

MNP Report 500114005/2007

Scenario's klimaatbeleid

S. Boeters¹⁾, M.G.J. den Elzen²⁾, A.J.G. Manders²⁾,
P.J.J. Veenendaal¹⁾ en G. Verweij¹⁾

Contact:

P.J.J. Veenendaal

CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis

P.O.Box 80510, 2508 GM The Hague, The Netherlands

¹⁾ CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis

²⁾ Netherlands Environmental Assessment Agency (MNP)

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de werkgroep van het Interdepartementaal Beleidsonderzoek Toekomstig Internationaal Klimaatbeleid.

Netherlands Environmental Assessment Agency (MNP), P.O. Box 303, 3720 AH Bilthoven, the Netherlands; Tel: +31-30-274 274 5; Fax: +31-30-274 4479; www.mnp.nl/en

Rapport in het kort

Scenario's klimaatbeleid

De ontwikkeling van een toekomstig internationaal klimaatbeleid is met vele onzekerheden omgeven. Dit rapport concentreert zich op de onzekerheid ten aanzien van het klimaatbeleid dat door andere landen mogelijk gevoerd zal worden. Deze context speelt een grote rol binnen de Nederlandse beleidsdiscussie. De beleidsopgave is immers wereldwijd en de beleidsopties zijn dus sterk afhankelijk van de beleidsinspanningen van andere landen. Met vier verschillende scenario's schetst dit rapport alternatieve toekomstbeelden. De vier scenario's onderscheiden zich aan de hand van twee dimensies: de urgentie waarmee tegen het klimaatprobleem wordt aangekeken en de bereidheid die landen tonen om gezamenlijk aan een oplossing te werken. Samen vormen ze mogelijke, uiteenlopende ontwikkelingen in de beleidsomgeving van de EU die relevant zijn bij het identificeren van een robuuste keuze voor opties op het terrein van het klimaatbeleid voor Nederland en de EU. De scenarioanalyses laten zien dat alleen als alle belangrijke landen al vóór 2020 actief betrokken worden bij het reduceren van hun broeikasgasemissies, er substantiële reducties van broeikasgasemissies kunnen worden gehaald. Alleen dan is er een gereede kans op het halen van de 2°C klimaatdoelstelling van de EU. Bij een kleinere samenwerkingsverbanden en bij minder bindende, strikte reductiedoelstelling, stijgen de kosten voor de deelnemers aan een coalitie, terwijl de milieueffectiviteit afneemt.

Trefwoorden: klimaatverandering, klimaatbeleid, scenario's, cap-and-trade, broeikasgas emissies, multi-stadium benadering

Abstract

Post-2012 Climate Policy Scenarios

Many uncertainties are involved in the shaping of post-2012 climate policies. Of these we focus on the uncertainties with respect to the climate policies that may be implemented in other countries. These are predominantly important in the climate policy discussion as the policy question is a global one, whence national policy options crucially depend on the policy efforts of other countries. With four alternative scenarios we sketch possible, alternative developments in the climate policy domain. These four scenarios are characterised by two dimensions: the sense of urgency expressed by the policy goal, and the willingness to resolve the climate problem through concerted action. Together these provide a background that is thought to be relevant for identifying the best mitigation options to reduce future greenhouse gas emissions, both in the Netherlands and the EU, in alternative future states of the climate policy domain. The analysis shows that only if all major countries become actively involved in emissions abatement before 2020, the substantial long-term greenhouse gas emissions reductions can be achieved that are needed to meet the EU climate target of limiting the global temperature increase to 2°C in this century. If coalitions become smaller and reduction targets less binding, the costs to coalition members and the environmental ineffectiveness tend to increase.

Keywords: climate change policy, scenarios, cap-and-trade, greenhouse gas emissions, multi-stage approach

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Scenariobeschrijving	7
2.1	GROTE COALITIE	7
2.2	GEFRAGMENTEERD	8
2.3	GROOTST GEMENE DELER	11
2.4	IMPASSE	12
2.5	Welke scenario's bieden zicht op het halen van de 2°C-doelstelling?	14
2.6	Welke maatregelen zijn nodig om de twee graden doelstelling te halen?	18
3	Conclusies en discussie	20
3.1	Conclusies	20
3.2	Discussie	22
	Bijlage A: karakteristieken van de gehanteerde modellen en van het achtergrondscenario	26
	Bijlage B: Toedeling van emissierechten binnen coalities	29
	Bijlage C: IMAGE, TIMER en FAIR	30
	Bijlage D: Achtergrondscenario	31
	Referenties	33

1 Inleiding

De klimaatproblematiek is met vele onzekerheden omgeven. Er zijn onzekerheden over de verwachte temperatuurstijging bij toenemende concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer, over de gevolgen van temperatuurstijging voor economie en milieu en over de fasering, spreiding en intensiteit van beleidsmaatregelen die beogen de temperatuurstijging te beperken. De onzekerheid ten aanzien van het klimaatbeleid dat door andere landen mogelijk gevoerd zal worden, speelt de Nederlandse beleidsdiscussie parten: de beleidsopgave is een wereldwijde en de beleidsopties zijn dus sterk afhankelijk van de beleidsinspanningen van andere landen. Welke maatregelen niet-EU-landen zullen treffen is onvoorspelbaar, zowel voor de eerste budgetperiode van Kyoto (2008-2012) als in de jaren daarna. Het lijkt daarom zinvol om scenariogewijs alternatieve toekomstige situaties te schetsen, tegen de achtergrond waarvan de effectiviteit van de beschikbare beleidsopties kan worden verkend. Het doel van deze notitie is de scenario's toe te lichten, de uitkomsten voor het jaar 2020 kort te beschrijven en aan te geven in hoeverre de 2°C-doelstelling van de EU daarbij nog haalbaar lijkt.

Scenario's zijn mogelijke, intern consistente beelden van de toekomst. Ze hebben geen voorspellende waarde, maar geven alternatieve toekomstbeelden weer die – vanuit het heden gezien – in vergelijkbare mate waarschijnlijk zijn. Omdat de nadruk ligt op het verkennen van de betekenis van wereldwijd verschillende situaties ten aanzien van het ingezette klimaatbeleid, delen we de scenario's in aan de hand van twee dimensies: de mate van urgentie die spreekt uit het ingezette beleid, en de bereidheid om het klimaatprobleem al dan niet gezamenlijk aan te pakken – unilateraal dan wel multilateraal. Bij twee indelingscriteria passen in beginsel vier verschillende scenario's. In Figuur 1.1 zijn de dimensies weergegeven en de posities van de scenario's.

Figuur 1.1 Positionering van de scenario's naar mate van ambitie en internationale samenwerking



GROTE COALITIE en IMPASSE zijn elkaars tegenhanger. In GROTE COALITIE wordt de ernst van het klimaatprobleem algemeen onderkend en is er een grote bereidheid om gezamenlijk te werken aan een oplossing. Als gevolg hiervan maakt een groot aantal landen effectieve, internationale afspraken. In IMPASSE zijn er te veel landen en regio's die de noodzaak niet inzien om bij te dragen aan klimaatbeleid. Bijgevolg wordt er geen gezamenlijk beleid gevoerd en ook geen krachtig beleid. Voor gezamenlijk beleid ontbreekt het politieke draagvlak, terwijl de landen die wel afzonderlijk beleid voeren geen hoog ambitieniveau tonen, in de wetenschap dat krachtig beleid tot niet veel zoden aan de dijk zal zetten maar wel tot hogere kosten zal leiden. Ook de scenario's GEFRAGMENTEERD en GROOTST GEMENE DELER staan diametraal tegenover elkaar. In GEFRAGMENTEERD wordt weliswaar algemeen erkend dat klimaatverandering een serieus probleem is, maar verschillen landen in de prioriteit die ze eraan geven. Zo zien – bijvoorbeeld – de Verenigde Staten energievoorzieningszekerheid als een minstens even groot probleem. Mede vanwege prioriteitsverschillen tussen landen is de wil (en de mogelijkheid) om samen te werken beperkt. Daarom ontstaat een breed, veelkleurig palet aan beleidsmaatregelen zonder veel internationale samenwerking. GROOTST GEMENE DELER laat gemiddeld genomen weinig urgentie zien maar wel afstemming over wat er nog rest aan internationaal klimaatbeleid. In dit scenario willen landen wel samenwerken maar niet te ver voor de muziek uit lopen. Het gevolg is dat de internationale afspraken worden afgestemd op wat het minst ambitieuze land wil bereiken: de grootst gemene deler.

De scenario's zijn uitgewerkt tot het jaar 2020 tegen de achtergrond van een basispad tot het jaar 2100. In dit achtergrondscenario is geen sprake van klimaatbeleid. Met het WorldScan model worden de economische implicaties van het ingezette klimaatbeleid geschetst in het jaar 2020 en de bijbehorende emissiereducties gegenereerd in termen van fossiel CO₂. Hierbij worden alleen de kosten van het terugbrengen van de fossiele CO₂-uitstoot in kaart gebracht. De kosten van adaptatie en de schade van klimaatverandering blijven dus buiten beschouwing. Op de onderscheiden markten wordt volledige concurrentie verondersteld. Met de modellenreeks IMAGE, TIMER en FAIR worden de scenario-implicaties voor de concentratie van broeikasgassen op langere termijn geduid en daarmee de haalbaarheid van de 2°C doelstelling. Bijlage A geeft in het kort de voornaamste karakteristieken van de gehanteerde modellen en hun gezamenlijke achtergrondscenario. Hoofdstuk 2 beschrijft welke veronderstellingen ten aanzien van het ingezette klimaatbeleid in de vier scenario's zijn gehanteerd en wat hiervan de consequenties zijn voor economie, CO₂-emissies en de haalbaarheid van de 2°C-doelstelling. Hoofdstuk 3 bevat de conclusies en bespreekt bovendien enkele voor de beleidsdiscussie relevante onderwerpen.

2 Scenariobeschrijving

2.1 GROTE COALITIE

Dit scenario is het 'ideaal' waar de inzet in de internationale onderhandelingen van Nederland en de EU op is gericht. Het lukt om een grote coalitie te smeden waaraan niet alleen alle Annex I-landen meedoen maar ook grote, snelgroeiende ontwikkelingslanden zoals China, India en Brazilië. In een nieuw klimaatverdrag wordt de zogenaamde Multi-stadia benadering (Den Elzen et al., 2006) toegepast. Het verdrag legt zodanige inspanningen vast dat de 2°C-doelstelling naar verwachting haalbaar blijft. De vorm en de mate van inspanning van de verschillende landen wordt bepaald door hun ontwikkelingsniveau en uitstoot per hoofd. Zo worden de emissies in de minst ontwikkelde landen niet beperkt, terwijl voor landen in een verder stadium van ontwikkeling relatieve doelstellingen gelden. De Annex I-landen accepteren een absoluut gezamenlijk emissieplafond.

