

RIVM report 482550001/2001

Post-Kyoto toekomstbeelden

Notitie ter ondersteuning advies “Post-Kyoto en energiebeleid”
van de Algemene Energie Raad

R. Swart* en N. van der Linden**

- * RIVM / MNV
- ** ECN Beleidsstudies

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van de Algemene Energie Raad, in het kader van project M/482550, mijlpaal december 2001.

RIVM, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven, telefoon: 030 - 274 91 11; fax: 030 - 274 29 71

Abstract

This report supports the report "Post-Kyoto en het Energiebeleid" of the Netherlands Energy Advisory Council (AER). The objective is to provide insights into the possible developments of international climate policies, viewed from the perspective of different images of the future with respect to socio-economic developments. How can various possible climate objectives (e.g. CO₂ stabilization at 450, 550, 650 and 750 ppm) be achieved in such different worlds? Options for solutions are evaluated using three groups of criteria: cost-effectiveness, sustainability, and feasibility. How well options score on these various criteria is strongly dependent on the world view. For example, in an image of the future in which socio-economic developments are characterized by sustainability concerns, in which there is broad support for international co-ordination of policies, and in which environmentally sound technologies are developed and transferred quickly, independent on climate policy, achieving climate targets is easier and cheaper. The report shows that there are clear leads for energy policy to support international climate policy. The report focuses on the global level, but sometimes zooms in on the European and Netherlands level. It provides conclusions with respect to so-called "robust" options, i.e. options which could play a key role in various world views as well as for various climate objectives. These options include energy conservation and efficiency as well as increased usage of natural gas and renewables (biomass on the short to medium term and other renewables on the longer-term). Two other energy tracks which could contribute to the achievement of strict climate objectives - nuclear energy and CO₂ capture and storage - are not robust in the sense indicated above, which would not imply that they cannot play an important role in specific world views in those regions where these options are little controversial. Finally, the report touches upon the role of non-CO₂ greenhouse gases, non-energy CO₂ emissions, and burden sharing between north and south.

Samenvatting

Deze notitie dient ter ondersteuning van het AER advies “Post-Kyoto en het Energiebeleid”. De doelstelling van deze notitie is om inzicht te verschaffen in een aantal relevante beelden van mogelijke ontwikkelingen van het internationaal klimaatbeleid, afgezet tegen een aantal wereldbeelden met betrekking tot mogelijke sociaal-economische ontwikkelingen. Hoe kunnen in verschillende wereldbeelden (LTVE/IPCC-SRES: Vrijhandel/A1, Isolatie/A2, Grote Solidariteit/B1, Ecologie op Kleine Schaal/B2) meer of minder strikte klimaatdoelstellingen (450, 550, 650, 750 ppm CO₂ stabilisatie) gehaald worden? Oplossingen worden geëvalueerd op basis van de criteria kosteneffectiviteit, duurzaamheid, en haalbaarheid. Een belangrijke conclusie is dat de score op deze criteria voor bepaalde oplossingen zeer sterk bepaald wordt door het wereldbeeld: in een wereld waar de algemene sociaal-economische ontwikkeling wordt gestuurd door duurzaamheidsoverwegingen en waar sprake is van een snelle ontwikkeling en uitwisseling van milieuvriendelijke technologieën en internationale beleidscoördinatie is het behalen van klimaatdoelen eenvoudiger en goedkoper. Deze notitie laat zien dat er duidelijke aanknopingspunten zijn voor het energiebeleid om een bijdrage te leveren aan het internationaal klimaatbeleid. Het accent van de notitie ligt op het wereldniveau, maar er wordt ook ingezoomd op de Europese en Nederlandse schaal. De notitie geeft enkele conclusies m.b.t. “robuuste” opties, d.w.z. opties die in verschillende wereldbeelden en voor verschillende klimaatdoelstellingen een significante rol spelen. Deze opties hebben vooral betrekking op energiebesparing, verhoogde wereldwijde inzet van aardgas en vernieuwbare energie (biomassa op korte- tot middenlange termijn, andere bronnen op langere termijn). Twee andere energiesoorten die kunnen bijdragen aan het behalen van strenge klimaatdoelstellingen – kernenergie en opvang en opslag van CO₂ – zijn niet robuust in de bovengenoemde zin, maar kunnen in bepaalde wereldbeelden en in regio’s waar deze opties niet controversieel zijn, een belangrijke optie vormen. De notitie gaat tenslotte kort in op het belang van niet-CO₂ broeikasgassen, niet-energie CO₂ emissies en de noord-zuid lastenverdeling.

Inhoud

1. INLEIDING.....	8
2. VRIJHANDEL, ISOLATIE, GROTE SOLIDARITEIT OF ECOLOGIE OP KLEINE SCHAAL?	11
3. STABILISEREN OP 450, 550, 650 OF 750 PPM?	15
3.1 STABILISEREN VAN CO ₂ CONCENTRATIES IN VERSCHILLENDE WERELDBEELDEN	15
3.2 RECENTE EUROPESE EN NEDERLANDSE LANGE TERMIJN-STUDIES.....	25
3.3 NIET-CO ₂ BKG EMISSIES	27
3.4 NIET-ENERGIE CO ₂ EMISSIES	28
3.5 NOORD-ZUID VERDELINGSASPECTEN	28
3.6 ENERGIEBELEID, KLIMAATBELEID EN DUURZAME ONTWIKKELING	29
4. SYNTHESE EN DISCUSSIE.....	30
4.1 INLEIDING	30
4.2 BIJDRAGE ENERGIEBELEID IN EUROPA AAN INTERNATIONAAL KLIMAATBELEID.....	30
4.3 SLEUTEL TECHNOLOGIECLUSTERS EN VERHOUDING BELEIDSOPTIES.....	36
LITERATUUR.....	37
BIJLAGE 1: PLAN VAN AANPAK, 24 AUGUSTUS 2001.....	39
BIJLAGE 2: TABELLEN VAN HET SPECIAL REPORT ON EMISSIONS SCENARIOS	42
BIJLAGE 3: VERZENDLIJST	50
BIJLAGE 4 EINDNOTEN.....	51

1. Inleiding

Op 15 augustus 2001 verzocht de Minister van Economische Zaken de Algemene Energie Raad (AER) een advies uit te brengen over "Post-Kyoto en het Energiebeleid". Drie aspecten van post-Kyoto energiebeleid zouden in dit advies aan bod moeten komen:

- ◆ de bijdrage van het energiebeleid aan internationaal klimaatbeleid en de voorwaarden hiervoor;
- ◆ "sleutel" energieketens en technologieclusters voor actief klimaatbeleid
- ◆ de verhouding tussen de beleidsopties energiebesparing, inzet van hernieuwbare energie, nucleaire energie en "schoon fossiel" op langere termijn.

Deze notitie is opgesteld op verzoek van de AER ter ondersteuning van de voorbereiding van het gevraagde advies. Zie bijlage 1 voor het plan van aanpak. De doelstelling van deze notitie is om inzicht te verschaffen in een aantal relevante beelden van mogelijke ontwikkelingen van het internationaal klimaatbeleid, afgezet tegen een aantal schetsen van mogelijke sociaal-economische ontwikkelingen. Voor deze schetsen van mogelijke sociaal-economische ontwikkeling is aangesloten bij de wereldbeelden ontwikkeld in het project "Lange Termijn Visie Energiebeleid" (LTVE) van het Ministerie van Economische Zaken (2000), en de scenario's van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES), Nakicenovic en Swart, 2000).

Belangrijke factoren bij de ontwikkelingen rond het internationale klimaatbeleid waar aandacht aan geschonken is:

- ◆ lange termijn klimaatdoelstellingen en tempo van de broeikasgasreductie;
- ◆ de mate van internationale coördinatie van het beleid;
- ◆ de verdeling van de aanpak over Noord en Zuid; en
- ◆ de verdeling tussen de verschillende broeikasgassen.

Om deze factoren op een consistente wijze te analyseren is in deze notitie voornamelijk aangesloten bij het zogenaamde "post-SRES" werk van het IPCC (Morita *et al.*, 2001), waarbij door een negental modelteams uit Europa, Japan en de Verenigde Staten de implicaties geanalyseerd zijn van de stabilisatie van CO₂ concentraties op verschillende niveau's (450, 550, 650, 750 ppmv) voor diverse wereldbeelden. De notitie beschouwt hiermee tevens impliciet de relatie tussen de wereldbeelden en een aantal politiek overeengekomen klimaatdoelstellingen, met name:

- ◆ de lange termijn doelstelling van de Europese Unie om de wereldgemiddelde temperatuurstijging tot 2°C boven het preïndustriële niveau te beperken;
- ◆ de midden- tot lange termijn richtinggevendende doelstelling van het NMP om in West-Europa, waaronder Nederland, in 2030 de CO₂ emissies met 40-60 % te reduceren t.o.v. 1990;
- ◆ de korte termijn doelstelling van het Kyoto-Protocol om in de Europese Unie de uitworp van 6 broeikasgassen gezamenlijk in de periode 2008-2012 met 8 procent terug te brengen ten opzichte van 1990 (Nederlandse bijdrage hieraan: 6 % van de 1990 emissies).

De notitie richt zich op de midden-lange termijn (2010-2030) in de context van de lange termijn (2050-2100). Dit laatste is noodzakelijk in verband met de relatie met klimaatdoelstellingen, de inertia van het klimaatsysteem en de traagheid van maatschappelijke systemen, zoals het energiesysteem. Uiteindelijk is het doel van deze notitie om informatie te geven over welke technologische opties robuust zouden kunnen zijn (“sleutel” technologieën). Een optie is in deze notitie als “robuust” gekarakteriseerd als zij een significante bijdrage levert aan de oplossing van de klimaatproblematiek in verschillende wereldbeelden, en bij verschillende uiteindelijke klimaatdoelstellingen. Teneinde het inzicht in de relatie tussen de wereldbeelden en klimaatdoelstellingen te vergroten, worden een drietal criteria gehanteerd: kosten-effectiviteit, duurzaamheid, en haalbaarheid. Voor deze drie hoofdcriteria zijn deelcriteria gekozen:

a) Kosteneffectiviteit

- ◆ *Directe economische kosten Nederland/Europa*: wat zijn de economische kosten, bijvoorbeeld in termen van BNP verlies?
- ◆ *Indirecte economische spin-off Nederland/Europa*: zijn er voor- of nadelen voor de economie, die niet direct in geld zijn uit te drukken (concurrentiepositie, etc.)?
- ◆ *Rechtvaardigheid lastenverdeling noord-zuid*: wordt de inspanning om broeikasgasconcentraties te stabiliseren rechtvaardig over regio's verdeeld, waarbij de ontwikkelingslanden vooralsnog geen emissiereductieverplichtingen op zich hoeven te nemen?
- ◆ *Technologie-overdracht*: wordt milieuvriendelijke technologie effectief overgedragen naar ontwikkelingslanden?

b) Duurzaamheid

- ◆ *Energie-efficiency*: in welke mate wordt de energie-intensiteit van de economie verminderd, door verbeteringen van technologieën en productieprocessen maar ook door economische structuurveranderingen en gedragsverandering?
- ◆ *Milieu-effecten klimaat mondiaal (vermeden schade)*: in hoeverre worden de risico's van negatieve gevolgen van klimaatveranderingen verminderd?
- ◆ *Milieu-effecten overig Nederland/Europa*: in welke mate worden tevens andere milieuproblemen, zoals lokale en regionale luchtverontreiniging, verminderd?

c) Haalbaarheid

- ◆ *Tempo emissiereducties*: is er een noodzaak om snel en op korte termijn de uitwerp van broeikasgassen te verminderen, of is er een meer geleidelijke overgang naar een economie- en energiesysteem met een lage uitwerp mogelijk?
- ◆ *Mogelijkheden tot internationale coördinatie*: wat zijn de mogelijkheden om middels internationale coördinatie de kosten van CO₂-stabilisatie te verkleinen en de effectiviteit te verhogen?
- ◆ *Maatschappelijk draagvlak*: in welke mate kan er in de diverse wereldbeelden een maatschappelijk draagvlak worden verwacht voor diverse gradaties van klimaatbeleid?
- ◆ *Leveringszekerheid/diversiteit energiebronnen*: in hoeverre is de leveringszekerheid van de energiebronnen in Europa/Nederland gewaarborgd (of: hoe groot is de importafhankelijkheid) en hoe groot is de diversiteit van deze bronnen?

In sectie 2 van deze notitie zullen de wereldbeelden worden gekarakteriseerd. In sectie 3 wordt ingegaan op de karakteristieken van de mogelijke klimaatdoelstellingen en bijbehorende stabilisatiescenario's. Tenslotte zullen in sectie 4 de combinaties van verschillende wereldbeelden en stabilisatiescenario's worden geëvalueerd met behulp van de

bovengenoemde criteria en vervolgens wordt ingegaan op de specifieke vragen waar het advies van de AER betrekking op heeft.

2. Vrijhandel, Isolatie, Grote Solidariteit of Ecologie op Kleine Schaal?

De LTVE-studie onderscheidt 4 wereldbeelden: Vrijhandel, Isolatie, Grote Solidariteit en Ecologie op Kleine Schaal. Deze zijn afgeleid uit een combinatie van twee, op wereldniveau dominante tendensen met elk twee totaal verschillende uitkomsten (zie Figuur 1, Ministerie van Economische Zaken, 2000).

Economische ontwikkeling, met als mogelijke uitkomsten:

- ◆ De wereldeconomie draagt bij aan het oplossen van mondiale problemen als het milieu en de tegenstelling arm - rijk (winst voor de wereld en later) of
- ◆ De wereldeconomie wordt gebaseerd op direct (geldelijk) gewin (winst voor hier en nu), waarbij de gevolgen voor het milieu er niet toe doen.

Samenwerking met als mogelijke uitkomsten:

- ◆ een onderlinge verwevenheid van een volledig open economie met mondiale bestuursstructuren (mondiale instituties) of
- ◆ regio's en landen verschansen zich achter hun grenzen (lokale netwerken).

Winst voor hier en nu	
<p>‘Vrijhandel’: economie en geld overheersen zonder nationale barrières (SRES-A1)</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Economie: overal hoge economische groei, tegenstelling rijk-arm is hardnekkig. ◆ Technologie: snelle ontwikkeling in dienst van productie ◆ Cultuur: zelfbewuste wereldburgers, grenzenloze consumptie ◆ Instituties: versterking WTO-achtige lichamen ◆ Duurzaamheid: CO₂-uitstoot blijft stijgen, armoede blijft bestaan 	<p>‘Isolatie’: geldelijk gewin overheerst binnen nationale/regionale grenzen (SRES-A2)</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Economie: rijke landen trekken zich terug achter afgegrensde grenzen ◆ Technologie: beperkte ontwikkeling, alleen binnen rijke gebieden ◆ Cultuur: naar binnen gericht, eigen veiligheid voorop, egoïsme ◆ Instituties: geen ◆ Duurzaamheid: milieuproblemen en armoede zeer hardnekkig
Mondiale instituties	Lokale netwerken
<p>‘Grote solidariteit’: wereldproblemen worden gezamenlijk opgelost (SRES-B1)</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Economie: vrije handel, structurele wijzigingen op wereldniveau ◆ Technologie: zeer sterke ontwikkeling ook gericht op ecologie ◆ Cultuur: minder materialisme, nieuwe normen en waarden ◆ Instituties: sterke mondiale overheid, verantwoordelijke multinationals ◆ Duurzaamheid: instituties lossen het CO₂- en armoedeprobleem op 	<p>‘Ecologie op kleine schaal’: (SRES-B2) wereldproblemen worden lokaal opgelost</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Economie: lage groei, consumptie dicht bij productie, milieu in de prijzen ◆ Technologie: gemiddelde ontwikkeling, kleinschalige toepassingen ◆ Cultuur: einde aan materialisme, nieuwe waarden, milieubewuste consumptie ◆ Instituties: regionale bestuursvormen, sterke netwerken, ‘poldermodel’ ◆ Duurzaamheid: lokale milieuproblemen zijn in de hand
Winst voor de wereld en later	

Figuur 1: Karakteristieken van LTVE/SRES scenario's (Bron: Ministerie van Economische Zaken, 2000)

Deze wereldbeelden zijn grotendeels afgeleid van de scenario's, die voor 4 wereldregio's zijn ontwikkeld door IPCC (SRES, Nakicenovic en Swart, 2000), en in het kader van de LTVE bewerkt en uitgewerkt teneinde de implicaties voor Europa en Nederland op een voornamelijk kwalitatieve wijze te kunnen evalueren. Voor deze notitie zijn de implicaties van vermindering van de broeikasgasemissies met het oog op stabilisatie van concentraties van belang. Derhalve achten wij het van belang om de wereldbeelden te kwantificeren in termen van energie-inzet en broeikasgasemissies teneinde ook de grootte te kunnen aangeven van de inspanning om in verschillende wereldbeelden verschillende klimaatdoelstellingen te bereiken. Wij hebben derhalve de SRES-scenario's gekoppeld aan de LTVE wereldbeelden (zie Figuur 1)ⁱ. In deze notitie gaan wij verder niet in op de verschillen tussen deze scenario's en andere gepubliceerde scenario's, vooral aangezien deze over het algemeen andere wereldbeelden hanteren en een vergelijking hiermee de complexiteit van de beschouwing te veel zou doen toenemen. Wel lijkt het relevant om enkele hoofdconclusies te noemen van een scenario-studie van IIASA/WEC (Nakicenovic *et al.*, 1998, zie Box 1), die gebruikt is als basis voor de World Energy Assessment (UNDP, 2001).

