

# Van klimaatdoel naar emissiereductie

Nieuwe inzichten in de mogelijkheden voor  
beperking van klimaatverandering



**Milieu en Natuur  
Planbureau**

*Van Klimaatdoel naar emissie reductie*

© Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), Bilthoven, Oktober 2006

MNP-publicatienummer 500114001/ 2006

ISBN-10: 90-6960.-158-3

ISBN-13: 978-90-6960-158-8

U kunt de publicatie downloaden van de website [www.mnp.nl](http://www.mnp.nl) of opvragen via [reports@mnp.nl](mailto:reports@mnp.nl) onder vermelding van het MNP-publicatienummer.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Milieu- en Natuurplanbureau (2006). Van Klimaatdoel naar emissie reductie. Nieuwe inzichten in de mogelijkheden voor beperking van klimaatverandering.

MNP-publicatienummer: 500114001/2006 Bilthoven.

*Tekst:* Detlef van Vuuren, Marcel Berk, Jacco Farla (allen MNP) en Rolf de Vos (Ecofys)

*Redactie figuren:* Kees Klein-Goldewijk, Marian Abels (MNP)

*Opmaak:* Uitgeverij RIVM

*Druk:* TDS Schiedam

Contactpersoon: Detlef van Vuuren: [detlef.van.vuuren@mnp.nl](mailto:detlef.van.vuuren@mnp.nl)

# Inhoudsopgave

SAMENVATTING	5
Van klimaatdoel naar uitstootreductie	6
Van uitstootreductie naar maatregelpakket	8
De kosten van maatregelpakketten	8
Taakverdeling tussen arm en rijk	9
Maatregelen in Nederland tot 2020	10
1. INLEIDING	13
Wetenschap: van klimaat tot maatregelen	13
EU/NL doelstelling: maximaal 2°C temperatuurstijging	14
Klimaatbeleid in breder kader	16
Leeswijzer	17
2. CONCENTRATIES EN UITSTOOT	19
Concentraties en temperatuurstijging	19
Wat gebeurt er zonder klimaatbeleid?	21
Waaiers van reductiepaden	22
Meer reducties, en sneller	23
In 2050: 25 tot 60% minder uitstoot nodig	24
3. MAATREGELLEN EN KOSTEN VOOR EMISSIEREDUCTIE	27
Individuele opties	27
Pakketten van maatregelen	33
Kosten: vroege actie kan lonen	35
Bijkomende voordelen en nadelen	36
Noodzakelijke voorwaarden	37
Omgaan met onzekerheden	38
4. MONDIALE TAAKVERDELING EN KOSTEN PER REGIO	39
Verbreding klimaatbeleid nodig voor ambitieuze doelstellingen	39
Klimaatbeleid in een bredere context	41
Multi-stadia benadering als voorbeeld van internationale taakverdeling	41
Kosten: winnaars en verliezers	44
Maatregelen in de Europese Unie	45

5.	OPTIES VOOR NEDERLAND	47
	Klimaatbeleid tot 2020	47
	Maatregelen in Nederland	48
	Optiepakketten	49
	Opties tot 2020	50
	Energiebesparing	52
	Van opties naar implementatie	52
	Onzekerheden versus zekerheden	54
	Afsluitend	53

	Literatuur	57
--	------------	----

	Woordenlijst	59
--	--------------	----

## SAMENVATTING

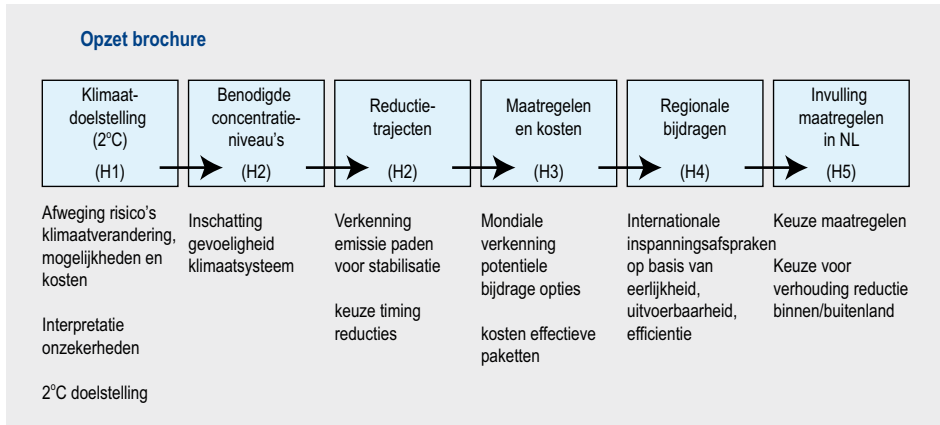
- *Het Europees klimaatbeleid heeft als lange-termijn doelstelling klimaatverandering te beperken tot maximaal 2°C temperatuurstijging (p.14)*
- *Klimaatbeleid past in een breder kader van duurzame ontwikkeling (p.16)*

Het klimaat op aarde is aan het veranderen en de mens heeft daarop in de laatste 150 jaar een aantoonbare invloed gehad. Daarom sloten in 1992 in Rio de Janeiro meer dan 150 landen onder VN-vlag het internationale Klimaatverdrag. Dat verdrag vormt de basis voor het internationale klimaatbeleid. Het doel is om gevaarlijke, onomkeerbare veranderingen in het klimaat te vermijden teneinde de voedselproductie, de biodiversiteit en een duurzame ontwikkeling te beschermen. De Europese Unie en enkele lidstaten waaronder Nederland hebben dit politiek vertaald in het doel om de mondiale temperatuurstijging te beperken tot maximaal 2°C boven het preïndustriële niveau.

Vertaling van dit klimaatdoel in concrete maatregelen voor de langere termijn (dat wil zeggen na 2012 wanneer de afspraken onder het Kyoto Protocol aflopen) is niet eenvoudig. Het vereist wetenschappelijke inzichten in de relaties tussen de oorzaken en gevolgen van klimaatverandering, die nog omgeven zijn met grote onzekerheden. Het brengt ook lastige en complexe beleidskeuzes met zich mee. Er moet onder andere een afweging worden gemaakt tussen de kosten van klimaatbeleid en de risico's van klimaatverandering. Het beperken van de temperatuurstijging tot 2°C vergt naast maatregelen in Europa en Nederland ook de inzet van alle andere delen van de wereld, waarvoor internationale overeenstemming over de verdeling van inspanningen nodig is.

Het klimaatprobleem is geen geïsoleerd probleem. Bij de aanpak van het klimaatprobleem moet ook rekening worden gehouden met vele andere beleidsdoelstellingen. Klimaatbeleid, zowel voor het reduceren van emissies als ook voor aanpassing aan klimaatverandering staat in een veel bredere context van beleidsdoelstellingen, zoals internationale ontwikkelingsdoelstellingen, verbetering van de luchtkwaliteit en energievoorzieningszekerheid. Veel van de maatregelen die worden genomen op andere beleidsterreinen hebben direct invloed op de haalbaarheid en kosten van klimaatbeleid. Het plaatsen van klimaatbeleid in een breder kader van duurzame ontwikkeling is daarom noodzakelijk. Dit maakt het tegelijkertijd mogelijk te zoeken naar een synergie tussen de verschillende doelstellingen en daarmee naar vergroting van het politieke en maatschappelijke draagvlak voor het nationale en internationale klimaatbeleid.

Dit rapport beoogt een handzaam en actueel overzicht te geven van wetenschappelijke inzichten in het belang van en mogelijkheden voor het reduceren van broeikasgasemissies op internationale en nationale schaal, gebaseerd op recente publicaties van het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP).



*Figuur A: Van klimaatdoel naar beleidsmaatregelen. Schematische weergave van relevante onderwerpen en thema's.*

Bij de vertaling van de 2°C klimaatdoelstelling in mogelijke maatregelen volgt dit rapport de tussenstappen als aangegeven in Figuur A. Het is belangrijk te beseffen dat de beslissingen aangegeven in Figuur A betrekking hebben op verschillende tijdsperiodes. Bovendien is het beleidsproces zelf niet zo sequentieel als in Figuur A aangegeven.

## Van klimaatdoel naar uitstootreductie

- *Alleen stabiliseren van de concentraties van broeikasgassen op lage concentratieniveaus biedt een goede kans op het halen van de 2°C-doelstelling. Stabilisatie op het niveau van 450 ppm CO<sub>2</sub>-eq.<sup>1</sup> of minder leidt tot een kans boven de 50% (p.19)*
- *Als de wereld er niet in slaagt om de groei in de emissies vóór 2025 om te buigen naar een daling, neemt de kans op het halen van de 2°C doelstelling sterk af (p.24)*
- *Het stabiliseren van broeikasgas concentraties op relatief lage niveau's vereist dat er in 2050 mondiaal 25 tot 60% minder uitstoot is dan in 1990 (p.24)*
- *In klimaatbeleid vullen het beperken van emissies en aanpassing aan klimaatverandering elkaar aan (p.16)*

De lange-termijn doelstelling van de EU om de gemiddelde temperatuur op aarde met niet meer dan 2°C te laten stijgen is gebaseerd op een politieke beoordeling van sociaal-economische en ecologische risico's van klimaatverandering. De relatie tussen mondiale temperatuurstijging en de effecten van klimaatverandering zijn in een eerdere MNP brochure "Hoeveel warmer mag het worden?" in kaart gebracht. Sinds het pre-industriële tijdperk is de gemiddelde temperatuur op aarde gestegen met 0,6 tot

<sup>1</sup> Het kader in hoofdstuk 2 legt uit wat CO<sub>2</sub>-equivalente (CO<sub>2</sub>-eq.) concentraties zijn.

0,7°C. De effecten daarvan zijn – ook in Nederland – zichtbaar, vooral in de natuur. Uit studies blijkt dat de gevolgen van klimaatverandering toe zullen nemen bij een verdere temperatuurstijging. Hoewel onzekerheden nog groot zijn, is de verwachting dat het hierbij in eerste instantie gaat om gevoelige ecosystemen (zoals koraalriffen) of lokale effecten. Bij verdere klimaatverandering nemen risico's op meer ingrijpende effecten toe zoals het afsmelten van Arctisch zee-ijs en delen van de Groenlandse ijskap, sterke zeespiegelstijging, negatieve beïnvloeding van wereldwijde voedselproductie of het stilvallen van de warme golfstroom. Naar verwachting zullen de grootste effecten van klimaatverandering plaats vinden in ontwikkelingslanden; zij zijn ook het meest kwetsbaar door grote afhankelijkheid van klimaatgevoelige economische sectoren.

Voor beperking van de temperatuurstijging is stabilisatie van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer noodzakelijk. Over de relatie tussen de hoogte van het stabilisatieniveau en temperatuurstijging hebben recente onderzoeken nieuwe inzichten opgeleverd. Pas bij stabilisatie op een concentratieniveau van lager dan 450 ppm (parts per million) CO<sub>2</sub>-eq is de kans dat de 2°C-doelstelling gehaald kan worden meer dan 50%. Dat niveau is veel ambitieuzer dan waarvan de internationale politiek tot dusverre uitging en het ligt maar weinig boven het huidige concentratieniveau. Het is onvermijdelijk dat de concentratie eerst nog boven het niveau van 450 ppm zal uitstijgen alvorens uiteindelijk door verdere daling van de uitstoot te dalen (piek-profiel). Het is natuurlijk mogelijk om stabilisatie en/of piek profielen op iets hogere concentraties te evalueren – maar dit vermindert de kans op een temperatuurstijging van maximaal 2 graden.

De concentratieniveaus waarbij er een grotere kans bestaat om de 2°C doelstelling te halen, kunnen slechts worden bereikt als de uitstoot van broeikasgassen in de hele wereld fors wordt verminderd. In 2050 zou de uitstoot van broeikasgassen wereldwijd 25 tot 60% lager moeten zijn dan in 1990. Dat kan slechts als alle grote landen ter wereld hieraan bijdragen.

Ook wanneer de 2°C doelstelling wordt gehaald, blijft een behoorlijke aanpassing aan een veranderd klimaat noodzakelijk. Hierbij gaat het ondermeer om aanpassingen in de landbouw en het waterbeheer aan veranderde neerslagpatronen, weersextremen en zeespiegelstijging. Anderzijds geldt dat het succes van aanpassingsbeleid afhankelijk is van beperking van de temperatuurstijging om te voorkomen dat dit beleid voor onmogelijke opgaven komt te staan. Met andere woorden, aanpassing (adaptatie) en reductiebeleid zijn in sterke mate aanvullend en vaak geen tegengestelde keuzes.

## Van uitstootreductie naar maatregelpakket

- *Het potentieel van nu bekende technologieën is voldoende groot om de noodzakelijke reducties voor lage stabilisatieniveaus tot stand te brengen (p.33)*
- *Voor het realiseren van emissiereducties is een breed portfolio van maatregelen nodig (p.34)*
- *Naast energiebesparing kan de opslag van CO<sub>2</sub> wel eens een zeer belangrijke technologie worden bij de reductie van broeikasemissies (p.28)*
- *Reductie van niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen is de komende twee decennia aantrekkelijk om de kosten laag te houden (p.32)*
- *Reductiemaatregelen dragen in veel gevallen ook bij aan het bereiken van andere maatschappelijke doelstellingen (p.36)*

Het potentieel van maatregelen in de wereld is in principe voldoende om binnen vijf decennia zelfs emissiereducties van 60% te realiseren. Het scala aan mogelijkheden is daarbij zeer breed: van kernenergie tot hernieuwbare energiebronnen, van energiebesparing tot en met koolstofplantages. Energiebesparing is daarbij een belangrijke optie, die zeker in de eerste decennia een belangrijk deel van het totale reductiepakket kan vormen. Op langere termijn speelt de transitie naar koolstof-neutrale systemen een steeds grotere rol. Naast hernieuwbare energiebronnen of kernenergie komt ook de opslag van CO<sub>2</sub> wereldwijd als een zeer aantrekkelijke technologie naar voren. Ook de beperking van uitstoot van andere broeikasgassen dan CO<sub>2</sub> is zeer aantrekkelijk, vanwege de vaak lage kosten.

Deze opties hoeven niet alleen vanuit klimaatperspectief ingezet te worden, maar leiden tevens tot een kleinere afhankelijkheid van fossiele brandstoffen, verbeterde toegang tot moderne energie, betere luchtkwaliteit en dus gezondheid, innovatie en nieuwe marktkansen voor de industrie. De relatieve waardering van opties zal mede afhangen van het gewicht van deze andere baten.

Voor internationale afspraken over maatregelen is het zinvol niet alleen naar het kader van het VN-verdrag over klimaatverandering te kijken. Gezien de synergie met andere aspecten van duurzame ontwikkeling kunnen ook andere kaders (zoals rampenbestrijding, ontwikkelingsfinanciering, handel) effectief zijn.

## De kosten van maatregelpakketten

- *Stabilisatie op een niveau van 450 ppm CO<sub>2</sub>-eq. leidt naar verwachting tot directe jaarlijkse kosten van gemiddeld zo'n 1-2% van het wereldwijde BNP (p.35)*
- *De onzekerheid in de kosten is echter aanzienlijk: de helft kan, het dubbele ook (p.38)*

Uitgaande van een stapsgewijze uitbreiding van het aantal landen dat de emissies gaat beperken is uitgerekend wat de kosten zouden zijn van het bereiken van verschillende



stabilisatiedoelstellingen. Het betreft hier directe kosten, uitgedrukt als percentage van het Bruto Nationaal Product (BNP), oftewel de omvang van de economie. De berekeningen wijzen erop dat de jaarlijkse kosten van ambitieus klimaatbeleid gericht op stabilisatie op 450 ppm CO<sub>2</sub> eq. deze eeuw in de orde van grootte van 1-2 % van het BNP liggen. Dat wil zeggen dat gecumuleerd over de eeuw en met een discontovoet van 5% de kosten zo'n 1% van het (gecumuleerde) BNP bedragen. De kosten zijn qua omvang vergelijkbaar met de huidige kosten voor het totale milieubeleid in Westerse landen. Deze schattingen zijn wel gebaseerd op aannames over bijvoorbeeld de vrije uitwisseling van technologische kennis, afnemende kosten voor nieuwe technologieën en een kostenoptimale aanpak van de emissiereductie via een forse groei in de internationale handel in emissierechten (via onder andere het Clean Development Mechanism (CDM) uit het Kyoto Protocol. De onzekerheden in deze kostenschattingen zijn aanzienlijk. Berekeningen laten zien dat deze variëren van de helft tot ongeveer het dubbele.

Wanneer de positieve effecten op andere beleidsterreinen worden meegenomen in de kostenberekeningen dan kunnen de maatschappelijke kosten aanzienlijk dalen. Wanneer bijvoorbeeld het gunstig effect op de gezondheid ten gevolge van verminderde luchtverontreiniging als neveneffect van klimaatbeleid in geld wordt uitgedrukt kan dit in een aantal gevallen de kosten voor een groot deel compenseren.

## Taakverdeling tussen arm en rijk

- *Zeer verregaande reductiedoelstellingen kunnen slechts worden bereikt als tenminste alle grote landen deelnemen (p.38)*
- *Stabilisatie op 450 ppm betekent voor de rijkste landen onder een multi-stadia benadering (waarbij de ontwikkelingslanden gefaseerd gaan meedoen) emissiereductiedoelstellingen in de orde van 10 tot 25% in 2020 en 60 tot 90% in 2050 ten opzichte van 1990 (p.43)*
- *Voor het bereiken van stabilisatie op lage niveau's is het nodig dat verschillende ontwikkelingslanden al betrokken worden bij internationale emissie-afspraken vóór 2020 (p.44)*
- *Om de kosten te beperken is een vorm van wereldwijde emissiehandel een cruciaal instrument (p.45)*

Berekeningen laten zien dat voor de noodzakelijke wereldwijde reducties alle grote landen op afzienbare termijn deel moeten nemen aan klimaatbeleid. Het vergroten van de huidige coalitie van landen met emissiedoelstellingen is daarom de belangrijkste prioriteit van internationaal klimaatbeleid.

In de internationale onderhandelingen over klimaatbeleid staat het bereiken van een aanvaardbare taakstelling voor verschillende landen (waaronder arme en rijke landen) hoog op de agenda. Van rijke landen wordt verwacht dat zij het voortouw nemen en grotere reducties op zich nemen dan ontwikkelingslanden. Op dit moment doen niet alle industrielanden mee. Deelname door de Verenigde Staten is essentieel om de 2°C

doelstelling te kunnen halen. Ook de (grotere) ontwikkelingslanden zullen tijdig een bijdrage moeten gaan leveren, wil stabilisatie op 450 ppm in zicht blijven. Deze bijdrage kan gekoppeld worden aan het realiseren van duurzame ontwikkelingsdoelen (efficiënt gebruik van energie, duurzame elektriciteit, biobrandstoffen). Daarmee kan de groei van emissies in ontwikkelingslanden worden afgeremd zonder de economische ontwikkeling te schaden. In deze context is het mogelijk om strategieën te ontwikkelen waarmee ontwikkelingsdoelen en klimaatdoelen met elkaar verbonden worden, om de spanning tussen klimaat en ontwikkeling zoveel mogelijk weg te nemen. Additioneel klimaatbeleid komt dan aan de orde wanneer hun economische ontwikkeling verder is gevorderd.

Het systeem van emissiehandel, inclusief het Clean Development Mechanism (zie hoofdstuk) kan een belangrijke rol spelen in het stimuleren van maatregelen in ontwikkelingslanden, het genereren van kapitaalstromen richting ontwikkelingslanden en het betaalbaar houden van de wereldwijde inspanningen. Het vormgeven van een betrouwbaar systeem dat deze kapitaalstromen kan leiden speelt hierin een belangrijke rol: het gaat om grote bedragen.