De kosten van de aanzienlijke emissiereducties blijven beperkt doordat emissiehandel op brede schaal wordt toegepast. Niet alleen in de landen met absolute doelstellingen (Annex I), maar ook in die met relatieve doelstellingen (China, India en Brazilië) wordt emissiehandel ingevoerd voor ten minste de energie-intensieve sectoren. CDM is nog wel een mogelijkheid in de landen waar geen emissiebeperkingen gelden, maar gezien het grote potentieel aan relatief goedkope reductieopties in de zich snel ontwikkelende landen die via emissiehandel bereikbaar zijn, speelt CDM geen noemenswaardige rol.

Aan dit scenario is als volgt in kwantitatief opzicht vorm gegeven. Voor Annex I gelden voor het post-2012 tijdperk emissieplafonds die geleidelijk zorg dragen voor een uitstootvermindering van fossiel CO₂ in het jaar 2020 met 20% ten opzichte van 1990. Bij de rechtentoedeling aan landen wordt gewogen met de uitstoot per hoofd (zie Bijlage A). Op de lange termijn krijgen de landen emissierechten op basis van gelijke emissies per hoofd. Hierdoor krijgen de landen met de hoogste per hoofd uitstoot relatief minder rechten. Latijns Amerika, het Midden-Oosten en China reduceren vanaf het jaar 2011 hun emissies jaarlijks met 1% ten opzichte van het achtergrondscenario, terwijl de jaarlijkse relatieve vermindering voor India de helft hiervan bedraagt. Alle emissierechten zijn vrij verhandelbaar. De rest van de wereld heeft geen emissiedoelstelling en draagt *de facto* ook niet bij via CDM. Op bescheiden schaal komen middelen voor adaptatie beschikbaar door een heffing van 0,1 €/ tCO₂ op de invoer van emissierechten door Annex I landen. Deze middelen komen ten goede aan de niet-Annex I-landen in verhouding tot hun bevolkingsomvang.

Tabel 2.1 GROTE COALITIE, 2020

	Percentage CO ₂ -reductie			Emissieprijs €/ tCO ₂	Nationaal Inkomen % verandering t.o.v. baseline
	Doelstelling of (feitelijk in 2020) t.o.v. emissies 1990	Doelstelling t.o.v. baseline emissies 2020	Emissies 2020 t.o.v. baseline emissies 2020		
	(%)	(%)	(%)		
Annex I-landen	-20	-34	-19	24	-0,3
EU-25	-23	-38	-15	24	-0,4
Verenigde Staten	-24	-47	-20	24	-0,3
Voormalige Sovjet- Unie	-13	7	-22	24	0,8
Rest OECD	-16	-39	-18	24	-0,4
Niet-Annex I-landen	(100)	--	-23	--	0,0
China	101	-10	-45	24	0,4
India	210	-5	-30	24	0,1
Wereld	(28)	--	-21	--	-0,2

Bron: WorldScan (zie Bijlage A)

Bij deze kwantitatieve veronderstellingen blijken de emissies wereldwijd in 2020 nog toegenomen met 28% ten opzichte van 1990 (zie Tabel 2.1). Dit valt nog juist binnen de emissiewaai die verenigbaar is met de 2° C-doelstelling (zie paragraaf 2.5). De tabel laat tevens zien, dat het merendeel van de Annex I-landen rechten importeert, zowel uit de voormalige Sovjet-Unie als uit de landen van niet-Annex I. Dankzij deze handel in emissierechten bedraagt de emissieprijs 24 €/tCO₂ in 2020 binnen de GROTE COALITIE. Het welvaartsverlies voor Annex I is gemiddeld 0,3% in termen van nationaal inkomen. Voormalige Sovjet-Unie realiseert een welvaartswinst van 0,8% door verkoop van emissierechten bij een niet-restrictieve emissiedoelstelling. De welvaartsverbetering voor niet-Annex I is gemiddeld genomen gering. Door de verkoop van rechten kan in China het nationaal inkomen met 0,4% toenemen.

Al met al laat GROTE COALITIE duidelijk zien, dat samenwerking loont: de -20% doelstelling voor Annex I wordt bereikt bij relatief geringe veranderingen in welvaart in het jaar 2020.

2.2 GEFRAGMENTEERD

Ook in dit scenario wordt de urgentie van het klimaatvraagstuk breed gevoeld, zij het in verschillende mate in de verschillende landen terwijl ook binnen landen over de ernst van het klimaatprobleem anders wordt gedacht. Mede daardoor is het onmogelijk om tot internationaal bindende afspraken te komen. Landen (en binnen landen: staten, regio's, provincies of steden), groepen van landen, bedrijven en sectoren bepalen hun beleid zélf – zonder wereldwijde,

gecoördineerde afstemming. Hierdoor ontstaat een veelkleurig palet van gefragmenteerd internationaal klimaatbeleid. De mogelijke nevenbaten van klimaatbeleid in de vorm van energievoorzieningszekerheid of vermindering van lokale milieuproblemen spelen een belangrijke rol bij de beleidsvormgeving.

In de Verenigde Staten ligt op federaal niveau de nadruk vooral op technologieontwikkeling. Het verbeteren van de energievoorzieningszekerheid speelt hierbij een belangrijke rol. Hierdoor is er veel aandacht voor biobrandstoffen en voor energiebesparing door bijvoorbeeld het instellen van labels of productnormen en het maken van afspraken met de industrie.

Internationaal blijven de Verenigde Staten zich richten op voortzetting en verdere verdieping/verbreding van de technologiefora en het Asian Pacific Partnership (APP). Clean Development Mechanismen (CDM) speelt geen rol in de Verenigde Staten, niet alleen vanwege het ontbreken van emissiehandel maar ook omdat CDM niet helpt voor de voorzieningszekerheid. Binnen de Verenigde Staten is een aantal staten ambitieuzer dan de federale overheid. In sommige staten wordt emissiehandel ingevoerd (zoals in Californië en een aantal noordoostelijke staten), terwijl in andere verplichtingen gelden voor het aandeel van duurzame energie of wordt geëxperimenteerd met de afvang en opslag van CO₂ van kolencentrales. Ook Australië en Canada leggen in grote lijnen de nadruk op technologieontwikkeling. De EU zet het systeem voort van een absoluut plafond met emissiehandel en ook Japan blijft aanhanger van dit systeem. De emissiehandelssystemen van de EU, Japan en een aantal Amerikaanse staten worden op de lange termijn aan elkaar gekoppeld, zodat een grotere markt ontstaat met lagere kosten. In de grote en zich snel ontwikkelende landen gaat de aandacht vooral uit naar energievoorzieningszekerheid en lokale luchtkwaliteit. Specifieke investeringen in de reductie van broeikasgasemissies komen alleen van de grond als deze vanuit andere landen of instellingen worden gefinancierd door bijvoorbeeld CDM. De omvang blijft echter beperkt. Bij het ontbreken van effectieve afspraken tussen landen zijn initiatieven van andere overheden (zoals bij de emissiehandel tussen Amerikaanse staten met de EU en Japan) en van de private sector belangrijk. In een aantal sectoren worden internationale afspraken gemaakt over emissiereductie. Deze kunnen de vorm aannemen van een vrijwillig emissieplafond of van afspraken over efficiencydoelstellingen. Omdat het niet aannemelijk is dat private sectoren wel slagen in het maken van effectieve afspraken, waar dit op landenniveau niet is gelukt, dragen de maatregelen op sectorniveau maar in bescheiden mate bij aan de emissiereductie.

Ter kwantificering van dit scenario zijn de volgende veronderstellingen gemaakt.

De EU legt voor 2020 een emissieplafond op dat 15% ligt beneden de emissies van 1990. Bij de toedeling van emissierechten aan de lidstaten wordt gewogen met de emissies per hoofd. Zo'n 20% van de emissiereductie wordt gerealiseerd door CDM-projecten in Latijns Amerika, het Midden-Oosten, China en India. Ook Japan vermindert zijn emissies tot 10% beneden de emissies van 1990. Emissierechten zijn vrij verhandelbaar tussen de EU en Japan. De overige OECD-landen en de voormalige Sovjet-Unie bevriezen hun emissieniveau op het niveau van

2006 door een belasting op uitstoot. Ze handelen niet in emissierechten en maken geen gebruik van CDM. Latijns Amerika, het Midden-Oosten, China en India slagen erin om jaarlijks de energie-efficiëntie met 0,5% te doen toenemen ten opzichte van het achtergrondscenario. In de rest van de wereld gelden geen emissiebeperkingen. Multinationale ondernemingen maken afspraken die ertoe leiden dat in de energie-intensieve sectoren buiten EU-25 de energie-efficiëntie met 0,15% per jaar verbetert ten opzichte van het achtergrondscenario. De centrale veronderstelling bij de kwantificering van GEFRAGMENTEERD is dat het beleid van de Verenigde Staten niet heel restrictief is. Het is dan weinig aannemelijk dat andere Annex I-landen zich sterker zouden inspannen dan nu al is verondersteld (zie hiervoor ook paragraaf 2.5).

Tabel 2.2 **GEFRAGMENTEERD, 2020**

	Percentage CO ₂ -reductie			Emissieprijs €/tCO ₂	Nationaal Inkomen % verandering t.o.v. baseline
	Doelstelling of (feitelijk in 2020) t.o.v. emissies 1990 (%)	Doelstelling t.o.v. baseline emissies 2020 (%)	Emissies 2020 t.o.v. baseline emissies 2020 (%)		
Annex I-landen	-1	-19	-17	25	-0,3
EU-25	-15	-32	-27	51	-0,6
Verenigde Staten	25	-12	-12	14	-0,0
Voormalige Sovjet-Unie	-25	-7	-7	7	-0,7
Rest OECD	3	-25	-20	34	-0,4
Niet-Annex I-landen	(147)	--	-5	--	0,0
China	105	-5	-8	2	0,0
India	203	-5	-7	4	0,0
Wereld	(45)	--	-11	--	-0,2

Bron: WorldScan

Mondiaal nemen in GEFRAGMENTEERD de emissies met 45% toe in vergelijking tot 1990. Het welvaartsverlies voor Annex I is gemiddeld genomen vergelijkbaar met dat in GROTE COALITIE (-0,3%) maar binnen Annex I zijn er aanzienlijke verschillen in welvaartseffecten. Zo nemen de kosten toe voor EU-25 (-0,6%) en de voormalige Sovjet-Unie (-0,7%), terwijl de Verenigde Staten bij een geringere inspanning ook lagere kosten hebben (-0,0%). Het hogere welvaartsverlies voor de EU-25 valt te verklaren uit de aanzienlijk hogere emissieprijs (51 €/tCO₂ in 2020) vanwege de geringe internationale beschikbaarheid van emissierechten. Het welvaartsverlies van de voormalige Sovjet-Unie komt voort uit ruilvoetverlies (door de lagere prijs van ruwe olie) en het gemis aan verkoopmogelijkheden van 'hot air'. De niet-Annex I-landen boeken een minimale welvaartswinst.