In bijlage 3 zijn de belangrijkste tabellen opgenomen uit het SRES rapport met een overzicht van de scenarioveronderstellingen voor de belangrijkste drijvende krachten (ontwikkeling van economie, bevolkingsomvang) en de modeluitkomsten m.b.t. het energiesysteem en broeikasgasemissies. De SRES scenario's zijn opgesteld door een team van experts uit alle regio's van de wereld en de oorspronkelijk kwalitatieve verhaallijnen zijn gekwantificeerd door een zestal modelteams uit Europa, Japan en de Verenigde Staten. Interpretatieverschillen tussen deze teams leidden ertoe, dat voor ieder wereldbeeld niet één, maar een range van mogelijke energiesystemen en broeikasgasemissies werd verkregenⁱⁱ. Interessant hierbij is dat zelfs in één wereldbeeld, met overeenkomstige maatschappelijke ontwikkelingen, een grote ruimte is voor verschillende technologische sporen, die consistent kunnen zijn met deze maatschappelijke ontwikkelingen. Dit wordt geïllustreerd door de ontwikkeling van een aantal varianten in het A1 scenario (vergelijkbaar met Vrijhandel): A1FI met het accent op verdere snelle ontwikkelingen rond fossiele energie, A1T met het accent op snelle ontwikkelingen in niet-fossiele energie, en A1B waarin de technologische ontwikkeling evenwichtig verdeeld is over de verschillende energiedragers. Dit leidt tot de conclusie, dat de technologische ontwikkeling en de keuzen die hierbij gemaakt worden van even groot belang zijn voor toekomstige broeikasgasemissies als de algemene economische en maatschappelijke ontwikkelingen (zoals groei van inkomens en bevolking)ⁱⁱⁱ. In deze notitie wordt verder vooral ingegaan op A1B.

Tabel 1 geeft de uitwerking van de 4 SRES referentie wereldbeelden voor de brandstofmix in de jaren 2030 en 2100. Het betreft hier de uitkomsten van de zogenaamde "marker" scenario's, ofwel die scenario's die door het SRES-team als het meest karakteristiek voor het betreffende wereldbeeld zijn aangemerkt.

Tabel 1: Percentage brandstofsoorten in totaal primair energiegebruik; Regio: Wereld

	1990	2030 / 2100			
		A1	A2	B1	B2
Kolen	25	20 / 4	26 / 53	23 / 9	15 / 22
Olie	38	27 / 6	38 / 0	32 / 19	36 / 4
Gas	19	33 / 26	24 / 19	22 / 20	29 / 25
Nucleair	2	6 / 3	4 / 14	7 / 32 ^{IV}	3 / 10
Biomassa	13	9 / 17	4 / 9	8 / 13	9 / 23
Overig hernieuwbaar	3	5 / 44	4 / 5	8 / 7	8 / 16
Totaal	100	100	100	100	100
Prim. En.gebruik (EJ)	352	895/2226	720/1717	710 / 514	667/1357
Emissies Fossiel (GtC)	5.9	14.0/13.1	12.2/27.8	11.2/5.2	10.2/13.8

Tabel 1 laat zien dat voor de middenlange termijn (tot 2030) wereldwijd het aandeel van fossiele brandstoffen groot blijft (meer dan 80 percent) in alle 4 wereldbeelden. Wel is er ten opzichte van 1990 een duidelijke substitutie zichtbaar van kolen naar gas. Voor de lange termijn (tot 2100) raken de olievoorraden uitgeput en vindt er een zeer substantiële verschuiving plaats naar niet-fossiele energiebronnen. Het totale primaire energiegebruik stijgt over de periode 1990-2100 in absolute termen in alle scenario's behalve in B1 waarin de sterke economische structuurverandering richting informatietechnologie en de mondiale aanpak van milieuproblemen tot een absolute daling van het energiegebruik leidt na het jaar 2030.

Tabel 2 geeft dezelfde informatie als Tabel 1, alleen dan gespecificeerd voor de OESO regio (Canada, USA, OESO-Europa, Oceanië en Japan).

Tabel 2: Percentage brandstofsoorten in totaal primair energiegebruik; Regio: OESO 1990

	1990	2030 / 2100			
		A1	A2	B1	B2
Kolen	25	13 / 2	23 / 52	19 / 8	14 / 12
Olie	45	33 / 8	40 / 0	33 / 15	39 / 6
Gas	20	35 / 24	22 / 18	21 / 25	31 / 44
Nucleair	3	9 / 4	6 / 17	15 / 29 ³	6 / 11
Biomassa	4	4 / 14	5 / 7	7 / 15	3 / 12
Overig hernieuwbaar	3	6 / 48	4 / 6	5 / 7	7 / 15
Totaal	100	100	100	100	100
Prim. En.gebruik(EJ)	155	239/397	235/418	193/126	230/274
Emissies Fossiel (GtC)	2.9	3.6/2.3	3.9/6.7	2.8/1.1	3.8/3.1

Een vergelijking van Tabellen 1 en 2 laat zien dat:

- Het aandeel van de OESO in het wereld primair energiegebruik wordt duidelijk minder, van circa 45% in 1990 tot zo'n 25% in 2030 en 19 % in 2100; dit is een gevolg van de verwachting dat de stijging van het absolute energiegebruik in de OESO duidelijk minder zal zijn dan in de rest van de wereld;
- De brandstofmix voor de OESO wijkt niet veel af van de brandstofmix voor de wereld; al is de substitutie naar gas in OESO nog prominenter dan elders.

Tabel 3: Brandstofmix in percentage van het totale primaire energiegebruik volgens IEA (2000); Regio: OESO-Europa

	WEO2000/IEA-REF	
	1997	2020
Kolen	20	14
Olie	40	38
Gas	20	30
Nucleair	14	9
Waterkracht	2	2
Overig hernieuwbaar	4	6
Totaal	100	100

Tabel 3 geeft een nog verdere uitsplitsing naar de regio OESO-Europa. Omdat de SRES rapportage geen specifieke informatie geeft over OESO-Europa is gebruik gemaakt van de World Energy Outlook 2000 gepubliceerd door het IEA. De tabel laat zien dat het beeld in het referentiescenario voor OESO-Europa voor de middenlange termijn niet wezenlijk afwijkt van dat van het SRES scenario voor de OESO als geheel. Ook hier blijft aandeel fossiel hoog en is er een duidelijke switch naar gas. Dit geeft een basis voor de veronderstelling die noodzakelijkerwijs gemaakt moet worden voor de rest van de analyse, namelijk dat het beeld voor OESO-Europa niet wezenlijk verschilt van de OESO als geheel.

Box 1: Enkele bevindingen van de IIASA/WEC lange-termijn energieverkenning “Global Energy Perspectives” (Nakicenovic *et al.*, 1998)

- ◆ Tot 2020 zal de wereld voornamelijk op fossiele energie vertrouwen, daarna divergeert de wereld-energiestructuur in de scenario's snel, o.a. op basis van beleidsbeslissingen nu
- ◆ De mondiale vraag naar energie zal blijven toenemen
- ◆ De energie-intensiteit zal wereldwijd in belangrijke mate verbeteren
- ◆ Schaarste aan brandstoffen zal geen belangrijke beperkingen opleveren
- ◆ De kwaliteit van vormen van energie en energiediensten zal bepalend zijn voor de keuze van toekomstige energiesystemen
- ◆ Energievraagpatronen zullen convergeren, terwijl de energieaanbodstructuur sterk kan veranderen
- ◆ Toekomstige energiesystemen zullen sterk afhankelijk zijn van technologische verandering
- ◆ De veranderingssnelheid van energiesystemen zal laag blijven (systeem inertia)
- ◆ Versterking van de internationale energie-netwerkstructuur zal samenwerking, flexibiliteit en veerkracht van energiesystemen vergroten
- ◆ Beschikbaarheid van kapitaal zal enorme uitdagingen bieden voor alle denkbare energiestrategieën
- ◆ Er zullen sterke regionale verschillen blijven bestaan in energiesysteme
- ◆ De aanpak van lokale milieu-effecten zal waarschijnlijk belangrijker gevonden worden dan mondiale veranderingen
- ◆ Vermindering van de koolstofintensiteit van energiesystemen zal lokale, regionale en mondiale milieuvoordelen hebben
- ◆ Importafhankelijkheid moet in de scenario's gekarakteriseerd door vrijhandel en internationale samenwerking niet gezien worden als een risico voor de leveringszekerheid

3. Stabiliseren op 450, 550, 650 of 750 ppm?

3.1 Stabiliseren van CO₂ concentraties in verschillende wereldbeelden

De doelstelling van het Klimaatverdrag is: “Het uiteindelijke doel van dit Verdrag en alle daarmee verband houdende rechtskracht hebbende akten die de Conferentie van Partijen aanneemt, is het bewerkstelligen, in overeenstemming met de desbetreffende bepalingen van het Verdrag, van een stabilisering van de concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer op een niveau waarop gevaarlijke antropogene verstoring van het klimaatsysteem wordt voorkomen. Dit niveau dient te worden bereikt binnen een tijdsbestek dat toereikend is om ecosystemen in staat te stellen zich op natuurlijke wijze aan te passen aan klimaatverandering, te verzekeren dat de voedselproductie niet in gevaar komt en de economische ontwikkeling op duurzame wijze te doen voortgaan.” Er is geen politieke overeenstemming over een kwantitatieve invulling van deze doelstelling, bijvoorbeeld in termen van stabilisatieniveaus van CO₂. Derhalve dienen we een aantal mogelijke doelstellingen te beschouwen. We nemen hierbij de niveaus die zowel in wetenschappelijke als beleidskringen vaak worden gehanteerd: 450, 550, 650 en 750 ppm^v.

De SRES scenario's houden expliciet geen rekening met klimaatbeleid: het zijn zogenaamde “referentie” of “geen-beleid” scenario's. Het LTVE rapport doet geen expliciete uitspraak over klimaatbeleid of klimaatdoelstellingen. Van de beschouwde scenario's leidt alleen B1/Grote Solidariteit in 2100 tot een situatie waarin CO₂ concentraties weliswaar nog niet gestabiliseerd zijn, maar de emissies van CO₂ zich zodanig ontwikkelen, dat de concentraties zich in de volgende eeuw zouden kunnen stabiliseren op ongeveer 550 ppm. Voor de meeste scenario's echter geldt, dat additioneel klimaat- en/of energiebeleid nodig is om CO₂ concentraties in de atmosfeer te stabiliseren. Ook voor B1/Grote Solidariteit moeten CO₂ emissies verder worden gereduceerd indien 450 ppm als klimaatdoelstelling wordt gekozen, iets wat consistent zou zijn met de klimaatdoelstellingen van het Nederlandse NMP^{vi}.

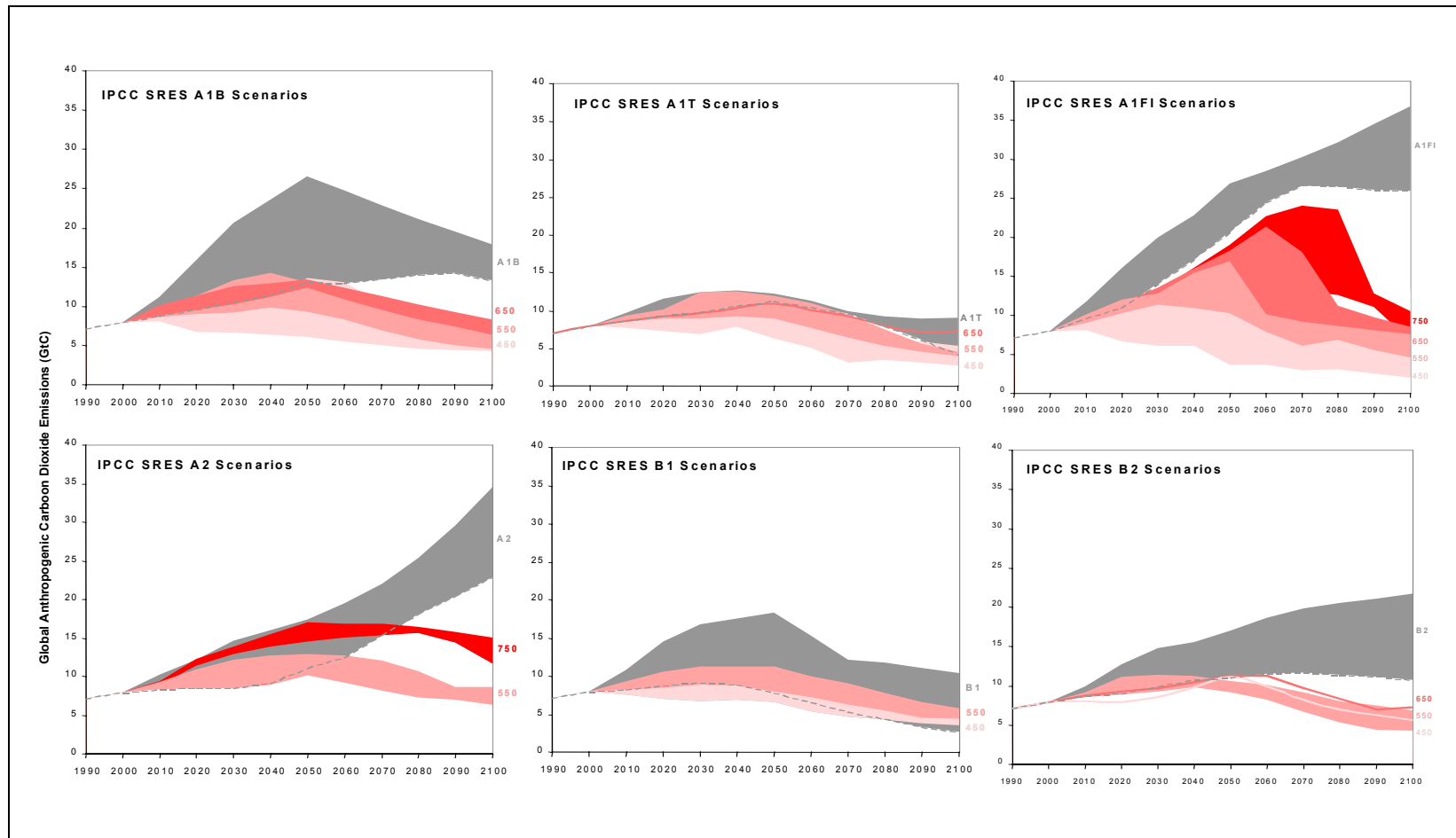
Tabel 4 geeft aan wat de consequenties in termen van emissiebeperking zijn van de verschillende CO₂ concentratieniveaus.

Tabel 4: *Klimaatperspectief: karakteristieken van concentratieniveaus*

450 ppm	<ul style="list-style-type: none"> • Laagste milieurisico's, o.h.a. meeste gunstige neveneffecten • Consistent met langere termijn EU^a, NMP- en korte termijn Kyoto-doelstellingen, mits verdere diepe reducties daarna: • Wereldwijde emissies binnen 5-15 jaar te beperken • Westerse landen 30-40 % reductie in 2030, 70-80 % in 2050 t.o.v. 1990 • Ontwikkelingslanden zo spoedig mogelijk meedoen • Kosten kunnen zeer hoog zijn, afhankelijk van wereldbeeld
550 ppm	<ul style="list-style-type: none"> • Milieu-risico's significant verminderd • Kyoto-doelstellingen op goede weg, daarna geleidelijke verdere reducties • Wereldwijde emissies binnen 20-30 jaar te beperken • Ontwikkelingslanden meedoen na enkele decennia • Kosten kunnen hoog zijn, afhankelijk van wereldbeeld
650 ppm	<ul style="list-style-type: none"> • Milieurisico's slechts in geringe mate verminderd deze eeuw • Kyoto-doelstellingen scherp in relatie tot deze doelstelling: zeer geleidelijke verdere reducties • Wereldwijde reducties pas na 30-45 jaar • Ontwikkelingslanden meedoen in de 2^{de} helft van deze eeuw • Kosten in de meeste wereldbeelden bescheiden
750 ppm	<ul style="list-style-type: none"> • Milieurisico's niet in significante mate verminderd in deze eeuw • Kyoto-doelstellingen onnodig scherp • Wereldwijde emissies pas terug te brengen na 40-60 jaar • Ontwikkelingslanden meedoen in de 2^{de} helft van deze eeuw • Kosten in alle wereldbeelden laag

^a N.B. De EU doelstelling (EU, 1996) heeft twee componenten: beperking van de wereldwijd gemiddelde temperatuurstijging tot 2°C ten opzichte van het preindustriële niveau, en stabilisatie van de CO₂ concentratie op 550 ppmv. Bij een gemiddelde schatting van de klimaatgevoeligheid is de eerste doelstelling, die ruwweg een stabilisering op 450 ppm vereist, maatgevend.

In het kader van het IPCC Third Assessment Report (Metz *et al.*, 2001, Morita *et al.*, 2001) zijn de implicaties in detail geanalyseerd van het stabiliseren van CO₂ concentraties op verschillende niveau's, uitgaande van de SRES wereldbeelden als referentie. Figuur 2 geeft aan hoe groot de "kloof" is tussen de range van SRES referentiescenario's en de range van deze "post-SRES" CO₂ stabilisatie-scenario's. Het is evident dat in een wereldbeeld met hoge CO₂ emissies (bijv. A2/Isolatie) en een strikte klimaatdoelstelling de benodigde inspanning om CO₂ concentraties te stabiliseren veel groter is dan voor een wereldbeeld met lage CO₂ emissies (bijv. B1/Grote Solidariteit).



Figuur 2: Wereldwijde CO₂ emissies in SRES-referentiescenario's (grijze range) en CO₂ emissies in verschillende stabilisatiescenario's (roze tot rode ranges, Morita et al., 2001)

We zullen voor onze verdere beschouwing verder ingaan op deze “post-SRES” scenario’s. De combinatie van 4 wereldbeelden met 4 stabilisatieniveau’s levert een theoretisch aantal van 16 scenario’s op. Zes hiervan echter worden niet verder geëvalueerd, aangezien in 2100 het CO₂ concentratieniveau van het referentiescenario lager is dan het doelstabilisatieniveau (Tabel 5). Evenals de diverse wereldbeelden veel ruimte laten voor interpretatieverschillen en verschillende veronderstellingen over toekomstige energie-opties tussen verschillende experts, zo is ook de beoordeling van de meest geschikte en/of waarschijnlijke technologie om CO₂ concentratiedoelstellingen binnen zo’n wereldbeeld te realiseren enigszins subjectief.

