

# *Schoon en Zuinig in breder perspectief*

De effecten op het  
luchtbeleid en de  
betekenis voor de  
lange termijn

Beleidsstudies



# ***Schoon en Zuinig* in breder perspectief**

## De effecten op het luchtbeleid en de betekenis voor de lange termijn

R.A. van den Wijngaart, J.P.M. Ros



Planbureau voor de Leefomgeving



### **Schoon en Zuinig in breder perspectief**

De effecten op het luchtbeleid en de betekenis voor de lange termijn

© Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Bilthoven, april 2009  
PBL-publicatienummer 500115009  
ECN-projectnummer 77889

Contact: [ruud.vandenwijngaart@pbl.nl](mailto:ruud.vandenwijngaart@pbl.nl)

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

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Planbureau voor de Leefomgeving, de titel van de publicatie en het jaartal.'

Het Planbureau voor de Leefomgeving is hét nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van het strategische overheidsbeleid door een brug te vormen tussen wetenschap en beleid en door gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd, verkenningen, analyses en evaluaties te verrichten waarbij een integrale benadering voorop staat.

Vestiging Bilthoven  
Postbus 303  
3720 AH Bilthoven  
T: (030) 274 2745  
F: (030) 274 44 79

Vestiging Den Haag  
Postbus 30314  
2500 GH Den Haag  
T: (070) 328 87 00  
F: (070) 328 87 99  
E: [info@pbl.nl](mailto:info@pbl.nl)  
[www.pbl.nl](http://www.pbl.nl)

# Abstract

Air quality and clean technology benefit from the climate policy programme *Schoon en Zuinig*

The proposed climate policy of the programme *Schoon en Zuinig* (Clean and Efficient), intended to reach climate and energy targets for the Netherlands by 2020, also contributes to the reduction in air pollution. The synergy occurs mainly through the closure of outdated power generation plants which have become redundant because of electricity savings and the increase in wind energy production. Another factor, also adding to the synergy, is a reduction in the amount of vehicle-driven kilometers. *Schoon en Zuinig* also contributes to the development of clean technologies required to reach the climate targets in the long term. Examples are off-shore wind power plants and coal-fired power plants with carbon capture and underground storage. However, some other options of *Schoon en Zuinig* are not clean enough to realize long-term targets for reducing greenhouse gases in the Netherlands. This is the case, for example, with the new planned natural gas fired power plants that have no carbon capture and storage, and with the current generation of biofuels for transport.

This report shows how climate policy improves the air quality and contributes to the development of clean technologies, in the long term.

Key words: Climate policy; energy policy; air quality policy; greenhouse gases; air pollutants; technology development; innovation



# Inhoud

- Abstract 5
- Samenvatting 9
- 1 Inleiding 13
  - 1.1 Doel en vraagstelling 13
  - 1.2 Aanpak 13
- 2 Potentieel en kosten van klimaat- en energiedoelen 17
  - 2.1 Nederlandse en Europese klimaat- en energiedoelen 17
  - 2.2 Doelbereik van kosteneffectieve maatregelpakketten en het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* 19
  - 2.3 Potentieel en kosten van klimaat- en energiemaatregelen 21
  - 2.4 Het nationale klimaatdoel is lastig verenigbaar met EU breed emissieplafond van de ETS-sectoren 24
  - 2.5 Conclusies 26
- 3 Synergie met luchtbeleid 29
  - 3.1 Neveneffect op emissies van luchtverontreinigende stoffen 29
  - 3.2 Kosten en realisatie van luchtdoelen 31
  - 3.3 Effecten van klimaatbeleid op luchtkwaliteit op langere termijn 32
  - 3.4 Conclusies 33
- 4 Betekenis van *Schoon en Zuinig* voor de lange termijn 35
  - 4.1 Emissiereductiedoelstellingen voor broeikasgassen in 2050 35
  - 4.2 Opties voor de lange termijn 37
  - 4.3 Pakketten van maatregelen voor realisatie van doelen 40
  - 4.4 De structurele meerkosten in 2050 43
  - 4.5 De kosten in de leerperiode tot 2050 44
  - 4.6 Beleidsmatige ondersteuning in *Schoon en Zuinig* 46
  - 4.7 Conclusies 50
- Literatuur 53
- Colofon 55