## Maatregelen in Nederland tot 2020

- *Een nationaal emissiereductiedoel van 15 tot 30% in 2020 is in lijn met de benodigde internationale inspanningen voor het bereiken van de 2°C doelstelling op lange termijn (p.48)*
- *Nederland heeft voldoende potentieel om in 2020 een binnenlandse emissiereductie te realiseren van 15% ten opzichte van 1990, tegen €1-2 miljard per jaar. Technisch is zelfs een 25% reductie mogelijk, maar dan tegen aanzienlijk hogere kosten (p.49)*
- *Het benutten van het technisch potentieel voor binnenlandse emissiereductie zal moeten worden afgewogen tegen de mogelijkheden om emissies goedkoper in het buitenland te reduceren. Nevenbaten van binnenlands klimaatbeleid dienen daarbij mee te worden gewogen.(p.53)*

Recent zijn voor Nederland de mogelijkheden voor klimaatmaatregelen tot 2020 geïnventariseerd. Daaruit blijkt dat Nederland in principe voldoende reductieopties beschikbaar heeft om de broeikasgasuitstoot in absolute zin te reduceren. Een binnenlandse reductie van 15% ten opzichte van 1990 is mogelijk tegen € 1 à 2 miljard per jaar, het technisch potentieel is zelfs 25%. Er is hierbij niet gekeken naar beleidsinstrumenten voor het implementeren van de opties en de haalbaarheid daarvan. Uit de inventarisatie is al wel duidelijk dat het realiseren van 15% reductie vraagt om een aanzienlijke beleidsinspanning.

Om in lijn te blijven met de mondiaal noodzakelijke reducties voor de 2°C-doelstelling, heeft Nederland naast binnenlandse emissiereductie ook de mogelijkheid om emissiereductie in het buitenland te realiseren, via onder andere CDM-projecten. De verdeling tussen binnenlandse en buitenlandse emissiereducties zal een belangrijk onderwerp

van discussie vormen bij het bepalen van het klimaatbeleid voor na 2012. Daarbij zullen de kosten van klimaatbeleid moeten worden afgewogen tegen nevenbaten zoals vermeden kosten voor luchtbeleid of technologieontwikkeling.



## 1. INLEIDING

Het klimaat op aarde is aan het veranderen. Klimaatverandering is op zich een natuurlijk proces, bijvoorbeeld door veranderingen in de instraling van de zon. Maar sinds het pre-industriële tijdperk ondergaat het klimaat relatief snelle veranderingen. Hoewel de kennis van het klimaatsysteem nog steeds verre van volledig is en omgeven door grote onzekerheden, wordt er steeds minder aan getwijfeld dat die recente klimaatverandering het gevolg is van menselijke activiteiten, vooral het verbranden van fossiele brandstoffen en ontbossing. Dit heeft geleid tot een sterke toename van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer.

De activiteiten die ten grondslag liggen aan deze relatief snelle klimaatverandering zijn te beïnvloeden. Maar dat is niet gemakkelijk en vraagt om lastige beleidskeuzes. Een belangrijke factor hierbij is dat bij klimaatverandering sprake is van een ruimtelijke scheiding tussen oorzaak en gevolg: lokale emissies hebben ook elders effecten, terwijl om lokale klimaateffecten te verminderen ook elders emissiereducties nodig zijn. Dat betekent dat klimaatverandering alleen internationaal is aan te pakken. Een verdere complicatie vormt de vertraagde koppeling tussen de (beperking van de) uitstoot van broeikasgassen en de (afname van de) effecten van klimaatverandering, vooral zeespiegelstijging. Dit effect maakt dat maatregelen nu vooral de risico's voor toekomstige generaties verminderen. Dit vraagt van beleidsmakers om rekening te houden met de risico's voor toekomstige generaties op basis van nog onzekere wetenschappelijke kennis over de oorzaken en de gevolgen van klimaatverandering en over mogelijke oplossingen.

Die wetenschappelijke kennis evolueert snel. Deze brochure geeft een handzaam overzicht van recente inzichten in de mogelijkheden om klimaatverandering tegen te gaan op basis van een aantal publicaties van het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP)<sup>2</sup>, waarin ook andere nieuwe publicaties zijn geanalyseerd. Samen geven deze publicaties een hernieuwd beeld van de mondiale problematiek van klimaatverandering, van de noodzaak van mondiale maatregelen en van de bijdrage die Nederland daaraan kan leveren. Deze informatie is actueel, nu internationaal een nieuwe ronde van onderhandelingen over het toekomstige klimaatbeleid is gestart, gericht op nieuwe klimaatafspraken voor de periode na 2012.

### Wetenschap: van klimaatverandering tot maatregelen

De wetenschappelijke kennis van het klimaatprobleem begint bij de bestudering van veranderingen in het klimaat in de loop der tijd. De klimatologie legt daarbij het ver-

---

<sup>2</sup> De artikelen over internationaal klimaatbeleid zijn ook ingebracht in de wetenschappelijke assessment die momenteel wordt voorbereid door het Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). Op nationaal niveau put dit rapport uit het zogenaamde Optiedocument dat is geschreven door ECN en MNP.

band tussen klimaatvariabelen zoals de gemiddelde temperatuur op aarde en regionale neerslagpatronen en milieucondities, zoals zonne-instraling en concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer, met alle onzekerheden van dien.

Vervolgens helpt de wetenschap bij het in kaart brengen van de risico's van klimaatverandering. Bij geleidelijke, kleine veranderingen kunnen ecosystemen en de samenleving zich naar verwachting wel aanpassen. Maar als klimaatverandering grotere vormen aanneemt, wordt aanpassing moeilijker en kunnen onomkeerbare processen en plotselinge veranderingen in gang worden gezet, met risico's voor economie, natuur en maatschappij. Voorbeelden zijn het verloren gaan van unieke natuur zoals koraalriffen, regionale bedreigingen voor de voedselproductie door verandering van neerslagpatronen en/of smeltwatertoevoer, of de gevolgen van snelle zeespiegelstijging voor laag gelegen kustgebieden en eilanden.

Ten slotte kan de wetenschap ook bijdragen aan kennis over maatregelen die de menselijke beïnvloeding van het klimaat kunnen tegengaan. Technologieën om klimaatverandering te voorkomen zijn vaak wel voorhanden, maar moeten soms eerst nog verder worden ontwikkeld, terwijl de grootschalige toepassing van dergelijke technologieën vaak belangrijke sociale en economische veranderingen vergt.

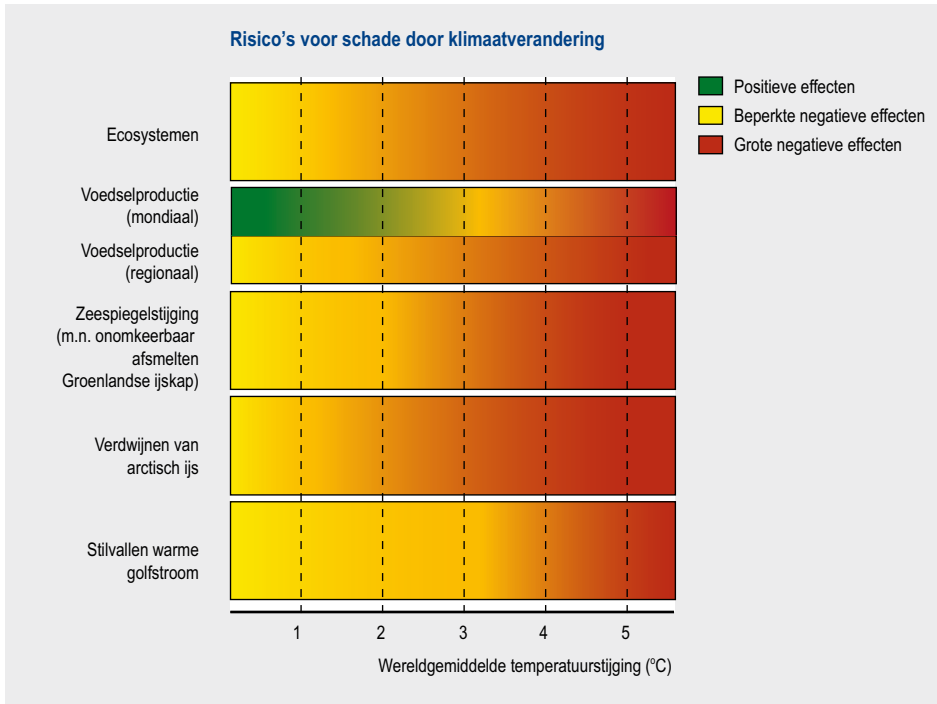
## **EU/NL doelstelling: maximaal 2°C temperatuurstijging**

In 1992 is in Rio de Janeiro (Brazilië) het internationale Klimaatverdrag gesloten, met als voornaamste doel om gevaarlijke menselijke verstoring van het klimaat te voorkomen ten einde de voedselproductie, de biodiversiteit en een duurzame ontwikkeling te beschermen. Welke verstoring als 'gevaarlijk' moet worden betiteld is een maatschappelijke keuze, waarbij wetenschappelijke kennis over de risico's een belangrijke rol speelt. Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), het belangrijkste internationale wetenschappelijke platform voor klimaatonderzoek, verzamelt deze kennis en analyseert deze in periodieke rapportages. In 2001 verscheen het derde 'Assessment Report' waarin de temperatuurstijging zonder klimaatbeleid op het eind van deze eeuw werd geschat op 1,5 tot 6°C, afhankelijk van de maatschappelijke ontwikkelingen en de onzekerheden in de gebruikte modellen. In 2007 zal het volgende samenvattende IPCC-rapport verschijnen.

Volgens het IPCC is de temperatuur op aarde gestegen met 0,6 tot 0,7°C sinds het pre-industriële tijdperk. De effecten daarvan zijn – ook in Nederland - zichtbaar, vooral in de natuur. Studies geven aan dat gevolgen van klimaatverandering zullen toenemen bij verdere temperatuurstijging. Een eerdere MNP brochure geeft een overzicht van recente kennis op dit terrein<sup>3</sup>. Figuur 1 geeft hiervan een samenvatting. Hoewel onzekerheden nog groot zijn, is de verwachting dat in eerste instantie met name gevoelige

---

<sup>3</sup> B. Heij, et al., 'Hoeveel warmer mag het worden?', MNP Rapport 2005999.



*Figuur 1. De risico's van klimaatverandering op wereldschaal voor ecosystemen, voedselproductie, zeespiegelstijging, arctisch zee-ijs en de warme golfstroom als een functie van de mondiale temperatuurstijging t.o.v. pre-industrieel niveau (MNP, 2005).*

ecosystemen (zoals koraalriffen) of lokale systemen (voedselvoorziening) negatieve effecten kunnen ondervinden. Bij verdere klimaatverandering nemen risico's op meer ingrijpende effecten toe. Het gaat hierbij ondermeer om het afsmelten van Arctisch zee-ijs en delen van de Groenlandse ijskap, (sterke) zeespiegelstijging, negatieve beïnvloeding van wereldwijde voedselproductie of het stilvallen van de warme golfstroom. Ontwikkelingslanden kunnen de grootste negatieve effecten van klimaatverandering verwachten en zijn ook het meest kwetsbaar door de grote afhankelijkheid van klimaatgevoelige economische sectoren, het ontbreken van voorzieningen en structuren om te anticiperen op extreme weersituaties en de beperkte veerkracht ten gevolge van lage inkomens.

Mede op basis van dergelijke inzichten heeft de Europese Unie ervoor gekozen om te streven naar beperking van de gemiddelde temperatuurstijging op aarde tot maximaal 2°C ten opzichte van de periode vóór de Industriële Revolutie. Deze doelstelling moet worden beschouwd als een politieke afweging van de risico's van klimaatverandering en de mogelijkheden om klimaatverandering te voorkomen. De doelstelling staat sinds 1996 centraal in het klimaatbeleid van de Europese Unie en haar lidstaten en is in 2005 door de regeringsleiders nog eens bekrachtigd. Nederland volgt dit uitgangspunt ook in het nationale klimaatbeleid. Deze doelstelling is daarom ook gekozen als vertrek-

punt voor de analyses in dit rapport, namelijk welke mogelijkheden zijn er om aan de 2°C doelstelling te voldoen, zowel wereldwijd als in Nederland, en wat zijn de kosten en baten van dergelijk beleid?

## Klimaatbeleid in breder kader

Klimaatbeleid, zowel voor het reduceren van emissies als ook adaptatiebeleid staat in een veel bredere context van beleidsdoelstellingen, zoals verbetering van de luchtkwaliteit, energievoorzieningszekerheid en internationale ontwikkelingsdoelstellingen. Veel van de maatregelen die worden genomen op andere beleidsterreinen hebben direct invloed op de haalbaarheid en kosten van klimaatbeleid. Het plaatsen van klimaatbeleid in een breder kader van duurzame ontwikkeling is daarom noodzakelijk. Dit maakt het mogelijk te zoeken naar een synergie tussen de verschillende doelstellingen en daarmee naar mogelijkheden voor vergroting van het politieke en maatschappelijke draagvlak voor het nationale en internationale klimaatbeleid.

### **Aanpassen aan klimaatverandering of verder reduceren?**

Omdat er onvermijdelijk effecten van klimaatverandering zullen optreden zal aanpassing of adaptatie deel uitmaken van een robuust klimaatbeleid. Adaptatiebeleid is ook belangrijk vanwege de vele onzekerheden in het systeem – en de anderzijds, gewenste zekerheid van bijvoorbeeld een veilige waterhuishouding. Met andere worden ook als er wereldwijd een sterke reductie plaats vindt van de broeikasgasemissies zal het klimaat veranderen (zie ook MNP-rapport “Effecten van Klimaatverandering in Nederland”). Anderzijds is de benodigde aanpassing afhankelijk van de mondiale emissiereductie-inspanning: als wereldwijd de broeikasgasconcentraties op tijd stabiliseren is er minder kans op grote versturende klimaateffecten. De toereikendheid van aanpassingsbeleid is dus afhankelijk van een beperking van de temperatuurstijging om te voorkomen dat dit beleid voor onmogelijke opgaven komt te staan. Aanpassing en reductiebeleid zijn dus in sterke mate aanvullend. Dat neemt niet weg dat in de praktijk op nationaal niveau afwegingen tussen adaptatie en mitigatie

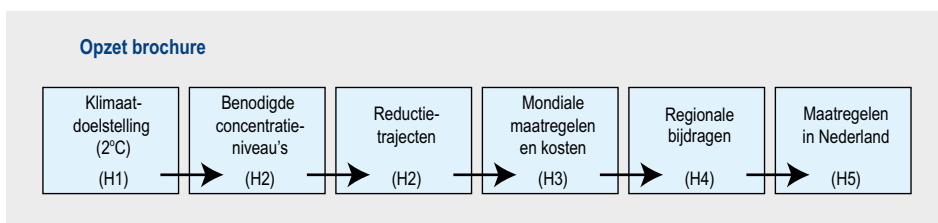
worden gemaakt, bijvoorbeeld hogere dijken en de bijdrage aan de wereldwijde vermindering van emissies. Gezien de vele wetenschappelijke onzekerheden is een onderbouwing voor een optimale verdeling tussen mitigatie- en adaptatie-inspanningen niet te geven. Dat heeft onder meer te maken met verschillen in enerzijds de gevoeligheid van landen voor de effecten (bijvoorbeeld kwetsbaarheid voor verandering in zeespiegel en neerslag) en anderzijds de uiteenlopende bijdragen aan emissies en mogelijkheden voor emissiereductie van dezelfde landen. Een afweging tussen aanpassing en emissiereductie blijft fundamenteel lastig door onzekerheden over de risico's van klimaateffecten, de effectiviteit van het (internationale) mitigatiebeleid en onzekerheden over de kosten en ontwikkeling daarvan in de tijd (WRR, Klimaatstrategie tussen ambitie en realisme, 2006). Daar komt nog bij dat kosten en baten slecht kenbaar zijn en bovendien de lange termijn effecten wetenschappelijk gezien niet eenduidig zijn te waarden.



## Leeswijzer

Het doel van dit rapport is om een actueel beeld te geven van de stand van de wetenschappelijke kennis over de implicaties van en de mogelijkheden voor het bereiken van de door de EU en Nederland geformuleerde doelstelling om de mondiale temperatuurstijging te beperken tot 2°C boven het pre-industriële niveau. Het rapport tracht daarbij tevens inzicht te geven in de keuzes die door de maatschappij gemaakt moeten worden om die doelstelling te bereiken en de effecten die daarbij meewegen. Cruciale onderdelen daarvan zijn de gewenste zekerheid bij het halen van de doelstelling, welke maatregelen genomen kunnen worden, de kosten daarvan en de relatie met duurzame ontwikkeling, de benodigde internationale samenwerking en verdeling van inspanningen, de afstemming van beleid op verschillende schaalniveau's en het invullen van nationaal klimaatbeleid. Binnen de beperkte omvang van deze publicatie worden enkele onderwerpen niet behandeld. Zo wordt bijvoorbeeld geen aandacht besteed aan de vraag welke beleidsinstrumenten gekozen moeten worden om de reductie-opties te implementeren. In de tekstbox in Hoofdstuk 5 worden wel kort enkele mogelijkheden genoemd.

Dit rapport volgt een stapswijze aanpak (zie Figuur 2). **Hoofdstuk 2** laat zien bij welke concentraties broeikasgassen de temperatuurstijging waarschijnlijk beperkt kan blijven tot 2°C of minder en welke reducties van de uitstoot van deze gassen daarvoor nodig zijn. **Hoofdstuk 3** gaat in op de maatregelen die deze reducties (mondiaal) te kunnen realiseren. Internationale maatregelen blijken nodig én mogelijk te zijn, maar vragen wel om een acceptabele verdeling van de lasten tussen de rijke en arme wereld (**Hoofdstuk 4**). Ten slotte wordt ingezoomd op de mogelijkheden voor emissiereducties binnen Nederland (**Hoofdstuk 5**).



Figuur 2. Opzet van dit rapport.



## 2. CONCENTRATIES EN UITSTOOT

Voor het ontwikkelen van klimaatstrategieën voor de lange-termijn is het allereerst noodzakelijk vast te stellen hoe de relatie tussen de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer en temperatuurstijging verloopt. Meer specifiek geldt de vraag: welk concentratieniveau is in staat om aan de 2°C doelstelling te voldoen? In dit hoofdstuk wordt hierop ingegaan. Ook wordt de vraag beantwoord hoe sterk de emissies van broeikasgassen zouden moeten worden gereduceerd om deze concentratieniveaus te bereiken.

Wetenschappers zijn het er over eens dat klimaatverandering optreedt. Maar het exacte verband tussen de uitstoot van broeikasgassen, de concentraties daarvan in de atmosfeer en de resulterende temperatuur is nog niet eenduidig vast te stellen. Er zijn veel onzekere variabelen, zoals de gevoeligheid van het klimaatsysteem voor de toename van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer (de klimaatgevoeligheid), de relatie tussen de uitstoot van broeikasgassen en de resulterende concentraties, de bijdrage van de verschillende broeikasgassen en de snelheid waarmee de uitstoot kan worden verminderd.