Al met al illustreert GEFRAGMENTEERD treffend het grote belang van een internationaal geïntegreerde aanpak: de macro-economische kosten van het beleid zijn *grosso modo*

vergelijkbaar met die van GROTE COALITIE, maar de milieueffectiviteit is veel geringer (45% emissiestijging ten opzichte van 1990 tegenover 28% in GROTE COALITIE).

2.3 GROOTST GEMENE DELER

Ook in dit scenario wordt de opwarming als een probleem erkend. De urgentie ervan wordt echter niet door alle belangrijke spelers even sterk gevoeld. Er is – ook in de Verenigde Staten – wel enige bereidheid tot actie, mits deze multilateraal is afgestemd met het oog op de kosten en de gevolgen voor de concurrentiepositie. In landen waar het klimaatprobleem als urgenter wordt ervaren, zoals in de EU en Japan, past men er voor te ver voor de muziek uit te lopen. Ook in deze landen staat samenwerking voorop. Men is bereid om op het ene terrein van internationale samenwerking wat toe te geven als daardoor op andere terreinen eveneens afspraken kunnen worden gemaakt. De Verenigde Staten gaan daarom akkoord met nieuwe internationale afspraken over emissiereductie. De EU accepteert dat dit betekent dat de doelstellingen niet erg ambitieus zullen zijn. Het ambitieniveau van het nieuwe protocol wordt bepaald door de GROOTST GEMENE DELER, het niveau waarmee alle landen nog in kunnen stemmen. Aan het nieuwe internationale protocol nemen de Annex I-landen deel. De doelstellingen zijn niet erg vergaand. Emissiehandel wordt voortgezet (EU-25) dan wel ingevoerd (Verenigde Staten, Canada) en ook CDM wordt gecontinueerd. De grote, snel groeiende landen participeren alleen in CDM.

GROOTST GEMENE DELER is als volgt gekwantificeerd. EU-25 en Japan blijven zich richten op de doelstellingen van het Kyoto Protocol, die worden doorgetrokken naar 2020. Bij de toedeling van emissierechten wordt gewogen met de emissies per hoofd. In de andere Annex I-landen is het emissieplafond van 2020 gelijk aan de feitelijke emissies van 2006. De emissierechten zijn binnen Annex I vrij verhandelbaar. Tien procent van de reducties in Annex I heeft plaats via CDM in Latijns Amerika, het Midden-Oosten, China en India.

Mondiaal nemen in 2020 in GROOTST GEMENE DELER de emissies met 48% toe in vergelijking met 1990 bij een emissieprijs van 18 €/tCO₂ in Annex I. Het welvaartsverlies voor Annex I-landen bedraagt ten hoogste 0,3% terwijl de welvaartsverandering voor de niet Annex I-landen verwaarloosbaar klein is. Hoewel de reductiedoelstellingen van Annex I veel minder ambitieus zijn dan in GROTE COALITIE zijn de feitelijke reducties in Annex I maar weinig lager. Als de ontwikkelingslanden ook doelstellingen op zich nemen en deelnemen aan emissiehandel, zoals in GROTE COALITIE, kunnen de reductiedoelstellingen van Annex I veel ambitieuzer zijn. Het verschil in ambitie wordt hoofdzakelijk gerealiseerd door rechteninvoer uit de snel groeiende ontwikkelingslanden en leidt dus maar in zeer beperkte mate tot een kostenstijging.

Tabel 2.3 GROOTST GEMENE DELER, 2020

	Percentage CO ₂ -reductie			Emissieprijs	Nationaal Inkomen
	Doelstelling of (feitelijk in 2020) t.o.v. emissies 1990	Doelstelling t.o.v. baseline emissies 2020	Emissies 2020 t.o.v. baseline emissies 2020		
	(%)	(%)	(%)	€/ tCO ₂	% verandering t.o.v. baseline
Annex I-landen	1	-17	-16	18	-0,1
EU-25	-8	-26	-13	18	-0,3
Verenigde Staten	25	-12	-17	18	-0,0
Voormalige Sovjet-Unie	-25	-7	-19	18	-0,2
Rest OECD	4	-24	-15	18	-0,2
Niet-Annex I-landen	(156)	--	-1	--	0,0
China	118	--	-2	--	0,0
India	221	--	-2	--	0,0
Wereld	(48)	--	-9	--	-0,1

Bron: WorldScan

2.4 IMPASSE

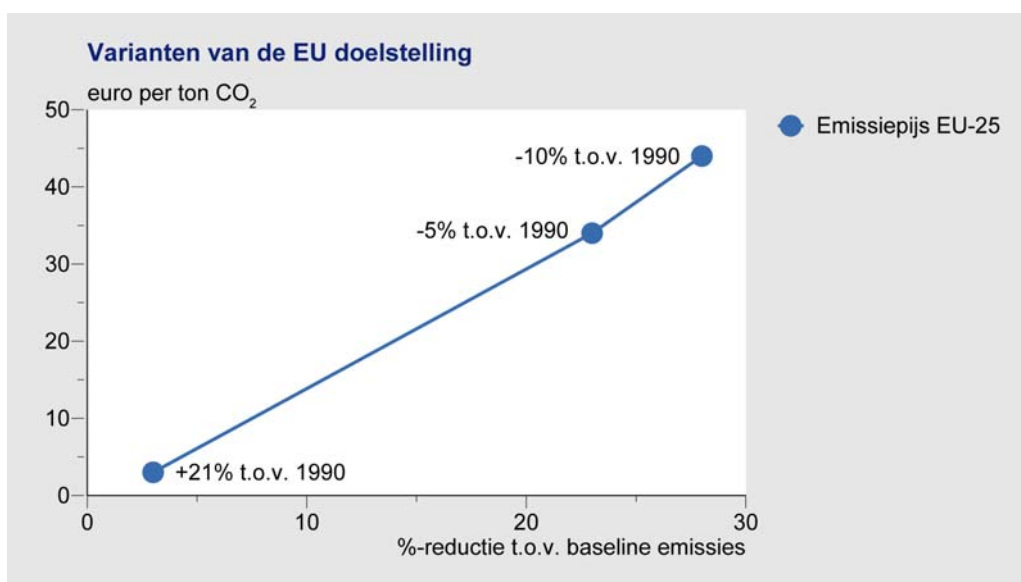
Ondanks veel onderhandelen lukt het de ontwikkelde en de zich snel ontwikkelende, grote landen niet om klimaatafspraken te maken voor na 2012. Vooral in de Verenigde Staten, Voormalige Sovjet-Unie en China, ontbreekt het vooralsnog aan voldoende gevoel van urgentie. Als gevolg daarvan ontstaat er een IMPASSE en komen er geen vervolgspraken voor het post-2012 tijdperk. De Verenigde Staten zetten het beleid voort dat gericht is op het stimuleren van technologieontwikkeling en blijven participeren in het APP. De EU probeert intern het emissiehandelssysteem overeind te houden – in afwachting van betere tijden op een laag ambitieniveau. Zo hoopt men later, wanneer er internationaal meer aandacht komt voor klimaatbeleid, relatief eenvoudig over te kunnen stappen naar een meer strikte emissiebeperking. CDM blijft een optie maar zal bij een lage CO₂-prijs nauwelijks worden benut. De overige Annex I-landen voeren nauwelijks klimaatbeleid. Het klimaatbeleid van deze landen lift waar mogelijk mee met ander beleid, zoals beleid gericht op voorzieningszekerheid en lokale vervuiling. Japan, Australië en Canada vallen terug op het APP waarvan de op basis van vrijwilligheid gemaakte afspraken weinig effectief zijn. Ook de Aziatische ontwikkelingslanden blijven participeren in het APP. De ontwikkelingslanden nemen geen nieuwe initiatieven, maar zijn wel bereid om mee te blijven doen met CDM. IMPASSE is als volgt gekwantificeerd. EU-25 legt voor 2020 een emissieplafond op dat 5% lager ligt dan de emissies van 1990. De emissierechten worden toegedeeld door te wegen met de

emissies per hoofd. De overige OESO-landen slagen erin hun emissies met 0,25% per jaar te doen afnemen in vergelijking met het achtergrondscenario. Er wordt geen gebruik gemaakt van CDM en er is – buiten de EU-interne markt – geen handel in emissierechten.

Tabel 2.4 **IMPASSE, 2020**

	Percentage CO ₂ -reductie			Emissieprijs	Nationaal Inkomen
	Doelstelling of (feitelijk in 2020) t.o.v. emissies 1990	Doelstelling t.o.v. baseline emissies 2020	Emissies 2020 t.o.v. baseline emissies 2020		
	(%)	(%)	(%)	€/ tCO ₂	% verandering t.o.v. baseline
Annex I-landen	12	-8	-8	11	-0,2
EU-25	-5	-24	-24	42	-0,5
Verenigde Staten	39	-3	-3	2	0,0
Voormalige Sovjet-Unie	-21	-3	-3	2	-0,4
Rest OECD	33	-3	-3	3	0,0
Niet-Annex I-landen	(161)	--	0	--	0,0
China	(123)	--	0	--	0,0
India	(228)	--	0	--	0,0
Wereld	(56)	--	-4	--	-0,1

