

***Eindrapportage***  
***Werkgroep 4***



Projectteam NMP4  
p/a Ministerie van VROM  
Rijnstraat 8  
2515 XP Den Haag



NATIONAAL MILIEUBELEIDSPLAN 4  
OM DE KWALITEIT VAN LEVEN

POSTADRES  
Postbus 30945  
Interne Postcode 695  
2500 GX Den Haag  
Telefoon 070 339 46 50  
Fax 070 339 23 07

Zie verzendlijst

Uw kenmerk

Uw brief

Kenmerk

Datum

Onderwerp

NMP4/2000 057 480

30 mei 2000

Eindrapport van de werkgroep "Duurzame economie: het duurzaam voorzien in de energie- en mobiliteitsbehoefte"

L.s.,

Hierbij zend ik u ter informatie het eindrapport "Wokken op waterstof. Transitie naar een emissie-arme energievoorziening" van de werkgroep "Duurzame economie: het duurzaam voorzien in de energie- en mobiliteitsbehoefte".

Velen van u hebben hieraan een constructieve bijdrage geleverd. Namens de werkgroep wil ik u hiervoor nogmaals bedanken.

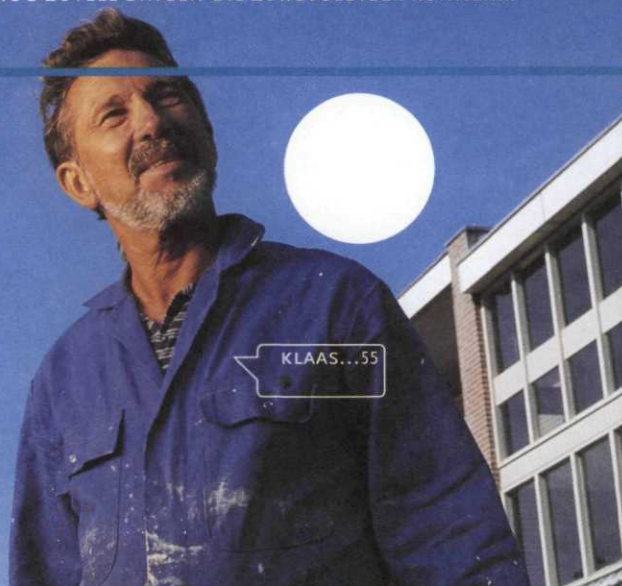
Ik hoop u hiermee voldoende te hebben geïnformeerd. Mocht u nog vragen of opmerkingen hebben dan kunt u altijd contact met mij opnemen (tel: 070 - 339 4009)

Met vriendelijke groet,  
namens de werkgroep

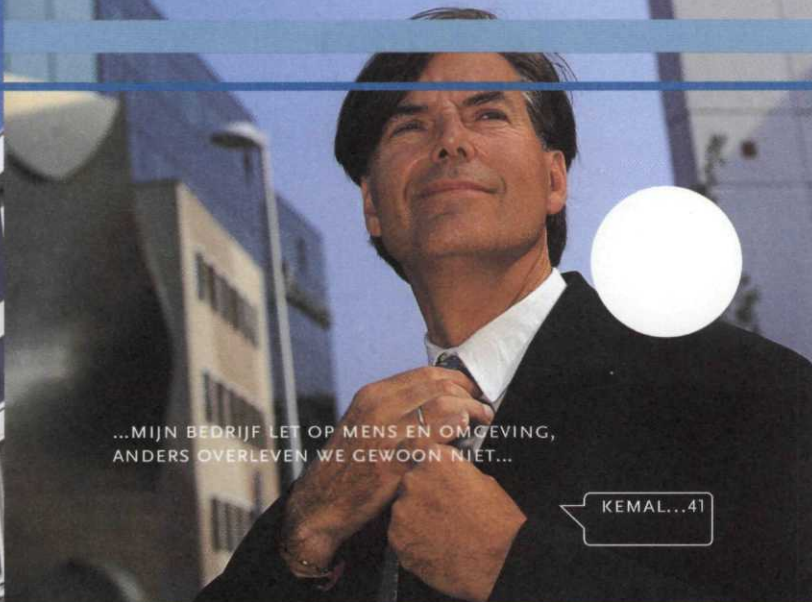
Kees Hoppener



...ER ZIJN NOG ZOVEEL DINGEN DIE ZORGVULDIGER KUNNEN...



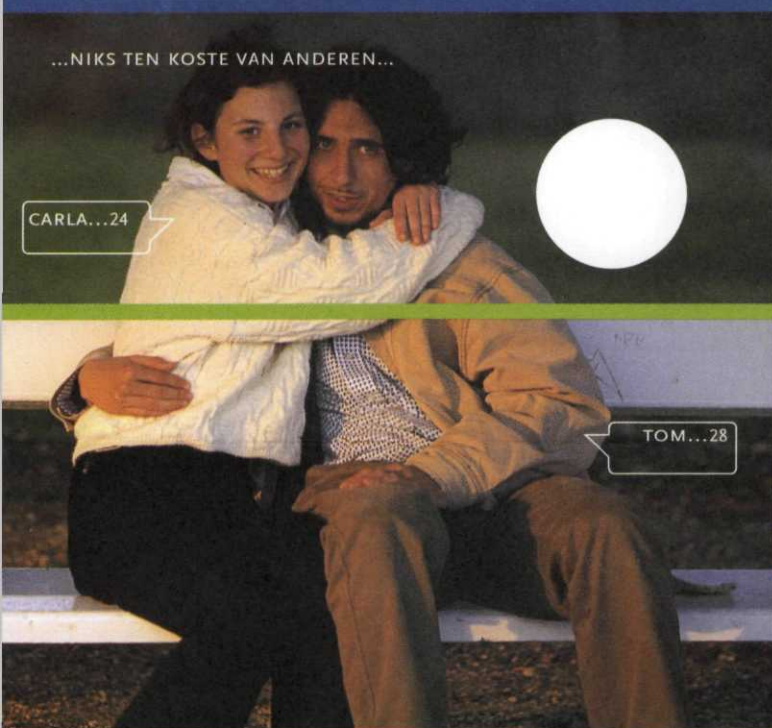
KLAAS...55



...MIJN BEDRIJF LET OP MENS EN OMGEVING,  
ANDERS OVERLEVEN WE GEWOON NIET...

KEMAL...41

...NIKS TEN KOSTE VAN ANDEREN...



CARLA...24

TOM...28

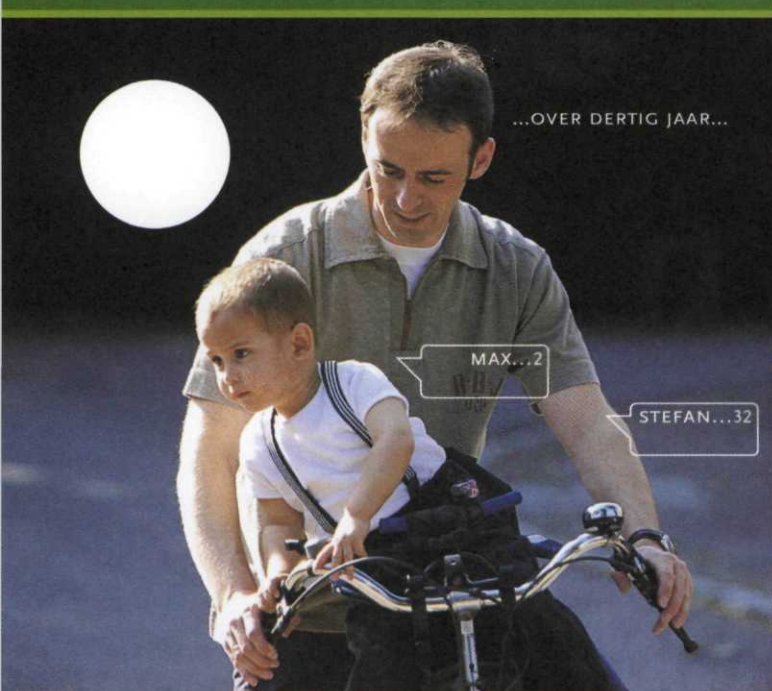
...WE WILLEN LATER TROTS ZIJN OP WAT WE NU DOEN...



JULIA...63

SOPHIE...9

...OVER DERTIG JAAR...



MAX...2

STEFAN...32



EVA...26

...RUST, RUIMTE, VEILIGHEID; DA'S TOCH OOK MILIEU..?

# **Wokken op waterstof**

**Transitie naar een emissiearme energievoorziening**

Eindrapportage NMP4-werkgroep “Duurzame economie: het duurzaam voorzien in de behoefte aan energie en mobiliteit”

23 mei 2000

## **Samenstelling werkgroep**

### **Trekker**

ir. C. Hoppener  
Ministerie van VROM

### **Leden**

drs. J.P. Aubert  
Ministerie van EZ

drs. J.F.M. Besseling  
Ministerie van V&W

mw. drs. M. van Dok  
Ministerie van LNV

ir. R. Pol (Rutger)  
Ministerie van EZ

mw. drs. J.P. van Rijn  
Ministerie van BuZa

ir. B.B. Thorborg  
Ministerie van V&W

drs. F. Vlieg  
Ministerie van VROM

### **Secretaris**

mw. drs. K.C. de Rijk  
PricewaterhouseCoopers N.V.

## **Inhoudsopgave**

Inleiding en leeswijzer	5
Conclusies en aanbevelingen	7
Hoofdstuk 1: Een hardnekkig probleem	11
Hoofdstuk 2: De internationale context	13
Hoofdstuk 3: Transitie naar een emissiearme energievoorziening	19
Hoofdstuk 4: Welke sturingsinstrumenten?	29
Bijlagen	39
Bijlage 1: Van milieukwaliteitsbeelden naar emissieniveaus	41
Bijlage 2: Verkenning oplossingsrichtingen (analyse RIVM/ECN)	45
Bijlage 3: Bespreking oplossingsrichtingen	79





# Transitie naar een emissiearme energievoorziening

## Inleiding en leeswijzer

*Om bij te dragen aan een gezond en veilig Nederland en aan de mondiale en nationale natuur en biodiversiteit (zoals omschreven in de agendanotitie van het NMP4), zal de uitstoot van een aantal hardnekkig milieuverontreinigende stoffen, die samenhangen met energiegebruik (ten behoeve van allerlei functies zoals mobiliteit, elektrische apparaten, warmtebehoefte), vergaand moeten worden teruggedrongen. Met name de problematiek van klimaatverandering en verzuring vraagt hierom. Het gaat daarbij om kooldioxide (CO<sub>2</sub>), fijn stof, stikstofdioxide (NO<sub>x</sub>), zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) en de vluchtige organische stoffen (VOS).*

*De milieuproblemen die samenhangen met deze emissies blijken hardnekkig te zijn. Deze hardnekkigheid wordt veroorzaakt doordat: (1) energie de motor van onze economie en ons bestaan is, (2) fossiele brandstoffen nog in ruime mate aanwezig en goedkoop zijn, (3) de aanpak van het probleem in sterke mate om een internationale benadering vraagt, (4) degenen die de emissies veroorzaken, er zelf geen direct belang bij hebben die emissies terug te dringen, (5) technologische innovatie gepaard gaat met onzekerheid en (6) het draagvlak voor klimaat- en verzuringsbeleid in de samenleving gebrekkig is.*

*Het terugdringen van de genoemde hardnekkige emissies is een noodzakelijke voorwaarde voor het duurzaam kunnen voorzien in de behoefte aan energie. Hierbij dient de kanttekening te worden gemaakt dat er waarschijnlijk ook nog andere voorwaarden gesteld moeten worden. Sommige aspecten van de maatschappelijke functies waarvoor energie nodig is (zoals de problematiek rond bereikbaarheid en leefbaarheid bij mobiliteit), zijn namelijk niet in beschouwing genomen omdat ze niet onder de opdracht aan deze werkgroep vielen, maar onder die van één van de andere werkgroepen.*

*Om de mogelijkheden en consequenties van oplossingsrichtingen te kunnen verkennen heeft de werkgroep de milieukwaliteitsbeelden uit de Agendanotitie NMP4 vertaald naar emissieniveaus in 2030: 30 à 40% voor CO<sub>2</sub> (via binnenlandse maatregelen), 95% voor de verzurende stoffen (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en VOS) en 75 à 100% voor fijn stof. In bijlage 1 worden deze keuzen toegelicht. De emissieniveaus moeten worden gezien als richtpunt voor de verkenning van de werkgroep om het belang van oplossingsrichtingen te kunnen beoordelen, en nadrukkelijk niet als beleidsvoorstel voor nationale doelstellingen.*

*De werkgroep verwacht dat indien de emissies in Nederland in 2030 binnen de weergegeven ranges terecht komen, de daarmee samenhangende hardnekkige milieuproblemen kunnen worden opgelost. Voorwaarde is wel dat ook de emissies van andere relevante stoffen en die in het buitenland in gelijke mate worden verminderd.*

*In hoofdstuk 1 wordt aangegeven waarom de problemen die samenhangen met de emissies ten gevolge energiegebruik en mobiliteit zo hardnekkig zijn. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de internationale context waarbinnen de noodzakelijke transitie moet plaatsvinden.*

*Hoofdstuk 3 beschrijft de technologische kant van de transitie, geïllustreerd met een technisch-wetenschappelijke analyse van RIVM/ECN en vertaald naar enkele belangrijke sectoren en in het laatste hoofdstuk 4 staat de belangrijke vraag van de instrumentatie centraal. Als rode draad in de verschillende hoofdstukken fungeren de zes eerdergenoemde punten die er de oorzaak van zijn dat de emissies die samenhangen met energiegebruik en mobiliteit een hardnekkig milieuprobleem vormen.*

*De verkenningen en aanbevelingen van de werkgroep hebben niet als oogmerk om een aanzet te geven tot heroverweging van het lopende beleid voor de korte termijn tot 2010*

*(zoals onder meer weergegeven in de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid deel 1 en 2). Het gaat immers om een transitie die zich over een veel langer tijdstraject zal moeten voltrekken (voor klimaatbeleid is dat het post-Kyoto tijdperk). Een beoordeling van de transitie op macro-economische effecten door het CPB heeft in het korte tijdsbestek niet kunnen plaatsvinden. Dit zou de komende maanden in opdracht van het projectteam NMP4 alsnog kunnen plaatsvinden.*

Projectteam NMP4  
p/a Ministerie van VROM  
Rijnstraat 8  
2515 XP Den Haag



NATIONAAL MILIEUBELEIDSPLAN 4  
OM DE KWALITEIT VAN LEVEN

POSTADRES  
Postbus 30945  
Interne Postcode 695  
2500 GX Den Haag  
Telefoon 070 339 46 50  
Fax 070 339 23 07

Projectleider NMP4  
ing. C.M. Moons

Uw kenmerk

Uw brief

Kenmerk

Datum

30 mei 2000

Onderwerp

Geachte heer Moons,

Bij brief van 17 december 1999 heeft u de werkgroep "Duurzame economie: het duurzaam voorzien in de energie- en mobiliteitsbehoefte" verzocht in een kort tijdsbestek voor de beleidsopgave met gelijke titel "meerdere alternatieve oplossingsrichtingen te formuleren waarbij het realiseren van de kwaliteitsbeelden het uitgangspunt is".

Wij bieden u bijgaand het resultaat aan van de inspanningen van onze werkgroep gedurende de afgelopen maanden: ons eindrapport "Wokken op waterstof. Transitie naar een emissie-arme energievoorziening".

De werkgroep heeft "Wokken op waterstof" enthousiast en in een open en creatieve sfeer tot stand gebracht. Het startpunt voor haar werkzaamheden vormden de hardnekkige milieuproblemen rondom energie en mobiliteit, zoals die door het projectteam NMP4 op hoofdlijnen zijn aangegeven. Immers deze moeten worden opgelost om de kwaliteitsbeelden te kunnen realiseren.

Mede gezien de beperkt beschikbare tijd heeft de werkgroep zich geconcentreerd op de hardnekkige emissies die aan de energievoorziening en mobiliteit zijn gerelateerd. Met het aanpakken van deze emissies wordt naar de mening van de werkgroep een belangrijke stap vooruit gezet op weg naar een duurzame voorziening van energie en mobiliteit.

"Wokken op waterstof"? De werkgroep wil niet pretenderen dat dit de toekomst zal zijn. Wel heeft de werkgroep geconstateerd dat vele oplossingen voor de aanpak van de hardnekkige emissies mogelijk zijn. Dit geeft hoop voor de toekomst. Welke van de mogelijke oplossingen het uiteindelijk zullen worden, is nog onzeker. Veel hangt af van nieuwe inzichten over

bijvoorbeeld de noodzakelijke infrastructuur, veiligheid, voorzieningszekerheid, de sociaal-economische haalbaarheid en internationale ontwikkelingen. Eén ding is wel zeker de behoefte aan energie, om bijvoorbeeld voedsel te bereiden, zal blijven bestaan.

De werkgroep is zich er van bewust dat er voor het duurzaam voorzien in energie en mobiliteit ook raakvlakken met de andere beleidsopgaven zijn, zoals geluid, leefbaarheid, afvalstromen en externe veiligheid. Een doorkijk naar een duurzame voorziening van energie en mobiliteit, en zeker van een duurzame economie, kan vooral door combinaties van de resultaten de vier beleidsopgaven worden gerealiseerd.

Binnen de werkgroep is, conform uw verzoek, "zonder last of ruggespraak" gewerkt. Het eindrapport is niet formeel met de betrokken departementen afgestemd, en er is niet over de tekst onderhandeld. Wel heeft de werkgroep (in vervolg op de Lattrop-bijeenkomst) met deskundigen uit het veld en individuele leden van de poldergroep *a titre personnel* van gedachten gewisseld.

Een aantal suggesties van de deelnemers zijn direct in het eindrapport verwerkt. De indrukken van de werkgroep over deze bijeenkomst zijn verder als zelfstandige bijlage bij deze brief gevoegd, in de vorm van constatering en aanbevelingen. Naar de mening van de werkgroep zijn deze voor het vervolgtraject van het NMP4 van belang.

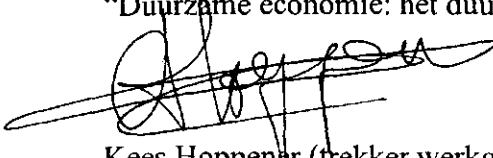
Daarnaast hebben ook RIVM en ECN een belangrijke bijdrage geleverd aan het eindrapport. De werkgroep wil daarom eenieder die ons heeft geholpen bij het maken van ons eindrapport, hartelijk danken voor hun waardevolle bijdragen.

Met "Wokken op waterstof" meent de werkgroep aan uw opdracht te hebben voldaan. De werkgroep houdt dus op te bestaan. Wel zijn leden van de werkgroep individueel bereid op basis van een zelfstandig traject bij het NMP4 betrokken te blijven. Zo neemt een aantal al deel aan het onderzoek "Transitie naar een emissie-arme energie voorziening".

De werkgroep hoopt dat "Wokken op waterstof" een waardevolle bijdrage zal leveren aan het tot stand brengen van het NMP4. De werkgroep vertrouwt erop u hiermee van dienst te zijn geweest.

Met vriendelijke groet,  
namens de werkgroep

"Duurzame economie: het duurzaam voorzien in de energie- en mobiliteitsbehoefte"



Kees Hoppener (trekker werkgroep)

## **Indrukken van de workshop “Poldergroep-plus”**

*Op 19 april 2000 is met leden van de Poldergroep, aangevuld met deskundigen uit het veld, op persoonlijke titel gesproken over de tussenrapportage (d.d. 12.04.00) van NMP4 werkgroep 4: ‘Duurzame economie: duurzaam voorzien in de energie- en mobiliteitsbehoefte’..*

*De noodzaak om de emissieproblemen ook na de Kyoto-periode vergaand aan te pakken, wordt breed gedeeld. Meer blijkt er een diepgaand verschil van inzicht te bestaan wat doel en resultaat van een dergelijke aanpak moet zijn.*

Het doel van de workshop is oplossingsrichtingen voor een aantal hardnekkige emissies gerelateerd aan de energievoorziening verder te verkennen en te verdiepen. In lijn met de Heideweek in Lattrop ligt de nadruk op de sturingsvragen. De analyse van de hardnekkigheid van deze milieuproblemen als hulpmiddel gebruikt.

Aan de deelnemers is gevraagd in hoeverre zij zich in de volgende conclusies herkennen:

1. het probleem van hardnekkige emissies (klimaat en verzuring) valt niet meer te ontkennen.
2. de hardnekkige emissies zijn technologisch oplosbaar;
3. de beleidsvraag betreft het aansturen van gewenste transities op het gebied van de energie- en mobiliteitsvoorziening met name door:
  - a. het invullen van de harde kaders waarbinnen zelfsturing mogelijk is;
  - b. het in uitvoering brengen van mogelijke oplossingsrichtingen;
  - c. het ontwikkelen van gezamenlijke transitie-agenda(‘s).

Over deze conclusies is tussen de deelnemers van de workshop op indringende wijze van gedachten gewisseld. Duidelijk is dat de discussie over deze beleidsopgave nog lang niet is afgerond. Hieronder zijn *de eigen bevindingen van de werkgroep* over stand van de discussie kort weergegeven. De bevindingen zijn gerelateerd aan de hiervoor beschreven conclusies. De werkgroep heeft getracht hierbij tevens aanbevelingen te formuleren op welke wijze de discussie verder kan worden gebracht.

### **1. Herkenning van het probleem**

Op hoofdlijnen wordt de noodzaak onderschreven dat de hardnekkige emissies, die gerelateerd zijn aan energie- en mobiliteitsvoorziening, worden aangepakt. Wel blijft een breed maatschappelijk draagvlak een permanent punt van zorg.

Met het oog op het verbreden van het draagvlak beveelt de werkgroep aan:

- het probleem van de hardnekkige emissies -zonder in doemscenario’s te vervallen- met een duidelijke “sense of urgency” onder de publieke aandacht te houden. Het gaat immers om een wezenlijk probleem;
- binnenlandse maatregelen meer te profileren op eigen belang zoals verbetering leefomgeving,

gezondheid en natuur. Dit kan bijvoorbeeld inhouden dat er voor binnenlandse maatregelen meer op NO<sub>x</sub> - dan op CO<sub>2</sub>-reductie wordt gestuurd en geprofileerd. Dit in lijn met ervaringen van de “zero sum emission policy” van California (VS).

## **2. Technologische route**

Er is nauwelijks tot geen discussie over de omvang van het technologisch potentiaal voor het aanpakken van de hardnekkige emissies. Velen achten de emissie niet (meer) als een technisch probleem. Het opzetten van gezamenlijke transitie-agenda's worden daarbij als een hulpmiddel voor creatieve leerprocessen ervaren.

De werkgroep beveelt aan in samenspraak met betrokken partijen mogelijk transitie-agenda's als leerproces verder uit te werken.

## **3. Sturing van beleid**

Het concept van “Zelfsturing binnen harde kaders” wordt als een goede ontwikkeling beschouwd. Het kunnen nemen van de eigen verantwoordelijkheid van maatschappelijke partijen (zonder directe overheidsbemoeienis bij de uitvoering) is daarbij een wenkend perspectief. Echter de betrokken partijen ervaren een te beperkt inzicht in:

- i) de te stellen beleidsdoelen (wat willen we bereiken?),
  - ii) de vorm en werkwijze van het beleidskader (hoe gaan we het uitvoeren) en
  - iii) de Nederlandse inzet op de internationale agenda (waar kunnen we het realiseren).
- Mede hierdoor zij partijen terughoudend om gezamenlijk transitie-agenda's voor specifieke deelsystemen op te zetten.

### *i) Beleidsdoelen en -resultaten*

De werkgroep is er vanuit gegaan dat het beleid over “het duurzaam voorzien in de energie- en mobiliteitsbehoefte” zich primair richt op het wegnemen van de onduurzame effecten ervan. Hierover is een duidelijk meningsverschil tussen leden van de poldergroep onderling en met de werkgroep over de vraag waarop het NMP4-beleid moet aangrijpen. De vraag spitst zich toe of het NMP4 maatschappelijke functies die hardnekkige emissies veroorzaken, moet aanpakken, of de onduurzame effecten behoren bij deze functies moet aanpakken. Met andere woorden als “energie de motor van de samenleving is”, moet het NMP4-beleid deze motor afremmen ( “uiteindelijk moet de energievraag naar beneden”) of moet het beleid de negatieve effecten zoals de hardnekkige emissies van “deze motor” wegnemen.

In feite is hier een discussie over het stellen van de beleidsdoelen. Om maatschappelijke actoren (marktpartijen) als probleem- en oplossingseigenaren in beweging te krijgen, is naast het formuleren van duidelijke beleidsdoelstellingen ook een aantoonbaar maatschappelijk draagvlak voor deze doelstellingen (en beoogde resultaten) van wezenlijk belang.

De werkgroep is daarom van mening dat deze discussie een vervolgagenda voor onderhavige beleidsopgave blokkeert. Om hieruit te komen, beveelt de werkgroep aan dit meningsverschil op korte termijn met de betrokken partijen te ontwarren zodat hierover duidelijke politiek-bestuurlijke conclusies kunnen worden getrokken.

### *ii) Beleidskader*

Het ontwikkelen van “zelfsturing binnen kaders” als incentives voor de uitvoering van het beleid moet verder worden uitgewerkt. In feite is er sprake van een transitie van beleid.

De werkgroep raad daarom aan hiervoor in het kader van NMP4 een agenda met betrokken partijen op te stellen. Gezien de reacties van de deelnemers van de workshop zal in ieder geval aandacht moeten komen voor:

- de overgang van beleid(instrumenten) gebaseerd op Kyoto- en post-Kyoto-periode;
- de wijze waarop enerzijds voldoende duidelijke beleidsdoelen vooraf worden vastgesteld en anderzijds voldoende handelingsvrijheid voor marktpartijen wordt gewaarborgd;
- het omgaan met het risico van wijzigende kaders voor zelfsturing tijdens de uitvoering (hoe “hard is hard?”); zeker in relatie van (nog onbekende) afwentelingsmechanismen en wijzigende wetenschappelijk of politiek-bestuurlijke inzichten;
- het ontwikkelen van kennis op welke wijze verschillende emissieplafonds op elkaar kunnen inwerken;
- de rol en positie die een overheid bij het concept van “zelfsturing binnen kaders” kan innemen. Wat heeft de overheid aan de spelers binnen dit kader te bieden, in hoeverre is de overheid partij bij transitie-agenda's.

### *iii) Internationale agenda*

Zowel de reductie van de emissie van CO<sub>2</sub> als NO<sub>x</sub> beperkt zich niet tot binnen de landsgrenzen. De internationale onderhandelingen moeten voor ná 2012 nog grotendeels worden gevoerd. Dit besef leidt er toe dat er op nationaal niveau niet voor alle partijen duidelijk is welke stappen men wil en kan nemen. Het ontbreekt aan in duidelijk een eigen internationale agenda (voor de post Kyoto-periode) met daarin de positie van Nederland. Dit maakt partijen afwachtend waardoor een goede vertrouwensbasis voor gezamenlijke uitwerking van een transitie-agenda ontbreekt (“prisoners dilemma”).

Met betrekking tot de internationale dimensie van het probleem beveelt de werkgroep aan:

- een duidelijke Nederlandse inzet formuleren voor de internationale agenda voor de post-Kyoto periode. Bij deze inzet een aantal onzekerheden als mogelijke scenario's meenemen, zoals een kader met en zonder internationale afspraken;
- het organiseren van Europese experimenten gericht op het ontwikkelen van duurzame energievoorziening;
- het opzetten van interregionale transitie-agenda's rondom specifieke deelsystemen met een afgebakend aantal “probleem- en oplossingseigenaren”. Een dergelijke agenda zou dan vooral oplossingsgericht moeten zijn, om vooral een “win-win situatie” te creëren. Bijvoorbeeld een



transitie-agenda opstellen voor een NO<sub>x</sub>-arme vervoersysteem met Duitsland, de Scandinavische landen en het Verenigd Koninkrijk. Deze landen met Nederland zijn grotendeels elkaars veroorzaker van een gezamenlijk NO<sub>x</sub>-probleem.

\*\*\*\*\*

**Bij de workshop waren de volgende personen aanwezig:**

C. Brinkhuizen (Cees) (voorzitter), CB-Media BV  
M. van Ewijk, NJMO  
J.V. Henselmans, Stichting Natuur en Milieu  
J. Fransen, Stichting Natuur en Milieu  
A.S.A.L. Stevens, Stichting Natuur en Milieu  
W. Klerken, VNO/NCW  
P. Clausing, ANWB  
H. Kip, EnergieNed  
I. A.P.M. Weterings, TNO-MEP  
J. Beeldman, ECN  
K. van den Wijngaart, RIVM  
T. van der Werff, Bezinningsgroep Energiebeleid

***Leden projectteam NMP4***

C.M. Moons (projectleider NMP4), Ministerie VROM  
H.W. Sips, Ministerie VROM

***Werkgroep #4***

C. Hoppener (trekker), Ministerie VROM  
K.C. de Rijk, (secretaris), PricewaterhouseCoopers N.V.  
F. Vlieg, Ministerie VROM  
J.P. Aubert, Ministerie van EZ  
B.B. Thorborg Ministerie van V&W  
J.P. van Rijn, Ministerie van BuZa  
M. van Dok Ministerie van LNV

## Conclusies en aanbevelingen

De verkenningen van het RIVM/ECN laten zien dat er in beginsel een voldoende groot technologisch potentieel is om de hardnekkige milieuproblemen die samenhangen met energiegebruik en mobiliteit te kunnen wegnemen (in bijlage 2 wordt dit gedetailleerd toegelicht). Het vereist echter wel dat de energievoorziening (met inbegrip van energiegebruik voor mobiliteit) fundamenteel wordt aangepast. De transitie die hiervoor nodig is, zal een grote inspanning vergen van de overheid en de verschillende doelgroepen. De belangrijkste uitdaging is om de juiste sturingsinstrumenten te vinden om de transitie op gang te brengen.

De werkgroep komt tot de volgende belangrijkste conclusies en aanbevelingen:

1. CO<sub>2</sub> (klimaatverandering) en NO<sub>x</sub> (verzuuring) zijn in hoge mate bepalend (de sleutelemis-sies) voor de hardnekkige milieuproblemen die samenhangen met energiegebruik en mo-biliteit. Lukt het om deze emissies vergaand terug te dringen, dan wordt ook de uitstoot van de overige stoffen (SO<sub>2</sub>, VOS en fijn stof) ten gevolge van energiegebruik in voldoen-de mate teruggebracht (meelifteffect). Hiermee worden belangrijke voorwaarden gecre-eerd voor een meer duurzame voorziening in de behoefte aan energie en mobiliteit.
2. Vergaande reductie van de sleutelemis-sies CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> vereist geen andere samenleving of economie, maar wel een andere energievoorziening. Dat laatste kan, ook bij een rea-listische economische ontwikkeling.
3. Uit de verkenning van RIVM en ECN blijkt dat vergaande NO<sub>x</sub>-reductie in belangrijke mate afhankelijk is van allerlei technieken waarmee ook CO<sub>2</sub> wordt gereduceerd (het synergie-effect). NO<sub>x</sub> wordt daarmee medesturend in de noodzakelijke transitie van de energie-voorziening en is gebaat bij binnenlandse CO<sub>2</sub>-maatregelen. De werkgroep beveelt aan om dit element in de toekomst te betrekken bij de vraag in welke mate Nederland bij het realiseren van nationale reductieverplichtingen voor broeikasgassen gebruik wil maken van de zogenoemde Kyoto-mechanismen (maatregelen in het buitenland).
4. Er lijkt een voldoende groot technologisch potentieel aanwezig om vergaande reducties te bewerkstelligen. De verkenning leert echter ook dat we het ons niet kunnen permitteren al teveel reductietechnieken uit te sluiten. Een strategie die alleen is gericht op beperking van de vraag naar energie en op de inzet van hernieuwbare bronnen, brengt gezien het relatief geringe reductie-potentieel grote risico's met zich mee. Het is verstandig om het speelveld van reductietechnieken zo breed mogelijk te houden. De optie van schoon fos-siel (door middel van CO<sub>2</sub>-opslag) is daarbij van groot belang. Ook kernenergie zou een rol kunnen spelen indien de problematiek van afval en veiligheid is opgelost.
5. Wil beleid effectief zijn, dan moet het zich primair richten op het bestrijden van de effecten en dus op het terugdringen van de emissies (CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>). Doelen die in andere termen zijn gesteld (zoals efficiencyverbetering, "tot de wereldtop behoren" of een aandeel her-nieuwbare bronnen), kunnen zeker een bijdrage leveren maar ook tot sub-optimalisatie ten gevolge van verkeerde afwegingen leiden. De werkgroep beveelt aan om bij aanpas-sing van het instrumentarium de emissies steeds als aangrijpingspunt te kiezen en aan-wezige schotten zoveel mogelijk te verwijderen.
6. De werkgroep is van mening dat het beleidsinstrumentarium de overheid meer zekerheid moet geven over het halen van doelen en beveelt aan om absolute nationale reductiever-plichtingen (zoals de -6% voor broeikasgassen) te vertalen naar heldere en harde doelen voor maatschappelijke sectoren. Het is van buitengewoon groot belang dat degenen die de emissies van CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> veroorzaken er zelf direct belang bij krijgen om die emissies te reduceren.
7. De vertaling naar heldere en harde doelen dient plaats te vinden op het juiste schaalni-veau en de sectoren dienen zoveel mogelijk zelf te kunnen bepalen welke maatregelen ze treffen (zelfregulering binnen kaders). Dit kan in de vorm van emissieplafonds met ver-handelbare rechten of door middel van voortschrijdende normstelling voor producten, mogelijk ook met handel. De overheid stuurt op doelen en randvoorwaarden en laat de invulling over aan de markt.