### Concentraties en temperatuurstijging

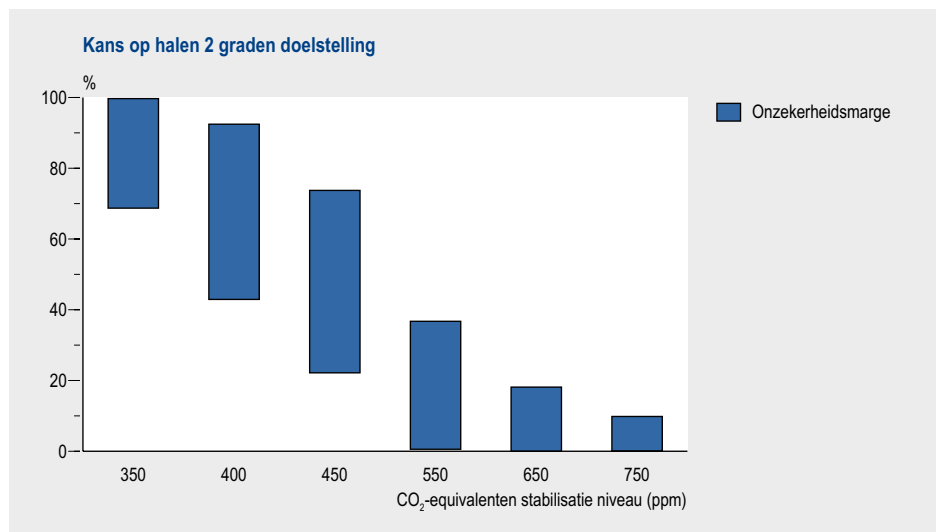
In de wetenschappelijke literatuur bestaan verschillende schattingen over het verband tussen de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer en temperatuurstijging, en daarmee van de kans dat de mondiale temperatuurstijging niet boven 2°C uitkomt. In Figuur 3 zijn voor verschillende stabilisatieniveaus de bandbreedtes van die schattingen weergegeven. Daarbij wordt niet alleen gerekend met kooldioxide (CO<sub>2</sub>), maar ook met andere broeikasgassen (zie ook tekstbox 'CO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>-equivalenten').

De kans om de temperatuurstijging onder 2°C te houden is uiteraard groter naarmate de concentraties lager zijn. In Figuur 3 wordt duidelijk dat bij een stabilisatie op 550 ppm CO<sub>2</sub>-eq. er een groot risico (minimaal 66%) bestaat dat de 2°C-grens wordt overschreden. Pas bij een concentratieniveau van 450 ppm of minder bestaat een gerede kans (meer dan 50%) op het halen van de 2°C-doelstelling. Overigens is het mogelijk door slim gekozen emissieprofielen, die emissies verder reduceren nadat het concentratieniveau al is bereikt, de kansen iets te verbeteren, maar de algemene conclusies veranderen hierdoor niet.

- *Pas bij het stabiliseren van de concentraties van broeikasgassen op lage concentraties niveaus is er een goede kans op het halen van de 2°C-doelstelling. Stabilisatie op het niveau van 450 ppm CO<sub>2</sub>-eq.<sup>4</sup> of minder leidt tot kans boven de 50%.*

---

<sup>4</sup> Zie ook tekstbox 'CO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>-equivalenten'.



*Figuur 3. Samenvatting van schattingen in de wetenschappelijke literatuur van de kans op overschrijding van de Europese klimaatdoelstelling bij verschillende gestabiliseerde concentratieniveaus van broeikasgassen in de atmosfeer.*

Dit is een aanzienlijk lager niveau dan enkele jaren geleden nog nodig werd geacht voor het halen van de 2°C doelstelling. Het EU Raadsbesluit in 1996 ging er nog van uit dat voor de 2°C doelstelling de CO<sub>2</sub>-eq. concentratie zou moeten worden gestabiliseerd onder een niveau van 650 ppm CO<sub>2</sub>-eq. (of 550 ppm CO<sub>2</sub> alleen). Het verschil wordt veroorzaakt door nieuwe inzichten en een betere interpretatie van onzekerheden.

### CO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>-equivalenten.

Kool dioxide (CO<sub>2</sub>) is een belangrijk afvalproduct van verbranding en tevens het belangrijkste broeikasgas in de atmosfeer. Maar het is niet het enige gas dat zorgt voor opwarming van de aarde. Volgens de huidige inzichten dragen andere broeikasgassen voor circa een kwart bij aan de huidige emissies.

Die andere broeikasgassen zijn bijvoorbeeld methaan (CH<sub>4</sub>), lachgas (N<sub>2</sub>O) en fluorhoudende gassen als HFK's, PFK's en SF<sub>6</sub>. Sommige van die gassen komen slechts in lage concentraties in de atmosfeer voor, maar hun broeikasversterkende werking is soms duizenden malen zo groot als bij CO<sub>2</sub>.

Om alle gassen samen onder een noemer te brengen rekent de klimaatwetenschap niet in termen van alleen CO<sub>2</sub>, maar in 'CO<sub>2</sub>-equivalenten' (CO<sub>2</sub>-eq.). Daarbij wordt de werking van andere broeikasgassen omgerekend naar het equivalent van de werking van CO<sub>2</sub>.

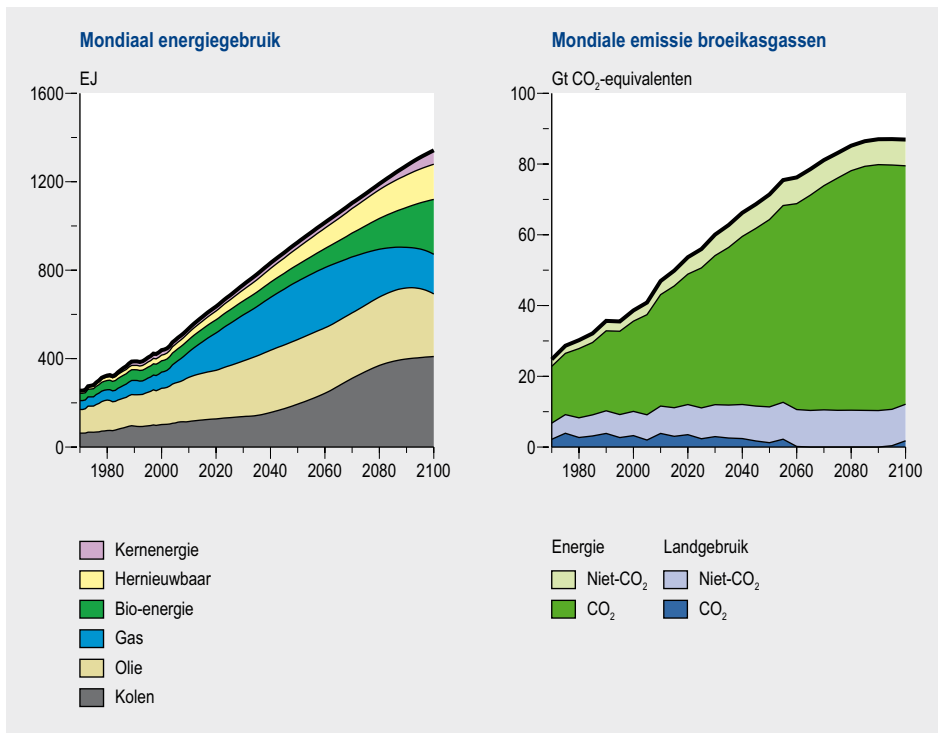
Dit rapport presenteert alles in CO<sub>2</sub>-equivalenten – tenzij uitdrukkelijk anders vermeld. Emissies worden uitgedrukt in tonnen CO<sub>2</sub>-eq (tCO<sub>2</sub>-eq) en concentraties in parts per million CO<sub>2</sub>-eq (ppm, ofwel het aantal moleculen CO<sub>2</sub> op een miljoen moleculen lucht). Hoe CO<sub>2</sub>-concentraties corresponderen met CO<sub>2</sub>-eq concentraties staat in *Tabel 1* (p. 23).

## Wat gebeurt er zonder klimaatbeleid?

De ontwikkelingen in de emissies in de komende eeuw zijn allerminst zeker. Hoe ontwikkelt de wereldbevolking zich? Hoe sterk groeit de wereldeconomie? Wat gebeurt er met energievoorraden, prijzen en energietechnologie? Hoe ontwikkelen consumptiepatronen zich? Hoe ver schrijdt de ontbossing voort? Sterke economische groei, hoge bevolkingsgroei en een nadruk op materiële groei zijn factoren die tot hogere emissies kunnen leiden. Sterke technologische ontwikkeling kan anderzijds tot lagere emissies leiden.

Wetenschappelijke studies proberen deze onzekerheden in kaart te brengen door het ontwikkelen van verschillende referentie- of basisscenario's ('baselines'). In de analyses in deze brochure is uitgegaan van een zogenaamd middenscenario ontwikkeld door het MNP. Dit scenario is geconstrueerd op basis van inschattingen van trends, zoals ook weergegeven door het referentiescenario van het Internationale Energie Agentschap (IEA) en het zogenaamde B2-scenario van het IPCC.

Volgens het basisscenario zal de wereldbevolking in de komende eeuw doorgroeien tot 9 tot 10 miljard in het midden van deze eeuw en daarna licht afnemen. Gecombineerd met een wereldwijde economische groei van ongeveer 2% per jaar is de verwachting



Figuur 4. De basisontwikkelingen voor de mondiale energievoorziening en emissies van broeikasgassen.

dat de mondiale energievraag sterk toeneemt: een verdubbeling in 2050, het driedubbele van het huidige gebruik in 2100 (zie Figuur 4). Deze groei vindt vooral plaats in de huidige ontwikkelingslanden, die daarmee hun grote achterstand in energiegebruik per hoofd van de bevolking voor een deel inhalen.

Zonder klimaatbeleid is de verwachting dat vooral fossiele brandstoffen in deze energievraag zullen voorzien, waardoor de CO<sub>2</sub>-emissies navenant stijgen. De totale broeikasgasemissies nemen in deze baseline toe van circa 30 miljard ton (=Gt) CO<sub>2</sub>-eq. in 2000 tot 50 miljard ton in 2050 en 70 miljard ton in 2100. De projecties van alternatieve basisscenario's liggen soms hoger, soms lager (tussen 40 en 90 miljard ton). Terwijl historisch de emissies grotendeels afkomstig zijn uit de rijke landen (circa 80%), is net als voor energiegebruik de groei van de emissies het sterkst in minder ontwikkelde landen: hun aandeel groeit van ongeveer 50% nu tot 65% in 2100. Per hoofd van de bevolking blijven emissies uit de huidige OESO-landen wel hoger dan die in ontwikkelingslanden.

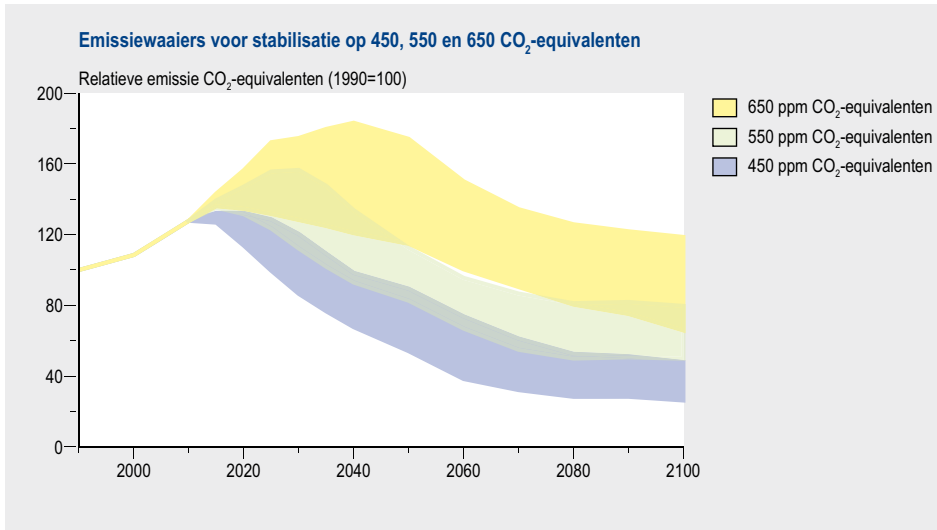
De broeikasgasconcentratie in dit baselinescenario is in 2100 ten opzichte van het huidige niveau (circa 425 ppm CO<sub>2</sub>-eq.) meer dan verdubbeld tot boven de 900 ppm CO<sub>2</sub>-eq.) en groeit daarna nog door. De temperatuurstijging komt bij een gemiddelde inschatting van onzekerheden in 2100 al ver uit boven 2°C.

## Waaiers van reductiepaden

Zoals hierboven beschreven, komen lage concentratieniveaus niet tot stand in een wereld zonder klimaatbeleid. De vraag is dan ook welke emissiereducties wél tot de gewenste lage concentraties kunnen leiden. Dat gaat gepaard met een zekere mate van onzekerheid. Die onzekerheid in de uitkomsten heeft verschillende oorzaken:

- De reducties, gemeten in CO<sub>2</sub>-equivalenten, kunnen met verschillende combinaties van broeikasgassen worden gehaald.
- De basisontwikkelingen zijn van invloed op de snelheid waarmee de groei van de emissies kan worden omgebogen en op de omvang van de benodigde reducties.
- Vroeg ingezet klimaatbeleid leidt tot andere emissiepaden dan laat ingezet beleid. Uitstel van de reductie van emissies kan er zelfs toe leiden dat sommige concentratieniveaus niet meer gehaald kunnen worden, zelfs niet met een hoog reductietempo.
- Over de toekomstige technologische ontwikkeling, inclusief kosten van nieuwe technieken, lopen de visies uiteen.

Een verkenning van de mogelijke uitstootreductie voor stabilisatie van concentraties broeikasgas in de atmosfeer levert niet één emissiepad op, maar 'waaiers' van samenhangende sets van emissiepaden (zie Figuur 5). Deze waaiers geven grafisch weer binnen welke bandbreedte de uitstoot deze eeuw moet blijven om nog te komen tot verschillende stabilisatieniveaus van broeikasgassen.



*Figuur 5. Vanwege allerlei onzekerheden in aannames over de basisontwikkelingen in de komende eeuw en door mogelijke verschillen in timing van klimaatbeleid ontstaan 'waaiers' van emissiepaden.*

*De bovenkant van de waaier wordt vooral bepaald doordat bij verder uitstel van maatregelen het beoogde stabiele niveau van concentraties in de atmosfeer niet langer haalbaar is. De onderkant wordt vooral begrensd door het beschikbare potentieel aan maatregelen, dat niet oneindig groot is en niet oneindig snel kan worden gerealiseerd. Daardoor zijn jaarlijkse mondiale emissiereducties van meer dan 2 tot 3 % per jaar over een langere periode niet haalbaar, met welk ambitieus klimaatbeleid dan ook (zie ook tekstbox 'Intermezzo: Modellen').*

## Meer reducties, en sneller

De actuele wetenschappelijke inzichten hebben belangrijke consequenties voor het mondiale klimaatbeleid. De nieuw samengestelde 'emissiewaaiers' leiden tot het inzicht dat haast is geboden. Als de wereld er niet in slaagt om de groei in de emissies vóór 2025 om te buigen in een scherpe daling, dan kunnen lage concentratieniveaus niet meer (tijdig) worden bereikt. Daarmee wordt een temperatuurstijging van meer dan 2°C zeer waarschijnlijk (zie Tabel 1).

*Tabel 1. Samenvatting reductiepaden*

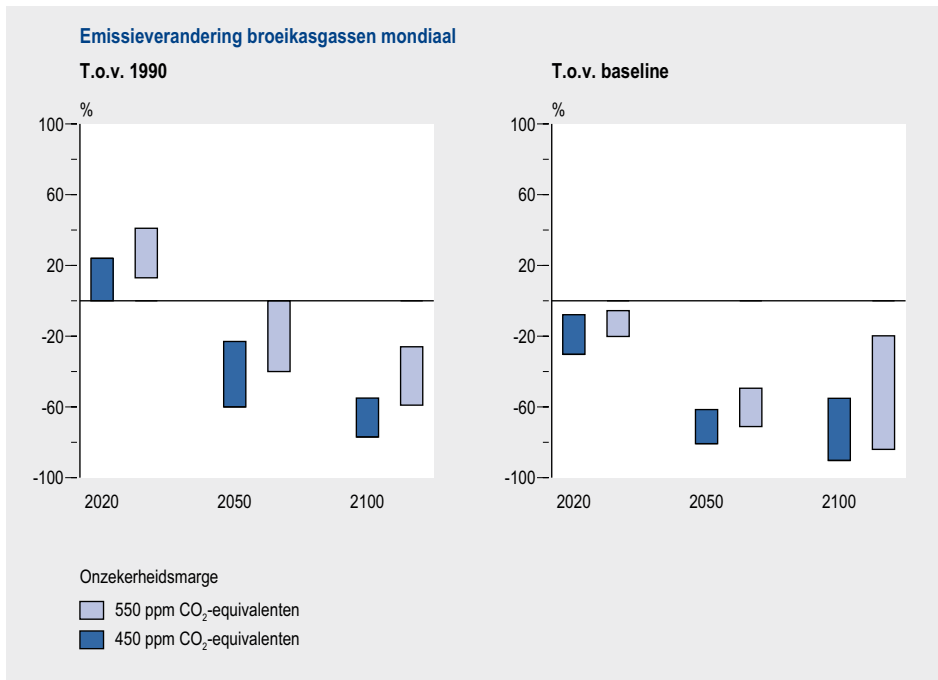
Concentratie CO <sub>2</sub> - equivalent	Corresponderende concentratie CO <sub>2</sub> ppm	Emissiereducties (ten opzichte van het gekozen basispad)		Evenwichtstemperatuur	
		2000-2100 reductie: Gt CO <sub>2</sub> -eq	Emissies 2020 (% boven 1990)	Range °C	Beste schatting °C
650	540 - 575	2600	-	1.7 - 5.0	3.2
550	475 - 500	3600	19-41	1.4 - 4.1	2.6
450	400 - 420	4300	7-24	1.0 - 3.0	1.8

- *Als de wereld er niet in slaagt om de groei in de emissies vóór 2025 om te buigen in een daling, neemt de kans op het halen van de 2°C doelstelling sterk af*

De noodzaak tot een tijdige ombuiging is natuurlijk het sterkst voor het 450 ppm CO<sub>2</sub>-eq. profiel. Hier geldt dat wanneer de ombuiging niet plaats vindt in de komende 10-20 jaar, dit profiel vrijwel onmogelijk wordt. Daarbij moet worden aangetekend dat het huidige profiel reeds tijdelijk over de genoemde concentratie heen gaat (tot ongeveer 500 ppm) omdat huidige concentratieniveau's al erg dicht tegen 450 ppm CO<sub>2</sub>-eq. aanzitten. Dit soort piekprofielen kan toch nog tot sterke reductie van de temperatuurstijging leiden wanneer de periode van 'overschrijding' kort is. Piekprofielen kunnen ook bij andere concentratieniveau's nog tot het gewenste resultaat leiden, maar worden hier verder niet besproken.

### In 2050: 25 tot 60% minder uitstoot nodig

De Kyoto-afspraken lopen tot 2012 en komen neer op zo'n 3% emissiereductie in de rijkere landen (excl. de VS en Australië). Deze afspraken zijn daarmee nog slechts een eerste aanzet tot de geschetste reducties voor klimaatstabilisatie. Afhankelijk van de gewenste zekerheid over het halen van de 2°C doelstelling, zijn in 2050 reducties noodzakelijk in de orde van 0%-40% voor 550 ppm en 25-60% voor 450 ppm wereldwijd (zie Figuur 6).



