemaakt moeten worden om uitstoot te vermijden. Naarmate er meer landen aan de handel meedoen die relatief goedkoop emissies kunnen vermijden, zal de prijs lager zijn.

Ook de kosten op wereldschaal zijn het laagst wanneer alle landen deelnemen: 0,3% van het wereldinkomen. De andere varianten kennen echter aanzienlijke



regionale verschillen. Bij een mondiaal beleidskader zijn de Annex-I landen en de landen in Azië en Afrika het best af. Een beleidskader voor Annex-I landen, Latijns Amerika en het Midden-Oosten is gunstig voor Latijns-Amerika en het Midden-Oosten. De laatste variant, waarin alleen Annex-I landen aan het klimaatbeleid deelnemen, is voor geen enkele groep landen de gunstigste variant, zie tabel 22.

tabel 22 Percentage verandering Nationaal Inkomen door klimaatbeleid

	Mondiaal beleid (%)	Annex-I, Latijns Amerika en Midden-Oosten (%)	Alleen Annex-I (%)
Annex-I	-0,6	-1,5	-2,2
Niet-Annex-I	+0,3	+0,8	+0,1
Latijns Amerika	-0,7	+0,7	-0,1
Midden-Oosten	-1,3	+5,7	-0,8
Rest	+0,8	+0,2	+0,3
Wereld	-0,3	-0,8	-1,5

Een mondiaal beleidskader verstoort het speelveld voor bedrijven veel minder dan een regionaal of nationaal kader. Het schept niet noodzakelijkerwijs een *level playing field*, maar de verstoringen zijn veel minder ernstig dan bij een beleidskader op een lager niveau. Hierdoor worden ook twee andere problemen ondervangen: er zijn minder *free riders* en het *weglekeffect* is kleiner. Free riders zijn landen die wel profiteren van het klimaatbeleid, maar zelf geen inspanningen leveren. Het weglekeffect is het effect dat als gevolg van verplaatsing van productie of lagere energieprijzen de uitstootvermindering afneemt [Aldy et al., 2003].

Door het verminderen of voorkomen van de weglekeffecten kan een mondiaal beleidskader effectiever zijn dan een nationaal of regionaal kader. Dit hoeft echter niet het geval te zijn. De onderhandelingen over het Kyoto-protocol hebben duidelijk aangetoond dat het veel moeite kost om voldoende partijen mee te krijgen. In de Marrakech akkoorden kregen Japan, Canada en Rusland bijvoorbeeld aanzienlijke tegemoetkomingen op het gebied van hun CO<sub>2</sub>-boekhouding, die de effectiviteit van het Kyoto-protocol verminderden. Het lijkt er dus op dat er een keuze gemaakt moet worden tussen forse mitigatie door enkele landen, of een veel minder ambitieuze mitigatie door veel landen. Bovendien hebben de onderhandelingen laten zien dat het erg veel tijd kost om een mondiaal klimaatbeleid te formuleren. De belangentegenstellingen zijn dusdanig, dat het erg moeilijk is om alle partijen bij een mondiaal beleidskader te betrekken.

### Conclusie

Het draagvlak voor klimaatbeleid hangt in hoge mate af van de mate waarin het *level playing field* gehandhaafd blijft. Dat kan alleen bij een mondiaal beleidskader, of tenminste een beleidskader waarin alle geïndustrialiseerde landen deelnemen, ook de geïndustrialiseerde ontwikkelingslanden zoals Zuid-Korea en



Mexico. Een mondiaal beleidskader is ook veel minder kostbaar dan klimaatbeleid op een lager niveau. Dus hoewel een mondiaal beleidskader nadelen kan hebben, zoals verwatering van de doelstellingen en moeilijke onderhandelingen, is het alternatief erg kostbaar.

#### 4.2.3 De derde keuze: Hoe kan de overheid optimaal sturen?

Een belangrijke vraag is hoe Nederland op optimale wijze kan sturen op het realiseren van de gestelde klimaatdoelstellingen? Optimaal betekent in dit opzicht dat het instrumentarium zodanig wordt vormgegeven dat een optimale afweging wordt gemaakt tussen criteria als kosteneffectiviteit, rechtvaardigheid en het principe 'de vervuiler betaalt', transactiekosten, technische haalbaarheid, handhaafbaarheid en inpassing in bestaand beleid. Mogelijke instrumenten zijn bijvoorbeeld voorlichting, overheidsvoorzieningen, subsidies, heffingen, verhandelbare emissierechten, retoursystemen, directe regulering en aansprakelijkheid. Er is een uitgebreide literatuur over de voor- en nadelen van de verschillende soorten instrumenten en de instrumentkeuze die hiermee voor specifieke gevallen samenhangt. Zie bijvoorbeeld [Bovenberg et al., 1991; WRR, 1992; Bekkers et al., 1996]. In het kader van deze studie zullen we deze bevindingen niet herhalen. Wel zullen we hieronder een aantal algemene noties geven die bijdragen aan optimale sturing. In paragraaf 4.3 wordt vervolgens ingegaan op nieuwe concrete opties binnen de sectoren Verkeer, Gebouwde omgeving, Elektriciteit en Industrie. In paragraaf 4.8 wordt een overzicht van concrete opties voor nieuwe generieke beleidsinstrumenten of verbeteringen van bestaande generieke instrumenten voorgesteld die sectoroverstijgend zijn.



### Marktconforme instrumenten en (directe) regulering

Twee belangrijke instrumenten bij de keuze voor concrete instrumenten zijn marktgebaseerde instrumenten en instrumenten die bestaan uit voorschriften en toezicht. De laatste noemen we verder regulering. Markten en regulering kunnen gericht zijn op doelen van het klimaatbeleid, zoals CO<sub>2</sub>-uitstoot, of op middelen waarmee klimaatbeleid wordt uitgevoerd. In tabel 23 worden voorbeelden gegeven van de verschillende instrumenten.

tabel 23 Voorbeelden van instrumenten voor klimaatbeleid

	Sturen op doelen	Sturen op middelen
Marktinstrumenten	CO <sub>2</sub> -emissiehandel concessiesysteem	Subsidie duurzame energie
Regulering	Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC)	Verplichting HR-ketel

#### *Regulering*

Regulering heeft twee voordelen. In de eerste plaats is het een duidelijk instrument. Nadat de regels zijn vastgesteld, weten alle belanghebbenden waar ze aan toe zijn. Bedrijven kunnen zich aanpassen aan de nieuwe regels en vervolgens overgaan tot de orde van de dag. In de tweede plaats kan regulering rekening houden met bijzondere omstandigheden. Wanneer bijvoorbeeld een sector die veel broeikasgassen uitstoot zeer geavanceerd is op milieugebied, terwijl een andere sector achterloopt maar wel minder gassen uitstoot, kan met regulering eenvoudig een grotere emissievermindering worden opgelegd aan de laatste sector, terwijl de eerste sector wordt ontzien. Ook kan regulering bepaalde strategisch geachte sectoren in de luwte houden.

Tegenover de twee voordelen van regulering staan echter ook nadelen. Regulering is star. Wanneer een bepaalde technologie is voorgeschreven, en er wordt elders een betere technologie ontwikkeld, kost het tijd om de regelgeving aan te passen. Bovendien zullen de nieuwe regels weerstand oproepen, omdat bedrijven hebben geïnvesteerd in de voorgeschreven technologie. Een ander nadeel van regulering is dat het bedrijven geen vrijheid biedt om voor andere manieren van uitstootvermindering te kiezen, die misschien even goed of beter werken in de specifieke omstandigheden van een bepaald bedrijf. Ook stelt de overheid zich tijdens het voorbereiden van de regelgeving bloot aan beïnvloeding door het bedrijfsleven. Het is een bekend gegeven dat juist bedrijven in wegwijnde sectoren, met een verouderde technologie, de meeste prikkels hebben om de overheid te beïnvloeden [Baldwin et al., 2002].

Een belangrijk nadeel van regulering is dat het de innovatieve activiteit van bedrijven niet richt op het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen, maar op het terugdringen van de kosten van de voorgeschreven maatregelen. Ervaringen met beleid om de uitstoot van zwaveldioxide terug te brengen in de VS laten dat duidelijk zien [Popp, 2001].

De mate waarin regulering innovatie stuurt, is afhankelijk van het type regulering. Een voortschrijdende doelstelling kan de negatieve invloed op innovatie tempe-

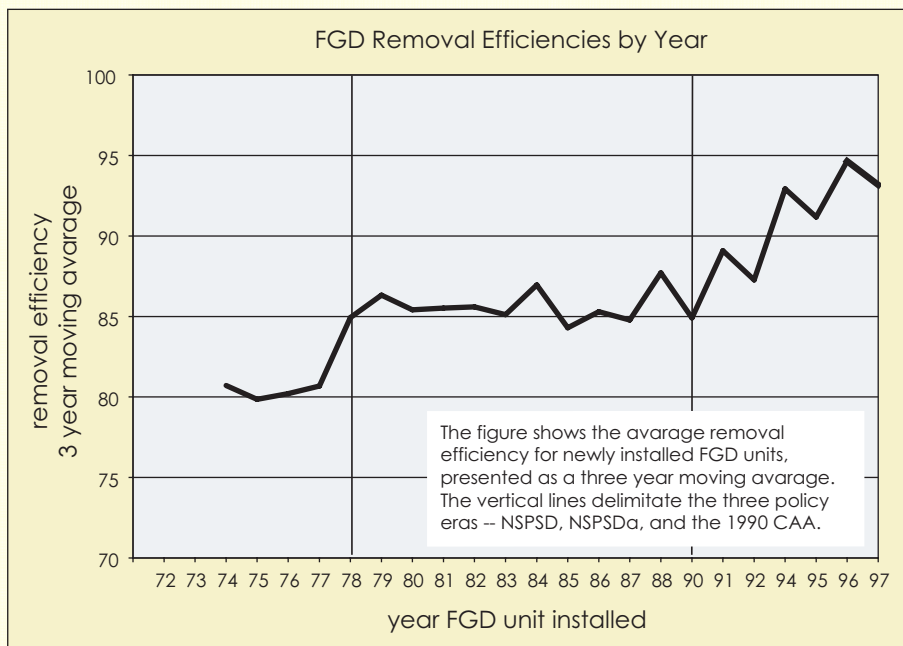


ren. En wanneer de regulering stuurt op middelen, kunnen de betrokken partijen voldoende vrijheid hebben om creatieve oplossingen te vinden om aan de eisen te voldoen.

#### Zwaveloxide-uitstoot in de VS

De Clean Air Act van 1970 schreef voor dat nieuwe kolengestookte elektriciteitscentrales de beste beschikbare technologie van rookgasreiniging moesten toepassen. In 1978 werden de eisen verscherpt: rookgasreinigers moesten 90% van de SO<sub>2</sub>-uitstoot filteren. In de jaren 1990 werd in een paar stappen een systeem van handelbare emissierechten ingevoerd. Gedurende de twaalf jaar dat de 90%-norm gold, bleef de uitstoot ongeveer gelijk. Daarna nam de uitstoot snel af. De uitgaven voor R&D en innovatieactiviteiten bleven gedurende de gehele periode op ongeveer hetzelfde niveau. Alleen tijdens het reguleringstijdperk waren de innovaties gericht op het terugdringen van de kosten van de rookgasreiniging, en vanaf de invoering van de emissiehandel op het terugdringen van de uitstoot.

Het gedrag van de Amerikaanse elektriciteitsmaatschappijen is goed te verklaren. Zij innoveren om hun winstmarge te vergroten. Omdat er tijdens de regulering geen winst valt te behalen uit meer dan 90% uitstootvermindering, richten ze hun innovatieve activiteiten op het zo efficiënt mogelijk bereiken van die norm. Wanneer echter elke uitstoot geld kost, zoals tijdens de emissiehandel, dan loont het om de technologie van rookgasreiniging verder te ontwikkelen, of om over te stappen op kolen met een laag zwavelgehalte.



Bron: National Bureau of Economic Research, 2001

#### Marktgebaseerde instrumenten

Voorbeelden van marktconforme of economische instrumenten zijn energie- of koolstofheffingen en handelbare emissierechten. Het voorbeeld van de zwaveloxide-uitstoot in de VS laat direct een van de voordelen van marktconforme instrumenten zien. Ze bevorderen innovatie die het klimaat ten goede komt. Het is een bekend gegeven dat innovatie gericht is op factoren die relatief in prijs zijn gestegen [Hicks, 1932]. Als de prijs van uitstoot van broeikasgassen stijgt, dan zullen innovaties gericht zijn op het beperken van de uitstoot. Bovendien bieden



marktmechanismen bedrijven een aanzienlijke vrijheid om die innovatie vorm te geven. Verschillende bedrijven zullen verschillende oplossingen vinden en zo bijdragen aan de technische vooruitgang. Dit effect treedt op bij elk type marktmechanisme, of het nu een uitstootbelasting of emissiehandel is. Het verband tussen marktgebaseerde instrumenten en innovatie is niet alleen theoretisch onderbouwd, het is ook empirisch vastgesteld [Popp, 2001].

### **Sturen op doelen of op middelen?**

Sturen op middelen heeft als voordeel dat het duidelijkheid schept voor de betrokken partijen. Wellicht is dit de reden waarom veel klimaatbeleid en voorgenomen klimaatbeleid stuurt op technieken (biodiesel, warmte-krachtkoppeling, wind- en zonne-energie).

Het nadeel van sturen op middelen is dat het de creativiteit wegneemt en daardoor de kosten van klimaatbeleid laat toenemen. Naarmate de regulering preciezer voorschrijft welke oplossingen moeten worden gekozen voor een bepaald probleem, zijn er minder prikkels om nieuwe, en wellicht betere oplossingen te ontwikkelen.

In het algemeen is het daarom beter dat de overheid kiest voor sturing op doelen (minder CO<sub>2</sub>-uitstoot) in plaats van sturen op specifieke technieken [Platform Markt & Milieu, 2003]. De overheid moet bijvoorbeeld niet de elektrische auto of biobrandstoffen fiscaal stimuleren, maar ze moet alle auto's die aan bepaalde milieurandvoorwaarden voldoen ondersteunen. Dit geeft fabrikanten en automobilisten de maximale vrijheid om de geschikteste technische oplossing te vinden en voorkomt dat de overheid op het verkeerde paard wedt [Bleijenberg, 1998].

De overheid beperkt zich in deze visie dus tot het stellen van randvoorwaarden en kiest de instrumenten die daarbij passen. Hiermee wordt aan de creativiteit van de markt overgelaten welke concrete middelen worden gekozen om de doelen te bereiken. Op deze manier worden zowel innovatie als kosteneffectiviteit gestimuleerd [Bezinningsgroep Energiebeleid, 2000]. Er zijn echter een aantal redenen waarom kan worden afgeweken van generieke instrumenten of juist aanvullende instrumenten nodig zijn.

- Ten eerste kan het voor de lange termijn nodig zijn om toch de fundamentele ontwikkeling van specifieke technieken te steunen zodat deze later ook daadwerkelijk tot beschikking komen van klimaatbeleid. Hierbij kan gedacht worden aan subsidies voor fundamenteel onderzoek of het opheffen van marktbelemmeringen.
- Specifieke sturing op middelen kan vanuit theoretisch oogpunt terecht zijn als dat gebeurt om marktimperfecties op te heffen. Die kunnen bijvoorbeeld liggen in hoge transactiekosten of gebrek aan informatie.
- Een derde reden voor afwijking van sturen op doelen met generieke instrumenten kan voortvloeien uit doelen van andere beleidsterreinen, zoals bijvoorbeeld energievoorzieningszekerheid. Het kan bijvoorbeeld zinvol zijn om toch de inzet van de specifieke energiebron biomassa te stimuleren omdat hiermee de energiemix wordt verbreed en de afhankelijkheid van olie-exporterende landen afneemt. Overigens dient steeds een integrale kosten/baten afweging te worden gemaakt. Het CPB heeft namelijk recent vast-

gesteld dat overheidsbeleid specifiek gericht op voorzieningszekerheid veelal niet kosteneffectief is [CPB, 2004a].

- Een vierde reden kan zijn het versterken van de Nederlandse economie. Bijvoorbeeld doordat Nederland een belangrijke exportpositie kan verwerven door de kennis en ontwikkeling van technieken die aansluiten bij Nederlandse comparatieve voordelen (zie verder paragraaf 4.8.3).

### **Kosten van controle en handhaving**

Bij de keuze tussen marktgebaseerde instrumenten en regulering spelen niet alleen de bovenstaande overwegingen een rol, maar ook de kosten van controle en handhaving. In sommige gevallen is moeilijk vast te stellen hoeveel een bepaald bedrijf vervuult. In het klimaatbeleid speelt dit vooral bij de niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen. In andere gevallen is een geconstateerde vervuiling niet te herleiden tot een bepaald bedrijf. In al die gevallen is controle, en daarmee ook handhaving, nauwelijks mogelijk. In die gevallen is het onmogelijk een goed functionerende markt te ontwerpen en kan beter worden teruggevallen op regulering. Het is ook denkbaar dat van bepaalde marktgebaseerde instrumenten de administratieve lasten dermate hoog zijn, dat regulering kosteneffectiever is. Meestal ligt dit aan de opzet van de markt, en kan een anders ingerichte markt wel beter zijn dan regulering. In enkele gevallen kan het echter zijn dat regulering kosteneffectiever kan worden ingezet dan marktgebaseerde instrumenten.

### **Conclusie**

De overheid dient bij voorkeur marktconforme instrumenten in te zetten voor het bereiken van klimaatdoelstellingen omdat in het algemeen de voordelen daarvan het grootst zijn. Echter specifieke situatietekarakteristieken kunnen maken dat andere sturingswijzen (kosten)effectiever zijn. Daarnaast is het beter dat de overheid kiest voor sturing op doelen (minder CO<sub>2</sub>-uitstoot) in plaats van sturen op specifieke technieken (zoals bijvoorbeeld de elektrische auto of biobrandstoffen). Dit geeft bedrijven de maximale vrijheid om de geschiktste technische oplossing te vinden en voorkomt dat de overheid op het verkeerde paard wedt. De overheid beperkt zich in deze visie dus tot het stellen van randvoorwaarden en kiest de instrumenten die daarbij passen. Hiermee wordt aan de creativiteit van de markt overgelaten welke concrete middelen worden gekozen om de doelen te bereiken. Op deze manier worden zowel innovatie als kosteneffectiviteit gestimuleerd.

#### **4.2.4 De vierde keuze: Welke maatregelen zijn te prefereren?**

De afgelopen decennia heeft de nationale en Europese overheid zich uitvoerig bezig gehouden met het stimuleren van concrete technieken. Voor vele technieken heeft SenterNovem een subsidieregeling (gehad) en heeft de EU richtlijnen opgesteld (WarmteKracht, biomassa, etc). Voor een intensivering van het klimaatbeleid is het de vraag of de overheid (zowel nationaal als Europees) deze lijn moet blijven volgen of dat volstaan moet worden met sturing op doelen (met marktconforme instrumenten en/of regulering). In paragraaf 4.3 zijn de verschillende maatregelen per sector benoemd. Indien gekozen wordt voor sturing per sector geeft het een beeld van de mogelijkheden en van de ermee samenhangende kosten, indien gekozen wordt voor sturing op doelen dan kan het worden



beschouwd als indicatie voor de maatregelen die de burgers en bedrijven kunnen treffen. Wel blijft er dan nog een rol voor de overheid voor het al dan niet accepteren van bepaalde maatregelen. Het gaat dan om de productielocaties voor hernieuwbare energie, het gaat om het toestaan van kerncentrales als middel om de CO<sub>2</sub>-doelen in de elektriciteitssector te realiseren en om het opslaan van CO<sub>2</sub> in aquifers. Op mondiale schaal zal in het systeem een uitspraak moeten worden gedaan over de waardering van bossen als definitieve oplossing voor CO<sub>2</sub>-reductie.

### 4.3 Reductiemogelijkheden per sector

De technische middelen zullen een belangrijke rol spelen bij het bereiken van een energiehuishouding die veel minder broeikasgassen emitteert. De groei van de economie zal, zeker mondiaal, verder gaan en leiden tot een groeiende (functionele) energievraag. Door efficiencyverbetering zal deze economische groei leiden tot een beperkte groei naar energiedragers (benzine, diesel, aardgas, elektriciteit e.d.) en daarmee naar verschillende energiebronnen (aardgas, kolen, olie, biomassa en andere hernieuwbare energiebronnen). De mix van deze energiebronnen en aanvullende technieken om de milieuschade te beperken bepalen uiteindelijk welke milieueffecten gepaard gaan met de groeiende economieën.

De afgelopen decennia waarin een drastische verandering in de energiehuishouding heeft plaatsgevonden door de massale inzet van efficiënte technieken heeft ook geleerd dat het relatieve energiegebruik sterk is afgenomen, maar dat er nog steeds sprake is van een absolute vraag naar allerlei energiebronnen. In de volgende fase van het milieubeleid, die gebaseerd zal moeten zijn op de inmiddels sterk geliberaliseerde energiesector, zal hier terdege rekening mee gehouden moeten worden. Sturing op technische oplossingen leidt niet tot een absolute daling van de milieubelasting. Er zal gestuurd moeten worden op de milieudoelen zonder onderscheid in de wijze waarop dat gebeurt, oftewel geen voorkeur van de overheid voor welke technische middelen ze dit het beste kunnen bereiken.

Als er keuzes gemaakt worden voor individuele maatregelen, dan is het van belang om verschillende richtingen op hoofdlijnen te onderkennen. Ook is van belang om sectoren ten opzichte van elkaar te vergelijken.

In elk van de 5 onderscheiden sectoren zijn vele maatregelen te treffen die de emissie van CO<sub>2</sub> beperken. We maken een onderscheid in maatregelen die de functionele vraag beperken, maatregelen die een efficiënt gebruik van energiedragers vergroten, maatregelen die zorgen voor een efficiënte productie van energiedragers en maatregelen die zorgen voor gebruik van energiebronnen die geen of weinig CO<sub>2</sub>-emissie veroorzaken.

In paragraaf 4.4 geven we een indicatie van de kosten van de verschillende maatregelen in de verschillende sectoren. De verwachting is dat de kosten verder zullen afnemen door technische ontwikkelingen als er forse doelen worden gesteld. Duidelijk is te zien dat er grote verschillen in kosten zijn tussen de diverse sectoren.

- Wat zijn de te verwachten kosten per economische sector?
- Wat zijn de meelifteffecten voor andere milieuaspecten?
- Wat zijn de te verwachten kosten voor JI en CDM maatregelen?

#### 4.3.1 Verkeer en vervoer

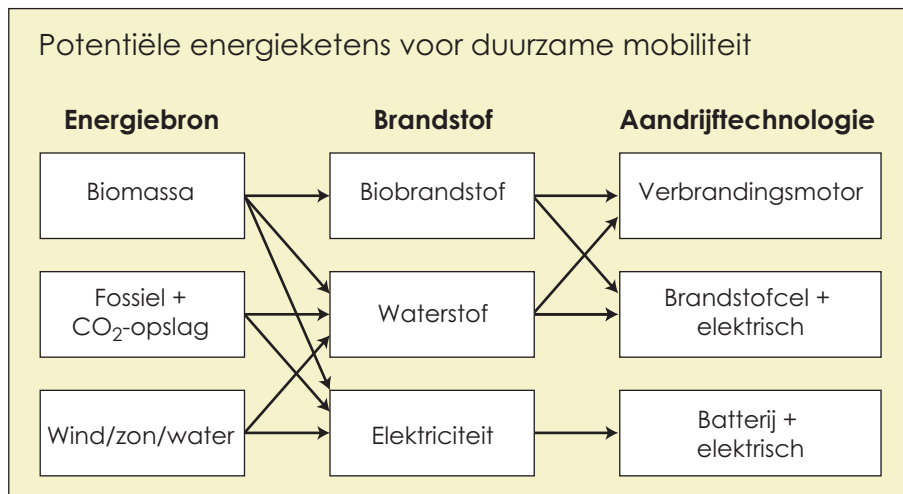
De CO<sub>2</sub>-emissies van de sector verkeer en vervoer zijn de afgelopen decennia gestaag gegroeid, en toekomstprognoses laten een voortzetting van deze trend zien – bij het huidige beleid. Ook het aandeel van de sector in de totale broeikasgasemissies stijgt, en zal in de toekomst nog verder groeien. In paragraaf 3.3 is uiteengezet dat deze gestage groei vooral een gevolg is van de toename van de automobiliteit en het goederenvervoer over de weg. De volumegroei is niet gecompenseerd door een evenredige daling van het brandstofverbruik per kilometer.

#### Mogelijkheden voor emissiereducties

Om deze trend te keren, biedt de sector verkeer een drietal aangrijpingspunten:

- verkeersvolume (aantal kilometers);
- energie-efficiency (benodigde energie per personen- of tonkilometer);
- energiebron (CO<sub>2</sub>-uitstoot per energie-eenheid).

figuur 21 Potentiële energieketens voor duurzame mobiliteit



Bron: RIVM, 2004

Volume- en efficiencybeleid zal in elk geval nodig zijn voor CO<sub>2</sub>-reductie, zolang duurzame energiebronnen nog schaars zijn. Om (op de lange termijn) verdere, significante emissiereducties te bereiken lijkt het daarnaast onvermijdelijk dat de huidige fossiele brandstoffen worden vervangen door duurzaam geproduceerde



brandstoffen. Misschien moet daarnaast ook van een ander aandrijfsysteem gebruik worden gemaakt. In figuur 21 staan de verschillende mogelijkheden hiervoor geschetst [RIVM, 2004].

Uit deze figuur blijkt dat hiervoor een aantal (zeer verschillende) routes mogelijk zijn. Het is op dit moment nog niet te zeggen welke van deze energieketens uiteindelijk het meest efficiënt, goedkoop en gebruiksvriendelijk zal zijn. Het is zelfs goed mogelijk dat in de toekomst meerdere routes nodig zijn. De verschillende technologieën zullen in elk geval nog verder ontwikkeld moeten worden voordat ze op een kosteneffectieve wijze kunnen concurreren met fossiele brandstoffen, of met andere, goedkopere maatregelen voor klimaatbeleid. Dit lijkt de grootste uitdaging waar het klimaatbeleid in de sector verkeer de komende decennia voor staat.

### **Klimaatbeleid in verkeer en vervoer**

Dit leidt tot de volgende strategie:

- Er moet een tweesporen beleid worden ingezet: het ene spoor wordt gericht op CO<sub>2</sub>-reductie op de korte tot middellange termijn (in lijn met Kyoto en eventueel post-Kyoto-doelstellingen), het andere spoor kijkt verder, naar het faciliteren en stimuleren van de lange termijn transitie naar duurzame mobiliteit. Deze twee sporen kunnen aan elkaar worden gekoppeld om de effectiviteit te vergroten: het korte termijn beleid kan een opmaat vormen voor de lange termijn strategie.
- Bij beleid voor CO<sub>2</sub>-reductie op de korte tot middellange termijn staan we voor de keuze of deze reductie al dan niet in de sector zelf moet plaatsvinden. Nadeel van reductie in de verkeerssector is dat dit grotendeels gepaard gaat met maatregelen die relatief duur zijn, in vergelijking met maatregelen in andere sectoren of in het buitenland. Voordeel is dat er dan ook in deze sector innovatie plaatsvindt die voor significante emissiereductie op de langere termijn nodig is.
- Voor de lange termijn transitie is enerzijds een andere energieketen nodig, anderzijds moet ook de energie-efficiency zoveel mogelijk worden verbeterd. Dit traject moet op tijd worden ingezet: als CO<sub>2</sub>-reductie in verkeer eenmaal urgent is moet de technologie klaarstaan.
- Hetzelfde geldt voor de beleidsontwikkeling: het internationale beleid waarmee op de lange termijn CO<sub>2</sub> effectief kan worden gereduceerd moet nu al worden ontwikkeld en opgezet.
- Beleid op internationaal niveau en afstemming tussen landen is daarbij van essentieel belang.

### **Internationale maatregelen**

De volgende maatregelen zien we als de meest belangrijke opties voor internationaal klimaatbeleid:

- Opnemen sector verkeer in CO<sub>2</sub>-emissiehandel  
De EU heeft aangekondigd deze mogelijkheid te gaan onderzoeken zodra ervaring is opgedaan met de emissiehandel in zijn huidige vorm [EC, 2003]. Voor de sector verkeer zou dit betekenen dat meest kosteneffectieve opties worden gestimuleerd, *mits* ze goedkoper zijn dan maatregelen in andere sec-

toren. Het systeem is uitermate flexibel: het stimuleert een breed scala aan CO<sub>2</sub>-reducerende oplossingen. Aangezien de meeste klimaatmaatregelen in verkeer duurder zijn dan in andere sectoren wordt verwacht dat deze maatregel relatief weinig CO<sub>2</sub>-reductie in de sector zelf tot gevolg zal hebben – het is dan goedkoper om emissierechten in te kopen [Dings et al., 2002].

- **Aanscherpen convenant met de auto-industrie/normering met handel**  
Het huidige convenant tussen de EU en de autofabrikanten om het gemiddelde brandstofverbruik van nieuw verkochte personenauto's te verlagen loopt in de periode 2008 - 2010 ten einde. Indien het een succesvol instrument blijkt te zijn ligt aanscherping ervan voor de hand. Een alternatief is om de gemiddelde uitstoot te normeren, met de mogelijkheid voor handel tussen autofabrikanten<sup>8</sup>.
- **Certificering biobrandstoffen**  
De komende jaren wordt een begin gemaakt met de introductie van biobrandstoffen in de verkeerssector. Om de ontwikkeling van kosteneffectievere en milieuvriendelijkere biobrandstoffen (de zogenaamde tweede generatie) te stimuleren, én om eisen t.a.v. de duurzaamheid van de teelt van de biomassa te kunnen stellen is het noodzakelijk om een Europese (of mondiale) certificering in het leven te roepen. Dit biedt een handvat om de verkoop van biobrandstoffen te beperken tot stromen die aan bepaalde eisen op gebied van milieu en sociale omstandigheden voldoen.
- **Beleid voor de luchtvaart en zeescheepvaart**  
De bijdrage van luchtvaart en zeescheepvaart aan de mondiale broeikasgasemissies groeit, maar valt niet onder de reductieverplichtingen zoals die zijn afgesproken in het Kyoto-verdrag.

Daarnaast zijn er de komende jaren een aantal Europese ontwikkelingen waar Nederland een bijdrage aan kan leveren met het oog op (efficiënt) klimaatbeleid. Voorbeelden zijn de aanpassing van de Eurovignetrichtlijn en de evaluaties van a) de voortgang van het CO<sub>2</sub>-convenant en b) de implementatie van de biobrandstoffenrichtlijn.

### **Nationale maatregelen**

De effectiviteit van dit internationale beleid kan worden versterkt door de volgende nationale beleidsmaatregelen:

- **Accijnsbeleid:**
  - verhoging van de brandstofaccijns, om de aanschaf van zuinige voertuigen én het zuinig gebruik te stimuleren;
  - accijnsreductie voor biobrandstoffen die voldoen aan duurzaamheidseisen.
- **Differentiatie van de Motorrijtuigenbelasting (MRB) en de Belasting van Personenauto's en Motorrijwielen (BPM) naar CO<sub>2</sub>-uitstoot.**

---

<sup>8</sup> In dit systeem verdienen autofabrikanten credits indien de door hun verkochte auto's onder de norm blijven. Deze credits kunnen ze vervolgens verkopen aan fabrikanten die boven de norm uitkomen.





- Gedifferentieerde kilometerheffing  
Een kilometerheffing heeft sowieso een volumereducerend effect omdat het *gebruik* van voertuigen duurder wordt<sup>9</sup>. De effectiviteit als klimaatmaatregel kan worden bevorderd door de tarieven te differentiëren naar brandstofverbruik.
- Snelheidsverlaging op snelwegen  
Het brandstofverbruik van een voertuig neemt af naarmate de snelheid afneemt.
- Stimulering ontwikkeling en marktintroductie van CO<sub>2</sub>-reducerende technologie.

### **Conclusies**

De CO<sub>2</sub>-uitstoot van de transportsector zal blijven toenemen zonder aanvullend beleid en vormt daarmee een steeds grotere belemmering voor het bereiken van verdergaande nationale reductie doelstellingen. Op basis van dit gegeven zou Nederland mede in EU-verband zich moeten inzetten voor de volgende specifieke instrumenten:

- vanuit economisch oogpunt is de meest optimale maatregel op de middellange termijn het opnemen van de sector verkeer in de Europese emissiehandel (ETS). De verwachting is dat er dan relatief weinig CO<sub>2</sub>-reductie in de sector zelf plaats vindt, de sector betaalt dan mee aan emissiereductie in andere sectoren;
- als ervoor wordt gekozen om de komende 10 tot 20 jaar ook in verkeer de CO<sub>2</sub>-uitstoot daadwerkelijk te reduceren zijn de meest effectieve instrumenten waarschijnlijk gericht op de reductie van het brandstofverbruik per voertuig, d.m.v. een aanscherping van het CO<sub>2</sub>-convenant of een verhandelbaar CO<sub>2</sub>-credit systeem voor fabrikanten van personenauto's;
- de effectiviteit van het internationale beleid kan worden versterkt door *nationale* (prijs)maatregelen zoals naar CO<sub>2</sub>-uitstoot gedifferentieerde heffingen.