# Samenvatting

Het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* draagt er niet alleen aan bij dat de broeikasgasemissie in 2020 zal zijn teruggedrongen. Ook stimuleert het een afname van de luchtverontreiniging tot 2020 en de ontwikkeling van schone technologie op de lange termijn (2050). De positieve bijdrage aan het luchtbeleid zal jaarlijks toenemen en leidt tot een kostenbesparing van 45 tot 90 miljoen euro in 2020. Deze kostenbesparing is echter relatief gering vergeleken met de kosten van het Werkprogramma (8 tot 9 miljard euro in 2020). Voor de periode na 2020 geldt dat in deze eeuw verdergaande broeikasgasreducties nodig zijn om de mondiale temperatuurverandering te beperken tot maximaal 2 °C. Vanuit dit langetermijnperspectief zijn in de toekomst zeer schone technologieën nodig. Voorbeelden van zulke zeer schone technologieën zijn al in *Schoon en Zuinig* te vinden: wind op zee en kolencentrales met afvang en ondergrondse opslag van CO<sub>2</sub>. Andere opties die in het Werkprogramma worden genoemd zijn niet schoon genoeg om de op termijn gewenste broeikasgasreductie op eigen grondgebied te realiseren: de nieuwe elektriciteitscentrales op aardgas en de huidige generatie biobrandstoffen voor het verkeer.

## Doel van het rapport

In eerdere studies hebben PBL en ECN het potentieel en de kosten van de klimaat- en energiemaatregelen in het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* verkend. In dit rapport staan twee nieuwe invalshoeken centraal. In de eerste plaats de vraag of het klimaat- en energiebeleid van *Schoon en Zuinig* synergie oplevert met het luchtbeleid:

- Wat zijn de gevolgen van het klimaat- en energiebeleid voor de emissies van luchtverontreinigende stoffen in Nederland in 2020?
- Tot welke kostenbesparing van het luchtbeleid leidt dit in 2020?

In de tweede plaats de langetermijnimplicaties van *Schoon en Zuinig* vanuit een innovatief technologisch perspectief:

- Welke technologieën zijn in 2050 nodig?
- Welke kosten zijn daarmee gemoeid?
- Welke van deze technologieën worden met het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* al daadwerkelijk gestimuleerd?

De analyse beperkt zich tot de elektriciteitssector en het wegverkeer. De conclusies zijn globaal van aard. Ze zijn vooral bedoeld om meer inzicht te krijgen in de mate waarin de voor 2020 geformuleerde doelen uit *Schoon en Zuinig* de weg voorbereiden voor het realiseren van de langeretermijn doelstellingen van de EU. Voor verkeer zijn meerdere langetermijnklimaatroutes en scenario-onzekerheden verkend in de

publicaties *Duurzame innovatie in het wegverkeer* (ECN, 2009a), *Elektrisch rijden - Evaluatie van transitie op basis van systeemopties* (PBL, 2009) en *Moving in the right direction* (PBL/ECN, in voorbereiding).

## De luchtverontreinigende emissies (NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>) nemen af maar de kostenbesparing is gering

Het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* levert een positieve bijdrage aan het luchtbeleid. De klimaat- en energiemaatregelen leiden niet alleen tot een afname van broeikasgassen, maar veelal ook tot vermindering van prioritair luchtverontreinigende emissies. Deze synergie met het luchtbeleid doet zich vooral voor bij de emissiereductie van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>, in geringere mate bij NMVOS en vrijwel niet bij NH<sub>3</sub> en de fijnere fractie van fijn stof (PM<sub>2,5</sub>). Worden de doelen van *Schoon en Zuinig* gerealiseerd, dan betekent dit dat de binnenlandse emissie van broeikasgassen in 2020 met circa 24% zal zijn afgenomen vergeleken met een situatie waarbij geen intensivering plaatsvindt van het klimaat- en energiebeleid. Voor de luchtmissies van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> zal de afname tot 2020 circa 6 tot 7% bedragen. De synergie treedt vooral op bij de sluiting van 'oude' elektriciteitscentrales: centrales die overbodig worden door elektriciteitsbesparing en een toename van windenergie. Ook energiebesparing en de afname van het aantal gereden autokilometers draagt bij aan de synergie. Daarentegen leiden de maatregelen uit *Schoon en Zuinig* voor de niet-CO<sub>2</sub>-broeikasgassen, energiezuiniger voertuigen en biobrandstoffen in verkeer, de inzet van biomassa in elektriciteitscentrales en CO<sub>2</sub>-opslag in de kunstmestindustrie niet tot een synergie met het luchtbeleid. De CO<sub>2</sub>-opslag bij kolencentrales leidt tot een geringe verhoging van de NO<sub>x</sub>-emissie en tot een grote bijdrage aan de SO<sub>2</sub>-reductie.