*Figuur 6. Benodigde wereldwijde reducties van broeikasgassen om te komen tot stabilisatie: ten opzichte van de emissies in 1990 en ten opzichte van de baseline.*



Deze reducties zijn afgemeten aan de uitstoot *in 1990*. In de praktijk is de trend sinds 1990 nog steeds een groei van de wereldwijde emissies. Vergeleken met de baseline zijn de reducties groter; dan bedraagt de ombuiging om tot stabilisatie te komen op 450 ppm reeds zo'n 10-30% in 2020 en 60-80% in 2050, afhankelijk van de veronderstelde groei in de baseline.

## Intermezzo

### Modellen

Voor de berekeningen in hoofdstuk 2, 3 en 4 van dit rapport heeft het MNP verschillende modellen gebruikt voor het mondiale energie- en landgebruik, voor klimaatverandering en voor de kosten van klimaatbeleid.

Alle berekeningen bestaan in essentie uit twee hoofdelementen:

- Eerst worden 'waaiers' van emissiereducties vastgesteld die passen bij de concentratiedoelstellingen.
- Vervolgens wordt een pakket maatregelen gezocht dat deze waaiers mondiaal gezien het 'goedkoopst' invult.

Beide elementen lopen in feite parallel. De reductiewaaiers houden reeds rekening met de beschikbaarheid van reductieopties. Voor beide elementen is een aantal essentiële aannames gemaakt. Bij de reductiewaaiers geldt als voorwaarde dat de concentratiedoelstelling slechts een beperkte periode wordt overschreden. Bovendien kan de snelheid van reductie vanwege technische beperking nooit hoger zijn dan 2-3% per jaar. Bij het invullen van het pakket maatregelen wordt geen beperking opgelegd aan het inzetten van opties in verschillende sectoren, broeikasgassen en regio's. Dit betekent in principe een rooskleurige uitkomst wat betreft de kosten. Beperking in de inzet van maatregelen per sector kan tot aanzienlijk hogere kosten leiden, bijvoorbeeld met 30% als niet-CO<sub>2</sub> reductie opties worden uitgesloten.

Bij alle berekeningen wordt de wereld verdeeld in 17 regio's. Voor de berekening van regionale reducties en kosten (hoofdstuk 4) worden de mondiale reductiedoelstellingen eerst volgens een bepaalde lastenverdeling verdeeld over deze regio's. Deze doelstellingen kunnen vervolgens worden gerealiseerd met maatregelen zowel binnen de regio als door reducties elders. Via systemen voor emissiehandel worden die reducties tussen regio's 'verhandeld'.

Al met al leveren de gebruikte modellen inzicht op in de kans op het halen van temperatuurdoelstellingen, in de bijdrage van verschillende maatregelen en in de (regionale) kosten onder de aanname dat maatregelen in alle regio's kunnen worden genomen. De kosten betreffen telkens de directe kosten voor klimaatbeleid. Er zijn voor deze set van analyses geen nieuwe macro-economische berekeningen gemaakt. Voor eventuele terugkoppelingseffecten op bijvoorbeeld het verplaatsen van industrietakken of het verlies aan fossiele brandstofexporten wordt naar bestaande analyses verwezen. Ook zijn de neven-baten (co-benefits) zoals lagere kosten voor luchtverontreinigingbeleid niet in rekening gebracht.



### 3. MAATREGELEN EN KOSTEN VOOR EMISSIEREDUCTIE

Een belangrijke vraag, zeker voor beleidsmakers, is: zijn er voldoende mogelijkheden de in het vorige hoofdstuk genoemde reducties te bereiken en welke maatregelen dragen hieraan bij? Aan de hand van gegevens over maatregelen in alle sectoren en enkele modellen kunnen strategieën worden geconstrueerd voor vergaande uitstootreductie tegen zo laag mogelijke kosten.

Het vorige hoofdstuk liet zien dat de 2°C doelstelling omvangrijke reducties vereist in de emissies van broeikasgassen. De vraag of er voldoende opties beschikbaar zijn om dergelijke reducties te bereiken komt in dit hoofdstuk aan de orde. Daarnaast leveren modelberekeningen ook portfolio's van maatregelen op waarmee de vereiste emissie-niveaus kunnen worden gerealiseerd. Naast de totale reductiekosten daarvan worden ook de implicaties voor verschillende sectoren – zoals de energiesector – in kaart gebracht. De wijze waarop een dergelijk beleid wordt ingevuld en de vereiste maatschappelijke inspanning zijn in deze analyses niet apart bestudeerd.

Belangrijk zijn de zekerheden en onzekerheden in deze studies, omdat deze essentieel zijn voor het inschatten van het realiteitsgehalte van de daadwerkelijk toe te passen mogelijkheden en afweging in termen van risico's en kosten.

#### Individuele opties

De wetenschappelijke literatuur geeft verschillende opties weer die gebruikt kunnen worden om forse emissiereducties te bereiken. Tabel 2 geeft een overzicht van typische waarden voor het technisch potentieel zoals die in literatuur worden genoemd voor diverse opties (steeds wordt de minimale waarde aangegeven). Ter vergelijking, de emissies in het baseline scenario bedragen bijna 7000 Gton CO<sub>2</sub>-eq. (vallend binnen de range voor de IPCC scenario's van 5000-8000 Gton CO<sub>2</sub>-eq.). Zoals eerder aangegeven in Tabel 1 zijn de noodzakelijke emissie reducties voor stabilisatie op 650, 550 en 450 ppm, respectievelijk 2600, 3600 en 4300 Gton vanaf het baseline scenario.

*Tabel 2. Literatuurschattingen van het cumulatieve technische potentieel om broeikasgasemissies in de periode 2000-2100 te verminderen (in miljarden ton CO<sub>2</sub>-equivalenten).*

Optie	Cumulatief technisch potentieel in de periode 2000-2100 (Gton CO <sub>2</sub> -eq.)
Energiebesparing	>1000-1500
Opslag van CO <sub>2</sub>	>2000
Kernenergie	>300
Hernieuwbaar	>3000
Koolstofplantages	>350
Niet-CO <sub>2</sub> broeikasgassen	>500

Hieronder wordt bij de verschillende opties aangegeven waarop de inschatting is gebaseerd. Ook het rapport van de WRR (Klimaatstrategie tussen ambitie en realisme) geeft een overzicht van reductieopties en hun bijdrage. Deze cijfers zijn van een zelfde orde van grootte, doch iets lager: het betreffen dan ook schattingen voor een eerder moment (2050) die ook sterker de toepassingsmogelijkheden meewegen. De verdeling over de verschillende opties is in grote lijnen vergelijkbaar.

### ***Energiebesparing***

Energiebesparing is een belangrijk onderdeel van alle strategieën voor klimaatbeleid. Studies geven aan dat ten opzichte van de huidige situatie met energiebesparing in de komende eeuw 50-70% emissiereductie kan worden bereikt, al neemt het effect af na de eerste decennia van deze eeuw. Ook in de 'baseline' wordt apparatuur reeds zuiniger door technologische verbeteringen, dus is het werkelijke aanvullende potentieel kleiner. Het IPCC schat dat energiebesparing ten opzichte van de baseline in de komende dertig jaar 25% emissiereductie kan opleveren. Een behoudende inschatting voor de hele eeuw op basis hiervan leidt tot een potentieel van zo'n 1000-1500 miljard ton CO<sub>2</sub>-eq.

De kosten van energiebesparing variëren sterk, van baten in de orde van enkele tientallen Euro's per ton vermeden CO<sub>2</sub> tot kosten van zo'n 50 €/ton (ten opzichte van andere opties relatief laag). Daarbij geldt dat energiebesparing ook een aantrekkelijke optie is omdat er veel nevenvoordelen zijn. Efficiënt gebruik van energie vermindert de afhankelijkheid van energie-import. Door kostenbesparing wordt de afhankelijkheid van prijschommelingen kleiner en kunnen bedrijven beter concurreren. Niettemin is het substantieel vergroten van het energiebesparingstempo lastig omdat het om zeer uiteenlopende sectoren en toepassingen gaat en veel partijen hun medewerking moeten verlenen. Dit geldt met name voor opties in de huishoudens en de transport sector.

### ***Opslag van CO<sub>2</sub>***

Naast energiebesparing zou het afvangen en opslaan van CO<sub>2</sub> dat vrijkomt in de energiesector en elders in de industrie wel eens de belangrijkste technologie kunnen worden in de strijd tegen klimaatverandering. De kosten van deze nog jonge technologie (CCS: Carbon Capture and Storage) worden geschat in de orde van 20 tot 80 €/ton CO<sub>2</sub>-eq., met mogelijkheden voor verdere kostendaling. Het opslagpotentieel wordt op zijn minst op zo'n 2000 Gton CO<sub>2</sub>-eq. ingeschat.

- ***Naast energiebesparing kan de opslag van CO<sub>2</sub> wel eens een zeer belangrijke technologie worden bij de reductie van broeikasemissies***

De optie is vooral aantrekkelijk bij zogenaamde puntbronnen met grote emissies, zoals elektriciteitscentrales en enkele industriële sectoren. Een belangrijk voordeel van deze technologie is dat zij gemakkelijk inpasbaar lijkt in de huidige energie-infrastructuur. Bovendien kunnen met name kolenrijke landen deze technologie gebruiken om zowel energievoorzieningszekerheid- als klimaatdoelen na te streven. Wel moet de toepasbaarheid op grote schaal bij elektriciteitscentrales nog worden bewezen, terwijl ook

de kosten en de risico's nog niet volledig bekend zijn en afhangen van lokale omstandigheden. In de wereld zijn momenteel enkele grote projecten in de gas- en oliewinning operationeel en er lopen verschillende demonstratie- en proefprojecten. De CCS-technologie concurreert voor emissiereducties in de elektriciteitssector met nucleaire energie en hernieuwbare bronnen. De kostenschattingen van deze drie opties voor de toekomst overlappen. In afgelopen 10 jaar is de kennis over de toepassing van CO<sub>2</sub>-opslag internationaal breed verspreid en hebben demonstratieprojecten de mogelijke toepassing aannemelijk gemaakt.

### ***Kernenergie***

Een forse toename van het gebruik van kernenergie wereldwijd is onzeker, door zowel de beperkte maatschappelijke acceptatie in veel landen, als de drempels van hoge investeringskosten en een lange bouwtijd. Als drastische emissiereductie noodzakelijk is, kan echter uitbreiding van het gebruik van kernenergie aantrekkelijk zijn. Dat heeft onder andere te maken met de minder gemakkelijke inpassing van grote hoeveelheden stromingsbronnen zoals wind- en zonne-energie in het elektriciteitsnet. Aan kernenergie kleven echter wel de nadelen van ongevals- en proliferatierisico's en lange-termijn opslag van het radioactieve afval. Kostenschattingen voor de directe kosten van kernenergie (exclusief de volledige opslagkosten en genoemde risico's) variëren in de komende decennia van 15 tot 100 €/ton CO<sub>2</sub> emissiereductie. Het potentieel tot 2100 hangt naast maatschappelijke factoren ook af van technische factoren. Bij de huidige technologie en bewezen voorraden is het potentieel beperkt tot 300-400 miljard ton CO<sub>2</sub>. Maar nieuwe technieken en voorraden kunnen dit potentieel sterk vergroten. Kernenergie kan de afhankelijkheid van olie- en gasimporten verminderen, maar betekent ook weer afhankelijkheid van een beperkt aantal producenten.

### ***Zon, wind en overige stromingsbronnen***

In de literatuur wordt de mogelijke rol van waterkracht, zonne- en windenergie met zeer uiteenlopende uitkomsten belicht. De schattingen lopen uiteen, mede door het al of niet meenemen van kosten, van een beperkte rol tot vele malen het huidige energieverbruik.

Duidelijk is wel dat de bijdrage van elektriciteit uit zon en wind in de komende tientallen jaren aanzienlijk zal groeien. Waterkracht heeft nu het grootste aandeel, maar het potentieel voor verdere groei is relatief gering. Een belangrijke uitdaging bij verdere groei zijn kostendaling (vooral bij zonne-energie), ruimtelijke effecten en hinder (wind-energie) en de inpassing van deze onregelmatige bronnen in het elektriciteitsnet. Verdere technologische doorbraken, betere inpassing in het elektriciteitsnet en publieke acceptatie van hernieuwbare bronnen – in concurrentie met bijvoorbeeld kernenergie en CO<sub>2</sub>-opslag – zijn essentieel, maar het potentieel is groot.

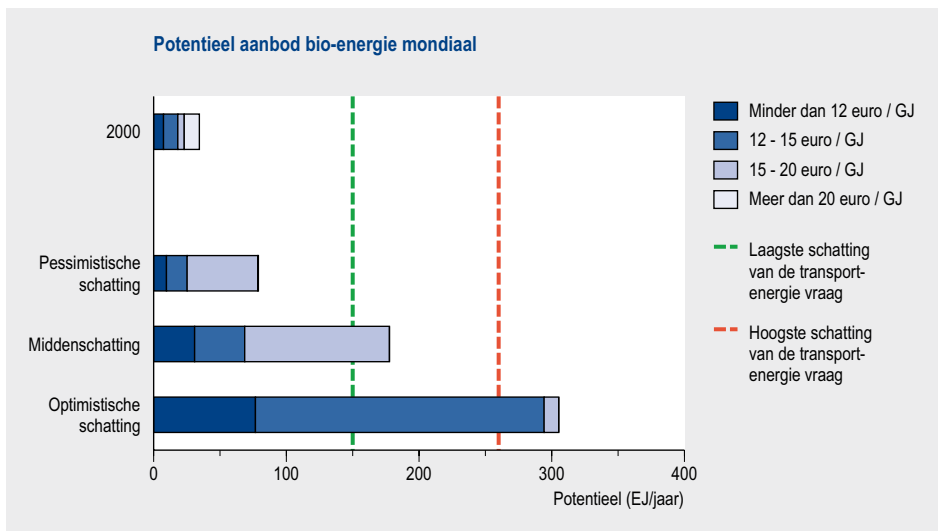
In het algemeen behoren de hernieuwbare bronnen nu nog tot de relatief dure opties (vanaf 50 € ton CO<sub>2</sub>-eq.), maar er worden substantiële kostendalingen voorzien. Windenergie (zowel op land als op zee) is economisch het aantrekkelijkst maar heeft een beperkter potentieel dan zonne-energie.

Ook hernieuwbare bronnen kunnen de afhankelijkheid van (fossiele) energie-import verminderen. Ze kunnen ook een belangrijke rol spelen in het realiseren van elektriciteitsvoorziening in plattelandsgebieden en daarmee werkgelegenheid creëren.

### Bio-energie

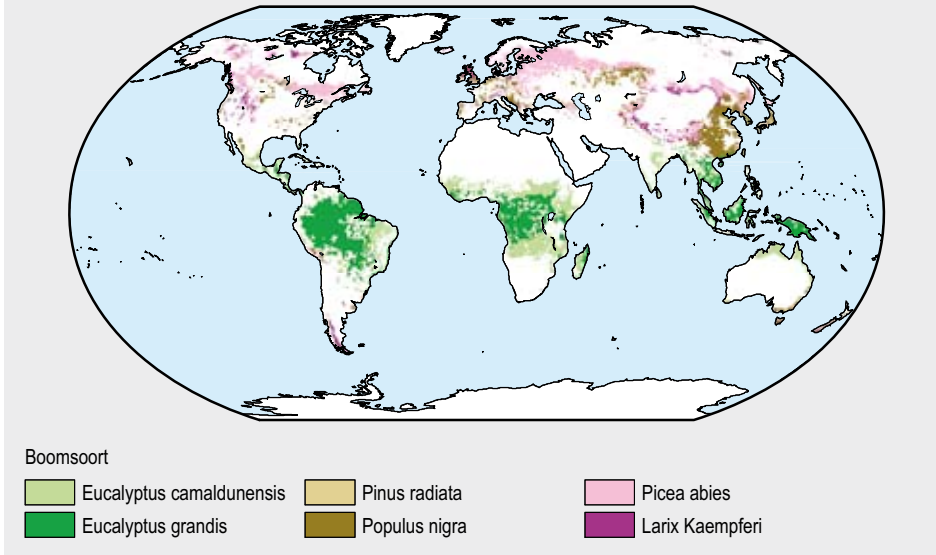
Van de hernieuwbare bronnen is bio-energie potentieel (energie uit gewassen of ander biologisch restmateriaal) een van de meest relevante. Zo beschrijven potentieelstudies dat de productie van vloeibare brandstoffen uit biomassa de vraag in de mondiale transportsector geheel kunnen dekken (zie Figuur 7). Bio-energie kan ook worden gebruikt voor de productie van elektriciteit en warmte.

Een deel van de bio-energie kan uit afvalstromen komen. Bij grootschalige toepassing zal bio-energie echter vooral komen uit specifieke teelt ten behoeve van energieproductie. De uiteindelijke bijdrage van biomassa hangt daarmee sterk af van de verwachtingen voor toekomstig landgebruik. Het grootschalig verbouwen van biomassa voor energietoepassingen kan namelijk een stevige wissel trekken op toekomstig landgebruik, en concurreert dus met de bestemming van land voor voedselproductie. Ook andere aspecten van duurzaamheid zoals behoud van biodiversiteit en schone productie-methoden spelen hierbij een rol. Het is de verwachting dat bio-energie in sterke mate kan profiteren van vrijkomende landbouwgrond, eerst in ontwikkelde gebieden, en later in de eeuw ook in ontwikkelingslanden. Wanneer snel een verschuiving optreedt naar hout en grasachtige gewassen (op cellulosegebaseerde routes) is per eenheid energie een sterkere CO<sub>2</sub>-reductie mogelijk en ook minder landoppervlak. Hiervoor zijn wel technische doorbraken noodzakelijk.



Figuur 7. Wereldwijde potentieel van aanbod van bio-energie (schattingen zijn gebaseerd op uitwerking van een viertal IPCC scenario's).

## Mogelijke locaties voor koolstofplantages



*Figuur 8. Theoretische locaties van koolstofplantages. Getoond zijn locaties waar plantages over hun levensduur meer CO<sub>2</sub> opnemen dan de natuurlijke vegetatie*

### ***Koolstofplantages en ander landgebruik***

Het terugdringen van ontbossing kan ook bijdragen aan het beperken van de concentraties broeikasgassen in de atmosfeer. In deze berekeningen wordt al uitgegaan van minder ontbossing, ook zonder extra klimaatbeleid. Nog een stap verder is herbebossing: de aanplant van bomen of andere vegetatie die relatief veel koolstof uit de atmosfeer opnemen. Omdat dergelijke plantages netto meer koolstof opnemen dan bijvoorbeeld landbouwgewassen of natuurlijke vegetatie, worden dergelijke toepassingen ook wel 'koolstofplantages' genoemd (zie Figuur 8). Het potentieel van koolstofplantages is in verhouding met de huidige jaarlijkse uitstoot van broeikasgassen beperkt, in de orde van maximaal 4-7 miljard ton CO<sub>2</sub>-eq. per jaar, resulterend in een behoudende schatting van 350 miljard ton in de komende eeuw. Voor het aanleggen van deze plantages komen in de eerste decennia vooral Zuid-Afrika en de voormalige Sovjet-Unie in aanmerking, later deze eeuw gaan ook Zuid-Amerika en China bijdragen. De kosten worden als relatief laag geschat: 10-50 euro/ton CO<sub>2</sub>-eq.

### ***Brandstofsubstitutie***

Emissies kunnen ook worden teruggedrongen door andere, koolstofarmere fossiele brandstoffen in elektriciteitscentrales te gebruiken. De CO<sub>2</sub>-emissies bij het verstoken van aardgas zijn bijvoorbeeld 40% lager dan bij het stoken van kolen. Bovendien is het omzettingsrendement in gascentrales aanzienlijk hoger dan dat van kolencentrales, zeker als aardgas gebruikt wordt in warmtekrachteenheden.