8. *Emissieplafonds en handel richten zich op de korte termijn (10 tot 15 jaar vooruit). Om de noodzakelijke transitie van de energievoorziening te bewerkstelligen moet ook verder worden gekeken (20 tot 30 jaar vooruit). De werkgroep beveelt aan om per deelsysteem met relevante maatschappelijke actoren hierover afspraken te maken in de vorm van een transitieagenda.*

Tabel 1 Hardnekkigheid nu en in 2030

<b>Hardnekkig karakter van emissies nu</b>	<b>Situatie in 2030</b>
1. Energie is motor van de economie	Dat is nog steeds zo, maar er is ontkoppeling door schoon fossiel, hernieuwbare bronnen en vergaande energie-efficiency.
2. Fossiele energie is goedkoop	Door de keuze van systemen met emissieplafonds en handel is dit minder een probleem. Het stimuleert de zoektocht naar goedkope reductietechnieken.
3. Oplossing is afhankelijk van internationale afspraken	Internationale consensus is bereikt over de verdeling van toelaatbare emissieruimte. Belangrijke internationale spelers hebben zelf initiatief genomen en afspraken geaccepteerd.
4. Er zijn geen duidelijke probleemeigenaren	Door emissieplafonds met handel hebben degenen die de emissies veroorzaken direct belang gekregen bij reducties. Het bedrijfsleven is daardoor sterk betrokken geraakt.
5. Onzekerheid over oplossingen	Doordat er meer mondiale consensus is gekomen, neemt de onzekerheid bij strategische keuzes af. Daarnaast is er een breed palet aan beschikbare maatregelen.
6. Weinig draagvlak in de maatschappij	Door kennis van grote gevolgen van klimaatverandering, en de beschikbaarheid van kwalitatief goede technologische alternatieven is draagvlak sterk toegenomen.

### **'De situatie in 2030'**

*In dit rapport staat een emissiearme energievoorziening centraal. Dit vereist een proces van innovatie en verandering. Dit proces hebben we 'de transitie naar een emissiearme energievoorziening' genoemd. De hier gepresenteerde situatieschets kan worden gezien als een momentopname tijdens die transitie: de stand van zaken 30 jaar na nu.*

Het toegenomen inzicht in de gevolgen en risico's van klimaatverandering heeft ertoe geleid dat op mondiaal niveau door alle belangrijke landen is ingestemd met de reductie van broeikasgassen. Op basis van de beschikbare emissieruimte zijn afspraken gemaakt over het verdelen van emissierechten. De *Kyoto mechanismen* zijn in werking getreden en bevorderen de introductie van duurzame technologie in Noord en Zuid. Emissiehandel vindt op grote schaal plaats, waardoor reducties daar plaatsvinden waar dat tegen de laagste kosten kan. Echt goedkope reducties behoren inmiddels tot het verleden en een flink deel van de vereiste emissiereducties wordt in de geïndustrialiseerde landen gerealiseerd. Er is daarbij een divers palet aan reductietechnieken ontstaan. De grote multinationale ondernemingen betrokken bij de verkeerssector (autofabrikanten en olie-maatschappijen) hebben de handen ineengeslagen, zijn met een plan gekomen voor zuinige vervoersmiddelen en schone energiedragers en hebben een gezamenlijk mondiaal emissieplafond voor de gehele transport geaccepteerd. Een versnelde introductie van de brandstofcelauto en het gebruik van biobrandstoffen is het gevolg. Uiteindelijk hebben ook de luchtvaart en de scheepvaart een dergelijk emissieplafond geaccepteerd.

In de Europese Unie, inmiddels uitgebreid met Midden- en Oost Europese landen, hebben de meeste landen gekozen voor een systeem met een nationaal emissieplafond. Bijzonder is dat er voor de gehele elektriciteitssector een Europees emissieplafond voor CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> is overeengekomen, waarbij op een Europese beurs levendig rechten wordt gehandeld. Veel inspanningen richten zich op het terugdringen van de koolstofintensiteit aan de aanbodkant. Het aandeel kolen is sterk teruggedrongen en vervangen door aardgas, ondergrondse CO<sub>2</sub>-opslag is na veel discussie geaccepteerd waarmee de route naar waterstof versneld is geopend, en ook het aandeel hernieuwbare energie is flink gestegen.

In Nederland is conform de internationale afspraken, een aanzienlijke reductie bereikt van de uitstoot van broeikasgassen. In aanvulling op de internationale afspraken voor vervoer en elektriciteit richt het nationale beleid zich met name op het terugdringen van de overblijvende emissies (die vooral samenhangen met de behoefte aan warmte) en op vermindering van de vraag naar energie. Emissieplafonds met handel in rechten zijn ook hierbij het centrale sturingsmechanisme geworden. Het draagvlak voor de reducties in de maatschappij neemt steeds verder toe. De verschillende vormen van hernieuwbare energie zijn vooral populair bij de particuliere consument. Het bedrijfsleven speelt hierbij handig in op reeds bestaande behoeftes aan onafhankelijkheid en een prettige leefomgeving.



# 1 Een hardnekkig probleem

De belangrijkste emissies ( $\text{CO}_2$  en  $\text{NO}_x$ ) die samenhangen met energiegebruik ten behoeve van mobiliteit, productie van goederen, verwarming en elektrische apparaten hebben om diverse redenen een hardnekkig karakter. De belemmeringen die bij het realiseren van reducties optreden zijn de volgende:

1. Een belangrijke reden is dat energie de motor van onze economie vormt en verbonden is met vrijwel alle menselijke activiteiten. Dit betekent per definitie dat er, om de emissies te kunnen terugdringen, op veel actoren een beroep moet worden gedaan. Het betreft dus geen geïsoleerd probleem zoals de aantasting van de ozonlaag, waarbij de verwevenheid met de samenleving veel minder groot is.
2. Ook belangrijk is dat de voorraden fossiele brandstoffen naar de huidige inzichten op korte termijn niet zullen zijn uitgeput. Ze zijn ruim beschikbaar en zullen daardoor goedkoop blijven. Voor zowel aardolie, aardgas als kolen geldt dat de reserve/ productieverhouding meer dan 100 jaar bedraagt (aardolie 130, aardgas 140 en kolen 220). In de scenario's van IASA en WEC wordt er dan ook van uitgegaan dat de voorraden fossiele brandstoffen de komende 100 jaar geen beperkende factor zullen vormen voor de ontwikkeling van de energievoorziening. Dit betekent dat niet de beschikbare voorraden maar de emissies al heel snel de beperkende factor zullen zijn bij het gebruik van fossiele brandstoffen. En het betekent ook dat de prijs van fossiele brandstoffen niet zal worden bepaald door schaarste-omstandigheden.
3. Voor zowel  $\text{CO}_2$  als  $\text{NO}_x$  geldt dat de problematiek zich niet beperkt tot binnen de landsgrenzen. Een nationale aanpak is zinloos ( $\text{CO}_2$ ) of heeft onvoldoende effect ( $\text{NO}_x$ ). Omdat het klimaatprobleem een mondiaal probleem is, is de internationale context bepalend voor het succes van een aanpak. Het Klimaatverdrag en het Kyoto-protocol vormen daarbij een startpunt. Uiteindelijk zullen mondiale emissieplafonds en een verdeling van de emissieruimte tot stand moeten komen. Omdat energiegebruik sterk samenhangt met de economische ontwikkeling raakt dit de Noord/Zuid-verhouding, waarmee het onderdeel is geworden van complexe internationale relaties en onderhandelingen daarover. Bij  $\text{NO}_x$  is eerder de regionale dan de mondiale context van belang. Meer dan 50% van de zure neerslag in Nederland is afkomstig uit het buitenland en van onze eigen emissies wordt meer dan de helft geëxporteerd.
4. Binnen de Economic Commission for Europe van de Verenigde Naties (UN/ECE) zijn om deze reden afspraken gemaakt over nationale emissieplafonds. Landen mogen zelf uitmaken op welke wijze zij de reducties realiseren. Hierbij gelden wel Europese richtlijnen, welke geïmplementeerd moeten worden in nationale regelgeving, als randvoorwaarde.
5. De problemen zijn hardnekkig omdat de overheid er onvoldoende in is geslaagd om een voldoende groot eigenbelang te creëren bij degenen die de emissies moeten reduceren. De overheid is zelf nog teveel probleem eigenaar. Ook zijn de instrumenten te vrijblijvend (veelal gebaseerd op prijsprikkels, geen harde doelen, etc.) waardoor er onvoldoende garanties zijn dat absolute nationale verplichtingen kunnen worden gehaald. Een belemmering voor de toekomst kan ook zijn dat er teveel subdoelen zijn, zowel naar de verschillende velden (efficiencyverbetering versus hernieuwbare bronnen) als naar doelgroepen (verkeer, industrie, etc.). Schotten uit de uitvoering op weg naar realisatie van emissiedoelen vormen vrijwel altijd een drempel voor kosteneffectiviteit.

6. De introductie van nieuwe technologieën is altijd omgeven door veel onzekerheden en risico's. Welke technologieën breken door, wat zijn de gevolgen ervan, welke marktpartij werpt zich op als first mover, etc. Een keuze voor een bepaalde technologie kan uiteindelijk een doodlopend spoor blijken.

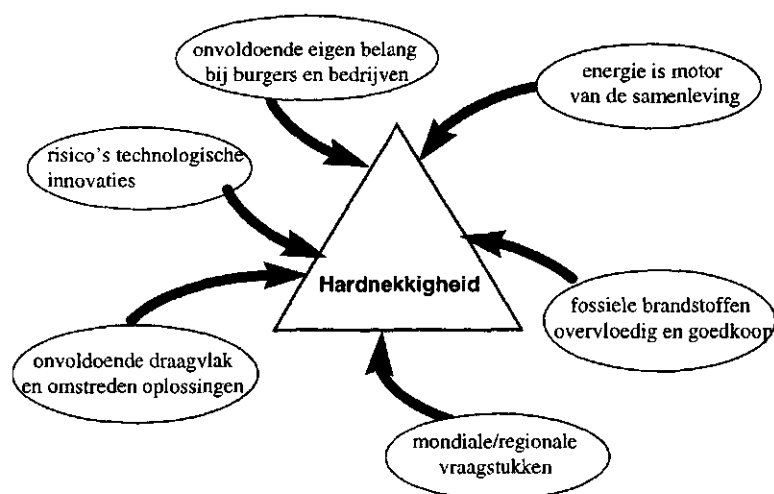
Bij het terugdringen van de emissies ten gevolge van energiegebruik en mobiliteit speelt de energiesector een cruciale rol en juist die sector staat aan het begin van een nieuw tijdperk. De liberalisering van de energiemarkten brengt voor de energiebedrijven behalve nieuwe kansen ook veel onzekerheid met zich mee. Dit kan, zeker tijdelijk, aanleiding geven tot een risicomijdende strategie die een belemmering vormt voor vergaande milieu-investeringen.

7. Er is nog onvoldoende draagvlak in de samenleving. De voorspelde effecten van de milieuverontreiniging worden nog onvoldoende herkend of zullen zich pas op langere termijn voordoen. De relatie tussen effect en oorzaak is vaak ook moeilijk te bewijzen (zoals bij de toenemende frequentie natuurrampen en het oprukken van tropische muggen naar noordelijke streken).

Een ander probleem bij het draagvlak is dat er te weinig of een onduidelijk handelingsperspectief voor bedrijven en burgers is. Het is onvoldoende duidelijk wat men eraan kan doen. Vaak wordt de burger in termen van versoering aangesproken, wat een weinig populaire boodschap is. Heel belangrijk is ook dat veel potentiële oplossingen weerstand ondervinden. In de opstelling van veel actoren zit dikwijls een sterke ideologische component. Sommigen vinden dat het klimaatprobleem alleen is op te lossen door een andere samenleving en een andere economie (versoering). Anderen beschouwen de hernieuwbare bronnen als enige echte oplossing. In hun ogen is CO<sub>2</sub>-opslag alleen maar een end-of-pipe oplossing die de introductie van hernieuwbare bronnen vertraagt. Weer anderen zien niets in de grootschalige inzet van biomassa omdat het strijdig zou zijn met streven naar een grotere biodiversiteit. En iedereen is voor windenergie maar slechts weinigen willen de windturbines ook in de eigen omgeving.

De hardnekkigheid van de emissieproblematiek rond CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> en de zes genoemde belemmeringen vormen de rode draad in de twee volgende hoofdstukken waar wordt ingegaan op de transitie naar een emissiearme energievoorziening en de instrumentatie daarvan.

Figuur 1 De redenen waarom het probleem hardnekkig is





## 2 De internationale context

### 2.1 Klimaatbeleid

#### Het Klimaatverdrag en Kyoto-protocol

Zoals beschreven in bijlage 1 kan het klimaatprobleem alleen worden opgelost door een gezamenlijke, mondiale inspanning. Zowel vanwege de historisch grotere bijdrage aan het klimaatprobleem, als vanwege de grotere financiële draagkracht, is in het VN Klimaatverdrag afgesproken dat de geïndustrialiseerde landen het voortouw nemen bij de oplossing van het probleem. Voor deze landen (OESO-landen en Oost Europa) zijn reductieverplichtingen geformuleerd. Verder dienen deze landen, met uitzondering van de landen in transitie (met name Midden- en Oost-Europa), financiële middelen ter beschikking te stellen aan de niet-geïndustrialiseerde landen, zodat deze hun verplichtingen kunnen nakomen.

Om aan de verplichtingen uit het Kyoto-protocol te voldoen zijn twee opties beschikbaar:

1. *Reduceren van binnenlandse emissies* van broeikasgassen of vastlegging en opslag van CO<sub>2</sub> via binnenlandse projecten;
2. *Het verkrijgen van emissierechten via de zogenoemde Kyoto-mechanismen* (via Joint Implementation projecten, via het Clean Development Mechanisme of via emissiehandel).

In het Kyoto protocol worden partijen verplicht (art. 2) om voor het bereiken van hun reductieverplichtingen, in ieder geval ook gebruik te maken van nationaal beleid en maatregelen (optie 1).

De precieze invulling van de Kyoto-mechanismen (spelregels) is een belangrijk agendapunt op de komende *Conference of Parties* 2000 in Den Haag.

#### Na Kyoto

In het Kyoto-protocol is een eerste belangrijke stap gezet om tot beperking van de emissies van broeikasgassen te komen (periode 2008-2012). Zeker is dat om klimaatverandering binnen acceptabele grenzen te houden in de periode daarna veel verdergaande reducties nodig zijn.

Om klimaatverandering binnen acceptabele grenzen te houden heeft de Nederlandse regering een aantal normatieve uitgangspunten geformuleerd (Vervolgnota Klimaatverandering):

- niet meer dan 2 °C mondiale temperatuurstijging t.o.v. het preïndustriële niveau;
- geen snellere stijging van de temperatuur dan 0,1 °C per decennium;
- een maximale zeespiegelstijging van 50 cm;
- het wereldwijde reductietempo moet technisch/economisch haalbaar zijn.

De werkgroep heeft aan het RIVM gevraagd om met behulp van het FAIR-model een verkenning uit te voeren naar de toelaatbare mondiale emissieruimte bij de bovenstaande normatieve uitgangspunten. Ook zijn de gevolgen onderzocht van een verdeling van de mondiale emissieruimte voor broeikasgassen tussen Noord en Zuid, op basis van een convergentie naar gelijke CO<sub>2</sub>-emissies per capita in 2030 en 2050. Hierbij is rekening gehouden met de uitvoering van het Kyoto-protocol, waarbij de Annex 1 landen in 2010 een emissiereductie bewerkstelligen van 5,2% t.o.v. 1990, terwijl de CO<sub>2</sub>-emissies in de ontwikkelingslanden tot 2010 nog aanzienlijk toenemen.

Hantering van de aangegeven normatieve uitgangspunten leidt tot een bepaald mondiaal emissieprofiel dat voor de komende eeuw toelaatbaar is. De belangrijkste vraag daarna is welke verdeling van emissieruimte moet worden gehanteerd. Er zijn verschillende verdelingsprincipes mogelijk. De emissieruimte kan naar rato van de huidige emissies verdeeld worden (historische rechten) of op basis van financiële draagkracht, zodat landen met een achtergebleven economische groei pas op langere termijn gaan bijdragen aan de reductie

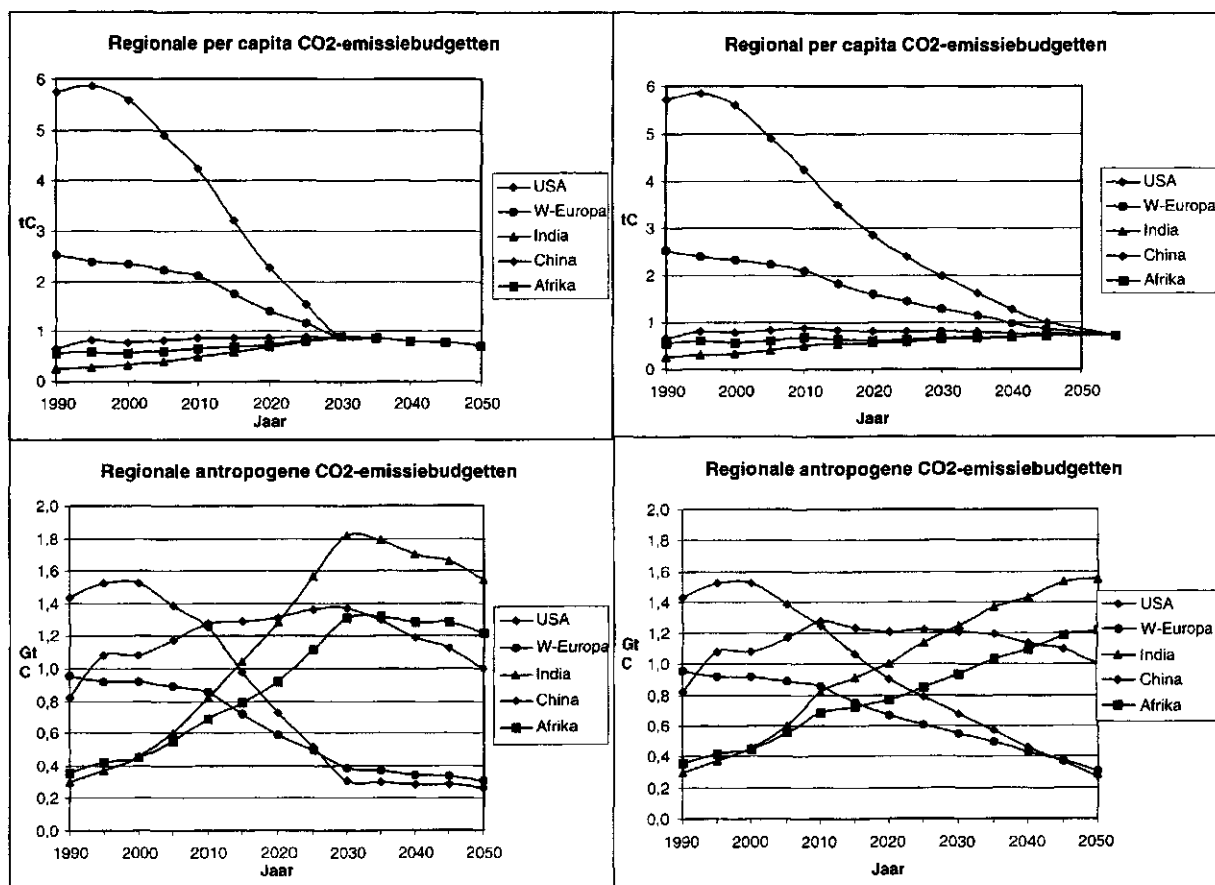
van emissies van broeikasgassen. Een aantal ontwikkelingslanden is alleen bereid tot matiging van emissies indien wordt ingestemd met een situatie van gelijke emissies per capita. Voor een deel hangt dit samen met het feit dat ze zich niet verantwoordelijk voelen voor het ontstaan van het probleem. Daarnaast leggen deze landen de prioriteit bij armoedebestrijding en lokale milieuproblematiek. Deze landen vrezen dat de verplichting tot emissiereductie hun economische ontwikkeling zal afremmen. Tot op heden zijn economische groei, energieverbruik en CO<sub>2</sub>-emissies immers nog steeds gekoppeld. Door voor gelijke rechten te kiezen, ontstaat er voor vrijwel alle landen een prikkel om bij te dragen aan de emissiereductie. Een situatie met gelijke rechten is op korte termijn echter niet realiseerbaar. De werkgroep heeft het RIVM gevraagd om de consequenties in beeld te brengen van een situatie met gelijke emissie per capita in 2030 danwel in 2050.

Uit de RIVM-verkenning blijkt dat de genoemde normatieve uitgangspunten buitengewone zware restricties vormen. Met name het uitgangspunt voor de snelheid waarmee de gemiddelde mondiale temperatuur mag stijgen (0,1 °C per decennium), vormt een probleem omdat de op dit moment optredende stijging al groter is. Belangrijke oorzaken hiervan zijn het Kyoto-protocol zelf, dat mondiaal gezien maar een zeer beperkte reductie oplevert (5,2% in de Annex-I landen) en de verwachte daling van de SO<sub>2</sub>-emissie (SO<sub>2</sub> leidt tot een demping van de temperatuurstijging). Dit alles betekent dat de snelheid van de temperatuurstijging niet snel (d.w.z. niet vóór 2030) teruggebracht kan worden tot beneden de 0,1 °C per decennium.

Verder impliceren de normatieve uitgangspunten uit de Vervolgnota en bepaalde veronderstellingen met betrekking tot de emissies voor de niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen dat de CO<sub>2</sub>-concentratie moet worden gestabiliseerd op een niveau van ongeveer 450 ppmv. Deze uitkomst is wel afhankelijk van de veronderstelde klimaatgevoeligheid (de relatie tussen CO<sub>2</sub>-concentratie en optredende temperatuurstijging). Over deze relatie bestaat nog grote wetenschappelijke onzekerheid (de klimaatwetenschappers hanteren als range 1,5-4,5). In de verkenning is uitgegaan van 2,4. Bij hogere waarden kan niet worden voldaan aan de normatieve uitgangspunten.

De resultaten van de RIVM-verkenning naar de verdeling van de toelaatbare mondiale emissieruimte bij een situatie van gelijke emissies per capita in 2030 danwel 2050, zijn weergegeven in figuur 2.

In het 2030-scenario zou de emissieruimte voor de Annex 1 landen tussen 2010 en 2030 met meer dan 65% afnemen, terwijl de emissie van ontwikkelingslanden met ca. 20% mag groeien. Het 2050-scenario impliceert dat Annex 1 landen minder ver terug hoeven wat betreft de emissieruimte, maar ten gevolge daarvan ook dat niet-Annex 1 landen, na uitvoering van het Kyoto protocol, ook terug moeten in emissieruimte. De verdeling van emissieruimte betekent overigens niet, dat de feitelijke reducties ook volgens die verdeling moeten plaatsvinden. Met behulp van de eerdergenoemde Kyoto-mechanismen is het immers mogelijk dat landen hun verplichtingen elders realiseren, indien dat kostenvoordelen met zich meebrengt.



Figuur 2 De verdeling van de toelaatbare mondiale emissieruimte

### Internationale lucht- en scheepvaart

Vooralsnog vallen de emissies van de internationale lucht- scheepvaart niet onder het Kyoto-protocol. Ter illustratie: Met betrekking tot de internationale luchtvaart heeft het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in de periode 1997 - 1999 een assessment uitgevoerd van de gevolgen van de luchtvaart voor de atmosfeer. Belangrijke statements uit het rapport zijn:

1. De luchtvaart neemt thans wereldwijd circa 2% van de verbranding van fossiele brandstoffen, en daarmee van de CO<sub>2</sub>-emissies, voor haar rekening. Doordat de luchtvaart relatief harder groeit dan andere sectoren neemt dit percentage toe, voor een gemiddeld groei scenario ("mid range scenario") 3% in het jaar 2050. Naast CO<sub>2</sub> hebben ook andere uitlaatgassen een invloed op het broeikaseffect. Derhalve is de invloed van luchtvaart op het broeikaseffect thans 3,5% oplopend tot 5% in 2050. In deze percentages zijn efficiencyverbeteringen verdisconteerd ten gevolge van technische verbeteringen aan toestellen (potentie geschat op 40-50%) en ten gevolge van verbeteringen in operationele procedures (potentie geschat op 8-18%). Hoewel de percentages laag zijn, moeten de gevolgen van luchtvaart voor de atmosfeer toch serieus genomen worden. Ter illustratie: er zijn veel landen in de wereld die in totaal minder produceren dan de luchtvaart, dus een paar procent is niet verwaarloosbaar.

2. Marktconforme maatregelen (heffingen of convenanten of verhandelbare emissierechten) zijn nodig voor verdere beperking van de luchtverontreinigende uitstoot. Het ICAO Committee on Aviation Environmental Protection en de International Maritime Organisation (IMO) hebben via het protocol opdracht gekregen beleid tot stand te brengen voor de reductie van de zogenoemde *bunkeremissies*. Door het internationale karakter van de lucht- en scheepvaart lenen deze sectoren zich niet voor toedeling van emissieruimte via nationale plafonds. Nederland stelt zich pro-actief op om in ICAO- en IMO-verband maatregelen te bewerkstelligen gericht op verdergaande technologische en operationele verbeteringen en op het introduceren van marktconforme instrumenten. Eigen emissieplafonds voor deze internationale transportsectoren zouden daarvoor een grote stimulans zijn. Zij krijgen dan net als de landen bepaalde emissierechten toegewezen, die in eerste instantie gebaseerd zijn op de huidige emissieniveaus maar op termijn worden afgebouwd, afhankelijk van de te volgen verdelingssystematiek.

## 2.2 Verzuringsbeleid

Verzuring is een regionaal probleem. Om deze reden worden sinds geruime tijd ook op Europees niveau afspraken gemaakt over reductie van verzurende emissies. Het betreft hier het vaststellen van normen en richtlijnen voor uiteenlopende emissiebronnen, met name transportvoertuigen en grote industriële bronnen. Sinds kort worden ook afspraken gemaakt over nationale emissieplafonds.

### Nationale emissieplafonds

Binnen Europa wordt de uitstoot van verzurende emissies van landen op twee manieren aan maxima gebonden. Enerzijds gebeurt dit binnen de Europese Unie met de National Emission Ceilings (NEC) directive. Anderzijds binnen de Economic Commission for Europe van de Verenigde Naties met het M&M protocol. Dit geldt voor alle Europese landen plus de U.S.A. en Canada. Binnen UN/ECE-kader zijn inmiddels afspraken gemaakt voor emissieplafonds voor 2010. Om draagvlak te houden voor verregaande reducties zijn internationale afspraken onmisbaar. Tot 2030 en waarschijnlijk ook daarna zullen internationaal vastgestelde nationale emissieplafonds harde randvoorwaarden zijn waarbinnen (inter)nationaal emissiebeleid wordt uitgewerkt.

### Industrie

Naast de emissieplafonds per land worden er in het kader van het IPPC (Integrated Pollution and Prevention Control) afspraken gemaakt over de stand der techniek voor diverse industriële sectoren. Deze stand der techniek (Best Available Technique oftewel BAT) wordt vastgelegd in BAT reference documents (BREF's). De BREF's dienen als handleiding (in de vorm van een shopping list) voor vergunningverleners bij het voorschrijven van milieunormen in de industrie.

Voor grote stookinstallaties bestaat een Europese richtlijn waarin emissie-eisen worden gesteld aan de emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en fijn stof. Deze richtlijn moet geïmplementeerd worden in nationale regelgeving en heeft daarmee een wettelijk karakter.

Voor verdergaande reducties van NO<sub>x</sub> in heel Europa bestaat de voorkeur voor een internationaal systeem van verhandelbaarheid van emissies of reducties. Basis voor deze verhandelbaarheid ligt in emissieplafonds die vertaald (kunnen) worden naar individuele ondernemingen. In dit kader kunnen bestaande structuren als LCP en EuroBAT een rol spelen. Een wijziging van de huidige situatie is dat Europese afspraken in combinatie met een systeem van verhandelbaarheid eenvoudiger tot stand kunnen komen en dat de noodzaak vermindert om voorschriften in detail op te stellen.

### **Wegverkeer en luchtvaart**

Voor de luchtvaart zijn binnen het ICAO (International Civil Aviation Organisation) normen vastgesteld voor toelaatbare emissies van o.a. NO<sub>x</sub> en VOS voor landende en opstijgende vliegtuigen. De emissienormen voor wegvoertuigen worden door de Europese Commissie vastgesteld. Emissienormen worden periodiek aangepast op basis van de voortschrijdende verbetering van de stand der techniek.

Net als bij het reduceren van CO<sub>2</sub>-emissies, kunnen emissieplafonds voor internationale transportsectoren, in combinatie met verhandelbaarheid, een stimulans zijn voor technologische verbeteringen. Verhandelbaarheid maakt het ook mogelijk om (op termijn) normen op te leggen, die niet met de stand der technieken gehaald kunnen worden, omdat gekozen kan worden om tot reducties te komen, in plaats van ze zelf te realiseren.



### 3. Transitie naar een emissiearme energievoorziening

*Om duurzaam te kunnen voorzien in de behoefte aan energie en mobiliteit zullen in ieder geval de emissies in de loop van deze eeuw vergaand moeten worden teruggebracht. Uit de verkenningen van het RIVM en ECN blijkt dat CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> daarbij de 'sleutelemisies' vormen (zie bijlage 2). Lukt het deze emissies naar de gewenste niveaus terug te dringen dan liften de andere emissies (SO<sub>2</sub>, VOS en fijn stof) binnen het veld "energie en mobiliteit" voldoende mee. Om het niveau van de 'sleutelemisies' vergaand terug te dringen moet een grootschalige transitie van de energievoorziening (met inbegrip van het energiegebruik voor mobiliteit) worden ingezet.*

*De overgang naar emissiearme mobiliteit en een emissiearme energievoorziening is technisch mogelijk, maar er is meer nodig dan techniek alleen. Het gaat om een samenspel van techniek, organisatie en cultuur en om een ingrijpende transitie van de energievoorziening. De overheid is nadrukkelijk partij in deze transitie en dient een initiërende rol te vervullen. Dit kan door gebruik te maken van typische overheidsinstrumenten (zie hiervoor hoofdstuk 4), maar bijvoorbeeld ook door binnen- en buitenlandse coalitiepartners te zoeken en met elkaar in contact te brengen en door institutionele belemmeringen uit de weg te ruimen.*

#### 3.1 Een emissiearme energievoorziening

De ontwikkeling van de mondiale energievoorziening zal de komende tientallen jaren in belangrijke mate worden bepaald door de noodzaak, de emissies die een bedreiging vormen voor het wereldklimaat (CO<sub>2</sub>) en de kwaliteit van leven (NO<sub>x</sub>) vergaand te beperken. Het uiteindelijke doel is een energievoorziening waarin vrijwel geen NO<sub>x</sub> meer vrijkomt en waarin de CO<sub>2</sub> die nog vrijkomt, wordt vastgelegd danwel opgeslagen. Gezien de dominante rol van energie in economie en samenleving beperkt deze opgave zich niet tot louter het technische energiesysteem, maar gaat het ook om een beïnvloeding van al het denken en handelen dat met energie te maken heeft.

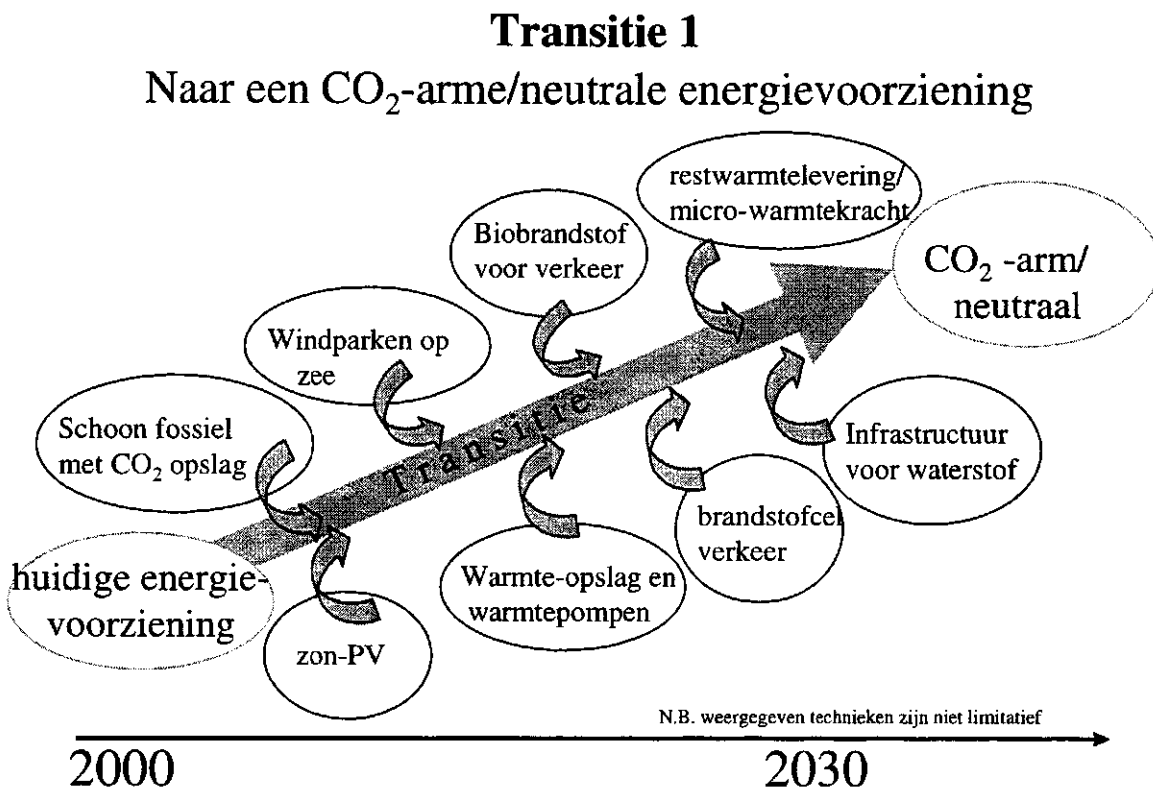
Maatschappijen evolueren voortdurend. Veel veranderingen komen logisch voort uit ontwikkelingen in het verleden, andere betekenen juist een afwijking daarvan: er is dan sprake van een trendbreuk. Trendbreuken kunnen zich in alle aspecten van de samenleving voordoen: demografisch (bijvoorbeeld een emigratiegolf na een hongersnood), sociaal (bijvoorbeeld de introductie van sociale wetgeving), techniek (bijvoorbeeld de opkomst van de automobielen) en de energievoorziening (bijvoorbeeld de elektrificatie van het platteland). Wanneer trendbreuken op verschillende gebieden gedurende een relatief beperkte tijd samenvallen is er sprake van een 'transitie'. Het ziet ernaar uit dat de realisatie van vergaande emissiereducties binnen de energievoorziening een dergelijke transitie vereist.