Het gunstige effect dat de *Schoon en Zuinig*-maatregelen op de luchtmissies hebben, maakt dat minder aanvullende luchtmaatregelen nodig zijn om de nieuwe (nog vast te stellen) emissieplafonds voor de luchtverontreinigende stoffen in 2020 te halen. Het kostenvoordeel van de vermeden luchtmaatregelen zal zijn opgelopen tot 45 à 90 miljoen euro in 2020. Daarnaast kan ook bij het al vastgestelde luchtbeleid een kostenbesparing optreden. Een voorbeeld is het uitsparen van installaties om rookgassen te ontzwellen bij nieuwe kolencentrales. Er zijn immers minder nieuwe kolencentrales nodig vanwege een lagere elektriciteitsvraag door elektriciteitsbesparing en een toename van schone elektriciteitsproductie zoals windenergie. Mogelijk is de kostenbesparing op het vastgestelde beleid enkele

malen groter dan die bij het aanvullende luchtbeleid. Vanuit de optiek van het klimaat- en energiebeleid is het kostenvoordeel echter relatief gering. De jaarlijkse kosten voor het behalen van de doelen van *Schoon en Zuinig* liggen namelijk in de orde van 8 tot 9 miljard euro in 2020. Op de langere termijn is mogelijk wel een grotere synergie van de klimaat- en energiemaatregelen met het luchtbeleid te verwachten. Bijvoorbeeld door de toepassing van nieuwe voertuigtechnologieën zoals elektrische auto's en/of met waterstof aangedreven auto's.

#### Windenergie op zee en afvang en opslag van CO<sub>2</sub> leveren een belangrijke bijdrage aan de langetermijndoelstellingen; elektriciteitscentrales op aardgas en de huidige generatie biobrandstoffen niet

In hoeverre stimuleren de doelstellingen van het *Werkprogramma Schoon en Zuinig* – deze lopen tot en met 2020 – nu al de ontwikkeling van de zeer schone technologieën die nodig zijn om de langeretermijndoelstellingen van Nederland en de Europese Unie – een mondiale temperatuurverandering van maximaal 2 °C – te realiseren?

Uit de analyse blijkt dat het kabinetsdoel van 30% minder broeikasgasemissie in 2020 naar verwachting leidt tot meer toepassing van technologieën zoals windenergie op zee en kolencentrales met CO<sub>2</sub>-afvang en -opslag (CCS). Ook het kabinetsdoel voor hernieuwbare energie geeft een extra impuls aan de toepassing van windenergie op zee. Deze twee technologieën leveren een belangrijke bijdrage (wellicht meer dan de helft) aan de samenstelling van het elektriciteitsproductiepark dat nodig is om op de lange termijn te voldoen aan de gewenste reductie van broeikasgasemissies in Nederland.

Daar staat tegenover dat de doelstellingen van *Schoon en Zuinig* ook technologieën kunnen stimuleren die niet schoon genoeg zijn om de langetermijndoelstellingen te realiseren. Zo is de kans groot dat in de sector verkeer en vervoer meer biobrandstoffen zullen worden ingezet, maar op basis van de huidige technologie. En elektriciteitscentrales die werken op aardgas zullen weliswaar op de korte termijn bijdragen aan energiebesparing en CO<sub>2</sub>-vermindering, maar met het oog op de langetermijndoelen zijn ze niet schoon genoeg. De toepassing van deze technologieën zou zelfs de gewenste systeeminnovatie voor elektriciteitsopwekking en voertuigtechnologie kunnen afremmen. Nieuwe installaties hebben immers een levensduur van vele tientallen jaren. Bovendien worden nieuwe belangen gecreëerd, die weerstand kunnen genereren tegen de noodzakelijke systeeminnovatie.