De kosten van deze optie hangen sterk af van de ontwikkelingen van de onderlinge verhouding tussen de olie-, gas- en kolenprijs. Bij de verwachte prijsontwikkeling zijn de kosten van brandstofs substitutie vrij beperkt. Wel heeft brandstofs substitutie consequenties voor de voorzieningszekerheid, omdat in Europa een grotere afhankelijkheid van aardgasimporten ontstaat. Het potentieel is relatief beperkt: bij ambitieuze doelstellingen wordt deze optie verdrongen door opties die de emissies veel verder kunnen terugdringen.

### ***Waterstof***

Waterstof is een energiedrager die bij verbranding geen CO<sub>2</sub> oplevert. Of waterstof ook daadwerkelijk bijdraagt aan de reductie van broeikasgasemissies, hangt af van de methode van productie. Waterstof kan worden geproduceerd met hernieuwbare bronnen of kernenergie, dus zonder uitstoot van broeikasgassen, of uit fossiele brandstoffen. In dat laatste geval is waterstof slechts klimaatneutraal als de vrijkomende koolstof niet in de atmosfeer terecht komt, maar wordt opgeslagen.

Op basis van kosten alleen is de verwachting dat waterstof voor het midden van de 21<sup>ste</sup> eeuw nog geen belangrijke rol zal spelen in de energievoorziening. Dit kan echter wel het geval zijn in de tweede helft van deze eeuw, waarbij de transportsector de sleutel vormt voor grootschalige toepassing. Daarnaast kunnen eventuele andere redenen (voorzieningszekerheid/luchtverontreiniging) het gebruik van waterstof al op kortere termijn bevorderen. Steenkolen en aardgas (ook met CO<sub>2</sub>-afvang) zijn economisch het aantrekkelijkst als grondstof en zijn op dit moment ook gangbaar in commerciële waterstofproductie in de petrochemische industrie. Productie met hernieuwbare bronnen is ook mogelijk, maar tegen veel hogere kosten.

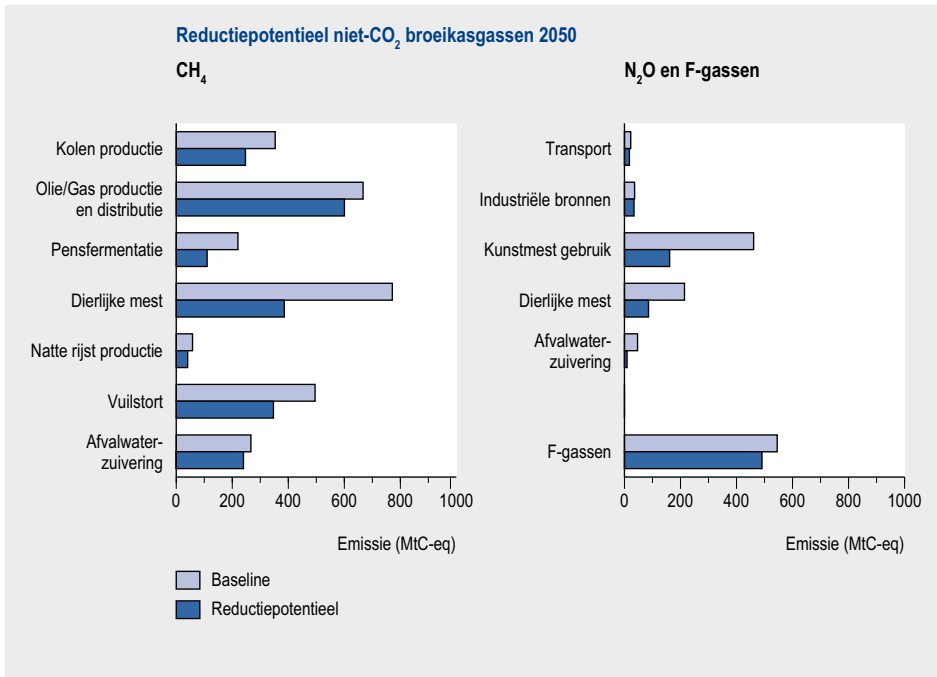
### ***Niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen***

- ***Emissie-reductie van niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen is aantrekkelijk om de kosten laag te houden***

De emissiereductie van niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen is vooral in de eerstkomende decennia een aantrekkelijke optie gezien de beperkte kosten ten opzichte van sommige CO<sub>2</sub> reductie opties. Hierbij kan worden gedacht aan emissiereducties van methaangas uit steenkoolmijnen en gaswinning, vuilstort, veeteelt en rijstvelden (zie Figuur 9). Ook de uitstoot van lachgas (N<sub>2</sub>O) kan verder worden gereduceerd.

Naast industriële bronnen zijn de emissies van niet-CO<sub>2</sub> broeikasgassen vooral afkomstig uit de landbouwsector. In totaal bedragen naar verwachting de emissies van niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen zo'n 1000-1500 miljard ton CO<sub>2</sub>-eq. gedurende de eeuw, waarvan in ieder geval zo'n 500 miljard ton kan worden voorkomen. De kosten van deze optie worden merendeel als relatief laag ingeschat (0-50 €/ton). Door gebruik van deze optie komen de kosten in 2050 30% tot 40% lager uit dan zonder deze maatregelen.





Figuur 9. Wereldwijde reductiepotentieel van niet-CO<sub>2</sub> broeikasgassen in 2050.

## Pakketten van maatregelen

Hoofdstuk 2 liet zien dat reeds in de komende decennia wereldwijd een ombuiging van de groei in emissies naar een daling nodig is om voor het bereiken van lage broeikasgasconcentraties. Uit de vorige paragraaf blijkt dat in principe voldoende potentieel aanwezig is om deze reducties te realiseren. Maar is het mogelijk om uit dit potentieel ook concrete, samenhangende combinaties van technologieën te maken die leiden tot de noodzakelijke emissiereductie? En wat zijn daarvan de kosten en andere voor- en nadelen? Hieronder wordt hierop ingegaan (zonder in te gaan op het beleid dat nodig is om deze maatregelen tot stand te brengen).

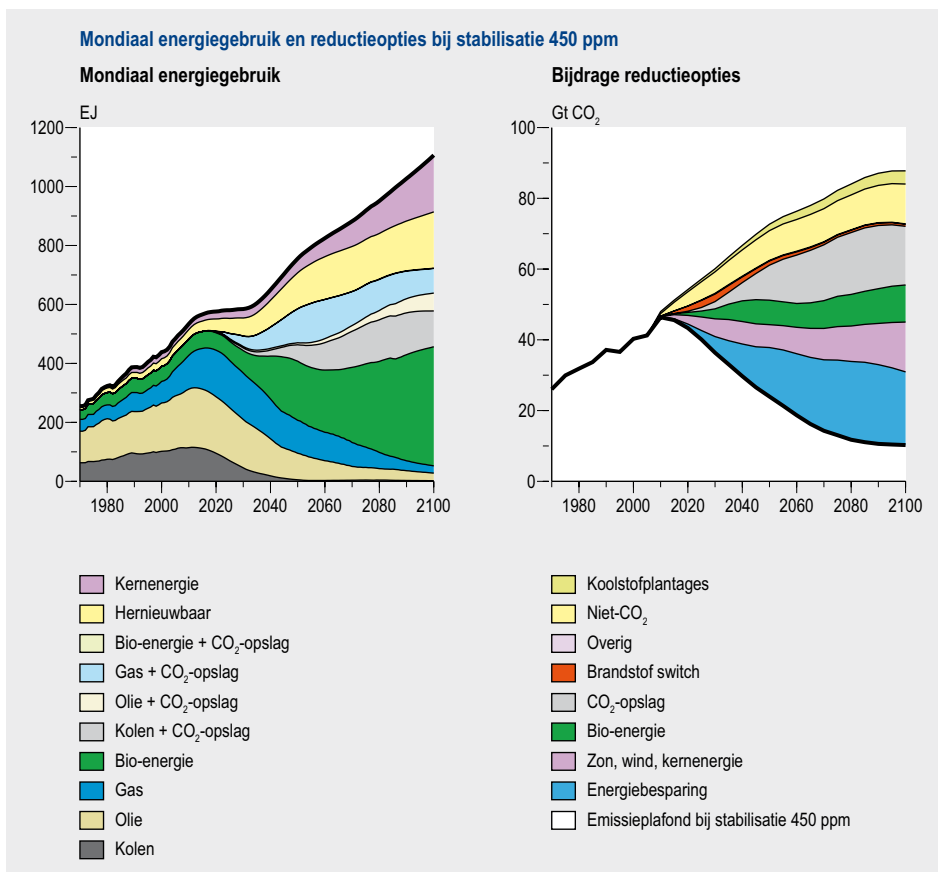
- ***Het potentieel van nu bekende technologieën is voldoende groot om de noodzakelijke reducties voor lage stabilisatieniveaus tot stand te brengen***

Tot nu toe waren veel wetenschappelijke analyses gericht op de mogelijkheden om stabilisatie op 550 ppm te realiseren. Uit de modelstudies en gegevens voor dit hoofdstuk volgt de conclusie dat bij gemiddelde baselines een stabilisatie op 550, 450 ppm en onder sommige omstandigheden zelfs op 400 ppm, mogelijk is op basis van nu bekende maatregelen. Hierbij zijn realistische aannames gedaan over leercurves van technologieën, kostenreducties en implementatie van nieuwe technieken. Nieuwe technologie wordt bij voorbeeld niet eerder ingezet dan wanneer de oude installaties zijn afgeschreven.

In het geval van 450 en 400 ppm is het onvermijdelijk dat de concentraties in de atmosfeer die waarden tijdelijk overtreffen. Mits deze periode van overschrijding kort genoeg blijft, levert dit weinig extra risico's op. In de loop van de 21<sup>ste</sup> eeuw keert de concentratie dan terug naar het gewenste stabiele niveau.

- **Voor drastische emissiereducties is een breed portfolio van maatregelen nodig**

Het zoeken naar kosteneffectieve inzet van reductieopties leidt niet tot één oplossing, maar telkens tot brede portfolio's van maatregelen (zie Figuur 10). Dat komt vooral omdat de potentiële bijdrage van elke individuele optie, om technische of andere redenen, beperkt is. Maar er zijn meer oorzaken. Technologieën zijn soms slechts in sommige regio's of sectoren goed inzetbaar of grondstoffen kunnen uitgeput raken. Een brede portfoliobenadering kan nadelig uitpakken door de versnippering van onderzoek en ontwikkeling of door beperkte schaalvoordelen voor individuele opties. Maar er zijn ook voordelen. Om enigszins bestand te zijn tegen de onzekerheden in het klimaatstelsel en het mogelijk wegvallen van bepaalde opties is het verstandig om risico's te spreiden. Waarschijnlijk weegt dit voordeel goed op tegen de versnippering.



Figuur 10. Ontwikkeling van de brandstofmix en bijdrage van reductieopties in de energievoorziening in de 21<sup>ste</sup> eeuw voor stabilisatie op 450 ppm.

Het uitsluiten van opties kan tot extra kosten leiden. Dat geldt minder voor de elektriciteitssector, waar veel opties bestaan met vergelijkbare kosten die elkaar kunnen vervangen (kernenergie, hernieuwbare bronnen en CO<sub>2</sub>-opslag). Hier is dus een grote mate van keuzevrijheid en kan de uiteindelijke mix afhankelijk zijn van technologische ontwikkelingen die de onderlinge concurrentie van deze opties beïnvloeden (zoals in de opslag van elektriciteit of de daling van kosten) en van maatschappelijke acceptatie. In andere sectoren zijn minder vervangende mogelijkheden.

## Kosten: vroege actie kan lonen

De directe uitgaven voor deze scenario's zijn berekend als deel van het Bruto Nationaal Product in de gehele wereld. De directe uitgaven betreffen de stijging van de jaarlijkse uitgaven aan de energiesector en andere kosten voor klimaatbeleid. Ter vergelijking: de directe uitgaven aan de energiesectoren betreffen wereldwijd zo'n 8% van het BNP en de kosten voor milieubeleid in West-Europa bedragen zo'n 2% van het BNP. De kosten voor de hier berekende klimaat pakketten vertonen een brede variatie en variëren ook over de tijd<sup>5</sup>. Een manier om de kosten uit te drukken is de netto contante waarde, dat wil zeggen de gecumuleerde verdisconteerde kosten gedurende de 21<sup>ste</sup> eeuw. Het bereiken van een concentratieniveau van 650 ppm leidt tot een netto contante waarde van 0,1-0,3% van de netto contante waarde van het mondiale BNP (zie Tabel 3). De maximale kosten bedragen zo'n 0,4-0,7% van het BNP. Voor het bereiken van 550 ppm, is de gemiddelde netto contante waarde zo'n 0,4-0,6% en voor 450 ppm bedraagt deze indicator ongeveer 0,9-1,2% (zie Tabel 3). De maximale kostenniveaus (rond 2030-2050) zijn opnieuw hoger en bedragen 0,9-1,3 en respectievelijk 1,6-2,6% (zie de laatste paragraaf voor een inschatting van onzekerheden).

- *Om de temperatuurstijging onder 2°C te kunnen houden, is een jaarlijkse extra uitgave nodig van zo'n 1-2% van het wereldwijde Bruto Nationaal Product .*

Van betekenis in deze berekeningen is ook de fasering van klimaatbeleid. Een belangrijke vraag hierbij is: Loont vroege actie of is het juist goedkoper om pas later te reageren? Voor de eerste decennia is het antwoord op die vraag duidelijk. Uitstel van maatregelen betekent ook relatief lage kosten. Maar later deze eeuw moet daarvoor de rekening worden betaald. De vergelijking van de totale kosten (tot 2100) tussen vroeg en laat ingezet klimaatbeleid hangt af van onzekerheden en ook van het perspectief, zoals de weging van kosten in de verre toekomst. Toch zijn er, volgens de MNP analyses, goede argumenten voor vroege actie. De voornaamste redenen daarvoor zijn dat technologische ontwikkeling eerder wordt gestimuleerd, dat het systeem voor de energievoorziening eerder het sein krijgt om te veranderen en dat de reductiepercentages

5 macro-economische effecten van deze kosten op economie en welvaart zijn niet meegenomen en kunnen plaatselijk negatief of positief uitpakken. Als bijvoorbeeld een nieuwe industrietak voor koolstofarme technologieën ontstaat heeft de economie ter plaatse daar baat bij. Verder is voor de kostenschattingen uitgegaan van volledige internationale samenwerking.

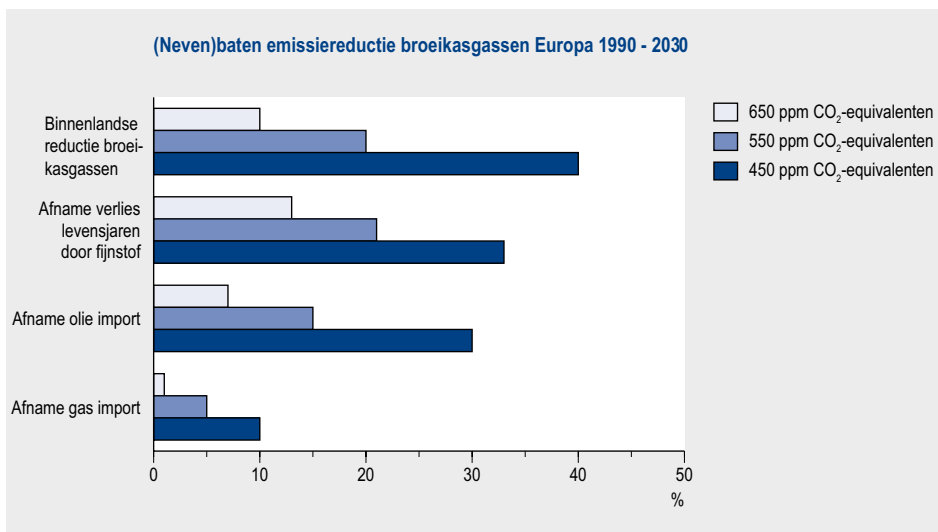
Tabel 3. Vergelijking van klimaatrisico's met kosten van maatregelpakketten voor stabilisatie op 450, 550 and 650 ppm CO<sub>2</sub>-eq. De cumulatieve kosten betreffen de gemiddelden over de eeuw (op basis van een discontovoet van 5%).

Stabilisatie-niveau (ppm CO <sub>2</sub> eq)	Waarschijnlijkheid (%) om binnen 2°C temperatuurstijging te blijven bereik	Cumulatieve kosten (%-BNP)	Maximale kosten in enig jaar (%-BNP)
450	14-67	0,9-1,2	1,6-2,6
550	1-40	0,4-0,6	0,9-1,3
650	1-21	0,1-0,3	0,4-0,7

geen hoge pieken hoeven te vertonen. Bovendien geeft vroege actie meer mogelijkheden om in de toekomst te reageren op nieuwe informatie over klimaatverandering.

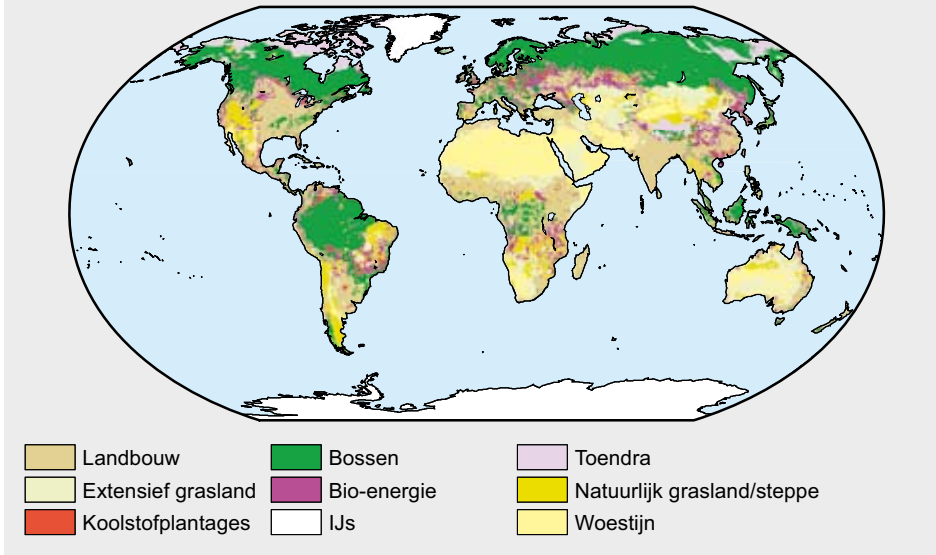
## Bijkomende voordelen en nadelen

Forse reductie van CO<sub>2</sub>-emissies heeft niet alleen positieve gevolgen voor het klimaat, maar kan ook neveneffecten hebben op andere terreinen. Belangrijke relaties zijn er met luchtkwaliteitsbeleid, voorzieningszekerheid beleid en landgebruik (zie ook het volgende hoofdstuk). Over het algemeen geldt dat er sprake is van positieve relaties: tegelijk met CO<sub>2</sub> of overige broeikasgassen lopen voor de meeste opties ook de emissies van fijn stof of verzurende stoffen als zwavel- en stikstofoxiden terug. Voor het totale pakket levert dit dan ook duidelijke voordelen op voor de regionale luchtkwaliteit (zie Figuur 11). Bij een beperkt aantal opties is sprake van een keuze (bijvoorbeeld bepaalde vormen van biobrandstof). Een ander bijkomend voordeel van een groot aantal



Figuur 11. Nevenbaten van klimaatbeleid.