De huidige wereldenergievoorziening is grotendeels gebaseerd op koolstofhoudende (fossiele) brandstoffen: 40% olie, 26% kolen en 23% aardgas. De opgave bestaat eruit deze brandstofmix te veranderen in een minder koolstofintensieve richting en tegelijk het gebruik van energie voor allerlei doeleinden te verminderen zonder die doeleinden zelf aan te tasten (verhoging van de efficiency). Dat moet gebeuren in een situatie waarin grote delen van de wereld juist aan de vooravond staan van welvaartsgroei en energie-intensivering.

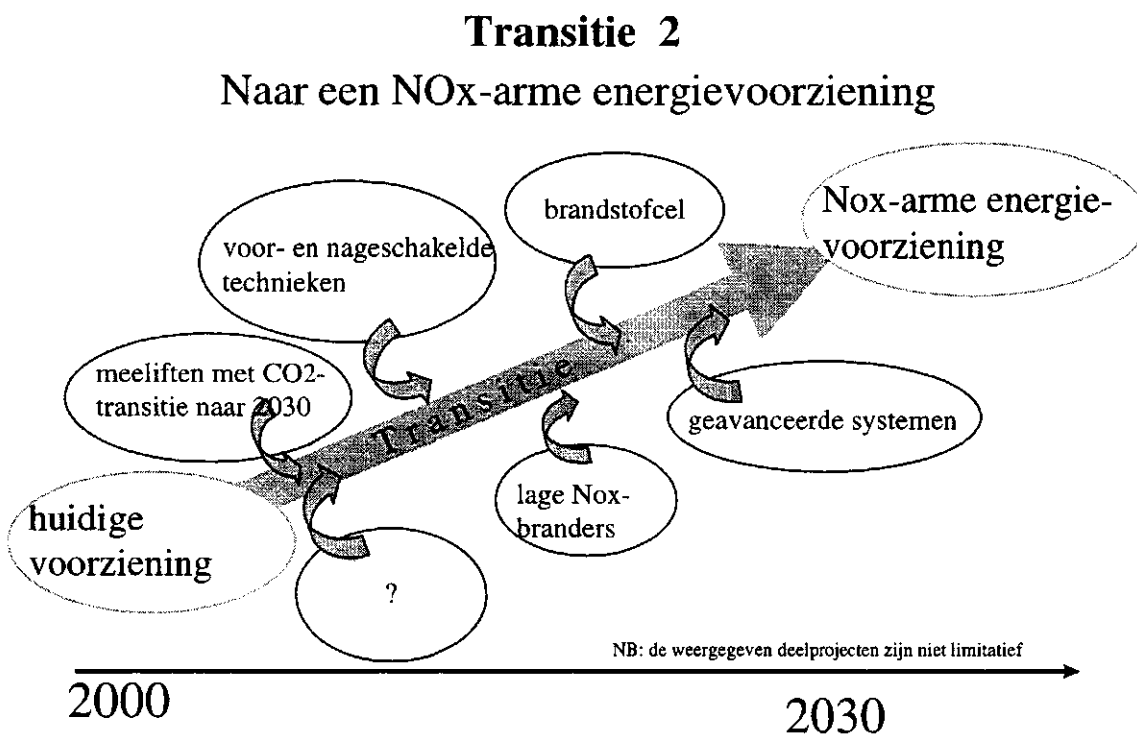
Technisch-wetenschappelijke analyses (zoals die van RIVM en ECN, bijlage 2) wijzen uit dat er in een land als Nederland *technisch* veel mogelijk is. Wezenlijk voor een transitie is echter dat het niet alleen gaat om wat er technisch kan, maar ook om de vraag of de maatschappij de voorwaarden wenst te scheppen om deze technische mogelijkheden de ruimte te geven. Die vraag beperkt zich niet tot een enkel land als Nederland, maar betreft de hele wereldgemeenschap, in het bijzonder de westerse industrielanden.

In de figuren 3 en 4 zijn voor zowel CO<sub>2</sub> als NO<sub>x</sub> in schematische vorm voorbeelden gegeven van wat de technische component van de transitie zou kunnen betekenen.





Figuur 3 Schematische weergave van de transitie naar een CO<sub>2</sub>-arme energievoorziening



Figuur 4 Schematische weergave van transitie naar NO<sub>x</sub>-arme energievoorziening

De weergave is zodanig gekozen dat de transitie van de huidige situatie naar de situatie in 2030 centraal staat. Er vinden op grote schaal systeeminnovaties plaats waarbij energie veel efficiënter wordt gebruikt. Verder neemt het gebruik van hernieuwbare bronnen (wind, zon, biomassa) gestaag toe en worden fossiele brandstoffen meer en meer schoon ingezet. Belangrijke technologisporen die hierbij een rol kunnen spelen zijn de brandstofcel, warmtepompen/warmte-opslag, alsook het gebruik van waterstof als energiedrager. De transities voor CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> verlopen voor een belangrijk deel via dezelfde technieken. Het zijn dus transities die voor een deel samenvallen. Zijn de reductiedoelen voor NO<sub>x</sub> eerder in de tijd en scherper dan bij CO<sub>2</sub>, dan wordt NO<sub>x</sub> medesturend voor de inrichting van de energievoorziening.

De weergegeven deelprojecten (in de bolletjes) zijn stuk voor stuk innovaties, maar ze staan niet los van elkaar. Zo is het mogelijk dat de productie van schoon fossiel (waterstof uit aardgas met CO<sub>2</sub>-opslag) een belangrijke stap is op weg naar een waterstofinfrastructuur. Soms zijn er tegengestelde belangen, waardoor de transitie als geheel moeilijk op gang komt. Overigens zegt de plaats van een bolletje niets over het tijdstip waarop een techniek van betekenis wordt. Verder kan in de loop van het proces nieuwe kennis en technologie ontstaan, waardoor nieuwe innovaties in beeld komen (de lege bolletjes). Om de transitie als geheel te kunnen realiseren is het van belang dat belemmeringen voor kansrijke en sleuteltechnologieën zoveel mogelijk worden weggenomen. Dit is bepalend voor de snelheid waarmee de transitie verloopt.

### 3.2 De oplossingsrichtingen voor 2030 nader verkend

Voor de verkenning van oplossingsrichtingen zijn RIVM en ECN op verzoek van de werkgroep voor het jaar 2030 uitgegaan van 30 à 40% reductie van de CO<sub>2</sub>-emissie (ten opzichte van 1990 en door middel van Nederlandse maatregelen) en van 95% reductie voor NO<sub>x</sub> (ten opzichte van 1980). Deze richtpunten voor de verkenning zijn zeer ambitieus. In bijlage 2 wordt uitgebreid ingegaan op de bevindingen van de instituten. De belangrijkste conclusies volgen hieronder.

Voor CO<sub>2</sub> is een zestal oplossingsrichtingen verkend: (1) verandering van consumptiepatronen en gedrag, (2) wijziging van de economische structuur, (3) efficiencyverbetering, (4) hernieuwbare bronnen, (5) schoon fossiel en (6) kernenergie. Bij de eerste twee oplossingsrichtingen gaat het om veranderingen in economische activiteiten, bij (3) en (4) wordt bij gelijkblijvende economische activiteiten minder beslag gelegd op fossiele energievoorraden terwijl bij de laatste twee oplossingsrichtingen vooral de emissies van CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> bij het gebruik van energie worden beperkt.

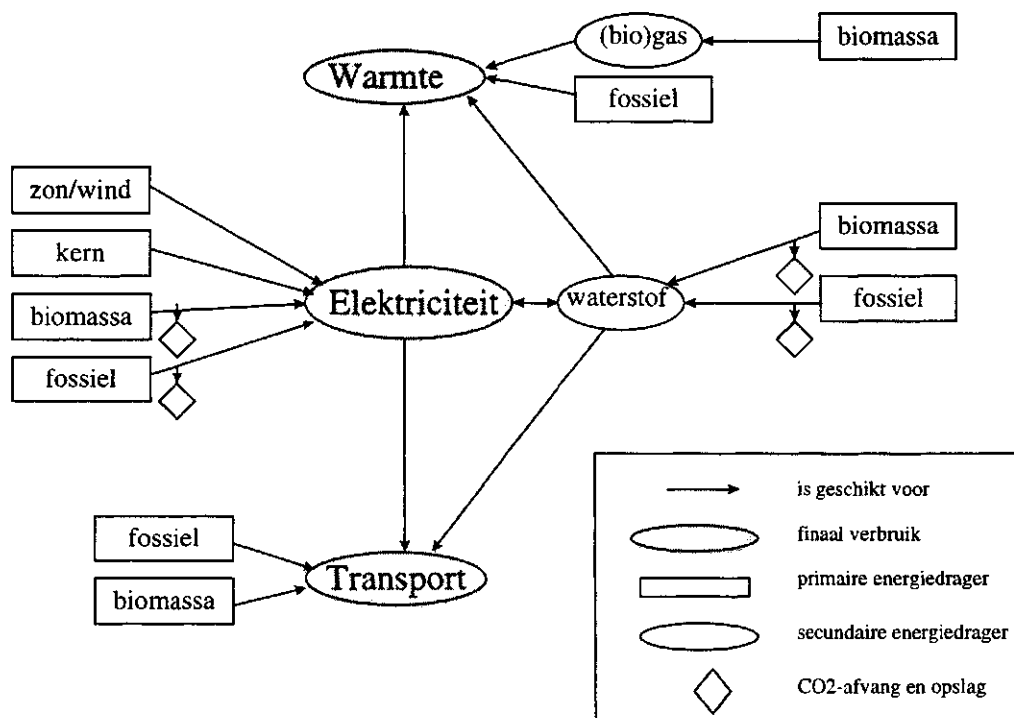
Uit de verkenning van de instituten blijkt dat er een sterke samenhang en synergie is tussen de reducties van CO<sub>2</sub> en van NO<sub>x</sub>. Bij de aangenomen 30 à 40% voor CO<sub>2</sub> is het meelifteffect voor NO<sub>x</sub> echter niet voldoende om de 95% reductie te halen. Om deze reden zijn aanvullend op dit meelifteffect twee aanvullende oplossingsrichtingen voor NO<sub>x</sub> verkend: (1) voor- en nageschakelde technieken en (2) geavanceerde energiesystemen.

Milieutechnisch gezien bestaat er een voorkeur voor geavanceerde energiesystemen, omdat deze naast NO<sub>x</sub> ook bijdragen aan een reductie van CO<sub>2</sub> en andere stoffen. Het succes dat met deze systemen in 2030 kan worden behaald hangt grotendeels af van tijdige beschikbaarheid van de brandstofcel. Omdat de brandstofcel ook van groot belang is voor de transitie naar een CO<sub>2</sub>-arme energievoorziening, is hier sprake van een sleuteltechnologie. Verwacht wordt dat deze technologie voor 2030 vooral toegepast zal worden bij diffuse bronnen, omdat (a) de geleverde producten van de brandstofcel goed aansluiten bij de vraag van diffuse bronnen (geluidsarme aandrijving voor auto's c.q. elektriciteit en warmte voor huishoudens en kantoren), (b) auto's en kleine energie-installaties een kortere levensduur hebben

dan industriële installaties en (c) de zogenaamde sheltered sectoren minder gevoelig zijn voor de meerkosten van een brandstofcel t.o.v. conventionele installaties. Tot 2030 zal een groot deel van de NO<sub>x</sub>-emissies in de exposed sectoren (industrie en energiebedrijven) gerealiseerd worden door voor- en nageschakelde technieken, waar dit goedkoper of praktischer is dan toepassing van geavanceerde energiesystemen.

Bij de oplossingsrichtingen voor CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> blijkt het belang van technologische oplossingen dominant, waarbij het haalbare reductiepotentieel aan de kant van het energieaanbod groter lijkt dan het reductiepotentieel aan de vraagkant. Een maximale inzet op de meeste oplossingsrichtingen lijkt echter nodig om de ambitieuze reducties te kunnen realiseren. Anders gezegd, er zullen altijd combinaties van oplossingsrichtingen noodzakelijk zijn omdat de reductiepotentiëlen per richting te beperkt zijn. Daarnaast zijn er nog veel onzekerheden omtrent de uiteindelijke reductiepotentiëlen en de kosten. Kostenramingen over een periode van 30 jaar bevatten grote marges, waardoor geen winnaars of verliezers kunnen worden aangewezen. Ook daarom is het niet verstandig de keuze van oplossingsrichtingen nu al te zeer te verengen (het speelveld moet zo breed mogelijk worden gehouden). Technieken waarvoor gekozen wordt zullen goedkoper worden, technieken waarvoor niet gekozen wordt blijven daarentegen duur.

Het grootste reductiepotentieel doet zich voor aan de aanbodkant van de energievoorziening. In figuur 5 is de betekenis van de verschillende energiebronnen in relatie tot de behoefte aan warmte, elektriciteit en transport weergegeven. Het schema illustreert dat het een complex systeem betreft waarin vele partijen actief zijn. Dit maakt het in gang zetten van veranderingen niet eenvoudig.



Figuur 5 Schematische weergave van relaties aan de aanbodkant van de energievoorziening

Uit de door RIVM/ECN uitgevoerde verkenning komt naar voren dat de reductiemogelijkheden die nodig zijn om de emissierichtpunten in 2030 te kunnen halen, in beginsel aanwezig zijn. Er is een voldoende groot technologisch potentieel. Ook bij een langdurig hoge economische groei, zou het daarmee mogelijk worden om de CO<sub>2</sub>-emissie daarmee te laten dalen (zie tabel). De belangrijkste vraag wordt daarmee hoe dat potentieel kan worden aangeboord. Zeker is dat het van alle partijen, overheid en doelgroepen, een zeer grote inspanning zal vergen. Hiervoor kan een transitieagenda behulpzaam zijn.

	Global Competition 1996 – 2030	Startoplossing CO <sub>2</sub> t.o.v. GC 1996 – 2030
BBP	3,1%	3,1%
Energiegebruik	1,1%	0,5%
CO <sub>2</sub> -emissie	0,8%	-1,1%

*Tabel 2      Gemiddelde jaarlijkse verandering van economie, energiegebruik en CO<sub>2</sub>-emissie over een periode van 35 jaar*

De verkenning heeft ook duidelijk gemaakt dat de transitie van de energievoorziening pas in het laatste decennium vóór 2030 echt op gang zal komen, in die periode zullen de grootste veranderingen plaatsvinden. Dit brengt grote tijdsdruk met zich mee en daarmee risico's. Uitstel van de start van de transitie brengt met zich mee dat implementatiecurves opschuiven en juist het grootste deel van de reductie niet in 2030 wordt bereikt maar pas later. Een beperkte vertraging kan daarom toch grote effecten hebben. Een ander probleem van de sterke veranderingen in de periode 2020-2030 zal mogelijk zijn dat investeringen in de energievoorziening in de periode daarvoor niet optimaal zijn en er na 2020 een aanzienlijke kapitaalvernietiging moet plaatsvinden danwel dat de transitie ernstige bezwaren zal ontmoeten.

Bij verschillende oplossingsrichtingen geldt dat de ontwikkeling en implementatie van een technologie alleen kan of voldoende snel zal kunnen plaatsvinden indien er internationaal voldoende steun voor is. De sleutelactoren zitten lang niet altijd in Nederland en veel markten zijn internationaal. De toepassing van de brandstofcel in auto's is hier een bekend voorbeeld van (zie verderop in dit hoofdstuk).

### 3.3 Het op gang brengen van transities

De wijze waarop de noodzakelijke transitie zich precies zal voordoen is niet te voorspellen. Overheden en maatschappelijke organisaties zullen daarin elk een geëigende rol moeten spelen. Omdat het belang van de transitie in haar oorsprong van collectieve aard is (de ontwikkeling van het mondiale klimaat en de kwaliteit van de leefomgeving), zal zeker de overheid zich verantwoordelijk (moeten) voelen voor het op gang brengen van de transitie. Haar verdere rol zal ook afhangen hoe maatschappelijke actoren zich opstellen.

Het lijkt erop dat de bedoelde transitie op beperkte schaal inmiddels is ingezet, zoals o.a. blijkt uit verschuivingen in R&D- en investeringsprogramma's en het marktsucces van 'groene' producten. Ook grote internationale ondernemingen oriënteren zich steeds duidelijker op maatregelen om de energievoorziening aan te passen aan eisen die het klimaatprobleem stelt (activiteiten Shell met betrekking tot zon-pv en de recent aangekondigde samenwerking van zeven mondiale energiebedrijven op het terrein van CO<sub>2</sub>-afvang en ondergrondse opslag). Het is nu zaak betrokken partijen (veelal marktpartijen) bij deze transitie(s) verder te activeren en mogelijk andere dragers op een niet-vrijblijvende wijze bij transities te betrekken. In hoofdstuk 4 (Welke sturingsinstrumenten?) zijn daarvoor voorstellen geformuleerd.

Bij het initiëren en stimuleren van gewenste transities kan op basis van de volgende principes worden geopereerd:

- *Transities op deelsystemen* - het verdient aanbeveling om vanuit bestaande deelsystemen op het gebied van energievoorziening en mobiliteit te werken. Het idee dat er één allesomvattende transitie moet plaatsvinden, zal gevestigde marktpartijen huiverig maken hierin te stappen. Immers niemand heeft het totale overzicht mede als gevolg van tempoverschillen en door de meerduidigheid van de 'nieuwe' situatie. Dit kan aanzienlijk beperkt worden door met de betrokken actoren transitieagenda's op te stellen voor deelsystemen waarin ze al thuis zijn, als startpunt voor een leerproces. In onderstaand intermezzo zijn voor bestaande deelsystemen als voorbeeld aanknopingspunten voor dergelijke deelagenda's opgenomen.
- *De prijs van nieuwe energiesystemen* – deze is voorlopig (en misschien wel altijd) hoger dan de prijs van de traditionele energievoorziening. De prijs kan verlaagd worden wanneer er, door een voldoende grote vraag, in de fabricage van deze nieuwe systemen schaalvoordelen kunnen worden behaald. Tegelijkertijd kan de prijs van 'oude' systemen toenemen wanneer daarin ook kosten van onduurzame effecten in de prijs tot uitdrukking worden gebracht. Zodoende kan het prijsverschil worden verkleind.
- *Het belang van bedrijven* – investeren in een nieuw soort energievoorziening moet passen in de bedrijfsstrategie. Het is dan ook een uitdaging ervoor te zorgen dat bedrijven zelf een belang krijgen in dergelijke innovaties (in hoofdstuk 4 wordt hier verder op ingegaan).
- *Het belang van de consument* – in de ogen van de consument is energie een basisvoorziening waarin nog nauwelijks andere kwaliteitselementen zijn te onderkennen dan 'betaalbaar' en 'betrouwbaar'. Het is de uitdaging om het kwaliteitskenmerk 'groen' (=emissiearm) tot een gedragsbepalend element te maken.
- *Picking the winners* – aan het begin van een transitie is het geen uitgemaakte zaak welke elementen uiteindelijk de nieuwe situatie zullen bepalen. Dat kan leiden tot risicomijdend gedrag van investeerders en andere actoren: 'eerst maar eens zien hoe het uitpakt'. Een gezamenlijk risicomanagement tussen overheid en andere maatschappelijke partijen is dan ook nodig, tezamen met goede informatie over de vraag of en hoe de transitie in andere landen verloopt.

Een transitie naar een emissiearme energievoorziening blijft, gezien het interregionale (NO<sub>x</sub>) tot mondiale karakter (CO<sub>2</sub>) van het aan te pakken milieuprobleem, niet beperkt tot Nederland. De manier waarop deze transitie(s) gefaciliteerd moet worden, is dan ook niet alleen een uitdaging voor partijen in Nederland, maar in de gehele wereld, de westerse industrielanden in het bijzonder. De transitie zal ook een zeer lange tijd in beslag nemen.

Zonder hieraan voorbij te gaan, dient de komende vier jaar wel te worden gewerkt aan het verder vorm geven van een transitieagenda, met voor de overheid de onderstaande elementen. Het uitgangspunt daarbij is steeds zelfsturing binnen duidelijke kaders. De transitieagenda (per deelsysteem) kan daarbij een instrument zijn om aan de "zelfsturing" richting te geven en kan de volgende elementen bevatten:

- Zoek in binnen- en buitenland naar partners (sleutelactoren) die bereid zijn na te denken over, en te investeren in, elementen van de transitie naar een emissiearme energievoorziening.
- Stel in overleg met die partners vast, welke elementen van de transitie (doelen, middelen, kwaliteitseisen, randvoorwaarden enz.) van tevoren vastgelegd moeten worden en welke gaande het proces duidelijk zullen moeten worden. Stel wel een einddoel, een emissiearme energievoorziening, maar stel geen tijdslimiet wanneer dit bereikt moet zijn. Laat dit van internationale agendavorming afhangen.
- Voor de korte termijn (10 tot 15 jaar vooruit) vormen internationaal overeengekomen reductieverplichtingen uitgangspunt, met een doorvertaling naar doelgroepen. Aansturing hiervan vindt bij voorkeur plaats via het instrumentarium zoals in het hiernavolgende

hoofdstuk 4 wordt beschreven (emissieplafonds met handel als centraal aansturingsmechanisme, waarbij de emissieruimte wordt afgeleid van internationale afspraken). Toets de effectiviteit van het instrumentarium van tijd tot tijd, en stel het zo nodig bij.

- Zoek voor de langere termijn (20 tot 30 jaar) in binnen- en buitenland naar coalitiepartners om op aansprekende onderdelen van de voorziene transitie afspraken te maken en concrete activiteiten te ontplooiën. Hoeden voor blauwdrukdenken is hierbij van belang: het resultaat zal in zijn onderdelen altijd anders zijn dan verwacht.
- Stel samen met relevante partijen de nog openstaande kennisvragen vast en maak afspraken over een aanpak en procedure voor de beantwoording. De onderstaande tekstbox bevat een voorbeeld.

**Voorbeeld inventarisatie openstaande kennisvragen m.b.t. schoon fossiel**

- brede toekomstbeeldstudie schoon fossiel: stel, in 2030 dient 25% van de inzet van fossiele brandstoffen in Nederland schoon te zijn. Wat betekent dit: benodigde infrastructuur, organisatorische aspecten;
- demonstratie CO<sub>2</sub>-opslag: toetsen/verbeteren kennis over gedrag ondergrondse opslag onder verschillende omstandigheden (doel: verbetering beheersbaarheid);
- tender voor onderzoeksproject (samenwerking industrie/wetenschappers) om de kosten van CO<sub>2</sub>-verwijdering uit rookgassen (fysische/chemische processen) substantieel te verlagen;
- hoe aardgasnet geschikt maken voor meer waterstof (nu maximaal 15%). Welke technische en organisatorische voorzieningen zijn nodig om dit percentage te verhogen (mogelijkheden bij nieuwe aanleg of retrofit, rol overheid);
- bevordering gebruik van waterstofapparaten: ontwikkeling scheidingstechnologie (waterstof 'bij de meter' scheiden van een aardgas/waterstof-mengsel uit het distributienet), waardoor op woning/gebouwniveau waterstofapparaten kunnen worden ingezet;
- bevordering ontwikkeling van apparaten die aardgas met een toenemend percentage waterstof kunnen verbranden (een bestaande ATAG-ketel gaat tot 70-vol% waterstof). Op termijn overheidsvoorschrift om ervoor te zorgen dat vanaf datum X nieuwe apparaten tenminste Y-vol% waterstof kunnen verwerken.

**Voorbeeld inventarisatie openstaande kennisvragen m.b.t. hernieuwbare bronnen:**

- case-study waarbij voor middelgrote Nederlandse stad de plaatsing van zon-pv op rest-ruimtes wordt verkend;
- case-study naar plaatsingsproblematiek bij grote zon-pv centrale (bijv. 10 \* 10 km in Noord-Nederland);
- plan van aanpak transitieprong (kostprijsreductie) zon-pv;
- onderzoek naar gevolgen van grootschalige plaatsing van windturbines in de Noordzee door alle aangrenzende landen (Engeland, België, Denemarken, Noorwegen en Nederland);
- onderzoek naar gevolgen grootschalig biomassa-gebruik op mondiaal niveau (benodigd areaal, hoe duurzaamheidsaspecten te garanderen, gevolgen voor biodiversiteit). Europees initiatief om te komen tot afspraken over gezamenlijke duurzaamheidseisen die aan biomassa-teelt zullen worden gesteld.

- Onderzoek welke sociaal-culturele factoren van invloed zijn op het energiegebruik, complementair aan de reeds bestaande technisch-economische kennis.
- Ga na hoe de actoren die vorm willen geven aan de transitie, geholpen kunnen worden door het wegnemen van institutionele belemmeringen.

### **Transitie elektriciteitsvoorziening**

#### *Technische mogelijkheden*

Om vergaande reducties van de CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissie te kunnen realiseren is een heel breed spectrum aan reductietechnieken beschikbaar die sterk van karakter verschillen, zoals:

- verbetering van het opwekrendement in combinatie met warmtebenutting;
- de inzet van koolstofarme (aardgas in plaats van kolen) en koolstofloze (hernieuwbare) energiebronnen (windenergie op de Noordzee en import van biomassa);
- CO<sub>2</sub>-verwijdering/opslag (bij nieuw vermogen na 2010);
- en mogelijk zelfs kernenergie.

In potentie kan een belangrijk deel van de extra beleidsopgave van 130 Mton in 2030 (om de 30 à 40% reductie te kunnen realiseren), zoals uit de verkenning van RIVM/ECN blijkt, worden gerealiseerd via de elektriciteitsvoorziening. Van groot belang is dat meerdere oplossingsrichtingen tegelijkertijd tot ontwikkeling komen. De vraag is welke rol, positie en verantwoordelijkheid de overheid hierbij moet innemen. Wordt zij (mede)drager van een oplossing, stimuleert zij in beginsel alle mogelijke oplossingen of stelt zij slechts heldere doelen en randvoorwaarden vast en kijkt zij verder toe?

#### *Markt en overheid*

Door het sterk verschillende karakter van de reductietechnieken (end-of-pipe, procesgeïntegreerd, brandstofkeuze, geheel nieuwe concepten) zullen de energiebedrijven verstrekkende en complexe afwegingen moeten maken. Desinvesteringen moeten zoveel mogelijk worden voorkomen, de flexibiliteit moet groot blijven en kosteneffectiviteit staat centraal. Daarnaast zullen de bedrijven in de geliberaliseerde markt meer en meer rekening gaan houden met de wensen van de klanten. De overheid zal hiermee rekening moeten houden bij de keuze van haar instrumentarium. Dat instrumentarium moet aansluiten bij het toegenomen marktdenken binnen de sector en zoveel mogelijk verantwoordelijkheid moet bij de sector zelf liggen. De overheid zal zich primair moeten richten op doelen en randvoorwaarden (CO<sub>2</sub>-doel, ander emissiebeleid, planologisch beleid).

Vanwege de grote diversiteit aan reductietechnieken is het van belang dat het overkoepelende doel in bijvoorbeeld CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-termen wordt gesteld, zodat de bijdragen van alle technieken kunnen meetellen. Aparte doelen voor efficiencyverbetering of voor hernieuwbare bronnen dienen op de lange duur niet het belang (flexibiliteit) van de dragers van de transitie binnen een specifiek deelsysteem. Uiteraard kan de overheid vanwege ongewenste afwentelingseffecten voorwaarden stellen voor de toe te passen technieken. Ook hierover dient vooraf bij de betrokken partijen duidelijkheid te bestaan.

#### *Internationaal versus nationaal*

Liberalisering en privatisering leiden tevens tot schaalvergroting en een toenemende internationale concurrentie. Ook hiermee moet bij de keuze van beleidsinstrumenten rekening worden gehouden. Steeds scherper zal de vraag aan de orde komen hoe hiermee kan worden omgegaan in de context van absolute nationale emissieplafonds.

Relevante vragen hierbij zijn:

- kunnen emissies samenhangend met elektriciteitsproductie nog wel worden ondergebracht bij nationale plafonds en hoe zou dat dan moeten?
- of moet voor deze emissies een apart Europees plafond worden overeengekomen.
- of kunnen relatieve doelen (bijvoorbeeld gericht op het terugbrengen van de koolstofintensiteit in de vorm van een vastgelegde emissie per geproduceerde kWh) bijdragen aan een (tijdelijke) oplossing van dit dilemma.



### **Transitie energievoorziening automobiel**

#### *Technische mogelijkheden*

Om vergaande reducties van CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies bij auto's te realiseren staan in beginsel verschillende technische trajecten open:

- aanpassing en verbetering van de huidige verbrandingsmotor, waarbij de huidige infrastructuur voor de distributie van motorbrandstoffen kan blijven bestaan;
- introductie van de brandstofcel op basis van de huidige infrastructuur voor motorbrandstoffen;
- introductie van de brandstofcel op basis van een waterstofinfrastructuur;
- inzet van biomassa via biobrandstoffen danwel via conversie naar waterstof.

Figuur 6 brengt de mogelijkheden samenhangend in beeld. Er zijn dus meerdere technologische routes. Dit maakt de posities en rollen van bestaande en mogelijk nieuwe spelers binnen het gehele systeem niet op voorhand duidelijk.

Een keuze voor een specifieke technologie door de overheid dient te worden vermeden, het al dan niet optreden van onduurzame effecten van een bepaalde technologie dient wel aangrijpingspunt van beleid te zijn. De overheid moet er verder op letten dat een doorbraaktechnologie kansen krijgt: niches bewaken, experimenteerruimte bieden. Naast de ontwikkeling van de technologie is de publieke acceptatie een punt van aandacht: zo roept waterstof een gevoel van onveiligheid op (dat vreemd genoeg bij LPG nauwelijks een rol speelt). Verder is groot-schalige import van biomassa niet onomstreden (voedselvoorziening, biodiversiteit).

#### *Markt en overheid*

De ontwikkeling van de voor een transitie benodigde voertuig- en brandstofceltechnologie vindt nu al plaats door de marktpartijen. Dit type voertuig biedt immers een oplossing waarbij voor de automobiellindustrie een grote markt blijft bestaan en waarbij de toegevoegde waarde per product hoog is. De keerzijde is het prijsverschil met conventionele technologie. De overheid kan door huidige regelgeving, heffingen of subsidies dit verschil helpen overbruggen. Dit type overheidsbeleid dient bij voorkeur niet gericht te zijn op de specifieke techniek, maar generiek gericht op het reduceren van onduurzaamheid (door dit bijvoorbeeld een prijs te geven), gebaseerd op het concept van "zelfsturing binnen kaders".

De weging van duurzaamheidsaspecten is overigens niet techniek-neutraal: wanneer emissies van verzurende stoffen en fijn stof daarin zwaar meewegen, wordt brandstofceltechnologie impliciet bevoordeeld; is alleen CO<sub>2</sub> het criterium, dan profiteren ook verbrandingsmotoren op biomassa en mogelijk zelfs op diesel (zo speelt diesel een grote rol bij de invulling van het ACEA-Convention tussen EU en de Europese automobiellindustrie). Hierover zal dus vooraf duidelijk moeten zijn, aangezien dit de kleuring van een transitieagenda mede bepaald.

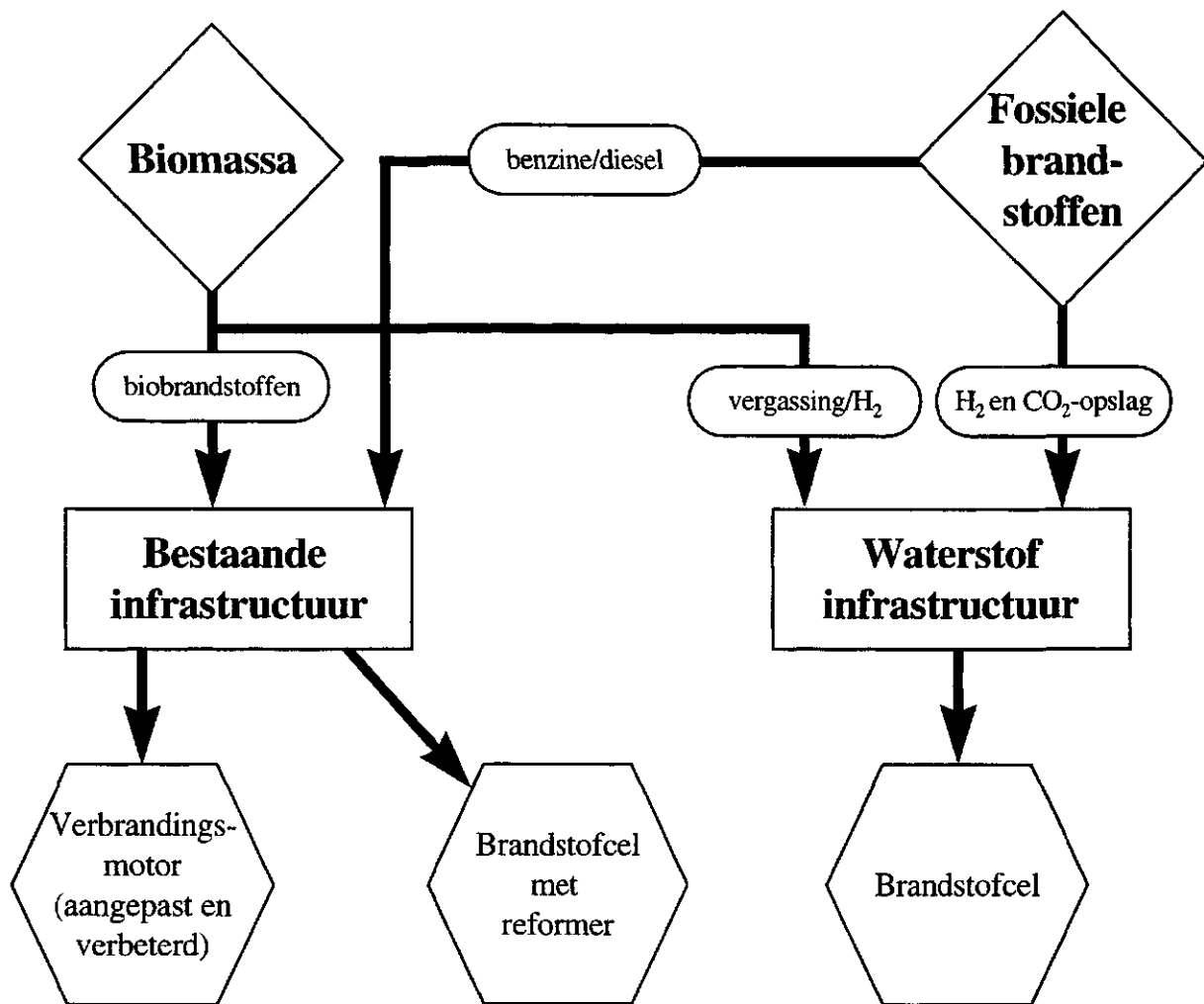
De beschikbaarheid en distributie van brandstoffen is in beginsel een zaak van de markt. De overheid stuurt daarin, direct of indirect, door middel van eisen aan de samenstelling (bijvoorbeeld zwavelgehalte), accijnzen en concessiesverlening voor distributiestations, gekoppeld aan ruimtelijke, economische en veiligheidstechnische criteria. De inzet van deze instrumenten dient te worden getoetst tegen de achtergrond van de beoogde transitie.