#### De combinatie van bio-energie en afvang en opslag van CO<sub>2</sub> is de mogelijke sleutel tot oplossing van het klimaatprobleem

Om de langeretermijndoelen van Nederland en de EU te realiseren met binnenlandse maatregelen, zijn dus zeer schone technologieën nodig; het volstaat niet om enkele relatief schone technologieën toe te passen. Deze zeer schone technologieën gezamenlijk moeten in 2050 meer dan 90% schoner zijn dan de huidige technologieën. Voor de elektriciteitsproductie zijn nog schonere technologieën te vinden zoals zonne-, wind- en kernenergie. Voor het verkeer kan worden gedacht aan rijden op elektriciteit of waterstof, uitgaande van 'schone' elektriciteits- en waterstofproductie.

Vanwege de implementatiesnelheid en kostenoverwegingen zijn de potentiële van deze zeer schone technologieën voor 2050 echter beperkt. Daarom zullen ook de iets minder schone technologieën nog steeds onderdeel uitmaken van het toekomstige energiepakket. Denk bijvoorbeeld aan elektriciteitsproductie uit kolen en aardgas in combinatie met afvang en opslag van CO<sub>2</sub> (CCS) en toepassing van warmtekrachtkoppeling. Binnen de sector verkeer en vervoer gaat het om de toepassing van hybride auto's, sommige soorten biobrandstoffen en brandstof op basis van kolen met toepassing van CCS bij de productie.

Om toch schoner te produceren en daarmee de gewenste reductiedoelstelling te realiseren, biedt de combinatie van bio-energie en CCS mogelijk uitkomst. Dit is mogelijk bij meerdere manieren om de biomassa om te zetten in energie zoals waterstof, elektriciteit en biobrandstoffen voor het verkeer. Een dubbele CO<sub>2</sub>-winst treedt op doordat de CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer eerst wordt vastlegt in de biomassa en vervolgens wordt afgevangen en ondergronds opgeslagen bij de omzetting naar energie. Deze combinatie kan in een totaalpakket van maatregelen een belangrijke sleutel tot de oplossing van het klimaatprobleem zijn. Gezien het beperkte potentieel van beide afzonderlijke technologieën is het van belang al in een vroeg stadium rekening te houden met dergelijke combinatiemogelijkheden.

#### Kosten van schone technologie vragen om specifieke beleidsondersteuning

Nieuwe technologie is doorgaans duurder dan de technologie die in een bestaand systeem grootschalig wordt toegepast. Nieuwe technologieën moeten immers nog een leerproces doorlopen van verbetering, optimalisatie en schaalvergroting. Dat leerproces brengt (leer)kosten met zich mee. Het Internationaal Energie Agentschap schat de leerkosten van nieuwe technologieën voor de totale energievoorziening op 5500 miljard euro (totaal tussen nu en 2050); de kosten voor alleen de elektriciteitsproductie zijn circa 1700 miljard euro.

Deze hoge kosten van nieuwe technologieën belemmeren veelal hun introductie. Beleidsimpulsen zijn nodig om deze barrière te slechten. Zo kan de subsidie voor hernieuwbare energie (Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie, SDE) in combinatie met de doelstelling voor hernieuwbare energie stimuleren dat nieuwe technologieën worden toegepast en daardoor op termijn goedkoper worden. De praktijk van bijvoorbeeld de biobrandstoffen (verplicht aandeel in de transportbrandstoffen in 2010) laat zien dat ook specifieke normstelling de investeringen in nieuwe technologie kan stimuleren. Een nadeel van dergelijke beleidsimpulsen is dat het de overheid is die voor een bepaalde technologie kiest; een keuze die beter aan de markt kan worden overgelaten.

Het leerproces maakt nieuwe technologieën op den duur weliswaar goedkoper maar toch zullen deze veelal duurder blijven dan de huidige technologieën. Ook bij een klein prijsverschil kan de grootschalige toepassing ertoe leiden dat de totale kosten van nieuwe technologieën flink oplopen. Voor 2050 zijn de mondiale meerkosten voor wegverkeer en elektriciteitsproductie geraamd op 600-1200 miljard euro per jaar. Het is daarbij van belang dat de markt de meest efficiënte