## Landgebruik en koolstofplantages



Figuur 12. Mogelijke implicaties van stabilisatie op 450 ppm voor mondiaal landgebruik in 2100 (koolstofplantages en bio-energie). Het figuur geeft een ruwe schets van de implicaties; details hebben gezien alle onzekerheden geen betekenis.

klimaatmaatregelen is dat zij het gebruik van fossiele energie, en daarmee de afhankelijkheid van importen, reduceren. Dit positieve effect voor de totale portfolio's is eveneens te zien in Figuur 11.

Een mogelijk nadeel van stringent klimaatbeleid is het extra gebruik van land. In Figuur 12 worden de mogelijke consequenties in termen van landgebruik geschetst onder het meest stringente klimaat scenario (450 ppm). Zowel bio-energie als koolstofvastlegging in plantages leiden tot een significant landbeslag. Dit extra landgebruik betekent dan bijvoorbeeld dat er minder ruimte is voor uitbreiding van natuur.

## Noodzakelijke voorwaarden

De beschikbaarheid van de juiste technologieën is één ding; het scheppen van de juiste sociaal-economische en institutionele voorwaarden om deze technologieën daadwerkelijk te kunnen implementeren is een forse beleidsopgave. In alle berekeningen is het uitgangspunt dat de wereld een mechanisme vindt om de beschreven technologische mogelijkheden te benutten daar waar ze het goedkoopst zijn. Dat is een belangrijke en ook ambitieuze aanname. Veel reductiemogelijkheden in zowel ontwikkelde als ontwikkelingslanden worden nu nog niet benut. Vooral de deelname van grote industrielanden zoals de VS of ontwikkelingslanden zoals China is daarvoor vereist. Een

latere deelname leidt tot stijging van de kosten en mogelijk tot het buiten beeld raken van stabilisatie van de concentratie van broeikasgassen.

- *Een mondiaal klimaatbeleid kan slechts succes boeken als alle relevante landen deelnemen*

Realisatie van de reducties begint bij het besef bij regeringen en burgers wereldwijd dat een transitie naar een emissiearme samenleving noodzakelijk is. Deze 'sense of urgency' is de grondslag voor enkele noodzakelijke randvoorwaarden. Zo vereist de voortvarende toepassing van nieuwe technologieën in alle landen van de wereld een veel efficiëntere overdracht van kennis en technologieën dan voorheen. Bovendien zijn ook informatie en mogelijkheden om goedkoop kapitaal aan te trekken cruciale factoren. Naast een toename van het besef rond mogelijke klimaatschade kan ook verandering van perspectief helpen om deze noodzakelijke voorwaarden te bereiken. Hierbij gaat het vooral om het plaatsen van klimaatbeleid in een bredere context van ontwikkelingsdoelen. Dit betreft bijvoorbeeld de Lissabon-agenda voor de EU (het streven naar versterking van de concurrentiekracht van de Europese economie door innovatie) en de Millennium Ontwikkelings Doelstellingen in ontwikkelingslanden. Het volgende hoofdstuk gaat hier verder op in.

## Omgaan met onzekerheden

Tussen de politieke realiteit van lange-termijn klimaatdoelstellingen en de omrekening naar maatregelenpakketten en de bijbehorende kosten zit een groot aantal onzekerheden in het klimaatsysteem, maar ook in de technologische ontwikkeling en potentiële van verschillende technieken. Daarbij komen nog factoren zoals de maatschappelijke acceptatie van bijvoorbeeld kernenergie of windturbines. Alle onzekerheden leiden opgeteld tot een ruime marge in de resultaten, die grofweg loopt van halvering tot aan verdubbeling van de kosten voor de verschillende stabilisatiescenario's. Daar komt nog de onzekerheid in de temperatuurstijging bij. Omdat de wetenschap op dit moment onzekerheden niet verder kan reduceren, zal het klimaatbeleid een mate van 'robuustheid' tegen deze onzekerheden moeten hebben. Dat kan ondermeer door gebruik van portfolio's van maatregelen en het indekken voor tegenvallers ('hedging') door het scheppen van ruimte voor het openhouden van beleidskeuzes.

- *De onzekerheid in de kosten is groot: de helft kan, het dubbele ook*

## 4. MONDIALE TAAKVERDELING EN KOSTEN PER REGIO

Een klimaatbeleid gericht op stabilisatie van broeikasgassen vereist op termijn de deelname van alle landen. Een belangrijke vraag daarbij is: hoe kunnen landen die nu nog niet actief meedoen, zoals de VS en ontwikkelingslanden worden betrokken bij internationaal klimaatbeleid? En hoe kunnen de inspanningen en daarmee samenhangende kosten op een redelijke wijze worden verdeeld over de verschillende landen?

Voor stabilisatie van broeikasgasconcentraties op lage niveau's moeten de Kyoto-afspraken tot 2012 worden opgevolgd door nieuwe klimaatafspraken zo blijkt uit de vorige hoofdstukken. Maar de totstandkoming van dergelijke afspraken wordt behoorlijk gecompliceerd door de bestaande verschillen in visie en belangen ten aanzien van de aanpak van het klimaatprobleem en de prioriteit die aan het klimaatprobleem wordt toegekend.

Om te komen tot nieuwe afspraken zal het nodig zijn om met die verschillen in visies en belangen rekening te houden. Daarbij is het waarschijnlijk nodig om te komen tot een andere aanpak dan die in het Kyoto Protocol, zeker als ook van ontwikkelingslanden inspanningen worden gevraagd. Hoewel dit rapport niet ingaat op mogelijkheden en kosten van aanpassing aan klimaatverandering, zullen afspraken daarover waarschijnlijk ook een rol spelen bij het komen tot nieuwe afspraken.

Dit hoofdstuk gaat in op de mogelijkheden voor internationale afspraken, de (regionale) verdeling van inspanningen en kosten, en de rol daarbij van de internationale handel in emissierechten. Uiteindelijk komt de situatie in West-Europa kort aan de orde, om in hoofdstuk 5 nader op Nederland te kunnen inzoomen.

### Verbreding klimaatbeleid nodig voor ambitieuze doelstellingen

In het Kyoto Protocol zijn afspraken gemaakt voor een onderlinge taakverdeling voor emissiereductie tussen de industrielanden tot 2012. Dit betekent dat slechts een beperkt aantal landen daadwerkelijk een doelstelling op zich hebben genomen om de uitstoot van broeikasgassen te beperken. Bovendien hebben de Verenigde Staten besloten zich uit het Kyoto Protocol terug te trekken.

Voor verdergaand klimaatbeleid is verbreding, dat wil zeggen uitbreiding van het aantal deelnemende landen, een belangrijke voorwaarde. De reden daarvoor is gelegen in de snelle groei van het aandeel van de emissies van de ontwikkelingslanden in de mondiale broeikasgasemissies. Hoewel op dit moment de energie gerelateerde emissies van broeikasgassen (met name CO<sub>2</sub>) nog merendeels van de ontwikkelde landen afkomstig zijn (zie Tabel 4), zou de balans binnen enkele decennia al kunnen omslaan naar de ontwikkelingslanden. Tegelijkertijd blijven de hoofdelijke emissies van de ont-

Tabel 4. Emissies van CO<sub>2</sub> uit energie en industriële bronnen

		Industrielanden	Azië	Rest	Wereld
2000	CO <sub>2</sub> emissies (GtCO <sub>2</sub> )	15	8	2	26
	Emissie per hoofd (tCO <sub>2</sub> /hoofd)	11,9	2,3	1,8	4,2
2050	CO <sub>2</sub> emissies (GtCO <sub>2</sub> )	23	22	9	53
	Emissie per hoofd (tCO <sub>2</sub> /hoofd)	17,1	4,3	3,3	5,9

wikkelingslanden zelfs in 2050 nog lager dan die van de ontwikkelde landen. Stabilisatie op lage concentratie-niveau's zal onhaalbaar blijken als landen met omvangrijk aandeel in de mondiale emissies, zoals de VS maar ook grote ontwikkelingslanden, buiten internationale klimaatafspraken voor emissiebeperking blijven.

Betrokkenheid bij een afspraak kan op een zeer groot aantal manieren worden geregeld, maar moet in elk geval – rekening houden met de positie van verschillende landen. Wetenschappers en beleidsadviseurs hebben inmiddels vele voorstellen gedaan en beoordeeld voor de vormgeving van vervolgaafspraken. Belangrijke vragen hierbij zijn: Hoe kunnen inspanningen worden geformuleerd? Hoe kan de VS bij het klimaatbeleid worden betrokken? Hoe kunnen, naast nieuwe verplichtingen voor industrielanden, ook afspraken met ontwikkelingslanden worden gemaakt? Een belangrijke factor hierbij is dat landen soeverein zijn en zich slechts vrijwillig binden aan internationale afspraken. Zij kunnen dus zelf afwegingen maken tussen kosten en baten van klimaatbeleid en zelfs proberen de kosten zoveel mogelijk bij andere partijen neer te leggen (“meeliften”). Van het afdwingen van de medewerking van landen zijn weinig voorbeelden bekend. Belangrijk is, zoals eerder opgemerkt, dat er bij voldoende partijen, in het bijzonder grote landen, een gevoel van urgentie bestaat en dat oplossingen voorhanden zijn (zie ook vorige hoofdstuk). Voor een effectief mondiaal klimaatbeleid is het niet noodzakelijk dat alle landen meteen meedoen aan emissiebeperking, maar voor de geloofwaardigheid en stabiliteit van een internationaal klimaatregime is het wel nodig dat er zicht op is dat ze dat op termijn wel gaan doen. Dat geldt zeker voor landen waarvan de emissies reeds omvangrijk zijn en snel groeien zoals de grote ontwikkelingslanden. Dit perspectief ontbreekt in het Kyoto Protocol. Om te komen tot overeenstemming over bijdragen is het belangrijk dat landen het gevoel hebben dat de verdeling van de gevraagde bijdragen billijk is en met hun belangen rekening houdt. Het kan dan helpen om meer beleidsagenda's met elkaar te verbinden en te zoeken naar oplossingen die meer doeleinden of belangen dienen (zie ook volgende paragraaf).



## Klimaatbeleid in een bredere context

De vrees bij veel beleidsmakers in geïndustrialiseerde en ontwikkelingslanden is dat zowel klimaatverandering als klimaatbeleid een bedreiging kan vormen voor (verdere) ontwikkeling.

Zoals in het vorige hoofdstuk is aangegeven betreft klimaatbeleid in sterke mate het aanpassen van het energiesysteem. Nu speelt het energiesysteem een belangrijke rol in een streven naar duurzame ontwikkeling. Daarbij gaat het om de beschikbaarheid van voldoende en betaalbare energie als drijvende kracht achter economische ontwikkeling, de voorzieningszekerheid, het beperken van regionale en lokale luchtverontreiniging, die het gebruik van energie met zich meebrengt, en het beperken van broeikasgas emissies.

Door ontwikkelingsprioriteiten en opties voor adaptatie- en mitigatiebeleid met elkaar te verbinden, ontstaan mogelijkheden voor strategieën die resulteren in klimaatvriendelijke ontwikkeling (dus met lagere emissies) en in verminderde kwetsbaarheid van samenlevingen (klimaatveilige ontwikkeling). Deze opties hoeven niet alleen vanuit klimaatperspectief gekozen te worden, maar zijn ook aantrekkelijk omdat ze leiden tot vermindering van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen, verbeterde toegang tot moderne energie, verbetering van binnenhuis en stedelijke luchtkwaliteit en daarmee van gezondheid, technologische innovatie en nieuwe marktkansen voor de industrie. Geïntegreerde analyses kunnen de voor- en nadelen van beleidsopties op verschillende beleidsterreinen in beeld brengen om zo te komen tot het benutten van synergie en het afwegen van afruileffecten in het beleid.

Het stimuleren van energie-efficiënte draagt bijvoorbeeld direct bij aan alle genoemde doelen, maar dat kan ook gelden voor het stimuleren van hernieuwbare energie in landelijke gebieden of het toepassen van kolengestookte centrales met CCS. In het bijzonder de mogelijkheden om via het CDM, JI en emissiehandel te komen tot investeringen die zowel bijdragen aan een kosteneffectief klimaatbeleid als duurzame ontwikkeling bieden veel kansen. Diverse ontwikkelingslanden, zoals China en India, tonen dan ook veel belangstelling en veel activiteiten op dit terrein.

## Multi-stadia benadering als voorbeeld van internationale taakverdeling

De internationaal voorgestelde benaderingen voor post-Kyoto afspraken zijn zeer divers en kunnen vanuit een groot aantal criteria worden beoordeeld (milieueffectiviteit, mogelijkheden voor acceptatie en daarmee samenhangend redelijkheid, mogelijkheden tot implementatie, mate van flexibiliteit). Een van de voorstellen om te komen tot een internationale taakverdeling betreft de zogenaamde Multi-stadia-benadering (zie tekstbox). In die benadering neemt een toenemend aantal landen verplichtingen op zich, die bovendien in de tijd steeds ambitieuzer worden naarmate landen meer

ontwikkeld zijn. Alternatieve benaderingen, die niet uitgaan van harde afspraken over emissiereducties, betreffen ondermeer het maken van afspraken over de ontwikkeling en toepassing van technologieën en afspraken over doelstellingen per sector. Dergelijke afspraken bieden over het algemeen minder zekerheid over de milieubaten, maar kunnen wel bijdragen aan technologische vernieuwing. Mogelijk kan het combineren van elementen uit diverse voorstellen helpen impasses in klimaatonderhandelingen te doorbreken.

In vergelijking met andere voorstellen scoort de Multi-stadia-benadering positief, vanwege zijn flexibiliteit, aansluiting op bestaand beleid en mogelijkheid tot koppeling met duurzame ontwikkeling. Hieronder wordt op basis van het Multi-stadia regime een mogelijke taakverdeling in de beoogde wereldwijde emissiereductie getoond. Die taakverdeling ontstaat doordat landen per ontwikkelingsstadium vergelijkbare doelstellingen voor beperking of reductie van broeikasgasemissies hebben (zie Figuur 13). Hoewel andere verdelingen mogelijk zijn, kunnen de uitkomsten als indicatief voor verschillende andere voorstellen worden beschouwd.

#### **Ontwikkeling in mondiaal klimaatbeleid: multi-stadia benadering**

In veel studies rondom het verdelingsvraagstuk speelt het zogenoemde 'Multi-stadia' regime voor het mondiale klimaatbeleid een belangrijke rol. Dit regime onderscheidt – in zijn meest eenvoudige vorm - drie stadia van deelname in het internationaal klimaatbeleid:

1. Geen verplichtingen / baseline: dit is voor de minst ontwikkelde landen die nog geen klimaatverplichtingen op zich hoeven te nemen.
2. Relatieve reductiedoelen: dit is voor de meer ontwikkelde (ontwikkelings)landen en betekent dat de groei in emissies minder hard gaat dan de groei van de economie (relatieve ont koppeling). Integratie van klimaataspecten in ontwikkelingsbeleid om die ontwikkeling duurzamer te maken biedt hier grote kansen.
3. Absolute reducties: deze gelden voor de industrielanden zoals onder het Kyoto Protocol, en leiden tot minder uitstoot van broeikasgasen terwijl ze toch economische groei vertonen (absolute ont koppeling).

In dit laatste stadium zitten reeds de landen die worden genoemd in de Annex I van het Kyoto Protocol en bovendien het Protocol hebben geratificeerd. Daartoe behoren bijvoorbeeld alle landen in West-Europa, maar niet de ontwikkelingslanden (geen Annex I) of de VS (wel Annex I, maar geen ratificatie).

Er zijn diverse criteria denkbaar die bepalen in welke stadium een land zit. De basis voor de uitkomsten hier is de uitstoot per hoofd van de bevolking, waarbij ook het gemiddelde welvaartsniveau (Bruto Nationaal Product per inwoner) wordt meegewogen.

De eerste conclusie is, dat deze stabilisatie op 450 of 550 ppm alleen kan worden gehaald als de ontwikkelde landen voor de periode na 2012 forse reductiedoelen op zich nemen (ten opzichte van 1990). Van deze landen (waaronder de EU) wordt voor stabilisatie op 550 ppm in 2020 een reductie verwacht van 10% en in 2050 van 60%. Voor een grotere kans op het bereiken van de 2°C-doelstelling, bij 450 ppm, zijn zelfs nog hogere reducties nodig: 25% in 2020, 90% in 2050.



Figuur 13. Regionale emissieplafonds voor ontwikkelde en ontwikkelingsregio's onder een multi-stadia benadering en mondiale emissiepaden voor stabilisatie op 450 ppm en op 550 ppm

- Stabilisatie op 450 ppm betekent voor de rijkste landen onder een multi-stadia benadering emissiereductiedoelstellingen in de orde van 10 tot 25% in 2020 en 60 tot 90% in 2050 ten opzichte van 1990

Onder de multi-stadia benadering doen ook diverse ontwikkelingslanden na 2012 ook al mee, al hoeft het bij hen voorlopig nog niet te gaan om reducties ten opzichte van 1990, maar om *beperking van de groei* van de emissies. Zonder de spoedige betrokkenheid - in welke vorm dan ook - van enkele ontwikkelingslanden met grote emissies, zoals China, India, Zuid Afrika en Brazilië, zijn de doelstellingen voor stabilisatie van concentraties op een laag niveau van 550 of 450 ppm onhaalbaar. De meer ontwikkelde ontwikkelingslanden zullen al voor 2020 de groei van hun uitstoot moeten gaan beperken, in elk geval tot flink onder hun baseline (10 tot 30% in 2020 en 70 tot 85% in 2050). De minst ontwikkelingslanden met relatief lage inkomens (in Zuid-Azië, West- en Oost-Afrika) mogen tot 2050 nog volstaan met een behoorlijke emissiegroei *nét* iets onder hun baseline.

Zonder deelname van de VS en de ontwikkelingslanden zou een stabilisatieniveau van 450 ppm slechts haalbaar zijn als de EU torenhoge reducties van 60 tot 80% in 2020 zou realiseren. Ook met een zeer beperkte deelname van de VS (en wél deelname door ontwikkelingslanden) zijn de emissiereductietaakstellingen voor de EU (30 tot 50%) niet realistisch. Als de mondiale klimaatafspraken na 2012 niet direct aansluiten op het Kyoto Protocol kan dit resulteren in onrealistisch scherpe emissiereducties om dit uitstel te compenseren.

- *Voor het bereiken van stabilisatie op lage niveaus is het nodig dat sommige ontwikkelingslanden al betrokken worden bij internationale emissie-afspraken voor 2020*

Een bijdrage van ontwikkelingslanden kan overigens om meer redenen gunstig zijn voor ontwikkelde landen – maar ook voor ontwikkelingslanden. Als de mogelijkheden voor emissiehandel verbeteren, komen de ontwikkelde landen namelijk ook bij diepere reducties toch uit op lagere kosten. Tegelijkertijd kan emissiehandel voor ontwikkelingslanden lage kosten of zelfs netto-inkomsten opleveren.

## Kosten: winnaars en verliezers

Al naar gelang de economische, maatschappelijke en natuurlijke omstandigheden, kunnen de kosten voor klimaatbeleid per regio fors afwijken van het mondiale gemiddelde (zie hoofdstuk 3). Voor alle 17 regio's in de wereld blijken de niet-CO<sub>2</sub>-maatregelen een aantrekkelijke en relatief goedkope optie, die het vooral op de kortere termijn goed doet. De rest van de portfolio aan maatregelen varieert specifiek per regio, en daarmee variëren ook de kosten.