#### *Internationale versus nationale aanpak*

De automobiellindustrie is, evenals de markt, in hoge mate internationaal. Dat geldt ook voor de productie en distributie van brandstof. Internationale afstemming op het schaalniveau van deze markten is noodzakelijk om tot product- en veiligheidsspecificaties te komen, en om het functioneren van de markten te bewaken. Op nationale schaal kan beleid gericht zijn op het bieden van faciliteiten voor innovatieve technieken (bijvoorbeeld pilots voor alternatieve distributienetwerken). Daarnaast is het denkbaar dat lokale overheden zich via internationale (Europese) samenwerking organiseren tot specifieke deelmarkten, bijvoorbeeld voor voertuigen voor emissievrije zones in stedelijke gebieden.

#### *Belang van actoren*

Tenslotte de vraag welke actoren in het verkeer- en vervoerssysteem voldoende momentum kunnen en willen genereren om een dergelijke oplossingsrichting te ontwikkelen. De automobiellindustrie heeft mogelijk een belang: deze oplossing stelt de markt voor auto's veilig, met flink wat extra techniek en een behoorlijke toegevoegde waarde. De consument moet de meerkosten opbrengen en die komt niet vanzelf in beweging. Voorzover het prijsverschil de toegenomen gebruiks- of belevingswaarde te boven gaat moet dit overbrugd worden (bijvoorbeeld door internalisering van externe effecten), of de conventionele techniek moet door regelgeving gericht op effecten worden uitgefaseerd. Bij levering en distributie van brandstoffen is een structuraanpassing denkbaar: voor bijvoorbeeld de gasdistributiesector kan een nieuwe (grote!) markt ontstaan voor waterstof uit hernieuwbare bronnen of schoon fossiel. Voor oliemaatschappijen zit er een verschuiving in van benzine naar schoon fossiel of een rol bij de productie en distributie van biobrandstoffen. De vraag wordt of zij zich zullen opstellen als eigenaar van deze oplossing om het marktaandeel veilig te stellen.



*Figuur 6 De verschillende technologische routes die onderdeel kunnen zijn van een transitie van de energievoorziening van de automobiel schematisch in beeld gebracht.*

## 4. Welke sturingsinstrumenten?

“Het is 2009. Op de bovenste verdieping van een bankkantoor in Amsterdam Zuidoost breekt een termijnhandelaar het zweet uit. Hij heeft een grote positie ingenomen en ziet de prijzen de verkeerde kant op glijden. Gespannen kijkt hij naar zijn computerscherm. Plotseling valt de bodem onder de koersen vandaan. Certificaten ‘lucht’ dalen in luttele seconden met tientallen procenten. De schade loopt tot in de miljarden .....”

Financieële Dagblad, 1 april 2000

De centrale vraag in deze paragraaf is langs welke hoofdlijnen het beleidsinstrumentarium zich moet ontwikkelen om op duurzame wijze in de behoefte aan energie en mobiliteit te kunnen voorzien. De hardnekkigheid van de milieuproblemen die samenhangen met het gebruik van energie en mobiliteit, wordt veroorzaakt doordat de oplossingen zo moeilijk zijn aan te sturen. In hoofdstuk 1 zijn de belangrijkste factoren die het probleem hardnekkig maken genoemd: (1) energie is de motor voor veel actoren, (2) overvloedige en goedkope energie, (3) de problematiek is bovennationaal, (4) degenen die maatregelen moeten treffen, hebben er geen direct belang bij, (5) onzekerheid over welke technologieën zullen doorbreken en (6) er is een gebrekkig draagvlak. De technologie om de emissies vergaand terug te dringen is er (in potentie) wel en het lijkt betaalbaar te zijn, maar invoering ervan vereist een omvangrijke transitie van de energievoorziening, zoals in hoofdstuk 3 is aangegeven. Dit gaat niet vanzelf. De centrale vraag is hoe we die transitie kunnen maken en welke rol de overheid daarbij moet spelen. Kortom, de belangrijke vraag van instrumentatie, waarbij de vijf genoemde punten om een antwoord vragen.

Allereerst wordt stilgestaan bij een omgevingsschets en het formuleren van een aantal uitgangspunten en vervolgens worden de hoofdlijnen voor een instrumentatie, zoals de werkgroep die aanbeveelt, gepresenteerd.

### 4.1 Omgevingsschets en uitgangspunten

#### Klimaatverandering

Via het Kyoto-protocol en de EU-lastenverdeling zijn voor de korte termijn (2008-2012) afspraken gemaakt over emissiebudgetten (over verplichtingen voor volgende budgetperiodes moet nog worden onderhandeld). De werkgroep beschouwt het een belangrijk gegeven dat in het Kyoto-protocol het beginsel van handel in emissies en reducties (JI en CDM) is overeengekomen. Dit betekent immers dat handel tussen landen, maar naar verwachting ook voor bedrijven, een belangrijk instrument zal worden (zie Shell-initiatief voor emissieplafond met handel voor eigen werkmaatschappijen).

De werkgroep constateert dat er in de huidige situatie een discrepantie bestaat tussen enerzijds de nationale reductieverplichting (die betrekking heeft op de emissie van broeikasgasen (CO<sub>2</sub>-eq.) en die absoluut is (-6%)) en anderzijds het karakter van het huidige nationale beleidsinstrumentarium. Nationaal wordt er (nog) niet direct gestuurd op CO<sub>2</sub>, maar uitsluitend op energiebesparing en op een aandeel hernieuwbare energie. Bovendien hebben de doelen vaak een relatief karakter (efficiencyverbetering, tot de wereldtop behoren, etc.). De beleidsopgave na 2012 kenmerkt zich met een aanzienlijk verdergaande reductieopgave, langere tijdshorizon en een zeer sterk toegenomen globalisering van de energievoorziening. Deze ontwikkelingen maken dat het doortrekken van het huidige beleidsinstrumentarium zou leiden tot een te complexe beleidssituatie (zie ook hieronder). De werkgroep is daarom van mening dat het de voorkeur verdient zoveel mogelijk te sturen op CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub>, als sleutelemisies. Dit verhoogt de transparantie van het beleidsinstrumentarium en voorkomt sub-optimalisaties.

Naast het hanteren van relatieve doelen (via de meerjarenafspraken en het Benchmark-convenant) en de doelstelling voor hernieuwbare energie (overigens zonder doorvertaling naar producenten of afnemers), is er de laatste jaren sprake van een sterke toename van marktconforme instrumenten in de vorm van heffingen/belastingen en fiscale prikkels met name via de regulerende energiebelasting. In theorie kan met dit type instrument een bepaald doel worden gehaald mits de financiële prikkels het juiste niveau hebben. Een garantie bestaat echter niet en de overheid blijft probleem eigenaar en staat bij voortduring voor de politiek gevoelige vraag of het niveau van belastingen/heffingen en fiscale prikkels moet worden verhoogd.

De werkgroep is van mening dat het beleidsinstrumentarium de overheid meer zekerheden zou moeten bieden en beveelt aan om absolute nationale reductieverplichtingen (zoals de -6%) te vertalen naar heldere en harde doelen voor maatschappelijke sectoren. Hiermee kan worden bereikt dat die sectoren zich ook probleem eigenaar gaan voelen en er zelf belang bij krijgen de emissie terug te dringen.

De werkgroep stelt vast dat de complexiteit van het nationale instrumentarium de laatste jaren sterk is toegenomen vanwege de tendens om steeds meer op detailniveau te willen sturen. Dit is een gevolg van het feit dat er bij elke doelgroep maatwerk wordt geleverd. Het verdient aanbeveling daar waar mogelijk te streven naar vereenvoudiging van de aansturing, meer op hoofdlijnen, minder op details.

Tevens wordt geconstateerd dat binnen de EU lidstaten ieder hun eigen spoor trekken en dat er een grote diversiteit aan beleidsinstrumenten wordt ingezet. In de navolgende tekst-box wordt dit geïllustreerd voor het beleid ten aanzien van het stimuleren van hernieuwbare energie.

De werkgroep is van mening dat er meer eenheid zal moeten komen in de aanpak in de verschillende lidstaten. De liberalisering en internationalisering van de energiemarkt zal hierom vragen. Het pionieren van dit moment (waarvan de tabel een voorbeeld bevat) hoort bij deze fase van de beleidsontwikkeling, maar gaandeweg (mede bevorderd door de Europese Commissie) zal de aanpak van lidstaten convergeren naar een systeem met meer eenheid.

Nederland kent een zeer open economie, met veel bedrijven die op de internationale markt concurreren. Verder is van belang dat de energiesector een liberaliserings- en privatiseringsproces doormaakt en daardoor andere strategische afwegingen maakt met betrekking tot milieu-investeringen. De oriëntatie van de energiebedrijven verandert en men verwacht dat de overheid daarmee rekening houdt bij de manier waarop zij worden aangesproken op milieuprestaties. De afspraken die tot nu toe met de energiesector in het kader van het MilieuActiePlan werden gemaakt, werken niet meer. Bedrijven willen flexibiliteit en bij de ontwikkeling van het nieuwe beleidsinstrumentarium moet hiermee rekening worden gehouden.

In Nederland wordt het gebruik van hernieuwbare bronnen op verschillende manieren gestimuleerd. Onderstaande tabel geeft hier een beeld van. Er ligt een duidelijk accent bij stimulering via de prijs, waarbij het REB-nihilstarief inmiddels een spilfunctie vervult.

<i>Beleidssturing (vanuit de overheid)</i>	<i>op de prijs</i>	<i>op de hoeveelheid</i>
<i>op de consumptie</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vrijstelling REB voor consumenten die groene stroom nemen (nihilstarief, art. 36i)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>verplicht percentage afname hernieuwbare energie (mogelijkheid uit de E-wet, wordt nu geen gebruik van gemaakt)</li> </ul>
<i>op de productie</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vaste vergoeding bij teruglevering aan openbare net;</li> <li>doorsluis REB-teruggave (art. 36o);</li> <li>fiscale investeringsregelingen (EIA, VAMIL, Groenfonds);</li> <li>subsidierregelingen (CO<sub>2</sub>-reductie-plan)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>afpraak met energiebedrijven in MAP (voor 2000)</li> </ul>

Ook andere landen bevorderen het gebruik van hernieuwbare bronnen, waarbij het beleidsinstrumentarium sterk varieert:

- Duitsland, Denemarken en Spanje hanteren een systeem met terugleververgoedingen die per technologie kunnen verschillen (de Nederlandse variant hiervan is de REB-teruggave aan de producent). Dit systeem is kwetsbaar in een geliberaliseerde markt. Er lopen reeds verschillende processen, ondermeer aangespannen door de EU.
- Engeland, Ierland en Frankrijk hanteren een tendersysteem waarbij ingeschreven kan worden voor de productie van een vastgestelde hoeveelheid en waarbij de overheid subsidies verleent.
- Nederland, Italië, Vlaanderen maar ook Denemarken en Engeland overwegen een systeem met groencertificaten in te voeren. Pogingen van de EU om de aanpak via dit systeem te harmoniseren zijn mislukt omdat de landen die de eerstgenoemde aanpak hanteren dit hebben geblokkeerd (vanwege nationale industriële belangen).

Belangrijke vragen bij een systeem met internationale en verhandelbare groencertificaten zijn:

- welk land kan de hoeveelheid hernieuwbare energie (het producerende of consumerende) meetellen voor de nationale doelstelling?
- welk land krijgt de CO<sub>2</sub>-voordelen? Omdat groencertificaten los staan van de fysieke markt, doet zich hier de vraag voor hoe de relatie is met het Kyoto-protocol. Fysiek niet geleverde energie valt onder de categorie JI-projecten.
- hoe wordt omgegaan met de overige stimulerende maatregelen (geldt zeker voor Nederland)?

Bron: deels ontleend aan ECN-rapport "Energie, markt en trends" (in voorbereiding).

De werkgroep stelt vast dat uit diverse verkenningen, zoals die waarvan de resultaten in bijlage 2 zijn weergegeven, blijkt dat om vergaande reducties van CO<sub>2</sub> te kunnen bereiken een belangrijke transitie van de energievoorziening nodig is en dat daarbij complexe afwegingen aan de orde zijn over toekomstige infrastructuur en reductiealternatieven, waarover de overheid onvoldoende kennis heeft.

Samenvattend onderschrijft de werkgroep de kernachtige hoofdconclusie van de VROM-raad in haar advies ten behoeve van de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid, zoals hieronder aangegeven.

De VROM-raad omschrijft de situatie als volgt:

*“Realisering van de langetermijndoelen van het klimaatbeleid vergt op zeer veel plaatsen in de samenleving vergaande maatregelen met betrekking tot de omvang en aard van het energieverbruik. Proberen om ieder van die maatregelen gericht te sturen is voor de overheid een heilloze weg. Strategie en instrumentatie van beleid moeten erop gericht zijn het zelfsturend vermogen binnen de samenleving en economie maximaal te benutten. Actoren moeten er zelf belang bij krijgen stappen te nemen op weg naar de transitie van de energievoorziening.”*

### **Verzuringsproblematiek**

Verzuring en NO<sub>x</sub>-emissies vormen een grensoverschrijdend probleem (meer dan de helft van de emissie gaat naar het buitenland en van de immissie in Nederland is meer dan de helft afkomstig uit het buitenland).

Ook voor de verzurende stoffen (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en VOS) zijn in UN-ECE-kader emissieplafonds afgesproken. Daarnaast zijn er allerlei internationale en nationale richtlijnen die over het algemeen via wet- en regelgeving concentratie-eisen opleggen aan installaties en voertuigen. Soms worden er via convenanten afspraken gemaakt over verdergaande reducties. Het bedrijfsleven mag daarbij zelf de middelen kiezen, die vervolgens wel in de milieuvergunning worden vastgelegd. Via subsidieverlening wordt getracht tot reducties te komen die verder gaan dan men wettelijk verplicht is. Specifieke emissieheffingen komen bij de verzurende stoffen niet voor. Wel wordt voor een deel meegelift met het CO<sub>2</sub>-reductiebeleid, bijvoorbeeld via de effecten ten gevolge van de regulerende energiebelasting en de fiscale stimuleringsregelingen voor energiebesparing en hernieuwbare bronnen.

Nu de kosten van de NO<sub>x</sub>-bestrijding toenemen, nemen ook de weerstanden bij de doelgroepen toe. Vooral internationaal concurrerende bedrijven lopen tegen grenzen aan. De roep om marktconforme instrumenten, die zelfregulering mogelijk maken en bijdragen tot een grotere kosteneffectiviteit van reductiebeleid, neemt toe. Tegen deze achtergrond wordt voor NO<sub>x</sub> in overleg met het bedrijfsleven een systeem van kostenverevening voorbereid gericht op het bereiken van verdergaande reducties in de industrie en bij de elektriciteitscentrales.

### **Uitgangspunten voor de keuze van instrumenten**

Als gevolg van de bovenstaande constatering heeft de werkgroep de volgende uitgangspunten gehanteerd bij de keuze van het beleidsinstrumentarium. Waar mogelijk zijn deze uitgangspunten gecorreleerd aan de zes factoren van hardnekkigheid, te weten (1) energie is de motor voor veel actoren, (2) overvloedige en goedkope energie, (3) de problematiek is bovennationaal, (4) degenen die maatregelen moeten treffen, hebben er geen direct belang

bij, (5) onzekerheid over welke technologieën zullen doorbreken en (6) er is een gebrekkig draagvlak:

- Er wordt zoveel mogelijk rekening gehouden met ontwikkelingen binnen het internationale speelveld (Klimaatverdrag, Kyoto-protocol, UN-ECE) (factor 3 en 4);
- Er wordt zoveel mogelijk gestuurd op de effecten van energiegebruik en mobiliteit, binnen onderhavige verkenning op de emissies van CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> (factor 1 en 2);
- Bevordert wordt dat de maatschappelijke actoren er zelf belang bij krijgen om reducties te realiseren. Dit vereist geaccepteerde, heldere maar ook harde kwantitatieve doelen (factor 4 en 6);
- Zoveel mogelijk laat de overheid de keuze van middelen aan de markt over (marktpartijen vragen om flexibiliteit). De overheid kan wel bevorderen dat bepaalde partijen zich gaan inzetten voor een bepaalde oplossing (er moet een oplossingseigenaar zijn) (factor 1 en 5);
- Waar nodig stuurt de overheid op randvoorwaarden (ondermeer om niet-duurzame bijeffecten te vermijden) (factor 4 en 5).

## 4.2 Keuze van het instrumentarium op hoofdlijnen

Tegen de hierboven geschetste achtergrond ziet de werkgroep de volgende hoofdlijnen voor de instrumentatie.

### Internationale context is leidend

Voorop staat dat de internationale context van het klimaatbeleid leidend is (in paragraaf 4.1 is dit toegelicht). De kwaliteit van de internationale afspraken is in belangrijke mate bepalend voor het nationale draagvlak voor klimaatbeleid. Het verschaft de nationale overheid de legitimatie om een beroep op de samenleving en de doelgroepen te doen.

Ook voor NO<sub>x</sub> geldt dat een nationaal beleid dat veel verder gaat dan Europees beleid weinig zin heeft (vanwege de grensoverschrijdende effecten) en ook onwenselijk is in verband met de positie van de internationaal concurrerende sectoren. Soms kan verdergaand nationaal beleid echter een voorbeeldfunctie hebben of dienen ter versterking van de onderhandelingspositie.

Nu er zich voor CO<sub>2</sub> een systeem ontwikkelt met internationale handel in emissie- en reductierechten (de Kyoto-mechanismen: JI, CDM en trading) zal op de lange termijn de internationale handelsprijs richtinggevend worden voor het nationale klimaatbeleid. Een systeem met een vast aandeel binnenlandse en buitenlandse reductie is op dit moment, gelet op de fase waarin het internationale klimaatbeleid verkeert, politiek goed te verdedigen maar zal op de lange termijn (wanneer alle landen meedoen aan bindende afspraken) op economische gronden niet houdbaar zijn.

### Marktconform beleid met harde doelen

De werkgroep bepleit voor de instrumentatie van het nationale reductiebeleid voor CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> een verdergaande ontwikkeling naar marktconforme instrumenten in combinatie met heldere en harde doelen. Dit kan in de vorm van emissieplafonds met verhandelbare rechten of door middel van voortschrijdende normstelling voor producten, mogelijk ook met handel (bijvoorbeeld een gemiddelde CO<sub>2</sub>-emissie per kWh of een NO<sub>x</sub>-emissie per gebruikte hoeveelheid energie zoals bij het systeem van NO<sub>x</sub>-kostenverevening). De overheid stuurt op doelen en randvoorwaarden en laat de invulling aan de markt over.

Periodieke bijstelling van emissieplafonds of van gestelde normen is nodig (als vertaling van nieuwe internationale afspraken) en vormt een prikkel tot innovatie. Deze innovaties zijn nodig om de transitie te maken naar een CO<sub>2</sub>-arme energievoorziening.

### **Beginnen met energieaanbod sector**

Omdat de CO<sub>2</sub>-emissie direct samenhangt met de energievoorziening ligt het voor de hand om de benadering met emissieplafonds of een voortschrijdende normstelling in eerste instantie uit te werken voor de energieaanbodsector (levering van elektriciteit, warmte en brandstoffen). Sturen op de koolstofintensiteit dient hierbij centraal te staan. Uiteindelijk gaat het erom dat energie schoon (d.w.z. zonder CO<sub>2</sub>-emissie) aan de afnemers wordt geleverd. Om een overeengekomen doel te bereiken kan de sector zelf de keuze uit alternatieve reductietechnieken maken (efficiencyverbetering in de aanbodsfeer, schoon fossiel, hernieuwbare bronnen, etc.), danwel reducties kopen.

In de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid deel 1 wordt een systeem neergezet met emissieplafonds voor de levering van energie aan de sheltered sectoren (ruwweg de kleinverbruikers), waarbij reducties bij de exposed sectoren (de energie-intensieve internationaal concurrerende industrie, die niet onder het emissieplafond valt), via een handelssysteem kunnen worden gekocht door de geplafonneerde energieleveranciers.

### **Daarbij ook kijken naar Europese ontwikkelingen**

De werkgroep beveelt aan deze benadering ook te plaatsen in het licht van ontwikkelingen in de EU. In tabel 3 wordt beknopt weergegeven welke initiatieven er zijn in enkele EU-lidstaten.

Rekening houden met initiatieven in de EU en in buurlanden is zeer wenselijk. Een Nederlands systeem dat hiermee rekening houdt, vergemakkelijkt in de toekomst implementatie van het instrument op transnationaal niveau. Dit draagt eraan bij dat internationaal concurrerende ondernemingen in verschillende landen met gelijksoortige instrumenten worden geconfronteerd.



	<i>Systeem richt zich op ....</i>	<i>Belangrijkste uitgangspunten/kenmerken</i>
<b>Europese Commissie (concept Green Paper)</b>	Grote emittenten (niet te veel spelers).  Verschillende opties: <ul style="list-style-type: none"> <li>• nationale systemen met beperkte EU-component</li> <li>• volledig Europees systeem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gelijke inspanning voor vergelijkbare bedrijven (level playing field)</li> <li>• minimale verstoring concurrentieverhoudingen</li> <li>• maximale synergie met bestaande wetgeving</li> <li>• solide nalevingsregime (monitoring, verslaglegging, verificatie en handhaving)</li> <li>• streven naar inpasbaarheid in internationale emissiehandel (Kyoto-protocol)</li> </ul>
<b>Engeland (voorstel vanuit aantal grote bedrijven i.o.m. de overheid)</b>	Grote emittenten (ruimte voor elektriciteitscentrales)  Doelstellingen: ervaring opdoen, kosteneffectiviteit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• deelname is vrijwillig (bedrijven die niet meedoen krijgen CO<sub>2</sub>-heffing)</li> <li>• moet 1 april 2001 in werking gaan</li> <li>• richt zich op alle broeikasgassen</li> <li>• invulling mogelijk via JI/CDM (wanneer regels daarvoor bekend zijn)</li> <li>• wie plafond niet haalt moet rechten kopen of anders boete betalen</li> <li>• banking is onder condities toegestaan</li> <li>• drie categorieën (met absoluut plafond, met relatief plafond en op basis van overeengekomen reducties)</li> </ul>
<b>Noorwegen (staatscommissie werkt voorstel uit)</b>	Alle sectoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• richt zich op alle broeikasgassen (30% reductie)</li> <li>• bedrijven die al heel zuinig met energie omgaan worden ontzien</li> <li>• invulling door JI/CDM is mogelijk</li> <li>• geplafonneerde sectoren vallen niet meer onder reguliere regelgeving</li> <li>• commissie komt met plan i.o.m. sociale partners</li> </ul>
<b>Denemarken (systeem is in werking)</b>	De elektriciteitscentrales (die deels voor de export produceren)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• absolute emissieplafonds voor 2000 t/m 2003</li> <li>• deelnemers hebben gratis rechten gekregen, toetreders moeten daarvoor betalen.</li> </ul>
<b>Nederland (visie in UK1, commissie werkt voorstel uit)</b>	De sheltered sectoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• richt zich vooralsnog op CO<sub>2</sub></li> <li>• energie-intensieve/exportgerichte sectoren moeten onder internationaal plafond, relatie met nationale plafonds verloopt via reductierechten; voor deze sectoren wordt convenantenaanpak voortgezet</li> <li>• commissie (met sociale partners en milieu-organisaties) komt met advies/voorstel</li> <li>• TK heeft kabinet gevraagd om binnen EU te overleggen over plafonds/handel op EU-niveau</li> </ul>

Tabel 3 Overzicht bestaande/voorgenomen systemen met emissieplafonds/handel voor CO<sub>2</sub> in een aantal EU-lidstaten

### **Aanpak van de NO<sub>x</sub>-emissies**

Een ander aandachtspunt betreft de relatie met het systeem van NO<sub>x</sub>-kostenverevening, dat zich gaat richten op de grote emittenten in de industrie en de elektriciteitsproductie (in feite de exposed sector). Het systeem legt geen plafond op aan de leveranciers van energie maar aan de inrichtingen waar de emissies daadwerkelijk plaatsvinden. Omdat CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> de sleutelemisies zijn op weg naar een emissiearme energievoorziening verdient het naar het oordeel van de werkgroep aanbeveling de relatie tussen de twee systemen goed op hun consequenties te doordenken.

Evenals bij CO<sub>2</sub> geldt ook voor NO<sub>x</sub> dat handel in emissierechten alleen tot stand zal komen bij heldere en harde doelen (alleen dan dwingt het systeem het zelf af). Ook hierbij geldt dat er voor een doelgroep een duidelijk belang moet worden gecreëerd om reducties te realiseren. In de toekomst kan de werkingssfeer van de in voorbereiding zijnde NO<sub>x</sub>-kostenverevening voor industrie en elektriciteitscentrales wellicht worden uitgebreid naar andere sectoren. Ook biedt het instrument de mogelijkheid voor verdergaande reducties door periodieke aanpassing van de plafonds (mits de techniek beschikbaar is). Daarbij dient de overheid wel zo voorspelbaar mogelijk te handelen opdat de markt bij investeringsbeslissingen rekening kan houden met de strenger wordende normen.

### **Aanvullend beleid gericht op beperking energievraag voorlopig nog nodig**

Een voor de overheid relevante vraag is of zij andere bestaande instrumenten die zich op het energieaanbod richten, moet handhaven danwel afschaffen (heffingen, fiscale prikkels, etc.). De werkgroep is van mening dat de praktijk moet uitwijzen waar dat zonder verlies aan reducties kan. Soms kunnen ook andere overwegingen ertoe leiden dat deze instrumenten blijven bestaan, bijvoorbeeld omdat de overheid een bepaalde technologie nog een steuntje in de rug wil geven. Ook kan spelen dat bepaalde doelgroepen in het verleden bij investeringsbeslissingen zich mede hebben gebaseerd op een bestendig stimuleringsbeleid van de overheid (bijvoorbeeld de fiscale voordelen voor hernieuwbare bronnen in de REB).

Eenzelfde vraag betreft het beleid dat zich richt op beperking van de vraag naar energie. Vertalen benodigde reducties aan de aanbodzijde zich automatisch in hogere prijzen voor de consument en daarmee in een stimulans om de vraag naar energie te beperken of dient het overheidsbeleid hierop nog te sturen? En komt handel in reducties gerealiseerd in de exposed sectoren wel tijdig via de markt tot stand? In theorie en idealiter is sturing op de vraag naar energie door de overheid niet langer nodig indien er harde emissieplafonds zijn met verhandelbaarheid maar de werkgroep voorziet dat op de korte termijn de praktijk anders zal zijn. De partijen die worden geconfronteerd met emissieplafonds hebben er naar verwachting zelf belang bij dat de overheid een steentje bijdraagt via vraagbeperkend beleid. Ook kan dit type beleid het maken van afspraken over harde doelen vergemakkelijken. Verder geldt voor NO<sub>x</sub> dat efficiencyverbetering van groot belang is, mede omdat de reductiedoelen in de tijd gezien scherper zullen zijn. Op de lange termijn zal, bij een goed functionerende markt, de noodzaak voor overheidsbeleid gericht op beperking van de vraag naar energie echter afnemen.

### **Overheidsregels om afwenteling te voorkomen**

Het overlaten van keuzes aan de markt betekent niet automatisch minder overheidsregulering omdat de overheid, om afwentelingseffecten te voorkomen, wel randvoorwaarden zal moeten hanteren. Voorbeelden zijn de regulering van het ruimtebeslag van hernieuwbare bronnen, het formuleren van duurzaamheidseisen (bijvoorbeeld bij grootschalige inzet van biomassa) en regels met betrekking tot registratie van gegevens over energiegebruik en emissies (in verband met monitoring en handhaving).

### Voorwaarden voor een systeem met emissieplafonds

Om een systeem met emissieplafonds en handel goed te laten functioneren moet naar de mening van de werkgroep aan de volgende voorwaarden zijn voldaan:

- er moet sprake zijn van een harde kwantitatieve doelstelling (zonder een hard doel komt er geen handel). Bij het niet voldoen aan het doel moeten er duidelijke sancties van voldoende gewicht zijn;
- de emissies moeten op een betrouwbare manier kunnen worden vastgesteld. Er moet een transparant systeem van monitoring en handhaving zijn;
- er moeten voldoende reductietechnieken zijn en daarmee moeten kostenvoordelen te behalen zijn (de kosten van reductie-opties moeten voldoende verschillen);
- de doelgroep (en de deelnemende partijen) moet van tevoren bekend zijn en zij moet tevens voldoende groot zijn en divers van samenstelling;
- voldoende draagvlak bij de doelgroep (o.a. uitvoerbaarheid). De spelregels moeten helder en eerlijk zijn. Overheid moet zich daarbij voldoende rekenschap geven van de belangen van de bedrijven;
- consistentie en terughoudendheid in het overheidsbeleid (bedrijven moeten een lange termijn strategie kunnen ontwikkelen).

### Voor de langere termijn afspraken en transitieagenda

Systemen van emissieplafonds met handel zullen hoe dan ook een vertaling zijn van internationale afspraken over toegestane emissiebudgetten op mondiaal niveau, per wereldblok of per land. In de praktijk blijken dit type afspraken meestal een tijdshorizon van 10 à 15 jaar te hebben. Twijfelachtig is of dit voldoende druk geeft om alle onderdelen van de noodzakelijke transitie op gang te brengen. Daarvoor is ook een zekere vorm van consensus nodig over waar het naar toe moet op de langere termijn. Deze consensus kan zich beperken tot de grote lijnen en tot de belangrijkste spelers. Een voorbeeld is de vraag hoe de emissieloze auto tot stand komt. Is het mogelijk dat de belangrijkste partijen, los van de emissieplafonds voor de korte termijn, daarover een gezamenlijke visie ontwikkelen? De werkgroep beveelt aan dat Nederland het initiatief neemt om met anderen (andere landen, het bedrijfsleven, milieuorganisaties, etc.) te komen tot een transitieagenda voor de lange termijn.

..... De luchthandelaar in Amsterdam Zuidoost heeft de ogen gesloten. Visioenen schieten door zijn hoofd. Bakken met geld heeft hij voor de maatschappij verdiend. En voor zichzelf natuurlijk. Totdat de luchthandel zojuist in elkaar stortte. De nieuwstikker op zijn computer meldt de vondst van een nieuwe schone en goedkope brandstof. Zijn ergste nachtmerrie is uitgekomen. Schone lucht is niet meer schaars. De wereld haalt opgelucht adem.

Financieële Dagblad, 1 april 2000.



## **Bijlagen**

**1 Van milieukwaliteitsbeelden naar emissieniveaus**

**2 Verkenning oplossingsrichtingen (analyse RIVM/ECN)**

**3 Bespreking oplossingsrichtingen**



## Bijlage 1: Van milieukwaliteitsbeelden naar emissieniveaus

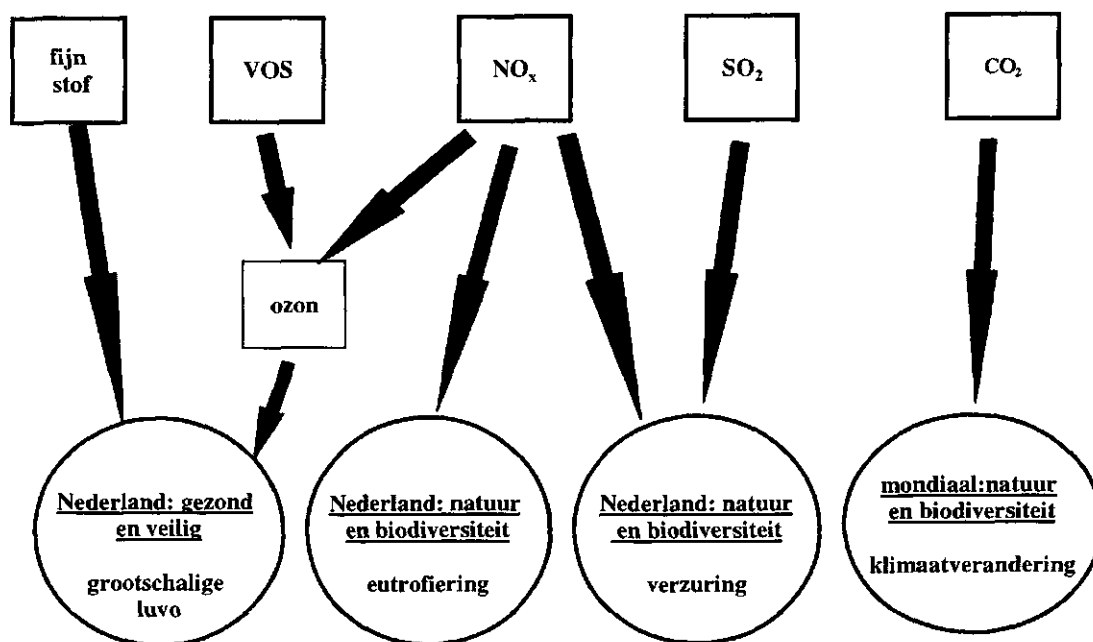
Voor de verkenning van oplossingsrichtingen is de werkgroep uitgegaan van de emissieniveaus in 2030, zoals weergegeven in tabel 4.