aanpak kiest om de reductiedoelen te realiseren. Algemene normen vormen daarvoor de beste prikkel al kunnen ze aan het begin van het leerproces ontoereikend zijn. Specifieke beleidsondersteuning met subsidies en specifieke normstelling is dan nodig om de kostenbarrière te slechten. De vraag is daarmee hoe de overgang van specifieke beleidsondersteuning naar algemene normen zo goed mogelijk kan plaatsvinden. Lang doorgaan met subsidies zoals de SDE maakt de kosten voor de overheid waarschijnlijk te hoog; lang doorgaan met specifieke normstelling voor bijvoorbeeld biobrandstoffen kan op de lange termijn de toepassing van de meest kostenefficiënte technologie belemmeren. Voor een antwoord op deze vragen is het aan te raden regelmatig de effecten van het ingezette beleid te monitoren en mogelijkheden te creëren om het pakket aan beleidsinstrumenten bij te stellen.

#### **Internationale samenwerking in duurzame energievoorziening kan kosten besparen**

Internationale samenwerking kan bevorderen dat wereldwijd de goedkoopste technologieën voor een duurzame energievoorziening worden benut. Dit zal overigens niet eenvoudig zijn vanwege de institutionele belemmeringen in de huidige geopolitieke context. Toch kan het vanuit kostenoverwegingen voor een duurzame Europese energievoorziening interessant zijn wanneer de Europese Unie bijdraagt aan de ontwikkeling van een systeem voor de productie van elektriciteit op basis van zonne-energie in Noord-Afrika of biomassa uit Oekraïne, en een infrastructuursysteem om die elektriciteit vervolgens voor een deel naar Europa te exporteren. De prijs van zonne-energie is nu nog hoog, maar zal in de toekomst naar verwachting dalen. Wel vraagt dit om hoge investeringen in extra transportcapaciteit. Zowel het kabinet als de Europese Unie verkennen de mogelijkheden voor de verdere ontwikkeling van zonne-energie in landen rond het Middellandse Zeegebied (EZ, 2008).



# Inleiding



Het kabinet Balkenende IV heeft in het Coalitieakkoord (project *Schoon en Zuinig*) ambitieuze klimaat- en energie-doelen geformuleerd voor het jaar 2020. De jaarlijkse kosten om deze doelen te realiseren werden eerder door ECN en PBL (voorheen MNP en RPB) geraamd op 8 à 9 miljard euro in 2020. Ook de Europese Commissie heeft voor Nederland klimaat- en energiedoelen voorgesteld. Deze voorgestelde doelen gaan minder ver dan de doelen van het Coalitieakkoord. Dit roept de vraag op wat de voor- en nadelen zijn van het stellen van hogere eigen doelen door Nederland dan verplicht in Europees kader. In dit licht worden enkele voor- en nadelen van het *Werkprogramma Schoon en Zuinig* onderzocht. ECN en PBL hopen daarmee een bijdrage te leveren aan een bredere afweging van de klimaat- en energiedoelen. De onderwerpen die worden onderzocht zijn de kosten van de klimaat- en energemaatregelen (hoofdstuk 2), de synergie-effecten voor het luchtbeleid (hoofdstuk 3) en de betekenis van *Schoon en Zuinig* voor de reductie van broeikasgassen op de lange termijn (hoofdstuk 4). Het macro-economische effect op het nationaal inkomen wordt op basis van een eerdere analyse van het CPB aangegeven (hoofdstuk 2). Andere aspecten zoals (macro-)economische gevolgen op sectorniveau en effecten voor de energievoorzieningszekerheid zijn buiten beschouwing gelaten.

## 1.1 Doel en vraagstelling

In eerdere studies hebben PBL en ECN het potentieel en de kosten van de klimaat- en energemaatregelen in het *Werkprogramma Schoon en Zuinig* verkend. In dit rapport staan twee nieuwe invalshoeken centraal. In de eerste plaats de vraag of het klimaat- en energiebeleid van *Schoon en Zuinig* synergie oplevert met het luchtbeleid:

- Wat zijn de gevolgen van het klimaat- en energiebeleid voor de emissies van luchtverontreinigende stoffen in Nederland in 2020?
- Tot welke kostenbesparing van het luchtbeleid leidt dit in 2020?

In de tweede plaats de langetermijnimplicaties van *Schoon en Zuinig* vanuit een innovatief technologisch perspectief:

- Welke technologieën zijn in 2050 nodig?
- Welke kosten zijn daarmee gemoeid?
- Welke van deze technologieën worden met het *Werkprogramma Schoon en Zuinig* al daadwerkelijk gestimuleerd?