#### **4.3.2 Gebouwde omgeving**

Het energiegebruik in de gebouwde omgeving is in de eerste helft van het decennia toegenomen en in de tweede helft weer verminderd. Het energiegebruik per m<sup>2</sup> woning en m<sup>2</sup> utiliteitsgebouw is sterk afgenomen. Daarentegen is de omvang van zowel de woningsector als de utiliteitssector sterk gestegen zodat het totale energiegebruik, en daarmee de CO<sub>2</sub>-emissie minder sterk is afgenomen. De CO<sub>2</sub>-emissie ligt nu 10% hoger (32,5 Mton) dan het niveau in 1990 (29 Mton). Het energiegebruik per woning zal gestaag blijven dalen omdat steeds woningen worden geïsoleerd bij renovatie en steeds zuinigere ketels worden geplaatst. Met name bij de bestaande bouw is nog een groot besparingspotentieel aanwezig. Met de toenemende vergrijzing en woningverdunning zal echter het totale energiegebruik van de woningbouw slechts in beperkte mate afnemen en zeker niet tot een verlaging van 30% of meer in 2030 leiden in deze sector. De kosten van de maatregelen nemen ook toe. Aanscherping van de EPC voor woningniewbouw zal ongeveer € 500 per vermeden ton CO<sub>2</sub>-kosten.

<sup>9</sup> Dit zegt overigens niets over de totale kosten van autobezit en -gebruik, bij variabilisatie zullen die voor een grote groep autobezitters dalen.

Ten gevolge van een verandering in de CO<sub>2</sub>-inhoud van een m<sup>3</sup> aardgas zal de komende decennia bij een gelijkblijvende hoeveelheid aardgas, de CO<sub>2</sub>-emissie met ongeveer 3 Mton per jaar toenemen. Deze verhoging is nog niet in de cijfers van het RIVM verwerkt.

### **Mogelijkheden voor emissiereductie**

In de gebouwde omgeving zijn drie soorten maatregelen te noemen voor CO<sub>2</sub> reductie, namelijk:

- 1 Isolatie en oriëntatie van de woning.
- 2 Efficiëntere installaties voor verwarming en ventilatie.
- 3 Duurzame(re) opwekking van de energiedragers.

#### **Ad 1**

Met name voor de bestaande bouw is nog een grote energiebesparing mogelijk door isolatie aan schil (dakisolatie aan buitenzijde, kruipruimte isolatie en dampremming, isolatie gevel); Voor de nieuwbouw is er een verschil te maken tussen woningbouw en utiliteit. Het potentieel voor woningen is vrij beperkt, omdat daarvoor al een vrij scherpe EPC geldt. Bij utiliteit zit daar meer ruimte (en zal deze ook tegen lagere maatschappelijke kosten gerealiseerd kunnen worden). Bij nieuwbouw kan ook besparingen worden gerealiseerd door integraal ontwerpen met optimale zonoriëntatie en betere benutting daglicht. De ervaring van de afgelopen decennia leren dat dit zeer moeilijk in de reguliere bouwstroom is in te passen.

#### **Ad 2**

Hierbij kan gedacht worden aan verdere toepassing van gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning; meer duurzame energietoepassingen (zonneboiler) en laag-calorische verwarming (warmtepomp in combinatie met micro WKK, als opvolging van HR-ketel).

#### **Ad 3**

Hierbij kan gedacht worden aan PV, wind en biomassa, maar ook aan het benutten van restwarmte. Het effect van PV op de woning is verdisconteert in de EPC. Lokale energieopwekking zoals wind en biomassa niet. Het effect daarvan kan worden berekend met de EPL.

Deze opties betekenen volgens COOL voor de emissies in 2050 het volgende [Berk et al., 2001a,b]:

- bij autonome ontwikkelingen (zonder aanvullende opties) kunnen de emissies met 10-25% dalen in 2050 ten opzichte van 1990 als gevolg van efficiëntieverbetering;
- indien optimaal gebruik wordt gemaakt van aanvullende reductiemogelijkheden binnen de woning zelf, nemen de emissies verder af tot 60-70% van de emissies in 1990;
- als daarnaast nog schone elektriciteit (CO<sub>2</sub>-vrij en duurzaam) via het net kan worden betrokken, is een verdere reductie mogelijk tot 80-90% van de emissies in 1990.



De -80% doelstelling voor deze sector is dus haalbaar volgens COOL. Zij het dat COOL geen kosten-effectiviteit beschouwt. Als de kosten een belangrijke rol spelen kan alleen door het gebruik van schone energiedragers (hernieuwbare energie en/of CO<sub>2</sub>-opslag) de CO<sub>2</sub>-emissie van de gebouwde omgeving nog fors omlaag.

### **Beleidsopties**

Voor de gebouwde omgeving zijn de volgende type instrumenten mogelijk, met ieder eigen voor en nadelen.

- **Energie efficiëntie richtlijnen voor gebouwen**  
In de afgelopen decennia is met het beleid sterk ingezet op betere energie-efficiëntie van nieuwe gebouwen aan de hand van de EPC normering. Nederland is dan ook wat betreft wetgeving voor energie-efficiëntie koploper in Europa. Verdere aanscherping is mogelijk en zal naar verwachting ook plaatsvinden. Omdat de schil van de woning al vrij goed is, moeten steeds betere installaties worden toegepast en meer duurzame energieopwekking om toch aan de normering te kunnen voldoen. Dit maakt de maatschappelijke kosten volgens marktpartijen hoog ten opzichte van maatregelen in de energievoorziening aan gebouwen. De kosten voor de overheid van deze optie is laag. Een nevenvoordeel van verdere aanscherping is dat het innovatie en marktintroductie van nieuwe technologieën vergroot.

Voor bestaande bouw is een berekeningsmethodiek voor energie efficiëntie beschikbaar (EPA), maar daarvoor geldt geen verplichte normstelling. Dit laatste wordt voor de bestaande bouw ook vrij onmogelijk geacht omdat het de eigenaar van het gebouw met teveel kosten belast. Echter omdat in de bestaande bouw nog wel een groot technisch besparingspotentieel aanwezig is, wordt wel gezocht naar mogelijkheden om dit potentieel te benutten. De nieuwe Europese richtlijn Energy Performance of Building Directive (EPBD) geeft daar een eerste aanzet voor. Deze richtlijn geeft aan dat bij de verhuur en de verkoop van een woning een energie-efficiëntie certificaat van de woning overhandigd moet worden. Dit certificaat kan aanleiding zijn voor koppeling aan ander besparingsbeleid (zoals OZB differentiatie, subsidies etc). In de maatschappelijke kosten voor dergelijk beleid is vooralsnog weinig inzicht.

- **Energie efficiëntie richtlijnen voor de locatie**  
Duurzame energieopwekking in gebouwde omgeving kent twee niveaus te weten: micro (gebouw) en mini (locatie) niveau. Momenteel wordt duurzame energieproductie op micro niveau gestimuleerd via de EPC / EPA en op mini-niveau via de EPL. Het voordeel van de EPL boven de EPC is dat meer mogelijkheden worden benut. Met de EPC blijft deze stimulering beperkt tot de mogelijkheden op of in het gebouw, terwijl met de EPL ook maatregelen gestimuleerd worden zijn als WKK, warmtepompen en benutting industriële restwarmte.
- **Algemene doelen voor duurzame energieopwekking / CO<sub>2</sub> emissiehandel**  
Bekijkt men de energievoorziening op regionaal of macro niveau dan komen nog meer opties in beeld zoals CO<sub>2</sub>-opslag (of andere vormen van schoon

fossiel), biomassa en off shore windparken. In de ideale situatie worden bij het aanleggen of aanpassen van een energievoorziening de mogelijkheden dus in een zo breed mogelijke context gezien. Als sectorgericht wordt gestuurd vallen deze mogelijkheden buiten de boot. Welke energievoorziening in welke situatie optimaal is, is niet algemeen voor alle situaties te zeggen. Vooralsnog liggen generieke instrumenten en het stellen van doelen dus meer voor de hand dan het sturen op middelen. Hierbij kan gedacht worden aan een verplicht percentage duurzame energieproductie [Rooijers, 2000] en deelname van de gebouwde omgeving in de CO<sub>2</sub>-emissiehandel.

### **Lock-in energie-infrastructuur**

In de gebouwde omgeving is er sprake van een lock-in in de verwarmingstechnologie: omdat verwarming hoofdzakelijk is gebaseerd op de verbranding van aardgas, en omdat woningen een lange tijd staan, is het moeilijk om andere vormen van verwarming toe te passen. Dit kan vanuit het klimaatbeleid wel wenselijk zijn. Stadsverwarming en andere verwarmingswijzen kunnen met veel minder emissies gepaard gaan dan verwarming door de verbranding van aardgas, omdat bij stadsverwarming gebruik kan worden gemaakt van bijvoorbeeld industriële restwarmte. Schone verwarmingswijzen kunnen ook goedkoper zijn, maar de kosten om van de huidige situatie in een andere te komen zijn enorm. In dit geval kan overheidsingrijpen noodzakelijk zijn.

Wanneer er duidelijk sprake is van een ongewenste lock-in kan de overheid de omschakeling naar een andere situatie bevorderen door de overschakeling naar de gewenste situatie te subsidiëren of door partijen op een andere manier te bewegen om te investeren in de nieuwe infrastructuur.

### **Conclusies**

Gestaag zal de isolatie van gebouwen en zuinige installaties voor verwarming en ventilatie doorgaan op basis van het huidige beleid. Aanvullend en vaak tegen lagere kosten kunnen schone energiedragers aan de gebouwen een forse CO<sub>2</sub>-reductie bewerkstelligen. Daarbij kan wel overheidsingrijpen nodig zijn om de verandering van de infrastructuur te bevorderen.

Vooralsnog is niet duidelijk welke type energievoorziening het beste scoort op deze punten. Het stellen van algemene doelen om een schone energievoorziening te realiseren geeft mogelijkheden voor lokale optimalisaties, hetgeen niet gebeurt door beleid dat stuurt op middelen. Voor het stimuleren van een duurzame energievoorziening wordt verwezen naar de instrumenten genoemd in paragraaf 4.9.1 (verplicht percentage duurzaam, etikettering, CO<sub>2</sub>-handel etc).

### **4.3.3 Industrie**

Voor het terugbrengen van de emissies van broeikasgassen veroorzaakt door de sector industrie bestaan verschillende mogelijkheden, namelijk:

- het verbeteren van de efficiency: het realiseren van dezelfde productie-output met afname van de emissies van broeikasgassen (oftewel een reductie van de emissie van broeikasgassen per eenheid productievolume);
- de inzet van duurzame energiebronnen voor:
  - energietoepassingen (energie nodig voor de productie);



- feedstock (energie als grondstof in bijvoorbeeld de chemie);
- de inzet van fossiele energiebronnen in combinatie met CO<sub>2</sub>-opslag waardoor de CO<sub>2</sub>-emissies worden voorkomen.

Binnen het NOP en COOL zijn scenario's ontwikkeld waarin combinaties van bovenstaande opties worden ingezet en de effecten op emissies zijn berekend [Berk et al., 2001a,b].



### **Efficiency-verbetering**

De verbetering van de energie-efficiency is één van de manieren om een relatieve besparing te realiseren van broeikasgassen. In de afgelopen periode bedroeg de (autonome) efficiencyverbetering circa 1% per jaar. Dit betekent dat bij de huidige energieprijzen een efficiencyverbetering van ongeveer 1% per jaar op een rendabele manier te realiseren is. Bij hogere energie- of CO<sub>2</sub>-kosten, zullen duurdere besparingsopties binnen bereik komen. Afhankelijk van deze kosten in de post-Kyoto-periode is dus een efficiencyverbetering te realiseren van ten minste 1% per jaar.

In de sectoren chemie, petrochemie en raffinage schuift het energiegebruik momenteel steeds verder naar het thermodynamisch minimum: energie is een belangrijke kostenpost en energiebesparing heeft daarom veel aandacht. De verwachting is dat in de *bestaande* processen slechts nog kleine verbeteringen gerealiseerd kunnen worden. Toepassing van *nieuwe* processen kan het energiegebruik per eenheid fysieke output op termijn wel verder omlaag brengen. In an-

dere bedrijfstakken (met name de lichte industrie) is in de bestaande processen nog winst te behalen, maar zal procesinnovatie op termijn ook een belangrijkere rol gaan spelen.

Efficiencyverbetering alleen kan geen absolute reductie van 80% van de broeikasgassen realiseren. Dit omdat het productievolume naar verwachting zal toenemen en efficiencyverbetering alleen een relatieve reductie bewerkstelligt [Rooijers et al., 1999]. Efficiencyverbetering is echter wel een noodzakelijke maatregel in het pakket waarmee een forse emissiereductie gerealiseerd kan worden. De kosten van reductie zijn veelal lager dan van de andere beschikbare opties.

### **Duurzame bronnen en schoon fossiel**

Binnen het COOL project zijn drie routes doorgerekend waarmee een emissiereductie van 80% in 2050 mogelijk wordt [Berk et al., 2001a,b]:

- *Schoon fossiel*  
In deze route is 80% van de energiedragers afkomstig van fossiele bronnen, met name aardgas. Deze fossiele bronnen worden zodanig ingezet dat de CO<sub>2</sub> afgevangen en opgeslagen wordt, namelijk met behulp van waterstofproductie en WKK in combinatie met CO<sub>2</sub>-opslag. Daarnaast wordt een klein gedeelte van de energiebehoefte gedekt door biomassa (een aandeel van biomassa in het totale energieaanbod in Nederland in 2050 van 300 PJ, hetgeen overeenkomt met 15%). De efficiëntieverbetering bedraagt gemiddeld 0,75% per jaar (en is dus niet veel meer dan de autonome ontwikkeling).
- *Duurzaam energiesysteem*  
Binnen deze optie is ongeveer 70% van de energiedragers afkomstig uit hernieuwbare bronnen. Met name biomassa speelt hierbij een belangrijke rol (een aandeel van biomassa in het totale energieaanbod van Nederland in 2050 van 1.000 PJ, hetgeen overeenkomt met 50%; het betreft vooral meerjarige gewassen, zoals grassen en hout). De efficiëntieverbetering bedraagt gemiddeld circa 1% per jaar.
- *Hybride*  
De hybride route is een combinatie van de voorgaande twee routes. De efficiëntieverbetering is laag: 20%, oftewel 0,4% per jaar.

Voor alle drie de opties is doorgerekend welke emissiereductie behaald kan worden. Een overzicht is weergegeven in tabel 24.





tabel 24 Emissiereductie van CO<sub>2</sub> voor drie routes die bewandeld kunnen worden in de toekomst. Ter vergelijking: in 1990 bedroeg de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de industrie 64 Mton

	Schoon fossiel		Duurzaam energie-systeem		Hybride	
	Emissie	Reductie	Emissie	Reductie	Emissie	Reductie
Omstandigheden	Mton CO <sub>2</sub>	%	Mton CO <sub>2</sub>	%	Mton CO <sub>2</sub>	%
Lage groei	16	75	15	76	18	72
Hoge groei	26	60	26	60	29	55
Hoge groei, geen materiaalbesparing	30	54	31	52	34	48

Bron: Berk et al., 2001a,b

Afhankelijk van de omstandigheden is voor deze sector een emissiereductie van 50-75% haalbaar in 2050. Hierbij is echter geen rekening gehouden met de kosten; dit is dus een technisch potentieel.

### Duurzame bronnen voor feedstock

Een deel van het huidige energiegebruik in de industrie wordt ingezet ten bate van de feedstock, de inzet als grondstof voor met name chemische producten. Op de lange termijn zullen er (bij hogere energie- of CO<sub>2</sub>-kosten) meer rendabele mogelijkheden in zicht komen om de chemie te verduurzamen in de zin dat duurzame bronnen worden ingezet als grondstof. Momenteel is een beginnende ontwikkeling te zien bij bio-kunststoffen.

### Warmte-kracht-koppeling (WKK)

Bij grote industriële productiefaciliteiten wordt naast elektriciteit vaak ook veel warmte gebruikt. Deze warmte kan worden opgewekt door directe verbranding van bijvoorbeeld aardgas. Op deze manier wordt echter een hoog-calorisch product (namelijk aardgas) omgezet in een laagwaardige energiedrager (warmte). Een efficiëntere manier om voor dit doel warmte te produceren is door middel van WKK. Bij de productie van elektriciteit wordt de door verbranding van fossiele brandstoffen gegenereerde stoom via een turbine in elektriciteit omgezet. De warmte die na de turbine overblijft wordt aan industriële complexen geleverd. Het totale (exergetische) rendement van elektriciteitsproductie in combinatie met warmteproductie is hoger dan bij afzonderlijke elektriciteit- en warmteproductie. De verwachting is dat in 2050 circa 30.000 MWe uit WKK kan worden opgewekt. Dit betreft dan ongeveer 70% van de elektriciteitsvraag in de industrie [Berk et al., 2001a,b]. Bij 'schoon fossiele' WKK zal de vrijkomende CO<sub>2</sub> worden afgevangen en vervolgens ondergronds opgeslagen.



#### 4.3.4 Elektriciteitsvoorziening

De elektriciteitssector wordt steeds vaker toegerekend aan de industrie. Toch noemen we deze sector hier apart omdat de CO<sub>2</sub>-emissie zeer omvangrijk is en er een sterk groeiende vraag is naar elektriciteit, sterker dan de economische groei. Daarnaast zijn er in deze sector ook specifieke oplossingen mogelijk die effecten hebben op mogelijke maatregelen in andere sectoren (schone elektriciteit door hernieuwbare bronnen en/of CO<sub>2</sub>-opslag).

De laatste jaren heeft de aanpak van de milieuemissies in de elektriciteitssector zich gekenmerkt door specifieke afspraken over concrete maatregelen, bijvoorbeeld het kolenconvenant. Dit type beleid wordt in de internationaal opererende elektriciteitssector steeds moeilijker, omdat het EU-beleid dit moeilijk of onmogelijk maakt. De komende jaren zullen deze verschillen (o.a. ondersteuning bruinkool in Duitsland) verdwijnen onder invloed van EU-regels.

Belangrijk zullen daarom specifieke voordelen van Nederland worden, zoals de mogelijkheid tot aanlanding van biomassa in de Rotterdamse haven, de mogelijkheid tot opslag van CO<sub>2</sub> in aquifers en oude gasvelden. In hoofdstuk 4.9.1 zijn deze voorbeelden uitgewerkt.



*Maatregelen bij kolencentrales [VROM, 1999, p.49]*

Op dit moment is circa 3.900 MW<sub>e</sub> opgesteld. De verwachting volgens het GC scenario is dat dit in 2010 nog in bedrijf is en een totale CO<sub>2</sub>-emissie oplevert van 15 Mton per jaar.

Mogelijke maatregelen om de CO<sub>2</sub>-emissie te verlagen:

- kolen (gedeeltelijk) vervangen door biomassa: dit gebeurt al in het kader van het kolenconvenant;
- kolen vervangen door aardgas: 2.500 MW zou zonder problemen vervangen kunnen worden. Belangrijkste punt hierbij is het prijsverschil tussen kolen en aardgas. Doordat CO<sub>2</sub>-emissie een prijs krijgt kan er een punt komen dat het

aantrekkelijk is over te schakelen. Voorlopig is de prijs van CO<sub>2</sub> te laag om die overschakeling aantrekkelijk te maken.

De maatregelen in het kader van beperken van de CO<sub>2</sub>-emissie kunnen strijdig zijn met het beleid dat is gericht op voorzieningszekerheid. Het ontbreekt op dat beleidsterrein echter aan concrete doelen en indicatoren die de afweging kunnen verhelderen.

#### *Duurzame energie [VROM, 1999, p.51]*

Het doel van de Nederlandse overheid is in 2020 een aandeel DE van 10% te behalen (is in 1999 1,5%). De technieken zijn bekend en kunnen in principe in Nederland worden toegepast (biomassa, windenergie). De benutting staat of valt met de instrumenten die de overheid gebruikt om deze bronnen toegepast te krijgen. Voorbeelden in Duitsland en Denemarken laten zien dat binnen korte tijd een groot vermogen kan worden gerealiseerd bij stimulerende financiële regels.

#### *Kernenergie*

Op dit moment heeft Nederland 1 kerncentrale in bedrijf waarvan de levensduur recent is verlengd. De regering is van plan de centrale in 2013 te sluiten. De beheerder van de centrale zal zich daar niet eenvoudig bij neerleggen.

Uitbreiding van het vermogen aan kernenergie lijkt in Nederland niet voor de hand te liggen. In Europa ligt dat per land anders (zie paragraaf 4.9.1).

#### *Energiebesparing*

De belangrijkste mogelijkheid van energiebesparing in deze sector is het verhogen van de rendementen van de centrales, ofwel door technieken als STEG, ofwel door de vrijkomende warmte te benutten (Warmtekracht en restwarmtebenutting).

Restwarmtebenutting blijkt in de praktijk een moeizame kwestie te zijn omdat er hoge initiële investeringen zijn vereist en de waardering van de warmte in de toekomst erg onzeker is. In de Rijnmond wordt al minstens 10 jaar gesproken en gestudeerd over benutting van de restwarmte van de industrie en de elektriciteitscentrale op de Maasvlakte. Technisch is er geen enkel probleem om hiermee een forse hoeveelheid CO<sub>2</sub> te besparen (1 Mton in de Rijnmond). Door gebrek aan financiële zekerheid is het project tot nog toe niet van de grond gekomen. In het kader van het transitiebeleid van het Ministerie van EZ wordt thans opnieuw gepoogd tot realisatie te komen.

#### *Warmtekracht*

De ontwikkeling van WKK was altijd zeer succesvol. Eind 1998 was het opgestelde vermogen 7.800 MW (verdubbeling t.o.v. 1990). De reductie in 2010 (GC scenario) komt met 15.000 MW overeen met 5 -10 Mton CO<sub>2</sub>.

Ten gevolge van de liberalisering van de energiesector is deze groei van WK niet vanzelfsprekend meer; de financiële voordelen van CO<sub>2</sub>-reductie worden onvoldoende aan de producenten toegerekend zodat deze moeilijk kunnen concurreren met de prijs van import-elektriciteit.

De meerwaarde van WarmteKracht zal de komende tijd minder worden doordat de efficiency van de referentietechnieken (elektriciteitsproductie met STEG, verwarming met HR-ketel) is toegenomen.

#### 4.3.5 Land- en tuinbouw

In de land- bos- en tuinbouw zijn vergaande emissiereducties mogelijk voor alle broeikasgassen. Deze zijn te realiseren bij de primaire productie ten behoeve van voedselvoorziening, maar vooral ook door de productie van biomassa ten behoeve van enerzijds de energievoorziening en anderzijds als grondstof voor constructie materialen (hout) en voor de chemie (bioplastics en dergelijke). Dit levert dus niet alleen emissiereducties binnen de sector op maar ook in andere sectoren. Daarnaast bieden land- en bosbouw en natuur mogelijkheden om koolstof op te slaan, de zogenaamde 'sinks' optie.

In de primaire landbouw ten behoeve van voedselproductie zijn in alle drie de sleutelbronnen vergaande emissiereductie te behalen:

- in de glastuinbouw worden momenteel de technische en economische mogelijkheden onderzocht voor een nul-emissie, ofwel klimaatneutrale kas, door een combinatie van duurzame energie inzet plus besparingsmaatregelen. Een stap verder gaan de verkenningen naar de kas als energiebron. Dit concept gaat uit van het feit dat de totale invang aan zonne-energie in kassen op jaarbasis ruim 2x zo groot is als de huidige energievraag in diezelfde kas (350 vs 155 PJ). Beiden vragen realisatie van reeds grotendeels bestaande technologische innovaties;
- in de intensieve veehouderij zijn emissiereducties van met name de methaanuitstoot te realiseren door de emissies per koe te verminderen (door aanpassingen in het voer), door de dieren meer op (de ruimere) stal te houden waar het geproduceerde methaan kan worden afgevangen, en door (nog) betere mestopslag en -verwerking;
- in het mestgebruik in akkerbouw en veeteelt is veel emissiereductie te behalen door af te zien van het gebruik van kunstmest (de productie daarvan gaat gepaard met een hoge broeikasgas emissie) en door precisiebemesting. Door alleen zoveel mest toe te dienen als de plant nodig heeft, en door dat beter over het seizoen te verdelen, is een groot deel van de directe en indirecte lachgasemissies te vermijden. Deze ontwikkeling draagt tegelijkertijd bij aan een reductie van de milieudruk door overbemesting en kan vanuit beide beleidslijnen ondersteund worden.







Het totale reductiepotentieel in de primaire landbouw bedraagt zo'n 12 -18 Mton CO<sub>2</sub>-eq.

Door de landbouw grondstoffen ten behoeve van industrie en energieopwekking te laten produceren zijn grote emissiereductie te behalen:

- biomassa ten behoeve van de energieopwekking kan komen uit gewasresten, of uit speciaal verbouwde gewassen. Biomassa kan direct verstoofd worden of worden omgezet in hoogwaardiger (transport) brandstoffen (bijvoorbeeld biodiesel). Door vergisting van mest en door verbranding van (gedroogde) mest is ook energie op te wekken;
- biomassa als grondstof voor de industrie en bouw. In de landbouw zijn zowel direct als indirect grondstoffen voor de petrochemische industrie te produceren, welke kunnen dienen als basis voor bijv plastics in plaats van de aardolie gebaseerde grondstoffen. Hoogwaardige houttoepassingen kunnen staal en betonconstructies in de bouw (deels) vervangen.

Het potentieel in Nederland, mede gebaseerd op geïmporteerde biomassa is groot, zo'n 44 - 46 Mton CO<sub>2</sub>-eq. Daarnaast is door grondstofvervanging in andere sectoren nog 14 - 19 Mton te reduceren. Echter significante biomassa inzet gaat gepaard met een groot ruimtebeslag. Veel winst –zowel in ruimtebeslag als economisch- is te behalen door multifunctioneel gewasgebruik en multifunctioneel landgebruik. Bij multifunctioneel gewasgebruik worden de totale geproduceerde biomassa uitgesplitst in een deel voor voedingsgrondstof (eiwitten, oliën), een deel als industriegrondstof en een deel voor energieopwekking, dit alles afhankelijk van het gekozen gewas. Bij multifunctioneel landgebruik worden biomassa productiedoelinden gecombineerd met andere functies (overloop functies, recreatiefuncties, etc.).

De derde categorie emissiereducties is te behalen door te maximaliseren op sinks:

- door vergaande ontwatering van de Nederlandse veenweidegebieden oxideert het veenpakket. Dit leidt momenteel tot een (niet gerapporteerde) CO<sub>2</sub>-uitstoot van 5 - 7 Mton. Door verhoging van de grondwaterstand, voor zover andere functies dat toelaten, is deze uitstoot te minimaliseren. Mogelijkheden daarvoor bestaan vooral in natuur- en recreatiegebieden en gebieden met extensieve veehouderij;
- door aangepast beheer is in bos- en landbouw meer koolstof vast te leggen dan nu gebeurt. Opties in de landbouw die daar aan bijdragen zijn minder frequent en minder diep ploegen, onderploegen van gewasresten, en relatief meer organische mest gebruiken in plaats van kunstmest. Echter, de zo langzaam opgebouwde koolstofvoorraad in de grond kan snel weer vrijkomen bij een (tijdelijke) terugval op meer conventioneel management. In de bosbouw bestaan de mogelijkheden uit verlaging van dunnings- en kapfrequentie, en het laten liggen van dunning- en kapafval;
- in Nederland is (beperkte) ruimte voor nieuw aan te leggen bos (350 kha). Sinks zijn ook toegestaan het kader van CDM en JI waardoor bosaanplant in het buitenland voor Nederlandse emissiereductieverplichtingen kan meetellen.

Het potentieel voor sinks in Nederland bedraagt zo'n 5 - 9 Mton CO<sub>2</sub>-eq. We benadrukken echter nogmaals dat voor sinks in het algemeen geldt dat het effect tijdelijk is (er treed verzadiging op) en kwetsbaar – langzaam opgebouwde koolstofvoorraden in bossen en bodems kunnen snel te niet gedaan worden door oogst of veranderend beheer, zodat bescherming van bestaande en opgebouwde voorraden een belangrijk onderdeel moet zijn.

Volgens het COOL rapport is zo de -80% doelstelling goed te halen. Vooral de grootschalige inzet van biomassa als grond- en brandstof vraagt echter een flinke transitie.



### 4.3.6 Internationaal

Naast de binnenlandse maatregelen kunnen ook maatregelen worden genomen in het buitenland. Hiervoor bestaan verschillende mogelijkheden, zoals genoemd in het vorige hoofdstuk: Joint Implementation (JI), Clean Development Mechanism (CDM) en emissiehandel. Ook in de post-Kyoto-periode zijn deze mogelijkheden interessant, want maatregelen worden genomen op de plaats waar deze het goedkoopst en het meest kosteneffectief zijn.

Specifiek met betrekking tot CDM willen wij hier een aantal potentiële knelpunten bespreken: het effect van free-riders en de rol van CO<sub>2</sub>-sinks. Daarnaast wordt in een aantal gevallen duurzame ontwikkeling tegengewerkt. Het Wereld Natuur-Fonds heeft daarom criteria toegevoegd om alleen goede CDM-projecten te honoreren, maar het staat ieder vrij om die aanvullende criteria te hanteren.

Door de mogelijkheid van CDM bestaat het gevaar dat credits worden toegekend aan landen voor projecten die zonder CDM ook doorgang hadden gevonden. Op deze manier wordt de uitstoot van broeikasgassen niet gereduceerd, sterker nog, deze neemt alleen maar toe. De verkregen credits tellen mee voor de doelstelling van een land, waardoor in eigen land minder broeikasgassen hoeven te worden gereduceerd of - andersom geredeneerd - meer gassen mogen worden uitgestoten.

Oorzaak van dit free-rider effect is het feit dat alleen wordt gekeken naar de effecten als gevolg van een project: wat is het effect op de uitstoot van broeikasgassen als het project wordt uitgevoerd en wat gebeurt er als het niet wordt uitgevoerd? Over het algemeen wordt niet gekeken naar de situatie die zou ontstaan zonder CDM. Artikel 43 van het Marrakesh akkoord geeft geen uitsluitel over de wijze waarop de effecten beoordeeld moeten worden.

De omvang van dit free-riders effect kan aanzienlijk zijn. Binnen het Kyoto-protocol is afgesproken dat de flexibele instrumenten, zoals CDM, aanvullend zijn op binnenlandse maatregelen. Door veel partijen wordt dit geïnterpreteerd als: minimaal 50% van de emissiereductie moet afkomstig zijn van binnenlandse maatregelen. Voor de periode 2005-2007 is echter geen limiet gesteld aan het aandeel CDM. Voor de periode daarna, 2008-2012, gaat wel een limiet gelden [VROM, 2004b].

In theorie kan dus bijna 50% van de emissiereductie behaald worden onder de vlag van CDM. In het geval van een groot aantal free-riders zou hierdoor de Kyoto-doelstelling kunnen worden behaald, terwijl in de praktijk slechts de helft tot tweederde van de afgesproken emissiereducties daadwerkelijk wordt bereikt.

Naast het free-riders effect bestaat het knelpunt van de CO<sub>2</sub>-sinks. Deze sinks kunnen als alternatief worden gezien voor emissiereducties: CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer wordt opgeslagen in plantaardig materiaal zoals bos. Het planten van bomen is om die reden een maatregel die toegepast kan worden om het Kyoto-doel te halen.

In de praktijk is echter nog niet duidelijk hoeveel CO<sub>2</sub> op deze manier wordt vastgelegd. Daarnaast zorgt de aanplant van bomen voor dit doel bijvoorbeeld voor veranderingen in landgebruik. De effecten hiervan zijn op dit moment nog niet duidelijk. Ook worden bomen vaak weer gekapt, waardoor de hoeveelheden CO<sub>2</sub>

die vastgelegd worden niet permanent zijn. Vooral nog worden de omvang en de effecten van de CO<sub>2</sub>-sinks laag ingeschat. Uit een Kamerbrief blijkt dat dit onderwerp op dit moment wordt uitgesloten van het emissiehandelsysteem. In de review in 2006 zal worden bekeken welke technische voorzieningen nodig zijn om sinks vanaf 2008 toe te laten [VROM, 2004b].