Stof	Emissierange 2030	Reductiepercentage
CO <sub>2</sub>	110 - 130 Mton	ca. 30 à 40 % t.o.v. 1990 (in het binnenland)
fijn stof	0 - 22 kton	75 à 100% t.o.v. 1980
NO <sub>x</sub>	20 - 40 kton	circa 95% t.o.v. 1980
SO <sub>2</sub>	20 - 40 kton	circa 95% t.o.v. 1980
VOS	20 - 40 kton	circa 95% t.o.v. 1980

Tabel 4 Richtpunten voor verkenning van oplossingsrichtingen

### Inleiding

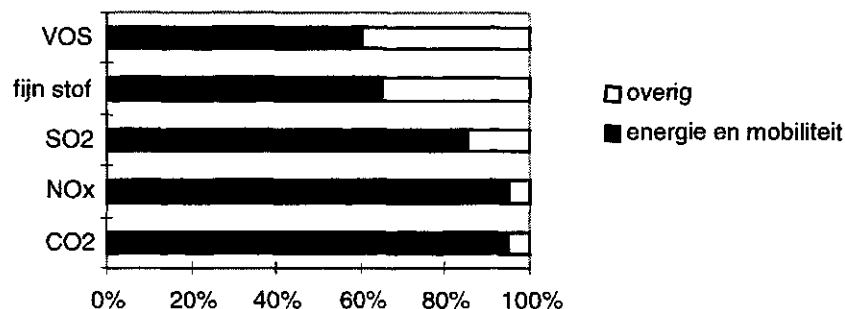
Als eerste stap in de verkenning van oplossingsrichtingen is in kaart gebracht wanneer wordt voldaan aan de vier algemene kwaliteitsbeelden uit de NMP4-agendanotitie. Hierbij staan tevens vier hardnekkige milieuproblemen centraal die in belangrijke mate worden veroorzaakt door de emissies die samenhangen met de energievoorziening en mobiliteit. Het gaat hierbij om emissies van kooldioxide (CO<sub>2</sub>), fijn stof (PM<sub>10</sub>), stikstofoxide (NO<sub>x</sub>), zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) en de vluchtige organische stoffen (VOS). Een samenhangend overzicht is opgenomen in figuur 7.



Figuur 7 De relatie tussen de relevante stoffen, de milieuproblemen en de kwaliteitsbeelden

**Klimaatverandering** is van belang voor het kwaliteitsbeeld dat betrekking heeft op de mondiale beschikbaarheid van hulpbronnen en biodiversiteit. Klimaatverandering wordt in belangrijke mate veroorzaakt door de CO<sub>2</sub>-emissie ten gevolge van het verbranden van fossiele brandstoffen. Bij de op Nederland gerichte kwaliteitsbeelden “natuur en biodiversiteit” en “gezond en veilig” gaat het om de hardnekkige milieuproblemen *verzuring*, vanwege de neerslag van o.a. NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>, *overbemesting van oppervlaktewater* door onder meer stikstofdepositie, *en gezondheidsschade* door bepaalde vormen van luchtverontreiniging, namelijk fijn stof en (uit o.a. NO<sub>x</sub> en VOS gevormd) ozon.

Energiegebruik en mobiliteit verzorgen in belangrijke mate de genoemde emissies: voor CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> is dat circa 95%, voor SO<sub>2</sub> circa 85%, voor PM<sub>10</sub> circa 65% en voor VOS circa 60%.



Figuur 8 Aandeel energie en mobiliteit in emissies van verschillende stoffen in 2000

#### **CO<sub>2</sub> (hardnekkig milieuprobleem: klimaatverandering, richtpunt reductie: 30 à 40%)**

Klimaatverandering is een mondiaal probleem. De doelstelling van het Klimaatverdrag van Rio de Janeiro (1992) is om de concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer uiteindelijk op een zodanig niveau te brengen dat een gevaarlijke menselijke invloed op het klimaat wordt voorkomen. Dat niveau dient te worden bereikt binnen een tijdsbestek dat toereikend is om ecosystemen in staat te stellen zich op natuurlijke wijze aan te passen; bovendien dient de voedselvoorziening niet in gevaar te komen en moet duurzame ontwikkeling mogelijk zijn. De mate van verstoring die men acceptabel acht bepaalt het niveau waarop de concentraties moeten worden gestabiliseerd. Het gaat hier om keuzes die voor een belangrijk deel politiek bepaald worden. De internationale gemeenschap heeft deze keuzes nog niet gemaakt.

Om een verkenning te kunnen uitvoeren van oplossingsrichtingen moest de werkgroep als richtpunt een te realiseren nationaal CO<sub>2</sub>-emissieniveau kiezen. Daartoe is de werkgroep uitgegaan van de vier normatieve uitgangspunten voor het klimaatbeleid, die de Nederlandse regering in de Vervolnota Klimaatverandering (1996) heeft vastgesteld en die in de agendanotitie van het NMP4 zijn genoemd (het betreft hier mondiale gemiddelde waarden):

- niet meer dan 2°C temperatuurstijging ten opzichte van het preïndustriële niveau (wordt ook door de EU gehanteerd);
- geen snellere stijging van de temperatuur dan 0,1°C per decennium;
- een maximale zeespiegelstijging van 50 cm;
- een maximaal haalbare emissiereductie van 1-4% per jaar.

In de Vervolnota heeft de regering verder aangegeven zich in te zetten voor een reductie van 1 à 2% per jaar in de geïndustrialiseerde landen voor de komende decennia. De verwachting bestond dat hiermee aan de normatieve uitgangspunten van het klimaatbeleid zou kunnen worden voldaan.



Voor de vertaling van deze normatieve uitgangspunten naar toelaatbare emissieniveaus, is gebruik gemaakt van een analysemodel waarover het RIVM beschikt. Hiermee kan worden verkend bij welke mondiale emissieontwikkeling nog kan worden voldaan aan de genoemde normatieve uitgangspunten en hoe het mondiale emissiebudget op basis van bepaalde verdelingsprincipes kan worden verdeeld over verschillende wereldblokken. De keuze van een verdelingsprincipe is uiteindelijk een normatieve of politieke keuze. Om de risico's van klimaatverandering te beperken zijn forse emissiereducties noodzakelijk. Dit betekent dat het recht om emissies uit te stoten schaars is. Dan komt de vraag naar de Noord-Zuid verdeling van de emissierechten aan de orde. Hierover is mondiale overeenstemming nodig. Tot 2012 wordt er van de ontwikkelingslanden geen bijdrage verwacht in de reducties van de emissies van broeikasgassen. Na 2012 zouden deze landen daaraan wel moeten bijdragen volgens een nader te bepalen verdelingsprincipe. Om de zuidelijke landen mee te krijgen, is het belangrijk dat een voor hen acceptabel verdelingsprincipe wordt vastgesteld. De bijdrage van ontwikkelingslanden aan de mondiale reductie van emissies in de periode na 2012 komt in de komende periode aan de orde in het internationale overleg.

Voor deze verkenning gaat de werkgroep uit van een verdelingsprincipe waarbij de uiteindelijk toegestane emissies per capita overal ter wereld gelijk zijn. Dit sluit aan bij de gedachte in de agendanotitie-NMP4 dat ongelijkwaardigheden in de toegang tot natuurlijke hulpbronnen moeten worden verminderd en dat er mondiaal meer gelijkwaardige mogelijkheden moeten komen om in behoeften te voorzien. De voorlopige uitkomsten van analyses van het RIVM, waarbij wordt uitgegaan van concentratie- en emissieniveaus waarmee aan de genoemde normatieve uitgangspunten kan worden voldaan, laten zien dat een verdelingsprincipe van gelijke emissies per capita voor West-Europa verstrekkende gevolgen heeft. Het zou betekenen dat de emissies van broeikasgassen in 2030 met circa 60% moeten zijn teruggebracht ten opzichte van het niveau in 1990. Deels zou hierin kunnen worden voorzien via de zogenoemde Kyoto-mechanismen (het kopen van reducties of emissies in het buitenland). In een medio 2000 te verschijnen rapportage zal het RIVM ook de gevolgen van andere verdelingsprincipes laten zien. Aangezien thans verreweg de meeste emissies in de geïndustrialiseerde wereld plaatsvinden is het aannemelijk dat, ongeacht het gehanteerde verdelingsprincipe, een reductie van enkele tientallen procenten binnen de geïndustrialiseerde wereld zelf nodig is.

Voor het in Nederland te bereiken CO<sub>2</sub>-emissieniveau in 2030 kiest de werkgroep als richtpunt een reductie, door middel van binnenlandse maatregelen van 30 tot 40% voor alle broeikasgassen gezamenlijk in 2030 ten opzichte van 1990 (219 Mton CO<sub>2</sub>-eq., het referentieniveau van het Kyoto Protocol). Er is voorts van uitgegaan dat de emissies van CO<sub>2</sub> en van de overige broeikasgassen vanaf 2010 in een gelijk tempo moeten dalen. Samen betekenen deze aannames dat de nationale CO<sub>2</sub>-emissie in 2030 110 tot 130 Mton per jaar mag bedragen. De in het buitenland te realiseren component van de Nederlandse inspanning is in de verkenning niet meegenomen.

**Fijn stof (hardnekkig milieuprobleem: gezondheidseffecten, richtpunt reductie: 75 à 100%)**

Voor fijn stof kan geen concentratieniveau worden aangegeven waarbeneden gezondheidseffecten niet optreden (drempelwaarde). Elke verhoging van fijn stof concentraties boven de van nature voorkomende niveaus leidt tot negatieve gezondheidseffecten en tot meer dan verwaarloosbare risico's. Om te kunnen voldoen aan het kwaliteitsbeeld "gezond en veilig" (luchtkwaliteit zodanig dat er een verwaarloosbaar risico bestaat om ten gevolge van luchtkwaliteit ziek te worden) zou in 2030 het natuurlijke niveau zo dicht mogelijk benaderd moeten worden. Geschat wordt dat dit niveau ligt tussen de 10 en 15 µg/m<sup>3</sup> als jaargemiddelde (de huidige niveaus liggen hier ver boven: 40 tot 50 µg/m<sup>3</sup>). Om dit natuurlijke niveau te benaderen moeten de emissies worden teruggebracht tot nul.

Recent zijn door de EU luchtkwaliteitsgrenswaarden voor fijn stof geformuleerd (richtlijn 1999/30 EG van de Raad, publicatie EG L 163/41), waarbij voor 2010 als indicatieve waarde  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als jaargemiddelde is opgenomen. Rekening houdend met de geografische spreiding van bronnen, verschillen in lokale verkeersomstandigheden en emissies uit het buitenland, is een jaargemiddelde van  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  haalbaar mits de totale emissie in Nederland wordt teruggebracht tot 22 kton (bron: RIVM).

Bij de EU-grenswaarde zouden de extra gevallen van vroegtijdige sterfte vanwege fijn stof in Nederland naar schatting circa 500 per jaar bedragen. Bij een beschermingsniveau dat overeenkomt met het natuurlijke niveau daalt dit aantal tot circa 250.

Bij de verkenning van oplossingsrichtingen heeft de werkgroep als richtpunt voor de nationale emissies van fijn stof in 2030 de range gehanteerd van 0 tot 22 kton.

**NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, en VOS (hardnekkig milieuprobleem: verzuring, eutrofiering, schade aan gezondheid en vegetatie door ozon, richtpunt reductie: 95%)**

Om te kunnen voldoen aan de invulling van de milieukwaliteitsbeelden uit de agendanotitie van het NMP4 ("goede voorwaarden voor de kwaliteit van flora en fauna en de meest kwetsbare natuur"; "verwaarloosbaar risico ziek te worden ten gevolge van de luchtkwaliteit") moet worden uitgegaan van een bescherming van 100% van het areaal van de Ecologische Hoofdstructuur, van verwaarloosbare schade aan landbouwgewassen en van een verwaarloosbaar risico om ziek te worden en/of vroegtijdig te sterven als gevolg van blootstelling aan ozon. Wordt hiervan uitgegaan dan komen de volgende waarden naar voren (bron: RIVM):-

- een verzurende depositie van 400 à 800 Zeq/ha/jr gemiddeld op ecosystemen;
- een vermestende depositie van 300 à 500 Neq/ha/jr gemiddeld op ecosystemen;
- een ozonconcentratie van  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als 8-uur gemiddelde die niet mag worden overschreden;
- een ozon AOT40-waarde van 5 p.p.m.h.

Om de kwaliteitsbeelden voor verzuring te bereiken moeten voor alle betrokken stoffen (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOS en NH<sub>3</sub>) emissiereducties worden gerealiseerd. In dit document wordt alleen gekeken naar de emissies die met de energievoorziening en met mobiliteit samenhangen, d.w.z. NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en VOS. Als wordt aangenomen dat het buitenland evenredig met Nederland reduceert en dat ook de NH<sub>3</sub>-emissies fors worden teruggedrongen, dan wordt geschat dat met emissieniveaus van 20 à 40 kton per jaar in Nederland in 2030 aan de hierboven genoemde indicatieve kwaliteitsbeelden kan worden voldaan. Deze niveaus vormen een "best guess" die door de werkgroep als richtpunt voor de verkenning van oplossingsrichtingen zijn gehanteerd.

## **Bijlage 2: Verkenning oplossingsrichtingen (door: ECN en RIVM)**

### **Inhoudsopgave**

Inleiding	47
Oplossingsrichtingen voor CO <sub>2</sub>	49
1 Wijziging economische structuur	51
2 Verandering van gedrag/consumptie	53
3 Efficiencyverbetering	55
4 Hernieuwbare bronnen	57
5 Kernenergie	59
6 Schoon fossiel	61
Samenvatting oplossingsrichtingen	63
Startoplossing	65
Varianten	66
Uitwerking relevante sectoren	68
Gevolgen van CO <sub>2</sub> -startoplossing voor de emissies van NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , VOS en fijn stof	70
Mogelijkheden voor verdergaande NO <sub>x</sub> -reductie	71
Conclusies	77

In opdracht van VROM/DGM hebben ECN en RIVM oplossingsrichtingen in kaart gebracht om in 2030 te kunnen voldoen aan de maatschappelijke beleidsopgaven die samenhangen met energiegebruik en mobiliteit. De mogelijke oplossingsrichtingen die in de beschouwing zijn meegenomen zijn in overleg met de werkgroep bepaald. De richtpunten (de emissieniveaus in 2030) voor de verkenning voor de verschillende stoffen CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOS en fijn stof zijn door DGM aangegeven. De in dit hoofdstuk gepresenteerde resultaten zijn deels gebaseerd op werkzaamheden van de Milieuverkenning 5. Omdat de MV5 pas in de zomer wordt afgerond kunnen inzichten nog wijzigen. Tevens betreffen de emissieniveaus – zeker voor het jaar 2030 – slechts indicaties gezien de onzekerheid van verre toekomstscenario's.

De verkenning is zo opgezet dat eerst is gekeken naar oplossingsrichtingen om te kunnen voldoen aan de beleidsopgave voor CO<sub>2</sub>. Vervolgens is nagegaan in welke mate deze oplossingsrichtingen bijdragen aan de benodigde reducties voor de overige vier stoffen. Aan gezien dit onvoldoende is voor met name NO<sub>x</sub>, is tenslotte nagegaan of het mogelijk is of ook bij deze stof het emissieniveau, dat als richtpunt fungeert, kan worden bereikt.

Voor CO<sub>2</sub> bedraagt de beleidsopgave bij benadering 120 Mton per jaar: dit is het verschil tussen de verwachte emissie in 2030 in het Global Competition Scenario bij bestaand beleid en het emissierichtpunt in dat jaar, d.w.z. een reductie van circa 30% ten opzichte van 1990. In onderstaande tabel zijn de oplossingsrichtingen voor CO<sub>2</sub> weergegeven, samen met het ingeschatte maximale reductiepotentieel in 2030. Vanwege de overlap, circa 70 tot 80 Mton, mogen deze potentiëlen niet worden opgeteld. Het potentieel van 'aanpassing gedrag' is in zijn geheel een onderdeel van het potentieel 'wijziging economische structuur'.

Oplossingsrichting	Geschatte maximale individuele reductiepotentieel in 2030 (in Mton)
Wijziging economische structuur	30
Aanpassing gedrag	10
Efficiencyverbetering	40 – 60
Hernieuwbare bronnen	40 – 75
Schoon fossiel	50 – 60
Kernenergie	10 – 20

Tabel 5 Geschat reductiepotentieel per oplossingsrichting

Als tweede stap in de verkenning is een startoplossing samengesteld die bestaat uit een combinatie van oplossingsrichtingen. Tevens wordt een aantal varianten op de startoplossing gepresenteerd:

- een variant zonder kernenergie;
- een variant zonder schoon fossiel en zonder kernenergie;
- een variant zonder biomassa en zonder kernenergie;
- een variant waarin het 'meelifteffect' voor de overige stoffen wordt geoptimaliseerd.

Er is aangegeven welke bijdrage de oplossingsrichtingen leveren in de startoplossing en de varianten. Daarnaast wordt een beeld geschetst van bijbehorende kosten. Ook is aangegeven wat het zou betekenen voor een aantal relevante sectoren, zoals verkeer en elektriciteit. Tenslotte is gekeken naar de 'meelifteffecten' bij de emissies van de overige stoffen. Voor NO<sub>x</sub> is nagegaan wat voor extra maatregelen nodig zijn om het emissierichtpunt te bereiken.

## Inleiding

Om de beleidsopgave te kunnen vaststellen is het emissieniveau in 2030 bij bestaand beleid geschat. Dit is op verzoek van DGM gedaan door uit te gaan van het Global Competition Scenario (hierna GC-scenario), dat ook is gehanteerd in de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid. Vanwege de hoge economische groei in dit scenario is dit vanuit de optiek van milieubeleid een behoedzaam scenario. Voor CO<sub>2</sub> is daarnaast rekening gehouden met de doorwerking van de maatregelen uit de Uitvoeringsnota klimaatbeleid.

Om oplossingsrichtingen voor CO<sub>2</sub>-reductie te kunnen verkennen, is als richtpunt een emissiereductie gekozen van circa 60% voor alle broeikasgassen gezamenlijk in 2030 ten opzichte van het Kyoto-referentieniveau (emissie in 1990/1995). Dit wordt gedeeltelijk bereikt door reductie van niet-CO<sub>2</sub> broeikasgassen en reductie in het buitenland. DGM heeft aangegeven dat voor CO<sub>2</sub> een bijbehorend (binnenlands) emissierichtpunt is gekozen van 110 tot 130 Mton in 2030. Het niveau in 2030 bij bestaand beleid is door RIVM ingeschat door de ontwikkelingen in het GC-scenario tot 2020 door te trekken naar 2030. Dit resulteert in een CO<sub>2</sub>-emissie van zo'n 240 Mton. Als indicatie voor de beleidsopgave wordt in het vervolg van deze analyse uitgegaan van 120 Mton, overeenkomend met een daling van 30% ten opzichte van 1990<sup>1</sup>.

Voor het verkennen van de oplossingsrichtingen is een goede kennis van het achtergrondbeeld van groot belang. Het GC-scenario wordt gekenmerkt door een hoge economische groei (meer dan 3% per jaar over 35 jaar). Tevens vindt er in het scenario een sterke elektrificatie plaats. De elektriciteitsvraag verdubbelt ten opzichte van het huidige verbruik. De vraag van huishoudens groeit met 3% per jaar. Doordat het GC-scenario ook gekenmerkt wordt door optimisme over de technologie treedt er wel een relatieve ontkoppeling op. De CO<sub>2</sub>-emissie groeit met circa 0,8% per jaar in de periode 1995-2030. De ontkoppeling wordt vooral veroorzaakt door wijzigingen in de economische structuur waaronder dematerialisatie (-0,6% per jaar) en efficiencyverbeteringen onder andere als gevolg van een toename van de warmtebenutting bij elektriciteitsproductie (-1,4%). Daarnaast groeit het aandeel van hernieuwbare energie, vooral in de vorm van wind op land en binnenlandse biomassa en vindt met name in de elektriciteitssector een verschuiving van het brandstofpakket richting aardgas plaats.

---

<sup>1</sup> Emissie 1990, temperatuur gecorrigeerd.



## Oplossingsrichtingen voor CO<sub>2</sub>

De mogelijkheden om de beleidsopgave van 120 Mton voor CO<sub>2</sub> te bereiken zijn verkend aan de hand van zes oplossingsrichtingen.

- *Wijziging economische structuur*  
De oplossingsrichting economische structuur heeft betrekking op twee ontwikkelingen. Enerzijds betreft dit de ontwikkeling waarbij energie-extensieve sectoren harder groeien dan de energie-intensieve (intersectorale structureffecten) en anderzijds gaat het om dematerialisatie waardoor per hoeveelheid product een grotere toegevoegde waarde wordt bereikt (intrasectorale structureffecten).
- *Aanpassing gedrag/consumptie*  
Veranderingen in het gedrag dan wel het consumptiepatroon van consumenten die direct of indirect leiden tot reductie van het energieverbruik. Het reductiepotentieel is geheel overlappend met de oplossingsrichting *wijziging economische structuur*.
- *Efficiencyverbetering*  
Bij efficiencyverbetering gaat het om al die acties die ertoe leiden dat gewenste activiteiten met minder energiegebruik gepaard gaan.
- *Hernieuwbare energie*  
De inzet van hernieuwbare bronnen als fotonvoltaïsche zonne-energie (PV), windenergie en import van biomassa. Voor waterkracht en aardwarmte wordt geen substantiële rol binnen Nederland voorzien. Hoewel warmtepompen en zonneboilers in de gebouwde omgeving formeel ook onder deze oplossingsrichting vallen, worden zij gelet op beleidsmatige aanknopingspunten opgenomen onder de oplossingsrichting efficiencyverbetering.
- *Schoon fossiel*  
Het betreft hier vooral het gebruik van fossiele brandstoffen, waarbij de geproduceerde CO<sub>2</sub> zoveel mogelijk wordt afgevangen en opgeslagen. De overgang van kolen naar gas valt ook onder deze richting, maar gelet op het lage aandeel kolen in GC-2030 zijn de mogelijkheden hiervoor zeer beperkt.
- *Kernenergie*  
De productie van elektriciteit uit kernsplijtingreactoren.

Voor alle oplossingsrichtingen is een inschatting gemaakt welke bijdrage ze kunnen leveren aan het bereiken van de gestelde beleidsopgave. Hierbij is niet alleen van belang wat er absoluut mogelijk is in een bepaalde richting, maar ook in hoeverre die ontwikkeling al in GC optreedt en in hoeverre de overheid de ontwikkeling via beleid kan beïnvloeden. De afzonderlijke potentiëlen kunnen niet bij elkaar worden opgeteld, omdat her en der grote overlap optreedt. De kostenschattingen zijn gebaseerd op de methodiek van nationale kosten.



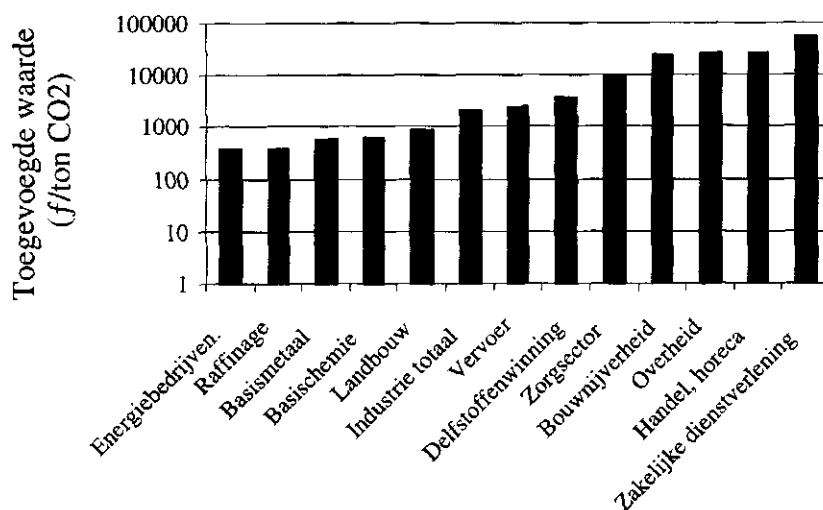


# 1 Wijziging economische structuur

Verandering van de economische structuur kan een grote invloed hebben op het energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissie. Politieke en beleidsmatige beïnvloeding is echter maar in beperkte mate mogelijk en roept vaak weerstand op in de samenleving. Het is daarmee niet zozeer een maatregel, vergelijkbaar met de overige oplossingsrichtingen, maar heeft grotendeels een autonoom karakter. Wel kan het gedeeltelijk een gevolg zijn van restrictief beleid voor energie-intensieve industrie enerzijds en stimuleringsbeleid (bijv. investeringen in kennisstructuur) anderzijds. Relevant is ook dat deze ontwikkeling in de afgelopen jaren slechts in beperkte mate waarneembaar was (-0,4% in de periode 1991-1998).

Het effect van wijziging van de economische structuur, tezamen met de effecten van dematerialisatie (intrasectorale structureffecten) bedraagt in GC 0,6% per jaar. Om een indruk te geven van een denkbaar reductie-effect van intersectorale structureffecten is in de verkenning uitgegaan van een maximale verandering van 0,5% per jaar. Tezamen met mogelijkheden voor dematerialisatie wordt het maximale structureffect geschat op 1,0% per jaar. Ten opzichte van GC is daarmee een extra structureffect van 0,4 % per jaar verondersteld. Dit komt overeen met circa 30 Mton.

De overall kosten van wijzigingen in de economische structuur zijn moeilijk te bepalen. Als hypothetische veronderstelling zouden de kosten van minder groei van de ene sector opgevangen kunnen worden door meer groei bij een andere sector en zou deze wijziging bij een gelijkblijvend BNP dus geen kosten kennen. Dit geldt vooral voor de autonome ontwikkeling, voor zover die anders verloopt dan in GC.



**Figuur 9** De toegevoegde waarde per ton CO<sub>2</sub> in Nederland (1998)  
(let op logaritmische schaal)

De ondergrens voor de kosten komt daarmee op 0. Voor zover er beleidsmatig sturing mogelijk is, is deze koppeling tussen meer/minder niet of veel minder aanwezig en vergt stimuleren dan wel afremmen van sectoren verschillend en daarmee afzonderlijk beleid. Een benadering om gevoel te krijgen voor de mogelijke kosten is om de sectorgroei selectief te remmen en het verlies aan toegevoegde waarde te beschouwen. Hiertoe is de CO<sub>2</sub>-emissie per toegevoegde waarde van verschillende sectoren bepaald in 1998. De toegevoegde waarde per ton CO<sub>2</sub> varieert tussen de f 400,- (energiesector) en f 53.000,- (zakelijke dienstverlening). Voor de basisindustrie (basismetaleen, basischemie) ligt dat rond de f 600,-. Zodra de rol van deze industrie echter afneemt, zal de vrijkomende hoeveelheid ar-

heid/kapitaal in andere sectoren benut worden en daarmee de netto kosten verlagen. Daarmee vormen genoemde kosten een schatting van de bovengrens. Voor een betrouwbaarder schatting van de kosten zijn macro-economische berekeningen nodig.

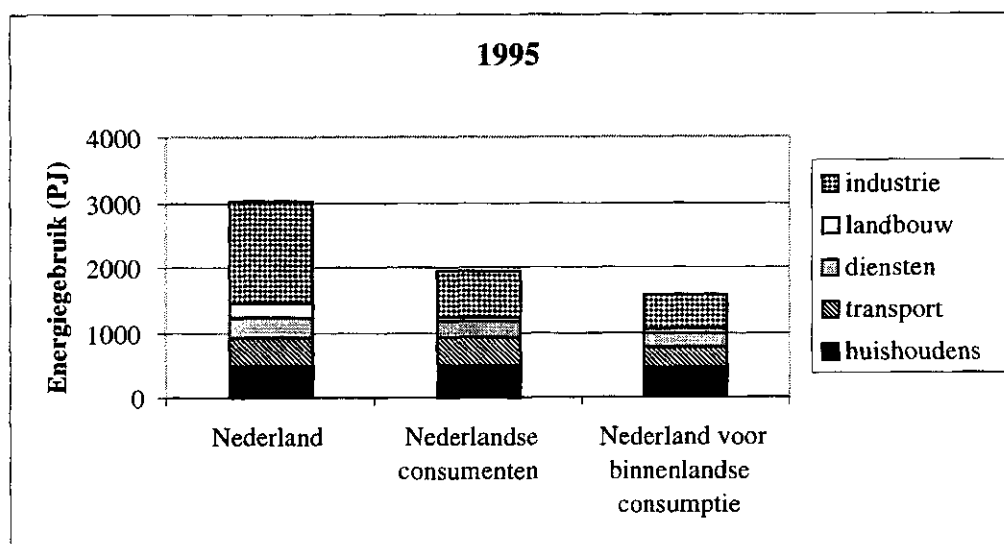
In het GC-scenario vindt een gedeeltelijke ontkoppeling van CO<sub>2</sub>-emissie en toegevoegde waarde plaats, waardoor gemiddeld genomen de toegevoegde waarde per ton CO<sub>2</sub> ongeveer verdubbelt. Deze toename is een combinatie van stijging van de toegevoegde waarde per ton CO<sub>2</sub> per sector en een groeiend aandeel van sectoren met een hoge toegevoegde waarde per ton CO<sub>2</sub>. De kosten voor de basisindustrie komen daarmee tussen de f 600,- en f 1.200,- (bij een verdubbeling). De ordegrootte van kosten in deze benadering levert een bovengrens van rond de f 1.000,- per ton.

Ten aanzien van dematerialisatie wijzen huidige inschattingen erop dat tegen beperkte kosten (of wellicht opbrengsten) nog diverse mogelijkheden zijn. Nader onderzoek hiervoor is echter nodig. Ook speelt mee dat in het GC-scenario zelf reeds dematerialisatie optreedt. Voor het geschetste potentieel aan dematerialisatie (5-10 Mton) is een kostenrange van -f 50,- tot +f 50,- per ton CO<sub>2</sub> verondersteld.

## 2 Verandering van gedrag/consumptie

Het maximaal realiseerbaar potentieel door verandering van het gedrag en het consumptiepatroon wordt ingeschat op circa 10 Mton.

Bij verkeer is nagegaan in hoeverre beleid op het gebied van mobiliteitsreductie en andere vervoerswijzen kan bijdragen aan CO<sub>2</sub>-reductie. Dit resulteert in een maximaal potentieel van circa 5 Mton te realiseren door 'fors' prijsbeleid (onder andere een reële brandstofprijsverhoging van 50% in 2020) in combinatie met 'zachtere' maatregelen op het gebied van ruimtelijke ordening, infrastructuur (openbaar vervoer) en andere stimulansen zoals telewerken en telewinkelen.



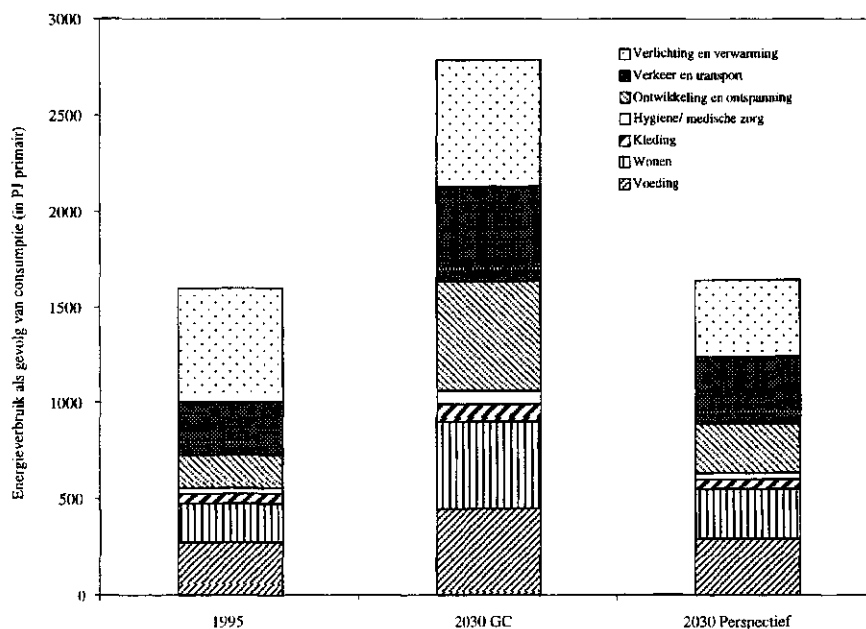
Figuur 10 Energiegebruik in en door Nederland

Het overige deel van het reductiepotentieel (circa 5 Mton) bestaat uit een vermindering van het indirecte energiegebruik van de overige consumptie door ander aankoopgedrag. Ook een wijziging van het gebruiksgedrag van het directe energiegebruik (koken, verwarmen en elektrische apparaten) is hierbij inbegrepen. Het potentieel is ingeschat op basis van de resultaten van project Perspectief. Aangenomen is dat maximaal 10% van het potentieel van project Perspectief grootschalig kan worden gerealiseerd. Aangezien ongeveer de helft van het energiegebruik in Nederland wordt gebruikt voor de productie van producten en diensten (die aan het buitenland worden geleverd) is voor de potentieel inschatting aangenomen dat de Nederlandse producten en diensten die aan het buitenland worden geleverd, ook in zekere mate energie-extensiever worden.

Omdat wijzigingen in consumptiepatronen doorwerken in de economische structuur, maakt dit potentieel onderdeel uit van het genoemde potentieel van 30 Mton van de oplossingsrichting *Structuur*. Op basis van bestaande informatie bleek het niet mogelijk uitspraken te doen over kosten en kosteneffectiviteit.

## Energiezuinig consumeren

Bezien vanuit de consument en zijn bestedingspatroon is ook een bijdrage aan CO<sub>2</sub>-reductie denkbaar. Dit betekent in essentie minder gebruik van energie-intensieve producten en diensten. Energiezuinig consumeren kan tevens comfortabel, veilig en afwisselend zijn. Dit kan door gebruik van duurzame en kwalitatief betere producten, vergroting van gemak en uitbesteding van huishoudelijke werkzaamheden en meer aandacht voor persoonlijke ontwikkeling en lichamelijke verzorging. Onderstaande figuur geeft een (theoretisch) energiebesparingspotentieel op basis van het praktijkexperiment Perspectief waaraan 12 huishoudens deelnamen. Deze huishoudens werden nauwlettend gevolgd en dat kan hun gedrag in een sociaal gewenste richting hebben beïnvloed. Het experiment duurde twee jaar. In hoeverre overheidsbeleid consumenten kan stimuleren om grootschalig en langdurig energiezuinig te consumeren is onbekend en zal naar verwachting niet makkelijk zijn.