De analyse van de langetermijnimplicaties beperkt zich tot de elektriciteitssector en het wegverkeer. De conclusies zijn globaal van aard. Ze zijn vooral bedoeld om meer inzicht te krijgen in de mate waarin de voor 2020 geformuleerde doelen uit *Schoon en Zuinig* de weg voorbereiden voor het realiseren van de langeretermijndoelstellingen van de EU.

## 1.2 Aanpak

### Potentieel en de kosten van klimaat- en energemaatregelen (hoofdstuk 2)

De synergie met het luchtbeleid wordt geanalyseerd voor de doelstellingen van *Schoon en Zuinig* uit het Coalitieakkoord en de EU-doelen voor klimaat en energie. Daartoe worden eerst in hoofdstuk 2 het potentieel en de kosten verkent van de maatregelen gericht op het voldoen aan de doelstellingen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen maatregelpakketten waarmee de doelstellingen kostenoptimaal kunnen worden gerealiseerd en het maatregelpakket uit *Nieuwe energie voor het klimaat, Werkprogramma Schoon en Zuinig*. De onderzoeksvragen zijn:

- Wat zijn de extra kosten van kosteneffectieve maatregelen om de doelen van het
- Coalitieakkoord te realiseren vergeleken met de EU-doelen?
- In hoeverre realiseert het *Werkprogramma Schoon en Zuinig* de doelen van het Coalitieakkoord en de voorgestelde doelen van de Europese Unie?

Het potentieel en de kosten van de klimaat- en energiematregelen zijn gebaseerd op een studie die door ECN in opdracht van PBL is uitgevoerd: *Analyse Nederlandse klimaat- en energiedoelen 2020, Effecten op emissies en kosten* (ECN, 2009b).

### Uitgangspunten

Voor de ontwikkelingen van energie en emissies is uitgegaan van het referentiescenario Global Economy met hoge olie- en gasprijzen (GEHP) uit de studie *Welvaart en Leefomgeving* (CPB/MNP/RPB, 2006) met actuele ontwikkelingen (ECN, 2008). Dit referentiescenario raamt de ontwikkelingen van energie en emissies in 2020 bij een economische groei van 2,9% per jaar en op basis van het vastgestelde nationale en internationale beleid tot 2007 – dat wil zeggen zonder het beleid uit *Schoon en Zuinig* en het toekomstig Europees beleid. Om de klimaat- en energiedoelen te realiseren zijn in de ECN studie

maatregelpakketten samengesteld met zo laag mogelijke kosten tegen de achtergrond van dit referentiescenario. Het samenstellen van deze kosteneffectieve maatregelpakketten vindt plaats met de analysetool van het Optiedocument. De effecten voor de kosteneffectieve maatregelpakketten zijn vergeleken met de effecten van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig*. De effecten van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* zijn eerder geschat met een onder- en bovenschatting voor zowel een lage als een hoge intensivering van het Europese beleid.

#### Overige analyses

De ECN-studie en hoofdstuk 2 maken gebruik van vier eerder verschenen rapporten:

- *Verkenning potentieel en kosten van klimaat- en energiewaarderegelingen voor Schoon en Zuinig*, (ECN/MNP, 2007);
- *Beoordeling Werkprogramma Schoon en Zuinig* (ECN/MNP, 2007);
- *Het Europese klimaat- en energiebeleidsplan van januari 2008: een verkennende analyse van de implicaties voor Nederland en andere lidstaten* (MNP, 2008);
- *Trendanalyse Luchtverontreiniging, De effecten van het Werkprogramma Schoon en Zuinig op de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen* (ECN, 2008).