Een ander knelpunt is dat de bomen die aangeplant worden vaak monoculturen vormen. De vraag is in hoeverre hiermee een bijdrage wordt geleverd aan een duurzame ontwikkeling. En wat dit punt betreft zijn er meer voorbeelden te noemen. Binnen het kader van CDM worden waterkrachtcentrales neergezet. Aan de ene kant wekken deze duurzame energie op, maar aan de andere kant komt hierdoor bijvoorbeeld veel land onder water te staan, waardoor inwoners gedwongen worden te verhuizen of voedselproductie onmogelijk wordt. Over dit punt heeft recent discussie plaatsgevonden binnen de EU. Resultaat hieruit is dat waterkrachtcentrales groter dan 500 MW in de eerdergenoemde review worden meegenomen. En op het moment dat waterkrachtprojecten groter dan 20MW worden goedgekeurd dan moeten de relevante internationale richtlijnen en criteria worden gerespecteerd, inclusief die van de World Commission on Dams [VROM, 2004b].

#### **4.4 De kosten van klimaatbeleid**

Deze paragraaf geeft een zo goed mogelijk overzicht van de kosten van toekomstig klimaatbeleid. Om de cijfers in perspectief te plaatsen, wordt eerst kort aandacht besteed aan de huidige kosten van klimaatbeleid. De toekomstige kosten bestaan uit de kosten van mitigatiebeleid in de Kyoto-periode (tot 2012), de kosten van mitigatiebeleid daarna en de kosten van adaptatiebeleid.

Een precies overzicht van de kosten is niet mogelijk. Hier zijn verschillende redenen voor. Zo is een groot deel van de huidige kosten onbekend omdat ze verborgen zijn in bijvoorbeeld uitgaven voor dijkverzwaring. Wat bekend is, zijn kosten voor milieubeleid dat na ongeveer 1990 is geformuleerd. De toekomstige kosten zijn onzeker omdat er een ruime marge is in de schattingen van de gevoeligheid van het klimaat voor menselijk handelen en omdat het onduidelijk is welk effect beleid en autonome technische ontwikkelingen zullen hebben op emissies van broeikasgassen.

De kosten zijn zoveel mogelijk uitgedrukt in percentages van bruto binnenlandse producten (voor landen), bruto regionale producten (voor regio's) en het bruto mondiale product (voor de wereld). Op die manier is duidelijk welk deel van de economie aan klimaatbeleid is of zal worden besteed.

##### **Kosten tot nu toe**

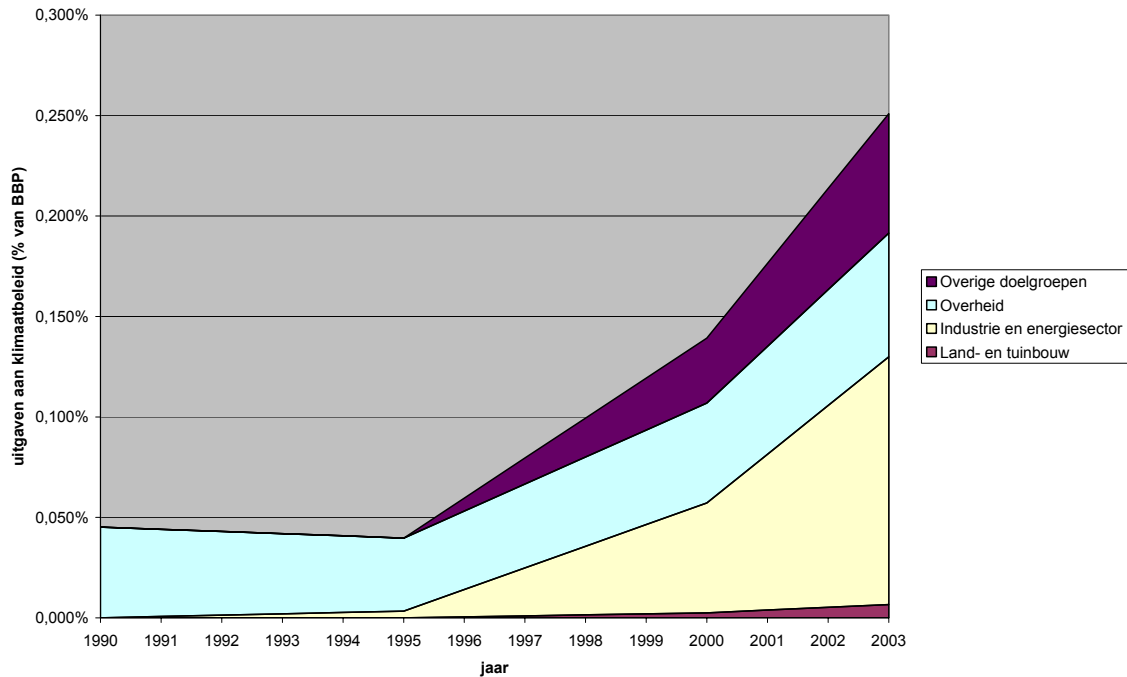
De kosten van het klimaatbeleid in Nederland zijn weergegeven in figuur 22. De afgelopen jaren zijn de kosten opgelopen van minder dan 0,05% van het BBP in 1990 tot iets meer dan 0,25% van het BBP in 2003. In dat laatste jaar bedroegen de kosten in het totaal € 1.150 miljoen. De kosten die de overheid draagt zijn licht toegenomen, maar vooral de kosten van de industrie en energiesector stijgen snel.





In de kosten van het klimaatbeleid zijn, zoals gezegd, de kosten van adaptatiebeleid niet opgenomen. Volgens een recente schatting werd in 1990 iets meer dan 1% van het BBP (€ 2,6 miljard) uitgegeven aan waterbeheer [CBW21, 2000]. Een deel hiervan betrof aanpassing aan klimaatverandering. Hetzelfde geldt voor de kosten die de agrarische sector jaarlijks maakt om verdroging tegen te gaan. Die belopen € 400 miljoen, oftewel 0,1% van het BBP.

figuur 22 Kosten van klimaatbeleid nemen snel toe. De gegevens voor 1990, 1995, 2000 en 2003 zijn afkomstig uit het Milieucompendium. Gegevens voor de andere jaren zijn interpolaties



Bron: Milieucompendium, 2004

### Kosten mitigatiebeleid in het kader van het Kyoto-protocol *Nederland*

In het kader van het Kyoto-protocol wil Nederland de uitstoot van broeikasgassen verminderen met 8% ten opzichte van 1990. De helft van deze reductie moet in het binnenland worden gehaald, de helft in andere landen. De kosten van de uitstootvermindering in het binnenland zijn het hoogst. Ze bedragen ongeveer € 763 miljoen, oftewel 0,17% van het BBP [Boonekamp et al., 2004]. Een gedeelte van deze kosten is al gedragen en is al verwerkt in de cijfers van figuur 22. Het is niet bekend hoe groot dit gedeelte is. Buitenlandse uitstootvermindering is veel goedkoper. Het bedrag dat hiermee gemoeid is bedraagt naar schatting slechts 0,02% van het BBP [<http://www.milieucompendium.nl>], als de economie snel groeit nog minder. De totale kosten voor het Kyoto-protocol komen daarmee op iets minder dan 0,2% van het BBP.

## **EU**

Volgens een studie van de Europese Commissie [EC, 2001] bedragen de kosten om te voldoen aan de Kyoto-doelstellingen tenminste 0,06% van het BNP van de EU (€ 3,7 miljard (uit 1999)) per jaar voor de periode 2008-2012. Daarbij wordt uitgegaan van sectorale doelstellingen en volledig vrije emissiehandel binnen de EU. De maatregelen worden dan genomen op de plaats binnen de EU waar de kosten in een bepaalde sector het laagst zijn. Zonder handel in emissierechten verdubbelen de uitvoeringskosten voor de hele EU en lopen de kosten per lidstaat uiteen.

Naast de uitgaven aan mitigatiebeleid en emissiehandel, zijn er ook macro-economische kosten: mitigatiebeleid vertraagt de economische groei. Hoe veel minder de economie groeit, hangt af van de vormgeving van het beleid en de prognoses van de groei in afwezigheid van klimaatbeleid. De schattingen van de macro-economische kosten van Kyoto-beleid lopen uiteen van 0,2% tot 2% van het Bruto Binnenlands Product (BBP) in 2010 zonder emissiehandel. Wanneer er wel emissiehandel plaatsvindt, dalen de kosten tot ongeveer de helft [IPCC 2001b].

### **Toekomstige adaptatiekosten**

Naast de kosten voor mitigatiebeleid tijdens en na het Kyoto-protocol, bestaan de kosten voor klimaatbeleid ook uit adaptatiekosten. De schatting van adaptatiekosten is erg onzeker. De meeste berekeningen gaan uit van de temperatuurstijging van 2°C en een gemiddelde stijging van de zeespiegel. Het is echter nog de vraag of de temperatuurstijging beperkt zal blijven tot 2°C. Daar zijn twee redenen voor. Ten eerste zijn de klimaatmodellen onzeker, waardoor de temperatuurstijging bij een bepaalde concentratie van broeikasgassen hoger of lager kan uitvallen. Ten tweede vereist de doelstelling een intensief mitigatiebeleid na het aflopen van het Kyoto-protocol in 2012. Het is nu nog niet zeker of daar voldoende internationaal draagvlak voor zal bestaan.

Uitgaande van een mondiale temperatuurstijging van 2°C en een zeespiegelstijging van 60 cm in 2100 zijn de belangrijkste kostenposten van het adaptatiebeleid waterbeheer en landbouw. De kostenposten voor waterbeheer bestaan uit aanpassing van regionale watersystemen, aanpassingen in rivieren, IJsselmeer en dijken, en kustverdediging. De kostenposten voor de landbouw bestaan voornamelijk uit kosten voor verdroging.

Regionale watersystemen moeten worden aangepast om de grotere seizoensvariaties en extremen op te kunnen vangen. De Commissie Waterbeheer 21<sup>ste</sup> eeuw [CBW21, 2000] heeft de jaarlijkse kosten daarvoor geraamd op € 45 miljoen in 1990, oftewel 0,02% van het toenmalige BBP. Deze kosten lopen in elk geval door tot 2050. De ontwerpafvoer van rioleringen zal omhoog moeten om neerslagpieken in stedelijke gebieden te kunnen opvangen. Ook de ontwerpbelasting van met name platte daken zal aangepast moeten worden. De jaarlijkse kosten voor aanpassingen in rivieren, IJsselmeer en kustwateren worden door de Commissie Waterbeheer 21<sup>ste</sup> eeuw geschat € 180 miljoen in 1990, oftewel op 0,07% van het toenmalige BBP [CBW21, 2000].



Zeespiegelstijging heeft grote gevolgen voor kwelders en wadden. De snelheid van zeespiegelstijging (gecombineerd met eventuele bodemdaling) zal bepalen of deze mee kunnen groeien of onderlopen. Voor de Wadden ligt de kritieke grens op 3 mm/jaar voor kwelders bij 8,5 mm/jaar; de huidige zeespiegelstijging is 2 mm/jaar. De vraag naar zand in kwelders en Wadden zal een toenemende erosie van de Noordzeestranden tot gevolg hebben. Met toenemende zeespiegelstijging zal de erosie met vele tientallen procenten toenemen (250% bij 6 mm/jaar, 330% bij 8,5 mm/jaar). De kosten te maken om deze erosie d.m.v. zandsuppletie tegen te gaan worden geraamd op € 45 miljoen in 1990, oftewel 0,02% van het toenmalige BBP. De verwachte kosten om de kustverdediging op Deltaplan niveau te houden bedragen € 36 miljoen in 1990 (0,01% van het toenmalige BBP).

Wanneer de totale kosten voor adaptatie van het waterbeheer gelijke tred houden met het BBP, dan bedragen ze 0,13% van het BBP in de komende vijftig jaar. Dit kan beschouwd worden als een maximum, tenzij de gevolgen van de klimaatverandering ernstiger blijken te zijn dan de Commissie Waterbeheer 21<sup>ste</sup> eeuw had ingeschat. Na 2050 zal de zeespiegel verder stijgen en kunnen de kosten nog verder oplopen. Deze kosten komen boven de ruim 1% van het BBP dat waterbeheer in 1990 kostte. Al deze kosten zijn exclusief de eventuele kosten van rampen zoals overstromingen en dijkdoorbraken. Die kosten kunnen enorm zijn. De geschatte vervangingswaarde van investeringen in NL beschermd door waterkeringen bedraagt meer dan € 4.000 miljard, bijna negen maal het BBP van 2004.

De kosten om verdroging in de landbouw tegen te gaan bedragen momenteel ongeveer 0,9% van het BBP per jaar (€ 3,6 miljard). Klimaatverandering en de daardoor toenemende kans op droge perioden zal de economische schade in de landbouw met 25 à 35% per hectare doen toenemen. Omdat er ook een verkleining van het landbouwareaal met 15 à 20% wordt verwacht, zal de economische schade op landelijke schaal slechts met ongeveer 10% toenemen tot 0,1% van het BBP.

Voor andere aanpassingen aan klimaatverandering is nog geen uitgewerkt beleid (centraal, noch decentraal) geformuleerd en zijn nog geen acties in gang gezet. Een deel van de benodigde investeringen vallen onder normale sectorale investeringsontwikkelingen. Welke *additionele* kosten nodig zijn om het hoofd te bieden aan klimaatverandering is dientengevolge niet bekend.

### **Kosten van mitigatiebeleid na afloop van het Kyoto-protocol**

Studies naar de kosten van post-Kyoto-mitigatiebeleid spitsen zich toe op de kosten van een vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot [Bollen et al., 2004; IPCC, 2001b]. Dit levert naar verwachting een hoge schatting van de kosten, omdat veel andere broeikasgassen tegen lagere kosten kunnen worden gereduceerd [Bollen et al., 2004].

Volgens schattingen van het CPB en het RIVM zal een reductie van 30% van de CO<sub>2</sub>-uitstoot Nederland in 2020 tussen 0,2% en 4,8% van het Nationaal Inkomen

(NI)<sup>10</sup> kosten [Bollen et al., 2004]. Met andere woorden, als gevolg van de emissiereductie zal het NI in 2020 tussen 0,2% en 4,8% lager zijn dan zonder mitigatiebeleid. De kosten hangen af van het aantal deelnemende landen, de verwachte economische groei en de verdeling van emissierechten. Zoals aangegeven in paragraaf 4.4 worden de kosten lager naarmate er meer landen deelnemen. De reden hiervoor is dat de kosten van emissierechten lager worden naarmate er meer landen deelnemen, omdat in veel ontwikkelingslanden relatief goedkope manieren bestaan om emissies terug te dringen. De economische groei is van invloed omdat een hogere groei resulteert in een hogere vraag naar energie, en daarom ook in een hogere vraag naar emissierechten. Als het nationaal inkomen de komende jaren niet met gemiddeld 3%, maar met gemiddeld 1,9% groeit, zijn de kosten van het klimaatbeleid 75% lager (0,2% in plaats van 0,8% van het NI in 2020). De verdeling van de emissierechten, gelijke rechten per persoon of een systeem van verworven rechten, heeft veel kleinere effecten op de kosten.

Schattingen van het IPCC geven aan dat de kosten van post-Kyoto-klimaatbeleid afhangen van de uiteindelijke doelstelling van het beleid, de snelheid waarmee het doel bereikt moet worden en van de economische ontwikkeling. De strengst doorgerekende variant (stabilisatie van de CO<sub>2</sub>-concentratie op 450 ppm) resulteert in mitigatiebeleid in 2050 in een wereldeconomie die 1,1% tot 4,1% kleiner is dan in afwezigheid van mitigatiebeleid. In een iets minder strenge variant (550 ppm) liggen de kosten beduidend lager: tussen 0,1% en 1,8% van de wereldeconomie. In tabel 25 staan de schattingen van de kosten van klimaatbeleid weergegeven.

tabel 25 Kosten van klimaatbeleid: schattingen

Jaar	2020			2050	
Doel	Reductie van 30%			Stabilisatie op 450 ppm CO <sub>2</sub>	Stabilisatie op 550 ppm CO <sub>2</sub>
Aannames	Mondiaal beleid	Alleen Annex-1 landen		Zes verschillende IPCC scenario's	
	Lage economische groei	Hoge economische groei			
Kosten	0,2% NI Nederland	0,8% NI Nederland	4,8% NI Nederland	1,1% - 4,1% wereld-BBP	0,1% - 1,8% wereld-BBP

Bron: Bollen et al., 2004; IPCC, 2001b

Bij een hoge economische groei betekent een 0,8% lager NI in 2020 een gemiddelde jaarlijkse groei van 2,96% in plaats van 3,0%. Het NI is dan in 2020 niet 80,6% hoger dan in 2000, maar 79,1%. Een 4,8% lager NI komt neer op een gemiddelde jaarlijkse groei van 2,7% in plaats van 3,0%. Het NI is dan in 2020 71,9% hoger dan in 2000.

<sup>10</sup> Het Nationaal Inkomen (NI) is de som van het Bruto Binnenlands Product (BBP) en de per saldo uit het buitenland ontvangen lonen, rente en dividenden.



Om een indruk te geven van de omvang van deze kosten, vergelijken we ze hier met de kosten van een aantal andere beleidsmaatregelen en externe factoren. Een verlenging van de duur van arbeidscontracten met 6% (een 40-urige werkweek in plaats van een 38-urige) levert een 0,2% hoger BBP op [CPB, 2004b]. Een verlaging van de Vpb levert met 1% van het BBP levert een 1% hoger BBP op, een gelijke verlaging van de loon- en inkomstenbelasting zelfs een 1,1% hoger BBP [CPB, 2001]. Wanneer de Amerikaanse dollar gedurende twee jaar 8% in waarde stijgt, neemt het BBP met 0,5% af [CPB, 2004c]. En wanneer de lange en korte rente een half procentpunt stijgen, kost dat 0,3% van het BBP [CPB, 2003].

In het gunstigste geval zijn de kosten van klimaatbeleid dus klein, ook wanneer ze vergeleken worden met andere beleidsmaatregelen of met externe invloeden op de Nederlandse economie. De meest kostbare variant is aanzienlijk veel duurder.

#### 4.5 Prangende kwesties voor post-Kyoto klimaatbeleid

Het huidige klimaatbeleid wordt mondiaal, in de EU en in Nederland bepaald door de UNFCCC en het Kyoto-protocol. Het protocol stelt eisen aan de uitstootvermindering van geïndustrialiseerde landen in de periode 2008-2012. Over de periode daarna is slechts vastgelegd dat onderhandelingen in 2005 moeten beginnen, en dat de partijen in 2007 een nieuw akkoord moeten sluiten [UNFCCC, 2003d].

Of het Kyoto-protocol nu in werking zal treden of niet, het is zaak om alvast na te denken over het vervolg op het Kyoto-protocol. De onderhandelingen dienen immers in 2005 te beginnen. En mocht het protocol niet in werking treden, dan moet zo snel mogelijk begonnen worden met onderhandelingen over een nieuw mondiaal beleidskader voor klimaatbeheersing. Hoe langer de uitstoot van broeikasgassen blijft toenemen, des te groter is de noodzakelijke reductie om onacceptabele klimaatschade te voorkomen.

Wij zien een aantal prangende kwesties voor het post-Kyoto-klimaatbeleid. Deze kwesties hangen samen met de eerder besproken fundamentele keuzes. Samengevat, zien we in het licht van de vier hoofdkeuzes de volgende negen prangende kwesties:

*Keuze 1: Welke verhouding tussen adaptatie of mitigatie is wenselijk?*

- Welke doelstellingen zijn nodig?
- Geven wetenschappelijke onzekerheden aanleiding om af te wachten?
- Hoe kunnen de baten van klimaatbeleid goed worden ingeschat?

*Keuze 2: Op welke schaalniveaus dient het klimaatbeleid gevoerd te worden?*

- Welke bijdrage kan Nederland leveren in een internationale context?
- Hoe kunnen de gaten van Kyoto worden gedicht?

*Keuze 3: Hoe kan de overheid optimaal sturen?*

- Welke instrumenten zijn optimaal?
- Kan de transportsector ook bijdragen aan emissiereducties?
- Hoe kan de Nederlandse economie profiteren van klimaatbeleid?

*Keuze 4: welke soort maatregelen zijn te prefereren?*

- Welke technieken en energiedragers zullen bijdragen?

Deze kwesties zullen in de volgende paragraaf uitgebreid worden besproken.

#### **4.6 Keuze 1: Welke verhouding tussen adaptatie of mitigatie is wenselijk?**

De eerste hoofdkeuze bepaalt de doelstelling van het klimaatbeleid. Enerzijds gaat het om de te verwachten effecten van de klimaatverandering met alle onzekerheden die in hoofdstuk 1 zijn geschetst, anderzijds gaat het om de uitgespaarde kosten van toekomstige adaptatiemaatregelen. De tweede prangende kwestie gaat in op hoe omgegaan kan worden met die onzekerheden. De derde prangende kwestie gaat in op: Hoe kunnen de baten van klimaatbeleid goed worden ingeschat?

##### **4.6.1 Welke doelstellingen zijn nodig?**

Een eerste prangende kwestie is de ambitie van het klimaatbeleid: welke emissiereducties zijn nodig en welk doel streven we na?

##### ***Nederland en EU***

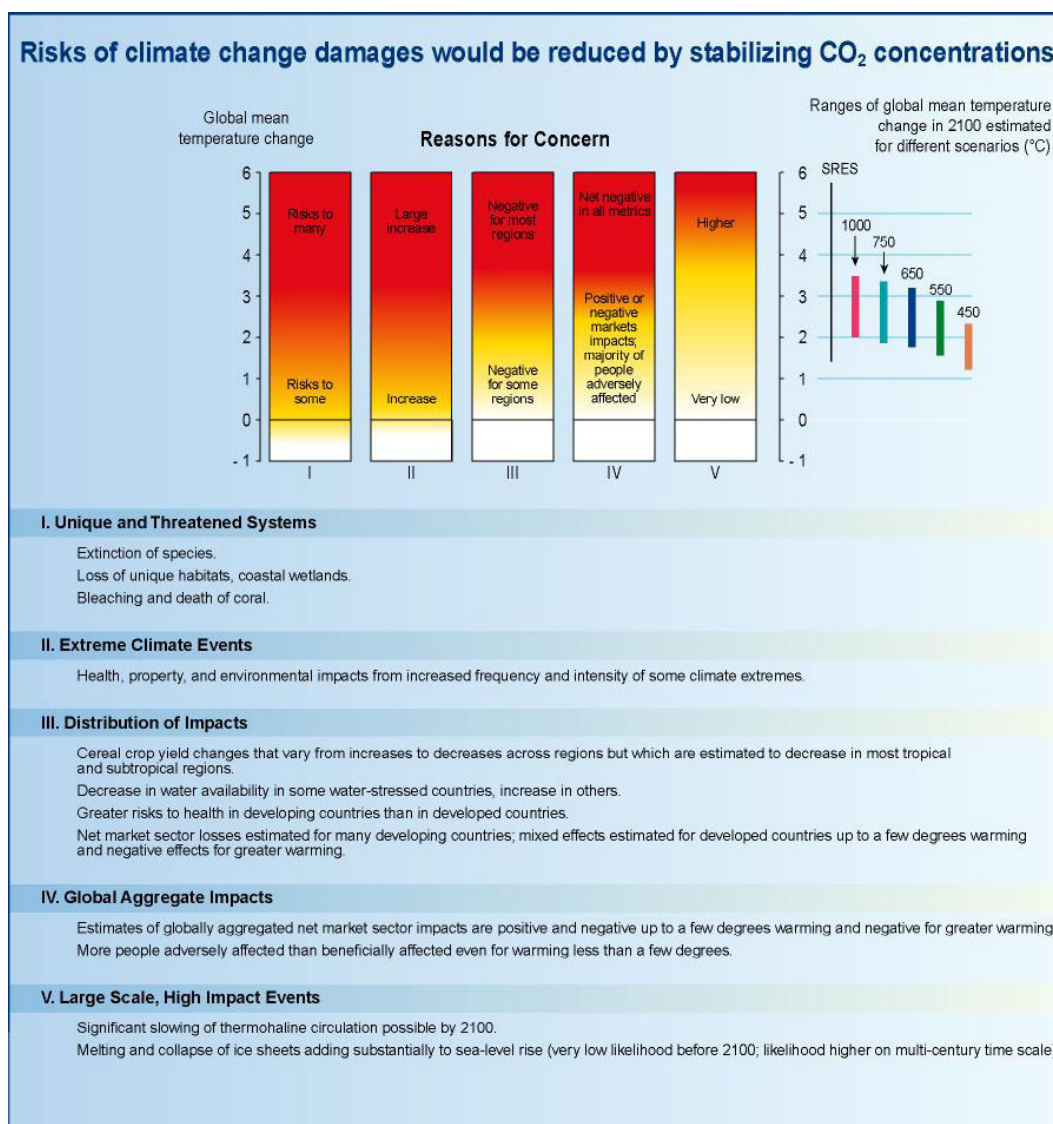
Zowel de Nederlandse overheid en ook de EU hebben besloten een temperatuurstijging van maximaal 2°C ten opzichte van het preïndustriële niveau te kiezen als uitgangspunt voor het klimaatbeleid. Deze bovengrens voor de absolute temperatuurstijging is gebaseerd op het zoveel mogelijk beperken van het risico van destabilisatie van het wereldklimaat. Wel zullen al reeds eerder, bij een maximale temperatuurstijging van 1°C bepaalde ecosystemen zoals alpine ecosystemen, eiken- en mangrovebossen en kustwetlands schade oplopen.

In figuur 23 wordt schematisch de verhouding tussen de temperatuurstijging en de schade aan de leefomgeving weergegeven.





figuur 23 Meer dan 2°C temperatuurstijging levert onherstelbare schade op



Bron: IPCC, 2001

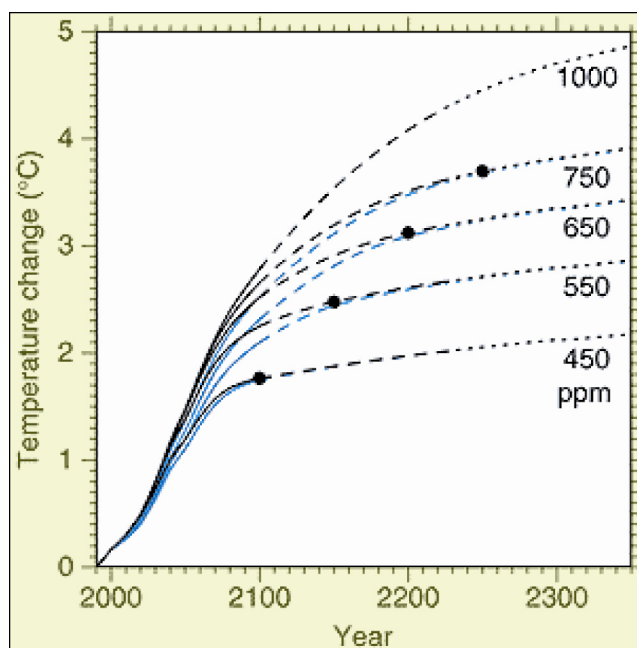
Bij een temperatuurstijging die groter is dan 2°C neemt ook de kans op grote, wellicht zelfs dramatische, gevolgen toe. Voorbeelden hiervan zijn genoemd in paragraaf 2.8: het stilvallen van de warme golfstroom en een geleidelijk afsmelten van de ijskap op Groenland met vele meters zeespiegelstijging als gevolg.

De doelstelling van 2°C komt overeen met een concentratie *broeikasgassen* in de atmosfeer van gemiddeld 550 ppm<sup>11</sup>, uitgaande van een gemiddelde klimaatgevoeligheid<sup>12</sup>. Deze concentratie komt overeen met 450 ppm CO<sub>2</sub>. In figuur 24 is dit gevisualiseerd.

<sup>11</sup> PPM staat voor 'parts per million', oftewel 1 liter CO<sub>2</sub> op een miljoen liter lucht.

<sup>12</sup> De klimaatgevoeligheid wordt omschreven als de wereldgemiddelde temperatuurstijging als gevolg van verdubbeling van de CO<sub>2</sub>-concentraties [IPCC, 2003].

figuur 24 Effect van de stijging van concentratie CO<sub>2</sub> op de temperatuur in de komende eeuwen



Bron: IPCC, 2001

Het gestelde doel van 2°C betekent concreet dat de stijgende trend in de wereldwijde CO<sub>2</sub>-uitstoot al in het volgende decennium moet worden omgebogen in een dalende. En zelfs als het doel gehaald zou worden dan nog zullen effecten optreden op grote schaal.

Opvallend is dat er in de Nederlandse en EU stabilisatiedoelstellingen geen marges zijn ingebouwd voor resterende onzekerheden. Dat lijkt niet in overeenstemming met het voorzorgsprincipe dat door Nederland en Europa als uitgangspunt voor beleid wordt gehanteerd [Van der Sluijs et al., 1998]. Hieruit en uit de schade die reeds optreedt onder de grens van 2°C kan worden geconcludeerd dat de huidige stabilisatiedoelstellingen als uiterste grenzen kunnen worden gezien.

### Visie Verenigde Staten op doelstelling

De Verenigde Staten zien meer in een doelstelling gebaseerd op 'broeikasgasintensiteit'. Deze intensiteit wordt uitgedrukt als de emissies van broeikasgassen gedeeld door de economische output, het Gross Domestic Product (GDP) (ofte wel BBP in Nederlandse termen). In lijn hiermee heeft President Bush in 2002 een klimaatplan gelanceerd dat als doel heeft de broeikasgasintensiteit van de VS-economie met 18% te reduceren tussen 2002 en 2012<sup>13</sup>. [De Moor et al., 2002] hebben berekend dat dit doel leidt tot een absolute toename van de broeikasgasemissies van de Verenigde Staten in 2012 met 32% boven het niveau van 1990. Dit ligt ver boven het oorspronkelijke Kyoto-doel van -7% voor de VS in 2010.

<sup>13</sup> Dit is in absolute termen een verlaging van 183 ton per miljoen dollar GDP in 2002 naar 153 ton per miljoen dollar GDP in 2012, terwijl de economie blijft groeien.



Uit het bovenstaande blijkt het grote nadeel van het relatieve karakter van de VS-doelstelling: hoe sneller de economische groei, hoe groter ook de uitstoot van broeikasgassen mag zijn. De kans bestaat dat de uiteindelijke emissies dusdanig hoog zijn dat ingrijpende, onomkeerbare klimaateffecten optreden. In deze benadering bestaat geen plafond voor broeikasgasemissies.

Overigens is het goed mogelijk om bij de uitwerking van beleidsinstrumenten zoals emissiehandel met relatieve parameters zoals koolstofintensiteit te werken zolang deze maar gekoppeld zijn aan absolute einddoelen in termen van klimaateffecten.

### **Conclusie**

Op basis van huidige wetenschappelijke inzichten moet de huidige door Nederland en de EU gehanteerde stabilisatiedoelstellingen van 2°C als uiterste grenzen worden gezien om ondraaglijke schade te voorkomen. De relatieve doelstelling, (in termen van broeikasgasemissies per eenheid Bruto Binnenlands Product), zoals geïntroduceerd door de VS geven geen enkele garantie op beheersing van de emissie van broeikasgassen.

#### **4.6.2 Geven wetenschappelijke onzekerheden aanleiding om af te wachten?**<sup>14</sup>

Al geruime tijd verschijnen er publicaties in de media die ervoor pleiten om het Kyoto-protocol in de ijskast te zetten totdat meer wetenschappelijke zekerheid rond klimaatverandering is ontstaan (zie ook paragraaf 2.9). De aanbeveling van critici zoals Labohm en Thoenes<sup>15</sup> is met klimaatbeleid te wachten tot er 'overtuigend' wetenschappelijk bewijs voor het versterkte broeikaseffect is. Wat deze critici niet lijken te begrijpen, is dat klimaatverandering niet enkel een wetenschappelijk onderzoeksobject is, maar ook een maatschappelijk risico ten opzichte waarvan de maatschappij een handelingskeuze moet maken. De wereld blijft tijdens het onderzoek immers niet dezelfde. Zonder ingrijpen nemen de concentraties aan broeikasgassen toe en neemt de resterende reactietijd af. De vergelijking is vaak getrokken: wetenschappers lijken pas ervan overtuigd dat men op een ravijn afkoerst als men het ravijn onder zich ziet. Toch zou elke automobilist zijn vaart minderen wanneer hij hoort dat hij op een ravijn afstevent - zelfs wanneer verschillende passagiers iets anders zouden roepen.

### **Advies WRR**

Tot een aantal jaren geleden was de gangbare opvatting dat dergelijke vragen het exclusieve terrein waren van ecologen en andere natuurwetenschappers. Zij zouden op een objectieve wijze bijvoorbeeld een wetenschappelijke norm kunnen vaststellen voor de maximale hoeveelheid schadelijke stoffen die kunnen worden uitgestoten zonder dat ecosystemen worden aangetast.