### 3 Efficiencyverbetering

Onder invloed van het niveau van de energieprijzen en de veronderstelde technologische ontwikkeling in het GC-scenario wordt over de periode 1995-2030 een efficiencyverbetering bereikt van gemiddeld 1,4% per jaar. Analyses van de historische efficiencyverbetering en van de resterende potentiëlen geven aan, dat een jaarlijkse efficiencyverbetering van 2% per jaar als maximaal moet worden beschouwd. De gebouwde omgeving kan wellicht nog iets hoger komen, de industrie ligt wat lager.

Bij huishoudens betekent dit dat de gemiddelde gasvraag voor woningen in 2030 zou dalen tot 800-900 m<sup>3</sup> en dat de sterke groei van de elektriciteitsvraag in GC na 2010 door extra efficiencyverbetering zou kunnen worden afgevlakt richting stabilisering.

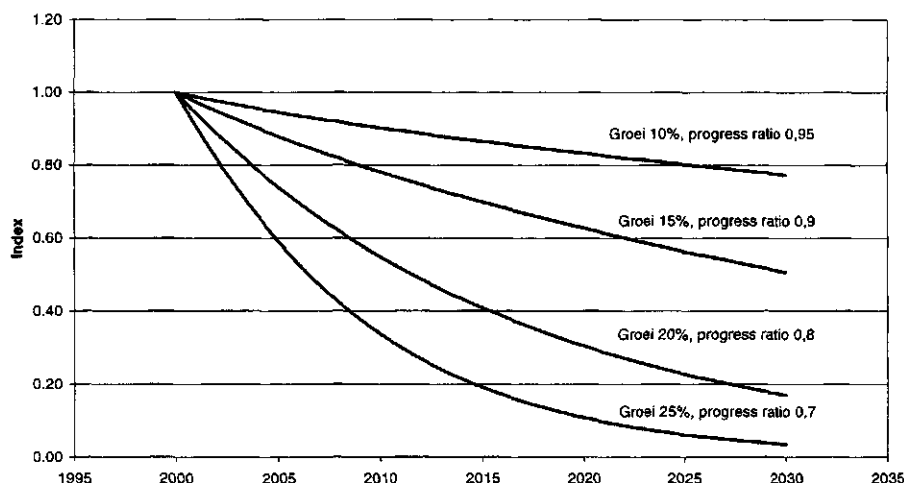
De industrie kan zich onder invloed van het benchmark-convenant ontwikkelen richting de meest efficiënte ter wereld in 2010. Om daarna met de efficiencyverbetering structureel hoger te blijven dan de min of meer autonome verbetering van 1% per jaar, is het benchmark-convenant niet voldoende, maar zijn doorbraaktechnieken of systeeminnovaties nodig. Daarbij gaat het om de ontwikkeling van nieuwe procesroutes en reactoren. Relevante sectoren zijn dan de petrochemie, de kunstmest en de basismetaal. In de dienstensector speelt de elektrische warmtepomp een belangrijke rol om op een beduidend hogere efficiencyverbetering te komen dan in GC. Als de jaarlijkse efficiencyverbetering inderdaad richting de 2% gaat, betekent dit een extra reductie ten opzichte van het GC-scenario van 40 tot 60 Mton.

De kosten van besparingsmaatregelen vertonen nu reeds een grote spreiding. Besparingen door efficiënte apparaten brengen vaak netto opbrengsten met zich mee, terwijl maatregelen aan gebouwen vaak minder kosteneffectief zijn. Voor een indicatie van de verschillen zie ook het Optiedocument met schattingen voor 2010. Bovendien worden kostenschattingen voor 2030 beïnvloed door ontwikkelingen in de technologie en de energieprijzen. Op basis van eerdere scenariostudies en enkele verkennende berekeningen zijn per sector ordegrottes van gemiddelde kosteneffectiviteit geschat. De range die daarbij ontstaat ligt tussen de f 50,- en de f 200,- per ton CO<sub>2</sub>. In het algemeen zit de industrie aan de onderkant van deze range, de gebouwde omgeving aan de bovenkant.

### Kostenontwikkeling technologie

Binnen de meeste oplossingsrichtingen (efficiency, hernieuwbaar, schoon fossiel en kern) dienen veronderstellingen te worden gemaakt over de toekomstige kostenontwikkeling van technologie. Deze zijn echter met vele onzekerheden omgeven. In deze rapportage is voor verschillende technologieën een inschatting gemaakt op basis van een zgn. progress-ratio. Deze ratio geeft aan in welke mate een technologie goedkoper wordt bij toename van het cumulatief geproduceerde vermogen. Een progress ratio van 1 betekent dat er geen verdere kostendaling wordt voorzien, een progress-ratio van 0,5 betekent dat de kosten halveren bij verdubbeling van het cumulatief geproduceerde vermogen. De hoogte van de ratio heeft grote invloed op de verwachte kosten, vooral bij technologieën waar gedurende lange termijn een grote groei wordt voorzien. In de figuur is de hoogte van de investeringskosten per kW in de tijd weergegeven, afhankelijk van de veronderstelde progress-ratio's en groeivoet.

$(\text{LN}(\text{progress ratio})/\text{LN}(2))$



De formule voor de investeringskosten op tijdstip 1 ( $\text{Inv}_1$ ) afhankelijk van de investering op tijdstip 0 ( $\text{Inv}_0$ ) en de geproduceerde vermogens is als volgt:

$$\text{Inv}_1 = \text{Inv}_0 * (\text{vermogen}_1 / \text{vermogen}_0)$$

Afhankelijk van de hier veronderstelde groei en progress-ratio's varieert de kostenreductie over 30 jaar tussen de 20 en de 95%. De werkelijke reductie zal zich waarschijnlijk binnen deze range bevinden. Ook vlakt de progress-ratio waarschijnlijk af over langere tijd.

*Ter indicatie: de progress ratio van PV lag over de periode 1976 tot 1997 op 0,71, maar deze neemt toe in de loop van de tijd (over de periode 1990-1997 0,79). Voor wind op land ligt de progress ratio nu rond de 0,9.*

## 4 Hernieuwbare bronnen

Voor de drie bronnen binnen de oplossingsrichting hernieuwbaar vormt het maximaal technisch potentieel nog niet de beperkende factor in 2030. Maximale groei- en installatietempo's lijken hier eerder de beperkende factor.

### Zon PV

Het maximaal technisch potentieel voor zon-PV wordt in verschillende studies geschat tussen de 20 en 120 GW. Bij dit potentieel worden alle geschikte roestoppervlaktes (daken, langs snelwegen, etc.) benut. Bij een middenschatting van 70 GW betreft het een oppervlak aan zon-PV ter grootte van 25-40% van de Provincie Utrecht. Het is niet haalbaar al dit vermogen te realiseren voor 2030. Voor de bepaling van het maximaal opgestelde PV-vermogen in 2030 is een schatting gemaakt van een maximaal haalbare groeivoet. Uitgaande van een groei van de markt voor PV van 25% per jaar over 35 jaar (een groei die overigens nog geen enkel product in de consumentenelektronica heeft vertoond over zo'n lange termijn) komt het potentieel voor zon-PV op een kleine 10 GW. Dit is ongeveer 1.000 keer zo veel als het huidige opgestelde vermogen, dat ongeveer 12 MW bedraagt.

De kosten van PV zijn op dit moment nog erg hoog (tussen de 1.000 en 2.500 gulden per ton CO<sub>2</sub>). De toekomstige ontwikkeling van de kosten is zeer onzeker. Deze hangt mede af van de snelheid waarmee schaalvergroting kan worden gerealiseerd. Voor een schatting van de kosten is gebruik gemaakt van een zgn. progress ratio. Deze ratio beschrijft de relatie tussen de snelheid waarmee de kosten dalen afhankelijk van de omvang van de productie (zie tekstbox). Variatie van zowel de groei als de progress ratio leidt tot kosteneffectiviteiten tussen de -100 en +1.200 gulden per ton.

### Wind offshore

Voor wind op zee ligt het technisch maximaal potentieel op zo'n 200 GW bij benutting van het beschikbare continentaal plat. Voor de termijn van 2030 wordt het maximale potentieel vooral bepaald door de snelheid waarmee nieuwe windparken kunnen worden gerealiseerd. Als wordt verondersteld dat het installatietempo toeneemt van 100 MW per jaar in 2000 tot circa 1000 MW per jaar in 2030 komt het totale vermogen op 10-15 GW. Dit komt overeen met 100 tot 150 windparken van een omvang van het nu geplande offshorepark bij Egmond. Het nu opgestelde vermogen op land bedraagt ongeveer 400 MW.

Voor de kostenbepaling van wind op zee geldt in grote lijnen hetzelfde als bij zon-PV. Ook deze optie kent nu nog relatief hoge kosten per ton CO<sub>2</sub> en er wordt voorzien dat kostenreducties mogelijk zijn bij opschaling, zij het dat de onzekerheden in het algemeen iets beperkter zijn dan bij PV. Dit leidt uiteindelijk tot verwachte kosteneffectiviteiten tussen de -100 en +150 gulden per ton.

### Biomassa

Biomassa is in principe grootschalig inpasbaar in de energievoorziening met name bij verkeer (methanol en ethanol voor verbrandingsmotoren), elektriciteitsproductie en groen gas (methaan of waterstof). Bij al deze toepassingen kan de biomassa mogelijk ook ingezet worden in een brandstofcel. Daarnaast zijn er mogelijkheden voor gebruik als grondstof in de industrie. Vanwege de schaarse ruimte voor energieteelt in Nederland zal Nederland bij grootschalige toepassing van biomassa voor het grootste deel zijn aangewezen op import. Indien ook andere landen grootschalig gebruik gaan maken van biomassa is het mogelijk dat tijdige beschikbaarheid een beperkende factor wordt. Daarbij kan de prijsvorming van biomassa onder druk komen te staan. Tevens concurreert energieteelt met voedselproductie en is nader onderzoek nodig naar duurzaamheidsaspecten (zie tekstbox). Gelet op de grote onzekerheid is een range van 25 à 60 Mton gekozen als maximaal realiseerbaar potentieel. Of dit meer of minder is hangt af van de beschikbaarheid van buitenlandse import, die nog

moeilijk gekwantificeerd kan worden. De bovengrens betekent inzet van een energiehoeveelheid aan biomassa die overeenkomt met 1/3 van het totale huidige binnenlandse energieverbruik.

De kosten van inzet van biomassa hangen af van de prijs van biomassa, de eventueel noodzakelijke bewerking en sector waar het uiteindelijk wordt toegepast. Voor gebruik in de transportsector dient de biomassa bijvoorbeeld eerst te worden omgezet in methanol. Naast de onzekerheden in de prijs waarvoor een dergelijke hoeveelheid biomassa kan worden geïmporteerd speelt dus ook de technologieontwikkeling van de omzetting en toepassing van biomassa een rol. Op basis van eerdere studies worden de kosten van CO<sub>2</sub>-reductie door biomassa geschat op 100 tot 300 gulden per ton.

De geschetste potentiëlen komen gezamenlijk op een emissiereductie van tussen de 40 en 75 Mton (zon 3 Mton, wind 9-13 Mton, biomassa 25-60 Mton). De kosten voor deze potentiëlen gezamenlijk liggen tussen de 75 en 300 gulden per ton.

## Energieteelt: potentieel en duurzaamheidsaspecten

### POTENTIEEL VOOR ENERGIETEELT

Grootschalige teelt van energiegewassen is mogelijk op landbouwgronden in Europa en daarbuiten. De huidige ontwikkeling binnen de landbouw ( overproductie, marginalisatie) biedt ruimte aan de introductie van energiegewassen.

- *Gewassen* : De belangrijkste energiegewassen zijn: meerjarige grassen zijn ( miscanthus, switchgrass, rietsoorten) of houtgewassen (wilg en eucalyptus).
- *Benodigd areaal landbouwgrond* : Het substantieel inzetten van biomassa vergt zeer grote arealen landbouwgrond. Indien daarmee 30% van de energiebehoefte wordt gedekt, dan is er in Nederland een bijna 3x zo groot landbouwareaal nodig. In Europa (EU14) is ongeveer 2/3 van het landbouwareaal nodig en mondiaal is minimaal 10% van het areaal nodig. Indien minder goede gronden worden ingezet zullen de arealen mogelijk hoger zijn.

Tabel: Overzicht van energieverbruik in 1990, benodigd biomassa areaal, en verhouding t.o.v. bestaand landbouwareaal in Nederland, Europa en mondiaal.

	Nederland	Europa (EU14)	Mondiaal
Energie verbruik (1990)	3 EJ	55 EJ	350 EJ
Areaal biomassa (dekt 30% van energieverbruik in 1990)	5.6 Mha	100 Mha	450 Mha
Areaal biomassa als percentage van landbouwareaal	280%	70%	10%

### DUURZAAMHEIDSASPECTEN

- *Competitie in landgebruik* : Door grootschalige energieteelt zal er een toename in de competitie in landgebruik ontstaan. Naast bestaande functies, waarvan voedselproductie de belangrijkste is, is er een toename in de vraag naar arealen t.b.v. natuur-biodiversiteit, houtproductie en ruimte voor wonen/werken en infrastructuur. Locale omstandigheden en bestaand beleid (bijv. Europese habitat- en vogelrichtlijnen) spelen daarbij een rol. Voor een aantal continenten geldt dat de vraag naar voedsel nu en in de toekomst blijvend de belangrijkste drukfactor zal zijn en er dus weinigruimte is voor energie-teelten.
- *Erosie* : Het aanplanten van bossen t.b.v. energieteelt kan een bijdrage leveren aan het bescherming van gebieden tegen verschillende vormen van erosie.
- *Biodiversiteit* : De biodiversiteitswaarde van houtgewassen (monocultuur) is laag. Indien er sprake is van multipurpose landgebruiksvormen zal de waarde mogelijk hoger zijn, maar hangt sterk af van de opzet en management.



## 5 Kernenergie

De rol die de oplossingsrichting kernenergie kan spelen hangt vooral samen met de omvang van de elektriciteitsproductie en het aandeel dat daarvan door kernenergie kan worden gedekt. Bij de sterke groei van de elektriciteitsvraag zoals die in GC zit, vormen haalbare bouw- en proceduretempo's een beperkende factor. Het vermogen van de bestaande centrale in Borssele bedraagt 450 MW. Verondersteld is dat in de periode tot 2030 circa 5.000 tot 7.000 MW aan opgesteld vermogen haalbaar is. Dit potentieel is mede gerelateerd aan het aandeel van kernenergie in andere EU-landen. Het reductiepotentieel dat hiermee samenhangt wordt geschat op 10 tot 20 Mton. Qua technologie kan daarbij worden gedacht aan de Hoge Temperatuur Reactor (HTR) die aanmerkelijk veiliger is dan de huidige Lichtwaterreactor (LWR). Belangrijk voor kernenergie is het maatschappelijk draagvlak, dat vooral bepaald wordt door de ontwikkelingen op het gebied van veiligheid, afval en proliferatie.

Voor de kostenbepaling van kernenergie is uitgegaan van de Hoge Temperatuur Reactor. Omdat ook deze technologie zich in de praktijk nog grotendeels moet ontwikkelen kent een schatting voor de kosten in 2030 grote onzekerheden. De investeringskosten voor de HTR kunnen in potentie lager worden dan voor de LWR, omdat de noodzaak voor actieve veiligheidssystemen ontbreekt. Voor 2030 wordt geschat dat investeringskosten (inclusief ontmanteling) tussen de 3300 en 5000 gulden per kW haalbaar zijn. Gecombineerd met de kosten voor onderhoud en de splijtstofcyclus (inclusief opberging afval) resulteren kosten per kWh tussen de 6,5 en 10 cent. Uitgaand van kosten van een aardgasgestookte STEG tussen de 6 en de 7 cent per kWh betekent dit een kosteneffectiviteit van 0 tot 100 gulden per ton.



## 6 Schoon fossiel

De toepassing van CO<sub>2</sub>-afvang en opslag kent in Nederland drie sporen.

Het goedkoopste spoor is de afvang van geconcentreerde CO<sub>2</sub> die wordt geproduceerd bij raffinage en kunstmestproductie. Het potentieel wordt bepaald door de omvang van de betreffende industrie in het scenario, en wordt voor 2030 geschat op maximaal 10 Mton. Het betreft hier CO<sub>2</sub>-emissie die niet direct gekoppeld is aan energie en mobiliteit. Ook in andere industriële sectoren is afvang van CO<sub>2</sub> mogelijk, al liggen daar de kosten hoger, omdat de geproduceerde CO<sub>2</sub> minder geconcentreerd is.

Het tweede spoor betreft afvang en opslag bij elektriciteitsproductie uit fossiele bronnen.

Haalbare aandelen in de voorziening zijn in zekere mate vergelijkbaar met kernenergie. Het betreft beide grootschalig centraal opgesteld vermogen, dat gelet op de kosten vooral in basislast zal moeten draaien. Het potentieel voor CO<sub>2</sub>-afvang en opslag kan wellicht wat hoger liggen door ook bij grootschalige warmtekrachtinstallaties CO<sub>2</sub> af te vangen. Het totaal komt daarmee op 20 à 30 Mton.

Het laatste spoor betreft de productie van waterstof uit aardgas met opslag van CO<sub>2</sub>. Het potentieel hiervoor wordt vooral bepaald door de toepassingsmogelijkheden van waterstof. Uitgaande van 10 tot 20% inzet in de transportsector en bijmenging van waterstof in het gasnet wordt een potentieel geschat van 10 à 20 Mton in 2030. Zodra het om grotere hoeveelheden gaat is de bestaande gasinfrastructuur vaak niet geschikt. Dit vergt grote investeringen in nieuwe infrastructuur.

Het totale potentieel voor deze richting komt daarmee op 50-60 Mton. De genoemde potentiële kunnen alleen bereikt worden als voortvarend wordt gestart met implementatie. Het aantal projecten is zo groot, dat ze niet allen tegelijkertijd (of in enkele jaren) kunnen worden gerealiseerd. Ook voor CO<sub>2</sub>-opslag vergt de combinatie van aanleg van infrastructuur en voldoende beschikbaarheid van opslagcapaciteit een grote inspanning. Het maatschappelijk draagvlak voor CO<sub>2</sub>-opslag is onbekend. Vanwege onbekende en onzekere factoren verdienen milieu- en veiligheidsaspecten nader onderzoek (zie ook de tekstbox).

De kosten van afvang en opslag van CO<sub>2</sub> verschillen per spoor. Het eerste spoor (afvang bij raffinage en kunstmest) kent een relatief beperkte range met kosten tussen de 15 en 50 gulden per ton. Voor CO<sub>2</sub>-afvang en opslag bij elektriciteitscentrales liggen de kosten wat hoger en worden ze geschat op 50 tot 125 gulden per ton. De kosten van productie van waterstof uit aardgas worden geschat op 75 tot 125 gulden per ton vermeden CO<sub>2</sub>. Hier komen dan nog bij de eventuele meerkosten van de technologie voor de toepassing van waterstof (bijvoorbeeld brandstofcellen). Gemiddeld worden de kosten voor toepassing van waterstof (inclusief productiekosten) geschat op 200 tot 300 gulden per ton vermeden CO<sub>2</sub>.

## CO<sub>2</sub>-opslag: potentieel en milieu/veiligheids-aspecten

### Potentieel voor opslag van CO<sub>2</sub>

Grootschalige opslag van CO<sub>2</sub> is mogelijk in (uitgeputte) olie- en gasvelden, aquifers, oceanen en steenkoollagen. In Nederland zijn lege gasvelden en aquifers de belangrijkste mogelijkheden. De potentiële voor opslag in steenkoollagen zijn in principe groot, maar veel aspecten moeten nog nader worden onderzocht.

- *Gasvelden.* Capaciteit voor de opslag van CO<sub>2</sub> in gasvelden komt beschikbaar op het moment dat deze velden uitgeput zijn. Voor Nederland kan de opslagcapaciteit in gasvelden op 12 Gt CO<sub>2</sub> worden geschat. De komende decennia komen steeds meer velden beschikbaar.
- *Aquifers.* CO<sub>2</sub> kan worden opgeslagen in waterdragende lagen (aquifers) die dieper liggen, dan 750 meter. Voor Nederland varieert de opslagcapaciteit van 1 tot 40 Gt CO<sub>2</sub>, afhankelijk van het wel of niet vereisen van de aanwezigheid van een afsluitende laag.
- *Overzicht potentiële voor CO<sub>2</sub>-opslag.* Het potentieel is uitgedrukt in het aantal jaren dat de jaarlijkse CO<sub>2</sub> emissie van Nederland of EU-12 + Noorwegen kan worden opgeslagen.

Potentieel CO <sub>2</sub> -opslag in jaren (basisjaar=1990)	Olie- en gasvelden	Aquifers	Steenkoollagen (ECBM)
Nederland	70	5 - 240	enkele tientallen
EU-12 + Noorwegen	10	10 - 240	Onbekend
Wereld	30-70	10-1900	Onbekend

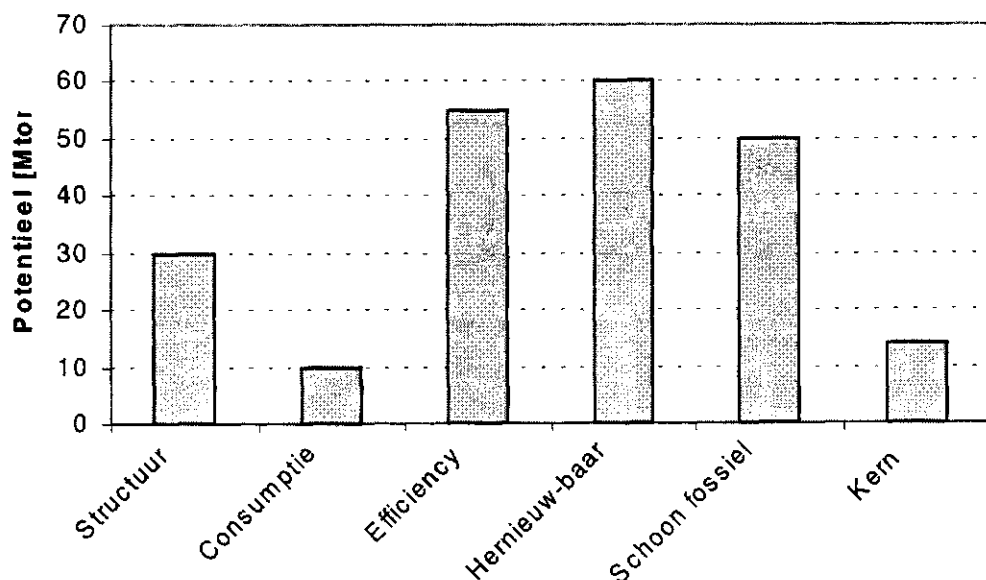
### Milieu/veiligheids-aspecten CO<sub>2</sub>-opslag

Onderstaande aspecten hebben betrekking op de opslag in aquifers en lege gasvelden.

- *Ontsnappen van CO<sub>2</sub> naar de atmosfeer.* Gegeven de ervaring met de ondergrondse opslag van gasen is dit risico bij CO<sub>2</sub>-opslag in lege gasvelden zeer klein. Uit simulaties voor CO<sub>2</sub>-opslag in aquifers blijkt dat het risico beperkt is: CO<sub>2</sub> heeft minimaal 5000 jaar nodig om het oppervlak te bereiken.
  - *Seismische activiteit.* Tijdens het injecteren kunnen hoge drukgradiënten in poriën ontstaan die schadelijke aardbevingen kunnen veroorzaken. Dit kan zich mogelijk voordoen indien de maximaal toegestane injecteerdruk wordt overschreden. Druktoenames bij CO<sub>2</sub>-opslag veroorzaken makkelijker aardbevingen dan drukafnames bij gaswinning. In Nederland zijn sinds 1986 meer dan 128 aardbevingen geregistreerd vanwege drukafname door gaswinning.
  - *Verzakking of stijging van het aardoppervlak.* Vanwege drukveranderingen is het mogelijk dat het aardoppervlak verzakt bij gaswinning of stijgt bij CO<sub>2</sub>-opslag.
  - *Verzurend effect CO<sub>2</sub>.* CO<sub>2</sub> lost op in water en kan zo een verzurend effect hebben op aquifers en het grondwater. De gevolgen voor de afsluitende laag, de stabiliteit van het aquifer en ecosystemen in de ondergrond zijn niet goed bekend.
  - *Bovengronds transport van CO<sub>2</sub>.* De kans op calamiteiten voor CO<sub>2</sub>-transport is vergelijkbaar met transport van andere industriële gasen. Met technische maatregelen en ruimtelijke ordening (bijvoorbeeld opslag off-shore) kunnen risico's worden beperkt.
- getransporteerd. De risico's hiermee samenhangend zijn bekend en beheersbaar

## Samenvatting oplossingsrichtingen

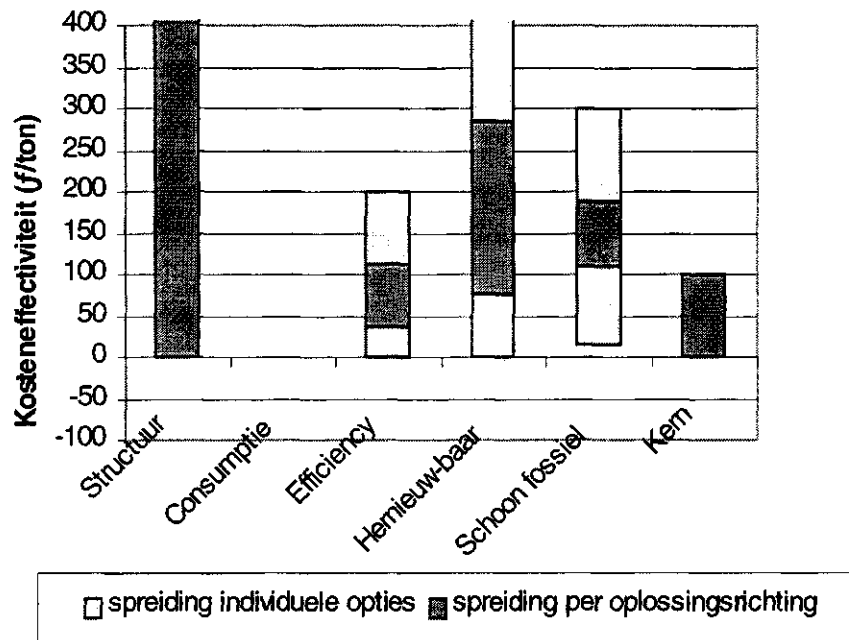
De som van de potentiële van de verschillende oplossingsrichtingen bedraagt maximaal rond de 230 Mton. In figuur 11 is het ingeschatte maximale reductiepotentieel in 2030 per oplossingsrichting weergegeven. De bijdragen van efficiencyverbetering, schoon fossiel en hernieuwbare bronnen zijn het grootst (elk boven de 50 Mton CO<sub>2</sub>), die van economische structuur, gedrag/consumptie en kernenergie zijn het kleinst.



Figuur 11 Het ingeschatte maximale reductiepotentieel (Mton CO<sub>2</sub> in 2030) per oplossingsrichting.

Bij een beleidsopgave van 120 Mton zou op het eerste oog met iets meer dan de helft van iedere oplossingsrichting de opgave bereikt worden. Door de grote overlap waarvan sprake is, werkt een dergelijke redenering echter niet. Implementatie van een bepaalde oplossingsrichting leidt er vrijwel aldoor toe dat het potentieel voor de volgende richting kleiner wordt. De algemene aanpak is dat eerst oplossingsrichtingen aan de energievraagkant (wijzigingen in de economische structuur, in consumptiepatronen en efficiencyverbetering) zijn ingezet, en dat vervolgens de energieaanbodkant is ingezet (hernieuwbare bronnen, schoon fossiel en kernenergie). De inschatting is dat bij volledige inzet van alle oplossingsrichtingen naast elkaar een reductie van zo'n 150 tot 160 Mton kan worden bereikt. De overlap bedraagt in dat geval dus 70 tot 80 Mton.

De voorgaande beschrijvingen resulteren in kostenranges voor de individuele opties en voor de oplossingrichtingen als weergegeven in figuur 12.



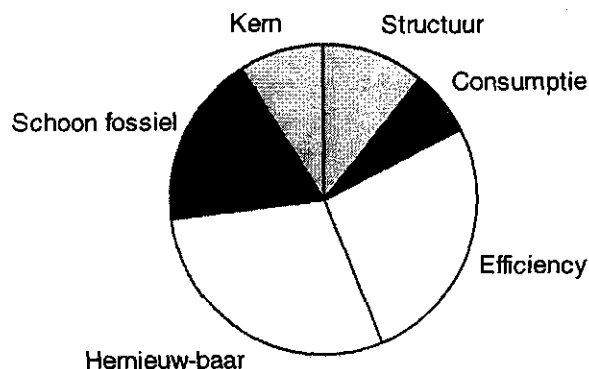
**Figuur 12** Kostenrange per optie en per oplossingsrichting bij maximale toepassing

De kostenrange per oplossingsrichting is geconstrueerd door de verschillende opties binnen één richting, gewogen met hun potentieel. Bijvoorbeeld voor hernieuwbaar zijn dus de onderderranges van de kosten van zon, wind en biomassa vermenigvuldigd met hun respectievelijke potentiëlen, voor de bovenrange geldt hetzelfde. Voor de inzichtelijkheid is de range aan de bovenkant afgekapt bij +400 aan de onderkant bij 0.

Aan de hand van een startoplossing en verschillende varianten zijn mogelijke combinaties onderzocht om de geschetste kwaliteitsbeelden te bereiken. In de startoplossing wordt van alle oplossingsrichtingen een gelijk percentage ingezet om de doelstelling voor CO<sub>2</sub> te bereiken. Daarnaast is een aantal varianten onderzocht waarin (onderdelen van) bepaalde oplossingsrichtingen worden uitgesloten. Tevens is een variant onderzocht waarbij gestreefd wordt naar zoveel mogelijk synergie met reductie bij de overige emissies. Voor iedere variant wordt hieronder besproken hoe de reductie bereikt wordt. Ook wordt kort ingegaan op de kosten, maar gegeven de onzekerheden op dit gebied kunnen hier slechts beperkt conclusies uit worden getrokken. In de volgende paragraaf wordt ingegaan op de consequenties voor enkele specifieke sectoren.

## Startoplossing

Met inzet van circa 70% van alle oplossingsrichtingen (of van datgene wat nog van de richting over is na inzet van andere richtingen) wordt de beleidsopgave gehaald. Het aandeel van de oplossingsrichtingen aan de energievraagkant (Structuur, Consumptie en Efficiencyverbetering) is hierbij wat kleiner dan het aandeel van de oplossingsrichtingen aan de energieaanbodkant (Hernieuwbaar, Fossiel en Kern). Figuur 13 illustreert dit, waarbij bedacht dient te worden dat het mogelijke potentieel bij structuur en consumptie weliswaar aanwezig is, maar dat de sturingsmogelijkheden voor de overheid duidelijk minder zijn dan bij de andere oplossingsrichtingen.



Figuur 13 Startoplossing: CO<sub>2</sub>-reductie per oplossingsrichting

De gemiddelde jaarlijkse verandering van de economie, het energiegebruik en de CO<sub>2</sub>-emissie in de periode 1995 – 2030 in het GC-scenario en voor de startoplossing zijn weer gegeven in tabel 1. Wat opvalt is dat de startoplossing resulteert in een behoorlijke toename van de ont koppeling ten opzichte van de situatie in het GC-scenario. De ont koppeling van de CO<sub>2</sub>-uitstoot ten opzichte van de economie neemt toe van -2,3% tot -4,2% per jaar, bijna een verdubbeling. De ont koppeling in de startoplossing komt voor 60% voor rekening van een afgenomen energiegebruik per eenheid BBP en voor 40% door de verlaging van de CO<sub>2</sub>-emissie per eenheid energie.

Tabel 6: Gemiddelde jaarlijkse verandering van economie, energiegebruik en CO<sub>2</sub>-emissie over een periode van 35 jaar.

	Global Competition 1996 – 2030	Startoplossing CO <sub>2</sub> t.o.v. GC 1996 – 2030
BBP	3,1%	3,1%
Energiegebruik	1,1%	0,5%
CO <sub>2</sub> emissie	0,8%	-1,1%

Bij de beschrijving van de oplossingsrichtingen is gebleken dat de kosten voor het jaar 2030 grote onzekerheden vertonen. Logischerwijs kent een schatting van de kosten voor de geschatte maatregelen daarmee ook een grote range. Bij de reducties zoals geschetst in de startoplossing ontstaat een kostenrange tussen de 6 en de 30 miljard gulden per jaar in 2030. Dit is 0,5 à 1,5 procent van het Bruto Binnenlands Product in 2030. De bijbehorende cumulatieve extra investeringen ten opzichte van GC liggen tussen de 150 en 500 miljard gulden. Het gaat hierbij alleen om investeringen in efficiency, hernieuwbaar, schoon fossiel en kern. Investerings voor structuur en consumptie zijn moeilijk aan te geven.

Zowel uit de te behalen reductie als uit de kostenschattingen blijkt dat voor het bereiken van het geschatte kwaliteitsbeeld, tegen de achtergrond van een hoge groei scenario als GC, een zeer grote inspanning vereist is. Hier komt bij dat de geschatte kosten voor 2030 gelden. Voor diverse technologieën geldt dat de kosten om de technologie te ontwikkelen, tot een niveau zoals aangegeven voor 2030, een veelvoud zullen bedragen

## Varianten

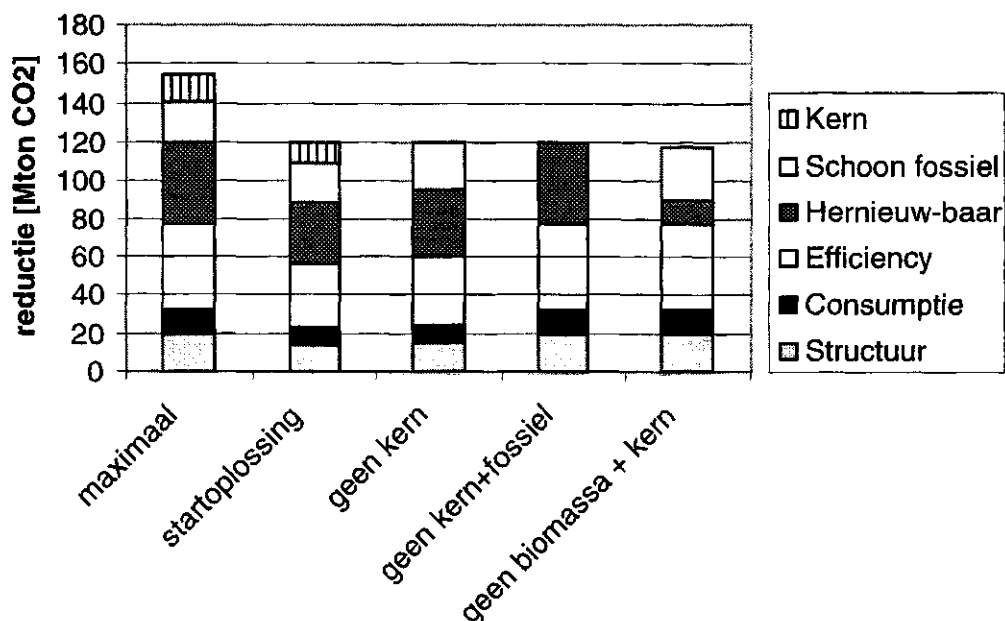
Naast de startoplossing is op verzoek van de werkgroep een viertal varianten onderzocht, te weten:

- variant zonder kernenergie;
- variant zonder schoon fossiel en zonder kernenergie;
- variant zonder biomassa en zonder kernenergie;
- variant waarin de overige emissies maximaal meeliften.