Over het algemeen betalen de landen van de OESO (Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling) ongeveer 1,5 keer zo veel aan klimaatmaatregelen als het mondiale gemiddelde. Daarentegen kunnen de kosten voor de voormalige Sovjet-Unie, en het Midden-Oosten ten opzichte van hun BNP relatief hoog uitvallen vanwege de hoge koolstofintensiteit van deze economieën. De wat rijkere ontwikkelingslanden

in Zuid-Oost-Azië, Oost-Azië (inclusief China) en Zuid-Amerika kunnen bij de meeste klimaatregimes rekenen op beperkte kosten. Uiteindelijk kunnen de armere landen in Zuid-Azië en Afrika mogelijk zelfs profiteren van stringent klimaatbeleid door inkomsten uit emissiehandel.

### Emissiehandel groeit

De genoemde reducties in dit rapport zijn taakstellingen die landen ook gedeeltelijk buiten hun eigen grenzen kunnen realiseren. Dat kan zorgen voor een zekere nivellering van de kostenniveaus in de verschillende regio's, omdat maatregelen met de laagste kosten het eerst kunnen worden genomen - in welk land, sector of regio dan ook. De koper krijgt dan extra emissierechten tegen een relatief lage prijs en de verkoper kan zijn mogelijkheden voor emissiebeperking benutten met externe financiering.

Emissiehandel, bijvoorbeeld via de zogenoemde 'Kyoto-mechanismen' zoals CDM (Clean Development Mechanism) en JI (Joint Implementation),

stelt ontwikkelde landen in staat hun klimaatdoelen (gedeeltelijk) te halen door het financieren van maatregelen in armere landen, in ruil voor extra emissierechten. Systemen voor directe handel in emissierechten, zoals het Europese handelssysteem, maken hetzelfde mogelijk voor bedrijven.

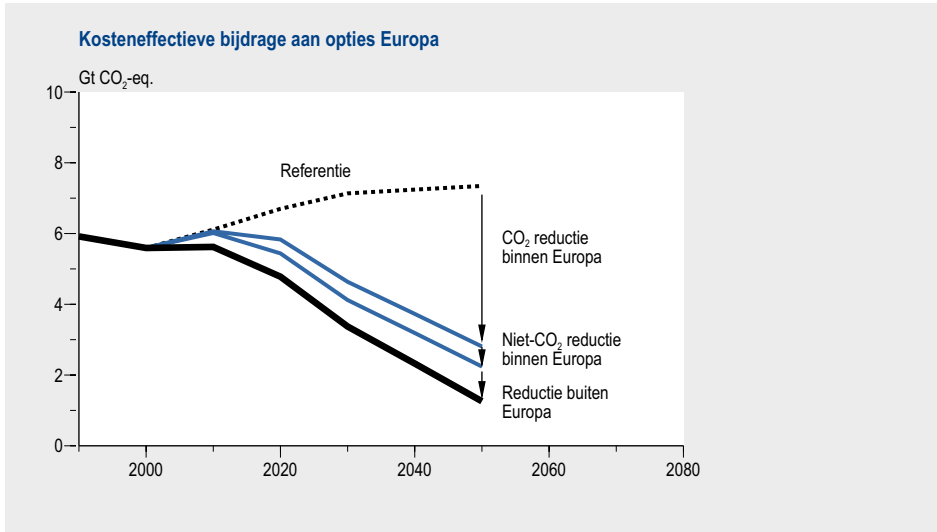
Studies over de verdeling van de kosten van klimaatmaatregelen over de verschillende regio's gaan er steeds van uit dat de methodiek van emissiehandel in de komende decennia verder gestalte zal krijgen. Uitbreiding van de mogelijkheden voor emissiehandel is een belangrijk aspect van een kosten-effectief klimaatbeleid.

### - *Wereldwijde emissiehandel kan op veel grotere schaal gaan plaatsvinden dan nu*

Naast relatief hoge kosten voor klimaatbeleid, kunnen sommige regio's (Midden-Oosten, voormalige Sovjet-Unie) nog eens extra worden getroffen door fors lagere inkomsten vanwege teruglopende export van fossiele brandstoffen. Daar staan voor sommige regio's (Zuid-Amerika, voormalige Sovjet-Uniestaten) ook weer extra inkomsten tegenover, bijvoorbeeld door de grootschalige productie van biobrandstoffen. Bovendien betekent de afname van fossiele brandstofhandel dus ook een verminderde afhankelijkheid in het geval van importerende landen. Voor de totstandbrenging van internationale afspraken is het waarschijnlijk noodzakelijk om regio's met relatief hoge kostenniveaus enigszins te ontzien.

## Maatregelen in de Europese Unie

In het huidige Kyoto Protocol heeft de EU zich ten doel gesteld om in de periode 2008 tot en met 2012 jaarlijks gemiddeld 8% minder broeikasgassen uit te stoten dan in 1990. Voor de periode na 2012 geldt dat de EU Ministerraad zich heeft uitgesproken voor een emissiereductie van 15 tot 30% in 2020 voor industrielanden als basis voor de onderhandelingen over afspraken na 2012. Nog altijd is hier de 2°C-grens de doelstelling voor de nagestreefde milieukwaliteit. Voor de langere termijn (tot 2050 en verder) hebben sommige landen al wel indicatieve doelstellingen genoemd. Duitsland en het Verenigd Koninkrijk zetten bijvoorbeeld in op een halvering van de uitstoot in 2050.



*Figuur 14. Aandeel van binnenlandse en buitenlandse emissiereducties voor de EU bij een kosteneffectieve invulling van het klimaatbeleid voor stabilisatie op 450 ppm.*

Uit de berekeningen gebaseerd op de multi-stadia benadering uit de vorige paragraaf blijkt dat, om stabilisatie op lage niveaus mogelijk te maken landen binnen de Europese Unie, net als andere Annex-I landen in het Kyoto Protocol, een relatief grote bijdrage in de mondiale klimaatreductie op zich moeten nemen. De emissiereducties in de EU-25 bedragen in 2020 minimaal 10 tot 25% (voor respectievelijk 550 en 450 ppm), en lopen daarna verder op naar 60 tot 90% in 2050. Geconcludeerd kan dus worden dat de Europese inzet vooralsnog binnen de 'waaiers' van emissiepaden ligt die leiden tot een stabilisatie van concentratieniveaus van broeikasgassen op 550 of 450 ppm.

Naar verwachting zal het kosteneffectief zijn om een aanzienlijk deel van deze reductiedoelstellingen te realiseren met de financiering van maatregelen buiten Europa (zie Figuur 14). Daarbij geldt wel dat de nevenvoordelen van klimaatbeleid in Europa zelf kleiner worden, zoals voor energiezuikerheid, luchtkwaliteit en technologische vernieuwing. Het beleid zal dus een afweging moeten maken tussen de directe kosten van het klimaatbeleid en de nevenbaten in eigen regio.

## 5. OPTIES VOOR NEDERLAND

Uit vorige hoofdstukken blijkt dat er wereldwijd potentieel voldoende maatregelen voorhanden zijn om lage stabiele concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer te kunnen realiseren. Gegeven de regionale verschillen in economische ontwikkeling, ruimte en dergelijke is het een interessante vraag hoe deze situatie er voor Nederland uitziet.

Dit hoofdstuk gaat in op de maatregelen die Nederland op de korte termijn, in de periode tot 2020, zou kunnen nemen in de veronderstelling dat drastische emissiereducties in de 21<sup>ste</sup> eeuw nodig zijn. De basis voor dit hoofdstuk is het zogenoemde Optiedocument en de Referentieraming, waarin het Milieu- en Natuurplanbureau en Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) de kosten en potentiële van alle binnenlandse reductiemaatregelen tot 2020 in kaart hebben gebracht.

Een belangrijke constatering hierbij is dat het klimaatbeleid in Nederland niet los kan worden gezien van het internationale klimaatbeleid. Dat geldt in het algemeen voor afspraken rondom de taakstelling voor emissiereducties, maar die internationale context werkt ook door bij vele specifieke maatregelen. Zo kunnen bijvoorbeeld veel maatregelen ten aanzien van het verkeer alleen effectief en kostenefficiënt op EU-niveau worden genomen. Nederland kan daar uiteraard als één van de 25 lidstaten invloed op uitoefenen. Individuele, nationale maatregelen sorteren soms weinig effect zonder Europese inbedding en vaak is voor de industrie een level playing field binnen de EU randvoorwaarde voor maatregelen.

De vraag die hierbij centraal staat is in hoeverre het huidige Nederlandse beleid, en de Nederlandse reductiemogelijkheden sporen met de mogelijke taakstellingen voor de EU zoals besproken aan het eind van het vorige hoofdstuk (10-25% reductie in 2020, en 60-90% reductie in 2050).

Net als in het optiedocument zelf gaat dit hoofdstuk niet in op instrumenteerbaarheid, de duurzaamheidsaspecten van bijvoorbeeld biomassa, de innovatiekracht van de Nederlandse industrie of het draagvlak voor wind- of kernenergie.

### Klimaatbeleid tot 2020

Binnen de Europese taakverdeling om in 2008-2012 8% lagere emissies te halen dan in 1990, heeft Nederland zich gebonden aan een doelstelling van 6% emissiereductie ten opzichte van 1990. Een deel van deze doelstelling realiseert Nederland momenteel via projecten in het buitenland met behulp van de zogenaamde Kyoto-mechanismen.

Voor de periode na 2012 volgt Nederland vooralsnog de EU (voor een beschrijving van het EU beleid, zie het eind van het vorige hoofdstuk). Daarbij geldt dus dat wel

wordt gekeken naar reductiedoelstellingen voor 2020 – maar nog niet voor de lange termijn.

- *Een nationale emissiereductie van 15 tot 30% in 2020 is in lijn met de benodigde internationale inspanningen voor het halen van de 2°C doelstelling op lange termijn*

## Maatregelen in Nederland

In een onderzoek hebben het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) en het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) de mogelijkheden onderzocht voor de binnenlandse reductie van de uitstoot van broeikasgassen. In detail is gekeken naar drie niveaus van Nederlandse emissiereductie in 2020 (dus exclusief emissiereducties van projecten in het buitenland (zie Figuur 15):

- Een stabilisatie van de nationale emissies op het niveau van 2010, ofwel een niveau van 220 miljoen ton<sup>6</sup> CO<sub>2</sub>-eq. uitstoot per jaar. Dat niveau ligt iets boven de jaarlijkse emissie in 1990 van 214 Mton;
- Een reductie van 6% ten opzichte van 1990 (200 Mton per jaar);
- Een reductie van 15% ten opzichte van 1990 (180 Mton per jaar).

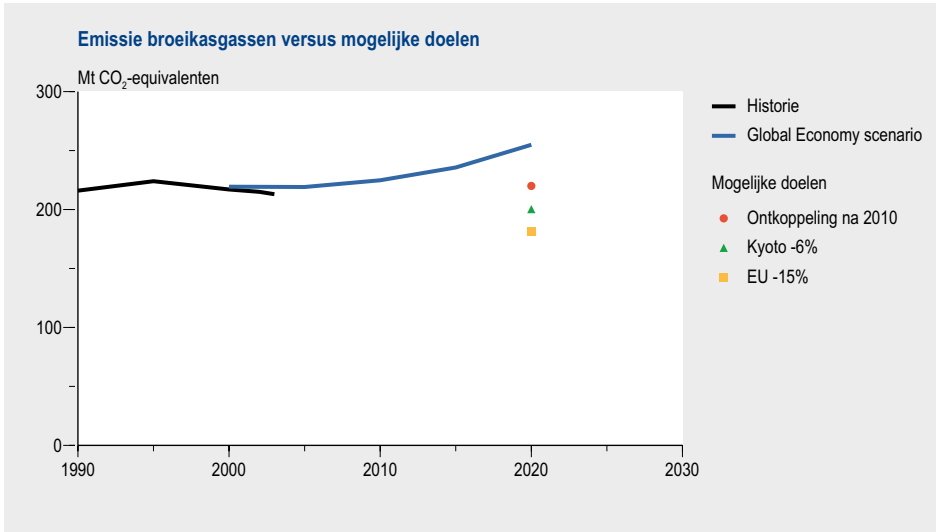
De laatste variant beantwoordt het beste aan het verdelingsvraagstuk in het vorige hoofdstuk: rijke landen als Nederland zullen voor stabilisatie beneden de 550 ppm in de komende decennia een relatief zware emissiereductie moeten realiseren. De 15% doelstelling valt juist binnen de indicatieve EU-doelstelling van 15 tot 30% emissiereductie in 2020. Voor aanvullende reducties kan Nederland natuurlijk ook gebruik maken van emissiehandel met ontwikkelingslanden.

Startpunt van het Optiedocument vormen de Referentieramingen van MNP en ECN, op basis van economische scenario's van het Centraal Planbureau voor de sociaal-economische ontwikkeling van Nederland tot 2020. Centraal staat het zogenaamde Global Economy scenario, dat een relatief hoge economische groei en een hoge bevolkingsgroei in Nederland beschrijft. Dit resulteert in een hoog energiegebruik en een daarmee samenhangend hoog emissieniveau. Rekenend vanaf dit referentie/achtergrondscenario onderzochten de instituten pakketten van opties die tegen de laagste totale kosten voldoen aan de emissiedoelstellingen.

---

<sup>6</sup> De baseline in het Global Economy scenario zou leiden tot een binnenlandse emissie van 251 Mton CO<sub>2</sub>.





Figuur 15. Broeikasgasemissies in referentie scenario (Global Economy) en mogelijke nationale (binnenlandse) emissiereductiedoelen.

## Optiepakketten

Een belangrijke conclusie uit de analyse van het potentieel van de opties ten opzichte van de basisontwikkelingen luidt, dat Nederland voldoende technisch potentieel herbergt om in 2020 een binnenlandse emissiereductie van 15% ten opzichte van 1990 te realiseren.

- *Nederland heeft voldoende potentieel om in 2020 een binnenlandse emissiereductie te realiseren van 15% ten opzichte van 1990, tegen een kostenniveau van 1 à 2 miljard euro per jaar. Technisch is zelfs meer reductie mogelijk, maar dan tegen aanzienlijk hogere kosten en inspanningen.*

Voor de drie bovengenoemde indicatieve emissiedoelstellingen is telkens een optiepakket samengesteld tegen zo laag mogelijke nationale kosten<sup>7</sup>. In vergelijking met de baseline, kost een doelstelling van 15% minder emissies in 2020 een bedrag van ongeveer 1,4 miljard euro per jaar (zie Tabel 5).

In deze pakketten zitten ook opties die geen geld kosten, maar (nationaal gezien) zelfs geld opleveren, zoals bepaalde besparingsmaatregelen of de zogenoemde 'kilometerheffing'. In alle gevallen worden deze maatregelen, ondanks hun winstgevendheid, niet gemakkelijk genomen, bijvoorbeeld omdat er gedragsverandering voor nodig is of omdat er maatschappelijke kosten zijn die in deze analyse niet in de kosten worden

<sup>7</sup> Exclusief de kosten die zijn gemoeid met het toepassen van beleid.

*Tabel 5: Jaarlijkse kosten van de optiepakketten waarbij naast de klimaatdoelen ook aan toekomstige luchtkwaliteitseisen doelstellingen (NEC plafonds; fijnstof) wordt voldaan.*

Doelstelling 2020 (in Mt. CO <sub>2</sub> -eq.)	Benodigde emissiereductie in 2020 (in Mt. CO <sub>2</sub> -weq.)	Jaarlijkse kosten optiepakketten in 2020 (in mld euro/jaar)		
		Saldo	Negatieve kosten	Positieve kosten
220 (=stabilisatie t.o.v. 2010)	31	-0,0	-0,6	0,6
200 (=-6% t.o.v. basis jaar)	51	0,3	0,6	0,9
180 (=15% reductie t.o.v. basis jaar)	71	1,4	-0,6	2,0

meegenomen. Om deze reden zitten deze maatregelen ook niet in de basisontwikkeling, maar in de optiepakketten, want zonder extra beleid worden zij niet gerealiseerd.

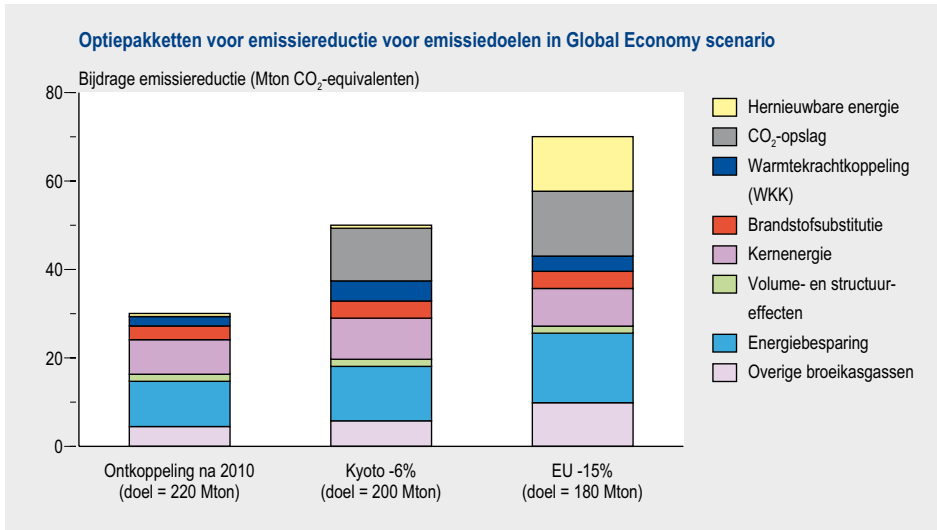
De duurste maatregelen voor het 15%-reductiepakket kosten ongeveer 81 euro per vermeden ton CO<sub>2</sub>-eq. Anders gezegd: voor 15% emissiereductie zijn alle mogelijke reductiemaatregelen nodig die tot maximaal 81 euro/ton kosten. Voor 6% reductie ligt dat bedrag op 23 euro/ton, voor de stabilisering op 2010 niveau 8 euro/ton.

## Opties tot 2020

Uit de analyse van het Optiedocument komen drie relatief belangrijke maatregelen naar voren, met een groot potentieel voor emissiereductie tegen relatief lage kosten (zie Figuur 16) (zie voor alle 3 opties ook de overwegingen in hoofdstuk 3; inclusief de beoordeling van de kosten):

- Energiebesparing.
- Kernenergie.
- Opslag van CO<sub>2</sub>.

Het blijkt dat vooral de sectoren industrie en energievoorziening veel kunnen bijdragen aan de optiepakketten. Dit hangt enerzijds samen met de relatief hoge uitstoot van broeikasgassen in beide sectoren, en anderzijds met lagere reductiekosten. Zoals eerder geconstateerd, maakt een scherpere reductiedoelstelling de introductie van duurdere maatregelen noodzakelijk. Tot die duurdere maatregelen behoren bijvoorbeeld sommige hernieuwbare energiebronnen en bepaalde besparingsopties zoals bijvoorbeeld na-isolatie van woningen en kantoren.



*Figuur 16. Kostenoptimale optiepakketten voor het bereiken van verschillende nationale reductiedoelstellingen*

Overigens zit in de 'baseline' al een aanzienlijke bijdrage van energiebesparing en hernieuwbare energie.

Of maatregelen ook daadwerkelijk kunnen worden ingezet of op de gewenste termijn haalbaar zijn heeft vooral effect op de totale kosten voor het betreffende maatregelenpakket. Net als op het mondiaal niveau geldt ook hier dat uitsluiting van opties kosten met zich mee kan brengen. Wanneer om welke redenen dan ook zowel kernenergie als CO<sub>2</sub>-opslag niet zou kunnen worden gerealiseerd, dan stijgen de kosten fors, omdat alternatieven duurder zijn. In het geval van de 15% doelstelling zouden de kosten met bijna 2,9 miljard per jaar hoger worden. Als alleen kernenergie wordt uitgesloten, worden de jaarlijkse kosten van toekomstig klimaatbeleid 590 miljoen euro hoger; bij het uitsluiten van CO<sub>2</sub>-opslag stijgen de kosten met 1,8 miljard € per jaar.