In 1994 haalde de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR) echter de opvatting onderuit dat een duurzame ontwikkeling op een dergelijke objectief-wetenschappelijke wijze kan worden vormgegeven. In zijn rapport *Duurzame risico's; een blijvend gegeven* stelt de WRR het omgaan met risico's

<sup>14</sup> Deze sectie is een bewerking van het artikel van [Davidson, 2000], Recht en duurzame ontwikkeling; Omgaan met risico's in scenariostudies naar duurzaamheid. In: *Milieu en Recht* april 2000, nr. 4.

<sup>15</sup> Zie bijvoorbeeld Labohm en Thoenes, (2001), Volkskrant, juli, 2001.

centraal bij het vormgeven van een duurzame ontwikkeling en wijst op de normatieve veronderstellingen die ten grondslag liggen aan elke wijze van omgaan met risico's. Kort samengevat komt de kritiek op het volgende neer [WRR, 1994]. Ten eerste is er geen scherpe (natuurwetenschappelijke) grens tussen de maatschappelijke ontwikkelingen waarbij toekomstige generaties ecologische risico's lopen en waarbij zij dat niet lopen. In alle gevallen treden er risico's op, hoe klein deze ook kunnen zijn, zelfs bij het meest stringente beleid. Een volledige reductie van ecologische risico's is niet alleen onmogelijk, maar ook onwenselijk vanwege de maatschappelijke kosten die reductie met zich meebrengt, kosten die toenemen naarmate men de ecologische risico's verder reduceert. Deze kosten kunnen dermate groot zijn dat zij zelf aanleiding geven tot economische en maatschappelijke risico's voor toekomstige generaties. De belangen van toekomstige generaties in de brede zin van het woord vereisen weliswaar het streven naar een gezond milieu, maar liefst in combinatie met een gezonde maatschappij. Daarom dient men bij het vormgeven van duurzaamheid risico's tegen elkaar af te wegen van beleid waarin men niet verder ingrijpt en beleid waarin men juist wel verder gaat.

Ten tweede kan de wetenschap de risico's maar ten dele in kaart brengen. In sommige gevallen kunnen verschillende wetenschappers tot verschillende oordelen komen of laten zij zich bij gebrek aan informatie in het geheel niet uit. De inschatting van ecologische en economische risico's is daarom in sterke mate subjectief. Zo is de inschatting van de risico's van beleid waarin men niet verder ingrijpt mede afhankelijk van de subjectieve inschatting van de ecologische draagkracht, de technologische ontwikkelingen en de behoeften van toekomstige generaties.

Ten derde kan de natuurwetenschap geen antwoord geven op de normatieve vragen hoe men met deze onzekerheden en subjectieve inschattingen behoort om te gaan en welke risico's acceptabel en verantwoord zijn. Is bijvoorbeeld de kans op een overstroming van eens in de honderd of van eens in de duizend jaar verantwoord? In welke mate is anticiperen op technologische ontwikkelingen nog aanvaardbaar?

Al met al moet worden geconcludeerd dat duurzaamheid een normatief begrip is en derhalve niet door de objectieve wetenschap alléén is vorm te geven.

### **Vorzorgsprincipe**

Biedt het voorzorgsprincipe of precautionary principle niet het handvat hoe met risico's voor toekomstige generaties om te gaan? Dit principe geeft immers een richtlijn hoe te handelen in situaties van wetenschappelijke onzekerheid met betrekking tot de impact van een activiteit op het milieu.

Bij nadere bestudering blijkt het voorzorgsprincipe in zijn huidige vorm echter niet voldoende houvast te bieden zonder aanvullende normen. Het voorzorgsprincipe lijdt aan dezelfde zwakten als de objectief te bepalen ecologische draagkrachtgrenzen. Ten eerste geeft het voorzorgsprincipe geen handvat of algemene regels welke (wetenschappelijke) informatie voldoende is om het principe in werking te stellen.



Ten tweede kan elk beleid dat ecologische risico's reduceert, economische of andere maatschappelijke risico's met zich meebrengen. Er is echter vanuit het streven naar duurzaamheid geen principiële reden waarom het voorzorgsprincipe niet evenzeer van toepassing zou zijn op economische risico's voor toekomstige generaties als op ecologische risico's. Als elke handelingswijze risico's meebrengt, dan is de vraag wat men nog met het voorzorgsprincipe aan kan. Het is immers onmogelijk om elk risico te vermijden.

Al met al zou men kunnen concluderen dat de betekenis van het voorzorgsprincipe vooral daarin is gelegen dat onvolledigheid van wetenschappelijke informatie over risico's geen reden is om een zorgvuldige belangenafweging achterwege te laten. De belangenafweging zelf zal vervolgens echter weer op basis van andere normen dan het voorzorgsprincipe moeten worden gemaakt.

### **Praktische afweging risico's: bestaande normen**

De vraag waar de internationale gemeenschap en dus ook de Nederlandse overheid voor staat is hoe een afweging kan worden gemaakt tussen enerzijds de risico's van klimaatverandering en anderzijds de economische risico's als gevolg van kosten van klimaatbeleid en de onzekerheden daaromtrent. Deze afweging bepaalt of en met welke intensiteit klimaatbeleid gevoerd moet worden. Maar hoe deze afweging te maken?

Er lijken al maatschappelijke normen en wetten te bestaan ten aanzien van de wijze waarop men met onzekerheid omgaat en afwegingen van belangen en risico's worden gemaakt [Davidson, 2000]. Bijvoorbeeld op het gebied van gezondheid- en veiligheidsrisico's. Vanuit deze visie dienen bestaande wetten en normen gehanteerd te worden bij het maken van afwegingen omtrent klimaatbeleid. Er lijken geen redenen te zijn hiervan af te wijken voor afwegingen op dat terrein.

In het onderstaande kader worden argumenten van klimaatcritici tegen verdere reductie van broeikasgassen getoetst aan deze actuele maatschappelijke normen. Per argument lijkt het erop dat de huidige generaties het argument niet zouden accepteren wanneer het risico's hen zelf zou betreffen.



### Toetsing van argumenten klimaatcritici aan maatschappelijke normen [Davidson, 2000]

*1 Er resteert wetenschappelijke onzekerheid met betrekking tot de grootte van klimaatrisico's. Dit is reden voor optimisme dat het milieu veerkrachtiger zal blijken te zijn dan de meeste klimaatmodellen voorspellen.*

De huidige generaties lijken hier een veel grotere mate van wetenschappelijke zekerheid te verlangen in het geval van risico's voor toekomstige generaties dan in het geval van risico's voor zichzelf. Veel minder zekere aanwijzingen blijken meestal wél al voldoende om in te grijpen wanneer het risico's voor de huidige generaties zelf betreft, met name wanneer de economische groei, de werkgelegenheid of (huidige) volksgezondheid in gevaar is. Zou een rechter het nalaten van risicoreductie billijken wanneer dezelfde mate van wetenschappelijke zekerheid zou bestaan over risico's voor de volksgezondheid als momenteel over klimaatrisico's?

*2 De maatregelen die moeten worden getroffen om de stijging van de concentratie van broeikasgassen te stuiten, vertegenwoordigen maatschappelijke kosten die niet in verhouding staan tot het risico van het optreden van een versterkt broeikas effect.*

De wet kent het beginsel dat de activiteiten van burgers geen risico's voor medeburgers met zich mee behoren te brengen. Op dit beginsel is de uitzondering van toepassing dat indien voor het vermijden van risico's zwaarwegende belangen worden geschaad van de veroorzaker van de risico's, bepaalde risico's dienen te worden getolereerd door hen die ze lopen. Zo wordt het risico dat omwonenden van een luchthaven lopen op het neerstorten van een vliegtuig, getolereerd wegens de zwaarwegende economische belangen van de luchtvaart voor de maatschappij. Er dient dus een balans te bestaan tussen de inspanningen om extra risico's te vermijden en de risico's die blijven bestaan.

Het is hier niet aan te geven wat dit uitgangspunt in detail betekent voor de inspanningen die zouden moeten worden gepleegd om de risico's van klimaatverandering te verminderen. Een goede balans lijkt in ieder geval afwezig in scenariostudies waarin CO<sub>2</sub>-emissies maar marginaal worden gereduceerd, bijvoorbeeld op grond van een 'no-regret'-beleid. Het is moeilijk in te zien hoe een reductie van broeikasgassen die kleiner is dan 15% en daarmee over een periode van 20 jaar minder dan één jaar vertraging in BNP-groei oplevert nog een goede balans kan opleveren tussen ecologische risico's en de inspanningen om die risico's te verminderen.

*3 Gezien de technologische ontwikkelingen in het verleden is er voldoende reden voor vertrouwen dat – ook indien de klimaatrisico's reëel zijn - in de toekomst ook de technologische oplossingen zullen bestaan.*

Anticiperen op technologische ontwikkelingen betekent dat men bewust een situatie laat ontstaan die in de toekomst een probleem zal opleveren, terwijl men ervan uitgaat dat de toekomst ook de oplossing zal brengen. Dat in praktijk grenzen worden gesteld aan welk technologie-optimisme men nog maatschappelijk betamelijk acht, illustreert het voorbeeld van de gekke-koeienziekte. In het geval van de gekke-koeienziekte ging het om een indertijd verondersteld verband tussen het eten van besmet rundvlees en het optreden van de ziekte van Creutzfeld-Jacob bij mensen. Een verband waarover destijds nog de nodige wetenschappelijke onzekerheid bestond. Stelt u zich voor dat een exporteur van besmet rundvlees die bekend was met de risico's zich tijdens een rechtszaak als volgt zou verdedigen: 'De risico's waren mij bekend, maar de veronderstelde effecten treden pas na tientallen jaren op. De geschiedenis leert dat de medische wetenschap in die tijdspanne voor bijna elke ziekte een medicijn heeft gevonden. Het was dus gerechtvaardigd om mijn dreigende economische verlies te vermijden.' Het is ondenkbaar dat een rechter met een dergelijke verdediging genoeg zou nemen, ook wanneer nog geen wettelijk verbod op de export zou rusten. Een dergelijke wijze van omgaan met risico's is in onze maatschappij onacceptabel.

Ten minste mag worden verwacht dat optimisme niet enkel is gebaseerd op persoonlijk optimisme of extrapolatie van ontwikkelingen in het verleden, maar op kennis over technologie die al 'op de plank ligt'. Ten tweede mag worden verwacht dat men rekenschap geeft van het risico dat de verwachte technologische ontwikkelingen uitblijven. Dit is in de meeste scenariostudies niet het geval.





### 4.6.3 Hoe kunnen de baten van klimaatbeleid goed worden ingeschat?

Steeds meer beleid wordt vooraf onderworpen aan maatschappelijke kosten-baten analyses (KBA). Die drukken alle gevolgen van beleid uit in een geldwaarde. KBA is een manier om te beoordelen of een bepaalde maatregel maatschappelijk voordeel oplevert, en hoe die maatregel zich verhoudt tot 'niets doen', afzien van beleid. In Nederland worden kosten-baten analyses momenteel hoofdzakelijk toegepast bij de beoordeling van infrastructurele projecten, maar de methode is aan een opmars bezig naar andere beleidsterreinen. Dit is deels een gevolg van internationale ontwikkelingen. De Europese Raad heeft onlangs vastgesteld dat ook uitstootvermindering in het kader van klimaatbeleid op zijn merites moet worden beoordeeld met een kosten-baten analyse [Davidson, 2004].

In kosten-baten analyses lijkt klimaatbeleid vaak nauwelijks rendabel. Dit is een van de redenen waarom de Copenhagen Consensus verschillende klimaatmaatregelen als 'slechte projecten' heeft beoordeeld [<http://www.copenhagenconsensus.com>]. Kosten-baten analyses zijn echter niet waarde vrij. Ze maken bijvoorbeeld gebruik van een discontovoet die door de politiek wordt vastgesteld. Er zijn goede redenen om voor projecten waarbij de baten pas in de verre toekomst ontstaan een lagere discontovoet te nemen dan gebruikelijk. De Britse regering heeft onlangs een dergelijke wijziging doorgevoerd [Treasury, 2003].

#### De discontovoet

Een van de centrale problemen in kosten-baten analyse is het bepalen van de waarde van een uitgave of een opbrengst in de toekomst. Algemeen wordt aangenomen dat geld in de toekomst minder waard is dan geld nu. Hier zijn verschillende redenen voor. We noemen er drie. Ten eerste consumeren mensen liever vandaag dan in de toekomst (daarom zijn ze bereid rente te betalen op leningen). Dit is de pure tijdsvoorkeur. Ten tweede is de welvaart in de toekomst naar verwachting hoger dan nu, waardoor een euro dan relatief minder bijdraagt aan de welvaart. Dit is het afnemende marginale nut van geld. Ten derde is geld productief. € 100 die nu op de bank wordt gezet is volgend jaar € 103 of € 104, en omgekeerd kan daarom worden gesteld dat € 100 volgend jaar nu gelijk is aan € 96 of € 97.

Om deze redenen worden kosten of baten in de toekomst omgerekend tot de zogenaamde netto contante waarde. Dat is de nominale waarde gedeeld door een discontofactor. De discontofactor op zijn beurt is afhankelijk van de discontovoet en het aantal jaren dat het duurt voordat de kost of bate optreedt.

In een formule ziet dat er als volgt uit.

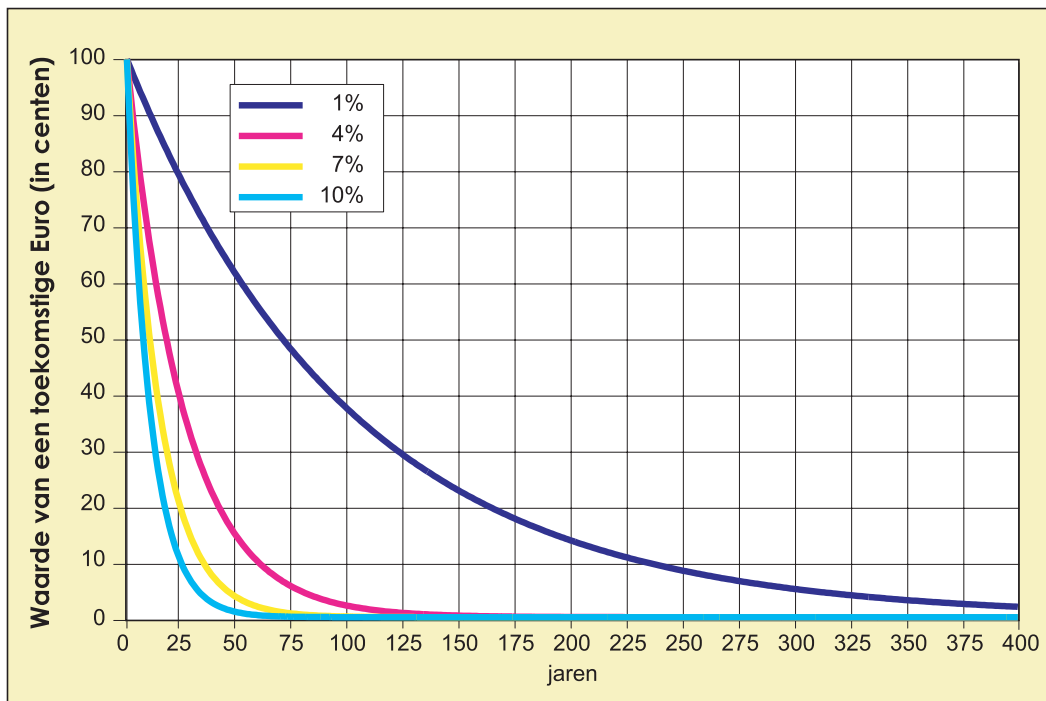
figuur 25 Berekening van de netto contante waarde

$$NCW = \frac{NW}{(1+r)^j}$$

NCW - netto contante waarde  
NW - nominale waarde  
r - discontovoet  
j - aantal jaren

In figuur 26 is het belang van de discontovoet te zien. Naarmate de discontovoet hoger is, is de netto contante waarde van een toekomstige Euro lager. Bovendien daalt de waarde sneller naarmate de discontovoet toeneemt.

figuur 26 De netto contante waarde van een toekomstige Euro



De discontovoet moet niet verward worden met de rente of met de inflatie. In kosten-baten analyses worden alle bedragen uitgedrukt in reële, constante eenheden. Dat wil zeggen dat ze gecorrigeerd zijn voor inflatie. De rente kan in een bepaald geval gelijk gesteld worden met de discontovoet, maar is daar niet per definitie aan gelijk. Een keuze van de rente als discontovoet is te rechtvaardigen wanneer bijvoorbeeld consumptie nu afgewogen moet worden tegen consumptie in de toekomst, of wanneer een investering moet worden beoordeeld waarvoor de marktrente bekend is. In andere gevallen kan de discontovoet echter op andere gronden worden gebaseerd.

De Nederlandse overheid baseert haar discontovoet op de marktrente. Voor risicovrije investeringen is de discontovoet gelijk gesteld aan het rendement op de internationale kapitaalmarkt, dat op 4% is gesteld. Voor andere investeringen geldt een risico-opslag, waardoor de discontovoet hoger uitkomt dan 4%.

De baten van het milieubeleid strekken zich uit over vele decennia, zo niet eeuwen. Omdat er geen leningen worden afgesloten met een looptijd van, zeg, 100 jaar, kan de internationale kapitaalmarkt moeilijk een maat zijn voor investeringen in milieubeleid, of andere investeringen met een dergelijke tijdhorizon.

Recent wetenschappelijk onderzoek stelt een vaste discontovoet ter discussie. Er zijn twee redenen waarom discontovoeten voor investeringen met een zeer lange tijdshorizon lager behoren te zijn dan gebruikelijk. De eerste redenering is gebaseerd op ethische principes [Davidson, 2004]. De tweede redenering is gebaseerd op de onzekerheid over de groeivoet van de economie op de zeer lange termijn [Newell et al., 2001].

### **De ethische redenering**

In een recent ESB-artikel wordt een geheel andere aanpak voorgestaan, die een veel lagere discontovoet oplevert [Davidson, 2004]. In deze benadering wordt beargumenteerd dat klimaatschade een moreel probleem is dat niet simpelweg mag worden vergeleken met de baten van bijvoorbeeld uitbreiding van de Maasvlakte. Ten eerste gaat het niet om willekeurige baten van een investering, maar het vermijden van *schade*. Ten tweede zijn door de extreem lange tijdschaal waarop klimaatverandering plaatsvindt, diegenen die schade lopen niet dezelfde als diegenen die de schade veroorzaken. Dit vraagt een andere aanpak dan kosten-batenanalyse van investeringen op de korte termijn. De redenering is als volgt.

Klimaatbeleid gaat weliswaar ten koste van alternatieve investeringen, maar niet volledig. Het is niet zo dat als men nu besluit *geen* € 8.000 uit te geven aan klimaatbeleid er over 300 jaar een geldpot staat van € 1.000.000.000 ter compensatie van klimaatschade. De *samenleving* consumeert immers gedurende die 300 jaar. Het blijkt dat de samenleving van elke extra Euro circa 80 cent consumeert en 20 cent investeert (de zogenoemde marginale consumptie- en spaarquote).

Voor die 20% investeringen is een discontovoet gelijk aan 4% van toepassing, of indien men wenst een afnemende zoals de Britse overheid voorstaat. Echter, voor die andere 80% gaat het om een afweging tussen verlies aan huidige consumptie ten gevolge van klimaatbeleid en klimaatschade voor toekomstige generaties.

Zowel in het Nederlandse als het internationale recht mogen de veroorzakers van risico's in kosten-batenanalyse schade aan derden geen lager gewicht geven dan de kosten van maatregelen om hen tegen schade te beschermen. Noch afstand, noch verschillen in rijkdom zijn in de ogen van de rechter relevante over-

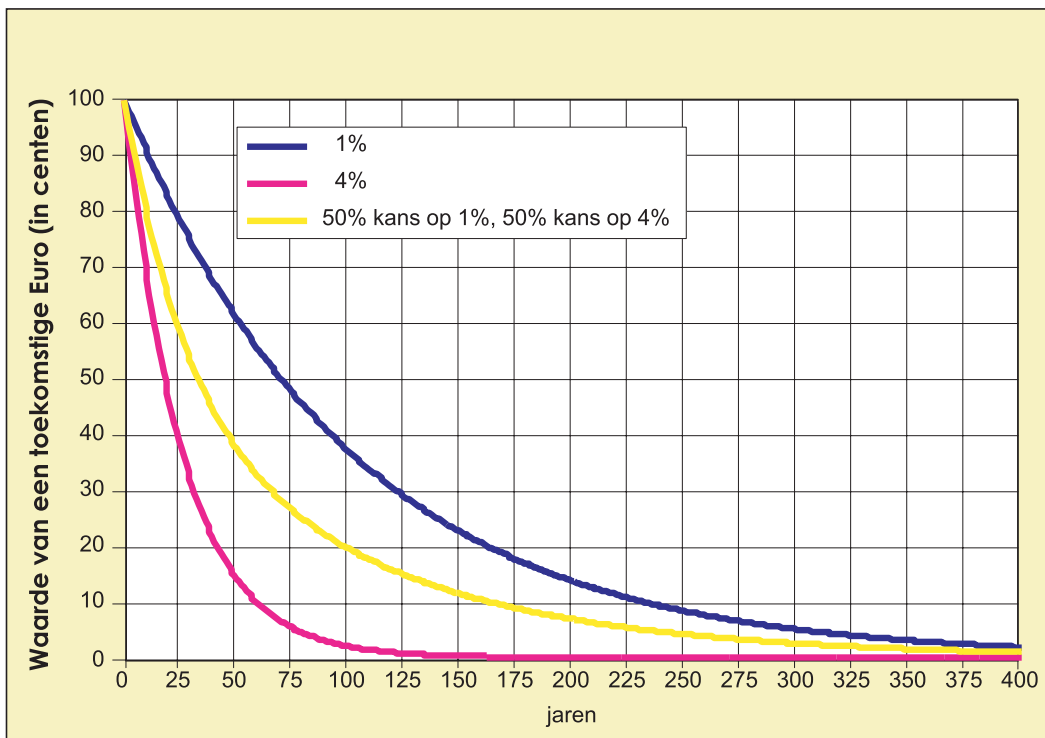
wegingen om diegene die risico's loopt minder te beschermen. Dit betekent een discontovoet van 0%.

De Nederlandse overheid omarmt het principe van intergenerationele rechtvaardigheid. Er zijn geen moreel relevante verschillen tussen de generaties om de morele principes die aan het recht ten grondslag liggen bij de omgang met risico's niet van toepassing te verklaren op toekomstige generaties. De Nederlandse overheid heeft daarom goede reden om een gewogen discontovoet te hanteren in kosten-batenanalyse voor het klimaatbeleid van 0,8% (80% x 0% plus 20% x 4%).

### De economische redenering

De tweede redenering om een lagere discontovoet voor lange-termijn-investeringen te gebruiken, begint bij het uitgangspunt dat de kapitaalmarktrente een slechte maat is voor het rendement op deze investeringen. Een betere maat is de economische groei [Philibert, 2003]. Er bestaat immers geen enkele investering die op de langere termijn beter rendeert dan de economische groei. Een dergelijke investering zou op termijn de economie opslokken, waarna de economie verder groeit met het groeicijfer van de betreffende investering.

figuur 27 In een onzekere toekomst neigt de discontovoet naar de laagst mogelijke waarde



Er bestaat grote onzekerheid over de economische groei op de lange termijn. Deze onzekerheid moet tot uiting komen in een lage discontovoet [Philibert, 2003]. In figuur 27 wordt dat duidelijk gemaakt. De bovenste lijn laat de waarde van een toekomstige Euro zien bij een discontovoet van 1%. De onderste lijn is



een discontovoet van 4%. De middelste lijn is de waarschijnlijkheidswaarde van een toekomstige euro wanneer er 50% kans is dat de economische groei 1% bedraagt en 50% dan de groei 4% bedraagt. Die lijn komt steeds dichterbij de lage discontovoet te liggen.

Uit dit voorbeeld blijkt dat bij onzekere toekomstverwachtingen de discontovoet daalt naarmate de baten over langere tijd genomen worden. Wiskundig kan worden aangetoond dat voor een opbrengst in de verre toekomst alleen de laagst mogelijke discontovoet relevant is. Het is deze redenering geweest die de Britse overheid heeft doen besluiten een discontovoet te differentiëren naar de tijdshorizon, zoals is aangegeven in tabel 26.

tabel 26 De Britse discontovoet hangt af van de tijdshorizon

Jaren	0–30	31–75	76–125	126–200	201–300	301+
Discontovoet	3,5%	3,0%	2,5%	2,0%	1,5%	1,0%

Bron: Treasury, 2003

### **Conclusie**

De Nederlandse overheid kan zijn discontovoet differentiëren naar de tijdshorizon of een andere discontovoet toepassen om de waarde van schade aan toekomstige generaties te berekenen. Er zijn goede ethische en wetenschappelijke gronden voor een dergelijke aanpassing. Een lagere discontovoet op de lange termijn geeft een betere inschatting van de maatschappelijke kosten en baten van klimaatbeleid. De Britse overheid heeft deze aanpassing recentelijk reeds doorgevoerd.

## **4.7 Keuze 2: Op welke schaalniveaus dient het klimaatbeleid gevoerd te worden?**

Omdat effectief klimaatbeleid niet door Nederland alleen kan worden gevoerd, roept dat direct de vraag op hoe Nederland internationaal draagvlak kan creëren voor de klimaatdoelstelling. De eerste kwestie in deze paragraaf analyseert de mogelijkheden die Nederland in internationaal verband heeft om het draagvlak voor mitigatiebeleid te verbreden: 'Welke bijdrage kan Nederland leveren in een internationale context?'

Voor een effectief, mondiaal klimaatbeleid is het ook nodig dat internationale sectoren die relevante hoeveelheden broeikasgassen uitstoten op de een of andere manier in het klimaatbeleid worden ondergebracht. Momenteel is er een impasse bij het inpassen van de internationale lucht- en zeevaart in het Kyoto-protocol. De vijfde prangende kwestie luidt daarom: 'Hoe kunnen de gaten van Kyoto worden gedicht?'

#### 4.7.1 Welke bijdrage kan Nederland leveren in een mondiale context?

In de paragrafen 4.2 en 4.4 is duidelijk gemaakt dat klimaatbeleid op een zo hoog mogelijk schaalniveau, bij voorkeur op mondiaal niveau, effectiever en efficiënter is dan klimaatbeleid waaraan slechts een beperkt aantal landen deelneemt. Het Kyoto-protocol voldoet maar ten dele aan deze eis. Alleen de geïndustrialiseerde landen, de zogenaamde Annex-I landen, hebben een doelstelling om hun uitstoot van broeikasgassen te beperken. Bovendien hebben Australië en de VS te kennen gegeven het Protocol niet te zullen ratificeren, waardoor slechts een beperkt deel van de wereldwijde emissies onder het protocol valt (61,6% van de CO<sub>2</sub>-emissies van Annex-I landen in 1990, als Rusland wel tekent).

Wat betekent deze enigszins beperkte internationale deelname nu voor de Nederlandse inzet voor het post-Kyoto regime? Dient Nederland nu af te wachten of juist een voortrekkersrol te gaan vervullen? Hieronder geven we een aantal acties die Nederland zou kunnen volgen om het draagvlak voor verdergaande doelstellingen zowel binnen Nederland als daarbuiten te vergroten. Deze acties zijn:

- 1 Maximaal inzetten op internationale afspraken.
- 2 Inzetten op een meer rechtvaardige verdeling van verantwoordelijkheden en lasten (van onder meer adaptatiekosten).
- 3 Inzetten op betrekken ontwikkelingslanden en de VS in post-Kyoto-regime.
- 4 Inzetten op marktmechanismen, zoals emissiehandel of concessiesysteem, op een zo hoog mogelijk schaalniveau en zo veel mogelijk sectoren (zie paragraaf 4.8.1).
- 5 Bijdragen aan lange termijn oplossingen zoals duurzame energietransities, door middel van het stimuleren van technologische ontwikkelingen op gebieden waar Nederland sterk is (zie paragraaf 4.8.3).
- 6 Inzetten op het dichtens van de gaten van Kyoto door middel van het agenderen van de vraag wie de verantwoordelijkheid krijgt voor de broeikasgassen van de internationale lucht- en scheepvaart (zie paragraaf 4.7.2).
- 7 Nationaal beleid voert voor sectoren die niet worden blootgesteld aan buitenlandse concurrentie en hogere lasten kunnen dragen, zoals de gebouwde omgeving, personenvervoer, etc. (zie paragraaf 4.8.2).

De eerste drie punten zullen in deze paragraaf worden behandeld vanwege hun onderlinge samenhang. De andere punten worden in separate paragrafen nader uitgewerkt.

##### **Ad 1) Maximaal inzetten op internationale afspraken**

Zoals reeds opgemerkt zijn voor een (kosten)effectieve aanpak van het klimaatprobleem verdergaande internationale afspraken vereist. Verdergaande doelstellingen zijn waarschijnlijk alleen haalbaar indien de kostenverschillen tussen sectoren en tussen landen niet al te ver uiteen gaan lopen. Dit betekent enerzijds dat er maximale emissiehandel tussen zoveel mogelijk sectoren kan plaatsvinden en bovendien alle geïndustrialiseerde landen meedoen. Vanuit dit standpunt dient Nederland zich sterk te maken voor aansluiting van Annex-I landen als de VS en Australië, maar ook van inmiddels verregaand geïndustrialiseerde niet-Annex-I landen zoals Zuid-Korea, Singapore, China, etc. Een oplossing voor de tweede





budget periode na 2012 zou kunnen bestaan uit het uitbreiden van de groep Annex-I landen met deze laatst genoemde landen. Een andere optie is het opdelen van de niet-Annex I landen in twee of drie groepen, waarbij de allerarmsten nog steeds geen reductieverplichtingen krijgen, terwijl de rijksten in deze groep (zoals China, Mexico, etc.) wel verplichtingen krijgen.

Uiteindelijk lijkt het voor de lange termijn noodzakelijk voor het bewerkstelligen van een mondiaal beleidskader dat een verdelingsprincipe van emissierechten en kosten op mondiaal niveau wordt vastgesteld. Een voorbeeld van een verdelingsprincipe is dat elke wereldburger recht heeft op dezelfde milieugebruiksruimte. Onder het punt '*Billijke verdeling van verantwoordelijkheden en lasten*' verderop in deze paragraaf wordt nader op deze problematiek ingegaan.

Het belang van deelname van inmiddels geïndustrialiseerde landen blijkt ook uit het standpunt van de VS. Deze stellen zich op het standpunt dat dan ook tenminste een aantal ontwikkelingslanden moet meedoen. De senaat heeft als voorwaarde voor de ratificatie van enig klimaatverdrag als voorwaarde gesteld dat tenminste China, India, Zuid-Korea, Brazilië en Mexico deelnemen (vastgelegd in de unaniem aangenomen Byrd-Hagel Resolution (1997) [Aldy et al., 2003]. De reden dat juist deze, sterk opkomende, landen mee moeten doen met een toekomstig klimaatbeleid is dat de VS niet willen dat de concurrentiepositie van de Amerikaanse industrie verslechtert. President Bush heeft aangegeven dat het terugdringen van de groei van de uitstoot van broeikasgassen door ontwikkelingslanden een 'cruciaal onderdeel van elk rationeel beleid op het gebied van klimaatverandering' is [<http://www.whitehouse.gov>, 2002].

### **Ontwikkelingslanden**

Behalve deze politieke redenen om ontwikkelingslanden bij een nieuw klimaatverdrag te betrekken, is er ook een goede wetenschappelijke reden. Omstreeks 2020 zal, zelfs bij ongewijzigd beleid, ongeveer de helft van de emissies van broeikasgassen plaatsvinden in ontwikkelingslanden [Stavins, 2004]. Een klimaatbeleid voor alleen Annex-I landen zou dit percentage nog verhogen, waardoor het ineffectief zou zijn [Bollen et al., 2004].

Zoals reeds opgemerkt hebben ontwikkelingslanden geen doelstelling om hun uitstoot te verminderen onder het Kyoto-protocol. Ze kunnen wel samen met Annex-I landen projecten uitvoeren die hun emissie terugbrengen. De reductie wordt dan aan de Annex-I landen toegerekend. De reden dat ontwikkelingslanden geen verplichte reductie hebben, ook de snel opkomende landen niet, heeft te maken met de geheel verschillende perceptie van het klimaatprobleem in de Annex-I landen en daarbuiten.

Uit een analyse van rapportage in de media en ministeriële verklaringen rond de UNFCCC COP 7 conferentie in Marrakech blijkt de tegenstelling duidelijk [Müller, 2002]. Annex-I landen zien het klimaatprobleem als een bedreiging voor hun levensstijl. Ze zien het als een probleem dat de mensheid zichzelf heeft aangedaan, en waar alle landen voor een gemeenschappelijke opgave staan om de klimaatverandering tot stilstand te brengen. De oorzaak van en de verantwoordelijkheid voor het probleem liggen bij de gehele gemeenschap.