Een variant waarbij de kosten geminimaliseerd worden is niet onderzocht vanwege de grote onzekerheden.

### Reductie per oplossingsrichting

In onderstaande grafiek is voor iedere variant de bijdrage van de oplossingsrichtingen geschetst. Ter vergelijking is onder 'maximaal' de reductie aangegeven die bereikt wordt als alle oplossingsrichtingen volledig naast elkaar worden ingezet.



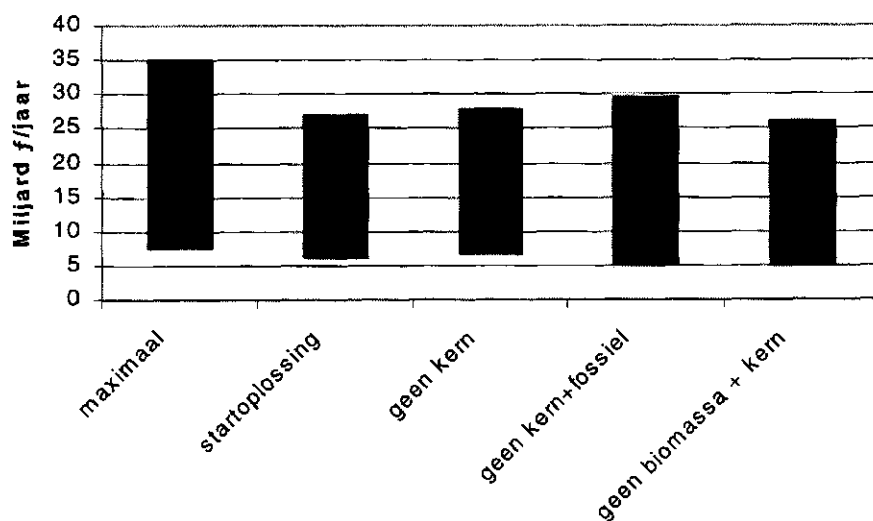
Figuur 14 CO<sub>2</sub>-reductie in 2030 maximaal en per variant



Zoals eerder aangegeven is bij de startoplossing circa 70% van alle oplossingsrichtingen nodig om het kwaliteitsbeeld te bereiken. Bij de variant zonder kern is ruim ¾ van de inzet van de overige oplossingsrichtingen vereist. Voor de laatste twee varianten is maximale inzet van de resterende richtingen vereist, waarbij voor de laatste richting geldt dat net niet aan het kwaliteitsbeeld kan worden voldaan.

### Kosten

De onzekerheden in de kosten komen ook tot uiting in de varianten. Figuur 15 schetst de kostenrange. Volledige inzet van alle oplossingsrichtingen resulteert in een kostenrange van 8 tot 40 miljard gulden per jaar (0,5 à 2% van het BBP). De kosten van de startoplossing liggen op 70 tot 75% van dit niveau. Bij de variant zonder kern neemt zowel de onderkant van de range als de bovenkant licht toe. Gemiddeld genomen betekent het weglaten van deze richting dus een stijging van de kosten. In de variant zonder kern en schoon fossiel neemt de kostenrange toe. Hieruit kan worden afgeleid dat de onzekerheid in de kosten van schoon fossiel relatief beperkt is ten opzichte van de andere richtingen. De ondergrens ligt hoger dan het gemiddelde van de andere richtingen (waardoor de grens daalt bij weglaten van schoon fossiel), de bovengrens lager. Bij de variant zonder biomassa en kern dient bedacht te worden dat het kwaliteitsbeeld niet volledig wordt bereikt.



Figuur 15 Kostenrange varianten

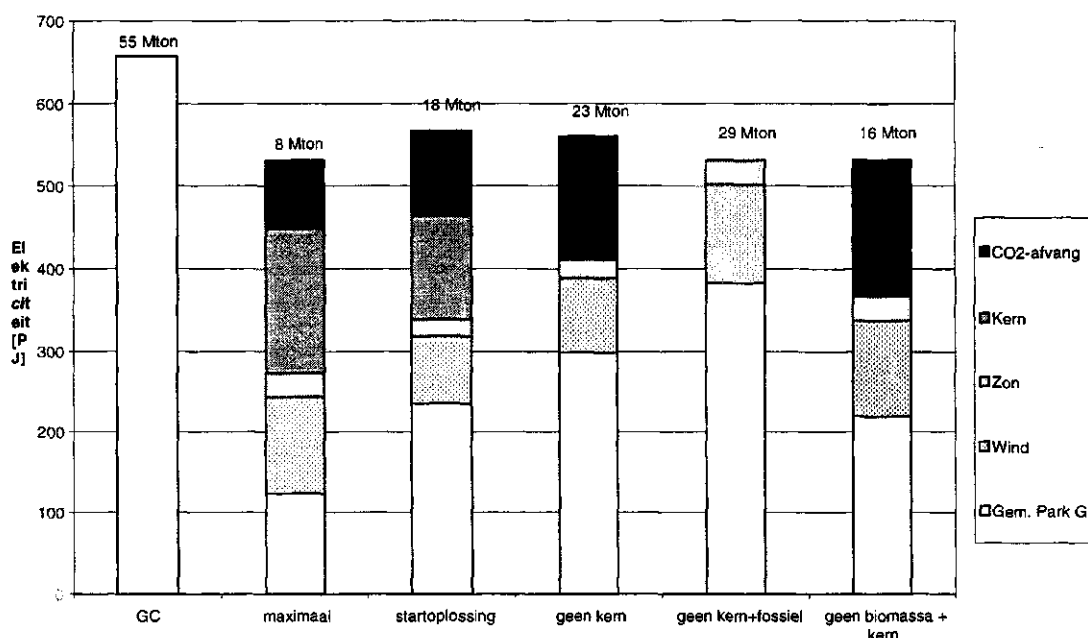
## Uitwerking specifieke sectoren

De oplossingsrichtingen aan de vraagkant richten zich op vrijwel alle sectoren. Extra reducties aan de aanbodkant richten zich vaak op specifieke sectoren. De sectoren waar relatief de meeste extra reductie mogelijk wordt geacht zijn de transportsector en de elektriciteitsproductie. Op deze sectoren wordt hieronder nader ingegaan.

### Elektriciteitssector

De elektriciteitssector is een sector waar eigenlijk alle oplossingsrichtingen hun doorwerking hebben. De oplossingsrichtingen die de energievraag beïnvloeden zorgen enerzijds voor een lagere vraag naar elektriciteit, waardoor de emissie daalt. Anderzijds kan reductie van CO<sub>2</sub> aan de vraagkant ook leiden tot een hogere elektriciteitsvraag door substitutie van brandstoffen (elektrische warmtepompen, elektrische auto's, etc). Extra reducties in de elektriciteitssector worden bereikt door hernieuwbaar (zon en wind), kernenergie en fossiel met CO<sub>2</sub>-opslag.

Figuur 16 toont de omvang van de elektriciteitsproductie en de parksamenstelling. Tevens is de resterende emissie van de elektriciteitsvoorziening aangegeven. In GC bedraagt de elektriciteitsproductie ruim 600 PJ. Het park in GC wordt gekenmerkt door veel warmtekracht, voor het overige gasgestookt vermogen zonder warmtebenutting en duurzaam (wind op land en biomassa). In de verschillende varianten blijft 1/6 tot ruim de helft van deze productie bestaan. De resterende emissie van het park ligt tussen de 8 en 29 Mton. Dit laatste geldt voor de variant waarin zowel kern als schoon fossiel uitgesloten wordt. Daarmee verdwijnen twee belangrijke opties om CO<sub>2</sub>-vrije elektriciteit te produceren.



Figuur 16 Overzicht elektriciteitsproductie per variant inclusief resterende CO<sub>2</sub>-emissie

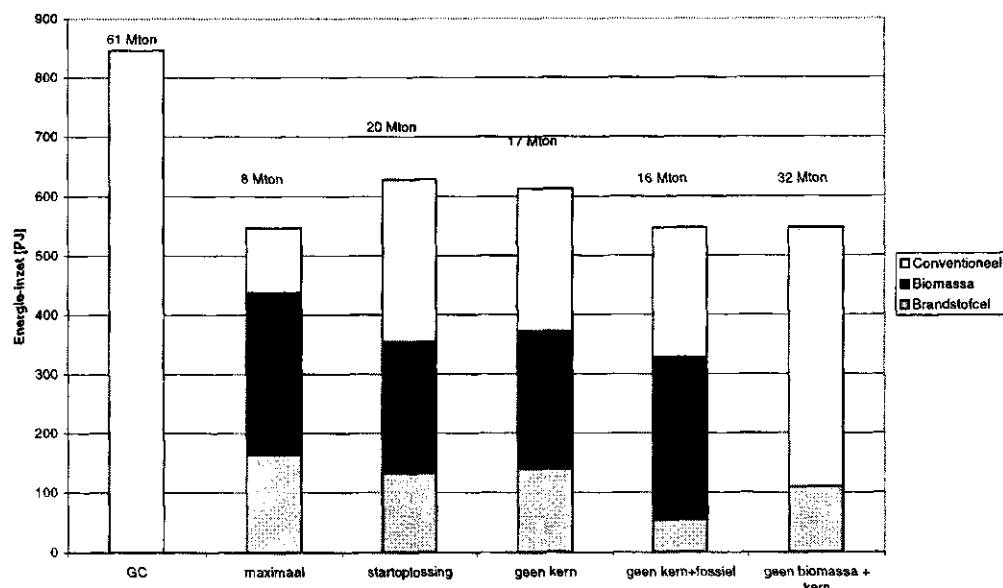
Zonder extra voorzieningen (bijvoorbeeld opslag van elektriciteit) treden in vrijwel alle varianten waarschijnlijk inpassingsproblemen in de elektriciteitsvoorziening op. Hierbij komt dat voor vrijwel alle technologieën (wind, zon, kernenergie en CO<sub>2</sub>-opslag) de grootste groei wordt voorzien in de periode 2020-2030. Hierin schuilt het gevaar dat in de periode 2010-2020 nog ander, meer conventioneel, vermogen dient te worden gebouwd om aan de vraag

te voldoen. Dat zou dan echter in 2030 vrijwel niet meer mogen draaien, omdat anders het kwaliteitsbeeld niet wordt bereikt.

### Verkeer en vervoer

De extra reducties bij verkeer en vervoer betekenen dat op een termijn van 30 jaar een groot deel van de transportmiddelen (weg en vliegverkeer en vervoer over het water) moet gaan op een andere brandstof dan olieproducten. Op een termijn tot 2030 lijkt het potentieel voor de inzet van biobrandstoffen het grootst. Voor de andere technologieën als de elektrische-, hybride- en waterstofvoertuigen vergt implementatie meer tijd. Dit vindt zijn oorzaak zowel in de opbouw van de infrastructuur als de benodigde technologische ontwikkeling. Voor al deze opties geldt dat de ons omringende/EU landen mee moeten gaan met de gekozen technologieën. Ook al kan vooral m.b.t. de inzet van biomassa geprofiteerd worden van de huidige infrastructuur, dan nog is het de vraag in hoeverre een dergelijk tempo haalbaar is.

Figuur 17 toont de energie-inzet in de transportsector alsmede de opbouw van de transportmiddelen. Ten opzichte van elektriciteit is de haalbare reductie aan de vraagkant relatief wat groter. Waar bij elektriciteit de vraag bij maximale reductie op circa 80% van GC ligt is dit in de transportsector circa 65%. Uitgezonderd de maximale case ligt de resterende emissie in de transportsector tussen de 16 en 32 Mton. Daarbij is de reductie in de variant waarin de opties voor schone elektriciteit beperkt worden (geen kern en schoon fossiel) het grootst. In de variant zonder inzet van biomassa is de reductie in de transportsector het minst. In dit geval hangt de mogelijke reductie grotendeels af van de ontwikkeling van de brandstofcel en de waterstofinzet.



Figuur 17 Transportsector per variant en resterende emissie

### Gevolgen van de CO<sub>2</sub>-startoplossing voor de emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOS en fijn stof

De CO<sub>2</sub>-oplossingsrichtingen bestaan veelal uit vermindering van het energiegebruik of een andere manier van omzetting van energie. De emissies van andere stoffen dan CO<sub>2</sub> die vrijkomen bij het energiegebruik gaan daarom ook veelal mee omlaag. Voor de CO<sub>2</sub>-startoplossing is nagegaan wat de gevolgen zijn voor de emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOS en fijn stof. In tabel 7 staan de emissies in GC-2030 en bij de CO<sub>2</sub>-startoplossing en de emissierichtpunten van deze stoffen. Bij de CO<sub>2</sub>-startoplossing zijn de emissierichtpunten van SO<sub>2</sub> en fijn stof binnen bereik. De emissierichtpunten van NO<sub>x</sub> en VOS worden nog lang niet gehaald. De emissies van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> dalen weliswaar aanzienlijk door de CO<sub>2</sub>-startoplossing maar minder dan CO<sub>2</sub> zelf. Dit komt doordat niet alle CO<sub>2</sub>-reductieopties tot een reductie leiden van de andere stoffen. De meekoppeling geldt namelijk niet voor verbranding van biobrandstoffen, het gebruik van biomassa als grondstof en CO<sub>2</sub>-afvang en opslag (tenzij gebruik wordt gemaakt van de brandstofcel). De emissies van VOS en fijn stof dalen in mindere mate omdat maar een beperkt deel van de emissie wordt veroorzaakt door energie/mobiliteit, zie tabel 7.<sup>2</sup>

	Emissie in 2030 (GC en met bestaand beleid)	Samenhangend met energie/ mobiliteit	Emissie in 2030 na doorvoering CO <sub>2</sub> - startoplossing	Emissiericht- punt in 2030
CO <sub>2</sub>	240 Mton	100%	120	110 – 130 kton
NO <sub>x</sub>	340 <sup>1</sup> - 400 <sup>2</sup> kton	95%	250	20 – 40 kton
SO <sub>2</sub>	80 kton	80%	30 <sup>3</sup> à 55	20 – 40 kton
VOS	220 kton	30%	200	20 – 40 kton
Fijn stof	30 kton	60%	25	0 – 22 kton

Tabel 7 Overzicht emissies in 2030 (voorlopige cijfers)

1. emissie NO<sub>x</sub> in GC 2030 inclusief voortzetting kostenverevening van de industrie, raffinaderijen en elektriciteitsproductie op het niveau van 2010.
2. Emissie NO<sub>x</sub> in GC 2030 exclusief kostenverevening.
3. Bij de ondergrens is een mix van aanvullende bestaande SO<sub>2</sub>-maatregelen ingezet, ook bij de emissies die niet samenhangen met energie/mobiliteit. De kosten hiervan zijn zeer beperkt (40 miljoen gulden per jaar).

<sup>2</sup> De emissies van VOS en fijn stof die samenhangen met energie/mobiliteit verminderen maar beperkt omdat een groot deel van deze emissies wordt veroorzaakt door houtkachels bij huishoudens. De houtkachels vallen buiten de scope van de CO<sub>2</sub>-oplossingsrichtingen. De VOS-emissies dalen met name als gevolg van mobiliteitsreductie en efficiencyverbetering in het verkeer. Het gebruik van biobrandstoffen in het verkeer leidt, door een grotere vluchtigheid van biobrandstoffen, in principe tot een toename van de VOS-emissies. Er is verondersteld dat deze toename wordt gecompenseerd door reductiemaatregelen onder invloed van de bestaande Europese normstelling.

## **Mogelijkheden voor verdergaande NO<sub>x</sub>-reductie**

Om het gestelde emissierichtpunt voor NO<sub>x</sub> van 20 – 40 kton in 2030 te kunnen bereiken zal na de CO<sub>2</sub>-startoplossing nog circa 220 kton NO<sub>x</sub> moeten worden gereduceerd (zie tabel 7 en figuur 18). De grootste emissie doet zich nog voor bij verkeer, gevolgd door de industrie (zie figuur 19). Bij verkeer zijn de scheep- en luchtvaart en het vrachtwegverkeer de grootste posten. Een beperkt deel van de NO<sub>x</sub>-emissie (in de industrie, circa 10% van de totale NO<sub>x</sub>-emissies) wordt niet veroorzaakt door verbranding.

Om het emissierichtpunt van NO<sub>x</sub> te bereiken zijn twee sporen verkend:

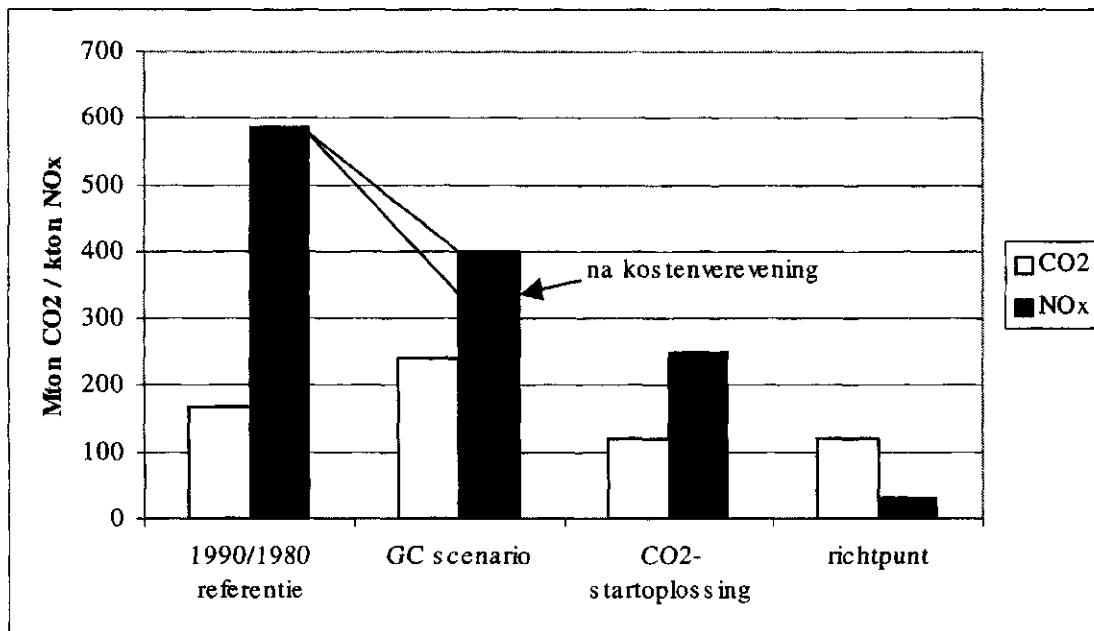
- *CO<sub>2</sub>-startoplossing in combinatie met voor- en nageschakelde NO<sub>x</sub>-reductietechnieken*  
Uitgaande van de CO<sub>2</sub>-startoplossing is verkend in hoeverre met bestaande nageschakelde NO<sub>x</sub>-reductietechnieken het emissierichtpunt wordt bereikt. Het NO<sub>x</sub>-emissierichtpunt blijkt via deze lijn niet te worden bereikt.

- *CO<sub>2</sub>-oplossing met optimalisatie van NO<sub>x</sub>-reductie in combinatie met geavanceerde energiesystemen*

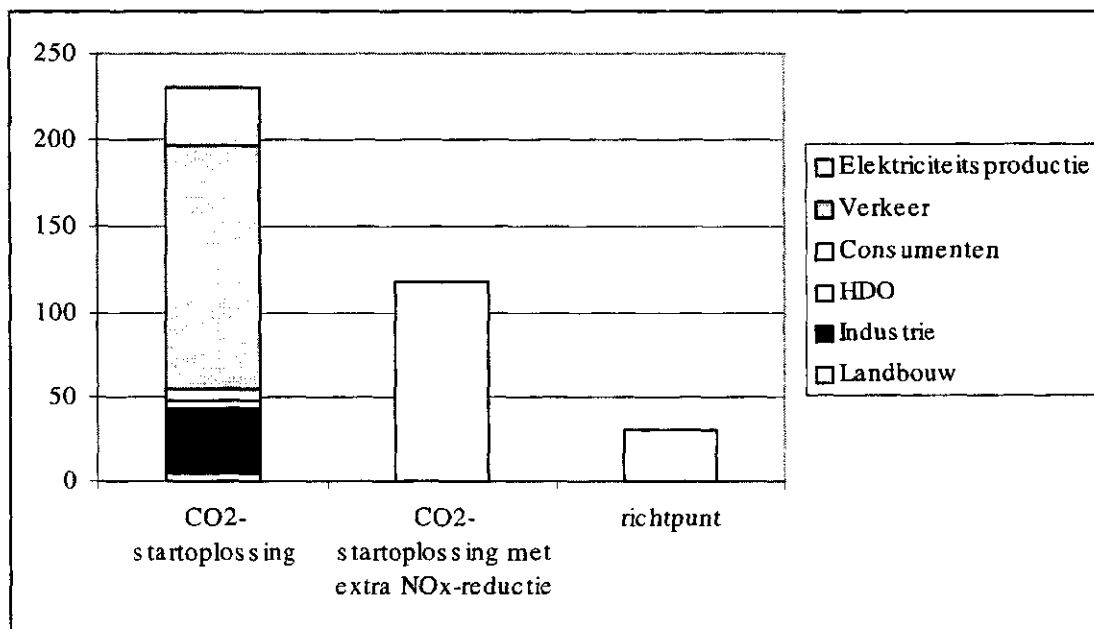
In dit spoor is nagegaan wat nodig zou zijn om het emissierichtpunt wel te bereiken. Hiertoe zijn twee stappen gezet. De eerste stap analyseert hoe bij de samenstelling van de CO<sub>2</sub>-oplossing de NO<sub>x</sub>-reductie zo groot mogelijk kan zijn. Hierbij worden geavanceerde energiesystemen (met name brandstofcel) die zowel een gunstig effect op CO<sub>2</sub> als op NO<sub>x</sub> hebben, ingezet. Het NO<sub>x</sub>-emissierichtpunt wordt dan nog niet gehaald. Om een verdergaande NO<sub>x</sub>-reductie te bereiken zijn in de tweede stap de CO<sub>2</sub>-oplossingsrichtingen maximaal ingezet waarna de rol van geavanceerde energiesystemen verder is verkend.

### CO<sub>2</sub>-startoplossing in combinatie met voor- en nageschakelde NO<sub>x</sub>-reductietechnieken

De CO<sub>2</sub>-startoplossing reduceert de NO<sub>x</sub> emissie in GC 2030 met circa 35% (zie figuur 18).



Figuur 18: CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> emissie in 1990 respectievelijk 1980 en in GC 2030, voor en na de CO<sub>2</sub>-startoplossing en het emissierichtpunt voor 2030



Figuur 19 Indicatie (orde van grootte) van de NO<sub>x</sub> emissie (kton NO<sub>x</sub>) per sector bij de CO<sub>2</sub>-startoplossing in 2030 en ter vergelijking het emissierichtpunt voor 2030

Nagegaan is in hoeverre met (extra en verdergaande) nageschakelde  $\text{NO}_x$ -reductietechnieken het emissierichtpunt voor  $\text{NO}_x$  in 2030 kan worden bereikt. Het betreft met name de autokatalysator en selectieve katalytische reductie (SCR) voor rookgasreiniging. Deze technieken worden reeds ruim toegepast en de beschikbaarheid is dan ook groot zodat op korte termijn successen kunnen worden behaald. Wel geldt dat bij verdergaande reductie dit spoor steeds duurder wordt. Voor steeds kleinere reducties moeten toch dezelfde investeringen worden gedaan (afnemende meeropbrengst). Tevens dreigt een overkill aan technieken te ontstaan, hetgeen mogelijk de aansturing en het draagvlak bemoeilijkt. Uit de berekeningen blijkt dat de  $\text{CO}_2$ -startoplossing gecombineerd met de nageschakelde technieken onvoldoende zijn om het  $\text{NO}_x$ -emissierichtpunt te halen. De  $\text{NO}_x$ -emissie bedraagt namelijk nog circa 120 kton (zie figuur 19). De kosten van de bestaande reductiemaatregelen lopen uiteen van gemiddeld 5 gld/kg  $\text{NO}_x$  in de industrie, raffinaderijen en elektriciteitsproductie tot 30 gld/kg  $\text{NO}_x$  in het verkeer. De totale kosten bedragen 2 à 3 miljard gulden per jaar.

#### *$\text{CO}_2$ -oplossing met optimalisatie van $\text{NO}_x$ -reductie in combinatie met geavanceerde energiesystemen*

Als eerste stap wordt een  $\text{CO}_2$ -oplossing met optimalisatie van  $\text{NO}_x$ -reductie verkend. Hiertoe worden de  $\text{CO}_2$ -reductiemaatregelen die in de  $\text{CO}_2$ -startoplossing geen  $\text{NO}_x$ -meelifteffect hebben gecombineerd met de brandstofcel. Tevens worden hybride en elektrische voertuigen ingezet.

- **Hernieuwbaar:** biobrandstoffen in het verkeer worden ingezet in brandstofcellen in plaats van een verbrandingsmotor; in plaats van het bijmengen van groen gas en biomassa als grondstof in de industrie wordt groengas ingezet via de brandstofcel voor de opwekking van elektriciteit en warmte. Tevens worden in het verkeer hybride en elektrische voertuigen ingezet. De extra elektriciteitsvraag wordt gedekt door schone elektriciteitsopwekking (PV, wind en brandstofcel in combinatie met biomassa en/of fossiel met  $\text{CO}_2$ -opslag);
  - **Schoon fossiel:** de  $\text{CO}_2$ -afvang in de industrie en bij STEG-elektriciteitscentrales wordt vervangen door de opwekking van elektriciteitsproductie en warmte met de brandstofcel.
- Na de eerste stap is de resterende emissie circa 150 kton  $\text{NO}_x$ .

## Brandstofcel

Brandstofcelvoertuigen zijn voertuigen die worden aangedreven door elektromotoren die hun stroom krijgen van een brandstofcel. In een brandstofcel worden waterstof ( $H_2$ ) en zuurstof ( $O_2$ ) omgezet tot waterdamp waarbij elektriciteit vrijkomt.

Waterstof kan buiten het voertuig worden geproduceerd uit water (d.m.v. elektrolyse) of uit koolwaterstoffen, in een thermisch katalytisch proces. De meest efficiënte weg in het geval van koolwaterstoffen is de omzetting van aardgas (methaan =  $CH_4$ ). Waterstof wordt in dat geval aan boord van het voertuig opgeslagen. Het is deze opslag van waterstof die technisch vooralsnog een groot probleem is.

Maar waterstof kan ook aan boord van het voertuig worden gevormd uit bijvoorbeeld methanol ( $MeOH$ ) of benzine gevormd in een zogenaamde reformer. Voordeel van deze route is dat methanol en benzine eenvoudiger aan boord van het voertuig kunnen worden meegenomen, en voor de distributie van methanol of benzine eenvoudig gebruik gemaakt kan worden van de huidige transportbrandstoffen-infrastructuur.

Bij het proces in de brandstofcel zelf is er geen sprake van schadelijke emissies. De enige emissies die met brandstofcellen gemoeid gaan zijn de emissies die vrijkomen bij de productie van waterstof en bij het tanken. Op dit moment wordt de solid polymere fuel cell (SPFC) het meest geschikt geacht voor transportdoeleinden.

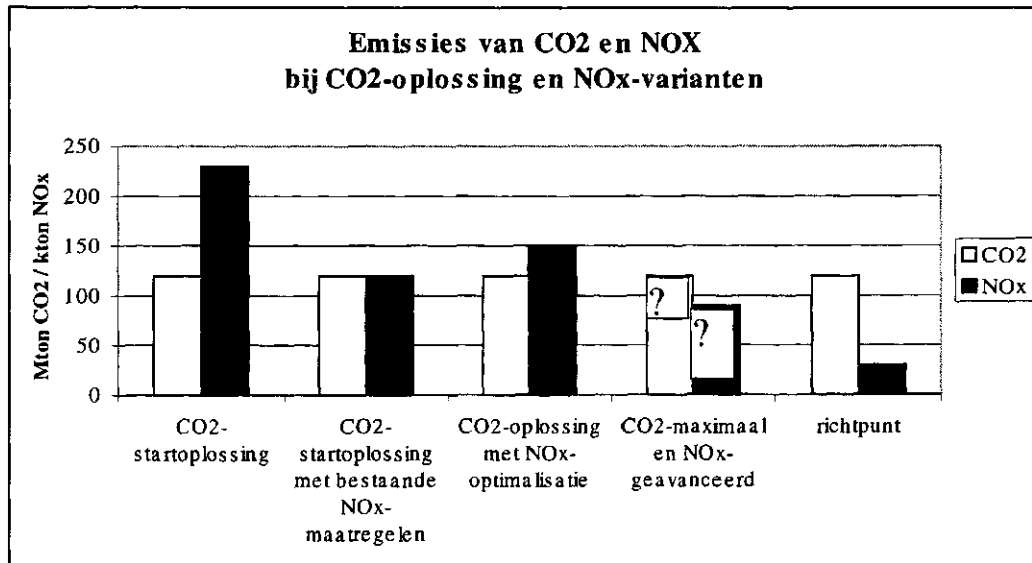
Brandstofcellen zijn ook perspectiefvol voor de opwekking van elektriciteit in stationaire toepassingen. In Gelderland draait sinds kort de grootste brandstofcel ter wereld. Met een vermogen van 100 kW elektrisch wordt zowel elektriciteit als warmte geleverd aan het net met een brandstofrendement van 75%.

In de tweede stap voor verdere  $NO_x$ -reductie zijn alle  $CO_2$ -oplossingsrichtingen maximaal ingezet. Er vinden dan vrijwel geen  $NO_x$ -emissies meer plaats bij het verkeer. De transportmiddelen zijn bijna geheel elektrisch (20%) of maken gebruik van brandstofcellen op biomassa en waterstof (80%). Dit betekent dat er vanaf ongeveer 2015 alleen nog schone transportmiddelen op de markt mogen zijn. De  $NO_x$ -emissies van de elektriciteitsproductie zijn ongeveer één vijfde van de oorspronkelijke emissie in GC 2030. De  $CO_2$ -emissie is dan circa 85 Mton  $CO_2$  d.w.z. ver onder het  $CO_2$ -emissierichtpunt. De  $NO_x$ -emissie is circa 75 kton  $NO_x$  d.w.z. nog boven het  $NO_x$ -emissierichtpunt.

Vervolgens zijn zeer lage  $NO_x$ -branders ingezet. Deze branders zoals keramische en vortex branders zijn technologisch beschikbaar. Voor een doorbraak moeten zij veelal nog worden uitontwikkeld en geschikt worden gemaakt voor commerciële praktijktoepassingen. Bij industriële stoomopwekking waarbij hoge vuurhaardbelasting optreedt moet nog blijken of dergelijke branders geschikt kunnen zijn. Vanwege dergelijke situaties onder andere bij niet-verbrandingsemissies is het mogelijk dat op beperkte schaal alsnog voor- en nageschakelde  $NO_x$ -reductietechnieken worden ingezet. De resterende emissie wordt in dit geval gereduceerd tot circa 25 kton  $NO_x$ . De kosten van de zeer lage  $NO_x$ -branders eventueel aangevuld met de nageschakelde technieken bedragen circa 200 miljoen gulden per jaar.

De totale kosten om het emissierichtpunt te bereiken komen vrijwel geheel voor rekening van de extra inzet van de  $CO_2$ -oplossingsrichtingen en vooral de brandstofcellen. Ten opzichte van de  $CO_2$ -startoplossing zouden de kosten 5 à 10 miljard gulden per jaar hoger zijn.