Tabel 5: Combinaties wereldbeelden en mogelijke klimaatdoelstellingen

LTVE	SRES	450 ppm	550 ppm	650 ppm	750 ppm	ppm 2100
Vrijhandel	AIFI	-	-	-	-	920
	AIB				NVT	690
	AIT	-	-	-	-	574
Isolatie	A2					799
Grote Solidariteit	B1		NVT	NVT	NVT	539
Ecologie op Kleine Schaal	B2			NVT	NVT	598

- : niet in LTVE behandeld en derhalve ook hier niet meegenomen

NVT: er is geen additioneel klimaatbeleid noodzakelijk om in dit wereldbeeld op dit niveau te stabiliseren

In de Tabellen 6,7,8 en 9 wordt aangegeven wat de effecten zijn van de klimaatdoelstellingen zoals hierboven omschreven voor de energie-inzet in de verschillende wereldbeelden. In Tabel 6 worden voor het ‘marker’ scenario van het A1 wereldbeeld (Vrijhandel) de effecten van 3 emissiedoelstellingen op de brandstofmix en het BNP gepresenteerd. Het referentiescenario A1 leidt tot een concentratieniveau van 690 ppm in 2100.

Tabel 6: Percentage in totaal primair energiegebruik; Wereldbeeld: Vrijhandel/A1; Regio : OESO

	1990	2030/2100			
		A1	A1-650	A1-550	A1-450
Primaire Energie					
Kolen	25	13 / 2	11/2	7/0	6/1
Olie	45	33 / 8	31/8	33/6	28/8
Gas	20	35 / 24	32/16	31/15	21/9
Nucleair	3	9 / 4	10/4	11/6	14/7
Biomassa	4	4 / 14	0	11/18	24/19
Overig hernieuwbaar	3	6 / 48	16/70	7/55	8/56
Totaal	100	100	100	100	100
Reductie Prim.En.t.o.v A1(%)			8.0/17.6	15.1/30.9	21.8/30.8
Reductie BNP t.o.v A1(%)			0.6/0.9	1.1	2.8/4.4
Emissies Fossiel (GtC)	2.86	3.6/2.3	3.0/1.6	2.3/0.9	2.1/0.9

Om de stabilisatieniveaus te bereiken is gebruikt gemaakt van de volgende opties: een koolstofheffing, versnelde efficiency verbetering, gunstige ontwikkelingen bij hernieuwbare energie, nucleair, afvang en opslag van CO₂ en substitutie binnen fossiel. De doelstelling van 650 ppm ligt dicht aan tegen het referentieniveau van 690 ppm, en dus is weinig inspanning nodig om dit te bereiken. Voor 450 ppm is dit anders. Op de middenlange termijn wordt met name gebruik gemaakt van vraagvermindering en substitutie naar biomassa. De kosten om de doelstellingen te halen nemen af naarmate de doelstelling minder ambitieus wordt (de absolute kosten zijn zeer onzeker, in de specifieke modelanalyse hier besproken dalen de

kosten in het jaar 2030 van 2.8% van het BNP bij 450 ppm tot 0.6% van het BNP bij 650 ppm in de OESO).

In Tabel 7 zijn de resultaten voor het A2 wereldbeeld (Isolatie) opgenomen, met als referentiewaarde voor de CO₂ concentratie in 2100 799 ppm. Dit is duidelijk hoger dan A1, en er moet dus een grotere inspanning gepleegd worden om de doelstellingen te halen.

Tabel 7: Percentage brandstofsoorten in totaal primair energiegebruik; Wereldbeeld Isolatie/A2; Regio : OESO

Primaire Energie	1990	2030/2100		
		A2	A2-750	A2-550
Kolen	25	23 / 52	22/34	10/17
Olie	45	40 / 0	41/0	43/0
Gas	20	22 / 18	22/12	22/4
Nucleair	3	6 / 17	6/35	10/45
Biomassa	4	5 / 7	5/13	9/22
Overig hernieuwbaar	3	4 / 6	4/6	6/12
Totaal	100	100	100	100
Reductie Prim.En t.o.v A2			2.1/38	20.3/58
Reductie BNP t.o.v A2(%)			0/3.4	1.3/7.5
Emissies Fossiel (GtC)	2.9	3.9/6.7	4.1/3.6	3.0/1.8

Voor het A2 scenario geldt dat voor de 550 ppm doelstelling tot 2030 met name gebruik wordt gemaakt van brandstofsubstitutie weg van kolen en van vraagvermindering. Kosten zijn in dit scenario procentueel iets hoger dan in A1. Voor 450 ppm en 650 ppm is geen informatie beschikbaar.

In Tabel 8 zijn de resultaten voor het B1 wereldbeeld weergegeven (Grote Solidariteit). In het basisscenario resulteert dit scenario al bijna tot stabilisatie op een niveau iets beneden 550 ppm. In het A1 en B1 wereldbeeld zijn voor stabilisatie van CO₂ concentraties op 450 ppm de emissiereducties in 2030 respectievelijk ongeveer 60 en ruim 30 %, in overeenstemming met de in het NMP als richtinggevend aangegeven doelstelling^{vii}. Verschuiving naar niet-fossiele electriciteitsproductie speelt hier een belangrijke rol. In Tabel 9 tenslotte zijn de resultaten voor het wereldbeeld 'Ecologie op kleine schaal' aangegeven^{viii}. In B2 speelt de vervanging van kolen en olie door gas en vernieuwbare energiebronnen een dominante rol. Daar de voor B1 en B2 gebruikte modellen geen terugkoppeling naar de economie hebben zijn in de Tabellen 8 en 9 geen kosten aangegeven als % verlies van het BNP.

Tabel 8: Percentage brandstofsoorten in totaal primair energiegebruik; Wereldbeeld: Solidariteit/B1; Regio : OESO

Primaire Energie	1990	2030/2100	
		B1	B1-450
Kolen	25	19 / 8	12/3
Olie	45	33 / 15	32/15
Gas	20	21 / 25	23/21
Nucleair ⁴	3	15 / 29	16/33
Biomassa	4	7 / 15	11/20
Overig hernieuwbaar	3	5 / 7	6/8
Totaal	100	100	100
Reduktie Prim.En.t.o.v B1(%)			18.9/15.0
Emissies Fossiel (GtC)	2.9	2.8/1.1	1.1/.6

Tabel 9: Percentage brandstofsoorten in totaal primair energiegebruik; Wereldbeeld: Ecologie op kleine schaal/B2; Regio : OESO

	1990	2030/2100	
		B2	B2-550
Primaire Energie			
Kolen	25	14/12	12/1
Olie	45	39/6	36/6
Gas	20	31/44	31/44
Nucleair	3	6/11	6/9
Biomassa	4	3/12	8/21
Overig hernieuwbaar	3	7/15	7/19
Totaal	100	100	100
Reductie Prim.En.t.o.v B2(%)			-8.3/2.9
Emissies Fossiel (GtC)	2.9	3.8/3.1	3.8/1.5

In Tabel 10 wordt een overzicht gegeven van de gemiddelde jaarlijkse groei van de CO₂ emissies voor de verschillende scenario's over de perioden 1990-2030 en 1990-2100.

Ter vergelijking, de Kyoto afspraak van een reductie van 5.2 % in 2010 ten opzichte van 1990 voor Annex I (zeg OESO) betekent een gemiddelde jaarlijkse daling van 0.27% over de periode 1990-2010. Voor de stabilisatiescenario's geldt, dat

- (a) het gemiddelde vereiste reductietempo van CO₂ emissies in de OESO over de gehele eeuw hoger is dan in de eerste drie decennia van de eeuw, suggererend dat het reductietempo geleidelijk zou moeten worden opgevoerd, en
- (b) het tempo van emissiereductie toeneemt naarmate de stabilisatiedoelstelling lager wordt gekozen, maar in deze scenario's veelal niet boven de 1 % per jaar komt.

Meer nauwkeurige uitspraken over het benodigde tempo van emissiereducties in bepaalde regio's in een bepaalde tijdsperiode zijn onmogelijk, onder meer daar het tempo afhangt van veronderstellingen m.b.t. het tijdpad van concentratiestabilisatie en m.b.t. een eventuele emissiehandel tussen regio.

Tabel 10: Gemiddelde jaarlijkse stijging in percentages van de CO₂ emissies voor de verschillende scenario's over de perioden 1990-2030 en 1990-2100; Regio : OESO

Scenario/jaar	Gemiddelde jaarlijkse stijging (%) CO ₂ emissies t.o.v 1990	
	2030	2100
Referentie A1	0.6	-0.2
A1-650	0.1	-0.5
A1-550	-0.5	-1.0
A1-450	-0.8	-1.0
Referentie A2	0.7	0.8
A2-750	0.9	0.2
A2-550	0.1 ^{ix}	-0.4
Referentie B1	-0.1	-0.9
B1-450	-0.9	-1.4
Referentie B2	0.7	0.1
B2-550	0.7 ⁹	-0.6

Tabel 11 laat zien hoe de 9 in de "post-SRES" exercitie deelnemende modelteams de lange termijn mogelijkheden van de verschillende opties hebben ingeschat voor de jaren 2050 en 2100. Wij hebben in deze tabel op een schaal van 0 (kleinste bijdrage), + (middengrote bijdrage) tot ++ (grootste bijdrage) de opties gewaardeerd. In sectie 3 zal worden geëvalueerd in hoeverre uit deze modelanalyses "robuuste opties" zouden kunnen worden afgeleid. Deze verschuivingen zijn gebaseerd op lange-termijn "top-down" modellering, waarbij onderzocht is hoe in de verschillende wereldbeelden de concentratie van CO₂ op verschillende niveaus

zou kunnen worden gestabiliseerd. De keuze van technologische opties en maatregelen om dit te realiseren zijn afhankelijk van (a) de karakteristieken van het energiesysteem in het referentieniveau, en (b) een inschatting door de modelleur in hoeverre een bepaalde technologie of maatregel in overeenstemming is met het maatschappelijke wereldbeeld. Dit verklaart waarom in de tabel bijvoorbeeld in Vrijhandel/A1T het accent ligt op kernenergie en CO₂ afvang en opslag om de CO₂ doelstelling te halen en in Grote Solidariteit/B1 op vernieuwbare bronnen. In A1T zijn heel veel hernieuwbare opties al opgenomen in het basis scenario, terwijl in dit wereldbeeld weinig bezwaren bestaan tegen kernenergie of CO₂-afvang. In B1 daarentegen worden deze opties niet duurzaam geacht en ligt het accent op verdere inzet van vernieuwbare energie.

Gebaseerd op Tabel 11 zijn de volgende observaties relevant:

- Vraagvermindering is bij alle wereldbeelden een (zeer) belangrijke optie. Voor 2050 is deze optie zeer overheersend; voor 2100 moeten ook andere opties (met name brandstofsubstitutie) substantieel ingezet worden om tot de gewenste reductie te komen.
- Tot 2050 zal een switch naar hernieuwbaar met name gericht zijn op biomassa.
- Na 2050 gaat verdere substitutie naar andere fossiele brandstoffen (gas) en een switch naar hernieuwbaar (nog steeds met name biomassa) een steeds belangrijkere rol spelen. CO₂ afvang en verwijdering speelt in de scenario's een veel minder belangrijke rol.

Tabel 11: Gekozen opties voor emissiereductie voor 550 ppm stabilisatie voor de 9 post-SRES modellen (Morita et al., 2001) Minimum-Maximum en (Mediaan) in 2050 en 2100 (GtC); +/- waardering door auteurs notitie toegevoegd

	Vrijhandel			Isolatie	Grote Solidariteit	Ecologie op kleine schaal	
	2050	A1B	A1FI	A1T	A2	B1	B2
Substitutie tussen fossiele brandstoffen	0.0-1.2 (.55) 0/+	.6-3.3 (2.2) +	-.0-1.1 (.1) 0	.13-.96 (.6) 0/+	.0-.11 (.02) 0	-.02-.54 (.25) 0/+	
Switch naar kernenergie	-.42-.56 (.45) 0/+	.33-1.1 (.53) 0/+	-.03-.12 (.04) 0	.18-.98 (.97) +	.0-.25 (.17) +	.12-.54 (.48) +	
Switch naar biomassa	-.15-1.7 (1.13) +	.26-1.3 (.76) 0/+	-.1-1.4 (.02) 0	.64-2.3 (1.14) +	.0-.73 (.34) ++	-.14-.87 (.31) 0/+	
Switch naar andere hernieuwbare energiebronnen	-.1-3.1 (1.12) +	.26-4.91 (.88) 0/+	-.15-.05 (-.05) 0	.0-1.1 (.55) 0/+	.0-.51 (.29) +	.1-.85 (.38) 0/+	
CO ₂ afvang en verwijdering	0-2.5 (.0) 0	.0-5.75 (3.09) +	.49-.58 (.53) ++	.0-.5 (0) 0	.0-0 (.0) 0	.0-2.4 (.14) 0	
Vraagvermindering	1-3.5 (2.45) ++	1.66-8.5 (4.6) ++	.03-.99 (.51) +	83-5.7 (2.3) ++	.0-1.1 (.23) +	-.2-2.4 (1.15) ++	
Totale reductie	3.9-8.5 (5.46)	9.1-17.7 (13.2)	.2-2.0 (1.12)	3.0-7.0 (6.7)	0.0-2.1 (1.25)	1.2-5.2 (3.5)	
	2100	A1B	A1FI	A1T	A2	B1	B2
Substitutie tussen fossiele brandstoffen	-0.1 – 2.2 (0.97) +	0.2 – 11.8 (1.82) +	0.1 – 0.1 (0.09) +	2.4 – 5.4 (2.95) +	0.0 – 0.2 (0.09) +	0.6 – 2.7 (1.35) +	
Switch naar kernenergie	0.3 – 6.4 (0.55) 0/+	-2.4 – 1.9 (1.20) 0/+	0.0 – 2.0 (1.03) ++	0.3 – 1.7 (1.18) 0	0.0 – 3.1 (0.02) 0	-0.2 – 5.1 (2.28) ++	
Switch naar biomassa	-0.8 – 1.5 (1.03) +	-0.2 – 5.5 (2.50) +	-0.2 – 0.3 (0.07) +	1.1 – 3.8 (1.84) +	0.0 – 4.3 (0.04) +	-1.9 – 1.5 (0.63) 0	
Switch naar andere hernieuwbare energiebronnen	0.1 – 2.5 (1.51) ++	0.6 – 15.1 (2.70) +	-0.1 – 0.0 (-0.05) 0	2.2 – 6.7 (3.33) +	0.1 – 0.3 (0.28) ++	0.1 – 3.2 (2.07) ++	
CO ₂ afvang en verwijdering	0.0 – 4.7 (0.00) 0	0.0 – 23.8 (0.39) 0	0.5 – 1.6 (1.06) ++	0.0 – 5.8 (0.00) 0	0.0 – 1.1 (0.00) 0	0.0 – 3.0 (0.63) 0	
Vraagvermindering	0.5 – 6.6 (0.94) +	1.9 – 17.7 (10.4) ++	0.0 – 0.2 (0.11) +	5.2 – 15.6 (10.21) ++	0.1 – 0.3 (0.08) +	0.7 – 3.5 (1.64) +	
Totale reductie	7.1 – 11.9 (9.16)	21.7 – 30.5 (21.1)	0.3 – 4.4 (2.31)	21.7 – 26.9 (22.81)	0.2 – 9.6 (0.39)	6.0 – 10.6 (8.14)	

Noot: emissie-reducties zijn geschat door de emissie in het stabilisatiescenario (in GtC) af te trekken van de waarde in het referentiescenario.

Tabel 12: *Mondiaal reductiepotentieel van broeikasgas emissies tot 2020 (IPCC, 2001)*

Sector	Potentiële emissiereducties in 2010 (MtCeq/jaar)	Potentiële emissiereducties in 2020 (MtCeq/jaar)
Gebouwen	700 – 750	1000 - 1100
Transport	100 – 300	300 - 700
Industrie		
- Energie-efficiëntie	300 – 500	700 - 900
- Materiaal-efficiëntie	~ 200	~ 600
- niet-CO ₂ bkg-en	~ 100	~ 100
Landbouw	150 – 300	350 - 750
Afval	~ 200	~ 200
Toepassing van Montreal Protocol vervangers	~ 100	niet beschikbaar
Energie voorziening en omzetting	50 – 150	350 - 700
Totaal	1900 - 2600	3600 - 5050

Een andere benadering is om “bottom-up” te kijken naar welke technologieën er nu beschikbaar zijn (tenminste in het prototype-stadium) en wat het potentieel per sector van deze opties is op de korte tot midden-lange termijn. IPCC (2001) geeft aan dat er honderden verschillende technologieën bekend zijn, in alle sectoren, die kunnen worden ingezet om de uitwerp van broeikasgassen aan te pakken (zie Tabel 12). In 2020 zouden met deze opties zelfs de mondiale emissies beneden het huidige niveau kunnen worden gebracht. Ook op de lange termijn geeft IPCC aan dat met nu bekende technologieën de concentraties van CO₂ kunnen worden gestabiliseerd op een niveau van 450 ppm of zelfs daaronder. Het IPCC laat verder zien dat de helft van het reductiepotentieel in 2020 gerealiseerd kan worden tegen hogere baten dan kosten (op basis van directe kosten, een discontovoet van 5-12% en zonder de baten van vermeden klimaatverandering mee te rekenen). De andere helft kan gerealiseerd worden tegen kosten beneden de US\$100/tC. Maar er zijn vele sociale, politieke, gedragsmatige, financiële en andere belemmeringen die de daadwerkelijke implementatie van deze opties moeilijk maken. Met het wegnemen van deze belemmeringen zijn kosten gemoed die bij de bovenstaande inschatting niet zijn meegenomen (“transactie-kosten”). Een dergelijke alle sectoren omvattende en kwantitatieve evaluatie is voor Europa niet bekend. Desalniettemin zijn in Box 2 enkele inzichten samengevat uit recente Europese lange-termijnstudies. Bij deze studies is geen onderscheid gemaakt tussen verschillende wereldbeelden.