Ontwikkelingslanden daarentegen zien het klimaatprobleem in eerste instantie als een probleem dat veroorzaakt is door de geïndustrialiseerde landen en waar ontwikkelingslanden onder leiden [Müller, 2002]. Voor sommige landen, met name de laaggelegen kustlanden en de kleine eilandstaten, is de klimaatverandering een directe bedreiging van hun voortbestaan. Omdat zij de oorzaak van het klimaatprobleem bij de geïndustrialiseerde landen leggen, hebben die in hun ogen ook de grootste verantwoordelijkheid om het op te lossen.

De tegenstelling speelt niet alleen in de media en op regeringsniveau een rol, maar ook in de academische wereld en onder NGO's [Ott et al., 2004]. Als gevolg daarvan spitst in ontwikkelde landen de discussie over het multilaterale klimaatbeleid zich toe op de verdeling van emissiereducties. In ontwikkelingslanden gaat de discussie veel meer over wie verantwoordelijk is voor het klimaatprobleem en hoe de kosten samenhangen met de verantwoordelijkheden.

### **Ad 2) Billijke verdeling van verantwoordelijkheden en lasten**

De oplossing voor het probleem dat ontwikkelingslanden nu geen verplichtingen hebben in het klimaatbeleid is gelegen in een billijke verdeling van de verantwoordelijkheden en lasten van het beleid. Bovendien moet het klimaatbeleid veel meer aandacht besteden aan de kosten van adaptatie in ontwikkelingslanden dan het nu doet. Ook die kosten moeten op een rechtvaardige manier verdeeld worden. Billijkheid, equity, is een centrale term in het post-Kyoto klimaatbeleid.

Billijkheid speelt op drie gebieden een cruciale rol bij het betrekken van zoveel mogelijk landen bij het klimaatbeleid:

- een billijke verdeling van emissies (en dus ook van de emissiereducties) op korte en lange termijn;
- een billijke verdeling van kosten voor mitigatie;
- een billijke verdeling van kosten voor adaptatie op korte en langere termijn.

Om met de eerste te beginnen. Op de lange termijn zijn er drie verdelingen, die elk door een groep landen als billijk wordt ervaren. Ten eerste gelijke rechten voor ieder mens. Ten tweede een handhaving van de status quo. Ten derde gelijke historische rechten voor elk land. Dit is het voorstel dat Brazilië heeft gedaan en dat voor Europa zou betekenen dat het de komende eeuw geen emissierechten meer krijgt, omdat het met de CO<sub>2</sub>-uitstoot sinds de industriële revolutie zijn rechten heeft verbruikt. Deze verdeling is niet acceptabel voor de geïndustrialiseerde landen. De tweede verdeling is niet acceptabel voor ontwikkelingslanden, omdat het hun in essentie de mogelijkheid zou ontzeggen om zich verder te ontwikkelen, tenzij hun ontwikkeling geheel gebaseerd zou zijn op principes van duurzaamheid. Maar dit laatste is met de huidige stand van de techniek een onrealistische veronderstelling. De enige eindsituatie waar een groot aantal landen mee zou kunnen instemmen is dus de egalitaire verdeling van emissierechten.

De discussie spitst zich toe op de vraag op welke termijn deze verdeling moet worden bereikt en langs welke weg, en of er in de eindsituatie en/of in de tussentijdse periode handel in emissierechten mogelijk zal zijn. Er zijn talloze scenario's voor de verdeling van de emissierechten. De meest realistische zijn een convergentie van emissierechten per hoofd van de bevolking, hetzij lineair, hetzij



exponentieel, en een meerfase benadering waarin landen of groepen van landen toetreden zodra hun welvaart een bepaald niveau bereikt, zie bijvoorbeeld [Stavins et al., 2004].

### **Emissierechten per hoofd van de bevolking**

De eerste benadering zou, afhankelijk van het gekozen eindniveau en de datum waarop de convergentie bereikt moet zijn, inhouden dat de meeste regio's hun uitstoot van broeikasgassen flink moeten terugbrengen. Alleen Afrika en Zuid-Azië kunnen substantieel meer uitstoten dan in 1990 [UNFCCC, 2003e]. Dat zijn dan ook de enige twee regio's die kunnen verdienen aan emissiehandel en die met dat geld hun eigen ontwikkeling kunnen financieren.

### **Meerfase benadering**

De tweede benadering legt aan landen of groepen van landen verschillende verplichtingen op, afhankelijk van hun ontwikkeling [UNFCCC, 2003e]. De minst ontwikkelde landen krijgen geen verplichtingen, een middengroep krijgt bijvoorbeeld verplichtingen met betrekking tot de uitstootintensiteit van hun economie (uitstoot CO<sub>2</sub> per eenheid BBP) en de rijke landen krijgen absolute emissieplafonds. Wanneer de welvaart in een land stijgt of daalt, kan het van categorie veranderen. De indeling van de landen zou gebaseerd kunnen zijn op de welvaart (BBP per hoofd van de bevolking), of op een combinatie van welvaart en ontwikkeling (bijvoorbeeld volgens de human development index) [Ott et al., 2004].

Een variant op de tweede benadering zou reductiedoelstellingen kunnen laten afhangen van de verantwoordelijkheid voor het broeikas effect (bijvoorbeeld de cumulatieve CO<sub>2</sub>-uitstoot sinds 1992, toen het UNFCCC is vastgesteld), het vermogen om te betalen (bijvoorbeeld BBP per hoofd) en de mogelijkheden om de uitstoot terug te brengen (CO<sub>2</sub>-uitstoot per eenheid BBP, eventueel gecorrigeerd voor economische structuur) [Ott et al., 2004].

Er zijn talloze analyses verschenen van de verschillende mechanismen om uiteindelijk tot gelijke emissierechten per hoofd van de bevolking te komen. De uitkomsten, in termen van emissiereducties en economische kosten, hangen sterk af van de gekozen parameters. Het is niet de bedoeling van dit rapport om de analyses tot in de finesses weer te geven, noch om er een nieuwe analyse aan toe te voegen.

Wanneer emissiehandel mogelijk is tussen landen, koppelt de markt een billijke verdeling van de verminderingdoelstellingen aan een billijke verdeling van de kosten. Immers, landen met een tekort aan emissierechten zullen bij landen met een overschot rechten kopen. Of landen met een zeer CO<sub>2</sub>-efficiënte industrie zullen met overdracht van technologie in andere landen uitstootvermindering kunnen bewerkstelligen, die zij op hun conto kunnen schrijven. Dit is de meest eenvoudige en heldere manier om de kosten voor mitigatie op een billijke manier te verdelen. Er is namelijk geen aparte verdeelsleutel nodig en geen controle op de overdracht van geld.

Een billijke verdeling van de kosten voor adaptatie moet ook ruimte bieden om de kosten voor klimaatrampen te verdelen [Müller, 2002]. Het gaat daarbij zowel om noodhulp als om hulp op de iets langere termijn om de gevolgen van de rampen

te overwinnen. Als de geïndustrialiseerde landen ernst maken met het verdelen van de kosten voor adaptatie en klimaatrampen, zou dat veel ontwikkelingslanden kunnen overhalen om deel te nemen aan een klimaatverdrag waarin zij ook verplichte doelstellingen op zich nemen, direct of op termijn.

De verdeling van de kosten voor adaptatie en klimaatrampen zou gebaseerd moeten zijn op het vermogen om te betalen (BBP per hoofd van de bevolking) en wellicht ook op een maat voor de historische verantwoordelijkheid voor het broeikas-effect (cumulatieve uitstoot van CO<sub>2</sub> in een bepaalde periode). Op basis van een verdeelsleutel die hier uit volgt zou een fonds gevuld kunnen worden dat beheerd wordt door bestaande organisaties voor nood- en ontwikkelingshulp, zoals de OHCA en het Rode Kruis. Het voordeel hiervan is dan niet een nieuwe organisatie nodig is. Het fonds kan daarom tegen relatief lage kosten beheerd worden [Müller, 2002].

### **Ad 3) inzetten op betrekken van VS en ontwikkelingslanden**

Het oplossen van verdelingsvraagstukken, zoals hierboven beschreven, is een noodzakelijke, maar waarschijnlijk niet een voldoende voorwaarde om ontwikkelingslanden bij het klimaatbeleid te betrekken, en daarmee ook de VS. Veel ontwikkelingslanden missen onderhandelingsmacht. Hun delegaties bij de UNFCCC deelnemersconferenties zijn vaak klein en slecht op hun taak voorbereid [Müller, 2003]. Dit is een van de redenen dat ze niet individueel of in regionale groepen optreden, maar vaak als G77 plus China, een groep die in tegenstelling tot wat de naam doet vermoeden 134 landen omvat. Een oplossing hiervoor zou kunnen zijn om ontwikkelingslanden te assisteren bij het evalueren van de voorstellen die worden gedaan. Wanneer immers de gevolgen van een voorstel voor een land onduidelijk zijn, is de neiging groot het voorstel af te wijzen om geen onnodige risico's te lopen [Ott et al., 2004].

Door voorstellen te doen die rekening houden met de speciale belangen van sommige landen, zouden meer landen verplichtingen op zich willen nemen. Die belangen bestaan bijvoorbeeld bij landen die een economische crisis doormaken en als gevolg daarvan ver onder hun uitstootniveau van 1990 blijven. Voorbeelden hiervan zijn de landen in de voormalige Sovjet-Unie en Argentinië. Deze landen willen toetreden tot het Kyoto-protocol om op die manier te kunnen profiteren van hun emissieoverschot, maar kunnen dat onder de huidige regels niet.

Andere ontwikkelingslanden zijn vooral bezorgd dat hun economische groei teveel beperkt zou worden door emissieplafonds. Dit is te ondervangen door in het klimaatbeleid veel ruimte te laten voor overdracht van technologie, zodat de landen geen verouderde, vervuilende technologie hoeven toe te passen in hun productie [Müller, 2003]. Het Clean Development Mechanisme biedt hier de ruimte voor, maar er zal wellicht ook een mogelijkheid voor gesubsidieerde technologie-overdracht moeten worden geschapen waarbij niet het geïndustrialiseerde land, maar het ontwikkelingsland profiteert van de vermindering van de uitstoot.

Verschillende geïndustrialiseerde ontwikkelingslanden, ten slotte, hebben duidelijk gemaakt dat ze bereid zijn om verplichtingen op zich te nemen wanneer alle Annex-I landen dat ook doen. Dat betekent dat de Verenigde Staten ook mee



moeten doen. Voor deelname van de Verenigde Staten is deelname van bepaalde ontwikkelingslanden een essentiële voorwaarde, maar het is waarschijnlijk niet voldoende. Zolang de regering zich op het standpunt stelt dat er geen overtuigend bewijs is voor het broeikas-effect, zal er weinig steun zijn voor een streng klimaatbeleid.

### **Kansen op deelname Verenigde Staten**

De indruk is wijdverspreid dat gedurende de huidige regeerperiode van Bush er geen verandering zal komen in de Amerikaanse afwijzing van het Kyoto-protocol of elke andere verplichte vermindering van de uitstoot van broeikasgassen [Brewer, 2003]. In 2005 ontstaat echter een heel andere situatie. Er is in de Verenigde Staten namelijk wel degelijk ruimte voor een strenger klimaatbeleid. In opinieonderzoeken geeft ongeveer veertig procent van de Amerikanen aan zich ernstig zorgen te maken over het klimaat en ongeveer twee derde zou willen dat Amerika het Kyoto-protocol zou ratificeren [Brewer, 2003]. Verschillende bedrijven, ook grote en invloedrijke, voeren zelf vrijwillig klimaatbeleid en zouden waarschijnlijk niet afwijzend staan tegenover een verplichte reductie [Dunn et al., 2002].

Verschillende staten, vooral in het Noord-Oosten en aan de westkust van de VS voeren al klimaatbeleid. Een aantal staten in het Noord-Oosten heeft samen met een aantal Canadese staten afgesproken om in 2010 de uitstoot van broeikasgassen terug te brengen tot het niveau van 1990 en in 2020 met nog eens 10%. Californië beperkt de uitstoot van broeikasgassen door auto's en dertien staten hebben een wettelijk vastgelegd minimum aandeel van groene stroom in de elektriciteitsvoorziening [Brewer, 2003].

Ook op federaal niveau zijn er tekenen dat de VS hun houding ten opzichte van het klimaatbeleid veranderen. De senaat heeft een voorstel om de uitstoot van broeikasgassen verplicht te beperken maar nipt afgestemd. Het voorstel van de senatoren McCain en Lieberman behaalde 43 stemmen. Voor aanneming zijn 51 stemmen nodig. [Pizer et al., 2004].

De indruk bestaat echter dat diplomatieke druk de VS niet naar de onderhandelingstafel terug zal brengen. Een moreel appel, gecombineerd met een systeem dat volop ruimte biedt aan technologieoverdracht en handel in emissierechten, kan de VS wellicht overtuigen om zelf ook klimaatbeleid te gaan voeren [Pizer et al., 2004; Brewer, 2003]. Meer economische analyses helpen daarvoor niet; ook in het verleden is daar niet naar geluisterd [Toman, 2002].

### **Conclusie en aanbevelingen**

Een belangrijke vraag is welke rol Nederland kan spelen in de internationale beleidscontext. Moet Nederland afwachten of juist voorop lopen? Ten eerste kan geconcludeerd worden dat een effectieve aanpak van het klimaatprobleem verdergaande internationale afspraken vereist. Nederland kan niet alleen beleid voeren omdat we mede afhankelijk zijn van technologische ontwikkelingen op de internationale markt. Een 'alleingang' zou ook zeer weinig effect hebben gezien

de schaal van het probleem. Nederland kan een goede bijdrage leveren, bij voorkeur in EU-verband, door in te zetten op de volgende punten:

- Maximaal inzetten op internationale afspraken op een zo hoog mogelijk schaalniveau.
- Als partij in de UNFCCC inzetten op een billijke verdeling van emissierechten in de toekomst, en een goede route naar een billijke eindsituatie. Bovendien kan Nederland aandacht vragen voor een billijke verdeling van adaptatiekosten en de kosten van de bestrijding van milieurampen. Hiervoor zou het bestaande rampenfonds van de VN kunnen worden aangevuld met een klimaatfonds, dat geld uit kan keren wanneer de UNFCCC heeft vastgesteld dat een bepaalde ramp te wijten is aan klimaatverandering.
- Inzetten op marktmechanismen zoals emissiehandel op een zo hoog mogelijk schaalniveau en zo veel mogelijk sectoren. Immers draagvlak voor verdergaande internationale reductiedoelstellingen zoals -30% kan alleen worden verkregen als kostenverschillen tussen sectoren en landen beperkt blijven.
- Uitdragen van een voorbeeldfunctie door het naleven van gemaakte afspraken en het ontwikkelen van nieuwe instrumenten en technieken.
- Via diplomatie inzetten op het dichteren van de gaten van Kyoto door middel van het agenderen van de vraag wie de verantwoordelijkheid krijgt voor de broeikasgassen van de internationale lucht- en scheepvaart.
- Binnenlands draagvlak voor verdergaande doelstellingen en uitvoering daarvan vereist een heldere communicatie van de baten van klimaatbeleid voor Nederland. Dit betreft een heldere uitleg van de risico's van klimaatverandering en de adaptatiekosten enerzijds en kosten van mitigatiebeleid anderzijds.

#### 4.7.2 Hoe kunnen de 'gaten' van Kyoto worden gedicht?

Zowel de luchtvaart als de scheepvaart leveren een significante bijdrage aan het klimaatprobleem en deze groeit snel. De internationale luchtvaart en scheepvaart vallen echter buiten de reductiedoelstellingen onder het Kyoto-protocol. Het is zelfs nog niet duidelijk welke partijen/landen verantwoordelijk zijn voor deze emissies. De vraag is hoe deze 'gaten' in het Kyoto-protocol kunnen worden gedicht?

Vanuit milieuoogpunt is het zaak de emissies door deze sectoren te reduceren. Vooral vanwege het sterk toenemende aandeel van de luchtvaart van het totale broeikasemissie-effect. Nederland neemt hier een bijzondere positie in vanwege de Haven Rotterdam en vanwege Schiphol. De uitstoot door de luchtvaart en scheepvaart is hierdoor in Nederland relatief hoog, maar ook de economische belangen zijn relatief hoog. Verdergaande milieumaatregelen lijken alleen mogelijk in internationaal verband (EU of VN). Binnen de EU is er overeenstemming over de noodzaak van een EU-positie over hoe luchtvaart en scheepvaart opgenomen moeten worden in de onderhandelingen over een toekomstig klimaatregime (te beginnen in 2005).

#### **Wereldwijde aandeel van luchtvaart in het totale broeikasemissie-effect**

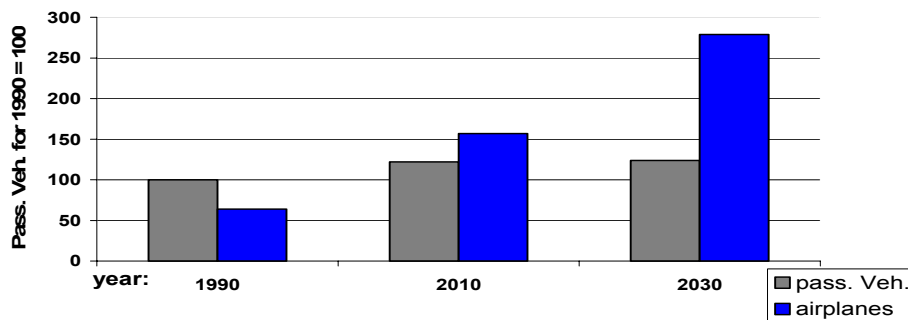
Het aandeel van de mondiale luchtvaart in het door menselijke activiteiten veroorzaakte broeikasemissie-effect bedroeg 3,5% [IPCC, 1999] in 1992 en zal verder stijgen. Die stijging wordt veroorzaakt doordat het aantal vliegekilometers sneller





groeit dan de verbetering van de brandstofefficiëntie van vliegtuigmotoren. Op basis van de nieuwste wetenschappelijke inzichten kan worden geconcludeerd dat de bijdrage van de luchtvaart aan het broeikas effect meer dan verdubbeld is sinds 1992 (van 50 naar 116 mW/m<sup>2</sup>). Luchtvaart heeft op dit moment een vergelijkbaar aandeel in het versterkte broeikas effect als het wereldwijde verkeer van passagiers over de grond (zie figuur 28).

figuur 28 Wereldwijde vergelijking tussen de bijdrage van passagiervervoer over grond en luchtvaart aan het versterkte broeikas effect [UBA, 2004] op basis van [OECD, 2002] en [IPCC, 1999]. Verondersteld is dat het effect van andere broeikasgassen een factor 3 groter is dan het effect van CO<sub>2</sub> alleen. Factor 3 is de middenwaarde volgens [IPCC, 1999]



Bron: UBA, 2004; OECD, 2002; IPCC, 1999

### Belang van andere broeikasgassen dan CO<sub>2</sub>

De kennis over de effecten van luchtvaartemissies op het klimaat is de laatste jaren verder toegenomen. Met name is duidelijk geworden dat naast kooldioxide (CO<sub>2</sub>) de condensatiestrepen van vliegtuigen en in mindere mate de uitstoot van stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan het versterkte broeikas effect. De totale bijdrage van de luchtvaart aan het broeikas effect is volgens het IPCC rapport uit 1999 een factor 2 tot 4 groter dan het effect als gevolg van de uitstoot van CO<sub>2</sub> alleen.

### Ontwikkeling van de Nederlandse lucht- en scheepvaart CO<sub>2</sub>-emissies

Op basis van de brandstofstatistieken van de International Energy Agency (IEA) heeft het RIVM middels het EDGAR-model vastgesteld dat de uitstoot van CO<sub>2</sub> door luchtvaart met een herkomst en/of bestemming van Nederland met 100% zijn toegenomen in de periode 1990-2001. Indien de toerekening van luchtvaartemissies niet zou worden gebaseerd op de verkoop van brandstoffen op Nederlands grondgebied zoals de IEA dat doet, maar op basis van de helft van emissies van alle vluchten van en naar Nederland, dan zou het resultaat ongeveer hetzelfde zijn [Van Velzen et al., 2000].

tabel 27 Trends in CO<sub>2</sub>-emissies van aan Nederland gerelateerde luchtvaart 1990-2001

Land/regio	Tre
<b>Nederlandse luchtvaart</b>	
Binnenlands	-60%
Buitenlands	+120%
Totaal	+100%

Bron: IEA/EDGAR

<sup>1)</sup> Gebaseerd op gebruik van jet fuel.

In tabel 28 is te zien dat de groei van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de internationale scheepvaart dat is gerelateerd aan Nederland met 35% is toegenomen in de periode 1990-2001.

tabel 28 Trends in CO<sub>2</sub>-emissies van internationale scheepvaartbunkers 1990-2001

Land/regio	Tre
<b>Marine bunkers</b>	
Nederland	+35%
Annex-I	0%
Wereld	+19%

Bron: IEA/EDGAR

### Beleid ten aanzien van lucht- en scheepvaart

In 1997 is in het Kyoto-protocol in artikel 2.2 opgenomen dat de geïndustrialiseerde landen via de International Civil Aviation Organisation (ICAO) en de International Maritime Organisation (IMO) beleid zullen ontwikkelen waarmee de emissie van broeikasgassen door de internationale luchtvaart en scheepvaart kunnen worden beheerst. Nu, zeven jaar later zijn beide organisaties er nog niet in geslaagd om concrete beleidsvoorstellen te formuleren ten aanzien van klimaatbeleid. De verwachting is dat dit ook de komende jaren niet zal gebeuren. Hiervoor zijn twee belangrijke oorzaken te noemen:

- 1 Ten eerste voelen de betrokken landen en sectoren geen enkele druk om spoedig beleid te ontwikkelen omdat er geen emissiereductieverplichtingen voor de lucht- en scheepvaart bestaan. Nog opvallender is dat de vraag wie verantwoordelijk is voor deze emissies (nog) niet op de internationale beleidsagenda (post-Kyoto) staat. Het agenderen hiervan bij de volgende CoP en SBSTA bijeenkomsten zou een belangrijke inzet van Nederland kunnen vormen.
- 2 Een tweede belangrijke oorzaak voor de gebrekkige voortgang binnen IMO en ICAO zijn enerzijds de terughoudendheid van de Verenigde Staten en anderzijds het feit dat veel niet-Annex 1 landen deel uitmaken van zowel ICAO en IMO en er telkens op wijzen geen reductieverplichtingen te hebben en daarom veel nieuwe beleidsplannen blokkeren.



De Europese Commissie heeft tot dusver de lijn via ICAO en IMO onderschreven, maar tegelijkertijd de zorg uitgesproken over de voortgang. Eind oktober 2001 heeft de Europese Unie tijdens klimaatonderhandelingen in Marrakesh (Conferentie van Partijen 7), ICAO opgeroepen de voorgestelde maatregelen op het gebied van emissiehandel verder uit te werken. Ook is ICAO opnieuw gevraagd om zo spoedig mogelijk praktische richtlijnen te ontwikkelen voor vrijwillige overeenkomsten en emissieheffingen.

Om de voortgang binnen de ICAO te bespoedigen is door de EU druk opgebouwd op andere leden van ICAO om snel tot maatregelen te komen. Lukt dit niet dan heeft de EU het voornemen om met eenzijdige maatregelen te komen. Nederland heeft dit voornemen steeds gesteund. In het Zesde Milieu Actie Programma heeft de Europese Unie aangegeven, dat als er in 2002 nog geen overeenstemming is binnen ICAO, Europa zelf maatregelen zal treffen om de emissie van broeikasgassen door vliegtuigen te beperken.

Inmiddels is tijdens de bijeenkomst van de Milieucommissie van ICAO<sup>16</sup> in februari van dit jaar bekend geworden dat ICAO geen eigen systeem van verhandelbare emissierechten zal opzetten, vooral vanwege het gebrek aan institutionele capaciteit. Een emissieheffing geniet alleen de steun van een aantal EU-lidstaten. Overigens dienen deze besluiten nog te worden bevestigd tijdens de Algemene ICAO Assembly in de herfst van 2004.

De Europese Commissie is reeds aan het onderzoeken welke eenzijdige maatregelen zij kunnen treffen. Een mogelijke eenzijdige maatregel is een belasting op kerosine. Op basis van onderzoek, heeft de Europese Commissie in 1999 aangegeven dat een belasting op kerosine voor Europese luchtvaartmaatschappijen ongewenst is, vanwege nadelige economische effecten. Een kerosinebelasting voor alle maatschappijen is niet mogelijk, omdat dat in strijd is met het merendeel van de bilaterale luchtvaartovereenkomsten. De accijnsvrijstelling voor kerosine blijft daarom gehandhaafd.

Een andere mogelijke eenzijdige maatregel die door de EU kan worden ingevoerd is een emissieheffing op basis van de in het Europese luchtruim afgelegde afstand, gekoppeld aan de betalingen voor verkeersgeleiding door Eurocontrol. Mede op initiatief van Nederland heeft de Europese Commissie een haalbaarheidsstudie laten uitvoeren. De resultaten zijn medio 2002 gepresenteerd en wijzen uit dat een emissieheffing in het Europese luchtruim die geldt voor zowel EU als niet-EU luchtvaartmaatschappijen, leidt tot een substantiële vermindering van CO<sub>2</sub>-emissies zonder nadelige economische consequenties, mits het instrument juist wordt vormgegeven. Zowel de Europese Commissie als Nederland hebben nog geen standpunt bepaald ten aanzien van deze bevindingen.

Thans wil de Europese Commissie onderzoeken of het mogelijk is om de luchtvaartsector onder het Europese Emissiehandelsysteem (ETS) te brengen. De resultaten hiervan worden medio 2005 verwacht. Gezien de voorkeur die de Commissie heeft uitgesproken voor marktconforme instrumenten, zal medio 2005 alle informatie bekend zijn over deze instrumenten. Dan rest alleen nog politieke

---

<sup>16</sup> Zesde bijeenkomst van de Committee on Aviation and environmental protection (CAEP 6).

besluitvorming. Aangezien binnen de EU niet alle landen zich sterk maken voor beheersing van broeikasgassen van de luchtvaart is het belangrijk dat Nederland zich inzet voor invoering van beleid op dit punt. De belangrijkste steun zal Nederland hierbij kunnen vinden bij de Scandinavische landen, Duitsland en met name Engeland, dat te kennen heeft gegeven voor invoering van emissiehandel voor de luchtvaart te zijn.

Wat betreft scheepvaart is nog geen enkele vooruitgang geboekt binnen de IMO. De Europese Commissie heeft recentelijk wel het initiatief genomen om verschillende beleidsopties te onderzoeken.

### **Conclusies en aanbevelingen**

Internationale luchtvaart en scheepvaart vallen als enige sectoren niet onder de reductiedoelstellingen van het Kyoto-protocol. De kans is groot dat ook in een toekomstig klimaatregime de klimaat gerelateerde emissies van deze sectoren niet beheerst zullen worden. Immers het is nog steeds niet duidelijk welk land of welke Partij verantwoordelijk is voor deze emissies. De oplossing van dit vraagstuk staat zelfs nog niet geagendeerd voor de komende post-Kyoto onderhandelingen in UNFCCC verband. Indien Nederland streeft naar een internationale oplossing, dan is het aan te bevelen dat Nederland (via de EU) aandacht vraagt voor deze 'verantwoordelijkheidsvraag' in één van de komende Klimaatonderhandelingen. Het gegeven dat de wereldwijde bijdrage van de luchtvaart aan het broeikaseffect inmiddels even groot is als dat van het passagierverkeer over de grond toont de urgentie van dit probleem aan. Hierbij is met name ook van belang dat aandacht wordt besteed aan niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen van de luchtvaart, die op basis van huidige inzichten ongeveer 2/3 van het effect veroorzaken.

Wat betreft de invoering van instrumenten is inmiddels duidelijk geworden dat zowel ICAO als IMO de komende jaren niet zullen komen met duidelijke voorstellen. Nederland zal zich hierbij sterk moet richten op een oplossing op EU-niveau samen met andere voorlopers. Een interessante optie waarbij de medewerking van de VS niet nodig is en toch een maximaal effect kan worden geboekt is te starten met emissiehandel voor zowel intra-EU luchtverkeer als voor alle verkeer tussen de EU en derde landen (zoals Noorwegen, Japan en Canada) die ook Kyoto hebben geratificeerd en ook emissiehandel gaan opstarten voor nationale emissies. De overeenstemming met derde landen kan op basis van bilaterale overeenkomsten en lijkt zowel juridisch als economisch geen problemen op te leveren.

## **4.8 Keuze 3: Hoe kan de overheid optimaal sturen?**

Op Europees en nationaal niveau spelen kwesties die samenhangen met deze derde hoofdkeuze. De keuze wordt verder gepreciseerd in de vijfde prangende kwestie: 'Welke instrumenten zijn optimaal?' Bij de keuze voor specifieke beleidsinstrumenten speelt de afweging tussen kosten en baten van het beleid een steeds grotere rol.

Een probleem bij het huidige klimaatbeleid is de snelle groei van emissies vanuit het transport. De zesde prangende kwestie gaat daar op in: 'Kan de transportsector ook bijdragen aan emissiereducties?'. De zevende prangende kwestie



gaat nog een stap verder en analyseert de samenhang tussen klimaatbeleid en de innovatieve vermogens van het Nederlandse bedrijfsleven: 'Hoe kan de Nederlandse economie profiteren van klimaatbeleid?'

#### 4.8.1 Welke instrumenten zijn optimaal?

In paragraaf 4.2.3 is reeds ingegaan op verschillende sturingswijzen. De conclusie was dat de overheid bij voorkeur moet inzetten op marktconforme instrumenten omdat in het algemeen de voordelen daarvan het grootst zijn. Echter specifieke situatietekarakteristieken kunnen maken dat andere sturingswijzen (kosten)effectiever zijn. Daarnaast is het beter dat de overheid kiest voor sturing op doelen (minder CO<sub>2</sub>-uitstoot) in plaats van sturen op specifieke technieken (zoals bijvoorbeeld waterstof of biomassa).

Hieronder worden in deze paragraaf verschillende concrete beleidsalternatieven voorgesteld waarbij de overheid zich beperkt tot het stellen van randvoorwaarden. De voorgestelde instrumenten hebben daardoor als kenmerk dat ze aan de creativiteit van de markt overlaten welke concrete maatregelen worden gekozen om de doelen te bereiken. Sommige van de voorgestelde alternatieven bouwen voort op bestaand beleid, andere zijn volledig nieuw. Nieuwe alternatieven zijn bijvoorbeeld aan de orde als blijkt dat bestaande instrumenten niet de verdergaande reducties kunnen realiseren tegen aanvaardbare kosten.

##### **Flexibele instrumenten (ET, JI en CDM)**

De verwachting is dat in de post-Kyoto verder wordt gebouwd op het gebruik van de zogenaamde flexibele instrumenten:

- Emissiehandel (ET): Handelen in emissiereducties met andere geïndustrialiseerde landen;
- Joint Implementation (JI); uitvoeren van emissiereducerende projecten in andere geïndustrialiseerde landen;
- Clean Development Mechanism (CDM): uitvoeren van emissiereducerende projecten in niet-geïndustrialiseerde landen.

Nederland kan bijdragen aan verbetering van deze instrumenten. In de EU gaat per 1 januari het Europese Emissiehandel Systeem (ETS) van start voor 'grootverbruikers' van een beperkt aantal doelgroepen. In principe is het vanuit economisch oogpunt gunstig als zoveel mogelijk sectoren onder dit systeem worden gebracht. Hiervoor dienen de betreffende Directive 2003/87/EC en Linking Directives te worden geamendeerd. Sectoren die eronder kunnen worden gebracht zijn onder meer de transportsectoren (weg-, lucht en scheepvaart) en industriële sectoren die minder dan 20 MW verbruiken. Daarnaast kan Nederland zich via de EU ook inspannen voor het koppelen van het Europese emissiehandelsysteem aan dat van landen buiten de EU die het Kyoto-protocol hebben geratificeerd, zoals Noorwegen, Canada en Japan. Hiermee ontstaat een handelsstelsel op hoger schaalniveau met de bijbehorende kostenvoordelen.

Belangrijke redenen voor het nog niet opnemen van de bovengenoemde sectoren ligt mede in de hoogte van de geschatte transactiekosten en de complexiteit van grensoverschrijdend verkeer en vervoer. Nader onderzoek naar oplossingen hiervoor zijn nodig om de effectiviteit en efficiency van het klimaatbeleid te vergroten. Indien blijkt dat het uitbreiden van ETS met de genoemde sectoren stuit op te hoge transactiekosten, zouden alternatieve generieke instrumenten zoals koolstofheffingen en concessiesystemen kunnen worden overwogen. Deze systemen kennen naar verwachting veel lagere transactiekosten indien ze 'upstream' in de keten worden ingevoerd. Beide instrumenten worden hieronder nader toegelicht.