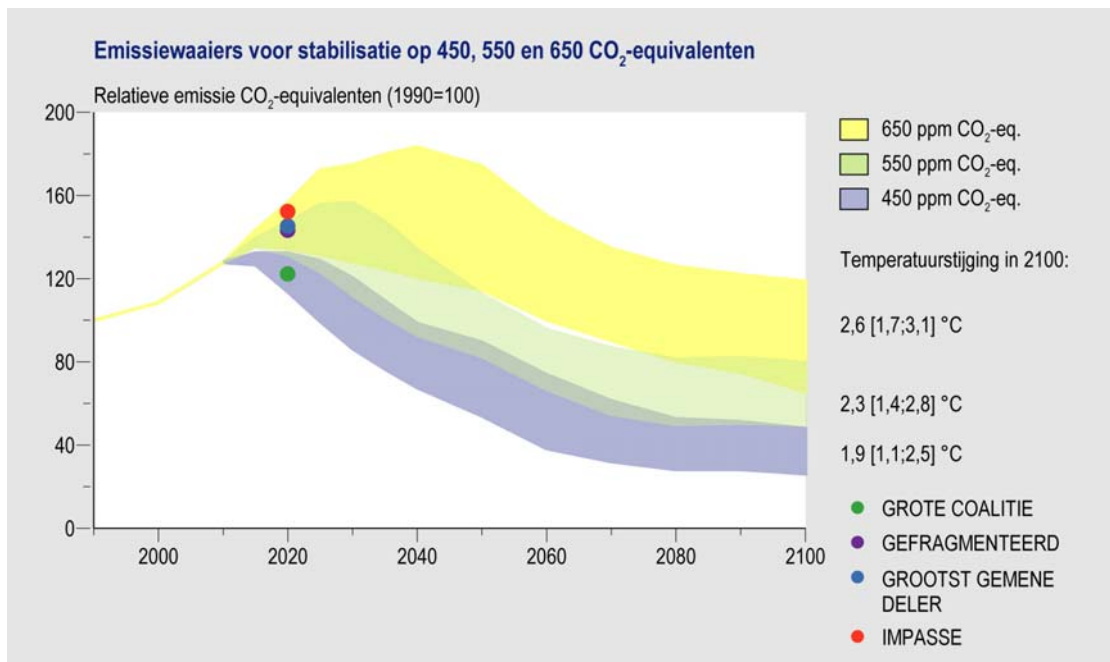
In IMPASSE nemen de mondiale emissies met 56% toe ten opzichte van 1990. Voor EU-25 geldt een emissieprijs van 42 €/tCO₂ in 2020 en een welvaartsverlies van 0,5%. Dat het in deze situatie nauwelijks zin heeft voor de EU om ambitieuzer te zijn, komt naar voren uit de resultaten van een variant waarin het EU-plafond wordt gesteld op 10% emissiereductie ten opzichte van 1990 (zie Figuur 2.1). In dat geval nemen de kosten toe: de emissieprijs stijgt tot 54 €/tCO₂ in 2020 en het welvaartsverlies neemt toe tot 0,6% van het nationale inkomen maar extra baten voor het milieu zijn er nauwelijks. Mede als gevolg van de migratie van emitterende activiteiten naar andere landen, leidt de verhoogde inspanning van de EU slechts tot een vermindering van de wereldwijde emissies met 1%-punt in termen van de emissies van 1990. Wanneer de EU-25 zou besluiten om hetzelfde te doen als de andere OESO-landen, i.e. -0,25% afname per jaar ten opzichte van de baseline, dan komen de emissies van de EU-25 uiteindelijk 21% boven het niveau van 1990 uit, en bereikt de emissieprijs slechts 3 €/tCO₂.



Figuur 2.1. Varianten van de EU-klimaatdoelstelling

2.5 Welke scenario's bieden zicht op het halen van de 2°C-doelstelling?

Figuur 2.2 vergelijkt de positie van de 2020 broeikasgasemissies van de verschillende scenario's (zie Tabel 2.5) met de 'waaiers' van samenhangende verzamelingen van emissiepaden ('emissiewaaiers'). Deze waaiers geven grafisch weer binnen welke bandbreedte de uitstoot deze eeuw moet blijven om nog te komen tot de stabilisatieniveaus van broeikasgassen op het niveau van 450, 550 en 650 ppm CO₂-eq (Den Elzen et al., 2006). Voor 450 ppm veronderstellen we dat de concentraties tot 2060 tot ongeveer 500 ppm mogen stijgen, gezien de huidige hoge concentraties, en pas na 2150 kunnen stabiliseren tot op 450 ppm. Indien een dergelijke 'overshoot' niet wordt geaccepteerd zijn emissiereducties in de orde van 70 procent ten opzichte van het huidige niveau in 2050 nodig om de concentratie op 450 ppm te kunnen stabiliseren. (Zie bijvoorbeeld ook Stern, 2006). In het Stern Review wordt gewaarschuwd voor de risico's die samenhangen met het toestaan van een 'overshoot', zoals hier beschreven. Namelijk dat bij het toestaan van een 'overshoot' de temperatuur ook sneller zou stijgen en langer hoog zou blijven alvorens weer te dalen. Echter een beperkte overshoot bij 450 ppm leidt op de korte termijn niet tot hogere temperatuurstijging dan een stabilisatie op 500 ppm, i.e. het laagste concentratieniveau dat Stern voor mogelijk houdt. De temperatuursverandering van de 450 ppm (overshoot) is tijdens de eenentwintigste eeuw wel hoger dan een stabilisatie op 450 ppm. Op de lange termijn (tweeëntwintigste eeuw) zijn de temperatuureffecten van de overshoot en stabilisatie op 450 ppm gelijk en ligt de stabilisatie op 500 ppm hierboven.



Figuur 2.2 Emissiereducties van de scenario's in relatie tot emissiewaaiers en kans op het halen van de EU-klimaatdoelstelling, gebaseerd op Den Elzen et al. (2006). De temperatuurstijging is gebaseerd op een gemiddelde klimaatgevoeligheid van 2,5 °C en de onzekerheidsmarge [1,5-4,5] °C.

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 emissiepaden die zich op de korte termijn (tot 2020-2030) aan de bovenkant van de waaier bevinden, de zogenaamde 'delayed response' paden, zullen na een periode van maximale emissiereducties (2%/jaar voor 650 ppm, 2,5% voor 550 ppm en 3% voor 450 ppm), langs de onderkant van de waaier verder gaan. Voor paden die starten aan de onderkant, de zogenaamde 'early-action' paden, geldt het omgekeerde.

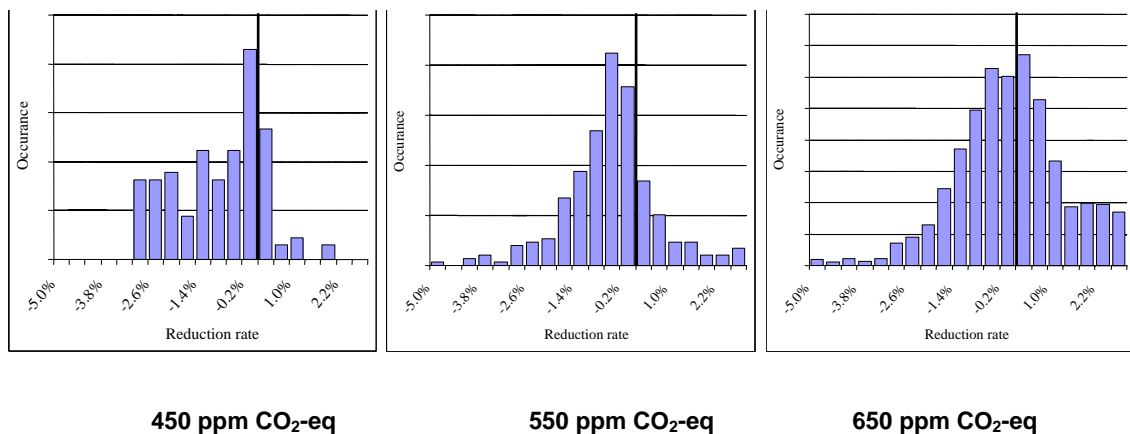
De nieuw samengestelde 'emissiewaaiers' leiden tot het inzicht dat haast is geboden. Als de wereld er niet in slaagt om de groei in de emissies vóór 2025 om te buigen in een scherpe daling, dan kunnen lage concentratieniveaus niet meer (tijdig) worden bereikt. Daarmee wordt een temperatuurstijging van meer dan 2°C zeer waarschijnlijk. Voor het halen van de 2°C-doelstelling met een zekerheid van meer dan 50% is een stabilisatieniveau nodig van 450 ppm CO₂-eq. (Den Elzen en Meinshausen, 2005). Dit betekent op de lange termijn (2050) emissiereducties van 30-50% ten opzichte van 1990.

GROTE COALITIE leidt tot een stijging van de fossiele CO₂-emissies met +28% ten opzichte van het 1990-niveau. Het scenario lijkt heel sterk op het 450 ppm CO₂-equivalent scenario (Den Elzen et al., 2006). Hierin nemen de mondiale emissies van broeikasgassen (inclusief de niet-CO₂-broeikasgassen en de CO₂-emissies van landgebruik) in geringere mate toe, met 22% in 2020. Dit komt doordat op de korte termijn vanwege kostenvoordelen het aandeel van de niet-

CO₂-emissiereducties groter is dan de CO₂ emissiereducties. Voor GROTE COALITIE vertalen we de toename van de fossiele CO₂-emissies met +28%, in een stijging met +22% van de mondiale broeikasgasemissies, zoals weergegeven in Figuur 2.2 en Tabel 2.5. GROTE COALITIE is het enige scenario dat zich binnen de waaier van 450 ppm CO₂-eq bevindt, en een gerede kans (van meer dan 50%) heeft op het halen van de EU klimaatdoelstelling van 2°C.

Emissiewaaiers

Bij de berekening van de emissiewaaiers veronderstellen we dat mondiale emissiereducties van meer dan 2-3% per jaar voor een langere periode niet haalbaar zijn, met welk ambitieus klimaatbeleid dan ook. In Figuur 2.3 staan de 10-jaars gemiddelden van mondiale reductiesnelheden van honderden mondiale mitigatiescenario's van zowel energie- als economiemodellen in de periode 2010-2100 (dus 9 punten per scenario). De figuur toont duidelijk aan dat er nauwelijks scenario's zijn die voorbij de mondiale reductiesnelheid van 3% per jaar gaan. Voor de categorie van 650 ppm CO₂-eq stellen we de maximale reductiesnelheid op 2%, voor 550 ppm CO₂-eq op 2,5% en voor het 450 ppm CO₂-eq scenario op 3%. De ondergrens van de berekende emissiewaaiers is op deze aannames gebaseerd. In elke categorie zijn er wel scenario's die sneller gaan, maar de meeste daarvan kunnen worden gezien als uitzonderingsgevallen. Een grotere reductiesnelheid is overigens wel mogelijk door versnelde inzet van bio-energie. Hiermee kunnen maximale mondiale reductiesnelheden van meer dan 5% per jaar worden gegenereerd. De praktische haalbaarheid hiervan is overigens nog onduidelijk. Het grootschalig verbouwen van biomassa voor energietoepassingen kan een stevige wissel trekken op toekomstig landgebruik, en daarmee de productie van voldoende voedsel in gevaar brengen. Daarom laten we deze optie in de huidige berekeningen vooralsnog buiten beschouwing.