Box 2: Recente Europese lange-termijnstudies

De hoofdttekst van deze notitie gaat vooral in op de implicaties van klimaatdoelstellingen voor het energiesysteem op wereld- en regionale schaal (OESO). Wat zijn de implicaties op Europese schaal? Allereerst kijken we naar de implicaties van de IIASA/WEC scenario's voor Europa. Het enige IIASA/WEC scenario dat leidt tot stabilisatie van CO₂ concentraties (beneden 500 ppm) is het "Ecologically-driven" scenario C (Nakicenovic *et al.*, 1998). In dit scenario neemt de CO₂ emissie in West-Europa met ongeveer 30 % af in 2020 t.o.v. 1990, en met 55-75 % in 2050. De belangrijkste drijvende kracht achter deze ontwikkeling is een dematerialisatie van de economie (sterke vermindering van de energie-intensiteit), alsmede na 2020 een sterke toename van vernieuwbare- en kernenergie (één kernenergievrije variant is ontwikkeld).

In de Europese dialoog van het COOL-project zijn door onder meer vertegenwoordigers uit de sectoren zelf de mogelijkheden onderzocht om in 2050 een CO₂-emissiereductie van (50-) 80 % te realiseren in de energie- en transportsector (Andersson *et al.*, 2001). In de *energiesector* zorgen besparingsopties voor een vrijwel constante energievraag bij een doorgaande economische groei van 2 %. Voor absolute emissiereducties zijn ook aanpassingen aan de aanbodkant noodzakelijk. Hiervoor werden twee varianten ontwikkeld: één voornamelijk vertrouwend op de inzet van biomassa en één met als basis een met zonne-energie aangedreven waterstofeconomie. Hoewel werd ingeschat dat 80 % van de in Europa benodigde biomassa theoretisch in Europa zelf zou kunnen worden geproduceerd op anders uit gebruik genomen landbouwgronden, werd de daadwerkelijke haalbaarheid hiervan niet groot geacht. In beide oplossingsrichtingen spelen in een gedecentraliseerd energiesysteem een toenemende inzet van aardgas, o.a. in WKK, en het gebruik van efficiënte warmtepompen een belangrijke rol. Te grote onzekerheid omtrent het oplossen van de veiligheids- en afvalproblemen rond kernenergie leidden tot het uitsluiten van deze optie in het project. Voor de *transportsector* werden de volgende vier opties ontwikkeld om tot de beoogde grote emissiereductie te komen: efficiencyverbetering, brandstofsubstitutie, ruimtelijke (infra-)structuurveranderingen en gedragsverandering. Het Europese transportsysteem in 2050 zou veel diverser zijn dan de situatie nu, gedomineerd door de benzine-aangedreven privé-auto. Net als in de energiesector spelen in de verkende opties biomassa en waterstof een dominante rol bij het brandstofsubstitutie-spoor in de transportsector, met grootschalige inzet van brandstofcellen.

Een andere studie waarbij gekeken is naar CO₂ doelstellingen voor West Europa is de studie "The long term potential of fusion power in Western Europe", uitgevoerd door ECN in opdracht van de Europese Commissie (ECN, 1998). In deze lange termijn studie (tot 2100) is gekeken naar de opties voor West Europa om verschillende CO₂ stabilisatieniveaus in de range van 450 ppm – 750 ppm te bereiken. Zeer specifiek is gekeken in hoeverre kernfusie hier een bijdrage aan zou kunnen leveren.

De belangrijkste conclusies waren:

- Over het algemeen zullen in West-Europa de meer substantiële CO₂ reducties pas plaatsvinden na 2040. Tot die tijd is de bestaande energieinfrastructuur een belemmering voor het behalen forse CO₂ reducties.
- Na vraagvermindering zullen de opties brandstofsubstitutie, electriciteitsproductie gebaseerd op biomassa en CO₂ verwijdering de belangrijkste opties zijn in West-Europa voor CO₂ vermindering
- Inzet van zonne- en windenergie zal een bovengrens hebben, gegeven het beperkt aantal geschikte locaties en de minimale hoeveelheid aan base-load electriciteit die nodig is; kernfusie kan dan theoretisch op de lange termijn een rol gaan spelen

Bronnen: Nakicenovic *et al.*, 1998; Andersson *et al.*, 2001; ECN, 1998

3.2 Recente Europese en Nederlandse lange termijn-studies

Tabel 11 geeft een indicatie van de mogelijke opties om op wereldschaal tot grote reducties van de CO₂ uitwerp te komen en Box 2 bespreekt opties op Europese schaal. Wat zijn de opties in Nederland? Ook op Nederlandse schaal zijn de mogelijkheden verkend om in 2030 de CO₂ emissies met 30 % te reduceren t.o.v. 1990, de ondergrens van de richtinggevende doelstelling van NMP4 en met 80 % in 2050 (ECN/RIVM, 2000). Voor 2030 wordt ruwweg een even groot potentieel ingeschat voor de opties energiebesparing, vernieuwbaar en schoon

fossiel, met de opties gedragsverandering, economische structuurverandering en inzet van kernenergie gezamenlijk ongeveer evenveel potentieel als de eerste drie opties afzonderlijk^x. De oplossingsrichtingen aan de vraagkant (besparing, gedrags- en structuurverandering) zijn van toepassing op vrijwel alle sectoren en hebben gezamenlijk een iets kleiner potentieel dan de oplossingen aan de aanbodkant (vernieuwbaar, schoon fossiel, kernenergie) bij elkaar. Aan de aanbodkant liggen de meeste mogelijkheden bij de elektriciteit- en transportsector. De doelstelling zou ook gehaald kunnen worden zonder kernenergie, of zonder kernenergie en schoon fossiel, of zonder geïmporteerde biomassa en kernenergie, maar dan moeten de andere oplossingen in hogere mate (en veelal tegen hogere kosten) worden ingezet.

In de zogenaamde nationale dialoog van het COOL-project is door vertegenwoordigers uit de sectoren zelf de mogelijkheid verkend om in 2050 in de sectoren tot een emissiereductie van 80 % te komen, tegen de achtergrond van twee scenario's die zijn afgeleid van de IPCC scenario's A1 (-> LTVE Vrijhandel) en B2 (->LTVE Ecologie op Kleine Schaal). De wenselijkheid van een dergelijke doelstelling werd in het project niet besproken, maar hier kan geconstateerd worden dat deze consistent is met de Nederlandse en Europese lange termijn klimaatdoelstellingen (Hisschemöller en van de Kerkhof, 2001):

- ◆ Voor de sector “*Gebouwde omgeving*” werd 80-90 % emissiereductie mogelijk geacht, vooral door optimalisatie van isolatie, inzet van vernieuwbare energie en warmtepompen met micro-WKK, zowel bij bestaande als nieuwbouw. Elektriciteit uit schoon fossiel wordt niet ondenkbaar geacht in deze sector.
- ◆ In de sector “*Industrie/energie*” moet in ieder geval maximaal worden ingezet op efficiency \-verbetering, maar over de gewenste veranderingen aan de aanbodkant bestaat groot verschil van mening tussen de voorstanders van schoon fossiel en die van vernieuwbare energie. Mogelijk dienen om de strikte doelstelling te behalen de controverses overboord gezet te worden omdat dan alle opties nodig zullen zijn.
- ◆ Bij “*Landbouw en voeding*” worden de oplossingen gezocht – in volgorde van potentiële bijdrage – in maatregelen bij de primaire productie (o.a. klimaatneutrale kassen), duurzame energieopwekking (wind, biomassa), koolstofvastlegging in bossen en landbouwgronden, en tenslotte mogelijke maatregelen in de voedselketen (niet gespecificeerd).
- ◆ In de sector “*Verkeer en vervoer*” zijn vier sporen geëvalueerd: CO₂-neutrale brandstoffen (biomassa, schoon fossiel), zuiniger voertuigen, terugdringen vervoersvraag, en modal shifts. Aangezien naar verwachting de groei van de mobiliteit (ondanks de laatste twee opties) de winst door efficiency verbeteringen teniet zal doen, is de beoogde grote emissiereductie zonder het eerste spoor ondenkbaar.

Geconstateerd kan worden, dat in de onderzochte individuele sectoren een CO₂-emissiereductie van tenminste 80 % in 2050 zeker denkbaar is. Echter, niet alleen zullen er grote inspanningen nodig zijn om de vele technische, financiële en organisatorische barrières te overwinnen, maar ook zijn er mogelijke inconsistenties tussen de oplossingen. Bijvoorbeeld vereist een oriëntatie op duurzame energie een geheel ander investeringspatroon in infrastructuur dan schoon fossiel, en kunnen de verschillende sectoren een concurrerende claim leggen op schaarse te importeren biobrandstoffen.

In de ECN-studie “Energietechnologie in het spanningsveld tussen klimaatbeleid en liberalisering” (ECN, 2000) zijn drie blauwdrukken onderzocht om op de lange termijn (2050) tot een CO₂-arme energievoorziening te komen (50% reductie t.o.v. 1990): 1) bestaande infrastructuur; 2) “all hydrogen”; en 3) “all electric”. Het is in alle drie de blauwdrukken mogelijk om een forse reductie van CO₂ emissies te bereiken. Gebeurt dat met de bestaande

infrastructuur dan moet een groot beroep gedaan worden op de inzet van biomassa. Bij de blauwdrukken “all hydrogen” en “all electric” wordt het eindgebruik geheel CO₂-vrij, maar het vraagt wel een enorme aanpassing van de infrastructuur. Uit interviews met energiebedrijven blijkt er een grote terughoudendheid te bestaan om op één paard te wedden (“all electric” of “all hydrogen”) vanwege de angst dat men de verkeerde keuze maakt. Vanuit de energiebedrijven zullen er dus geen aanzetten zijn in de richting van deze twee blauwdrukken, mede ook omdat de liberalisering dwingt tot het leggen van de nadruk op kostenbesparing. Het nu niet kiezen voor deze opties (en dus niet doen van innovatief onderzoek) vergroot de kans dat deze opties vanzelf worden uitgesloten. Hoe langer gewacht wordt met een fundamentele omslag van de energiestructuur, hoe moeilijker het wordt. Hier zou dus een taak van de overheid kunnen liggen.

3.3 Niet-CO₂ BKG emissies

Een aantal belangrijke zaken is tot nu toe niet aan bod gekomen, voornamelijk vanwege het ontbreken van wereldwijde of regionale analyses in de literatuur. In de eerste plaats hebben we ons geconcentreerd op CO₂ uit de energiesector. De belangrijkste twee redenen hiervoor zijn dat (a) deze emissies niet alleen momenteel verantwoordelijk zijn voor de grootste bijdrage aan de totale BKG-emissies, maar in de meeste scenario's deze bijdrage alleen maar groter wordt, en (b) onderzoekers zich vrijwel uitsluitend op CO₂ hebben gericht. Desalniettemin spelen niet-CO₂ broeikasgassen een belangrijke rol op zowel lange als korte termijn. Op de lange termijn is het van belang om onderscheid te maken tussen stabilisatie van CO₂ en stabilisatie van CO₂-equivalent. Een voorbeeld: indien we als klimaatdoelstelling 550 ppm CO₂ equivalent zouden kiezen i.p.v. CO₂^{xi}, en veronderstellende dat de uitworp van niet-CO₂ broeikasgassen zich zou ontwikkelen als in het referentiescenario, dan zou de CO₂ concentratie op ongeveer 400 ppm gestabiliseerd moeten worden (Wigley, 2001)^{xii}.

De weinige onderzoekers die wel hebben gekeken naar niet-CO₂ broeikasgasemissiereducties en niet-energie CO₂ emissies hebben zich veelal op het kostenbesparingspotentieel van niet-CO₂ emissies op de korte termijn gericht^{xiii}. Een aantal bronnen “liften mee” als het verbruik van fossiele energie wordt beperkt (methaan bij olie- en kolenwinning, bij aardgasdistributie). Uit Tabel 12 valt af te leiden dat wereldwijd het potentieel van niet-CO₂ broeikasgassen in termen van CO₂ equivalent maximaal ruwweg 20 % van de totale geschatte emissies bedraagt in 2010 en 2020 (zie niet-CO₂ industrie, landbouw, afval). De grootte van het niet-CO₂ emissiereductiepotentieel op grotere schaal voor de langere termijn is onbekend, maar wordt niet zodanig groot ingeschat dat hierdoor CO₂ emissiebeperking overbodig zou worden. De specifieke situatie in sommige landen, zoals Nederland, kan desalniettemin zeer aantrekkelijke emissiereductie-opties voor niet-CO₂ broeikasgasemissies hebben. In Europa wordt verwacht dat methaanemissies in 2010 en 2020 ook zonder beleid met 9 % zullen afnemen, voornamelijk door vermindering van kolenwinning (AEA, 1998a) of zelfs met 26 % als rekening wordt gehouden met vermindering van afvalstort en “autonome” toename van stortgaswinning (Hendriks *et al.*, 1998). In 2010 zouden met extra maatregelen de methaanemissies met 40 (AEA, 1998a) tot 50 % (Hendriks *et al.*, 1998) kunnen afnemen, in CO₂-equivalenten gemeten ongeveer de helft van de totale emissiereductie die nodig is om de Kyoto-doelstelling te halen^{xiv}. Voor N₂O geldt, dat in 2010 de emissies met 27-29 % (AEA, 1998b, Hendriks *et al.*, 1998) t.o.v. de uitworp in 1990 verminderd zouden kunnen worden, in CO₂ equivalenten ongeveer een kwart tot een derde van de door Kyoto t.o.v. 1990 vereiste reductie.

3.4 Niet-energie CO₂ emissies

Een andere belangrijke optie om netto CO₂ emissies te verminderen is via landgebruik: verminderen van netto emissies door tegengaan ontbossing of het opslaan van koolstof in vegetatie (met name bosaanplant). Voornamelijk door ontbossing draagt veranderend landgebruik momenteel zo'n 25% bij aan de wereldwijde CO₂ uitwerp. In alle landgebruikscenario's^{xv} zijn op de langere termijn de emissies zeer laag, en vrijwel verwaarloosbaar t.o.v. die uit de energiesector. Het wereldwijde potentieel voor vastlegging van CO₂ via landgebruikmaatregelen wordt ingeschat op maximaal zo'n 100 GtC in 2050 (cumulatief), ongeveer 10-20 % van de geschatte CO₂ emissies (Metz *et al.*, 2001). Ongeveer twee derde tot drie kwart hiervan zou gerealiseerd kunnen worden in bossen, de rest door vastlegging in landbouwgronden. Deze mogelijkheden zijn niet gegarandeerd permanent (de bomen kunnen weer gekapt worden), maar bieden wel mogelijkheden om tijd te winnen voordat vergaande oplossingen in de energie- en andere sectoren worden geïntroduceerd. De Kyoto-onderhandelingen hebben laten zien dat het opnemen van deze opties in internationaal gecoördineerd beleid, zoals emissiehandel en het CDM, zeer controversieel is. Onzekerheden en definitieafhankelijkheid van de kwantificering van koolstofvastlegging spelen hierbij een rol. De haalbaarheid van het realiseren van het geschatte potentieel is erg afhankelijk van concurrerende claims op de gronden (o.a. voor biobrandstoffen), maar in vele landen zal dit een zeer interessante optie zijn speciaal voor de korte en middellange termijn^{xvi}.

3.5 Noord-zuid verdelingsaspecten

Ook zijn de verdelingsaspecten van de stabilisatie van broeikasgasemissies over arme en rijke regio's van belang. Wetenschappelijk onderzoek heeft tot nu toe weinig systematisch aandacht besteed aan ethische en politieke vragen die deze verdelingsaspecten oproepen. Belangrijk is hierbij mee te wegen, dat niet alleen (a) de ontwikkelde landen in het verleden verreweg het meeste aan de klimaatproblematiek hebben bijgedragen, maar ook dat (b) de voorziene gevolgen van klimaatverandering het ernstigst zijn in de ontwikkelingslanden, onder meer door hun grotere kwetsbaarheid (McCarthy *et al.*, 2001), en (c) dat zij de minste middelen hebben om emissiereducties te realiseren (Metz *et al.*, 2001). Het is duidelijk dat naarmate de klimaatdoelstelling strikter wordt, ontwikkelingslanden eerder hun uitwerp zullen moeten beperken. Of zij dit zullen doen hangt af van de mate waarin de ontwikkelde landen hen hierbij zullen helpen middels overdracht van technologie en internationale coördinatie van klimaatbeleid, bijvoorbeeld met behulp van instrumenten zoals CDM, JI en emissiehandel. Analyses van de verdeling van de benodigde emissiebeperking in ontwikkelingslanden en industrielanden onder een aantal mogelijke rechtvaardigheidsprincipes in het COOL-project^{xvii} voor een stabilisatiedoelstelling van 450 ppm (Berk *et al.*, 2001) laten differentiatie zien tussen verschillende ontwikkelingsregio's wat betreft timing en grootte van benodigde CO₂ reducties, maar leveren voor alle ontwikkelde regio's de sterke noodzaak op voor snelle en vergaande emissiereducties (meer dan 50-60 % rond 2050).

In het kader van het Klimaatverdrag is afgesproken (Bonn Agreement), dat de industrielanden hun emissies moeten reduceren met het oog op verkleining van de verschillen met ontwikkelingslanden in de uitwerp van broeikasgassen per hoofd van de bevolking. Over de tijdhorizon van zo'n benadering is vooralsnog geen overeenstemming, maar het expliciet noemen van het principe van emissieconvergentie geeft een belangrijk richtinggevend signaal voor lange-termijn emissiereducties in de industrielanden.