### **Concessiesysteem**

Een optie die tot nu toe weinig aandacht krijgt voor het sturen op het doel is de invoering van een concessiesysteem voor CO<sub>2</sub>-emissie.

In een dergelijk systeem moeten alle bedrijven die fossiele brandstoffen toevoegen aan de Europese economie (via winning en via import) beschikken over CO<sub>2</sub>-emissieconcessies die overeenkomen met de CO<sub>2</sub>-inhoud van de fossiele brandstoffen die zij toevoegen aan de economie, oftewel voor een ton steenkool zijn meer rechten vereist dan voor een ton olie. Op Europees niveau wordt jaarlijks bepaald hoeveel CO<sub>2</sub> maximaal kan worden geëmitteerd. Deze hoeveelheid kan elk jaar worden verminderd. De overheid veilt elk jaar de beschikbare rechten aan de beperkte groep van bedrijven die fossiele energie toevoegen aan de economie. Verder bemoeit de overheid zich niet met het nemen van reductiemaatregelen, het economisch proces zorgt ervoor dat de schaarste in de prijs tot uitdrukking komt en dat burgers en bedrijven gegeven de prijs voor energie ofwel hernieuwbare energie gaan aanwenden als dat goedkoper is, of zuiniger met fossiele energie omgaan.

CO<sub>2</sub>-opslag past ook binnen dit systeem. Een partij die CO<sub>2</sub> langdurig opslaat krijgt hiervoor een concessie met een vergoeding. De totale concessieruimte neemt hierdoor toe.

Dit systeem onderscheidt zich van het huidige Europese Emissiehandelsysteem doordat het een hoger aangrijpingspunt in de productieketen heeft, namelijk bij de producenten en importeurs van fossiele energie. Vaak zullen de partijen die CO<sub>2</sub> opslaan (gaswinning) ook de partijen zijn die in dit concessiesysteem al moeten beschikken over concessies. Het aantal partijen dat deelneemt aan dit systeem blijft daardoor beperkt. Dit betekent dat het systeem veel eenvoudiger is en de omvang van de deelnemers veel geringer is. Dit systeem kent daardoor zeer lage transactiekosten, zowel voor de overheid als voor de bedrijven en is zeer effectief.

Een overweging om het niet toe te passen is dat het moeilijker voor de overheid is om bepaalde sectoren te ontzien.

### **Koolstofheffingen**

Koolstofheffingen kunnen een alternatief of een aanvulling vormen op het huidige Europese Handels systeem (ETS). In dit systeem wordt een heffing ingevoerd op de koolstofinhoud van energie. Een systeem van heffingen op fossiele koolstof is aanzienlijk minder fraudegevoelig dan een systeem van verhandelbare CO<sub>2</sub>-rechten waarbij de onzichtbare CO<sub>2</sub>-emissies gemonitord moeten worden. Zo is





de productie omvang van fossiele brandstoffen veel eenvoudiger te controleren dan de omvang van CO<sub>2</sub>-emissies. Met name de uitvoering en de handhaving wordt hierdoor een stuk eenvoudiger [Bezinningsgroep Energiebeleid, 2000].

Een heffing op CO<sub>2</sub> leidt tot een prijsverhoging van fossiele brandstoffen. Hiermee wordt een stimulans gecreëerd om de energie-efficiënte te verbeteren en de koolstofintensiteit te verlagen. Indien de heffingshoogte op het juiste niveau wordt gekozen, is de effectiviteit en efficiëntie hiervan theoretisch vergelijkbaar met die van handelbare emissierechten. Een belangrijk verschil is dat bij emissierechten het milieueffect zeker is en de economische consequenties onzeker zijn, terwijl dit bij een heffing omgekeerd is. De vraag is wat de voorkeur heeft.

Het verdelingsvraagstuk van beide instrumenten is vergelijkbaar. Bij handelbare emissierechten speelt de initiële uitgifte van rechten, terwijl bij heffingen de opbrengst dient te worden verdeeld. Het is duidelijk dat hetzelfde verdelingsprincipe zou kunnen worden gebruikt bij de initiële verdeling of terugsluizing van respectievelijk de emissierechtenrechten of de opbrengsten van de heffing.

### **Voortschrijdende normstelling voor producten**

Het instrument normstelling is een geschikt instrument in situaties waarin sprake is van lage prijsgevoeligheid, hoge transactiekosten en een latente vraag naar milieuvriendelijke producten die niet automatisch tot het bijpassende aanbod leidt. Denk hierbij aan productnormen ter verhoging van de energie- of koolstofefficiëntie en aan normen voor energiedragers. Door de normen voor bijvoorbeeld woningen (Energie Prestatie Norm), apparaten en auto's periodiek aan te scherpen kan de industrie hierop anticiperen [Bezinningsgroep Energiebeleid, 2000]. Hieronder in het kader wordt ingegaan op de mogelijkheid van het instellen van een verplichte norm voor het aandeel hernieuwbare energie in de elektriciteitsproductie. Dit zou met name zeer geschikt zijn voor het aansturen van de gebouwde omgeving omdat kostendoorberekening ervan niet leidt tot concurrentievervalsingen. Bovendien valt deze doelgroep buiten het Europese emissiehandelsysteem. Overigens zal bij handhaving van de MEP-regeling dit ook kunnen voor de industrie omdat immers de meerkosten van de productie van hernieuwbare energie wordt gesubsidieerd.

Een instrument gebaseerd op normstelling (CO<sub>2</sub> per voertuig/km) voor fabrikanten van personenauto's - een handelbare CO<sub>2</sub>-credits systeem - wordt besproken in paragraaf 4.8.2.

## Verplicht aandeel hernieuwbare energie

### Doelstelling Hernieuwbare energie in Nederland

Voor hernieuwbare energie in Nederland is de doelstelling 10% van het totale energieverbruik in 2020. In de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid (deel 1, 1999) is voor 2010 een tussendoel van 5% geformuleerd. De bijdrage in van in Nederland geproduceerde duurzame energie bedroeg in 2000 1,2% (exclusief import)<sup>17</sup>.

### Subsidieregeling MEP (Milieukwaliteit Elektriciteitsproductie)

Op dit moment is de MEP-regeling, naast verschillende andere fiscale instrumenten het belangrijkste financiële instrument om deze doelstelling te realiseren. De MEP is een subsidiestelsel waarmee beoogd wordt de milieukwaliteit van de Nederlandse elektriciteitsproductie te verbeteren. De MEP-subsidie is bedoeld voor producenten van hernieuwbare/duurzame elektriciteit en elektriciteit uit warmtekrachtkoppeling (WKK). Producenten van duurzame elektriciteit of exploitanten van een WKK-installatie kunnen een subsidie krijgen die bedoeld is om de meerkosten ten opzichte van gewone 'grijze' stroom te overbruggen. De subsidiëring via de MEP verhoogt de investeringszekerheid en verbetert het investeringsklimaat voor deze vormen van duurzame elektriciteitsopwekking. Op deze manier wordt bijgedragen aan het halen van de doelstellingen op het gebied van DE.

### Aanvullende maatregelen

De MEP geeft echter geen garantie dat de doelen op het gebied van duurzame energie ook daadwerkelijk worden gehaald. De MEP regeling in zijn huidige vorm geeft nog steeds de ruime aanleiding tot onzekerheid. Investeerders hebben twijfels geuit over de politieke houdbaarheid van een systeem met projectvergoedingen. De vergoedingen kunnen in het begrotingsbeleid worden aangepast en er is voldoende ruimte voor budgettaire aftopping van de regeling. Met de uitbreiding van duurzame productiecapaciteit in het verschiet, zal de MEP regeling in de toekomst met een aanzienlijk tekort kampen. Hierdoor speelt de vraag of er een plafond moet komen op de MEP regeling. Een dergelijk plafond heeft een zeer negatieve impact op het investeringsklimaat voor duurzame energie, omdat veel projecten een lange(ere) ontwikkeltraject vergen. Zonder zekerheid op financiële ondersteuning zullen dergelijke trajecten niet worden gestart.

### Verplicht aandeel duurzaam

De ontwikkeling van de DE-markt is gebaat bij een consistent stimuleringskader dat ook voor langere termijn vastligt. De sleutel hiervoor ligt in maatregelen die hun aangrijpingspunt vinden in de hoeveelheid in plaats van in de prijs<sup>18</sup>. Een afname verplichting voor duurzame energie voor afnemers / energieleveranciers in combinatie met verhandelbaarheid is een instrument waarmee in diverse Europese landen goede ervaring mee is opgedaan. Met de huidige '*certificaten van oorsprong*' (voorheen groencertificaten) heeft Nederland daar reeds een geschikt systeem voor in handen. Voordeel van de maatregel is dat het een 100%-garantie voor het realiseren van de doelstellingen geeft, terwijl hier momenteel grote onzekerheid bestaat over het realiseren van deze doelen. Het verplichte aandeel duurzaam kan gekoppeld worden aan de Europese richtlijn van 9% van het totale elektriciteitsgebruik in 2010.

### Ervaringen buitenland

Verder is het van groot belang dat het DE-beleid in Nederland niet in een isolement tot stand komt. Stabiliteit hangt ook af van Europese richtlijnen en wat er in het buitenland gebeurt. Europees is er een tendens zichtbaar naar het sturen op hoeveelheden met een verplichte afname (%) voor afnemers of leveranciers. Een verplicht aandeel duurzame energie, gekoppeld aan groene energiecertificaten blijkt reeds een effectief instrument te zijn in het Verenigd Koninkrijk, Zweden, België, Italië en Oostenrijk.

<sup>17</sup> Daarnaast gelden Europese doelstellingen voor duurzaam elektriciteitsverbruik: 6% in 2005 en 9% in 2010 (momenteel is ongeveer een vijfde van het totale Nederlandse energieverbruik elektriciteit; 9% duurzame elektriciteit is bij die verhouding dus ongeveer 2% duurzame energie).

<sup>18</sup> Financiële of fiscale instrumenten zullen immers in het kader van de begroting elk jaar opnieuw worden vastgesteld. Regelgeving kent een langere politieke houdbaarheid en is relatief fiscaal onafhankelijk.



### **Herstructurering belastingen**

Op nationaal niveau kan Nederland ook veel bijdragen aan de klimaatdoelstellingen tegen relatief lage kosten door bestaande belastingen te vergroenen. Zo kunnen volgens het Centraal Planbureau inefficiënties in het huidige systeem van energiebelastingen worden opgeheven. Bij een efficiënt systeem zullen koolstofbelastingen voor kolen hoger zijn dan voor olie en voor olie hoger dan voor aardgas (vanwege verschillen in koolstofintensiteit). Bestaande belastingen kennen deze structuur niet en drukken relatief zwaar op olieproducten. Herstructureringen van bestaande belastingen kunnen de kosten van klimaatbeleid terugdringen maar beperken tevens de werkgelegenheidsveranderingen in energie-intensieve sectoren [Bollen et al., 2004].

### **Inzetten voor Europese (groene) belastingen**

Thans heeft de Europese Commissie geen recht om Europese belastingen te heffen. In plaats daarvan verkrijgt de Commissie haar budget via een systeem van jaarlijkse contributies van de lidstaten. Zoals bekend is dit systeem niet zonder politieke problemen vanwege kritiek op een rechtvaardige verdeling van lussen en lasten. Nederland kent de laatste jaren per hoofd van de bevolking verreweg de hoogste afdracht aan de EU. Recentelijk heeft de Commissie in een werkdocument aangegeven te onderzoeken of het mogelijk is over te stappen op een systeem van rechtvaardige Europese belastingen. Daarbij werd expliciet de mogelijkheid van milieubelastingen genoemd.

Er zijn een aantal redenen waarom Nederland deze ontwikkeling zou kunnen ondersteunen of in ieder geval de kosten en baten ervan te onderzoeken:

- Europese belastingen verminderen de beleidsconcurrentie tussen EU-landen en verhogen daardoor de economische kracht van de afzonderlijke lidstaten en de EU. Dit draagt bij aan de Lissabondoelstellingen. Het biedt bijvoorbeeld de mogelijkheid om uniforme Europese vennootschapsbelastingen te heffen waardoor de allocatieve efficiency wordt verhoogd.
- Het biedt daarnaast de mogelijkheid om generieke milieubelastingen in te voeren waardoor het klimaatbeleid effectiever en efficiënter kan worden. Bijvoorbeeld door invoering van uniforme belastingen zoals BTW en accijnzen op internationaal verkeer (wegtransport, scheepvaart, luchtvaart).
- Europese belastingen zijn rechtvaardiger dan het huidige systeem van afdrachten omdat het rust op economische activiteiten en handel. Het principe waarop de bijdrage van ieder land rust is dan gelijk voor iedere lidstaat.

### **Voorkomen en afschaffen klimaatschadelijke subsidies**

Het invoeren van nieuwe instrumenten is veelal moeilijker dan het optimaliseren van bestaand beleid. Het kan daarom zeer effectief zijn om na te gaan welke subsidies in Nederland bijdragen aan uitstoot van broeikasgassen en vervolgens te onderzoeken of deze subsidies kunnen worden hervormd. Dit geldt zowel voor directe subsidies als indirecte subsidies (zoals belastingvrijstellingen, minimumprijzen, financiële garanties van de overheid, etc.). Zowel op EU als op OECD niveau bestaat er veel aandacht voor dit onderwerp. Ook Nederland heeft reeds een aantal subsidies onderzocht op milieuschadelijkheid [Wit et al., 2000; Beers et al., 2002; Leurs et al., 2003].

Deze studies kennen tot dusver echter een aantal belangrijke nadelen:

- subsidies gebaseerd op Europese richtlijnen zijn niet onderzocht. Dit betreft een substantieel budgetbeslag dat naar schatting loopt in de orde van miljarden Euro's. Denk hierbij aan landbouwsubsidies die met name relevant zijn in relatie tot overige broeikasgassen;
- de studies beperken zich tot subsidies, terwijl ook andere beleidsinstrumenten milieuschadelijke effecten kunnen hebben;
- de studies tot dusver richten zich met name op de effecten van directe subsidies en niet op indirecte subsidies zoals belastingvrijstellingen. Bijvoorbeeld, de vrijstelling van BTW op vliegtickets en de klimaatschadelijke effecten daarvan vielen tot dusver buiten de afbakening van de studies;
- screening van bestaande subsidies geven geen garanties dat er nieuwe subsidies met milieuschadelijke effecten worden ingevoerd. Een standaard klimaattoets op invoering van nieuwe subsidies is daarom van groot belang voor toekomstig klimaat beleid.

#### 4.8.2 Kan de transportsector ook zelf bijdragen aan emissiereducties?

De CO<sub>2</sub>-uitstoot van de transportsector zal blijven toenemen zonder aanvullend beleid en vormt daarmee een steeds grotere belemmering voor het bereiken van verdergaande nationale reductie doelstellingen. Het feit dat personenauto's in de afgelopen twintig jaar nauwelijks zuiniger zijn geworden kan als een grote gemiste kans worden beschouwd. Op basis van dit gegeven zou Nederland zich mede in EU-verband kunnen sterk maken voor de invoering van een systeem van verhandelbare CO<sub>2</sub>-credits voor de fabrikanten van personenauto's.

In dit systeem krijgen autofabrikanten een doelstelling opgelegd voor het gemiddelde brandstofverbruik van nieuw verkochte personenauto's. De fabrikanten mogen daarbij onderling handelen in CO<sub>2</sub>-credits: als fabrikanten een gemiddeld lager verbruik halen dan de doelstelling kunnen ze credits verkopen aan fabrikanten van auto's met een hoog verbruik. In onderstaand kader is deze maatregel verder uitgewerkt. Op termijn kan dit instrument worden uitgebreid met bestelauto's, al moet daar eerst een CO<sub>2</sub>-testprocedure voor worden vastgesteld (verwacht in 2007). Een dergelijk systeem is voor vrachtauto's de komende jaren (nog) niet mogelijk omdat het lastig is om een realistische meting van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van deze voertuigen in te voeren.

##### **Verhandelbare CO<sub>2</sub>-rechten bij aankoop van nieuwe personenauto's**

In 1999 is in EU-verband een convenant gesloten met de Europese autofabrikanten (ACEA) dat is gericht op vermindering van de uitstoot van CO<sub>2</sub> per voertuigkilometer. In 2000 zijn vergelijkbare overeenkomsten met de Japanse en Koreaanse autofabrikanten gesloten. Jaarlijks wordt de voortgang van deze convenanten gemonitord. Gegeven de volumegroei van de automobilititeit en de voortgang tot op heden kan echter al worden geconcludeerd dat dit convenant de huidige trend van een toename van het aandeel van de sector verkeer niet voldoende zal ombuigen. Daarvoor is een aanzienlijke aanscherping van de doelstelling na afloop van het convenant (2008/2010) nodig. Ook de andere nationale maatregelen sorteren geen substantieel effect (zie paragraaf 3.3). In onze ogen is het daarom zinvol om nieuwe instrumenten in te voeren, bij voorkeur op Europees niveau.



Eén optie zou kunnen zijn om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van nieuwe auto's te normeren, zoals ook gebeurt met de luchtvervuilende emissies, in de EURO-normen. Deze normen worden periodiek aangescherpt en zijn zeer effectief gebleken bij het schoner maken van het Europese wagenpark. Voor de aanpak van CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt dit instrument in de huidige vorm echter niet geschikt geacht omdat normering tot gevolg zou hebben dat grotere en zwaardere auto's verboden zouden worden. Dit wordt gezien als maatschappelijk ongewenst.

Een alternatieve maatregel met een vergelijkbaar milieueffect maar minder ingrijpende maatschappelijke gevolgen is een systeem van verhandelbare CO<sub>2</sub>-credits voor de auto-industrie. Dit systeem, dat deels uitgaat van het CAFE-systeem dat al sinds 1974 in de Verenigde Staten van kracht is, kan als volgt worden samengevat. Eerst wordt een gemiddelde norm voor de uitstoot van CO<sub>2</sub> per auto vastgesteld. Als uitgangspunt kan de door de Europese Commissie aangegeven doelstelling voor 2010 van 120 gram CO<sub>2</sub>/km worden genomen. Vervolgens wordt voor iedere autofabrikant vastgesteld wat de gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot is van alle auto's die deze verkocht heeft in één jaar (bijvoorbeeld te beginnen in 2009, na afloop van het ACEA-convenant). Indien de gemiddelde uitstoot van de in een bepaald jaar verkochte auto's van een fabrikant hoger liggen dan de norm, dan moet deze credits bijkopen op de markt. Indien de uitstoot lager ligt dan de norm, dan kan de fabrikant CO<sub>2</sub>-credits verkopen. Als er onvoldoende credits zijn volgen boetes. Dit systeem heeft onder meer de volgende voordelen:

- het geeft fabrikanten flexibiliteit en een positieve prikkel;
- het systeem sluit aan bij de bestaande convenanten;
- het systeem laat nog steeds de verkoop van 'energieslurpers' toe zolang maar credits worden gekocht. Hierdoor blijft de markt open voor fabrikanten die alleen maar auto's in het dure segment verkopen.

#### 4.8.3 Hoe kan de Nederlandse economie profiteren van klimaatbeleid?

Een belangrijke vraag is hoe economische belangen kunnen samengaan met het voeren van klimaatbeleid. Zowel de Sociaal Economische Raad [SER, 2001] als de Algemeen Economische Raad [AER, 2002] wijzen op de noodzaak hiervan. Ook de Lissabon-doelstellingen gericht op de concurrentiekracht van de EU wijzen op dit belang.

Hieronder zal eerst worden ingegaan op de wijze waarop klimaatbeleid innovatie en diffusie kunnen versterken. Vervolgens worden aan het eind van deze paragraaf een aantal concrete technologietrajecten genoemd die voor Nederland economisch interessant zijn en sterke punten (comparatieve voordelen) van Nederland benutten.

##### Innovatie en diffusie

Het welslagen van het milieubeleid is afhankelijk van innovaties. Wanneer er geen nieuwe technologieën ontwikkeld worden die minder broeikasgassen uitstoten of broeikasgassen opslaan, dan is vermindering van de uitstoot van broeikasgassen alleen mogelijk door een vermindering van de productie. Om de huidige ambitieniveaus te bereiken zou de welvaart in dat geval gedecimeerd moeten worden.

De innovaties moeten gericht zijn op het verminderen van de broeikasgasintensiteit van de economie (of preciezer: een vermindering van de uitstootintensiteit van de economie). Alle innovaties samen moeten bijdragen aan een *transitie* van de huidige, uitstootintensieve productie naar een manier die weinig broeikasgassen uitstoot.



De vormgeving van het klimaatbeleid bepaalt in hoge mate de waarschijnlijkheid van het bereiken van een dergelijke transitie. Beleid dat geheel steunt op technische regulering stimuleert innovatie veel minder dan een beleid dat alleen de doelen bepaalt en aan bedrijven vrijheid biedt in de manier waarop ze die doelen bereiken.

Innovaties zijn alomtegenwoordig in goed functionerende markten [Baumol, 2002]. Maar innovaties worden niet vanzelfsprekend gericht op de doelstellingen van het klimaatbeleid. Eerder is al het voorbeeld van de zwaveldioxide-uitstoot van Amerikaanse elektriciteitscentrales aangehaald [Popp, 2001]. Zolang er een relatieve doelstelling van uitstootreductie gold, waren innovaties gericht op het zo goedkoop mogelijk toepassen van rookgasreinigers. Zodra echter de uitstoot zelf belast werd, richtten de innovaties zich op het terugdringen van de uitstoot en namen de emissies met enorme sprongen af.

In het algemeen geldt dat innovaties vaak zijn gericht op het terugdringen van het gebruik van factoren die in prijs stijgen [Hicks, 1932]. Wanneer de lonen stijgen, nemen arbeidsbesparende innovaties toe [Huizinga et al., 2004]. Wanneer de energieprijzen stijgen, worden er energiebesparende innovaties gedaan. En wanneer uitstoot geld gaat kosten, richten bedrijven hun innovatieve activiteiten op het terugdringen van de uitstoot, mits de spanning niet te hoog is. De richting van innovaties is dus tot op zekere hoogte stuurbaar door het overheidsbeleid.

#### **Welke instrumenten versterken innovatie?**

De innovatieve activiteiten van bedrijven kunnen in overeenstemming worden gebracht met de doelstellingen van het klimaatbeleid. Daarvoor is het nodig om het instrumentarium te kiezen dat het best past bij de doelen van het beleid, en niet de middelen voor te schrijven die bedrijven moeten gebruiken. In het algemeen zijn marktgebaseerde maatregelen een goede stimulans voor innovaties, of het nu belastingen op uitstoot zijn, verhandelbare emissierechten of nog andere vormen. Deze instrumenten hebben het voordeel dat ze uitstoot kostbaar maken maar verder geen voorkeur hebben voor middelen om de vermindering van de uitstoot te bereiken. Daar komen nog de eerder genoemde voordelen van marktinstrumenten bij.

Als de markten goed zijn ingericht in overeenstemming met de doelen van het klimaatbeleid, wordt de innovatie dan op de juiste doelen gericht en is er voldoende innovatie? Op deze vraag zijn globaal twee antwoorden mogelijk. Het eerste antwoord is positief. De achterliggende gedachte is dat markten innovatie stimuleren omdat concurrentie bedrijven dwingt om te innoveren [Baumol, 2002]. In deze visie is er naast de markt misschien nog ruimte voor een generieke R&D subsidie om bedrijven te stimuleren de sociaal optimale investering in R&D te maken [Jones et al., 1998]. Het tweede antwoord is voorwaardelijk positief. Innovaties komen vaak tot stand in een specifieke context van de wetenschappelijke en technische kennis binnen en buiten een bedrijf, productie, en de markt. Alleen wanneer de verschillende elementen in dit systeem samenwerken, kan een bepaalde innovatie worden gedaan. Als bijvoorbeeld de kennis ontbreekt om de energie-efficiëntie verder op te voeren, zal beprijzing van energiegebruik weinig





effect hebben. Deze opvatting pleit voor een complementair innovatiebeleid, dat naast de introductie van markten ook R&D stimuleert in een bepaalde richting en wellicht ook wet- en regelgeving verandert.

Case-studies van innovaties en ook landenstudies wijzen meer in de richting van de systeembenadering dan in de richting van de eenvoudige marktbenadering [Faber, 2001]. Dit pleit voor innovatie-klimaatbeleid dat niet alleen markten introduceert, maar ook klimaatvriendelijke R&D stimuleert en een open oog heeft voor klimaatschadelijke wet- en regelgeving en subsidies. Een goed innovatie-klimaatbeleid bouwt voort op de specifieke voordelen die een land heeft. Nederland is bijvoorbeeld goed in waterbeheer en CO<sub>2</sub>-opslag, dus is het goed mogelijk om, naast de marktcreatie door generieke instrumenten, R&D op deze gebieden te stimuleren, en het overheidsbeleid te richten op het ondersteunen van deze sectoren.

Ook bij een systeembenadering moet de overheid ervoor waken een bepaalde technologie vooraf tot winnaar uit te roepen. De waterstof-brandstofcel kan op dit moment een aantrekkelijke en in de toekomst misschien zelfs milieuvriendelijk alternatief zijn voor voertuigbrandstoffen, het is niet uitgesloten dat er nog betere technologieën ontwikkeld worden. Enkele decennia geleden is er bijvoorbeeld in Californië veel overheidsgeld gestopt in onderzoek naar elektrische auto's. Inmiddels gelooft niemand meer dat elektrische auto's een milieuvriendelijk alternatief zijn voor auto's met een verbrandingsmotor. Afgezien van eventuele kennis-spillovers zijn de overheidsinvesteringen onrendabel geweest [Mitchell, 1999].

Ook de Nederlandse overheid heeft ervaring met het stoppen van geld in technieken die (tot nu toe) weinig hebben opgeleverd, zoals de warmtepomp voor woningverwarming.

De klimaateffecten van innovatie-klimaatbeleid is niet alleen afhankelijk van het aantal en de soort innovaties die worden gedaan, maar ook van de diffusie van innovaties. Diffusie van technologie is in het algemeen een langzaam proces. Hiervoor zijn twee redenen. Naarmate een technologie langer bestaat, daalt de prijs. Omdat niet elke gebruiker even grote voordelen van een bepaalde innovatie heeft, neemt het aantal gebruikers waarvoor een innovatie rendabel is in de loop van de tijd toe, totdat alle gebruikers de innovatie hebben doorgevoerd. Een alternatieve verklaring is gebruikers kennis nodig hebben om een innovatie te kunnen doorvoeren. Die kennis krijgen ze meestal van andere gebruikers. Als elke gebruiker een aantal andere gebruikers van informatie voorziet, ontstaat er een S-curve van het gebruik van een innovatie.

### **Beleidsmaatregelen om technologiediffusie te versnellen**

Uit de aard van de technologiediffusie volgen de methoden om de diffusie te versnellen. Ten eerste zou de prijs van de innovatie kunnen worden verlaagd. Dit gebeurt vaak in het milieubeleid door bijvoorbeeld subsidies voor bepaalde technologieën of door een generieke investeringsaftrek. De eerste maatregel heeft als nadeel dat de keuze voor een technologie andere technologieën uitsluit, terwijl die voor specifieke gebruikers een beter rendement kunnen opleveren. Een

generieke investeringsaftrek heeft dit nadeel niet, al moet in dit geval rekening worden gehouden met ballast die hoog kan oplopen: een deel van de investeringen zou ook zonder de aftrek zijn gedaan. Ten tweede zou de informatievoorziening over innovaties kunnen worden verbeterd, bijvoorbeeld door een voorlichtingsdienst in het leven te roepen.

Een voorlichtingsdienst is ook een goede manier om klimaatvriendelijke innovaties te stimuleren bij het midden- en kleinbedrijf. Kleine bedrijven doen vaak zelf geen formele R&D. Hun informatievoorziening is daarom vaak niet zo goed als van bedrijven die wel een R&D afdeling hebben. Maar er zijn ook aanwijzingen dat grote bedrijven rendabele klimaatvriendelijke innovaties niet doorvoeren omdat ze niet op de hoogte zijn van energiebesparende technieken. Er zijn legio voorbeelden van bedrijven die door een kritische evaluatie van hun energie- en grondstoffenverbruik enorme reducties hebben weten te realiseren [Ekins et al., 1998; Dunn et al., 2002]. Deze voorbeelden lijken erop te wijzen dat de kosten van energie- en grondstoffenverbruik nog steeds een blinde vlek zijn voor veel bedrijven.

### **De win-win hypothese**

Voor sommige economen is het vóórkomen van grote besparingen op energie- en grondstoffenverbruik een reden geweest om een win-win scenario van milieubeleid te veronderstellen. Volgens hen kunnen bij een streng milieubeleid de emissies afnemen en tegelijkertijd bedrijfswinsten toenemen [Porter, 1990]. De win-win hypothese is erg omstreden. Een solide economische onderbouwing ontbreekt en er is geen statistisch empirisch bewijs [Jaffe et al., 2000]. Porter en anderen kunnen alleen wijzen op individuele bedrijven die dankzij milieubeleid efficiëntiewinsten hebben behaald, maar ze besteden geen aandacht aan tegenbeelden, die ongetwijfeld ook bestaan.

Dat wil echter niet zeggen dat milieubeleid altijd ten koste gaat van de concurrentiepositie. Er zijn talloze voorbeelden van bedrijven die ervoor kiezen ervoor om voorop te lopen in de implementatie van milieumaatregelen [Dunn et al., 2002]. Verschillende grote bedrijven, zoals BP en Shell, hebben bijvoorbeeld een interne emissiehandel opgezet. Ze hopen dat de ervaringen die ze hiermee opdoen strategische voordelen oplevert wanneer overheden emissiehandel gaan invoeren. In de Verenigde Staten heeft een aantal bedrijven de Chicago Climate Exchange opgericht, waar ze vrijwillig emissierechten verhandelen. De bedrijven hopen hiermee beter voorbereid te zijn op een toekomstige verplichte emissiehandel [<http://www.chicagoclimatex.com>]. Het kan voor bedrijven dus aantrekkelijk zijn om voor te lopen op de wet- en regelgeving.

Ook voor landen zou het in beginsel zinvol kunnen zijn om in hun milieubeleid andere landen een stap voor te blijven. Bedrijven in die landen zijn dan beter voorbereid op internationale trends in milieubeleid en kunnen daarop anticiperen. Er zijn echter ook negatieve effecten, zoals hogere energieprijzen en een mogelijk verslechterde perceptie van het investeringsklimaat. Het belangrijkste argument tegen een nationale voorsprong is echter dat de richting van de ontwikkeling van het internationale klimaatbeleid onzeker is. Een stap voor op andere landen zou achteraf dus wel eens een stap in een heel andere richting kunnen blij-



ken te zijn. En daarmee gaan alle voordelen van zo'n stap verloren. Individuele bedrijven kunnen dergelijke risico's nemen, maar voor nationale overheden lijkt het onverstandig.

### **Technologietrajecten die speciale aandacht verdienen**

Binnen de internationale context van het klimaatbeleid kan de Nederlandse economie worden versterkt door in te zetten op de comparatieve voordelen die Nederland heeft. Zoals reeds benadrukt, is een generiek werkend klimaatinstrumentarium op internationaal schaalniveau, zoals emissiehandel een eerste vereiste hiervoor. Daarnaast is er een innovatiebeleid nodig gericht op kennisinstututen, industrie en lokale overheden om de sterke punten van Nederland te benutten. Hierbij dient overigens zorgvuldig aandacht te worden besteed aan het spanningveld dat kan ontstaan tussen enerzijds generiek beleid gericht op doelen (vermindering CO<sub>2</sub>-uitstoot) en anderzijds specifiek beleid gericht op bepaalde technologieën (zie ook paragraaf 4.9.1).

Meer specifiek heeft de AER (2002) een aantal technologietrajecten geïdentificeerd die speciale aandacht verdienen. Dit zijn naast technieken die in Nederland toepasbaar zijn, ook export kansen. Hieronder worden deze trajecten benoemd en aangegeven hoe deze sterke punten van Nederland volgens de AER kunnen worden benut.

#### *Nederland aardgasland:*

- zorg ervoor dat in de Europese elektriciteitsmarkt zo snel mogelijk een waardering tot stand komt voor milieuprestaties van de verschillende opwekkingsmethoden, waardoor WKK een flinke stimulans krijgt. De Nederlandse gasproductie en gashandel kunnen daarvan profiteren;
- Groninger veld op peil houden en aardgaswinning in de kleine velden blijven bevorderen (binnen natuur- en milieueisen);
- nagaan of het gasnet en gaskennis een voordeel is voor een toekomstige inzet van biogas en waterstof. Groene gas alternatieven bevorderen;
- bevorder R&D naar kleinschalige energie-efficiënte gas technologieën.