Figuur 2.3. De mondiale reductiesnelheden van mitigatiescenario's (Van Vuuren et al., 2006)

Tabel 2.5 Toename van alle broeikasgassen in relatie tot de toename van fossiel CO₂, naar scenario, 2020

	Toename fossiel CO ₂ als % van 1990	Toename alle broeikasgassen als % van 1990
GROTE COALITIE	28	22
GEFRAGMENTEERD	45	43
GROOTS GEMENE DELER	48	45
IMPASSE	56	52

GEFRAGMENTEERD leidt tot een substantiële toename van de wereldwijde emissies (+45% CO₂ in 2020 ten opzichte van 1990), en zal een beperkte kans (34%) hebben op het halen van 2°C. Hierbij is een discussie over de in dit scenario veronderstelde reductie-inspanningen wel op zijn plaats. Den Elzen en Meinshausen (2005) hebben laten zien dat wanneer de Verenigde Staten in 2025 hun emissieniveau terugbrengen tot dat van het jaar 2000 en alleen Latijns Amerika, het Midden-Oosten en China geringe relatieve doelstellingen op zich nemen, de andere Annex I-landen (de EU, voormalige Sovjet-Unie, Japan en Canada) hun emissies met minstens 60% ten opzichte van 1990 moeten reduceren om de 2°C-doelstelling te halen. Dit is een factor 3 hoger dan in GROTE COALITIE. In GEFRAGMENTEERD bestaat de coalitie die reductieverplichtingen op zich neemt, echter slechts uit de EU en Japan, en zullen de uiteindelijk benodigde reducties om de 2°C-doelstelling te halen zelfs nog hoger moeten zijn dan 60%. Dit is vrijwel uitgesloten. We mogen hieruit wel concluderen dat zelfs als in GEFRAGMENTEERD was verondersteld dat landen agressiever beleid voeren (hoewel ongecoördineerd en zonder internationale verplichtingen voortvloeiend uit een klimaatverdrag), dit toch niet leidt tot een gerede kans op het halen van de 2°C-doelstelling. De veronderstelde omvang van de coalitie én de veronderstelde intensiteit van het beleid bepalen wanneer een scenario verenigbaar is met de temperatuurdoelstelling. Het is ook zeer de vraag, of in GEFRAGMENTEERD de EU vanuit bijvoorbeeld het oogpunt van voorzieningszekerheid of lokale milieukwaliteit zulke vergaande reducties op zich zal willen nemen. Bij bijvoorbeeld energievoorzieningszekerheidsbeleid is de verwachting dat kosteneffectieve ingrepen beduidend minder vergaand zullen zijn dan bij klimaatbeleid. Bovendien kan voorzieningszekerheidsbeleid ook strijdig zijn met klimaatbeleid als het leidt tot een grotere inzet van ‘vieze’ kolen. Een goede onderbouwing wat landen aan reductiemaatregelen bereid zijn te nemen ten behoeve van ander beleid dan klimaatbeleid, zoals luchtkwaliteitsbeleid of voorzieningszekerheidsbeleid ontbreekt dusverre in de literatuur. De synergie met luchtbeleid kan soms groot zijn, zoals in Oost-Europese landen en China en India. De interacties met voorzieningszekerheidsbeleid zijn nog weinig onderzocht. Dit onderwerp verdient meer aandacht in vervolgonderzoek.

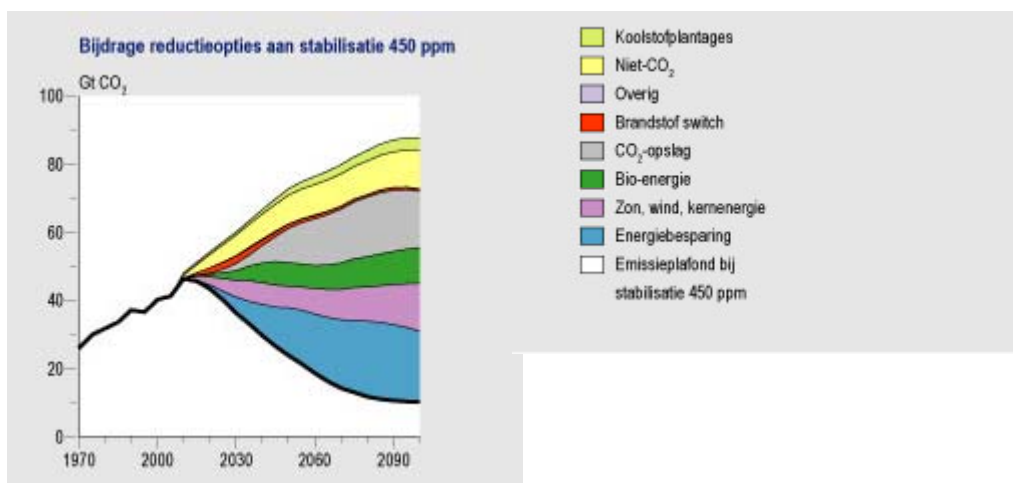
De scenario's GROOTST GEMENE DELER en IMPASSE leiden tot zulke grote emissiestijgingen in 2020 dat de kans om daarna de temperatuurstijging nog te beperken tot 2°C uiterst klein is geworden.

Piekprofielen vergroten de kans op het halen van de 2°C doelstelling

Bij de kansberekeningen van Figuur 2.2 moet worden aangetekend dat deze schattingen uitgaan van stabilisatie van de concentraties. Wanneer we toestaan dat de profielen tijdelijk over de genoemde concentratie heen gaan, en de periode van 'overschrijding' kort is, kunnen dergelijke profielen toch nog tot beperking van de temperatuurstijging leiden. Natuurlijk betekent dit wel dat vanaf 2025, de jaarlijkse mondiale reducties van 3% per jaar voor een langere periode moeten aanhouden. Voor de 450 ppm doelstelling zal pieken in plaats van stabiliseren de kans voor het halen van 2°C niet verhogen, aangezien dit scenario al uitgaat van een overschrijding van de concentraties tot 500ppm. De daaraan gerelateerde piek in temperatuurstijging is uiteindelijk de dominante factor in de bepaling van de kans op 2°C. Als in GEFRAGMENTEERD kort na 2020 de emissies met maximaal 3% per jaar zouden reduceren, dan kan de kans voor het halen van 2°C worden verhoogd van 26% naar 34%. Hierbij wordt wederom de kans op 2°C begrensd door piekwaarden in de concentraties.

2.6 Welke maatregelen zijn nodig om de twee graden doelstelling te halen?

In een recent MNP rapport (Van Vuuren et al., 2006) zijn de reductiemaatregelen verkend, die moeten worden genomen om het klimaatdoel van stabilisatie van de broeikasgas concentraties op 450 ppm CO₂-eq te kunnen halen. Het potentieel van maatregelen in de wereld is in principe voldoende om binnen vijf decennia emissiereducties van zelfs 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 uitmaken. Op langere termijn speelt de transitie naar koolstofneutrale systemen een steeds grotere rol. Naast hernieuwbare energiebronnen of kernenergie komt ook de opslag van CO₂ wereldwijd als een zeer aantrekkelijke technologie naar voren. Ook de beperking van uitstoot van andere broeikasgassen dan CO₂ is zeer aantrekkelijk, vanwege de vaak lage kosten. Deze opties dienen niet uitsluitend het klimaatperspectief, maar leiden ook tot een geringere afhankelijkheid van fossiele brandstoffen, toegang tot moderne energiebronnen, 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.



Figuur 2.4. Gebruik van mondiale reductieopties voor stabiliseren van de concentratie op 450 ppm CO₂ eq. (Van Vuuren et al., 2006)

Deze opties zijn ingezet in simulaties met het TIMER model (Van Vuuren et al., 2006). De koolstofprijs in dit model is beduidend hoger dan die in vergelijkbare WorldScan simulaties. De hoge prijzen maken dure opties (zoals hernieuwbare energie) ook vóór 2020 al mogelijk in TIMER. In WorldScan komen – bij lagere emissieprijsen – de meeste van deze opties tot 2020 nog niet aan bod. Emissiereductie heeft in WordScan plaats doordat minder vervuilende energiedragers de plaats innemen van de meer vervuilende en door substitutie van fossiele energie door kapitaal, zowel in de productie (kapitaalgoederen) als in de consumptie (duurzame consumptiegoederen) waardoor de energie-intensiteit zal afnemen.

Maatregelen in Nederland

Recent zijn voor Nederland de mogelijkheden voor klimaatmaatregelen tot 2020 geïnventariseerd (Daniels en Farla, 2006). 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 uitgaven van 1 à 2 mld euro per jaar, het technische potentieel is zelfs 25%. Uitsluiten van opties leidt tot hogere kosten. Uit de inventarisatie wordt 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.

3 Conclusies en discussie

De scenario's zijn bedoeld om mogelijke, uiteenlopende ontwikkelingen in de beleidsomgeving van de EU te verkennen die relevant zijn bij het identificeren van de meest relevante opties op het terrein van het klimaatbeleid voor Nederland en de EU. De conclusies van de scenarioanalyse zijn zowel gebaseerd op de simulatie-uitkomsten met WorldScan tot 2020 en als op de simulatie-ervaringen met de modellen IMAGE, TIMER en FAIR tot 2100. Hoewel ze niet rechtstreeks kunnen worden afgeleid uit de beschouwde scenario's, worden bovendien ook enkele punten besproken die relevant lijken voor de beleidsdiscussie.