3.6 Energiebeleid, klimaatbeleid en duurzame ontwikkeling

Tenslotte is er de vraag, of de techniekkeuze bepaald wordt door klimaatbeleid, energiebeleid of ander beleid. In werkelijkheid zullen deze beleidsvormen moeilijk te scheiden zijn. Bij beslissingen inzake energieontwikkelingen zullen vele factoren een rol spelen, waarvan klimaatverandering er één is. De meningen blijven verdeeld of de aanpak van klimaatverandering kan meeliften met ander beleid, of dat alleen specifiek klimaatbeleid de mogelijkheden biedt op korte termijn de beleidsdoelen te halen en op langere termijn de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer te stabiliseren. Gezien de ruime hoeveelheid fossiele energie in kolen- en onconventionele olie- en gasvoorraden zal schaarste in ieder geval niet de reden zijn om het gebruik van fossiele energie te beperken, maar milieu^{xviii}-, politieke en economische redenen. De baten van reductie van broeikasgasemissies voor niet-klimaatproblemen, zoals vermindering van regionale en lokale luchtverontreiniging kunnen in de zelfde orde van grootte liggen als de kosten van die reductie (Metz *et al.*, 2001). Naarmate de economie zich als geheel meer ontwikkelt in duurzame richting, zal het relatief eenvoudiger zijn om broeikasgasemissies te beperken. Omgekeerd, hoe meer de economie en met name het energiesysteem zich blijft ontwikkelen op basis van het gebruik van fossiele energie, hoe moeilijker het zal zijn om broeikasgasconcentraties te stabiliseren (UNDP, 2000; IPCC: Metz *et al.*, 2001; NOP-COOL: Berk *et al.*, 2001). Belangrijk element hierbij is dat economische structuurveranderingen en gedragsveranderingen in meer duurzame richting het beperken van broeikasgasemissies op de kortere termijn, en het stabiliseren van concentraties op de langere termijn weliswaar eenvoudiger kan maken, maar dat vooral ook de ontwikkeling, toepassing en overdracht naar ontwikkelingslanden van klimaatvriendelijke technologie in alle gevallen noodzakelijk zal zijn.

4. Synthese en discussie

4.1 Inleiding

In deze sectie proberen we een link te leggen tussen de voorafgaande analyse en de adviesaanvraag 'Post Kyoto en het energiebeleid'. De volgende vragen zijn dan relevant:

1. Welke bijdrage kan het energiebeleid leveren aan een internationaal gecoördineerd klimaatbeleid? Onder welke voorwaarden kan deze bijdrage geleverd worden?
2. Welke energieketens en technologieclusters worden er, nationaal zowel als internationaal, als sleutels gezien voor actief klimaatbeleid;
3. Hoe is de verhouding tussen de beleidsopties energiebesparing, inzet van hernieuwbare energie, nucleaire energie en 'schoon fossiel' op langere termijn? Is een actief beleid op het gebied van schoon fossiel opportuun?

Deze vragen worden hieronder besproken gebruikmakend van de informatie gepresenteerd in de voorafgaande Tabellen 11 tot en met 15. Tabel 13 toont de gebruikte scoreschaal van de criteria kosteneffectiviteit, duurzaamheid en haalbaarheid zoals die in de inleiding zijn geïntroduceerd. In Tabel 14 zijn de scenariocombinaties op de criteria gewaardeerd. Tabel 15 vat samen waarom in een specifiek wereldbeeld bepaalde klimaatdoelstellingen haalbaar zouden kunnen zijn, en onder welke voorwaarden.

4.2 Bijdrage energiebeleid in Europa aan internationaal klimaatbeleid

Een eenvoudig antwoord op de eerste vraag zou zijn, dat het energiebeleid niet alleen een grote bijdrage *kan* leveren aan het internationale klimaatbeleid, maar dit ook zal *moeten* doen om het klimaatbeleid effectief te maken, gezien de overheersende rol van de energiesector als veroorzaker van broeikasgasemissies. Het energiebeleid heeft echter meer doelstellingen dan klimaatbeleid alleen en er zouden belangrijke trade-offs en synergieën kunnen zijn. De belangrijkste doelstellingen van het energiebeleid zijn duurzame ontwikkeling, economische efficiency en voorzieningszekerheid. Met deze doelstellingen als randvoorwaarden kan gezocht worden naar een invulling van het energiebeleid dat optimaal bijdraagt aan het internationale klimaatbeleid. De analyse in deze notitie leidt tot de volgende relevante observaties:

Wereldbeeld Vrijhandel

In het wereldbeeld vrijhandel is er in de scenario's in de OESO-Europa sprake van een substantiële substitutie naar gas en biomassa. De grote afhankelijkheid van een beperkt aantal niet Europese gasproducenten en van geïmporteerde biomassa zou een negatief effect kunnen hebben op de leveringszekerheid, maar in dit wereldbeeld zonder significante handelsbeperkingen en met een brede diverse basis voor de energievoorziening zou dit niet tot problemen hoeven te leiden. De additionele kosten voor emissiereductie kunnen bij stringente doelstellingen vrij hoog zijn waardoor de ruimte voor een bijdrage aan het klimaatbeleid minder wordt. Een nadruk op het verhogen van de energie-efficiency vanuit het energiebeleid is derhalve belangrijk voor de verschillende klimaatdoelstellingen in dit wereldbeeld. Tabel

14 laat zien dat stabilisatie op 650 ppm o.a. tot positieve scores op de verschillende criteria leidt, maar dat bij een strikte doelstelling als 450 ppm enkele trade-offs tussen aan de ene kant duurzaamheidscriteria en aan de andere kant een aantal aspecten van kosteneffectiviteit en haalbaarheid optreden.

Wereldbeeld Isolatie

In dit wereldbeeld blijft ook bij klimaatdoelstellingen de import van gas beperkt, wat positief bijdraagt aan de voorzieningszekerheid. Kosten om klimaatdoelstellingen te halen zijn hoger dan bij vrijhandel en een actief beleid op het gebied van energie-efficiency lijkt ook hier zeer opportuun. Al bij relatief zwakke klimaatdoelstellingen lijken er in dit wereldbeeld belangrijke trade-offs te zijn tussen de drie doelstellingen/criteria. Van de vier wereldbeelden lijken de verwachtingen ten aanzien van alle criteria het meest somber. In zekere zin suggereren de scores van Tabel 14 dat streng klimaatbeleid de negatieve scores op het gebied van kosteneffectiviteit en haalbaarheid zelfs wat zou kunnen verminderen.

Wereldbeeld Grote Solidariteit

In dit wereldbeeld is op de middenlange termijn geen grotere afhankelijkheid van gas of andere geïmporteerde brandstoffen te verwachten. Ook de kosten om klimaatdoelstelling te halen zijn lager dan in de andere wereldbeelden. Er is veelal sprake van synergie tussen de verschillende doelstellingen en er lijkt dus veel ruimte voor een substantiële bijdrage vanuit het energiebeleid aan het klimaatbeleid in dit wereldbeeld. Van de vier wereldbeelden lijken hier de kansen om aan alle criteria optimaal te voldoen het meest veelbelovend.

Wereldbeeld Ecologie op Kleine Schaal

In dit wereldbeeld is sprake van een verhoogde inzet van aardgas en biomassa, hetgeen gezien het regionale karakter van het scenario enige risico's met zich mee zou kunnen brengen. De kosteneffectiviteit van CO₂ concentratiestabilisatie scoort vergelijkbaar met het Vrijhandelswereldbeeld, maar de haalbaarheid lijkt iets groter gezien het accent op duurzame oplossingen voor lokale milieuproblemen. Energiebeleid zou hier een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan het klimaatbeleid op regionale (Europese) schaal.

Tabel 13: Criteria waardering

Criteria	Sub-criterium	--	-	0	+	++
Duurzaamheid	Energie-intensiteit	Toegenomen	Blijft ongeveer gelijk	Enigszins verminderd	Sterk verminderd	Zeer sterk verminderd
	Klimaat effecten	Zeer sterk negatief	Sterk negatief	Matig	Gering	Zeer gering
	Overige milieu-effecten	Sterk negatief	Matig negatief	Sommige positief, andere negatief	Matig positief	Sterk positief
Kosten-effectiviteit	Kosten klimaat/energiebeleid¹	Hoog	Matig	Beperkt	Mogelijke baten	Baten
	Spin-off effecten	Sterk negatief	Matig negatief	Sommige positief andere negatief	Matig positief	Sterk positief
	Billijkheid N-Z²	Nu reduceren	10-20 jaar wachten	20-30 jaar wachten	30-40 jaar wachten	> 50 jaar wachten
	Technologie-overdracht	Zeer traag en ineffectief	Traag en weinig effectief	Matig snel en effectief	Snel en effectief	Zeer snel en effectief
Haalbaarheid	Tempo reducties	Zeer hoog, nu beginnen	hoog, binnen 10-20 jaar beginnen	Matig, binnen 20-30 jaar beginnen	Laag, binnen 30-50 jaar beginnen	Zeer laag, > 50 jaar beginnen
	Diversiteit/leveringszekerheid energie bronnen	Accent op 1-2 bronnen, zeer onzekere levering	Geringe diversiteit, onzekere levering	Matige diversiteit, matig zekere levering	Grote diversiteit, stabiele levering	Zeer grote diversiteit, zeer stabiele levering
	Internationale coördinatie	Zeer laag	Laag	Matig	Hoog	Zeer hoog
	Maatschappelijk Draagvlak	Zeer klein	Klein	Matig	Groot	Zeer groot

¹ Ten opzichte van het referentiescenario; kosten kunnen negatief zijn (baten) indien bijvoorbeeld door het terugsluizen van de opbrengst naar een vermindering van de inkomstenbelasting de economie gestimuleerd wordt i.p.v. geremd ("double dividend").

² Uitgedrukt in jaren dat de emissies in ontwikkelingslanden af moeten wijken van het referentiepad. Bij dit criterium geldt: hoe langer de ontwikkelingslanden worden gevrijwaard van emissiereducties, hoe rechtvaardiger, (a) omdat dit leidt tot convergentie tussen emissies in ontwikkelde en ontwikkelingslanden, en (b) omdat dit recht doet aan de historische verantwoordelijkheid van de ontwikkelde landen. Dit zou daarentegen een onrechtvaardig criterium kunnen zijn, indien de uitworp per hoofd van de bevolking in de ontwikkelde landen lager zou worden dan die in ontwikkelingslanden. Echter, in de meeste (stabilisatie-)scenario's zijn in 2050 de gemiddelde emissies per hoofd van de bevolking nog altijd hoger dan die in de ontwikkelde landen. Een uitzondering is de analyse van de triptiekbenadering voor een 450 ppm stabilisatiescenario in Berk *et al.* (2001). Bij de waardering van dit criterium is geen rekening gehouden met de klimaat effecten, die de ongelijkheid tussen noord- en zuid versterken naarmate de klimaatdoelstelling strenger wordt: deze wordt verondersteld inbegrepen te zijn in het duurzaamheids/klimaat effecten-criterium.

Tabel 14: Beoordeling combinaties wereldbeelden en klimaatdoelstelling

Criterium	Scenario's ->	Vrijhandel			Isolatie				Grote solidariteit	Ecologie op Kleine Schaal	
		450 ppm	550 ppm	650 ppm	450 ppm	550 ppm	650 ppm	750 ppm	450 ppm	450 ppm	550 ppm
Duurzaamheid	Klimaat effecten	++	+	0	++	+	0	-	++	++	+
	Energie efficiency	++	+	0	++	+	0	-	++	++	+
	Overige milieu-effecten	++	+	0	++	+	0	-	++	++	+
Kosten-effectiviteit	Kosten klimaat/energiebeleid	--	-	0	---	--	-	0	0	-	0
	Spin-off effecten	++	+	0	++	+	0	-	++	++	+
	Rechtvaardigheid N-Z	-	0	+	--	-	0	+	0	-	0
	Technologie-overdracht	++	+	0	0	-	--	---	++	+	0
Haalbaarheid	Tempo reducties	--	0	++	--	-	0	+	+	0	+
	Internationale coördinatie	+	+	+	--	--	--	--	++	0	0
	Diversiteit/leveringszekerheid energie	++	+	0	0	-	--	---	++	+	0
	Maatschappelijk Draagvlak	--	-	0	---	--	-	0	++	0	++

Tabel 15: Klimaatdoelstellingen en wereldbeelden: een aantal overwegingen (zie Tabel 4 voor karakteristieken van klimaatdoelstellingen)

Vrijhandel	<ul style="list-style-type: none"> • Technologische dynamiek en beperkte bevolkingsgroei maken stabilisatie op 550 of 450 ppm mogelijk; hoe lager de doelstelling, hoe lager de klimaatrisico's, hoe hoger de energie-efficiency, en hoe meer positief de neveneffecten voor milieu en andere spin-offs (bijv. lagere importafhankelijkheid) • Bij lage prioriteit voor milieu kan technologische dynamiek ontwikkeling in zowel nieuw-fossiele als niet-fossiele richting bevorderen, dus overheidssturing is essentieel, terwijl het draagvlak hiervoor in dit wereldbeeld laag kan zijn • Kosten van stabilisatie op 550 ppm kunnen o.a. door mogelijkheden tot internationale coördinatie beperkt worden; kosten van stabilisatie op 450 ppm zijn hoger i.v.m. de noodzaak tot snelle reductie • Gebruik van marktmechanismen, waaronder emissiehandel op nationale en internationale schaal heeft in dit scenario de voorkeur
Isolatie	<ul style="list-style-type: none"> • I.v.m. trage technologische ontwikkeling, doorgaande bevolkingsgroei, beperkt draagvlak voor milieumaatregelen milieu en beperkte mogelijkheden voor internationale beleidscoördinatie is stabilisering op 450 of 550 ppm moeilijk zo niet onmogelijk, en in ieder geval erg duur • Stabilisatie op 650 ppm is denkbaar, maar tegen flinke kosten • In dit scenario is de mogelijkheid van kostenbesparing via de weg van wereldwijde emissiehandel beperkt • Isolatie-karakter van scenario maakt leveringszekerheid importbrandstoffen beperkt
Grote Solidariteit	<ul style="list-style-type: none"> • In dit wereldbeeld werken wereldwijd bedrijfsleven, burgers en overheden gezamenlijk aan duurzame ontwikkeling, zodat vrijwel geen expliciet op klimaat gericht beleid nodig is om te stabiliseren op 550 ppm • Snelle op duurzaamheid gerichte technologische ontwikkeling en snelle overdracht van technieken, goed maatschappelijk draagvlak, alsmede mogelijkheden tot internationale beleidscoördinatie maken de kosten van stabilisatie op 450 ppm beperkt • In dit scenario wordt vooral gebruik gemaakt van marktconforme instrumenten op nationale en internationale schaal, maar is een veel breder spectrum van beleidsinstrumenten mogelijk • Grote diversiteit van energiebronnen (fossiel en niet-fossiel) en een sterke mate van mondialisering maken de leveringszekerheid groot
Ecologie op Kleine Schaal	<ul style="list-style-type: none"> • In dit wereldbeeld lift broeikasgasbeperking mee met lokale, op duurzame ontwikkeling gerichte oplossingen voor milieuproblemen, zodat stabilisatie op 550 ppm denkbaar is • De kosten zijn echter hoger dan in Vrijhandel of Grote Solidariteit gezien de kleinere mogelijkheden tot internationale coördinatie en technologie-overdracht, en minder snelle technologische ontwikkeling • In verband met deze belemmerende factoren kan stabilisatie op 450 ppm problematisch zijn • In dit scenario ligt het accent op het gebruik van regelgeving bij de vermindering van broeikasgasemissies

Tabel 16: *Energiesporen, CO₂-stabilisatie en wereldbeelden op wereldniveau*

Energie-besparing	<ul style="list-style-type: none"> • Vermindering van de energie-intensiteit van economieën biedt in alle wereldbeelden en alle klimaatdoelstellingen de primaire optie voor beperking van BKG uitwerp • In scenario's met het accent op milieubescherming en sociale ontwikkeling (Solidariteit en Ecologie op Kleine Schaal) zijn meer mogelijkheden tot vermindering van de energie-intensiteit via economische structuurveranderingen en gedragsveranderingen • In scenario's gekenmerkt door mondialisering en snelle technologische ontwikkeling (Grote Solidariteit en Vrijhandel) is vergroten van de efficiency van technieken en processen belangrijk • Hoe lager de klimaatdoelstelling, hoe sterker en sneller de energie-intensiteit verminderd zal moeten worden; bij doelstellingen van 550 ppm of lager moet de snelheid van verandering op wereldschaal hoger zijn en veel langer worden volgehouden dan historisch is voorgekomen
Hernieuwbaar	<ul style="list-style-type: none"> • Op de langere termijn is stabilisatie onmogelijk zonder een verschuiving naar energiebronnen met een lagere of geen CO₂ uitwerp; in de meeste analyses levert dit energiesystemen op die meer divers zijn dan de huidige • Op de korte tot middellange termijn kunnen hierbij vooral aardgas (gasturbines, WKK) en internationaal verhandelde biomassa een grote rol spelen • In alle stabilisatiescenario's penetreren voor de langere termijn andere bronnen de markt (zon/PV, wind) • Ethanol op basis van biomassa speelt in vele scenario's een rol om de CO₂ emissies in de transportsector op korte tot middenlange termijn aan banden te leggen
Kernenergie	<ul style="list-style-type: none"> • In alle scenariocombinaties behalve Grote Solidariteit speelt kernenergie wereldwijd een (veelal bescheiden) rol bij het verminderen van CO₂ emissies, veronderstellende dat oplossingen worden gevonden voor de afval-, veiligheid- en proliferatieproblematiek; deze rol concentreert zich in enkele regio's • Bijvoorbeeld, in Ecologie op Kleine Schaal speelt kernenergie in inherent veilige, kleine centrales een relatie belangrijke rol in regio's waar dit acceptabel blijkt • In Grote Solidariteit speelt kernenergie een minder belangrijke rol i.v.m. de risico's en afvalproblematiek, terwijl grootschalige inzet onnodig is door de beschikbaarheid van alternatieve opties • NB In LTVE speelt kernenergie een belangrijke rol in alle scenario's
Schoon fossiel	<ul style="list-style-type: none"> • Afvangen en opslaan van CO₂ is een optie die voornamelijk zo niet uitsluitend de beperking van CO₂ concentraties tot doel heeft; vanuit deze optiek zou deze optie het meest consistent zijn met de wereldbeelden Vrijhandel en Isolatie, waar positieve neveneffecten voor andere (milieu-)problemen minder relevant zijn • In de scenario's waar milieubescherming in brede zin centraal staat (met name in Grote Solidariteit) is schoon fossiel een minder voor de hand liggende optie; Tabel 11 echter laat zien dat om CO₂ emissie in Ecologie op Kleine Schaal te realiseren ook deze oplossing gekozen kan worden • Bij zowel wereldbeelden met zeer hoge referentie-emissies als ook bij zeer strenge klimaatdoelstellingen is deze optie aantrekkelijk • Schoon fossiel zou deel uit kunnen maken van een waterstofeconomie voor een groot deel draaiend op brandstofceltoepassingen • Methanol en waterstof op basis van fossiele bronnen kunnen belangrijke oplossingen zijn in de transportsector op de langere termijn