#### *Nederland aan Zee:*

- samen met marktpartijen de mogelijkheid uitwerken om de Rotterdamse havens te ontwikkelen tot een overslag en bewerkingshaven voor biomassa;
- dit kan gecombineerd worden met pilotprojecten op het terrein van geavanceerde omzetting van biomassa naar elektriciteit, gasvormige of vloeibare brandstoffen.

#### *Nederland CO<sub>2</sub>-opslagland:*

- initieer proeven voor CO<sub>2</sub>-opslag en overweeg het opzetten van infrastructuur. De aanwezigheid van aardgasvelden en de ontwikkelde kennis bij aardgaswinning biedt goede mogelijkheden;
- benut de geconcentreerde stromen in de procesindustrie en de elektriciteitsproductie voor de afvang van CO<sub>2</sub> als opmaat voor een 'schoon fossiel' route respectievelijk waterstof inzet.

*Nederland kennisland:*

- benut de Nederlandse koploper positie op het gebied van de ontwikkeling van zonnecellen (Philips, Shell, Akzo Nobel, ECN, Universiteiten). Zonnecellen zijn mondiaal een belangrijke optie voor de lange termijn en een goed export artikel. Nederland kan wetenschappelijke onderzoeksprogramma's van universiteiten en bedrijfsleven blijven ondersteunen;
- bevorder de implementatie van zonne-energie in ontwikkelingslanden met behulp van het budget voor CDM en ontwikkelingssamenwerking en milieu;
- stimuleer fundamenteel onderzoek en proefprojecten gericht op biomassa-toepassingen, CO<sub>2</sub>-opslag en waterstof.

**Conclusie**

Nederland kan zijn nationale klimaatbeleid zo inrichten dat het innovaties maximaal bevordert. Dit betekent een zo groot mogelijke toepassing van marktmechanismen die de prijs van uitstoot van broeikasgassen verhogen, of regulering op een voldoende hoog schaalniveau en met een voortschrijdende doelstelling. Wat betreft de stimulering van diffusie lijkt Nederland al voldoende te doen met een voorlichtingsdienst (SenterNovem) en twee vormen van investeringsaftrek (Energie Investeringsaftrek en Milieu Investeringsaftrek). Daarnaast kan klimaatbeleid en economisch beleid elkaar versterken als de sterke punten van Nederland worden benut.

**4.9 Keuze 4: Welke maatregelen zijn te prefereren?**

De laatste prangende kwestie gaat in op specifieke technieken en energiedragers die kunnen bijdragen aan een vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot.

**4.9.1 Welke technieken en energiedragers zullen bijdragen?**

In deze paragraaf worden de mogelijke effecten van de inzet van beleidsinstrumenten geïllustreerd. Hierbij is verondersteld dat het Klimaatbeleid na Kyoto (2010) door zal zetten. Dit betekent dat Nederland verdere emissiereducties moet realiseren. Uitgaande van emissiehandel op minimaal EU niveau, verondersteld de AER (2002) dat in ontwikkelde landen een absolute emissiereductie van 1% per jaar vanaf 2010 nodig zal zijn om op koers te blijven van een concentratieniveau van 550 ppm CO<sub>2</sub>.

Algemeen wordt onderkend dat deze verdergaande emissiereducties in samenhang met een groeiend inkomensniveau, alleen mogelijk zijn als de nationale en internationale energievoorziening danig wordt aangepast. Uit verschillende scenariostudies blijkt dat er veel technologieroutes mogelijk zijn om een absolute CO<sub>2</sub>-reductie van de energievoorziening te bewerkstelligen. Het is echter onmogelijk om vooraf aan te geven welke technieken in de toekomst dominant zullen zijn en steun verdienen. Niet alleen de kosten van bepaalde technieken nu, maar ook de nog te verwachten kostenontwikkelingen zijn uitermate belangrijk. Echter ook andere factoren zijn bepalend voor de techniekeuze zoals comfort, status en gemak. Ook (Europees) beleid gericht op andere doelen zoals lokaal milieu-beleid en energievoorzieningszekerheid zijn bepalend. In lijn met de AER (2002)



concluderen wij daarom dat (internationaal) klimaatbeleid moet ingericht worden op een breed werkend instrumentarium waarin alle verschillende technologieroutes benut worden. De basis daarvoor is een internationaal CO<sub>2</sub>-handelssysteem in combinatie met normering en plafonnering. Dit betekent dat de keuze van technieken aan de markt wordt overgelaten en vooraf geen techniek wordt uitgesloten of benadeeld. Dit is belangrijk omdat de verwachting is dat een scala aan technologieroutes zullen bijdragen.

Een belangrijke vraag voor huidige beleidsafwegingen is wat de potenties voor emissiereductie en kosten van de verschillende technieken zijn? Allereerst zijn de volgende technologische routes te onderscheiden:

- 1 **Beperking van de functionele energievraag** door beperking van economische activiteiten die niet of in geringe mate bijdragen aan onze welvaart.
- 2 **Energiebesparing** door verhoging van de energie en materiaal efficiëntie.
- 3 **Inzet van minder koolstofhoudende fossiele energiedragers** zoals vervanging van kolen door aardgas en kernenergie.
- 4 **Inzet van hernieuwbare energiebronnen** zoals wind, zon en biomassa.
- 5 **Opslag van CO<sub>2</sub> uit fossiele energiedragers**, eventueel gecombineerd met inzet van waterstof als schone drager.
- 6 **Opslag van CO<sub>2</sub> in bossen en andere sinks**

Het potentieel van energiebesparing door verhoging van de materiaal- en energie-efficiëntie is groot, maar voor de vereiste structurele reducties biedt dit onvoldoende soelaas. Uit onderzoek blijkt dat in de OECD minimaal een efficiëntieverbetering van 3% per jaar vereist is om tot een stabilisatie van de CO<sub>2</sub>-emissies te komen, terwijl de afgelopen jaren een efficiëntieverbetering van 1% is gerealiseerd [AER, 2002].

Oplossingen voor een koolstofarme energievoorziening zullen daarom naast zuinige apparaten en installaties moeten komen van de inzet van schone energiedragers (elektriciteit, warmte en waterstofgas), schonere energiebronnen (wind, zon en biomassa), koolstofarme bronnen en CO<sub>2</sub>-opslag. In tabel 29 en de kaders onder de tabel wordt een overzicht gegeven van de potentiëlen van de verschillende technologieroutes.

tabel 29 Potentiëlen van technieken en energiedragers voor een CO<sub>2</sub>-arme energievoorziening

Beperking energievraag	Door procesvernieuwing en door het achterwege laten van bepaalde activiteiten (koelen woningen, mobiliteit) kan de energievraag fors worden verlaagd. De ervaring leert dat het direct aansturen van deze beperking van de energievraag zeer moeilijk is.
Efficiency	Meest aantrekkelijk, veel potentieel, maar met prijs is niet alles te sturen. Bovendien ontstaan reboundeffecten.
Verlaging koolstoffactor	Aardgas kan op Europees niveau een belangrijke bijdrage leveren door substitutie van kolen; kernenergie kan op wereldschaal een bijdrage leveren. In Nederland ontbreekt draagvlak.
Hernieuwbare energiebronnen	Op termijn kunnen zonne-energie, biomassa, windenergie, waterkracht een belangrijke bijdrage leveren.
Ondergrondse CO <sub>2</sub> -opslag	Is aantrekkelijk doordat deze techniek relatief goedkoop is en een overgang mogelijk maakt naar de periode dat hernieuwbare bronnen tegen redelijke kosten kunnen worden gebruikt.
CO <sub>2</sub> -opslag in bossen	Aantrekkelijk, niet duur, maar tijdelijk / eenmalig. Potentieel in Nederland beperkt.

Bron: AER, 2002

De dynamische mix van oplossingen zal uiteindelijk bepaald worden door de prijs en acceptatiegraad van bepaalde technieken, door voor- en nadelen voor andere doelen (risico's, andere milieueffecten, comfort, voorzieningzekerheid, bedrijvigheid) [AER, 2002].

Indien Internationale emissiehandel op EU schaal niveau blijft bestaan dan zullen in eerste instantie vooral technieken rendabel blijken te zijn onder een CO<sub>2</sub>-prijs van ca. € 50 / ton CO<sub>2</sub>. Overigens lijkt het dan vanuit het oogpunt van kosteneffectiviteit en draagvlak voor verdergaande doelstellingen van belang om de 50/50 verdeling van binnenlandse en buitenlandse maatregelen los te laten in de post-Kyoto-periode. Hiervoor dient nog wel te worden onderzocht wat de kosten en baten zijn voor de Nederlandse industrie. Immers naast de aankoop van emissierechten zullen de investeringen (via CDM en JI) in het buitenland toenemen ten koste van die in Nederland.

Hieronder worden de potentiëlen en kosten van de volgende, veelal spraakmakende of verwachtingsvolle, technologieroutes nader besproken:

- biomassa;
- waterstof;
- kernenergie;
- warmte/kracht;
- CO<sub>2</sub>-opslag.

### **Biomassa**

In de toekomst bestaan voor biomassa nieuwe, grootschalige mogelijkheden voor het opwekken van elektriciteit, productie van motorbrandstoffen en productie van grondstoffen voor de chemie.





Het gebruik van biomassa is een relatief goedkope manier om hernieuwbare brandstoffen in te passen in de Nederlandse/Europese energievoorziening. Indien import van biomassa wordt meegerekend, kan in theorie zelfs de gehele Nederlandse energievraag worden gedekt. In dat geval ontstaan echter hoogstwaarschijnlijk problemen met betrekking tot duurzaamheid. Aan de ene kant speelt hierbij de discussie over de randvoorwaarden waarbinnen import op duurzame wijze mogelijk is. En aan de andere kant zal de grootschalige inzet van biomassa leiden tot concurrentie tussen verschillende toepassingen. Een voorbeeld is de concurrentie met voedselproductie.

De kosten van biomassa bedragen variëren sterk. De kosten zijn afhankelijk van het type biomassa, de herkomst en de toepassing. Voor de productie van elektriciteit is het inzetten van reststromen, bijvoorbeeld olijpitten, het goedkoopst: ongeveer 30 €/ton CO<sub>2</sub>. Productie uit geteeld hout is het duurst: gemiddeld 80 €/ton CO<sub>2</sub>.

Toepassing van biomassa als transportbrandstof is duurder dan de productie van elektriciteit. De productie van biodiesel als vervanger van de conventionele diesel kost 200-250 €/ton CO<sub>2</sub>. In de EU wordt hiervoor met name koolzaad gebruikt. Als vervanger voor benzines kan bio-ethanol worden toegepast. Hiervoor zijn verschillende stromen geschikt: graan, suikerbieten, reststromen uit de suikerindustrie of aardappelen. De kosteneffectiviteit van deze opties ligt in de range van 400-500 €/ton CO<sub>2</sub> [Kampman et al., 2003].

Biomassa kan ook als grondstof voor de chemische industrie dienen. De emissie reductie treedt op tijdens de productiefase, maar vooral ook bij eventuele verbranding na afloop van de gebruiksduur, als het product afval is geworden. Door de veel hogere toegevoegde waarde van producten uit de chemie zijn de eventuele meerkosten van het gebruik van biomassa grondstoffen ten opzichte van fossiele grondstoffen sneller economische rendabel dan voor bijvoorbeeld transportbrandstoffen [Van Tuil, 2002].

### **Waterstof**

Zowel in Amerika als Europa is waterstof een veelbesproken techniek die veel steun heeft verworven van President Bush en voormalig EU-voorzitter Prodi. Zoals genoemd bij de sector verkeer (paragraaf 4.3.1) kan waterstof een belangrijke rol spelen, maar is er weinig rechtvaardiging om juist deze techniek te gaan stimuleren. Ten eerste omdat waterstof geen nieuwe energiebron is, maar slechts een intermediaire energiedrager, oftewel het moet gemaakt worden uit fossiele energie of uit hernieuwbare bronnen. Dit levert altijd een extra conversiestap op met energieverliezen waardoor waterstof slechts voor specifieke toepassingen kan concurreren met directe omzetting van hernieuwbare energie in warmte of tractie. Dergelijke specifieke toepassingen kunnen stedelijk vervoer zijn omdat hiermee ook lokale emissies (roet, stank, deeltjes) kunnen worden voorkomen. Voor de korte termijn is er geen enkele noodzaak om in de transportsector en/of in de gebouwde omgeving over te schakelen op waterstof. Op de langere termijn kan waterstof een mogelijke energiedrager zijn voor de transportsector om hier emissieloos te gaan rijden.

## Kernenergie

Kernenergie is een bekende techniek om met veel minder CO<sub>2</sub>-emissie elektriciteit te produceren. De inschattingen hiervoor zijn 10-30% ten opzichte van de huidige hoeveelheid CO<sub>2</sub> per kWh. Dit betekent nog niet dat deze techniek moeiteloos de plaats kan innemen van elektriciteitsproductie uit fossiele energie. Nog steeds is de maatschappelijke weerstand tegen kernenergie erg groot. Diverse landen (Zweden, Nederland, België) hebben een uitfaseringsbeleid voor kernenergie geformuleerd juist vanwege de maatschappelijke weerstand. Slechts weinig landen (Finland, China) zijn bezig met het bouwen van nieuwe kerncentrales. In Europa zal de vraag zeer zeker belangrijk gaan worden of het bestaande vermogen aan kernenergie op hetzelfde peil zal blijven (door veroudering van de huidige kerncentrales zal het dan noodzakelijk zijn om nieuwe kerncentrales te gaan bouwen), of moet worden uitgebreid zodat het percentage kernenergie groter wordt dan het huidige.

Hoewel in een liberale Europese energiemarkt energieproducenten zelf hun investeringsafweging moeten maken, kan zonder toestemming van de overheid kernenergie geen rol gaan spelen als techniek om de CO<sub>2</sub>-emissie te reduceren. Voor zowel de bouw als de exploitatie van een kerncentrale zijn speciale vergunningen vereist. Dit betekent dat de nationale overheid zich moet uitspreken over de mogelijkheid dat particuliere bedrijven kerncentrales gaan bouwen en exploiteren. Hierbij speelt ook de vraag of de overheid de kosten en risico's voor langdurige opslag van gebruikte splijtstof voor zijn rekening neemt zoals nu het geval is. Partijen die tegen het gebruik van kernenergie zijn wijzen ook op de beperkte risico's die door de particuliere investeerders worden gedragen zodat een groot risico ten laste van de staat komt. Hier ligt een belangrijke rol van Nederland en met name de Europese Commissie. Een eerlijke vergelijking van kernenergie met andere energiebronnen zou beter kunnen worden uitgevoerd als de volgende twee punten worden nagestreefd:

- Verhogen van inzicht in alle korte en (zeer) lange termijn kosten van de productie, transport en opslag van kernenergie(afval). Thans blijkt keer op keer dat niet helder is welke kosten wel en niet worden meegenomen en door wie die precies worden betaald. Dit zou bijvoorbeeld beter geregeld kunnen worden via een EU Directive, zie bijvoorbeeld [Leurs et al., 2003; CPB, 2004]<sup>19</sup>.
- Instellen van een toerekeningsstelsel aan kernenergieproducenten en/of consumenten van kernenergie voor de zeer lange termijn beheerskosten van opslag van nucleair afval. Thans bestaat een dergelijk systeem in sommige EU-landen alleen voor de korte en middenlange termijn kosten [Leurs et al., 2003].

## Warmte/kracht

Bij grote industriële productiefaciliteiten wordt naast elektriciteit vaak ook veel (lage temperatuur) warmte gebruikt. Deze warmte kan worden opgewekt door directe verbranding van bijvoorbeeld aardgas. Op deze manier wordt echter een hoog-calorisch product (namelijk aardgas) omgezet in een laagwaardige energiedrager (warmte). Een efficiëntere manier om voor dit doel warmte te produceren is door middel van WKK. Bij de productie van elektriciteit wordt de door ver-

---

<sup>19</sup> In een studie naar de kosten en baten van beleid gericht op de energievoorzieningszekerheid bleek het niet mogelijk om de kosten(toerekening) van de nieuw geplande Finse Kernenergiecentrale vast te stellen.



branding van fossiele brandstoffen gegenereerde stoom via een turbine in elektriciteit omgezet. De warmte die na de turbine overblijft, wordt meestal opnieuw gebruikt voor de productie van elektriciteit. Als deze warmte niet opnieuw gebruikt wordt, maar direct aan industriële complexen geleverd wordt, zal het elektrisch rendement dus dalen. Hier staat tegenover dat er geen hoogwaardige energiedrager gebruikt hoeft te worden voor de productie van warmte, waardoor het totale (exergetische) rendement zal stijgen.

Op dit moment heeft Nederland het grootste aandeel warmtekracht in Europa. De EU heeft recent ook een richtlijn vastgesteld waarin alle EU-landen hun potentieel in kaart moeten brengen en het aandeel warmtekracht moeten vergroten. De kosten van warmtekracht zijn hoger dan elektriciteitsproductie uit steenkool. Het potentieel voor warmtekracht wordt ingeschat op 11.000 MW in Nederland. Het bestaat voornamelijk uit industriële installaties. Warmtekracht-installaties met een klein vermogen en daardoor een lager rendement en een hogere kostprijs leveren slechts een kleine tot geen bijdrage aan de CO<sub>2</sub>-reductie.

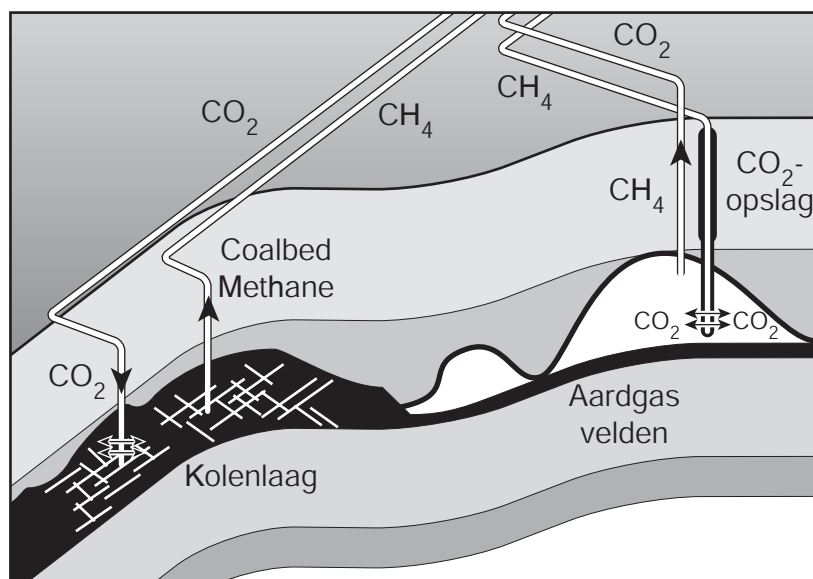
### **CO<sub>2</sub>-opslag**

Bij de opslag van CO<sub>2</sub> bestaan twee typen maatregelen: ten eerste het vastleggen van CO<sub>2</sub> in bossen en ten tweede het opslaan van CO<sub>2</sub> in oude gasvelden of in aquifers.

Het vastleggen van koolstof in nieuwe bossen is met name een internationale optie (JI/CDM) die in Nederland veel te duur is om te kunnen concurreren met andere opties. Wel kan bosbouw dat vanuit andere overwegingen wordt gedaan (recreatie) wel als zodanig worden beschouwd. Daarnaast is koolstofvastlegging in de bodem van bossen en van gras- en akkerlanden te stimuleren door aanpassingen in het beheer die waarschijnlijk wel goedkoop in te voeren zijn (zie ook 4.3.5).

Het tweede type maatregelen, de opslag van CO<sub>2</sub>, is voor Nederland met name relevant. De opslagcapaciteit in Nederlandse gasvelden wordt op 12 Gt CO<sub>2</sub> geschat. De komende decennia komen steeds meer velden beschikbaar. De opslagcapaciteit van CO<sub>2</sub> in waterdragende lagen (aquifers) die dieper liggen dan 750 meter varieert van 1 tot 40 Gt CO<sub>2</sub>, afhankelijk van het wel of niet vereisen van de aanwezigheid van een afsluitende laag [Berk et al., 2001a,b].

figuur 29 CO<sub>2</sub>-opslag



Van twee concrete projecten is de haalbaarheid in kaart gebracht. De eerste studie is door NAM uitgevoerd en heeft betrekking op een project waarbij vrijgekomen CO<sub>2</sub> bij de Shell raffinaderij in Pernis wordt getransporteerd via bestaande gasleidingen naar een leeg NAM-gasveld in de Gemeente De Lier vanwaar het CO<sub>2</sub> aan kassen in het Westland kan worden geleverd. De tweede studie is uitgevoerd door GDF Production Nederland BV en betreft een off-shoreproject waarbij de CO<sub>2</sub> die bij gaswinning vrijkomt wordt afgevangen en weer wordt geïnjecteerd in het gasveld. De twee projecten verschillen wezenlijk van elkaar. Het NAM project vindt plaats op land, de opslagcapaciteit is groot en de duur van het project is lang. De kosten per opgeslagen ton CO<sub>2</sub>-bedragen € 20-40/ton; door de lange looptijd en de hoge opslagcapaciteit zou het totale initieel te investeren projectbedrag € 45 mln bedragen. Bij het project van GDF vindt opslag in de zeebodem plaats. Verder is sprake van een kleine opslagcapaciteit, een korte looptijd en lage totale projectkosten. De kosten bedragen € 56/ton, met een perspectief op € 10/ton bij opschaling van het project.

Nederland heeft relatief veel mogelijkheden en know-how voor berging van CO<sub>2</sub>. Een innovatiebeleid kan ertoe bijdragen dat er ook kansen ontstaan. Daarbij wordt opgemerkt dat CO<sub>2</sub>-opslag door meerdere partijen, waaronder milieuorganisaties, als een tijdelijke maatregel gezien, om de transitieperiode naar een duurzame energievoorziening te overbruggen. Een belangrijke aanleiding voor veel milieuorganisaties om zich alsnog tegen CO<sub>2</sub>-opslag te keren, zou zijn dat opslag ten koste gaat van steun aan duurzame energieproductie en energiebesparing.



### Reductie emissies overige broeikasgassen

De kennis over mitigatie scenario's voor de niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen - met name na Kyoto - blijft achter ten opzichte van die voor CO<sub>2</sub>, terwijl zij zowel nationaal als internationaal wel een significant aandeel van de totale broeikasgasemissies uitmaken. Voor het behalen van de Kyoto-doelstellingen geldt dat het meenemen van de niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen bij de totale emissiereductie tot zo'n 20% lagere kosten leidt voor een gemiddeld Annex-B land (IPCC-WGIII). De kosten effectiviteit voor enkele niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgasemissiereducties in Nederland is gegeven in tabel 30 [VROM, 1999]. De kosten effectiviteit is over het algemeen hoog omdat het a) in een aantal gevallen om beperkte maatregelen gaat (bij een enkele emittant), en b) omdat door de hoge 'global warming potential' (zie hoofdstuk 1, tekstbox) de reductie in termen van CO<sub>2</sub>-eq vele malen hoger is. Daarnaast geldt voor methaan reducties bovendien dat reducties snel effect resulteren door de relatief korte verblijftijd van methaan in de atmosfeer, in vergelijking tot CO<sub>2</sub> en vele andere niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen.

tabel 30 Kosteneffectiviteit van enkele niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgasemissiereducties in Nederland<sup>20</sup>

Maatregel m.b.t.:	HFK	PFK	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>
Sector:	chemische industrie	aluminium productie	salpeter industrie	olie/gaswinning
Kosten (€/ton)	2	< 0	0,5 – 2	0

Bron: VROM, 1999

Hoe de kostenontwikkeling voor reducties op niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen na Kyoto zal zijn, is nog nauwelijks bekend. Wel is duidelijk dat niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen onderdeel van mitigatie beleid moeten zijn, om binnen de 2°C limiet te blijven. Dat wil zeggen dat het streefniveau van 550 ppm, zoals eerder genoemd, niet alleen CO<sub>2</sub> betreft, maar alle broeikasgassen (CO<sub>2</sub>-eq).

<sup>20</sup> Uit de bron wordt niet duidelijk of het kosten per ton niet-CO<sub>2</sub> gas betreft of kosten per ton CO<sub>2</sub> eq.





## 5 Literatuurlijst

### 5.1 Aard, omvang en gevolgen van klimaatverandering

#### **Alley, 2003**

*Paleoclimatic insights into future climate challenges*; R.B., Alley; Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series a – Mathematical Physical and Engineering Sciences; 361, 1831-1849; 2003

#### **Ammann, 2003**

*A monthly and latitudinally varying volcanic forcing dataset in simulations of 20th century climate*; V.M. Amman, G.A. Meehl, W.M. Washington; Geophysical Research Letters; 30(12), 59-1-59-4; 2003

#### **Bakkenes, 2002**

*Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050*; M. Bakkenes, J.R.M. Alkemade, F. Ihle, R. Leemans and J.B. Latour; Global Change Biology 8. pp 390-407; 2002

#### **Bregman, 2003**

*The effect of stratospheric ozone changes on climate*; B. Bregman, H. Kelder, A. Engel, R. Sausen, G. Seckmeyer, P. Siegmund, J. Staehelin, W. Sturges, R. van Dorland, and C. Zerefos; in: Ozone-climate interactions; EC Air pollution research report No. 81, 2003

#### **Buiteveld, 1999**

*The impact of climate change on the water management and user functions of the IJsselmeer area*; H. Buiteveld, N. N. Lorenz; 1999

#### **CBD, 2003**

*Interlinkages Between Biological Diversity and Climate Change*; Advice on the integration of biodiversity considerations into the implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change and its Kyoto Protocol; CBD Technical Series No 10; Montreal; 2003

#### **Cramer, 2004**

*Tropical forests and the global carbon cycle: Impacts of atmospheric CO<sub>2</sub>, climate change and rate of deforestation*; W. Cramer, A. Bondeau, S. Schaphoff, W. Lucht, B. Smith & S. Sitch; Phil Trans Roy Soc B 359:331-343, doi 10.1098/rstb.2003.1428; 2004

#### **Crutzen, 2004**

*Veranderingen in het klimaat: vragen en antwoorden*; P.J. Crutzen, G.J. Komen, K. Verbeek en R. van Dorland; KNMI; 2004

**CWB21, 2000**

*Waterbeleid voor de 21e eeuw*; Advies van de Commissie Waterbeheer 21e eeuw; Tielrooij, F., J. van Dijk, J de Blecourt-Maas, A. van der Ende, G.A. Oosterbaan, H.J. Overbeek; 2000

**CWB21, 2000a**

*Scenario's externe krachten voor WB21*; Commissie Waterbeheer 21<sup>ste</sup> eeuw; A.G. Kors, R.A.M. Claessen, J.W. Wesseling, en G.P. Können; RIZA, WL-Delft/KNMI-rapport; 2000

**De Wit, 2001**

*Effect of climate change on the hydrology of the river Meuse*; M. de Wit, P. Warmerdam, P. Torfs, R. Uylenhoet, E. Roulin, A Cheymol, W. van Deursen, P. van Walsum, M. Ververs, J. Kwadijk, H. Buitenveld; NOP Rapport 410 200 090, RIVM; 2001

**De Wit, 2004**

*Hoe laag was het laag water van 2003*; M. de Wit; H<sub>2</sub>O 37-3, p15-17; 2004

**EEA, 2004**

*Impacts of Europe's changing climate: An indicator-based assessment*; EEA; Copenhagen; 2004 (see [http://reports.eea.eu.int/climate\\_report\\_2\\_2004/en](http://reports.eea.eu.int/climate_report_2_2004/en))

**Fischer, 2002**

*Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results*; Fischer et al.; IIASA (& FAO); Wenen; 2002

**Forest, 2002**

*Quantifying uncertainties in Climate System Properties with the Use of Recent Climate Observations*; C.E. Forest, P.H. Stone, A. Sokolov, M.R. Allen and M.D. Webster; Science; 295, 113-117; 2002

**Fu, 2004**

*Contribution of stratospheric cooling to satellite-inferred tropospheric temperature trends*; Q. Fu, C.M. Johanson, S.G. Warren, and D.J. Seidel; Nature, 429, 55-58; 2004

**Gitay, 2002**

*Climate Change and Biodiversity*; H. Gitay, A. Suarez, R.T. Watson and D.J. Dokken (eds); IPCC Technical Paper V.; 2002

**Gupta, 2004**

*Re-evaluation of the Netherlands Long-Term Climate Targets*; Gupta et al.; Rapport NRP-CC, WAB; in prep

**Hansen, 2004**

*Diffusing the global warming time bomb*; J. Hansen; Sci. Amer.; 290, 68-77; 2004



**Hare, 2003**

*Assessment of knowledge on Impacts of Climate Change – Contribution to the Specification of Art 2 of the UNFCCC*; W. Hare; WBGU; Berlin; 2003

**Hasselmann, 2003**

*The challenge of long term climate change*; K. Hasselmann, M. Latif, G. Hooss, C. Azar, O. Ederhofer, C.C. Jaeger, O.M., Johannessen, C. Kemfert, M. Welp, and A. Wokaun; *Science*, 302, 1923-1925; 2003

**IPCC, 2001**

*Climate Change 2001, IMPACTS, ADAPTATION, AND VULNERABILITY*; Contribution of Working Group II to the Third Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; 2001

**IPCC, 2000**

*Special Report on Emission Scenario's*; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); N. Nakićenović and R. Swart (eds.); Cambridge Univ. Press; 2000

**IPCC, 1996**

*IPCC Second Scientific Assessment of Climate Change*; Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell, 572 pp, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK; 1996

**Jones, 2003**

*Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001*; P.D. Jones & A. Moberg; *Journal of Climate*; 16, 206-223; 2003

**Kienast, 2003**

*Synchronicity of Meltwater Pulse 1a and the Bølling Warming: New Evidence from the South China Sea*; M. Kienast, T.J.J. Hanebuth, C. Pelejero, and C. Steinke; *Geology*, 31 (1), 67-70; 2003

**Knutti, 2002**

*Constraints on radiative forcing and future climate change from observations and climate model ensembles*; R. Knutti, T. F. Stocker, F. Joos, and G.-K. Plattner; *Nature*, 416, 719-723; 2002

**Kors, 2000**

*Scenario's externe krachten voor WB21*; Commissie Waterbeheer 21<sup>ste</sup> eeuw; A.G. Kors, R.A.M. Claessen, J.W. Wesseling, en G.P. Können; RIZA, WL-Delft/KNMI-rapport; 2000

**Kruiningen, 2004**

*Verzilting Midden-Holland zomer 2003*; F. van Kruiningen; *H<sub>2</sub>O* 37-2, p17-21; 2004

**Labohm, 2004**

*Man-made global warming: Unravelling a Dogma*; H. Labohm, S. Rozendaal & D. Thoenes; Multi-Science Publishing Co. Ltd.; 2004

**Leemans, 2004**

*Another reason for concern: regional and global impacts on ecosystems for different levels of climate change*; Rik Leemans et al., Bas Eickhout; Glob. Envir. Change 451: p; 2004

**Mann, 1999**

*Northern Hemisphere Temperatures During the Past Millennium: Inferences, Uncertainties and Limitations*; M.E. Mann, R.S. Bradley and M.K. Hughes; Geophys. Res. Lett.; 26, 759-762; 1999

**Mann, 2004**

Mann, M.E., R.S. Bradley, and M.K. Hughes: *Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries*, *Nature*, 430, 105, 2004

**McIntyre, 2003**

McIntyre, S. en McKittrick, R.: Corrections to the Mann et al. (1998) proxy data base and Northern Hemispheric average temperature series, *Energy and Environment*, 14, 751-771, 2003

**McMichael, 2003**

*Climate Change and Human Health - Risks and Responses*; A.J. McMichael et al. (Eds); WHO; Geneve; 2003

**Middelkoop, 2002**

*The impact of climate change on the river Rhine and the implications for water management in the Netherlands*; H. Middelkoop; NOP Report; RIVM; 2002

**MinVenW, 2000**

*Tradition, Trends and Tomorrow*. 3<sup>rd</sup> Coastal Policy Document, Ministry of Transport, Public Works and Watermanagement, The Hague NL, 2000

**Noble, 2005**

*Millenium Ecosystems Assessment Noble, Chapter 13, Responses to Climate Change*; Jyoti Parikh Ian, Richard Watson; 2005, in prep.