Een interessante vraag is hoe de voor Nederland aantrekkelijke opties zich verhouden tot die op mondiale schaal (hoofdstuk 3). Op hoofdlijnen zijn er duidelijke overeenkomsten. Ook mondiaal zijn energiebesparing en opslag van CO<sub>2</sub> geïdentificeerd als opties die het meest kunnen bijdragen aan emissiereducties. De bijdrage van hernieuwbare energie in Nederland komt in grote lijnen overeen met mondiaal. In het optiepakket van 15% emissiereductie in 2020 levert wind op zee een grote bijdrage. Daarnaast worden bio-energie en wind al ingezet in het achtergrondscenario wegens verondersteld overheidsbeleid.

Een opvallend verschil bestaat rond bio-energie – dat in het wereldwijde portfolio een belangrijke rol speelt, maar in de opties voor Nederland vrijwel ontbreekt. Hiervoor zijn twee redenen. In de eerste plaats is in het achtergrondscenario van Nederland

al verondersteld dat veel biomassa in de elektriciteitsproductie wordt ingezet onder andere door subsidies. In de tweede plaats hebben opties van biobrandstoffen in het verkeer hoge kosten waardoor ze niet in de pakketten voor Nederland in 2020 zijn opgenomen. Op langere termijn is de inzet van opties met hogere kosten zoals de biobrandstoffen voor verkeer echter wel nodig voor de mondiale reductiepaden van de 2°C doelstelling. Vanwege beperkte beschikbaarheid van land voor energieteelt in Nederland wordt een groot deel van de bio-energie geïmporteerd. De beperkte beschikbaarheid van land is daarnaast de reden dat in Nederland de bijdrage van koolstofplantages (land) kleiner is dan mondiaal. De bijdrage van de niet-CO<sub>2</sub> gassen is in Nederland kleiner dan mondiaal omdat op dit gebied Nederland al veel heeft gedaan in de industrie en de opties in de landbouwsector in ontwikkelingslanden belangrijker zijn dan in ontwikkelde landen. Anderzijds speelt kernenergie een kleinere rol in de mix van maatregelen op mondiaal niveau (door een grotere inzet van andere bronnen).

## Energiebesparing

Het Optiedocument berekent een maximaal technisch besparingstempo van jaarlijks 2,3% in de jaren tussen 2010 en 2020. Vanwege de hoge kosten van bepaalde besparingsmaatregelen wordt dit maximum in de optiepakketten voor de 15% doelstelling echter niet gehaald. Als wordt gestreefd naar zo laag mogelijke nationale kosten, wordt het besparingstempo bij die doelstelling opgevoerd van 1% in het baseline-pakket naar 1,7% per jaar. Het huidige besparingstempo ligt rond de 1% per jaar.

## Van opties naar implementatie

Een paar voorbeelden van beleid dat moet worden ingezet om in 2020 15% emissiereductie te kunnen realiseren staan in Tabel 6.

Uit deze voorbeelden in tabel 6 wordt ook duidelijk dat gezien de korte termijn waarop effect nodig is (2020) de inzet van beleidsmaatregelen weinig uitstel kan verdragen. Vanuit de huidige beleidspraktijk kan 15% binnenlandse emissiereductie in Nederland dan ook als een ambitieuze doelstelling worden gezien.

Naast binnenlandse emissiereductie is er echter ook ruimte om een deel van een taakstelling in te vullen met projecten in landen waar emissiereducties goedkoper zijn. De afweging tussen het nemen van maatregelen in het binnenland en projecten in het buitenland is echter niet alleen afhankelijk van de kosten of (technische) potentiën. Ook aspecten als ontwikkelingssamenwerking, maatschappelijk draagvlak, innovatiemogelijkheden voor de industrie in Nederland en institutionele barrières spelen hier een rol.

Tabel 6: Voorbeelden van implicaties van een doelniveau van 180 Mt in 2020

Vereiste opties voor realisatie van een emissieniveau van 180 Mton CO <sub>2</sub> -eq. in 2020	Voorbeelden van implicaties
Nieuwe kerncentrales (vermogen: 1600 MW <sub>e</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concreet investeringsplan voor 2010 van private partijen</li> <li>- Interventie van de overheid als sector zelf risico's niet kan/wil dragen</li> </ul>
5500 MW <sub>e</sub> windenergie op zee	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aanpassing in het beleid voor duurzame energie (in huidig beleid al 2000 MW<sub>e</sub> verondersteld)</li> </ul>
Minimaal 12 Mton CO <sub>2</sub> Opvang	<ul style="list-style-type: none"> <li>- concrete investeringsplannen voor circa 2013</li> <li>- afstemming met de exploitatie van geschikte aardgasvelden zodat tijdig opslagcapaciteit beschikbaar is</li> <li>- vergunningstraject en aanleg infrastructuur voor afvang, transport, en opslag binnen 6 jaar (vanaf 2013)</li> <li>- Via emissiehandel: structurele CO<sub>2</sub> prijs van minimaal 50 euro/ton CO<sub>2</sub>-eq. vanaf 2011. Vereist Europese afstemming</li> </ul>
3 Mton reductie in industrie via besparing en WKK	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Via emissiehandel: CO<sub>2</sub> prijs van minimaal 80 euro/ton CO<sub>2</sub>-eq. vanaf 2011. Vereist Europese afstemming</li> </ul>

Daarnaast verplaatsen met de emissiehandel ook de nevenvoordelen zoals bijvoorbeeld verminderde zwavel- en stikstofoxiden of fijn stof-emissies naar het buitenland. Voor deze stoffen bestaan ambitieuze Europese doelstellingen die extra maatregelen noodzakelijk maken – en kan synergie dus aantrekkelijk zijn om nationale milieukosten te minimaliseren.

- *Het benutten van het technisch potentieel voor binnenlandse emissiereductie moet worden afgewogen tegen de mogelijkheden om emissies goedkoper in het buitenland te reduceren. Nevenbaten van binnenlands klimaatbeleid dienen daarbij te worden meegewogen.*

### Optiedocument en olieprijs

In de recent uitgevoerde analyses van maatregelen in Nederland wordt uitgegaan van een relatief lage olieprijs. De prijs van olie, en daaraan meestal gekoppeld de prijs van aardgas, heeft geen effect op het technische potentieel van reductieopties, maar is wel een belangrijke parameter in het berekenen van de **kosten** voor emissiereductie. Grofweg geldt: hoe hoger de veronderstelde olieprijs, hoe lager de extra kosten voor klimaatbeleid.

Het optiedocument heeft in twee verschillende scenario's gerekend met prijzen van circa 25 US dollar

en 40 US dollar per vat olie. Bij deze hogere olieprijs zal er in het bassisscenario al meer energiebesparing optreden, maar ook zal er meer steenkool worden gebruikt en wordt de marktsituatie voor gasgestookte (warmtekracht)centrales slechter. Netto komen de emissies in het scenario bij een hogere olieprijs zo'n vier miljoen ton CO<sub>2</sub>-eq lager uit. De kosten voor het optiepakket voor 15% emissiereductie dalen daarmee met zo'n 400 miljoen € per jaar. Bij een structureel hoog blijvende olieprijs dalen deze kosten nog verder.

### Beleidsmaatregelen om opties te implementeren

De focus in deze brochure is op reductie-opties en niet zozeer op de mogelijke beleidsinstrumenten die nodig zijn om deze opties daadwerkelijk te implementeren. Er is een scala aan beleidsmaatregelen denkbaar die de toepassing van elke technologische optie kan bevorderen: voorschriften, heffingen en subsidies, emissiehandel, onderzoek, voorlichting, en het versterken van infrastructuur. Daarbij is vaak sprake van een afweging tussen effectiviteit, beleidskosten en flexibiliteit qua technologiekeuze (en daarmee veelal kosten-effectiviteit). De meest dwingend instrument is het stellen van (technische) eisen en voorschriften. Dat biedt in beginsel veel zekerheid over de effectiviteit, maar leidt tot hoge beleidskosten en biedt weinig flexibiliteit. Heffingen en subsidies bieden meer flexibiliteit, maar tegelijk ook beperkte zekerheid. De EU heeft gekozen voor het instrument van emissiehandel als een belangrijk onderdeel van het Europees klimaatbeleid. Het voordeel van dit instrument is dat het zowel zekerheid over de milieueffectiviteit als een hoge mate van flexibiliteit en daarmee kostenefficiëntie biedt.

Technologische innovatie vormt een cruciaal onderdeel van lange-termijn klimaatbeleid gericht op het halen van lage concentratie doelen. Uit studies blijkt dat innovatie het meeste baat heeft bij beleid dat op een lange-termijn zekerheid kan bieden aan de markt. Economische instrumenten alleen lijken deze zekerheid onvoldoende te bieden. Voor klimaatbeleid dat zowel efficiëntie als innovatie wil bevorderen zullen daarom meerdere instrumenten gebruikt moeten worden. In Nederland is daarvoor het energietransitiebeleid opgezet, om te proberen de markt partijen voldoende zekerheid te bieden om de benodigde technologische innovatie te initiëren. Een ander voorbeeld van beleid met bindende doelstellingen gericht op innovatie is de aanpak in Californië met de 'zero emission car'. Vergelijkbare technologie gerichte Europese normstelling zou kunnen bijdragen aan meer zekerheid voor bedrijven op de Europese markt. Marktpartijen hebben dan zelf de vrijheid om te kiezen voor de beste technieken om aan die normen te voldoen.

## Onzekerheden versus zekerheden

Modellen zoals gebruikt voor het samenstellen van het Optiedocument bevatten inherente onzekerheden. Toch mogen de resultaten uit de analyse van het Optiedocument worden beschouwd als 'robuust', dat wil zeggen dat ze bestand zijn tegen afwijkende aannames voor oliepijzen of basis-ontwikkelingen en voor de ontwikkeling in het potentieel en de kosten van bepaalde opties.

De belangrijkste conclusie uit het Optiedocument is dat forse emissiereducties in 2020 in Nederland technisch haalbaar zijn. De samenstelling van pakketten van maatregelen voor minimalisatie van de kosten is ook redelijk zeker. Voor individuele opties kunnen de onzekerheden groter zijn, maar in veel gevallen werkt dat niet sterk door in de eindconclusies omdat er in dezelfde categorie van opties meestal wel alternatieven voorhanden zijn als het potentieel van één optie blijkt tegen te vallen.

Een extra onzekerheid ontstaat wel als ook de gewenste binnenlandse emissiereducties ná 2020 in aanmerking worden genomen. De huidige optiepakketten in het Optiedocument houden daarmee geen rekening. Als ook met (stringentere) doelstellingen voor de periode na 2020 rekening wordt gehouden, zouden de kostenoptimale optiepakketten voor 2020 anders uit kunnen vallen.

## Afsluitend

In dit rapport zijn recente inzichten in de mogelijkheden van nationaal en internationaal klimaatbeleid – uitgaande van de Europese 2°C doelstelling op een rij gezet. Het beeld wordt helder dat het zowel internationaal als in Nederland technisch mogelijk is portfolio's van maatregelen samen te stellen die kunnen leiden tot de verregaande reducties van broeikasgasemissies om met een redelijke zekerheid aan de 2°C doelstelling te voldoen. De kosten van dergelijke maatregelen zijn steeds beter in kaart gebracht. Tevens worden bijdragen geleverd aan het bereiken van andere nationale en internationale milieu- en ontwikkelingsdoelstellingen. Er zijn een paar belangrijke voorwaarden om deze doelen te bereiken:

- het gebruik van brede pakketten aan maatregelen: wanneer bepaalde opties niet acceptabel of implementeerbaar blijken te zijn nemen de kosten toe;
- het tijdig nemen van maatregelen: bij langer uitstel wordt het moeilijker en zeer waarschijnlijk duurder om lage stabilisatieniveaus nog te bereiken;
- het verbreden van de inzet van emissiehandel: emissiehandel bevordert een kosten effectieve aanpak en biedt zekerheid over het bereiken van emissie doelen;
- het komen tot een bredere deelname van zowel industrie- als ontwikkelingslanden aan nieuwe internationale klimaatafspraken voor na 2012.

Vooraf dit laatste lijkt op dit moment niet eenvoudig gezien de verschillende visies en belangen van landen. Het plaatsen van klimaatbeleid in een bredere context van duurzame ontwikkeling kan mogelijk helpen bij het creëren van nieuwe coalities en het nemen van maatregelen die leiden tot synergie voor klimaat, voorzieningszekerheid en luchtverontreiniging.





## Literatuur

- A.H.M Bresser ; M.M Berk; G.J van den Born; L. van Bree; F.W van Gaalen; W. Ligtvoet ; J.G van Minnen; M.C.H Witmer; B. Amelung ; M. Huynen; L. Bolwidt; W. ten Brinke; H. Buiteveld; D. Dillingh; R. van Dorland; R. Leemans; A. van Strien; J. Vermaat (2005): 'De Effecten van Klimaatverandering in Nederland', MNP rapport 773001034, Bilthoven.
- B. Daniëls, J. Farla (2006): Potentieelverkenning Klimaatdoelstellingen en energiebesparing tot 2020 Optie document, ECN/MNP, Petten.
- O.R. Davidson, K. Halsnaes, M. Kok, B. Metz, Y. Sokona, J. Verhagen (2003): 'Development and Climate: the case of Sub-Saharan Africa', *Climate Policy*, 3 (Suppl.1), p.97-113.
- B. Heij, B. Strengers, B. Eickhout, J. van Minnen en M. Berk (2005): 'Hoeveel warmer mag het worden?', MNP Rapport 2005999, Bilthoven.
- M.T.J. Kok en H.C. de Coninck (ed.)(2004). Beyond Climate. Options for Broadening Climate Policy, RIVM report 500019001, Bilthoven.
- B. Metz en D. van Vuuren (2006): 'How, and at what costs, can low-level stabilisation be achieved? –An overview', in": Avoiding Dangerous Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.
- B. Metz, M. Berk, M. den Elzen, B. de Vries, en D. van Vuuren (2002): 'Towards an equitable global climate change regime: compatibility with Article 2 of the Climate Change Convention and the link with sustainable development'. *Climate Policy*, 2, p. 211-230.
- D. van Vuuren, M. den Elzen, P. Lucas, B. Eickhout, B. Strengers, B. van Ruijven, M. Berk, B. Vries, M. Hoogwijk, M. Meinshausen, S. Wonink, R. van Houdt en R. Oostenrijk (2006): Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of options and costs'. MNP Report 5500114002, Bilthoven.
- WRR (2006): 'Klimaatstrategie – tussen ambitie en realisme', Amsterdam University Press, Den Haag/Amsterdam.



## Woordenlijst

**2°C-doelstelling:** Klimaatdoelstelling van de Europese Unie en Nederland: de gemiddelde temperatuur op aarde mag ten opzichte van preindustriële niveau niet met meer dan 2°C stijgen.

**Baseline:** Ontwikkeling van onder andere de economie, de wereldbevolking, ontbossing en het energiegebruik zonder extra klimaatbeleid.

**Biodiversiteit:** totale omvang en verscheidenheid van planten- en diersoorten. De biodiversiteit kan kleiner worden als gevolg van klimaatverandering, maar kan ook worden aangetast door te eenzijdig bebouwen van land, of uitbreiding van landbouwgrond.

**Bio-energie:** energie uit (resten van) planten en dieren. Ook wel biomassa genoemd.

**BNP (Bruto Nationaal Product):** het totale inkomen van de mensen die in een land wonen

**Broeikasgassen:** gassen die de warmtebalans in de dampkring verstoren, omdat zij in de atmosfeer zonnestraling goed doorlaten, maar de uitgaande warmtestraling van de aarde minder goed. CO<sub>2</sub> (kooldioxide), een eindproduct van verbranding van koolstof, is het belangrijkste gas dat bijdraagt aan een versterkt broeikas effect. Andere gassen zijn ondermeer methaan en lachgas.

**CCS (Carbon Capture and Storage):** Het afvangen van het broeikasgas CO<sub>2</sub> uit rookgassen, om dat vervolgens (ondergronds) op te bergen om te voorkomen dat het de atmosfeer bereikt.

**CDM (Clean Development Mechanism):** Zogenoemd 'Kyoto-mechanisme' dat rijkere landen in staat stelt om emissiereducerende projecten in arme landen te realiseren, in ruil voor extra emissieruimte in eigen land. CDM-projecten vinden plaats in ontwikkelingslanden (zie ook: JI)

**ppm CO<sub>2</sub>-equivalent:** eenheid voor de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer. Het effect van andere broeikasgassen dan CO<sub>2</sub> wordt 'terug-gerekend' naar het equivalent van een hoeveelheid CO<sub>2</sub>-moleculen.

**Concentratieniveaus:** concentratie (van broeikasgassen) in de atmosfeer, uitgedrukt in ppm CO<sub>2</sub>-eq. Om uiteindelijk de temperatuurstijging te stoppen, is ook een stabiel concentratieniveau nodig.

**Emissiehandel:** handel in emissierechten. De koper – een land of een bedrijf – koopt overtollige emissieruimte van een ander.

**IPCC:** Intergovernmental Panel on Climate Change, het internationale wetenschappelijke gremium dat periodiek uitgebreide overzichten publiceert van de stand van het wetenschappelijk onderzoek ten aanzien van klimaatverandering, maatregelen die klimaatverandering tegengaan en maatregelen om zich aan te passen aan de gevolgen.

**Jl (Joint Implementation):** Zogenoemd 'Kyoto-mechanisme' dat rijkere landen in staat stelt om emissiereducerende projecten in andere landen te realiseren, in ruil voor extra emissieruimte in eigen land. JI-projecten vinden in het algemeen plaats in voormalige Oostbloklanden. (zie ook: CDM)

**Klimaatverdrag:** Grondslag voor het internationale klimaatbeleid, onder VN-vlag gesloten in 1992 in Rio de Janeiro. Belangrijkste doel: voorkomen van ernstige klimaatverandering.

**Koolstofplantages:** Herbebossing met als doel kooldioxide uit de atmosfeer op te nemen.

**Niet-CO<sub>2</sub> broeikasgassen:** hiertoe worden hier gerekend andere broeikasgassen die ook zijn opgenomen in het Kyoto Protocol: methaan (CH<sub>4</sub>), distikstofoxide of lachgas (N<sub>2</sub>O), fluorhoudende koolwaterstoffen (HKF's en PFK's) en zwavelhexafluoride (SF<sub>6</sub>). Belangrijke broeikasgassen die hier niet onder vallen zijn: waterdamp (H<sub>2</sub>O), ozon (O<sub>3</sub>) en CFK's (onderdeel Ozonverdrag).

**Reductiepaden:** Indicatie van mogelijke ontwikkelingen voor de reductie van de uitstoot van broeikasgassen in de 21<sup>ste</sup> eeuw. De paden kunnen variëren naar gelang van de uitgangspunten en de gebruikte opties in sectoren, regio's en types broeikasgas.

**Scenario's:** Mogelijke ontwikkelingen voor bijvoorbeeld de economie of het energiegebruik in de toekomst. Scenario's zijn geen toekomstvoorspellingen, maar geven aan wat er, gegeven enkele uitgangspunten, zou kunnen gebeuren.

**UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change):** zie Klimaatverdrag.

***Waaiers:** Sets van reductiepaden die kunnen leiden tot een stabiel concentratieniveau van broeikasgas. Een waaier geeft de bandbreedte weer waarbinnen zo'n niveau uiteindelijk kan worden bereikt.*