4.3 Sleutel technologieclusters en verhouding beleidsopties

Tabel 11 geeft een goede basis voor het identificeren van clusters van sleuteltechnologieën op de langere termijn (2100), de Tabellen 6, 7, 8 en 9 en Figuur 3 voor de middenlange termijn (2030). In Tabel 11 is voor iedere emissiereductieoptie de score aangegeven ten opzichte van de andere opties. Hierbij is ++ de beste score ten opzichte van de andere opties voor hetzelfde scenario. Het beeld dat ontstaat per rij, ofwel de score van een optie voor de verschillende scenario's is een duidelijke indicatie voor de robuustheid van de optie. De vraag naar de potentie van de verschillende energiesporen is niet eenduidig te beantwoorden, gezien de onzekerheid over toekomstige maatschappelijke en technologische veranderingen, voorkeuren en beleidsbeslissingen. Desalniettemin kunnen op basis van de tabellen en van beschikbare studies (UNDP, 2000; Nakicenovic *et al.* 1998; Riahi en Roehrl, 2000; Metz *et al.*, 2001; Morita *et al.*, 2001; Berk *et al.*, 2001) enkele indicatieve conclusies getrokken worden:

- ◆ Vermindering van de energie-intensiteit van de economie is een optie die in alle scenario's op alle tijdschalen wezenlijk bijdraagt aan het halen van de klimaatdoelstellingen; door het stimuleren van een verbeterde energie-efficiency, gedragsverandering en economische structuurveranderingen kan een koolstofheffing hier in belangrijke mate aan bijdragen;
- ◆ Warmtekrachtkoppeling met gebruikmaking van efficiënte gasturbines is in vrijwel alle wereldbeelden en voor alle klimaatdoelstellingen een sleuteloptie op de korte tot middellange termijn;
- ◆ Een verhoogde inzet van hernieuwbare energie en met name biomassa^{xix} is een dominante optie in de meeste scenario's om de klimaatdoelstellingen te halen;
- ◆ Afvangen en opslaan van CO₂ is geen sleuteltechnologie in de zin dat deze optie robuust is voor alle wereldbeelden en klimaatdoelstellingen; de optie kan echter zeer aantrekkelijk zijn in bepaalde wereldbeelden en in bepaalde regio's, zowel om op korte tot middellange termijn emissiedoelstellingen te halen, maar ook op de langere termijn als onderdeel van een deels op fossiele energie gebaseerde waterstofeconomie;
- ◆ Biomassa (ethanol) kan ook in de transportsector een sleuteltechnologie worden (in Nederland: voornamelijk geïmporteerd);
- ◆ Op de langere termijn worden in de meeste stabilisatiescenario's brandstofcellen als sleuteltechnologie gezien, aanvankelijk gevoed met ethanol (van biomassa) en methanol (van fossiele bronnen) en uiteindelijk met waterstof (van vernieuwbare bronnen in scenario's met strenge klimaatdoelstellingen).
- ◆ De energieopties in de scenario's komen tot ongeveer 2020 redelijk overeen, vanaf 2030 echter is er sprake van een zeer sterk toenemende divergentie tussen de energiesporen. De aanzet tot de ontwikkeling van die sporen wordt echter al in de eerste decennia van deze eeuw gegeven (onderzoek, ontwikkeling en demonstratie).

Literatuur

- AEA**, 1998a: Options to Reduce Methane Emissions (Final Report), EU report
- AEA**, 1998b: Options to Reduce Nitrous Oxide Emissions (Final Report), EU report
- Alcamo**, J. en R. Swart, 1998: Future trends of land-use emissions of major greenhouse gases. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 3 (2-4), pp. 343-381
- Andersson**, M., W. Tuinstra and A.P.J. Mol (reds.), 2001: Climate OptiOns for the Long Term – European Dialogue, Final Report, Landbouwwuniversiteit Wageningen
- Berk**, M, J.G. van Minnen, B. Metz en W. Moomaw, 2001: Climate Options for the Long Term (COOL) – Final Report, RIVM, Bilthoven
- ECN/RIVM**, 2000: Synergie in de aanpak van klimaatverandering en verzuring, ECN/RIVM Petten/Bilthoven
- ECN**, 1998, The long-term potential of fusion power in Western Europe, MARKAL scenarios until 2100; ECN-C-98-071, Petten
- ECN**, 2000: Energietechnologie in het spanningsveld tussen klimaatbeleid en liberalisering. ECN Beleidsstudies, ECN-C-00-020, Petten
- EU** (Europese Unie), 1996: Council Decision Nr. 8515/96, Community Strategy on Climate Change – Council Conclusions, Brussels
- Hansen**, J., M. Sato, R. Ruedy, A. Lacis en V. Oinas, 2000: Global warming in the 21st century: an alternative scenario. *Proceedings of the National Academy of Science*, vol. 97, pp 9875-9880
- Hayhoe**, K, A. Jain, H. Pitcher, en D. Wuebbles: Cost of multi-greenhouse gas reductions in the US
- Hendriks**, C.A., D. de Jager en K. Blok, 1998: Emissions Reduction Potential and Costs for Methane and Nitrous Oxide in the EU-15, ECOFYS, Utrecht
- Hendriks, C., D. de Jager, J. de Beer, M. van Brummelen, K. Blok en M. Kerssemeeckers, 2001: Economic Evaluation of Sectoral Reduction Objectives for Climate Change, ECOFYS, Utrecht
- Hisschemöller**, M. en M. van de Kerkhof (red.), 2001: Climate OptiOns for the Long Term (COOL): Nationale Dialoog, Eindrapport. IVM, Amsterdam
- IEA (International Energy Agency), *World Energy Outlook 2000*.
- Liski**, J., T. Karjalainen, A. Pussinen, G-J. Nabuurs en P. Kauppi, 2000: Trees as carbon sinks and sources in the European Union, European Forest Institute, Finland
- McCarthy**, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken en K.S. White (reds.), 2001: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press
- Metz**, B., O. Davidson, R. Swart en J. Pan (reds.), 2001: Climate Change 2001: Mitigation, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press
- Ministerie van Economische Zaken**, 2000: Energie en Samenleving in 2050: Nederland in Wereldbeelden (Lange Termijn Visie Energievoorziening - LTVE), Den Haag
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, 2001: Een Wereld en een Wil: Werken aan Duurzaamheid; Nationaal Milieubeleidsplan 4, Den Haag
- Morita**, T., N. Nakicenoc en J. Robinson, 2000: Overview of mitigation scenarios for global stabilization based on new IPCC emissions scenarios, *Environmental Economic and Policy Studies*, vol. 3, number 2, pp. 65-88
- Morita**, T., J. Robinson, A. Adegbulugbe, J. Alcamo, D. Herbert, E. Lebre Larovere, N. Nakicenovic, H. Pitcher, P. Raskin, K. Riahi, A. Sankovski, V. Sokolov, B. de Vries en D. **Zhou**, 2001: Greenhouse Gas Emission Mitigation Scenarios and Implications, in: Metz *et al.*

- (2001): *Climate Change 2001: Mitigation*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press
- Nakicenovic**, N. A. Grubler en A. McDonald, 1998: *Global Energy Perspectives*, IIASA/WEC, Cambridge University Press
- Nakicenovic**, N en R. Swart (reds.), 2000: *Special Report on Emissions Scenarios*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press
- Reilly**, J., M. Mayer, and J. Harnisch, *Multiple Gas Control Under the Kyoto Agreement*. Extended abstract in the Proceedings of the 2d Intl. Symposium on Non-CO₂ Greenhouse Gases (J. van Ham, A.P.M. Baede, L.A. Meyer, and R Ybema, eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands
- Riahi**, K. en R.A. Roehrl, 2000: Energy technology strategies for carbon dioxide mitigation and sustainable development, *Environmental Economic and Policy Studies*, vol. 3, number 2, pp. 89-124
- UNDP**, 2000: *World Energy Assessment*. UNDP/UNDESA/World Energy Council, New York
- Wigley**, T., 2001: persoonlijke mededeling

Bijlage 1: Plan van Aanpak, 24 augustus 2001

1. Achtergrond en vraagstelling

De AER wil een rond de komende jaarwisseling advies uitbrengen aan de Minister van Economische Zaken over het energiebeleid in relatie tot het klimaatbeleid. Daarbij wil de Raad zich de vraag stellen welke bijdragen aan de aanpak van het klimaatprobleem men de komende decennia internationaal van het energiebeleid verwacht en welke techniekclusters en instrumenten daarbij als sleutels worden gezien. Om deze vraag te kunnen beantwoorden heeft de AER allereerst behoefte aan *inzicht in een aantal relevante beelden van mogelijke ontwikkelingen van het internationaal klimaatbeleid, afgezet tegen een aantal schetsen van mogelijke sociaal-economische ontwikkelingen.*

Belangrijke factoren bij de ontwikkelingen rond het klimaatbeleid waar aandacht aan geschonken zou moeten worden zijn onder meer:

- ◆ einddoel en tempo van de broeikasgasreductie,
- ◆ de mate van internationale coördinatie van het beleid,
- ◆ de verdeling van de aanpak over Noord en Zuid, en
- ◆ de verdeling tussen de verschillende broeikasgassen.

Er van uit gaande dat het energiebeleid in toenemende mate op EU-schaal vormgegeven zal moeten worden, is een verbijzondering van de beelden naar Europa nodig (primair de EU). Voor die gevallen waar de Nederlandse situatie significant afwijkend is van het Europese beeld kan een vertaling naar bestaande projecties voor Nederland nuttig zijn. Uit die beelden zou zichtbaar moeten worden (a) in hoeverre de techniekkeuze gedomineerd wordt door het klimaatbeleid of ook andere maatschappelijke doelen een rol spelen, (b) of het tempo en de coördinatie van de aanpak leiden tot wezenlijke verschillen in de techniekkeuze en (c) in hoeverre schoon fossiel daarin een blijvende plaats zou kunnen hebben.

2. Aanpak en structuur

Structuurkeuze van overkoepelende wereldbeelden

Gezien de beperkte beschikbare tijd zal de notitie geen nieuwe wereldbeelden opstellen, maar voornamelijk gebaseerd zijn op het IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES), het IPCC Third Assessment Report (TAR), de Lange Termijn Verkenningen Energie (LTVE) van het Ministerie van Economische Zaken, het COOL project, scenario's van de WEC/IIASA en andere publicaties. De toekomstbeelden en scenario's in de genoemde publicaties worden geacht een zinvolle structuur te bieden voor de gevraagde notitie. Mogelijke wereldbeelden (EZ/LTVE) en scenario's (IPCC/SRES) worden verdeeld aan de hand van (a) de mate van mondialisering van economie en instituties en (b) een accent op korte termijn materiële belangen of op langere termijn milieu-, sociale en economische belangen. Dit levert de volgende combinaties op:

- ◆ LTVE/vrijhandel – SRES/A1,
- ◆ LTVE/Isolatie – SRES/A2,
- ◆ LTVE/Mondiale Instituties – SRES/B1,
- ◆ LTVE/Locale netwerken – SRES/B2.

Voordeel van deze keuze is dat zij aansluit bij bekende begrippenkaders en eerdere discussies, en een kwalitatieve benadering paart aan de mogelijkheid tot kwantificering. De genoemde wereldbeelden bieden de mogelijkheid om diversiteit aan te brengen in belangrijke kenmerken van toekomstbeelden, zoals de mate van internationale beleidssamenwerking/ -coördinatie, een voorkeur voor bepaalde beleidsinstrumenten, mate van economische structuur- en gedragsveranderingen, etc. Gezien het lange-termijn karakter van de klimaatproblematiek zal worden gekeken naar de post-Kyoto periode 2010-2030 in de context van de ontwikkelingen over de langere termijn tot het einde van deze eeuw.

Specificatie van vraagstelling naar klimaat- en energiebeleid

De LTVE wereldbeelden en SRES scenario's hebben gemeenschappelijk dat geen rekening wordt gehouden met expliciet klimaatbeleid. Teneinde de bovengenoemde vraagstelling te kunnen adresseren zullen verschillende keuzeaspecten m.b.t. de energievoorziening worden belicht:

- ◆ *Wat is de relatie tussen verschillende opties in de energiesector, het tempo waarin deze zouden moeten worden ingevoerd en verschillende klimaatdoelstellingen binnen deze wereldbeelden? Wat zijn de implicaties voor milieu- en economische effecten van verschillende keuzes? Hierbij wordt gedacht aan klimaatdoelstellingen ≤ 450 ppm CO₂ (consistent met NL/EU doelstellingen, snelle emissiereducties wenselijk) en ≥ 550 ppm CO₂ (ruimer dan NL/EU doelstellingen, latere emissiereducties mogelijk). Bij deze vraag zal de keuze aan de orde komen tussen de niet-fossiele richting (a. uitsluitend vernieuwbare energie, en b. vernieuwbare en kernenergie) en de "schone" fossiele richting met afvangen en opslag van CO₂. Basismateriaal hierbij is onder meer het "post-SRES" werk gerapporteerd in IPCC-TAR.*
- ◆ *Hoe kan de benodigde emissiereductie over noord en zuid worden verdeeld? Hierbij spelen verschillende mogelijke ethische keuzes m.b.t. een rechtvaardige lastenverdeling een rol, zoals gelijke emissierechten per persoon in de "contraction en convergence" benadering. Basismateriaal is onder meer het FAIR-werk van het RIVM als toegepast in het kader van het COOL project.*
- ◆ *Welke invloed kan een accent op niet-energie beleidsmaatregelen hebben op de benodigde emissiereducties in de energiesector? Het gaat hierbij om CO₂ opslag in biotische systemen (met name bossen) en de mogelijkheden om de uitworp van niet-CO₂ broeikasgassen te verminderen. Hierbij kan onder meer de inschatting van potentiële reducties uit het IPCC-TAR rapport als basismateriaal worden gebruikt.*

Bij de behandeling van bovenstaande vragen zal van wereld naar Europees niveau worden ingezoomd. Elementen waaraan aandacht zal worden besteed zijn naast de klimaateffecten de overige milieu-effecten, de relatieve kosten, en politieke factoren zoals leveringszekerheid.

Synthese

De notitie zal op basis van het voorgaande materiaal aandragen voor een advies van de AER over mogelijk robuuste technologische opties voor de Nederlands/Europese energiehuishouding in het licht van de verschillende wereldbeelden en klimaatdoelstellingen. Combinaties van wereldbeelden en klimaatdoelstellingen zullen geëvalueerd worden op een aantal criteria, zoals kosten en milieu-effecten. Indien mogelijk zal worden aangegeven welke beleidsinstrumenten het best passen bij de diverse combinaties. Hierbij zal ook worden geschetst in welke mate de techniekkeuze zou worden bepaald door klimaatbeleid of door andere maatschappelijke doelen in de verschillende wereldbeelden.

3. Taakverdeling, tijdschema en budget

De notitie zal worden geschreven door Rob Swart, hoofd van de Technical Support Unit van Werkgroep III van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), gevestigd bij het RIVM, in samenwerking met de afdeling Beleidsstudies van het ECN (BS). ECN/BS zal met name de vertaling van de wereldbeelden naar Europese en Nederlandse schaal voor zijn rekening nemen. Het tijdschema van het project is als volgt:

22 augustus 2001	overeenstemming over opdracht
6 september 2001	aanlevering geannoteerde inhoudsopgave met hoofdpunten en detailstructuur ("nulde concept")
10 september 2001	AER discussie op basis hiervan
8 oktober 2001	aanlevering conceptnotitie
medio oktober 2001	discussie in AER commissie
30 oktober 2001	aanlevering definitieve notitie

Het benodigde budget is kf20: kf10 RIVM (5 werkdagen plus rapportagekosten) plus kf10 ECN (7 werkdagen ECN).

Bijlage 2: Tabellen van het Special report on Emissions Scenarios

(Nakicenovic and Swart, 2000)

Table SPM-1a: Overview of main primary driving forces in 1990, 2020, 2050 and 2100.

Family		A1			A2	B1	B2
Scenario group	1990	A1FI	A1B	A1T	A2	B1	B2
Population (billion)	5.3						
2020		7.6 (7.4-7.6)	7.5 (7.2-7.6)	7.6 (7.4-7.6)	8.2 (7.5-8.2)	7.6 (7.4-7.6)	7.6 (7.6-7.8)
2050		8.7	8.7 (8.3-8.7)	8.7	11.3 (9.7-11.3)	8.7 (8.6-8.7)	9.3 (9.3-9.8)
2100		7.1 (7.0-7.1)	7.1 (7.0-7.7)	7.0	15.1 (12.0-15.1)	7.0 (6.9-7.1)	10.4 (10.3-10.4)
World GDP (10 ¹² 1990US\$/y)	21						
2020		53 (53-57)	56 (48-61)	57 (52-57)	41 (38-45)	53 (46-57)	51 (41-51)
2050		164 (163-187)	181 (120-181)	187 (177-187)	82 (59-111)	136 (110-166)	110 (76-111)
2100		525 (522-550)	529 (340-536)	550 (519-550)	243 (197-249)	328 (328-350)	235 (199-255)
Per capita income ratio: developed countries and economies in transition (Annex-I) to developing countries (Non- Annex-I)	16.1						
2020		7.5 (6.2-7.5)	6.4 (5.2-9.2)	6.2 (5.7-6.4)	9.4 (9.0-12.3)	8.4 (5.3-10.7)	7.7 (7.5-12.1)
2050		2.8	2.8 (2.4-4.0)	2.8 (2.4-2.8)	6.6 (5.2-8.2)	3.6 (2.7-4.9)	4.0 (3.7-7.5)
2100		1.5 (1.5-1.6)	1.6 (1.5-1.7)	1.6 (1.6-1.7)	4.2 (2.7-6.3)	1.8 (1.4-1.9)	3.0 (2.0-3.6)

Bold numbers show the value for the illustrative scenario and the numbers between brackets show the value for the range across all 40 SRES scenarios in the six scenario groups that constitute the four families. Units are given in the table.