**Opdam et al., 2003**

*CLaSH, Climate Change affecting Landscapes, Species and Habitats: New challenges for biodiversity conservation in fragmented landscapes under potential pressure by climate change*; Paul Opdam and Dirk Wascher; Alterra report, pp 50; 2003



**Parry, 2001**

*Millions at risk: defining critical climate change threats and targets*; M. Parry N. Arnell, T. McMichael, R. Nicholls, P. Martens, S. Kovats, M. Livermore et al.; Global Environmental Change 11(ER3): 181-183; 2001

**Parry, 2000**

*Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe: The Europe ACACIA Project*; M.L. Parry, (ed); Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, UK; 2000

**Rial, 2004**

*Nonlinearities, feedbacks and critical thresholds within the Earth's climate system*; Rial, J., Pielke Sr., R.A., M. Beniston, M. Claussen, J. Canadell, P. Cox, H. Held, N. de Noblet-Ducoudre, R. Prinn, J. Reynolds, and J.D. Salas, Climatic Change, **65**, 11-38, 2004

**RIVM, 2003**

*Natuurbalans 2003*; RIVM, WUR, RIKZ en RIZA; Kluwer, Alphen a/d Rijn; 2003

**RIZA, 2003**

*Droogtestudie Nederland. Eindrapport fase 1*; RIZA, Lelystad; www.droogtestudie.nl; 2003

**Ronde, 1990**

*Rising waters; impacts of the greenhouse effect for the Netherlands*; Ronde, J. de et al.; ISOS-report GWAO 90.026; Ministry of Transport, Public Works and Watermanagement; Tidal Waters Division; The Hague NL; 1990

**Schär, 2004**

*The Role of Increasing Temperature Variability in European Summer Heatwaves*; C. Schär, P.L. Vidale, D. Lütti, C. Frei, C. Häberli, M.A. Liniger, and C. Appenzeller; Nature; 427, 332-336; 2004

**Shindell, 2001**

*Northern Hemisphere winter climate response to greenhouse gas, ozone, solar and volcanic forcing*; D. Shindell, Schmidt, G. A., Miller, R. L. and D. Rind; J. Geophys. Res., 106, 7193- 7210; 2001

**Tuinstra, 2002**

*Climate OptiOns for the Long-term (COOL) - Synthesis Report*; W. Tuinstra (ed.), M. Berk, M. Hisschemöller, L. Hordijk, B. Metz, A.P.J. Mol; Wageningen University; The Netherlands [954281]; NRP 410 200 115; 2002

**Van de Langhemheen, 2002**

*Projectie van de Elbe-zomerneerslag op Rijn en Maas*; W. van de Langhemheen, J.R.A. Onvlee, G.P. Können, and J. Schellekens; RIZA report 2002042, KNMI publicatie no. 198, WL rapport no. Q3352, ISBN 9036 95 472x; 2002

**Van Dorland, 1999**

*Radiation and Climate: from radiative transfer modelling to global temperature response*; R. van Dorland; Ph.D. Thesis, ISBN 90-646-4032-7; 1999

**Van Duijn, 1999**

*Extreme regen 1998, Schurende ketens binnen het openbaar bestuur*; M.J. van Duijn, M.J. van, M.H.P. Otten, M.D. Oosthoek, E.R.G. van Dijkman, E.J.T. van den Berg; Kluwer; 1999

**Van Ierland, 2001**

*Integrated assessment of vulnerability to climate change and adaptation options in the Netherlands*; E.C. van Ierland, R.S. de Groot, P.J. Kuikman, P. Martens, B. Amelung, N. Daan, M. Huynen, K. Kramer, J. Szönyi, J.A. Veraart, A. Verhagen, A. van Vliet, P.E.V. van Walsum & E. Westein; RIVM; Bilthoven; 2001

**Van Ulden en Van Dorland, 2000**

*Natural variability of the global mean temperatures: contributions from solar irradiance changes, volcanic eruptions and El Nino*; A.P. van Ulden and R. van Dorland; in: Proc. 1st Solar and Space Weather Euroconference: The Solar Cycle and Terrestrial Climate, Santa Cruz de Tenerife, Spain, 25-29 September 2000 (ESA SP-463, December 2000); 2000.

**Verbeek, 2003**

*De toestand van het klimaat in Nederland 2003*; Verbeek, J. (Ed.); KNMI; 2003

**5.2****Huidige klimaatbeleid****Boonekamp, 2004**

*Milieukosten van energiemaatregelen, 1990-2010*; P.G.M. Boonekamp et al.; RIVM, ECN; 2004

**Boonekamp, 2003**

*Sectorale CO<sub>2</sub>-emissies tot 2010 Update Referentieraming als basis voor streefwaarden*; P.G.M. Boonekamp et al.; RIVM, ECN; 2003

**Brinkhorst, 2004**

Brief (met kenmerk O/O/4034285) van Minister Brinkhorst aan de Europese Commissie inzake de bijstelling van het emissieplafond van de industrie; Den Haag; 23 juni 2004

**CPB, 2002**

*Klimaatbeleid en Europese concurrentieposities*; Centraal Plan Bureau; CPB Document no 24; november 2002





**EC, 2001**

*Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change*; Study for the European Commission by Ecofys Energy and Environment, AEA Technology Environment, National Technical University of Athens; March 2001

**EC, 2003**

*Richtlijn 2003/54/EG* van het Europees Parlement en de Raad van 26 juni 2003 betreffende gemeenschappelijke regels voor de interne markt voor elektriciteit en houdende intrekking van Richtlijn 96/92/EG

**EEA, 2003**

*Greenhouse gas emissions trends and projections in Europe 2003*; Tracking progress by the EU and acceding and candidate countries towards achieving their Kyoto-protocol targets; B. Gugele et al.; European Environmental Agency; Environmental Issue Report no. 36; 2003

**EEA, 2004**

*EU15 greenhouse gas emissions decline after two years of increases*; News release (15 juli 2004) naar aanleiding van het verschijnen van het Technical Report; 2004

**ECN, 2004**

*Energie Verslag Nederland Overheid en Energiebeleid*; ECN; 2004

**Inland Revenu, 2004**

*Report on the evaluation of the company car tax reform*; Inland Revenu; 2004

**IP/04/862, 2004**

*Handel in emissierechten: de Commissie geeft het groene licht voor de deelname van meer dan 5000 installaties aan de markt voor emissierechten vanaf januari 2005*; Brussel; 7 juli 2004

**IPCC, 2001a**

*IPCC Third Assessment Report*; Technical Summary. Climate Change 2001: Mitigation; 2001

**IPCC, 2001b**

*IPCC Third Assessment Report*; Mitigation Policies. Chapter 6: Policies, Measures and Instrument; 2001

**Jeeninga, 2002**

*Klimaatneutrale energiedragers in de gebouwde omgeving Naar een actieplan*; Jeeninga et al.; ECN; 2002

**Joosen, 2004**

*Evaluatie van het klimaatbeleid in de gebouwde omgeving 1995-2002*; S. Joosen, M. Harmelink, K. Blok; Ecofys; Utrecht; 2004

**Memo/03/154, 2003**

*Het protocol van Kyoto*; Memo/03/154; Brussel; 23 juli 2003

**Menkveld, 2002**

*Effect op CO<sub>2</sub>-emissies van beleid in voorbereiding*; Menkveld et al., ECN, RIVM, februari 2002

**RIVM, 2004a**

*Milieubalans*; RIVM; Bilthoven; 2004

**RIVM, 2004b**

*Milieucompendium*; RIVM en CBS; [www.milieucompendium.nl](http://www.milieucompendium.nl); 2004

**Slingerland, 2004**

*Het nucleaire landschap. Verkenning van feiten en meningen over kernenergie*; Slingerland, S., O. Bello, M.D. Davidson, K. van Loo, F.J. Rooijers, en M.N. Sevenster; Rathenau Instituut en CE; 2004

**TK 28240/1-7, 2002-2004**

*Evaluatienota Klimaatbeleid*

Onder de kop 'Evaluatienota Klimaatbeleid' omvat kamerstuk 28240 tot dusver de volgende onderdelen:

- Kamerstuk 28240 nr. 1, 22 februari 2002  
*Aanbiedingsbrief Evaluatienota Klimaatbeleid*
- Kamerstuk 28240 nr. 2, 23 januari 2002  
*Evaluatienota Klimaatbeleid*
- Kamerstuk 28240 nr. 3, 15 oktober 2002  
*Toelichting Agenda COP-8 New Delhi*
- Kamerstuk 28240 nr. 4, 23 januari 2004  
*Systematiek sectorale streefwaarden, overzicht wijzigingen klimaatbeleid*
- Kamerstuk 28240 nr. 5, 16 april 2004  
*Stand van zaken klimaatonderhandelingen, strategie Post Kyoto*
- Kamerstuk 28240 nr. 6, 19 april 2004  
*Koppeling Europese emissiehandelssysteem aan CDM en JI*
- Kamerstuk 28240 nr. 7, 21 april 2004  
*Beantwoording vragen concept allocatieplan CO<sub>2</sub>-emissierechten*

**TK 27442, 2000-2001**

*Verantwoording Klimaatbeleid*

**UNFCCC, 2003a**

*National Communications from Annex-I parties. Compilation and Synthesis*; UNFCCC; 2003



**UNFCCC, 2003b**

*National Communications from Annex-I parties. Addendum. Policies and Measures*; UNFCCC; 2003

**UNFCCC, 2003c**

*National Communications from Annex-I parties. Addendum. Article 6 of the convention*; UNFCCC; 2003

**Van Werven, 2004b**

*Monitoren van voorzieningszekerheid. Hoe ver reikt het vermogen van de elektriciteitsmarkt?*; M.J.N. van Werven, M.J.J. Scheepers; ECN; 2004

**Van den Wijngaart, 2002**

*Referentieraming broeikasgassen Emissieraming voor de periode 2001-2010*; R. van den Wijngaart en J.R. Ybema, RIVM, ECN, 2002

**VROM, 1999**

*Uitvoeringsnota Klimaatbeleid Deel I: Binnenlandse maatregelen*; Ministerie van VROM, juni 1999

**VROM, 2004**

*Beleidsnota Verkeersemissies*; Ministerie van VROM, juli 2004

**5.3 Toekomstig klimaatbeleid****AER, 2002**

*Post-Kyoto Energiebeleid, Advies aan de Minister van Economische Zaken*; Algemene Energie Raad (AER); Den Haag : AER, 2002

**Aldy, 2003**

*13 + 1: a comparison of global climate change policy architectures*; Joseph E. Aldy, Scott Barrett, en Robert N. Stavins; Discussion Paper 03-26; Washington D.C.; Resources for the Future; 2003

**Baldwin, 2002**

*Entry and asymmetric lobbying: why governments pick losers*; R.E. Baldwin en F. Robert-Nicoud; NBER Working Paper 8756, Cambridge MA; 2002

**Baumol, 2002**

*The free-market innovation machine: analyzing the growth miracle of capitalism*; William B. Baumol; Princeton: Princeton University Press; 2002

**Beers, 2002**

*Milieueffecten van indirecte subsidies: de ontwikkeling en toepassing van een beleidgerichte methodiek*; Cees van Beers, Jeroen C.J.M. van den Bergh, André de Moor en Frans Oosterhuis; TUDelft, IVM, RIVM, Ministerie van VROM; Den Haag; 2002

**Bekkers, 1996**

*Sturingconcepties en Instrumenten in het Milieubeleid*; Bekkers et al.; Ministerie van VROM; Den Haag; 1996

**Berk, 2001a**

*Strategie voor lange termijn klimaatbeleid. De resultaten van het COOL project*; M. Berk, M. Hisschemöller, A.P.J. Mol, L. Hordijk, M. Kok and B. Metz; NRP 410200109; Bilthoven; 2001

**Berk, 2001b**

*Keeping our options open A strategic vision on near-term implications of long-term climate policy options*; Berk, M.M., J.G. van Minnen, B. Metz, W. Moomaw; COOL, Climate OptiOns for the Long term; 2001

**Bezinningsgroep Energiebeleid, 2000**

*Klimaatprobleem: oplossingen in zicht*; Bezinningsgroep Energiebeleid; Delft; 2000

**Bleijenberg, 1998**

*Gewoon Schoon*; A.N. Bleijenberg; Delft : CE, 1998

**Bollen, 2004**

*Wat kost een emissiereductie van 30%? Macro-economische effecten in 2020 van post-Kyoto klimaatbeleid*; J.C. Bollen, A.J.G. Manders en P.J.J. Veenendaal; RIVM; rapport 500035001, Bilthoven; 2004

**Boonekamp, 2004**

*Milieukosten van energiemaatregelen, 1990-2010*; P.G.M. Boonekamp et al.; RIVM, ECN; 2004

**Boonekamp, 2003**

*Sectorale CO<sub>2</sub>-emissies tot 2010 Update Referentieraming als basis voor streefwaarden*; P.G.M. Boonekamp et al.; RIVM, ECN; 2003

**Bovenberg, 1991**

*Instrumentkeuze in het milieubeleid*; A.L. Bovenberg, M.E.T. van de Broek en R.J. Mulder; Ministerie van EZ; Den Haag; 1991

**Brewer, 2003**

*The Kyoto-Marrakech system: a strategic assessment. module 3: US engagement on climate change issues: determinants and prospects*; Tom Brewer; Londen: Royal Institute of International Affairs; 2003

**CBW21, 2000**

*Water beleid voor de 21e eeuw: geef water de ruimte en de aandacht die het verdient*; Commissie Waterbeheer 21e eeuw; 2000; z.p.



**Cline, 2004**

*Meeting the challenge of global warming*; William R. Cline; Copenhagen Consensus Challenge Paper; 2004

**CPB, 2004a**

*Energy Policies and Risks on energy markets*; A cost-benefit analysis; CPB; 2004

**CPB, 2004b**

*De macro-economische effecten van arbeidsduurverlenging*; CPB Notitie; 8 april 2004

**CPB, 2004c**

*Centraal Economisch Plan 2004*; CPB; Den Haag; blz. 18; 2004

**CPB, 2003**

*Macro Economische Verkenning 2004*; CPB; Den Haag, blz. 26; 2003

**CPB, 2001**

*Macro Economische Verkenning 2002*; CPB; Den Haag; blz. 135; 2001

**Davidson, 2004**

*Discontovoet klimaatschade behoeft politieke keuze*; Marc Davidson; ESB 4436 (25 juni); blz. 290-293; 2004

**Davidson, 2000**

*Recht en duurzame ontwikkeling; Omgaan met risico's in scenariostudies naar duurzaamheid*; Marc Davidson; In: Milieu en Recht; nr. 4; april 2000

**De Moor, 2002**

*Evaluating the Bush Climate Change Initiative*, RIVM Report 728001019/2002, Bilthoven, 2002

**Dings, 2002**

*Verkeer en klimaatbeleid*; J.M.W. Dings; Delft : CE, 2002

**Dunn, 2002**

*Down to business on climate change: an overview of corporate strategies*; Dunn, Seth; GMI 39 (autumn), 27-41; 2002

**EC, 2001**

*Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change*; Study for the European Commission by Ecofys Energy and Environment, AEA Technology Environment, National Technical University of Athens; March 2001

**EC, 2003**

*Establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC; Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003*

**Ekins, 1998**

*The impact of environmental policy on competitiveness: theory and evidence;* Paul Ekins, Paul en Stephan Speck; in: Terry Barker en Jonathan Köhler: *International competitiveness and environmental policies*; Cheltenham, Northampton: Edward Elgar, blz. 33-70; 1998

**Faber, 2001**

*Kennisverwerving in de Nederlandse industrie 1870-1970;* Jasper Faber; Amsterdam: Aksant; 2001

**Fischer, 2003**

*Carbon abatement costs: why the wide range of estimates?;* Carolyn Fischer en Richard D. Morgenstern; Resources for the Future Discussion Paper 03-42, Washington DC; 2003

**German Advisory Council on Global Change, 2003**

*Climate protection strategies for the 21st century Kyoto and beyond Special report;* German Advisory Council on Global Change; WBGU; Berlijn; 2003

**Hicks, 1932**

*The Theory of Wages;* John R. Hicks; Macmillan; London; 1932

**Huizinga, 2004**

*Wage moderation and labour productivity;* Frederik Huizinga and Peter Broer; CPB Discussion Paper 28, Den Haag; 2004

**Hoogenraad, 2004**

*Op weg met Waterstof: Kansen en knelpunten voor waterstof als energiedrager in transporttoepassingen;* W.A. Hoogenraad; CE; Delft; 2004

**IEA, 2004**

*Analysis of the impact of high oil prices on the global economy;* International Energy Agency (IEA); Parijs; 2004

**IPCC, 1999**

*Aviation and the Global Atmosphere;* IPCC, 1999

**IPCC, 2001b**

*IPCC Third Assessment Report; Mitigation Policies. Chapter 6: Policies, Measures and Instrument;* 2001





**Jaffe, 2002**

*Technological change and the environment*; Adam B. Jaffe, Richard G. Newell en Robert N. Stavins; NBER Working Paper 7970; Cambridge MA; 2002

**Jones, 1998**

*Measuring the social return to R&D*; C.I. Jones en J.C. Williams; The Quarterly Journal of Economics (nov.), p. 1119-1135; 1998

**Kampman, 2003**

*Biomassa: tanken of stoken? Een vergelijking van inzet van biomassa in transportbrandstoffen of elektriciteitscentrales tot 2010*; B.E. Kampman, H.J. Croezen, I. de Keizer, O. Bello; CE; Delft; 2003

**Leurs, 2003**

*Environmentally harmful support measures in EU Member States*; B. Leurs, R.C.N. Wit, (CE Delft) in cooperation with: G.A. Harder, A. Koomen and F.H.J. Kiliaan (Ernst & Young Rotterdam) and G. Schmidt (Oko Institut, Darmstadt, Germany); Delft, 2003

**Lyon, 2003**

*Voluntary versus mandatory approaches to climate change mitigation*; Thomas P.; Lyon Issue Brief 03-01, Washington D.C.: Resources for the future; 2003

**Mitchell, 1999**

*Oil for wheels*; John V. Mitchell; Briefing paper new series no. 9, Londen: Royal Institute of International Affairs; 1999

**Morgenstern, 2002**

*The distributional impacts of carbon mitigation policies*; Richard D. Morgenstern, Dallas Burtraw, Lawrence H. Goulder, Mun Ho, Karen Palmer, William Pizer, James N. Sanchirico, and Jhih-Shyang Shih; Issue Brief 02-03; Washington D.C.: Resources for the future; 2002

**Müller, 2003**

*Framing future commitments: a pilot study on the evolution of the UNFCCC greenhouse gas mitigation regime*; Benito Müller; Oxford: Oxford Institute for Energy Studies; 2003

**Müller, 2002**

*Equity in climate change: the great divide*; Benito Müller; Oxford: Oxford institute for energy studies; 2002

**Nelson, 1993**

*National innovation systems: a comparative analysis*; R.R. Nelson; Oxford: Oxford University Press; 1993

**Newell, 2001**

*Discounting the benefits of climate change mitigation: How much do uncertain rates increase valuations?*; Richard Newell en William Pizer; Arlington VA: Pew Center on Global Climate Change; 2001

**OECD, 2002**

*Policy Instruments for Achieving Environmentally Sustainable Transport*; Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD); Parijs; 2002

**Ott, 2004**

*South-North dialogue on equity in the greenhouse: A proposal for an adequate and equitable global climate agreement*; Herrmann E. Ott et al.; Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ); 2004

**PEW, 2002**

*Analysis of President Bush's Climate Change Plan*; PEW center on global climate change; february 2002

**Philibert, 2003**

*Discounting the future*; International society for ecological economics: Internet encyclopaedia of ecological economics; Cedric Philibert; <http://www.ecoeco.org>; 2003

**Pizer, 2004**

*Climate policy in the United States and Japan: a workshop summary*; William A. Pizer en Kentaro Tamura; Discussion Paper 04-22, Washington D.C.: Resources for the Future; 2004

**Platform Markt & Milieu, 2003**

*Markt & Milieu. Naar een innovatief klimaat voor een duurzame energievoorziening*; Platform Markt & Milieu; CE; Delft; 2003

**Popp, 2001**

*Pollution control innovations and the clean air act of 1990*; Popp, David; NBER Working Paper 8593, Cambridge MA; 2001

**Porter, 1990**

*The competitive advantage of nations*; Michael Porter; New York: The Free Press; 1990

**RIVM, 2004**

*Optiedocument Verkeersemissies, Effecten van maatregelen op verzuring en klimaatverandering*; R.M.M. van den Brink, A. Hoen, B. Kampman, R. Kortmann, B.H. Boon; RIVM Rapport 773002026/2004; Bilthoven; 2004

**Rooijers, 1998**

*Ontwikkelingen in wetenschap en technologie: Energietechnieken in landelijke gebieden*; F.J. Rooijers en J.P. van Soest; NRLO-rapport nr. 98/16; Den Haag; 1998



**Rooijers, 1999**

*Mechanismen achter de groei van het energiegebruik*; Rooijers, F.J., J. van Swigchem, G. de Wit, A.N. Bleijenberg; Delft : CE, 1999

**Rooijers, 2000**

*Duurzame Sprong*; F.J. Rooijers; CE; Delft; 2000

**SER, 2001**

*Advies Nationaal Milieubeleidsplan 4*; SER; rapportnr. 01/08; 2001

**Slingerland, 2004**

*Het nucleaire landschap. Verkenning van feiten en meningen over kernenergie*, Slingerland, S., O. Bello, M.D. Davidson, K. van Loo, F.J. Rooijers, en M.N. Sevenster; Den Haag: Rathenau Instituut en CE; 2004

**Stavins, 2004**

*Can an effective global climate treaty be based on sound science, rational economics, and pragmatic politics?*; Robert N. Stavins; Discussion paper 04-28, Washington DC: Resources for the Future; 2004

**Toman, 2002**

*Economic Analysis and the Formulation of U.S. Climate Policy*; Michael A. Toman; Discussion Paper 02-59, Washington D.C.: Resources for the Future; 2002

**Treasury, 2003**

*The green book: appraisal and evaluation in central government*; HM Treasury; Londen: TSO; 2003

**UBA, 2004**

*Global and Local environmental aspects of aviation*; SeminAir Towards Sustainable Aviation?; Umwelt Bundes Amt (UBA) Berlijn; mei 2004

**UNFCCC, 2003d**

*Caring for climate: a guide to the Climate Change Convention and the Kyoto-protocol*; UNFCCC; Bonn: Climate Change Secretariat; 2003

**UNFCCC, 2003e**

*Greenhouse gas reduction pathways in the UNFCCC Process up to 2025: Technical Report*; P. Criqui, A. Kitous, M.M. Berk, M.G.J. den Elzen, B. Eickhout, P. Lucas, D.P. van Vuuren, N. Kouvarikatis en D. Vanregemorter; Grenoble: CNRS-IEPE); 2003

**Van der Sluijs, 1998**

*NMP3 Thema klimaat: een kritische analyse van het probleemveld, de beleidsdoelstellingen en de maatregelen*; Sluijs, J.P. van der, W.C. Turkenburg; Rapportage in opdracht van VROM-raad; VROM-raad; Den Haag; 1998

**Van Tuil, 2002**

*Biomass for the chemical industry*; R. van Tuil et al. (ATO), I. de Keizer et al. (CE); Wageningen; 2002

**Van Velzen, 2000**

*National allocation of international aviation and marine CO<sub>2</sub>-emission*; Van Velzen, A, R.C.N. Wit; Delft : CE, 2000

**VROM, 1999**

*Uitvoeringsnota Klimaatbeleid Deel I: Binnenlandse maatregelen*; Ministerie van VROM, juni 1999

**VROM, 2004b**

*Eindresultaat EU-richtlijn koppeling JI/CDM aan Europees emissiehandelssysteem*; Brief aan de Kamer van het Ministerie van VROM; 19 april 2004.

**Wit, 2000**

*Onderzoek naar milieuschadelijke subsidies*; R.C.N. Wit, B.A. Leurs, M.D. Davidson, J. van Swigchem; CE; Delft; 2000

**WRR, 1992**

*Milieubeleid, Strategie, instrumenten en handhaafbaarheid*; Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR); SDU Uitgeverij, Den Haag; 1992

**WRR, 1994**

*Duurzame risico's; een blijvend gegeven*; Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR); SDU Uitgeverij, Den Haag; 1994

**Websites****Website Rio 1992**

<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>  
<http://www.ddh.nl/agenda21/rioverklaring/klimaat.html>

**Website Kyoto 1997**

<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.

**Website Europese Commissie**

<http://europa.eu.int/scadplus/leg/nl/s15009.htm>

**Website EU richtlijn emissiehandel**

[http://europa.eu.int/eur-lex/nl/com/pdf/2001/nl\\_501PC0581.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/nl/com/pdf/2001/nl_501PC0581.pdf)

**Website Commissie Benchmarking**

<http://www.benchmarking-energie.nl>

**TenneT**

<http://www.tennet.nl/procedures/betrouwbaarheid>



**Website Copenhagen Consensus**

<http://www.copenhagen-consensus.com>

**Website White House 2002**

<http://www.whitehouse.gov/news/releases/2002/02/20020214-5.html>

**Website Chicago Climate Exchange**

<http://www.chicagoclimatex.com>

**Website Milieu- en Natuurcompendium**

<http://www.milieucompendium.nl>; RIVM-MNP, Bilthoven, 2004

**Website International Energy Agency (IEA)**

<http://www.iea.org/dbtw-wpd/textbase/envissu/pamsdb/index.html>

**Website Millennium Ecosystem Assessment**

<http://www.millenniumassessment.org>

**Website European Wind Energy Association (EWEA)**

[http://www.ewea.org/documents/WIND\\_CAP\\_JUNE03.pdf](http://www.ewea.org/documents/WIND_CAP_JUNE03.pdf)  
*Europe's Wind Capacity - June 2003*





# De doelstellingen en de organisatie van het IPCC

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) van de Verenigde Naties heeft als doel beleidsmakers te voorzien van objectieve natuurwetenschappelijke, technische en sociaal-economische informatie over klimaatverandering, de gevolgen ervan voor milieu en maatschappij en de maatregelen die ertegen genomen kunnen worden. Met klimaatverandering worden hier zowel natuurlijke als door mensen veroorzaakte klimaatverandering bedoeld.

## Organisatie

Het IPCC is een intergouvernamenteel lichaam dat ten behoeve van de meer dan 180 partijen van het Klimaatverdrag van de Verenigde Naties bovengenoemde doelstelling nastreeft. Alle leden van het United Nations Environment Programme en/of de World Meteorological Organisation (vrijwel alle landen ter wereld) hebben de mogelijkheid toe te treden tot het IPCC. Het IPCC is opgedeeld in drie werkgroepen en een Task Force.

Werkgroep I ('Science') richt zich op de natuurwetenschappelijke aspecten van zowel natuurlijke als door mensen veroorzaakte klimaatverandering.

Werkgroep II ('Impact and Adaptation') bestrijkt de kwetsbaarheid van menselijke activiteiten en natuurlijke systemen voor klimaatverandering en behandelt de mogelijkheden tot aanpassing.

Werkgroep III ('Mitigation') heeft als aandachtsveld de mogelijkheden tot het terugdringen van door mensen veroorzaakte klimaatverandering, inclusief de bijbehorende economische vraagstukken. Werkgroep III heeft een Nederlandse voorzitter. Het secretariaat is gevestigd bij het RIVM in Bilthoven.

De Task Force on National Greenhouse Gas Inventories ontwikkelt wetenschappelijk verantwoorde methoden en werkwijzen om de uitstoot van broeikasgassen per land vast te kunnen stellen en houdt toezicht op de manier waarop dat gebeurt. De Task Force wordt hier verder buiten beschouwing gelaten.

## Producten

### Assessment Reports

Het IPCC verricht zelf geen wetenschappelijk onderzoek maar stelt op basis van bestaande, erkende wetenschappelijke literatuur wetenschappelijke overzichten op (*assessments*). De vijfjaarlijkse Assessment Reports (AR) die sinds 1990 worden opgesteld lopen als een rode draad door het bestaan van IPCC. Ieder AR bestaat uit drie delen (een per werkgroep) en geeft een compleet en gezaghebbend overzicht van de actuele kennis op de betreffende gebieden.

Het eerste AR (1990, supplement in 1992) bracht het probleem van menselijke beïnvloeding van het klimaat onder de aandacht van het algemene publiek en was een belangrijke aanleiding tot de oprichting van het Klimaatverdrag van de Verenigde Naties in 1992 (United Nations Framework on Climate Change, UNFCCC).

Het tweede AR (1995/1996) gaf mede aanleiding tot de uitbreiding van het Klimaatverdrag met het Kyoto-protocol (1997).

Het derde AR (2001) speelt een belangrijke rol door de partijen van het Klimaatverdrag wetenschappelijk te ondersteunen bij het innemen van een standpunt ten aanzien van de vraag het Kyoto-protocol al dan niet te ratificeren.

Het vierde AR zal vermoedelijk verschijnen in 2007.

### **Special Reports**

Naast Assessment Reports publiceert het IPCC in opdracht van het Klimaatverdrag van de VN of op eigen initiatief ook Special Reports (SR) waarin specifieke onderwerpen uitgediept worden. Tot nu toe zijn Special Reports verschenen over de gevolgen van regionale klimaatverandering, de invloed van luchtvaart op het klimaat, verschillende aspecten van klimaatvriendelijke technologieoverdracht, emissiescenario's en landgebruik en bosbouw in relatie tot klimaatverandering.

De IPCC Assessment Reports en Special Reports gaan vergezeld van een Summary for Policymakers (SPM) die de (lijvige) rapporten bondig samenvatten. De SPM's en de achterliggende rapporten zijn beschikbaar via internet ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)). De complete rapporten zijn commercieel verkrijgbaar (voor bestelinformatie zie [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)). Op basis van het derde Assessment Report (TAR) is een Synthesis Report worden opgesteld waarin een aantal overkoepelende beleidsrelevante vragen is beantwoord.

### **Werkwijze**

De eisen die aan IPCC-rapporten worden gesteld zijn zeer hoog. Idealiter zijn de rapporten volledig, wetenschappelijk verantwoord, leesbaar, evenwichtig, zonder beleidsvoorschrijvende elementen en tot stand gekomen door geografisch gebalanceerde schrijversteams. Dat gaat natuurlijk niet vanzelf. Er is een proces ontworpen om die eisen zo goed mogelijk te benaderen. Er zijn twee stadia te onderscheiden, te weten het schrijfproces en het reviewproces.

### **Schrijfproces**

Op voordracht van de betrokken overheden en internationale niet-overheidsgebonden organisaties beschikt het IPCC over ongeveer 400 geselecteerde wetenschappelijke experts, afkomstig uit 120 landen, die betrokken zijn bij de totstandkoming van de teksten. Deze experts participeren op vrijwillige basis en zijn niet in dienst van het IPCC. Per rapport wordt toegewerkt naar een inhoudsopgave van de verschillende hoofdstukken. Daarbij zijn zowel experts als beleidsmakers en andere afnemers van IPCC-rapporten betrokken. Uiteindelijk worden die overzichten tijdens plenaire werkgroepvergaderingen vastgesteld en worden de bijbehorende schrijversteams samengesteld. Een belangrijke voorwaarde is dat in de teams per hoofdstuk minimaal 1 expert (lieft meer) uit een ontwikkelingsland betrokken is. Onder supervisie van de Coördinerende Lead Authors komt vervolgens een eerste versie van het hoofdstuk tot stand.



## Reviewproces

De eerste versie van het hoofdstuk wordt kritisch doorgenomen door enkele honderden onafhankelijke experts. Het commentaar is de leidraad bij de totstandkoming van de tweede versie van het hoofdstuk. In dit stadium wordt tevens de Summary for Policymakers opgesteld die het rapport samenvat in voor niet-ingewijden begrijpelijke termen. De tweede versie wordt gelijktijdig ter beoordeling aangeboden aan de overheden en de experts. Overheden kijken naar zaken als begrijpelijkheid, bruikbaarheid en evenwicht. De experts beoordelen de tekst nogmaals op zijn wetenschappelijke merites. Bijzondere aandacht krijgt de representativiteit van de Summary for Policymakers in het licht van het onderliggende document. Uiteindelijk wordt het complete rapport ter goedkeuring aangeboden aan de leden van het IPCC (overheidsvertegenwoordigers van de landen die aangesloten zijn). Tijdens die goedkeuring wordt de Summary for Policymakers nogmaals regel voor regel doorgenomen door de overheden. De auteurs zijn hierbij aanwezig en bewaken de wetenschappelijke integriteit van de tekstwijzigingen. Alle door de overheden voorgestelde verbeteringen van de Summary for Policymakers moeten een solide basis hebben in het onderliggende rapport. Het gaat er hier niet om de wetenschap te plooiën in de richting waarin beleidsmakers het graag zouden zien, maar veeleer om in een wisselwerking te komen tot een samenvatting die de wetenschappelijke zeker- en onzekerheden zo goed mogelijk voor het voetlicht brengen en die elementen naar voren brengt die het meest beleidsrelevant zijn.

De tekst van het hoofdrapport valt in zijn geheel onder verantwoordelijkheid van de auteurs. De tekst van de Summary for Policymakers wordt uiteindelijk vastgesteld door de overheden maar is onvoorwaardelijk representatief voor de onderliggende tekst. Het doel van deze constructie is dat hiermee de overheden bij het vaststellen van hun klimaatbeleid of tijdens internationale onderhandelingen ondanks grote onderlinge culturele en politieke verschillen uitgaan van een gedeelde gezaghebbende wetenschappelijke visie op de problematiek.