**Figuur 20** *NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub>-emissie in de CO<sub>2</sub>-startoplossing, de CO<sub>2</sub>-startoplossing in combinatie met voor- en nageschakelde NO<sub>x</sub>-reductiemaatregelen, de CO<sub>2</sub>-oplossing met NO<sub>x</sub>-optimalisatie en de CO<sub>2</sub>-maximaal oplossing in combinatie met geavanceerde energiesystemen (CO<sub>2</sub> maximaal/ NO<sub>x</sub> geavanceerd)*

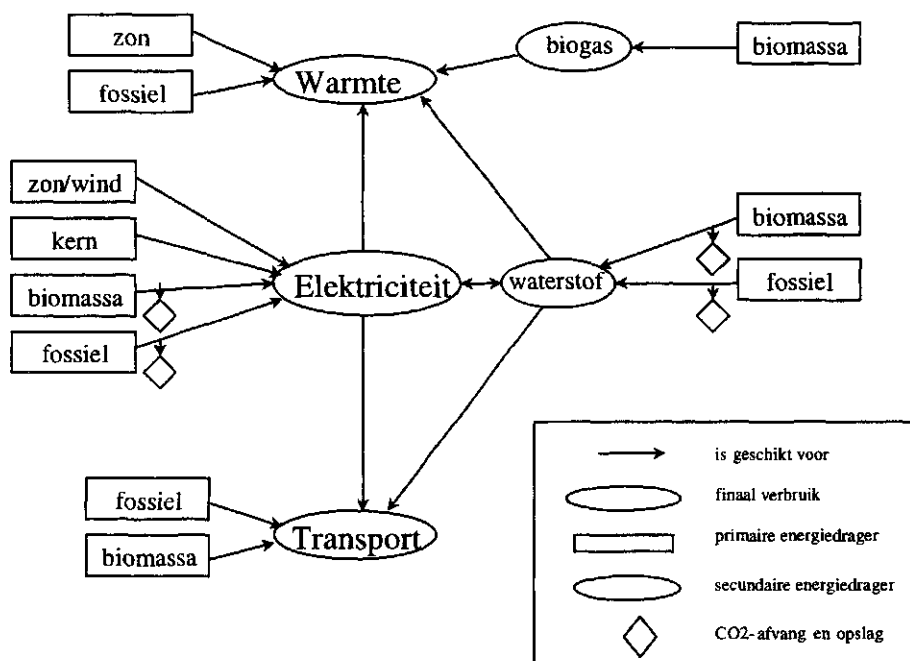
Enkele deelconclusies zijn:

De CO<sub>2</sub>-startoplossing gecombineerd met voor- en nageschakelde NO<sub>x</sub>-reductietechnieken halen het emissierichtpunt niet. Voor het realiseren van het NO<sub>x</sub>-emissierichtpunt dienen de CO<sub>2</sub>-oplossingen maximaal te worden ingezet en is grootschalige toepassing van geavanceerde energiesystemen nodig. Of dit mogelijk is, is de vraag. De belangrijkste vereisten en kanttekeningen zijn:

- De brandstofcel dient op grote schaal te worden toegepast. De vereisten voor de brandstofcel zijn hoog ten aanzien van de ontwikkeling van de technologie, een vergaande penetratie in het verkeer en de elektriciteitsopwekking (met name WKK) en de verandering van de infrastructuur voor onder andere waterstof. De sector verkeer is in een dergelijke situatie voor vrijwel 100% schoon voor de emissies van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOS en fijn stof.
- Aanvullende NO<sub>x</sub>-reductie moet plaats vinden door zeer lage NO<sub>x</sub>-branders en eventueel aangevuld met nageschakelde NO<sub>x</sub>-reductietechnieken daar waar zeer lage NO<sub>x</sub>-branders niet mogelijk zijn.
- Vanwege een nog grotere inzet van hernieuwbare bronnen, schoon fossiel en kernenergie in de elektriciteitsvoorziening zijn de inpasbaarheidsproblemen nog groter dan bij de CO<sub>2</sub>-startoplossing.
- De CO<sub>2</sub>-oplossingsrichtingen zijn in de berekeningen allen voor 100% ingezet. Het is onwaarschijnlijk dat alle oplossingsrichtingen tegelijkertijd voor 100% succesvol kunnen slagen.

## Transitie van de energievoorziening

Er kan op diverse manieren voorzien worden in de finale vraag naar energie. Deze vraag kan worden onderscheiden in vraag naar warmte, elektriciteit en transport. De aanbodopties (fossiel, hernieuwbaar, schoon fossiel en kern) kunnen hier langs verschillende wegen in voorzien. Onderstaande figuur geeft dit aan, waarbij het gebruik als grondstof buiten beschouwing is gelaten.



Momenteel is de inzet van fossiele energie verreweg de dominante route. Dit geldt zowel voor warmte (aardgas), voor elektriciteit (kolen en aardgas) als voor transport (olie). Op verschillende plaatsen in de voorziening vindt weliswaar al inzet van andere bronnen plaats, dit is nu echter nog zeer beperkt. De tabel toont het aandeel van de verschillende bronnen om te voorzien in de vraag naar elektriciteit, warmte en transport.

	1995	GC 2030	CO2-startoplossing	NOx-extra
fossiel	98%	96%	62%	47%
hernieuwbaar	1%	4%	23%	31%
schoon fossiel	0%	0%	9%	14%
kernenergie	1%	0%	5%	8%

De tabel geeft allereerst aan, dat in het GC-scenario de structuur van de energievoorziening slechts licht verandert. Het aandeel van fossiele energie blijft sterk overheersend (daalt van 98 naar 96%). Het bereiken van de kwaliteitsbeelden vergt wel grote veranderingen in de energievoorziening. In de startoplossing van CO<sub>2</sub> daalt het aandeel fossiel naar 60%. De variant, die erop gericht is om verdere NO<sub>x</sub>-reductie te bereiken vergt weliswaar een nog sterkere verandering van de voorziening, het belangrijkste voor deze variant is echter niet de gewijzigde inzet van bronnen, maar meer de inzet van geavanceerde energiesystemen (brandstofcel).

## Conclusies

In dit hoofdstuk zijn de mogelijkheden verkend om de geschetste kwaliteitsbeelden voor 2030 te bereiken. Voor CO<sub>2</sub> is een zestal oplossingsrichtingen verkend. Met deze richtingen worden de reductiemogelijkheden langs de lijn van economie via energie tot milieu verkend. De richtingen structuur en consumptie betekenen veranderingen in de economische activiteit, bij efficiency en hernieuwbaar wordt bij gelijkblijvende economische activiteit minder beslag gelegd op energievoorraden, terwijl kern en schoon fossiel vooral de milieueffecten bij het gebruik van energievoorraden beperken.

Voor NO<sub>x</sub> zijn twee oplossingsrichtingen verkend: goedkope en beschikbare nageschakelde reductietechnieken en dure en nieuwe geavanceerde energiesystemen.

Het onderzoek naar de oplossingsrichtingen en varianten leidt tot de volgende conclusies.

### Kwaliteitsbeelden en daaruit volgende doelstelling

- Het GC-scenario kent een sterke groei van (economische) activiteit gedurende een lange periode. Dit leidt tot een significant grotere benodigde reductie dan in scenario's met een meer gematigde groei.
- De kwaliteitsbeelden zijn zeer ambitieus, voor CO<sub>2</sub> betekent het circa 50% reductie ten opzichte van het verwachte niveau voor 2030, voor NO<sub>x</sub> meer dan 90% reductie ten opzichte van het verwachte niveau.
- De gestelde kwaliteitsbeelden lijken voor wat betreft de CO<sub>2</sub>-emissie theoretisch haalbaar. Dit vergt zeer grote inspanning, zowel vanuit de overheid om de randvoorwaarden te scheppen, als voor de doelgroepen om de uiteindelijke maatregelen te treffen.
- Er is een sterke synergie in reducties bij de scherpe CO<sub>2</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissierichtpunten.
- Het emissierichtpunt voor NO<sub>x</sub> is op basis van voor- en nageschakelde technieken niet te bereiken. Het realiseren van het emissierichtpunt maakt het nodig dat geavanceerde energiesystemen grootschalig worden toegepast. Of dit lukt is de vraag. Veel zal afhangen van tijdige beschikbaarheid en implementatie van één technologie, namelijk de brandstofcel. De vereiste wijzigingen in de energievoorziening zijn nog verdergaand dan bij de CO<sub>2</sub>-oplossing.

### Haalbaarheid oplossingsrichtingen

- Bij een toenemend aantal actoren dat nodig is om de geschetste reductie te bereiken, wordt sturing en beïnvloeding door de overheid en daarmee ook de garantie voor resultaat moeilijker. De lijn economie/energie/milieu waarlangs de oplossingsrichtingen verkend zijn komt grotendeels overeen met de lijn van veel actoren naar weinig actoren.
- Het haalbaar potentieel aan de aanbodkant lijkt groter dan dat aan de vraagkant.
- De kwaliteitsbeelden gecombineerd met het achtergrondscenario leiden tot tijdsdruk. Bij gehanteerde groeipaden van de oplossingsrichtingen wordt meer dan de helft van de totale reductie in de laatste 10 jaar gerealiseerd, uitstel betekent dat juist dit grootste deel niet gerealiseerd wordt.
- Voor veel aanbodtechnologie (PV, wind, kernenergie, CO<sub>2</sub>-opslag) wordt een exponentiële groeicurve voorzien waarmee in 2030 aan de vraag kan worden voldaan. In de tussentijdse tijd ligt de vraag echter op een hoger niveau dan alleen met deze technologieën kan worden gedekt. Hierin schuilt het gevaar dat in de periode 2010-2025 niet aan de vraag kan worden voldaan, tenzij ander, meer conventioneel, vermogen wordt gebouwd. Dat zou dan echter in 2030 vrijwel niet meer mogen draaien, omdat anders het kwaliteitsbeeld niet bereikt wordt.
- Een groot deel van de maatregelen is eigenlijk alleen voorstelbaar indien internationaal vergelijkbare routes worden gekozen. Dit kan weliswaar voor bepaalde bronnen tot een grotere vraag leiden (bijv. biomassa), maar zorgt wel voor beschikbaarheid en ontwikkeling van technologie.

### **De keuze voor/tussen oplossingsrichtingen**

- Een maximale inzet op alle oplossingsrichtingen lijkt nodig om de ambitieuze beelden te bereiken. Gegeven onzekerheden in potentieel/kosten etc is het twijfelachtig om nu al opties buitenspel te zetten. Een voordeel hierbij is dat de inzet van zowel technologie als energiedragers vaak binnen meerdere oplossingsrichtingen passen. Als bijvoorbeeld de ontwikkeling van de brandstofcel succesvol is, maar productie van waterstof uit schoon fossiel tegenvalt, biedt inzet van biomassa (via methanol in de brandstofcel of via waterstofproductie) een alternatief.
- Aan de aanbodkant bestaat er een groot aantal dwarsverbanden dat er toe leidt dat energiedragers voor verschillende functies en op verschillende plekken in de keten kunnen worden ingezet. Dit maakt vaste keuzes om bij voorbaat bepaalde bronnen voor bepaalde energiefuncties in te zetten moeilijk. Alleen als de waterstofroute afvalt komt er erg veel druk op schone elektriciteit te liggen, naast eventuele inzet van biomassa voor warmte en transport, om tot CO<sub>2</sub>-reductie te komen.
- De kosten vormen een onzekere factor, waardoor op voorhand geen duidelijke winnaar kan worden aangewezen. Wel bestaat de kans op een self fulfilling prophecy → waar je voor kiest wordt goedkoper, waar je niet voor kiest blijft duur.
- Ten aanzien van de kosten om CO<sub>2</sub>-reductie te bereiken (ten opzichte van een situatie waarin dat niet gebeurt) kan het volgende onderscheid gemaakt worden tussen de richtingen:
  - Richtingen waar de kosten door de veelheid aan actoren moeilijker eenduidig te bepalen zijn of waarvoor de kosten per ton CO<sub>2</sub> minder maatgevend zijn voor daadwerkelijke realisatie (structuur/consumptie/efficiency).
  - Opties waarvan de kosten hoog zijn en mogelijk nog een tijd lang hoog kunnen blijven, maar die op termijn ook opbrengsten met zich mee kunnen brengen (hernieuwbaar, kern).
  - Opties waarvan de kosten niet al te hoog zijn, maar die, doordat ze een extra bewerkingsstap met zich meebrengen kosten blijven opleveren (schoon fossiel).

## Bijlage 3: Bespreking van de oplossingsrichtingen

*Bijlage 2 schetste zes oplossingsrichtingen voor CO<sub>2</sub>-reductie in de vorm van een beschrijving en de potentiële reductiebijdrage voor CO<sub>2</sub> en overige emissies in relatie tot kritische factoren die implementatie van genoemde oplossingsrichtingen beïnvloeden. Tevens is een 1<sup>o</sup> combinatie van oplossingsrichtingen gepresenteerd die aan de in bijlage 1 geformuleerde emissierichtpunten voldoet (de startoplossing). Daarnaast is een aantal varianten doorgerekend.*

*In deze bijlage beschouwt de werkgroep de oplossingsrichtingen op een abstracter niveau en beoordeelt zij hoe kansrijk of wenselijk dergelijke opties zijn in een bredere maatschappelijke context. Daartoe gebruikt de werkgroep onder andere criteria met betrekking tot:*

- *De effecten, zowel ten aanzien van emissies en overige milieuthema's als ten aanzien van de kwaliteitsbeelden uit de Agendanotitie NMP4 en de overige kabinetsambities.*
- *De haalbaarheid in technologische en in maatschappelijke zin.*
- *De internationale context waarbinnen de noodzakelijke ontwikkelingen gestalte moeten krijgen.*

*Hieronder zijn de meest in het oog springende punten aangegeven (zowel in negatieve als in positieve zin), waarbij de werkgroep geen volledigheid pretendeert.*

### Oplossingsrichtingen: de voor- en nadelen in beeld gebracht

In onderstaande tabel heeft de werkgroep de meest in het oog springende voor- en nadelen van de verschillende oplossingsrichtingen voor CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> in beeld gebracht. Het algemene beeld is dat er geen oplossingen zijn waaraan geen nadelen kleven. De nadelen kunnen echter wel geheel verschillend van aard zijn.

**Tabel 8** De voor- en nadelen van de oplossingsrichtingen samengevat

<b>CO<sub>2</sub>-oplossingsrichting</b>	<b>+/-</b>	<b>belangrijkste voor- en nadelen</b>
Verandering economische structuur door: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wijziging consumptiepatronen</li> <li>• Selectieve economische groei</li> <li>• Dematerialisatie</li> </ul>	+ + - -	vermindert ook de emissies van de overige stoffen draagt ook bij aan de andere NMP4-kwaliteitsbeelden aansturing van wijziging van consumptiepatronen en van dematerialisatie is complex effectief sturen op selectieve economische groei (werken van energie-intensieve bedrijven) staat op gespannen voet met andere ambities, kabinet en politiek is daarom twijfelachtig
Verandering van gedrag door: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermindering direct energiegebruik thuis</li> <li>• Andere consumptiepatronen</li> <li>• Minder/andere mobiliteit</li> </ul>	+ + + -	consumenten aanspreken op gedrag kan ook een middel zijn om de kennis over en het gedrag voor klimaatbeleid te vergroten aanspreken op gedrag draagt ook bij aan implementatie van technologische oplossingen (zie andere oplossingsrichtingen) vermindert ook de emissies van de overige stoffen aanspreken op gedrag is niet populair en kan ook verkeerd uitpakken (de overheid met het vingertje)
Efficiencyverbetering door: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesoptimalisatie/ vernieuwing</li> <li>• Systeemoptimalisaties</li> </ul>	+ + -	heeft in beginsel een structureel effect vermindert ook de emissies van de overige stoffen qua instrumentatie complex (veel actoren, soms niet gevoelig voor prijsprikkels)

<b>CO<sub>2</sub>-oplossingsrichting</b>	<b>+/-</b>	<b>belangrijkste voor- en nadelen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verlaging energiebehoefte woningen/gebouwen</li> <li>• Betere apparaten</li> </ul>	-	in sommige sectoren gaan de kosten behoorlijk omhoog
Hernieuwbare bronnen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• zon-pv op daken/infrastructuur</li> <li>• windparken op Noordzee</li> <li>• grootschalig import biomassa</li> </ul>	+ + - -	oplossing spreekt burger aan (hoge 'feel good' factor) zon en wind verminderen ook emissies van de overige stoffen, biomassa niet voorlopig hoge kosten (met name zon-pv) concurrentie met andere ruimtelijke functies (met name bij biomassa); kan op gespannen voet staan met andere kwaliteitsbeelden (windparken Noordzee, biomassateelt in relatie tot biodiversiteit)
Schoon fossiel bij: <ul style="list-style-type: none"> <li>• de industrie (kunst en olieraffinage)</li> <li>• de elektriciteitsproductie</li> <li>• via bijmenging van waterstof in het aardgasnet</li> </ul>	+ + + +/- - - - -	door koppeling aan energievoorziening kunnen in beginsel snel grote reducties worden bereikt bij lage prijzen van fossiele brandstoffen een relatief goedkope maatregel wegbereider van waterstofinfrastructuur vermindert soms ook de emissies van de overige stoffen oplossing spreekt niet iedereen aan (wordt door sommigen gezien als inferieure end-of-pipe techniek, als niet structureel en als blokkade voor hernieuwbare bronnen) vereist extra energie (afvang en opslag); infrastructuur ontbreekt nog (nog een oplossingseigenaar) nog geen ervaring met ondergrondse opslag en risico's
Kernenergie (5.000 tot 7.000 MW in 2030)	+ + - - -	vermindert ook de emissies van de overige stoffen in beginsel kunnen relatief snel grote reducties worden bereikt veiligheidsaspecten kernreactoren niet fundamenteel opgelost problematiek afvalberging niet opgelost maatschappelijk draagvlak ontbreekt
<b>NO<sub>x</sub>-oplossingsrichting</b>		<b>Belangrijkste voor- en nadelen</b>
Geavanceerde conversiesystemen (zoals katalytische branders en brandstofcel)	+ + - -	verminderen ook de andere emissies, waaronder CO <sub>2</sub> mogelijkheden tot integratie met schoon fossiel/CO <sub>2</sub> -opslag kostbaar, prijsverschil met conventionele systemen moet overbrugd worden nog verdere technologische ontwikkeling nodig
Voor- en nageschakelde systemen	+ -	kunnen als technologie relatief gemakkelijk worden toegevoegd bij grootschalige toepassing in de toekomst mogelijk concurrent van geavanceerde systemen

De werkgroep trekt met betrekking tot de zes oplossingsrichtingen de volgende conclusies:

### **Verandering van economische structuur**

Selectieve economische groei door middel van het weren van energie-intensieve sectoren, dan wel het stimuleren van energie-extensieve, geeft geen garantie dat er mondiaal gezien CO<sub>2</sub>-winst wordt geboekt. Geweerde bedrijvigheid zal zich immers in het buitenland vestigen met een even grote of zelfs hogere CO<sub>2</sub>-emissie. Wel zal het de maatschappelijke kosten voor Nederland, die moeten worden opgebracht om de nationale reductieverplichting te halen, verlagen. Het toelaten van extra energie-intensieve bedrijvigheid (met extra emissies) betekent immers dat elders in de samenleving extra reducties tegen de marginale kosten moeten worden gerealiseerd. Of dit aanvaardbaar is, is vooral een politieke keuze.

Voor innovatie van de productiestructuur zonder dat de functies worden aangetast, bestaat vrijwel zeker meer draagvlak. Een voorbeeld hiervan is dat producten van de Nederlandse glastuinbouw niet langer via een fysieke, maar via een virtuele veiling worden verkocht. Hiermee kan het transport worden beperkt. Bijkomend voordeel is dat nieuwe maatschappelijke dragers zich hiervoor aandienen ("nieuwe economie").

Verandering van economische structuur als gevolg van verandering van consumptiepatronen heeft een (ook mondiaal) positief CO<sub>2</sub>-effect, indien er sprake is van een toeneming van energie-extensieve sectoren. Het door VROM uitgevoerde Perspectief-project heeft laten zien dat verandering van consumptiepatronen belangrijke reducties kan opleveren. Een voorwaarde is wel dat de consument sterk gemotiveerd is. De werkgroep beveelt aan om de principes van dit project te verhalen naar een veel grootschaliger benadering en instrumentatie daarvan. Van belang is dat de overheid de consument daarbij keuzemogelijkheden biedt en niet optreedt als "voorschrijver" (met het vingertje).

Een duurzame economie veronderstelt onder andere dat het beleid stuurt op de niet-duurzame effecten van energiegebruik en niet op de behoeften die daaraan ter grondslag liggen (mobiliteit, een verwarmd huis, etc.). Het wijzigen van de economische structuur met als doel het reduceren van CO<sub>2</sub>-emissies zou dan ook slechts in uitzonderingsgevallen het directe object van overheidshandelen moeten zijn. Anderzijds beïnvloedt de overheid wel de economische structuur door bijvoorbeeld investeringen op het gebied van economische structuurversterking (ICES), algemene en specifieke stimuleringsregelingen van kennis- en technologieontwikkeling, belastingstelsel en investeringspremies. De werkgroep is van mening dat het effect op de CO<sub>2</sub>-emissie bij deze instrumenten als een beoordelingscriterium moet worden meegenomen.

### **Verandering van gedrag**

In de beschrijving van deze oplossingsrichting wordt de burger beschouwd in zijn rol als consument. Hoewel het keuzegedrag van consumenten slechts een beperkte kwantitatieve bijdrage kan leveren aan de benodigde reductie, is de oplossingsrichting 'gedrag' toch van groot belang: de burger wordt hier direct aangesproken op zijn (mede)verantwoordelijkheid en op de mate waarin hij bij kan dragen aan de oplossing. De probleemperceptie en het 'oplossingsbewustheid' zijn bepalende ingrediënten voor de opstelling van de burger in andere rollen: als kiezer, als spreker of in allerlei maatschappelijke verbanden.

Draagvlak voor deze oplossingsrichting is niet evident aanwezig. Zo constateert het Sociaal Cultureel Planbureau een afnemende belangstelling voor milieu en duurzaamheid onder de bevolking. Het probleem bij de hier bedoelde gedragsaanpassing zit vooral in de beperking van de keuzevrijheid en in het probleembesef. Minder energiegebruik door middel van technologische oplossingen spreekt veel burgers aan ("de overheid krijgt de burger toch niet uit de auto, ze moeten maar zorgen dat er zuiniger auto's komen")

Gedrag door consumenten ten aanzien van direct energiegebruik is een afweging van:

- de directe opbrengst van de activiteit (een warm huis, comfort, recreatie, sociale en maatschappelijke contacten via mobiliteit).
- de subjectieve waardering (feel good factor) van de activiteit (status, peer pressure, milieubewustzijn).
- en de kosten.

Het beïnvloeden van deze afweging betekent dat mensen inleveren op de directe opbrengsten, waarvoor zij vervolgens compensatie zoeken in hetzij de subjectieve waardering, hetzij de kosten. Ingrijpen op de kosten kan via prijsinstrumenten. Omwille van het draagvlak dient echter vooral de subjectieve waardering te worden versterkt: zuinigheid, innovatie en efficiëntie als statussymbolen, milieuwinst en solidariteit als meerwaarde.

Bij het indirecte energiegebruik bepaalt een vergelijkbare afweging in termen van kwaliteit van producten, uitstraling en prijs de keuze. Om CO<sub>2</sub>-intensiteit binnen die afweging een rol te laten spelen is informatievoorziening op het niveau van producten een eerste vereiste. Een dergelijke CO<sub>2</sub>-labeling kan de uitstraling beïnvloeden als de klant daar gevoelig voor is en zo bijdragen aan de subjectieve waardering. De werkgroep verwijst ook op dit punt naar de ervaringen uit het Perspectiefproject. Een verdergaande stap zou een CO<sub>2</sub>-heffing op producten zijn die via de kosten het keuzegedrag van de consument verder beïnvloedt. Dit vraagt het vaststellen van kengetallen voor een heffingsgrondslag ergens in de productieketen. Dit zal ongetwijfeld zeer omstreken zijn (omslachtig, complex, bureaucratisch). De werkgroep beschouwt dit als een niet realistische route.

De conclusie is dat gedragsbeïnvloeding kan bijdragen aan de oplossing wanneer de subjectieve waardering van energiezuinig handelen wordt versterkt; betrouwbare informatievoorziening over tot de energie-effecten van gedrag, hetzij via prijsprikkels, hetzij via productlabeling, is daarvoor essentieel.

Daarvoor ontstaat ook de mogelijkheid van concurrentie op milieuwaarden. Daarmee komt ook het gedrag van andere spelers in de keten productie-consumptie in beeld. Het toenemend aantal producenten en retailers dat zich profileert met 'verantwoord ondernemen' wijst op gevoeligheid voor consumentenpressie.

### **Verbetering energie-efficiency**

Onder de oplossingsrichting energie-efficiency verstaat de werkgroep het vervullen van dezelfde functies met minder energie (incl. doorbraaktechnologie en systeeminnovaties). Verandering van functies valt onder structuur- of gedragsverandering.

ECN en RIVM rekenen (zie bijlage 2), uitgaande van een hoge economische groei met een forse 'autonome' efficiencyverbetering van 1,3% per jaar. Door extra inspanning (beleid, technologie) zou dat maximaal 2% per jaar kunnen worden (in de gebouwde omgeving hoger, in de industrie lager). Daarmee zou efficiencyverbetering een forse bijdrage kunnen leveren aan de beoogde reductie van CO<sub>2</sub>-emissies. Ook voor de overige emissies heeft efficiencyverbetering een positief effect.

Zaken die opvallen zijn:

- Er zal een enorme verschuiving optreden in de kracht-warmteverhouding van Nederland: in vrijwel alle gebruikssectoren zien we een forse groei van het elektriciteitsgebruik en een minstens zo grote daling van het warmtegebruik.
- De directe CO<sub>2</sub>-uitstoot van de gebruikssectoren neemt af en verplaats zich naar de 'sector' elektriciteitsopwekking.
- De kosten van de extra efficiencyverbetering zullen aanzienlijk zijn, aangezien het GC-scenario al uitgaat van een forse verbetering (gebouwde omgeving f 15.000,- per woning, f 350,- per ton CO<sub>2</sub>; bij systeeminnovaties in glastuinbouw en industrie gemiddeld enkele honderden guldens per ton).



- Binnen de sector verkeer is er een forse trend richting verbeterde efficiency van motoren, die echter voor een groot deel teniet gedaan wordt door het toenemend voertuiggewicht en mobiliteitsgroei.

De hoofdconclusie is dat efficiencyverbetering een belangrijke bijdrage kan leveren aan het CO<sub>2</sub>-beleid maar dat het zeker niet genoeg is. De overheid bevordert efficiencyverbetering op dit moment via een groot aantal instrumenten: door normstelling, regelgeving en subsidies en prijsprikkels. Daarnaast wordt het instrument van convenanten meer en meer toegepast (benchmark-convenant, Europese afspraken met auto-industrie).

### Hernieuwbare bronnen

Van alle denkbare oplossingsrichtingen is die van hernieuwbare bronnen (zon, wind en biomassa) op het eerste gezicht het meest aantrekkelijk: bij toepassing komt energie beschikbaar per saldo zonder emissie van CO<sub>2</sub> en zonder een hypotheek op te bouwen voor toekomstige generaties. Een aantal factoren maakt echter dat de bijdrage van binnenlandse hernieuwbare bronnen (zon, wind en biomassa) in 2030 aan de energievoorziening beperkt zal blijven tot hooguit 10%. De bijdrage aan de extra beleidsopgave van 130 Mton CO<sub>2</sub> in 2030 zou daarmee 15 tot 20 Mton bedragen. De bijdrage van hernieuwbare bronnen aan de beleidsopgave kan (aanzienlijk) worden vergroot door de import van biomassa.

De beperkende factoren ten aanzien van de binnenlandse bijdrage van hernieuwbare bronnen hebben betrekking op de verwachtingen ten aanzien van de kosten en op het ruimtebeslag.

- Voor plaatsing van zon-pv op restructies (geschikte daken van woningen en gebouwen en langs rijkswegen) is een haalbare bijdrage ingeschat van circa 2% van het nationale energiegebruik in 2030. Een aanzienlijke kostenverlaging (schaalvoordeel) is daarvoor noodzakelijk. Een zon-pv centrale wordt voor Nederlandse omstandigheden als onrealistisch gezien (te duur in vergelijking met andere opwekmethode en een prohibitief groot ruimtebeslag).
- De bijdrage van windenergie op land is relevant maar tegelijkertijd beperkt. Het potentieel kan belangrijk worden vergroot door buitengaats plaatsing op de Noordzee. Bij een zeer ambitieus plaatsingstempo zou in 2030 10.000 tot 15.000 MW windenergievermogen kunnen ontstaan waarmee circa 5% van de nationale energievraag wordt gedekt. Dit impliceert 10 tot 150 projecten à la Egmond aan Zee (het voorziene demonstratieproject) en een benodigd oppervlak van mogelijk 40 bij 40 km. Ook hier zullen de kosten en het ruimtebeslag uiteindelijk bepalend zijn of dit toekomstbeeld realistisch is.
- via binnenlandse biomassastromen kunnen enkele procenten van het nationale energiegebruik worden gedekt. Het betreft hier bestaande reststromen die geen additioneel ruimtebeslag vergen. De bijdrage van biomassa kan aanzienlijk worden vergroot door import (ondermeer in de vorm van hout of biofuels). De toepassingsmogelijkheden zijn groot, op korte termijn bij de elektriciteitsopwekking en in de toekomst ook via de vervanging van de huidige vloeibare en gasvormige energiedragers (aardgas en motorbrandstoffen) door biofuels en waterstof. Belangrijke vragen zijn of er voldoende biomassa beschikbaar is indien ook andere landen grootschalig biomassa gaan importeren en hoe dit zich verhoudt tot het streven naar behoud van de mondiale biodiversiteit.

### **Schoon fossiel**

De oplossingsrichting 'schoon fossiel' (het zodanig gebruiken van fossiele brandstoffen dat, in combinatie met CO<sub>2</sub>-opslag in de diepe ondergrond, geen CO<sub>2</sub>-emissie meer plaats vindt) kan een belangrijke bijdrage leveren aan de reductie van CO<sub>2</sub>-emissies in de industrie en bij de elektriciteitsopwekking. Indien in de toekomst waterstof op voldoende grote schaal toepassing vindt als energiedrager kan ook bij de productie van waterstof uit fossiele brandstoffen CO<sub>2</sub> worden afgevangen en opgeslagen. Capaciteit voor ondergrondse opslag is ook in Nederland geen beperkende factor.

Ten aanzien van overige emissies levert 'schoon fossiel' geen voordeel op bij de industrie of bij de elektriciteitsopwekking. Bij waterstofproductie uit fossiele brandstoffen met CO<sub>2</sub>-opslag is er wel een positie meelift-effect, met name bij toepassing van brandstofcellen.

Maatschappelijk gezien is 'schoon fossiel' omstreden. Sommigen beschouwen het als een goedkope en zeer doeltreffende reductiemethode die de broodnodige zekerheid kan bieden bij het halen van reductieverlichtingen. Anderen wijzen het af als een inferieure end-of-pipe techniek die de introductie van de hernieuwbare bronnen alleen maar vertraagt.

Bij schoon fossiel/CO<sub>2</sub>-opslag doet zich het probleem voor dat er geen prikkels zijn om de oplossingsrichting tot ontwikkeling te brengen, omdat er geen 'oplossingseigenaar' is. Het is een niet-gangbare optie die nog omstreden is. De markt pakt dit niet zonder meer op en wacht op de overheid. De optie vereist samenwerking tussen partijen. Er zijn bedrijven waar CO<sub>2</sub> afgevangen kan worden maar voor de transport naar de injectieputten en voor de opslag zelf is er nog geen partij. Een oplossingseigenaar zou zich met name hierop moeten richten. Misschien moet de overheid deze rol tijdelijk gaan vervullen. Een samenwerkingsverband binnen de energiesector is op dit moment (met de toenemende marktwerking) weinig kansrijk.

### **Kernenergie**

De optie kernenergie heeft in Nederland vrijwel geen maatschappelijk draagvlak. Issues zijn de reactorveiligheid, de veiligheid van de splijtstofketen en het radioactieve afval. Deskundigen menen dat een nieuw reactorconcept als opvolger van de huidige generatie LWR's (lichtwaterreactoren), de HTGR (Hoge Temperatuur Gas-gekoelde Reactor), aan deze bezwaren deels tegemoet kan komen. Of hiermee kan worden voldaan aan de randvoorwaarden die de overheid ten aanzien van veiligheid stelt, zal in de toekomst bij een eventuele heroverweging moeten blijken. Of daarmee ook het maatschappelijk draagvlak kan worden verkregen is van doorslaggevende betekenis.

### **Additionele oplossingsrichtingen voor NO<sub>x</sub>**

Uit de RIVM-analyse blijkt dat na de CO<sub>2</sub>-startoplossing de emissiedoelen voor de overige stoffen in 2030 slechts gedeeltelijk worden gehaald. Ten opzichte van de berekende emissies in 2030 zijn extra reducties nodig van VOS (80-90%), SO<sub>2</sub> (10-45%), NO<sub>x</sub> (80-90%) en fijn stof (10-100%). De additionele oplossingsrichtingen richten zich met name op emissiereductie van NO<sub>x</sub>, omdat de restemissies van VOS en fijn stof slechts voor een klein gedeelte ontstaan in verbrandingsprocessen. De inspanning van SO<sub>2</sub> is relatief klein en lift gedeeltelijk mee in de oplossingsrichtingen voor NO<sub>x</sub>.

De additionele oplossingsrichtingen zijn:

- Forser dan voor CO<sub>2</sub> nodig is in zetten op schone conversiesystemen (brandstofcellen en geavanceerde branders), waarbij naar verwachting extra reducties van CO<sub>2</sub> worden gerealiseerd.
- Toepassing van voor- en nageschakelde technieken waarmee zeer grote reducties kunnen worden gerealiseerd op individuele stoffen.

### Geavanceerde conversiesystemen

Brandstofcellen en geavanceerde branders zijn in een gevorderd stadium van ontwikkeling. Enkele producten zijn commercieel verkrijgbaar. Ontwikkelingen in de automobielbranche zijn er op gericht om de brandstofcel in 2004 grootschalig (100.000 stuks) op de markt te brengen.

Voor 95% reductie van NO<sub>x</sub> is een (bijna) volledige penetratie van de brandstofcel in de sectoren transport, elektriciteitsvoorziening, huishoudens en landbouw nodig. Vooral als gekozen wordt voor toepassing van andere (schone) energiedragers betekent dit een groot-schalige verandering van de infrastructuur (tankstations, transport van waterstof en transport/opslag van warmte).

Het is echter nog de vraag of brandstofcellen bij massaproductie goedkoper zullen zijn dan conventionele alternatieven (gasmotoren en gasturbines). Hetzelfde geldt voor geavanceerde branders. Financiële prikkels zullen moeten zorgen voor een marktvraag naar schonere technologie.

Introductie van een stationaire brandstofcel heeft als consequentie een toename van decentrale elektriciteitsproductie. Hierop moet de energievoorziening in Nederland worden ingericht: afname centraal vermogen, verlaging van warmte/kracht-verhouding in het energie-aanbod en aanpassing van de regelbaarheid van een betrouwbare elektriciteitsvoorziening.

### Voor- en nageschakelde technieken

Voor 95% reductie van NO<sub>x</sub> is, waar schone conversiesystemen niet (binnen de gestelde termijn) toepasbaar zijn, een volledige penetratie van voor- en nageschakelde technieken nodig omdat het reductierendement van deze technieken soms niet groter is dan 80-90%. Voor het realiseren van een dergelijke penetratiegraad verdient een Europese aanpak de voorkeur. Voor de lange termijn kunnen voor en nageschakelde technieken als concurrent optreden voor de toepassing van schone energiesystemen.