Table SPM-1b: Overview of main primary driving forces in 1990, 2020, 2050 and 2100.

Family		A1			A2	B1	B2
Scenario group	1990	A1FI	A1B	A1T	A2	B1	B2
Population (billion)	5.3						
2020		7.6 (7.4-7.6)	7.4 (7.4-7.6)	7.6 (7.4-7.6)	8.2	7.6 (7.4-7.6)	7.6
2050		8.7	8.7	8.7	11.3	8.7 (8.6-8.7)	9.3
2100		7.1 (7.0-7.1)	7.1 (7.0-7.1)	7.0	15.1	7.0 (6.9-7.1)	10.4
World GDP (10 ¹² 1990US\$/y)	21						
2020		53 (53-57)	56 (52-61)	57 (56-57)	41	53 (51-57)	51 (48-51)
2050		164 (164-187)	181 (164-181)	187 (182-187)	82	136 (134-166)	110 (108-111)
2100		525 (525-550)	529 (529-536)	550 (529-550)	243	328 (328-350)	235 (232-237)
Per capita income ratio: developed countries and economies in transition (Annex-I) to developing countries (Non- Annex-I)	16.1						
2020		7.5 (6.2-7.5)	6.4 (5.2-7.5)	6.2 (6.2-6.4)	9.4 (9.4-9.5)	8.4 (5.3-8.4)	7.7 (7.5-8.0)
2050		2.8	2.8 (2.4-2.8)	2.8	6.6	3.6 (2.7-3.9)	4.0 (3.8-4.6)
2100		1.5 (1.5-1.6)	1.6 (1.5-1.7)	1.6	4.2	1.8 (1.6-1.9)	3.0 (3.0-3.5)

Bold numbers show the value for the illustrative scenario and the numbers between brackets show the value for the range across 26 harmonized SRES scenarios in the six scenario groups that constitute the four families. Units are given in the table.

Table SPM-2a: Overview of main secondary scenario driving forces in 1990, 2020, 2050 and 2100.

Family		A1	A2	B1	B2		
Scenario group	1990	A1FI	A1B	A1T	A2	B1	B2
Final energy intensity (10 ⁶ J/US\$) ^a	16.7						
2020		9.4 (8.5-9.4)	9.4 (8.1-12.0)	8.7 (7.6-8.7)	12.1 (9.3-12.4)	8.8 (6.7-11.6)	8.5 (8.5-11.8)
2050		6.3 (5.4-6.3)	5.5 (4.4-7.2)	4.8 (4.2-4.8)	9.5 (7.0-9.5)	4.5 (3.5-6.0)	6.0 (6.0-8.1)
2100		3.0 (2.6-3.2)	3.3 (1.6-3.3)	2.3 (1.8-2.3)	5.9 (4.4-7.3)	1.4 (1.4-2.7)	4.0 (3.7-4.6)
Primary energy (10 ¹⁸ J/y) ^a	351						
2020		669 (657-761)	648 (573-875)	649 (513-649)	595 (485-686)	606 (438-774)	566 (506-633)
2050		1431 (1289-1601)	1204 (968-1611)	1213 (913-1213)	971 (679-1064)	813 (642-1090)	869 (679-966)
2100		2073 (1988-2737)	2079 (1002-2683)	2021 (1255-2021)	1717 (1304-2099)	514 (514-1157)	1357 (846-1625)
Share of coal in primary energy (%) ^a	24						
2020		29 (24-41)	22 (8-28)	23 (8-25)	22 (18-32)	22 (8-27)	17 (14-31)
2050		33 (13-56)	12 (3-42)	10 (2-12)	30 (24-47)	21 (2-37)	10 (10-49)
2100		29 (3-48)	2 (2-41)	1 (1-2)	53 (17-53)	8 (0-22)	22 (12-53)
Share of zero carbon in primary energy (%) ^a	18						
2020		15 (10-20)	18 (9-26)	21 (15-22)	8 (8-20)	21 (7-22)	18 (7-18)
2050		19 (16-31)	40 (21-40)	43 (39-47)	18 (16-29)	30 (18-40)	30 (15-30)
2100		31 (31-47)	69 (27-75)	85 (64-85)	28 (28-37)	52 (33-70)	49 (22-50)

Bold numbers show the value for the illustrative scenario and the numbers between brackets show the value for the range across all 40 SRES scenarios in the six scenario groups that constitute the four families. Units are given in the table.

^a 1990 values include non-commercial energy consistent with IPCC WGII SAR (Energy Primer) but with SRES accounting conventions. Note, that ASF, MiniCAM, and IMAGE scenarios do not consider non-commercial renewable energy. Hence, these scenarios report lower energy use.

Table SPM-2b: Overview of main secondary scenario driving forces in 1990, 2020, 2050 and 2100.

Family		A1	A2	B1	B2		
Scenario group	1990	A1FI	A1B	A1T	A2	B1	B2
Final energy intensity (10 ⁶ J/US\$) ^a	16.7						
2020		9.4 (8.5-9.4)	9.4 (8.7-12.0)	8.7 (7.6-8.7)	12.1 (11.3-12.1)	8.8 (6.7-11.6)	8.5 (8.5-9.1)
2050		6.3 (5.4-6.3)	5.5 (5.0-7.2)	4.8 (4.3-4.8)	9.5 (9.2-9.5)	4.5 (3.5-6.0)	6.0 (6.0-6.6)
2100		3.0 (3.0-3.2)	3.3 (2.7-3.3)	2.3	5.9 (5.5-5.9)	1.4 (1.4-2.1)	4.0 (3.9-4.1)
Primary energy (10 ¹⁸ J/y) ^a	351						
2020		669 (657-761)	648 (589-875)	649 (513-649)	595 (595-686)	606 (451-774)	566 (520-590)
2050		1431 (1289-1601)	1204 (1113-1611)	1213 (943-1213)	971 (971-1064)	813 (642-1090)	869 (815-941)
2100		2073 (2059-2737)	2079 (1686-2683)	2021 (1470-2021)	1717 (1717-2099)	514 (514-1157)	1357 (1077-1357)
Share of coal in primary energy (%) ^a	24						
2020		29 (24-41)	22 (8-26)	23 (23-25)	22 (20-22)	22 (19-27)	17 (14-30)
2050		33 (13-50)	12 (3-42)	10 (10-12)	30 (27-30)	21 (4-37)	10 (10-35)
2100		29 (3-46)	2 (2-41)	1 (1-2)	53 (45-53)	8 (0-22)	22 (17-37)
Share of zero carbon in primary energy (%) ^a	18						
2020		15 (10-20)	18 (9-26)	21 (15-21)	8 (8-16)	21 (7-22)	18 (13-18)
2050		19 (16-31)	40 (24-40)	43 (41-47)	18 (18-29)	30 (18-40)	30 (21-30)
2100		31 (31-47)	69 (56-75)	85 (67-85)	28 (28-37)	52 (44-70)	49 (22-50)

Bold numbers show the value for the illustrative scenario and the numbers between brackets show the value for the range across 26 harmonized SRES scenarios in the six scenario groups that constitute the four families. Units are given in the table.

^a 1990 values include non-commercial energy consistent with IPCC WGII SAR (Energy Primer) but with SRES accounting conventions. Note, that ASF, MiniCAM, and IMAGE scenarios do not consider non-commercial renewable energy. Hence, these scenarios report lower energy use.

Table SPM-3a: Overview of GHG, SO₂ and ozone precursor emissions in 1990, 2020, 2050 and 2100, and cumulative carbon dioxide emissions to 2100.

Family		A1	A2	B1	B2		
Scenario group	1990	A1FI	A1B	A1T	A2	B1	B2
Carbon dioxide, fossil fuels (GtC/y)	6.0						
2020		11.2 (10.7-14.3)	12.1 (8.7-14.7)	10.0 (8.4-10.0)	11.0 (7.9-11.3)	10.0 (7.8-13.2)	9.0 (8.5-11.5)
2050		23.1 (20.6-26.8)	16.0 (12.7-25.7)	12.3 (10.8-12.3)	16.5 (10.5-18.2)	11.7 (8.5-17.5)	11.2 (11.2-16.4)
2100		30.3 (27.7-36.8)	13.1 (12.9-18.4)	4.3 (4.3-9.1)	28.9 (17.6-33.4)	5.2 (3.3-13.2)	13.8 (9.3-23.1)
Carbon dioxide, land use (GtC/y)	1.1						
2020		1.5 (0.3-1.8)	0.5 (0.3-1.6)	0.3 (0.3-1.7)	1.2 (0.1-3.0)	0.6 (0.0-1.3)	0.0 (0.0-1.9)
2050		0.8 (0.0-0.9)	0.4 (0.0-1.0)	0.0 (-0.2-0.5)	0.9 (0.6-0.9)	-0.4 (-0.7-0.8)	-0.2 (-0.2-1.2)
2100		-2.1 (-2.1-0.0)	0.4 (-2.4-2.2)	0.0 (0.0-0.1)	0.2 (-0.1-2.0)	-1.0 (-2.8-0.1)	-0.5 (-1.7-1.5)
Cumulative carbon dioxide, fossil fuels (GtC)							
1990-2100		2128 (2079-2478)	1437 (1220-1989)	1038 (989-1051)	1773 (1303-1860)	989 (794-1306)	1160 (1033-1627)
Cumulative carbon dioxide, land use (GtC)							
1990-2100		61 (31-69)	62 (31-84)	31 (31-62)	89 (49-181)	-6 (-22-84)	4 (4-153)
Cumulative carbon dioxide, total (GtC)							
1990-2100		2189 (2127-2538)	1499 (1301-2073)	1068 (1049-1113)	1862 (1352-1938)	983 (772-1390)	1164 (1164-1686)
Sulfur dioxide, (MtS/y)	70.9						
2020		87 (60-134)	100 (62-117)	60 (60-101)	100 (66-105)	75 (52-112)	61 (48-101)
2050		81 (64-139)	64 (47-120)	40 (40-64)	105 (78-141)	69 (29-69)	56 (42-107)
2100		40 (27-83)	28 (26-71)	20 (20-27)	60 (60-93)	25 (11-25)	48 (33-48)
Methane, (MtCH ₄ /y)	310						
2020		416 (415-479)	421 (400-444)	415 (415-466)	424 (354-493)	377 (377-430)	384 (384-469)
2050		630 (511-636)	452 (452-636)	500(492-500)	598 (402-671)	359 (359-546)	505 (482-536)
2100		735 (289-735)	289 (289-640)	274 (274-291)	889 (549-1069)	236 (236-579)	597 (465-613)
Nitrous Oxide, (MtN/y)	6.7						
2020		9.3 (6.1-9.3)	7.2 (6.1-9.6)	6.1 (6.1-7.8)	9.6 (6.3-12.2)	8.1 (5.8-9.5)	6.1 (6.1-11.5)
2050		14.5 (6.3-14.5)	7.4 (6.3-14.3)	6.1 (6.1-6.7)	12.0 (6.8-13.9)	8.3 (5.6-14.8)	6.3 (6.3-13.2)
2100		16.6 (5.9-16.6)	7.0 (5.8-17.2)	5.4 (4.8-5.4)	16.5 (8.1-19.3)	5.7 (5.3-20.2)	6.9 (6.9-18.1)

Bold numbers show the value for the illustrative scenario and the numbers between brackets show the value for the range across all 40 SRES scenarios in the six scenario groups that constitute the four families. Units are given in the table.

Table SPM-3a (continued)

Family Scenario group	1990	A1			A2	B1	B2
		A1FI	A1B	A1T	A2	B1	B2
CFC/HFC/HCFC (MtC equiv./y) ^a	1672						
2020		337	337	337	292	291	299
2050		566	566	566	312	338	346
2100		614	614	614	753	299	649
PFC, (MtC equiv./y) ^a	32.0						
2020		42.7	42.7	42.7	50.9	31.7	54.8
2050		88.7	88.7	88.7	92.2	42.2	106.6
2100		115.3	115.3	115.3	178.4	44.9	121.3
SF6, (MtC equiv./y) ^a	37.7						
2020		47.8	47.8	47.8	63.5	37.4	54.7
2050		119.2	119.2	119.2	104.0	67.9	79.2
2100		94.6	94.6	94.6	164.6	42.6	69.0
CO ₂ (Mt CO/y)	879						
2020		1204 (1123-1552)	1032 (978-1248)	1147 (1147-1160)	1075 (748-1100)	751 (751-1162)	1022 (632-1077)
2050		2159 (1619-2307)	1214 (949-1925)	1770 (1244-1770)	1428 (642-1585)	471 (471-1470)	1319 (580-1319)
2100		2570 (2298-3766)	1663 (1080-2532)	2077 (1520-2077)	2326 (776-2646)	363 (363-1871)	2002 (661-2002)
NMVOC, (Mt/y)	139						
2020		192 (178-230)	222 (157-222)	190 (188-190)	179 (166-205)	140 (140-193)	180 (152-180)
2050		322 (256-322)	279 (158-301)	241 (206-241)	225 (161-242)	116 (116-237)	217 (147-217)
2100		420 (167-484)	194 (133-552)	128 (114-128)	342 (169-342)	87 (58-349)	170 (130-304)
NO _x , (MtN/y)	30.9						
2020		50 (46-51)	46 (46-66)	46 (46-49)	50 (42-50)	40 (38-59)	43 (38-52)
2050		95 (49-95)	48 (48-100)	61 (49-61)	71 (50-82)	39 (39-72)	55 (42-66)
2100		110 (40-151)	40 (40-77)	28 (28-40)	109 (71-110)	19 (16-35)	61 (34-77)

Bold numbers show the value for the illustrative scenario and the numbers between brackets show the value for the range across all 40 SRES scenarios in the six scenario groups that constitute the four families. Units are given in the table.

^aIn the SPM the emissions of CFC/HFC/HCFC, PFC and SF6 are presented as carbon-equivalent emissions. This was done by multiplying the emissions by weight of each substance (see Table 5-8) by its global warming potential (GWP; see Table 5-7) and subsequent summation. The results were then converted from CO₂-equivalents (reflected by the GWPs) to carbon-equivalents. It is noted that the use of GWP is less appropriate for emission profiles that span a very long period. It is preferred, in the interest of readability of the SPM, over a more detailed breakdown by twenty-seven substances as listed in Table 5-7. It is also preferred over the even far less desirable option to display weight numbers for the aggregate categories in this table.

Table SPM-3b: Overview of GHG, SO₂ and ozone precursor emissions in 1990, 2020, 2050 and 2100, and cumulative carbon dioxide emissions to 2100.

Family Scenario group	1990	A1			A2	B1	B2
		A1FI	A1B	A1T	A2	B1	B2
Carbon dioxide, fossil fuels (GtC/y)	6.0						
2020		11.2 (10.7-14.3)	12.1 (8.7-14.7)	10.0 (9.8-10.0)	11.0 (10.3-11.0)	10.0 (8.2-13.2)	9.0 (8.8-10.2)
2050		23.1 (20.6-26.8)	16.0 (12.7-25.7)	12.3 (11.4-12.3)	16.5 (15.1-16.5)	11.7 (8.5-17.5)	11.2 (11.2-15.0)
2100		30.3 (30.3-36.8)	13.1 (13.1-17.9)	4.3 (4.3-8.6)	28.9 (28.2-28.9)	5.2 (3.3-7.9)	13.8 (13.8-18.6)
Carbon dioxide, land use (GtC/y)	1.1						
2020		1.5 (0.3-1.8)	0.5 (0.3-1.6)	0.3 (0.3-1.7)	1.2 (1.1-1.2)	0.6 (0.0-1.3)	0.0 (0.0-1.1)
2050		0.8 (0.0-0.8)	0.4 (0.0-1.0)	0.0 (-0.2-0.0)	0.9 (0.8-0.9)	-0.4 (-0.7-0.8)	-0.2 (-0.2-1.2)
2100		-2.1 (-2.1-0.0)	0.4 (-2.0-2.2)	0.0 (0.0-0.1)	0.2 (0.0-0.2)	-1.0 (-2.6-0.1)	-0.5 (-0.5-1.2)
Cumulative carbon dioxide, fossil fuels (GtC)							
1990-2100		2128 (2096-2478)	1437 (1220-1989)	1038 (1038-1051)	1773 (1651-1773)	989 (794-1306)	1160 (1160-1448)
Cumulative carbon dioxide, land use (GtC)							
1990-2100		61 (31-61)	62 (31-84)	31 (31-62)	89 (81-89)	-6 (-22-84)	4 (4-125)
Cumulative carbon dioxide, total (GtC)							
1990-2100		2189 (2127-2538)	1499 (1301-2073)	1068 (1068-1113)	1862 (1732-1862)	983 (772-1390)	1164 (1164-1573)
Sulfur dioxide, (MtS/y)	70.9						
2020		87 (60-134)	100 (62-117)	60 (60-101)	100 (80-100)	75 (52-112)	61 (61-78)
2050		81 (64-139)	64 (47-64)	40 (40-64)	105 (104-105)	69 (29-69)	56 (44-56)
2100		40 (27-83)	28 (28-47)	20 (20-27)	60 (60-69)	25 (11-25)	48 (33-48)
Methane, (MtCH ₄ /y)	310						
2020		416 (416-479)	421 (406-444)	415 (415-466)	424 (418-424)	377 (377-430)	384 (384-391)
2050		630 (511-630)	452 (452-636)	500 (492-500)	598 (598-671)	359 (359-546)	505 (482-505)
2100		735 (289-735)	289 (289-535)	274 (274-291)	889 (889-1069)	236 (236-561)	597 (465-597)
Nitrous Oxide, (MtN/y)	6.7						
2020		9.3 (6.1-9.3)	7.2 (6.1-9.6)	6.1 (6.1-7.8)	9.6 (6.3-9.6)	8.1 (5.8-9.5)	6.1 (6.1-7.1)
2050		14.5 (6.3-14.5)	7.4 (6.3-13.8)	6.1 (6.1-6.7)	12.0 (6.8-12.0)	8.3 (5.6-14.8)	6.3 (6.3-7.5)
2100		16.6 (5.9-16.6)	7.0 (5.8-15.6)	5.4 (4.8-5.4)	16.5 (8.1-16.5)	5.7 (5.3-20.2)	6.9 (6.9-8.0)

Bold numbers show the value for the illustrative scenario and the numbers between brackets show the value for the range across 26 harmonized SRES scenarios in the six scenario groups that constitute the four families. Units are given in the table.