3.1 Conclusies

Uitstootreductie

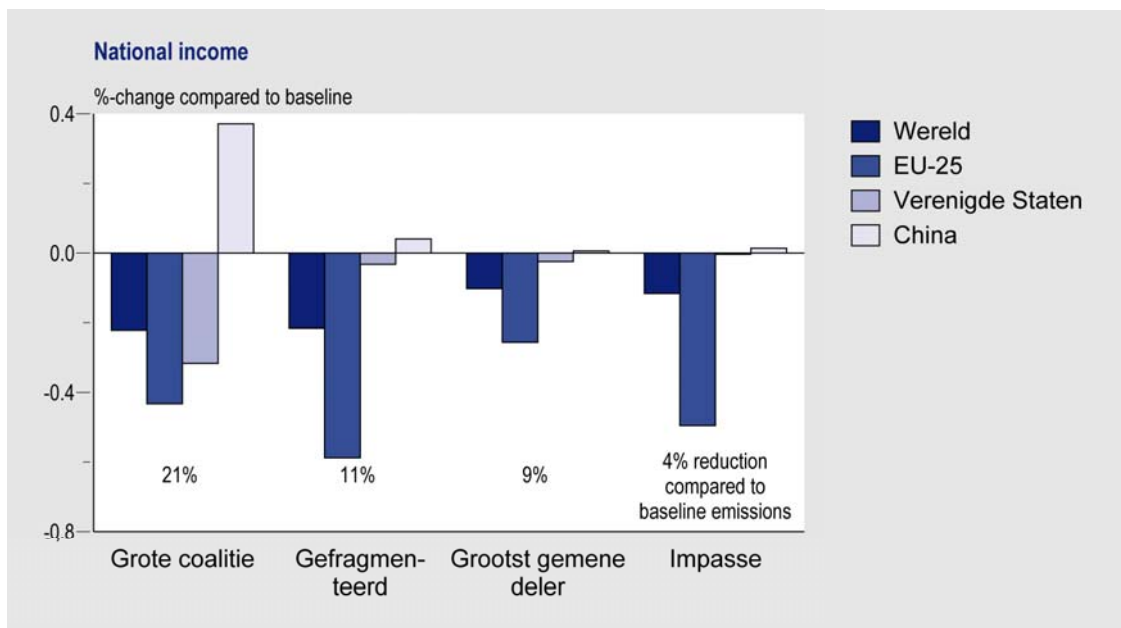
De scenarioanalyses laten zien dat alleen met een mondiale aanpak de substantiële lange termijn reducties van broeikasgassen bereikbaar zijn, die een gereede kans bieden op het halen van de EU-klimaatdoelstelling. In 2020 kunnen daarbij de fossiele CO₂-emissies nog toenemen met (een orde van grootte) van 20-30% ten opzichte van de emissies van 1990. Bij de mondiale aanpak zijn zowel de Verenigde Staten als sterk groeiende, grote ontwikkelingslanden als China, India en Brazilië al vóór 2020 actief betrokken bij het reduceren van hun broeikasgasemissies. Op langere termijn vereist het halen van de 2° C-doelstelling grotere reductie-inspanningen (die leiden tot 30-50% reductie beneden de uitstoot van 1990 in 2050). Alleen het scenario GROTE COALITIE lijkt verenigbaar met de EU-klimaatdoelstelling. In dit scenario nemen de rijke landen het initiatief. Zij nemen grotere reducties op zich dan de ontwikkelingslanden. De ontwikkelingslanden doen gefaseerd mee, en accepteren, afhankelijk van hun ontwikkelingsniveau, eerst relatieve en daarna absolute reductiedoelstellingen. Al deze reductiedoelstellingen zijn in technisch opzicht haalbaar – met bestaande, beschikbare technieken. Het scenario GEFRAGMENTEERD beperkt de wereldwijde groei van emissies maar in beperkte mate. De kans is klein dat dit scenario uiteindelijk verenigbaar zal zijn met de temperatuurdoelstelling. De scenario's GROOTST GEMENE DELER en IMPASSE leiden nog steeds tot zulke grote emissiestijgingen in 2020, dat de kans om daarna de temperatuurstijging nog te beperken tot 2 °C uiterst klein is geworden.

Kosten

Bij wereldwijde emissiehandel kunnen de reductiekosten in 2020 in de geïndustrialiseerde landen beperkt blijven tot 0,3% van het nationale inkomen bij een emissieprijs van 24 €/tCO₂. De kosten kunnen per regio afwijken. Dit hangt onder meer af van de wijze waarop

emissierechten worden verdeeld. Als de emissiereducties worden gewogen met de emissies per hoofd, betalen geïndustrialiseerde landen relatief veel. De ontwikkelingslanden kunnen rekenen op relatief lagere kosten, en kunnen eventueel zelfs profiteren van de verkoop van emissierechten.

Zowel strengere reductiedoelstellingen als een kleinere coalitie verhogen de kosten. Een scenario waarin een kleine coalitie bijdraagt aan een relatief lage mondiale emissiereductie kan relatief duurder zijn voor de coalitie dan een scenario waarin een brede coalitie bijdraagt aan een relatief hoge wereldwijde emissiereductie. Zo bedragen de kosten in 2020 voor de EU in GEFRAGMENTEERD het dubbele van de kosten in GROTE COALITIE (0,3% van het nationale inkomen).



Figuur 3.1. De Percentuele verandering in het nationale inkomen

Relatieve doelstellingen

In een aantal scenario's (onder andere GEFRAGMENTEERD) is verondersteld dat er in de zichtperiode geen steun is voor een mondiale coalitie en evenmin voor absolute CO₂-plafonds. Relatieve doelstellingen waarbij de broeikasgasintensiteit van de economische productie dient te verminderen, hebben het voordeel dat ze meer zekerheid geven over de verwachte kosten. Hiertegenover staat echter een grotere onzekerheid over de milieueffectiviteit.

Emissiehandel en CDM

In alle scenario's speelt emissiehandel een rol, zij het in verschillende mate. Emissiehandel maakt het beleid bij uitstek kosteneffectief, ongeacht de verdeling van de emissierechten. Zo wordt door handel in GROTE COALITIE tegen vergelijkbare kosten een veel beter milieuresultaat geboekt dan in GEFRAGMENTEERD.

In IMPASSE is het in stand houden van een Europees handelsstelsel tegen beperkte kosten mogelijk (0,5 % van het nationale inkomen in 2020). Een grotere ambitie van de EU zou de kosten in dit scenario verder doen toenemen zonder substantiële baten in termen van wereldwijde emissiereductie. In sommige scenario's nemen delen van de wereld nog geen deel aan een verplichtend regime. CDM kan in onvolledige coalities de kosten van klimaatbeleid verlagen doordat gebruik wordt gemaakt van relatief goedkope reductieopties elders. CDM heeft echter ook nadelen, zie paragraaf 3.2.

Gevolgen van lagere milieueffectiviteit

Drie van de vier beschouwde scenario's voor de EU-omgeving hebben als uitkomst dat de 2°C-doelstelling niet wordt gehaald. De emissies in GROOTST GEMENE DELER en IMPASSE houden bijna gelijke tred met het achtergrondscenario. Daarom zullen deze scenario's waarschijnlijk leiden tot broeikasgasconcentraties van meer dan 900 ppm CO₂-eq. in 2100 en tot een temperatuurstijging van 3,7°C ten opzichte van pre-industrieel (klimaatgevoeligheid van 2,6°C). Na 2100 zal de temperatuurstijging nog vele jaren aanhouden. Alleen voor GROTE COALITIE wordt de 2°C doelstelling met een gerede kans gehaald. In GEFRAGMENTEERD leiden de toekomstige emissies uiteindelijk tot een concentratieniveau in de buurt van 650 ppm CO₂-eq. in 2100, en derhalve tot een lange-termijn temperatuurstijging van circa 2,6°C ten opzichte van pre-industrieel. Zelfs als in GEFRAGMENTEERD zou zijn verondersteld dat landen agressiever beleid voeren (zonder internationale coördinatie en – verplichtingen), zou dit toch niet leiden tot een gerede kans op het halen van de 2°C-doelstelling. De in 2020 benodigde reducties zouden dan voor landen als de EU en Japan meer dan 60% ten opzichte van 1990 moeten bedragen om de 2°C-doelstelling binnen bereik te houden.

3.2 Discussie

Sectorale doelstellingen

Een mogelijk alternatief is ook wereldwijde doelstellingen per sector bijvoorbeeld gebaseerd op basis van de best presterende in de sector ('benchmarking' of sectorale doelstellingen). Voor ontwikkelingslanden kunnen sectorale transnationale afspraken aantrekkelijker zijn dan nationale vanuit het oogpunt van behoud van level van playing field voor wereldwijd concurrerende bedrijfstakken. Een groot verschil met relatieve of absolute doelstellingen is de impliciete verdeling van de kosten. De lasten komen in een dergelijk systeem veel meer bij landen met een lage energieproductiviteit te liggen.

Technologiestimulering

Een versterking van technologieontwikkeling en –verspreiding kan belangrijk zijn binnen het klimaatverdrag onder andere om de Verenigde Staten en andere landen zoals Japan tegemoet te

komen. Ontwikkelingslanden zijn geïnteresseerd in afspraken over ‘schone’ ontwikkeling en overdracht van technologie. Echter Research & Development (R&D) alleen is onvoldoende om broeikasgasemissies zodanig te reduceren dat de klimaatdoelstelling binnen bereik komt. ‘Push’ alleen is niet genoeg. Het is minstens zo belangrijk om ook ‘pull’ te introduceren via een markt waarop CO₂-emissies een prijs krijgen. Afwezigheid van ‘pull’ maakt de implementatie en ontwikkeling van nieuwe technologie veel minder waarschijnlijk (De Coninck et al., 2006).

Weglekeffecten van CDM

De effectiviteit van CDM is minder dan voor emissiehandel in de context van absolute emissieplafonds. Weglekeffecten in de orde van 10-40% zijn aannemelijk (Bollen et al., 2005). Inkomsten uit CDM-projecten kunnen immers leiden tot prijsverlagingen in de betreffende sector. De extra vraag die hier uit voortvloeit verhoogt de emissies. Vermindering van de vraag naar energie kan zich op lokale energiemarkten vertalen in een daling van de energieprijzen. Bovendien maken moeilijkheden bij het monitoren van de baseline en de reductie-inspanning de transactiekosten hoog. Advies vanuit deze analyses zou zijn om CDM nadrukkelijk na te streven als overgangsmaatregel om de ontwikkelingslanden voor te bereiden op volledige participatie in een klimaatregime. Tweede advies zou zijn om te waken voor hoge weglekeffecten bij investeringen in de energiesector.

Energievoorzieningszekerheid

Er zijn belangrijke synergie-effecten tussen maatregelen die klimaatverandering beperken en maatregelen die de energievoorzieningszekerheid verbeteren. Maatregelen die tot lagere emissies van CO₂ leiden (energiebesparing, hernieuwbare energie, kernenergie), hebben in de regel ook het effect dat ze de afhankelijkheid van olie- en gasimporten beperken. Maar niet altijd. Afvang en opslag van CO₂ verbetert de voorzieningszekerheid alleen voor zover een grotere inzet van kolen daarmee mogelijk wordt gemaakt. Vervanging van kolen door gas is goed voor emissies, maar slecht voor de afhankelijkheid van de import van aardgas. Emissiehandel binnen een brede coalitie leidt slechts tot een beperkte binnenlandse inspanning: de energiehuishouding verandert daardoor minder en dat geldt ook voor de importafhankelijkheid. Omgekeerd hebben maatregelen die specifiek de energievoorzieningszekerheid verbeteren niet altijd een positief effect op emissies. Zwaarder leunen op kolengebruik beperkt de importen van gas, maar verhoogt de emissies. Voorzieningszekerheid in de betekenis van voldoende, schone energie voor ontwikkelingslanden zal in eerste instantie leiden tot een verhoging van fossiele CO₂-emissies.

Hoe robuust zijn de resultaten?

Enkele relativerende opmerkingen bij de kostenschattingen zijn op z'n plaats. Zo zijn de eventuele kosten van economische herstructurering (tijdelijke en lokale werkloosheid,

vervroegde afschrijving van kapitaalgoederen, en dergelijke) niet in de berekeningen opgenomen.

Strenger milieubeleid maakt eerdere investeringen duurder en dwingt tot aanpassingen van mensen en machines. Hogere energiekosten leiden tot een daling van de reële lonen. Als de lonen niet flexibel genoeg zijn, kan (tijdelijke) werkloosheid het gevolg zijn.