Table SPM-3b (continued)

Family Scenario group	1990	A1			A2		B1	B2
		A1FI	A1B	A1T	A2	A2	B1	B2
CFC/HFC/HCFC (MtC equiv./y) ^a	1672							
2020		337	337	337	292	291	299	
2050		566	566	566	312	338	346	
2100		614	614	614	753	299	649	
PFC, (MtC equiv./y) ^a	32.0							
2020		42.7	42.7	42.7	50.9	31.7	54.8	
2050		88.7	88.7	88.7	92.2	42.2	106.6	
2100		115.3	115.3	115.3	178.4	44.9	121.3	
SF6, (MtC equiv./y) ^a	37.7							
2020		47.8	47.8	47.8	63.5	37.4	54.7	
2050		119.2	119.2	119.2	104.0	67.9	79.2	
2100		94.6	94.6	94.6	164.6	42.6	69.0	
CO ₂ (Mt CO/y)	879							
2020		1204 (1123-1552)	1032 (1032-1248)	1147 (1147-1160)	1075 (1075-1100)	751 (751-1162)	1022 (941-1022)	
2050		2159 (1619-2307)	1214 (1214-1925)	1770 (1244-1770)	1428 (1428-1585)	471 (471-1470)	1319 (1180-1319)	
2100		2570 (2298-3766)	1663 (1663-2532)	2077 (1520-2077)	2326 (2325-2646)	363 (363-1871)	2002 (1487-2002)	
NMVOC, (Mt/y)	139							
2020		192 (178-230)	222 (194-222)	190 (188-190)	179 (179-204)	140 (140-193)	180 (179-180)	
2050		322 (256-322)	279 (259-301)	241 (206-241)	225 (225-242)	116 (116-237)	217 (197-217)	
2100		420 (167-484)	194 (137-552)	128 (114-128)	342 (311-342)	87 (58-349)	170 (130-170)	
NO _x , (MtN/y)	30.9							
2020		50 (46-51)	46 (46-66)	46 (46-49)	50 (47-50)	40 (38-59)	43 (38-43)	
2050		95 (49-95)	48 (48-100)	61 (49-61)	71 (66-71)	39 (39-72)	55 (42-55)	
2100		110 (40-151)	40 (40-77)	28 (28-40)	109 (109-110)	19 (16-35)	61 (34-61)	

Bold numbers show the value for the illustrative scenario and the numbers between brackets show the value for the range across 26 harmonized SRES scenarios in the six scenario groups that constitute the four families. Units are given in the table.

^a In the SPM the emissions of CFC/HFC/HCFC, PFC and SF6 are presented as carbon-equivalent emissions. This was done by multiplying the emissions by weight of each substance (see Table 5-8) by its global warming potential (GWP; see Table 5-7) and subsequent summation. The results were then converted from CO₂-equivalents (reflected by the GWPs) to carbon-equivalents. It is noted that the use of GWP is less appropriate for emission profiles that span a very long period. It is preferred, in the interest of readability of the SPM, over a more detailed breakdown by twenty-seven substances as listed in Table 5-7. It is also preferred over the even far less desirable option to display weight numbers for the aggregate categories in this table.

Bijlage 3: Verzendlijst

AER

1. B.J.M. Hanssen

VROM

2. J. Pronk
3. Directeur-Generaal Milieubeheer, J. van der Vlist
4. Directie Klimaatveranderingen en Industrie (KVI)
5. T. Fogelberg
6. H. Bersee
7. J. Lenstra
8. L. Meyer
9. M. Mulders
10. H. Nieuwenhuis
11. Y. de Boer
12. T. Zwartepoortte

EZ

13. A. Jorritsma
14. P. Boot
15. H. Brouwer
16. P. Aubert
17. L. de Maat
18. D. Pietermaat

CPB

19. P. Tang

VU

20. P. Vellinga

UU

21. W.C. Turkenburg

WNF

22. S. Schöne

ECN

23. R. Ybema
24. J. Bruggink
25. N. van der Linden

26. Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie,

RIVM:

27. H. Pont
28. N.D. van Egmond
29. F. Langeweg
30. R. Maas
31. A. van der Giessen
32. D. van Lith
33. O.J. van Gerwen
34. R. van den Wijngaart
35. K. Wieringa
36. H.C. Eerens
37. J. Oude Lohuis
38. J. Hoekstra
39. M.A.J. Kuypers-Linde
- 40-54. MNVi
55. SBD/Voorlichting & Public Relations
56. Bureau Rapportenregistratie
- 57-66. Bureau Rapportenbeheer
67. Bibliotheek RIVM

Bijlage 4 Eindnoten

ⁱ Er kunnen enkele interpretatieverschillen tussen LTVE en SRES zijn, maar wij achten in het kader van de beschouwing op hoofdlijnen in deze notitie de koppeling tussen LTVE en SRES acceptabel. Een voor deze notitie relevant voorbeeld van zo'n interpretatieverschil is dat in LTVE Grote Solidariteit de klimaatproblematiek en het armoedeprobleem verondersteld wordt "opgelost" te zijn, terwijl in SRES een dergelijk waarde-oordeel niet wordt gegeven, onder meer niet omdat in dit scenario in 2100 CO₂ concentraties nog niet zijn gestabiliseerd en de inkomenskloof tussen noord en zuid verkleind is, maar nog lang niet gedicht. Een ander voorbeeld is dat in alle LTVE wereldbeelden kernenergie een belangrijke plaats inneemt, terwijl in de SRES scenario's de inzet van kernenergie in sommige scenario's op regionale schaal geminimaliseerd is.

ⁱⁱ Ditzelfde zou het geval zijn als de LTVE scenario's gedetailleerd zouden zijn gekwantificeerd.

ⁱⁱⁱ Dit wil niet zeggen dat de keuze van technologie onafhankelijk kan worden beschouwd van het wereldbeeld: de maatschappelijke ontwikkelingen in het ene wereldbeeld zullen gunstiger zijn voor de ene technologie dan voor de andere; dit geldt met name voor de keuze van technologische opties om de uitworp van broeikasgasemissies te beperken. De uitworp van broeikasgassen is dan ook afhankelijk van zowel de algemene sociaal-economische ontwikkelingen als van technologische keuzes.

^{iv} Resultaten voor het B1 scenario zijn afkomstig van het RIVM IMAGE model. In het IMAGE model wordt nucleair niet apart meegenomen maar samengevoegd met andere niet op fossiel gebaseerde electriciteitsopwekkingstechnologieën.

^v Door milieugroepen wordt soms gesuggereerd dat vanuit het oogpunt van het voorzorgprincipe 350 ppm of zelfs lager het doel zou moeten zijn, maar de haalbaarheid van deze doelstelling wordt uitzonderlijk laag geacht. Door sommige landen, zoals de olie-exporterende landen, wordt soms 1000 ppm voorgesteld, maar deze waarde wordt zelfs bij referentiescenario's met hoge emissies in 2100 nog niet gehaald.

^{vi} Het NMP formuleert klimaatdoelstellingen niet in termen van CO₂ concentratiestabilisatie, maar in termen van maximaal toelaatbare (snelheid van) temperatuur- en zeespiegelstijging. De maatgevende doelstelling hierbij is de beperking van de snelheid van verandering van de mondiaal gemiddelde temperatuurstijging tot 0.1°C/decennium. Eenvoudigheidshalve kan deze doelstelling vergeleken worden met een stabilisatie van de CO₂ concentratie op 450 ppm.

^{vii} 40-60 % als een beperking van de snelheid van temperatuurstijging wordt meegenomen, 30-50 % als dit niet wordt gedaan.

^{viii} Opvallend in dit scenario is dat het primaire energiegebruik in het mitigatiescenario voor 2030 hoger is dan in het referentiescenario. Twee factoren spelen hierbij een rol bij de verklaring van dit opvallende feit:

- Voor het mitigatiescenario is een andere (uitgeklede 4 regio) versie van het betreffende model gebruikt i.p.v. de 11 regio-versie die voor het referentiescenario gebruikt is (er zit enige tijd tussen de verschillende modelruns).
- In het mitigatiescenario is verondersteld dat er sprake is van de inzet van energieconversietechnieken (o.a. waterstof) die weliswaar minder CO₂ emissies opleveren, maar ook minder energie-efficiënt zijn. In deze specifieke analyse kan dit het energie-intensiteit verminderende effect van een koolstofheffing te niet doen.

ix Het positieve gemiddelde bij sommige 550 ppm stabilisatiescenario's over de gehele periode 1990-2030 wordt veroorzaakt doordat de emissies in het eerste deel van deze periode nog enige tijd toenemen alvorens af te nemen. De scenario's zijn gericht op lange-termijn ontwikkeling en zijn derhalve ongeschikt om duidelijke uitspraken te doen over emissieontwikkelingen op de korte termijn, zoals de komende tien jaar. Bijvoorbeeld, deze scenario's nemen niet expliciet de Kyoto doelstellingen mee. Ook is het emissieveranderingspercentage sterk afhankelijk van de veronderstellingen over de emissieontwikkeling in ontwikkelingslanden, die op hun beurt beïnvloed worden door veronderstellingen over emissiehandel. Derhalve is het onmogelijk om meer nauwkeurige uitspraken te doen over het benodigde emissiereductietempo in specifieke regio's zoals de OESO.

^x De opties zijn niet cumulatief, aangezien enkele elkaar uitsluiten.

^{xi} CO₂ equivalent concentratie: de CO₂ concentratie met hetzelfde stralingseffect als een bepaalde combinatie van CO₂ en niet-CO₂ broeikasgassen. De orde van grootte van de equivalente CO₂ concentratie van niet-CO₂ broeikasgassen alleen is op dit moment ongeveer 100 ppm.

^{xii} Dit is een imaginaire situatie, aangezien een deel van de niet-CO₂ broeikasgassen meelift met de vermindering van CO₂.

^{xiii} Bijvoorbeeld vinden Reilly *et al.* (2000) dat het meenemen van deze opties de kosten van het implementeren van het Kyoto Protocol door de Annex-B landen met 22 % doet verminderen en Hayhoe *et al.* (2000) dat meenemen van methaan-opties de kosten van het behalen van de Kyoto-Protocoldoelstellingen in de Verenigde Staten met 25% kan verminderen. Hansen *et al.* (2000) stelt dat op de korte termijn de positieve bijdrage van fossiel energiegebruik via CO₂-emissies aan de opwarming van de atmosfeer waarschijnlijk in dezelfde orde van grootte ligt als de negatieve bijdrage via afkoeling door roet en aerosolen en dat daarom de aanpak van roet, methaan-emissies en andere niet-CO₂ broeikasgassen een relatief groot effect op klimaatverandering kan hebben. Dit artikel heeft veel stof op doen waaien omdat velen het misbruikt hebben om te stellen dat het geen zin zou hebben om CO₂-emissies uit de fossiele energiesector te beperken. Hansen stelt echter in de eerste plaats dat de aanpak van CO₂ emissies essentieel is voor de klimaatproblematiek: bij toenemende accumulatie van CO₂ in de atmosfeer zouden steeds groter wordende hoeveelheden aerosolen nodig zijn ter compensatie van het stralingseffect van CO₂. Ten tweede, juist de bestrijding van die aerosolen t.b.v. de aanpak van lokale en regionale luchtverontreiniging is van groot belang, o.a. voor de volksgezondheid.

^{xiv} D.w.z. de helft van de 8 % vereiste EU emissiereductie t.o.v. 1990, niet t.o.v. het geprojecteerde niveau in 2010.

^{xv} Vergeleken met de energiesector zijn er weinig landgebruikscenario's ontwikkeld. Die er zijn hebben twee vormen: óf emissies worden verondersteld op zeer korte termijn al terug te lopen, onder andere door te veronderstellen dat door sterke productiviteitsverhoging in de landbouw de druk op de bossen lager wordt, óf de emissies worden verondersteld nog enkele decennia toe te nemen alvorens over een periode van 20-50 jaar terug te lopen. De redenen hiervoor zijn naast de productiviteitsverhoging in de landbouw ook afnemende bevolkingsgroei en het "opraken" van de resterende bossen (Alcamo en Swart, 1998).

^{xvi} Bijvoorbeeld, het geschatte potentiële voor koolstofvastlegging in de VS is groter dan de in het Kyoto-Protocol vereiste reductie t.o.v. 1990, en - rekening houdend met de verwachte toename van de emissies tot 2010 – een significant percentage van de te dichten emissiekloof in 2100 (ca. 30 %, zie bijvoorbeeld <http://www.panda.org>). In de Europese Unie wordt de grootte van de sink-functie van de bossen op zo'n 63 MtC/jr of 7 % van de totale CO₂ emissies in 1990 geschat (en dus dicht bij de 8 % doelstelling van het Kyoto Protocol), maar

het gedeelte dat onder de definitie van Afforestation, Reforestation of Deforestation (ARD) van het Protocol zou vallen zou afhankelijk van de definitie van “bos” op een netto emissie van 5.4 MtC/jr of een sink van slechts 0.1 MtC/jr zijn en dus negatief of verwaarloosbaar klein op Europees niveau (Liski *et al.*, 2000). Alleen voor landen met relatief grote hoeveelheden land voor bosaanplant (Ierland, Portugal) zouden ARD activiteiten significant kunnen bijdragen aan het behalen van de Kyoto-doelstelling.

^{xvii} Drie principes zijn van belang bij het overwegen van verdelingsmogelijkheden (Berk *et al.*, 2001): verantwoordelijkheid voor het probleem, capaciteit om aan de oplossing van het probleem bij te dragen, en de noodzaak om iedere persoon een gelijk recht te geven op de atmosfeer als natuurlijke hulpbron. In het COOL-project is een drietal opties geanalyseerd: een stapsgewijze benadering, een convergentiebenadering, en de zogenaamde triptiekbenadering. Bij de stapsgewijze benadering wordt verondersteld dat ontwikkelingslanden zich verder committeren naarmate ze zich verder ontwikkelen. Bijvoorbeeld nadat onder een bepaald inkomenscriterium geen emissiebeperking vereist is zou het bereiken van dit criterium een ontwikkelingsland zich committeren om de koolstofintensiteit van hun economie te beperken (CO₂ emissies per eenheid BNP). Bij een volgend inkomensniveau zou de emissie gestabiliseerd moeten worden en tenslotte zou het land volledig moeten participeren in het regime dat door de ontwikkelde landen is afgesproken. Bij de convergentie-benadering zouden direct na de 1ste commitment periode van het Kyoto Protocol alle landen meedoen met emissiebeperking om uiteindelijk te komen tot gelijke per capita emissies. Deze benadering wordt gecombineerd met een “contractie” van wereldwijde emissies om te komen tot stabilisatie van concentraties. Hoe lager het stabilisatiedoel, hoe minder groeirimte er is voor ontwikkelingslanden. Tenslotte erkent de triptiek-benadering dat verschillende landen een verschillende economische structuur hebben en verschillende economische sectoren en dat rekening gehouden moet worden met de verschillende karakteristieken van verschillende sectoren. Onderscheiden worden de elektriciteitssector, de energie-intensieve industrie, en de overige sectoren (diensten, huishoudens, transport, lichte industrie). Voor de energie-intensieve industrie zou convergentie naar het meest efficiënte bedrijf/proces het doel zijn, voor de elektriciteitssector zouden doelstellingen gekoppeld worden aan efficiency en koolstofintensiteit van de opwekking (hoeveelheid CO₂ per eenheid opgewekte elektriciteit), voor de overige sectoren zou convergentie van emissies per hoofd het doel kunnen zijn. Deze opties zijn met het FAIR-model van het RIVM geanalyseerd voor een klimaatdoelstelling van 450 ppm en het A1/(Vrijhandel) scenario als referentie. Bij de triptiekbenadering kunnen emissies per hoofd van de bevolking in ontwikkelingslanden uitstijgen boven die in de ontwikkelde landen door een verschuiving van energie-intensieve activiteiten naar deze landen.

^{xviii} Zo stelt UNDP (2000) dat commerciële energievoorziening middels fossiele brandstoffen niet alleen 75% van de mondiale CO₂ emissies, 18% van de methaanemissies en 12% van de lachgasemissies veroorzaakt, maar ook 44% van de olie vervuiling van de oceanen, 41% van de loodemissies, 20% van de kwikemissies, 13% van de cadmiumemissies, 35% van de stofemissies, 85% van de zwavelemissies, 30% van de stikstofemissies, en 35% van de (niet-methaan) koolwaterstofemissies. Bij een verschuiving naar niet-fossiele bronnen zouden deze emissies tegelijkertijd verminderen.

^{xix} Deze conclusie m.b.t. biomassa is gebaseerd op de scenariostudies die voor deze notitie meegenomen zijn. De gebruikte modellen gaan er vanuit, dat beschikbaarheid van biomassa geen limiterende factor is door de aanwezigheid van grote gebieden in de ontwikkelingslanden die theoretisch voor dit doel kunnen worden ingezet (met name in Zuid-Amerika) evenals uit productie genomen landbouwgronden in de ontwikkelde landen. Er kunnen echter vele andere claims op dit land komen (natuur, voedselproductie,

verstedelijking) die de leveringszekerheid van biomassa onzekerder maken, met name in wereldbeelden zoals Isolatie en Ecologie op kleine schaal.