Ook marktmacht kan tot hogere kosten leiden. Emissiemarkten worden verondersteld perfect te werken. In werkelijkheid kan er sprake zijn van marktmacht als er maar een beperkt aantal aanbieders zijn. Dit geldt bijvoorbeeld voor Voormalige Sovjet-Unie met grote hoeveelheden hot air in een kleine coalitie. Ook kunnen aanbieders van CDM-projecten monopolistisch gedrag vertonen, zodat de CDM-prijs benadert de emissieprijs op de emissiemarkt.

In de analyse wordt alleen rekening gehouden met energiegerelateerde CO₂-emissies. Andere, mogelijk goedkope reductie opties worden buiten beschouwing gelaten. Verminderen van de uitstoot van niet-CO₂ broeikasgassen kan op middellange termijn de kosten verlagen .

Daarnaast wordt geen rekening gehouden met afvang en opslag van broeikasgassen als optie.

De kosten zijn afhankelijk van het onderliggende scenario. Een scenario met hogere economische groei leidt – in het achtergrondscenario – tot hogere emissies en vraagt om grotere reducties om bepaalde (absolute) niveaus te halen (Bollen et al., 2004). Scenario's kunnen ook verschillen in de mate waarin, als gevolg van handelsbarrières en transportkosten, substitutiemogelijkheden tussen verschillende regio's lager zijn. Lagere substitutiemogelijkheden maken klimaatbeleid duurder.

De kosten worden gegeven voor het jaar 2020. Het gaat hier om een momentopname, niet om structureel effect op lange termijn. Bedacht moet worden dat in de loop van de tijd de reductie-inspanningen steeds verder toenemen en de kosten navenant stijgen. Eerdere simulaties geven voor realisatie van de 2°C-doelstelling kostenschattingen aan in de orde van enkele procenten van het wereld BBP in 2040 (Bollen et al., 2004).

Modellen zijn altijd onvolledige afbeeldingen van de werkelijkheid. Verschillende modellen laten dan ook verschillende uitkomsten zien. Zo vinden Van Vuuren et al. (2006) op basis van het TIMER model een emissieprijs van 50€tCO₂ voor GROTE COALITIE (het 450 ppm scenario). In TIMER ligt de nadruk op het in kaart brengen van de technische mogelijkheden voor emissiereductie. Bij vergelijkbare reductiedoelstellingen en hetzelfde achtergrondscenario laat WorldScan een lagere emissieprijs zien van 24 €tCO₂. In WorldScan ligt de nadruk op het zichtbaar maken van de economische substitutieprocessen die in gang worden gezet wanneer broeikasgasemissies worden 'beprijsd'. In TIMER wordt rekening gehouden met de trage reacties van het energiesysteem. Het kost nu eenmaal tijd om op schonere energiedragers over te schakelen. WordScan houdt niet expliciet rekening met aanpassingstrajecten en schetst een langetermijn beeld. Deze beide verschillen in modelkenmerken (technische versus economische

oriëntatie, dynamiek op kortetermijn versus langetermijn evenwicht) zijn bepalend voor de verschillen in uitkomsten.

Bijlage A: karakteristieken van de gehanteerde modellen en van het achtergrondscenario

WorldScan

De kwantitatieve, economische karakteristieken van de verschillende scenario's zijn gebaseerd op simulatie-uitkomsten van WorldScan (Lejour et al., 2006), een toegepast algemeen evenwichtsmodel voor de wereldeconomie. Dit model werd in de jaren negentig ontwikkeld ten behoeve van scenariobouw en is sindsdien vaak ingezet voor scenariostudies en voor velerlei beleidsstudies, ook op het terrein van de klimaatproblematiek (zie bijvoorbeeld Bollen et al., 2004; Bollen et al., 2005). Het model is gebaseerd op de neoklassieke theorie en geeft het micro-economische gedrag van de agenten weer, gegeven de beperkingen van balanscondities. In het evenwicht voor de wereldeconomie is de welvaart van de onderscheiden consumenten maximaal en wordt voldaan aan alle balansrestricties en eventuele beperkingen vanuit het beleid – zoals plafonds op CO₂-emissies.

Kenmerkend voor algemene evenwichtsmodellen is dat zij rekening houden met de afhankelijkheden tussen afzonderlijke markten voor verschillende goederen en productiefactoren. Doorgaans wordt aangenomen dat de markten frictieloos ruimen, zodat elk van de productiefactoren volledig wordt benut. Bovendien kan de inzet van productiefactoren onmiddellijk over sectoren worden geheralloceerd. Dit betekent dat de modeluitkomsten voor beleidsscenario's beschouwd moeten worden als 'lange termijn' reacties op het ingezette beleid: de kosten van herstructurering en aanpassingen op middellange termijn blijven immers buiten beschouwing. Aanbod, vraag en handel zijn als volgt in WorldScan gemodelleerd.

Aanbod

In elke regio wordt het productiepotentieel bepaald door de beschikbaarheid van primaire productiefactoren. WorldScan onderscheidt arbeid, kapitaal en technologie. Het arbeidsaanbod is exogeen en gebaseerd op projecties van participatiegraden voor verschillende demografische cohorten. De internationale kapitaalmobiliteit is onvolledig. De beschikbare kapitaalgoederenvoorraad hangt zowel af van de investeringsmogelijkheden als van de binnenlandse besparingen. Het tempo van technische vooruitgang is exogeen. De simulaties houden rekening met het feit dat ontwikkelingslanden kunnen leren van de rijke landen. Wereldwijd is er een lichte mate van convergentie in de totale productiviteit. Op sectorniveau loopt de productiviteitsgroei uiteen, in overeenstemming met historische patronen. In beginsel, kan het model ook de gevolgen laten zien van R&D spillovers (Lejour et al., 2006).

Vraag

De vraag naar goederen en diensten verschuift in de loop der tijd. De vraag naar diensten worden relatief belangrijker dan die naar producten van industriële of agrarische afkomst. Vraagverschuivingen komen tot uiting door verschillende inkomenselasticiteiten en uiteenlopende ontwikkelingen van relatieve prijzen – die gedeeltelijk afhangen van sectorale groeiverschillen. Nationale spaarquota hangen af van de demografische structuur – volgens empirische schattingen.

Internationale handel

Spanningen tussen vraag en aanbod op binnenlandse markten worden gedeeltelijk verlicht door internationale handel. Handel is echter niet onbeperkt. Goederen en diensten van verschillende herkomst zijn onvolledige substituten (de Armington veronderstelling). Internationale handel wordt bemoeilijkt door transportkosten, handelstarieven en niet-tarifaire belemmeringen.

Tabel A.1 **Overzicht van regio's, sectoren en inputs in de productie in WorldScan**

Regio's	Sectoren	Inputs
Duitsland	Landbouw	Factoren:
Frankrijk	Delfstoffen	Laaggeschoolde arbeid
Verenigd Koninkrijk	Olie	Hooggeschoolde arbeid
Italië	Kolen	Kapitaal
Spanje	Raffinaderijproducten	Vaste factor
Nederland	Aardgas	
Overig EU-15	Elektriciteit	Energiedragers:
Nieuwe lidstaten	Energie-intensieve producten	Kolen
Overig Europa	Chemie	Raffinaderijproducten
Turkije	Consumentengoederen	Aardgas
Verenigde Staten	Kapitaalgoederen	Commerciële biomassa
Canada	Transport	Hernieuwbare energiebronnen
Australië	Overige diensten	
Overig OESO		Overige intermediaire inputs:
Voormalige Sovjet-Unie		Landbouw
China		Delfstoffen
India		Olie
Brazilië		Elektriciteit
Overig Latijns Amerika		Energie-intensieve producten
Midden Oosten en Noord Afrika		Chemie
Rest van de wereld		Consumentengoederen
		Kapitaalgoederen
		Transport
		Overige diensten

WorldScan ontleent de gegevens voor het basisjaar 2001 aan de GTAP-6 databank (Dimanaran en McDougall, 2006) die geïntegreerde gegevens bevat van bilaterale handelsstromen en input-outputdata voor 57 sectoren en 87 landen(-groepen). De versie van WorldScan die voor het scenario-onderzoek werd gebruikt onderscheidt 9 markten voor goederen en diensten, een arbeidsmarkt, en een kapitaalmarkt voor elk van de 21 landen en regio's die apart zijn opgenomen (zie Tabel A.1). Vijf verschillende primaire energiedragers worden onderscheiden: kolen, raffinaderijproducten, aardgas, commerciële biomassa en hernieuwbare energie. Alleen

het gebruik van de eerste drie hiervan draagt bij aan de door het model gegenereerde uitstoot van CO₂.

Bijlage B: Toedeling van emissierechten binnen coalities

In de scenario's zijn emissierechten binnen de coalitie aan deelnemers toegedeeld door te wegen met de emissies per hoofd. Hierdoor krijgen landen met relatief hoge per hoofd emissies een relatief zware reductiedoelstelling. Laat e_t^i het emissievolume zijn van coalitielid i in jaar t en c_t^i het emissievolume per hoofd van de bevolking, dan geeft

$$\mu_t^i = \frac{e_t^i c_t^i}{\sum_j e_t^j c_t^j} \quad (\text{A.1})$$

het aandeel van land i in de beoogde emissiereductie r_t van de totale coalitie. Stel, dat de beoogde reductie in doeljaar t_e een bepaald percentage ρ_{t_e} is van de emissies in het basisjaar t_0 ,

ofwel

$$r_{t_e} = \rho_{t_e} \sum_j e_{t_0}^j \quad (\text{A.2})$$

en dat het reductietraject wordt gestart onmiddellijk na jaar t_s . Dan is er dus een overgangperiode van $\tau = t_e - t_s$ jaar gedurende welke het reductiedoel geleidelijk wordt gerealiseerd. Over deze periode zijn de emissierechten \bar{e}_t^i als volgt aan de coalitieleden toegedeeld

$$\bar{e}_t^i = (1 - \tau^{-1}(t - t_s))e_{t_s}^i + \tau^{-1}(t - t_s)(e_{t_s}^i - \mu_{t_s}^i (\sum_j (e_{t_s}^j - e_{t_0}^j) + r_{t_e})) \quad (t = t_s + 1, \dots, t_e) \quad (\text{A.3})$$

Merk op, dat met (A.3) in het doeljaar precies de emissieruimte wordt gerealiseerd van de coalitie

$$\sum_j \bar{e}_{t_e}^j = (1 - \rho_{t_e}) \sum_j e_{t_0}^j \quad (\text{A.4})$$

Bij de scenario's is voor het drietal (t_0, t_s, t_e) uitgegaan van (1990, 2010, 2020).

Bijlage C: IMAGE, TIMER en FAIR

Voor de berekeningen van de emissiewaaiers (van paragraaf 2.5) is een drietal geïntegreerde modellen gebruikt: het ‘integrated assessment’ IMAGE 2.3 model (IMAGE-team, 2001), het energiesysteem model TIMER (Van Vuuren et al., 2006) en het klimaatbeleidmodel FAIR (Den Elzen en Lucas, 2005). De berekeningen worden gedaan in een drietal stappen:

- In de eerste stap wordt een achtergrondscenario voor toekomstige broeikasgasemissies geconstrueerd, gebruikmakend van IMAGE en TIMER. Hierbij geeft TIMER ook de beschikbaarheid van reductieopties aan en de kosten van uiteenlopen energiesystemen, terwijl IMAGE opties en kosten aangeeft voor de landgerelateerde bronnen, inclusief biomassa.
- Vervolgens worden met behulp van het FAIR-model ‘waaiers’ van emissiereducties (verzamelingen van haalbare emissiepaden) gemaakt die passen bij de stabilisatiedoelstellingen van concentratieniveaus van 450, 550 en 650 ppm CO₂-eq. Binnen deze waaiers wordt een pakket maatregelen gezocht dat het emissiepad mondiaal gezien het ‘goedkoopst’ invult voor de verschillende regio’s, sectoren en broeikasgassen. Voor de klimaatberekeningen wordt daarbij gebruik gemaakt van een vereenvoudigd klimaatmodel, MAGICC 4.1 (Den Elzen en Meinshausen, 2005).
- Tenslotte geven IMAGE en TIMER bij de emissieniveaus en de internationale marktprijs van emissierechten, zoals bepaald in de vorige stap, concreet invulling aan het uiteindelijke mitigatiescenario (emissies, landgebruik en energiesysteem).

Bij het bepalen van de reductiewaaiers wordt aangenomen, dat de wereldwijde reductiesnelheid vanwege technische beperkingen nooit hoger kan zijn dan 2-3% per jaar (zie kader in paragraaf 2.5). Bij het invullen van het pakket maatregelen wordt geen beperking opgelegd aan het inzetten van opties in de 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-CO₂ reductieopties worden uitgesloten.

Bij alle berekeningen met IMAGE, TIMER en FAIR is de wereld onderverdeeld in 17 regio’s. De doelstellingen kunnen niet alleen worden gerealiseerd met maatregelen binnen de regio maar ook door reducties elders. Via systemen van emissiehandel worden reducties tussen regio’s ‘verhandeld’. Al met al geven de gebruikte modellen inzicht in de kans op het halen van temperatuursdoelstellingen, 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 bestaan alleen uit de directe kosten voor klimaatbeleid. Additionele kosten, zoals herstructureringskosten of verlies aan fossiele brandstofexporten, blijven buiten beschouwing. Hier staat tegenover dat additionele nevenbaten, zoals lagere kosten voor luchtverontreinigingbeleid, evenmin in rekening zijn gebracht.

Bijlage D: Achtergrondscenario

In alle analyses is uitgegaan van een zogenaamd middenscenario zonder klimaatbeleid, ontwikkeld door het MNP (Van Vuuren et al., 2006). Dit scenario is geconstrueerd op basis van inschattingen van trends. Het is vergelijkbaar met het referentiescenario van het Internationale Energie Agentschap (IEA) en het zogenaamde B2-scenario van het IPCC. Volgens dit achtergrondscenario zal de wereldbevolking doorgroeien tot 9 à 10 miljard in het midden van deze eeuw en daarna licht afnemen. Gecombineerd met een wereldwijde economische groei van ongeveer 2% per jaar neemt de mondiale energievraag sterk toe: een verdubbeling van het huidige verbruik in 2050, het drie dubbele in 2100. Deze groei vindt vooral plaats in de huidige ontwikkelingslanden, die daarmee hun grote achterstand in het energiegebruik per hoofd van de bevolking voor een deel inhalen.

Tabel A.1 Gegevens basisjaar, 2001

	Bevolking	GDP	Energie- gebruik	Emissies	Energie intensiteit	CO ₂ intensiteit
	(mln)	(mld \$)	(Mtoe)	(GtCO ₂)	(VS=100)	(VS=100)
Annex I-landen	1271	24575	5398	13,78	107	96
EU-25	453	8261	1503	3,73	88	93
Verenigde Staten	288	10085	2076	5,52	100	100
Voormalige Sovjet-Unie	282	415	868	2,13	1017	92
Rest OECD	248	5815	951	2,40	79	95
Niet-Annex I-landen	4796	6703	3168	8,97	230	107
China	1292	1332	974	3,17	355	122
India	1033	478	311	0,98	316	118
Wereld	6067	31279	8566	22,75	133	100

a) Totaal van kolen, raffinaderijproducten, aardgas, commerciële biomassa en hernieuwbare energie
Bron: WorldScan

Zonder klimaatbeleid zullen vooral fossiele brandstoffen in de stijgende energievraag voorzien, waardoor de CO₂-emissies navenant zullen toenemen. De totale broeikasgasemissies nemen in het achtergrondscenario toe van circa 30 miljard ton (=Gt) CO₂-eq. in 2000 tot 50 miljard ton in 2050 en 70 miljard ton in 2100. De projecties van andere, alternatieve achtergrondscenario's liggen soms hoger, soms lager (tussen 40 en 90 miljard ton). De fossiele CO₂-emissies waartoe de analyses van WordScan zich beperken, nemen in het achtergrondscenario toe van bijna 23 GtCO₂ in 2001 tot circa 34 GtCO₂ in 2020 (zie Tabel A.1 en Tabel A.2). Terwijl historisch de totale broeikasgasemissies grotendeels afkomstig zijn uit de rijke landen (circa 80%), is net als voor het energiegebruik de groei van de emissies het sterkst in de ontwikkelingslanden: hun aandeel groeit van ongeveer 50% nu tot 65% in 2100.

Tabel A.2 Karakteristieken achtergrondscenario, gemiddelde jaarlijkse groei, 2001-2020

	Bevolking	GDP	Energie- gebruik	Emissies	Energie intensiteit	CO ₂ intensiteit
	%	%	%	%	%	%
Annex I-landen	0,2	2,6	1,4	1,2	-1,2	-0,2
EU-25	0,0	2,3	1,4	1,2	-0,9	-0,2
Verenigde Staten	0,9	3,0	1,2	1,1	-1,7	-0,1
Voormalige Sovjet-Unie	-0,2	5,5	1,8	1,5	-3,5	-0,3
Rest OECD	0,1	2,1	1,4	1,1	-0,7	-0,2
Niet-Annex I-landen	1,3	5,0	3,3	3,0	-1,7	-0,3
China	0,6	7,4	2,7	2,4	-4,4	-0,3
India	1,5	5,8	3,6	3,4	-2,1	0,2
Wereld	1,1	3,2	2,2	2,0	-1,0	-0,2

Bron: WorldScan

Deze trend is ook zichtbaar over de periode 2001-2020 voor fossiele CO₂-emissies. Terwijl het aandeel van niet-Annex I-landen in de wereldwijde emissies circa 40% bedroeg in 2001 (zie Tabel A.1), blijkt dit gestegen tot ruim 48% in 2020 (vergelijk Tabel A.2). Per hoofd van de bevolking blijven emissies van de huidige OESO-landen wel hoger dan die van ontwikkelingslanden. De broeikasgasconcentratie in het achtergrondscenario is in 2100 ten opzichte van het huidige niveau (circa 425 ppm CO₂-eq.) meer dan verdubbeld tot boven de 900 ppm CO₂-eq. en groeit daarna nog door. De temperatuurstijging komt bij een gemiddelde inschatting van klimaatgevoeligheid (3°C) in 2100 al uit op 4°C (Den Elzen et al., 2006b).

Referenties

- Bollen, J., Manders, A.J.G. en Mulder, M. (2004), *Four Futures for Energy Markets and Climate Change*, The Hague, Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis CPB en National Institute for Public Health and the Environment RIVM.
- Bollen, J., Manders, A.J.G. en Veenendaal, P. (2005), *Caps and Fences in Climate Change Policies, Trade-offs in shaping post-Kyoto*, MNP-report 500035003, MNP Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven, the Netherlands.
- Coninck, H. de, Fischer, C., Newell, R.G., Ueno, T. (2006) *International technology-oriented agreements to address global climate change*, ECN Amsterdam and Resources for the Future, Washington, DC (concept).
- Daniels, B.W. en Farla, J.C.M. (2006). *Potentieelverkenning klimaatdoelstellingen en energiebesparing tot 2020. Analyses met het optiedocument energie en emissies 2010/2020*. MNP-report 773001039 (www.mnp.nl), MNP Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven, the Netherlands.
- Dimaranan, B.V. en McDougall, R.A. (eds.) (2006, forthcoming), *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 6 Data Base*, Center for Global Trade Analysis, Purdue University, West-Lafayette
- Elzen, M.G.J. den, Berk, M.M., Lucas, P., Criqui, C. en Kitous, A. (2006). *Multi-Stage: a rule-based evolution of future commitments under the Climate Change Convention*. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 6: 1-28.
- Elzen, M.G.J. den, en Lucas, P. (2005), *The FAIR model: a tool to analyse environmental and costs implications of climate regimes*, *Environmental Modeling and Assessment*, 10(2): 115-134
- Elzen, M.G.J. den, Meinshausen, M., Van Vuuren, D.P. (2006). *Multi-gas emission envelopes to meet greenhouse gas concentration targets: costs versus certainty of limiting temperature increase*. *Global Environmental Change* (in press).
- Elzen, M.G.J. den, en Meinshausen, M. (2005), *Meeting the EU 2°C climate target: global and regional emission implications*. MNP-report 728001031 (www.mnp.nl/en), MNP Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven

IMAGE-team (2001), The IMAGE 2.2 implementation of the SRES scenarios. A comprehensive analysis of emissions, climate change and impacts in the 21st century. CD-ROM publication 481508018, MNP Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven

Lejour, A., Veenendaal, P., Verweij, G. en Leeuwen, N. van (2006). WorldScan; a Model for International Economic Policy Analysis, CPB document 111, CPB, The Hague

Meinshausen, M. (2006), What Does a 2°C Target Mean for Greenhouse Gas Concentrations? A Brief Analysis Based on Multi-Gas Emission Pathways and Several Climate Sensitivity Uncertainty Estimates. In: H.J. Schellnhuber, W. Cramer, N. Nakicenovic, T. Wigley en G. Yohe (Editors), *Avoiding Dangerous Climate Change*, Cambridge, UK.

Stern, N., 2006. *The Economics of Climate Change, The Stern Review*. Cambridge University press, Cambridge, UK.

Vuuren, D.P. van, Den Elzen, M.G.J., Eickhout, B., Lucas, P.L., Strengers, B.J. en Ruijven, B. (2006), Stabilising greenhouse gas concentrations. Assessment of different strategies and costs using an integrated assessment framework, *Climatic Change* (in press).