#### Beperkingen

De analyses kennen een aantal beperkingen. In de eerste plaats zijn nieuwe economische ontwikkelingen en beleid na het verschijnen van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* niet meegenomen. Ook de resultaten van het rapport *Tussenstand van een aantal onderdelen uit het Werkprogramma Schoon en Zuinig* (PBL/ECN, 2008) zijn niet meegenomen in de analyse. In de tweede plaats is een deel van het potentieel uit het Optiedocument niet meer realiseerbaar omdat al een aantal jaren is verstreken. Het potentieel van de maatregelen uit het Optiedocument gaat namelijk uit van een implementatieperiode vanaf 2005. Een voorbeeld is extra energiebesparing van nieuwbouwwoningen: aangezien de nieuwbouw al is gerealiseerd vervalt dit potentieel voor de jaren 2005 tot en met 2008. Het gepresenteerde potentieel wordt daardoor overschat. In de derde plaats is het potentieel van een aantal maatregelen uit het Optiedocument naar boven bijgesteld om de bovenschatting van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* door te kunnen rekenen. Dit geldt vooral voor energiebesparingsmaatregelen in de gebouwde omgeving. Hierdoor wordt mogelijk het potentieel overschat en worden de kosten onderschat in de ECN-studie. Ten slotte zijn nieuwe technische ontwikkelingen en inzichten in potentiële en kosten van maatregelen sinds het uitkomen van *Schoon en Zuinig* niet meegenomen.

#### Maatschappelijke kosten

De kosten zijn berekend met de nationale kostenmethode volgens de Methodiek Milieukosten (VROM, 1998). Deze benaderen de maatschappelijke kosten van maatregelen voor de BV Nederland. De berekening van nationale kosten is gebaseerd op wereldmarktprijzen voor energiedragers (en dus niet op eindgebruikerprijzen) en op een maatschappelijke disconteringsvoet van 4%. De kosten per maatregel of sector zijn het saldo van kosten en opbrengsten binnen Nederland

die samenhangen met de betreffende maatregelen, ook als deze bij verschillende partijen of sectoren terecht komen.

#### Synergie met luchtbeleid (hoofdstuk 3)

De analyse van de synergie met luchtbeleid is eveneens gebaseerd op de ECN studie *Analyse Nederlandse klimaat- en energiedoelen 2020 - Effecten op emissies en kosten*, (ECN, 2009b). De uitgangspunten, beperkingen en kostenbenadering zijn hetzelfde als in hoofdstuk 2. Indicatieve doelen voor luchtverontreinigende stoffen zijn overgenomen uit een IIASA analyse (IIASA, 2008a). Voor de kosten van reductiemaatregelen van luchtverontreinigende stoffen is naast het Optiedocument ook gebruikgemaakt van andere bronnen (Peeters-Weem et al., 2006; Smit, 2008).

#### Betekenis van Schoon en Zuinig voor de lange termijn (hoofdstuk 4)

In de analyse voor de lange termijn is de methodiek van *back casting* toegepast. Er is een toekomstbeeld geschetst. Vervolgens is nagegaan wat er in de huidige situatie wordt gedaan om dat toekomstbeeld te realiseren. Hierbij is voor het jaar 2020 de situatie geschetst volgens het GEHP-scenario op basis van met het vastgestelde beleid en daarnaast met het voorgenomen beleid van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig*. Het jaar 2050 is als zichtjaar gehanteerd voor een gewenst toekomstbeeld. Uitgangspunt daarbij is een maximale temperatuurstijging van 2°C. Op basis daarvan is het gewenste mondiale emissieniveau voor 2050 vastgesteld (gezien de onzekerheden is dit een *range*).

Uitgangspunten over bevolkingsomvang en de intensiteit van maatschappelijke activiteiten in 2050 zijn in lijn gebracht met scenario's van OECD, IEA en voor Nederland van het Centraal Planbureau en het Planbureau voor de Leefomgeving (CPB/MNP/RPB, 2006). Voor twee activiteiten – de elektriciteitsproductie en het wegverkeer – is de analyse verder uitgewerkt. Daartoe zijn technologieën geselecteerd waarmee op de lange termijn een aanzienlijke emissievermindering van broeikasgassen mogelijk is. Voor die technologieën zijn de toekomstige emissiefactoren, het in 2050 haalbaar geachte potentieel van die technologie en de kosten ingeschat, het laatste zoveel mogelijk in lijn met de IEA-studie *Technology Perspectives* (IEA, 2008). De kosten in 2050 liggen voor tamelijk nieuwe technologieën aanzienlijk lager dan in de huidige situatie. Op basis van deze gegevens zijn technologiepakketten samengesteld, waarmee de emissiedoelen worden bereikt. In andere studies zijn aanvullende langetermijnklimaatroutes en scenario-onzekerheden voor de transportsector verkend: *Duurzame innovatie in het wegverkeer* (ECN, 2009a), *Elektrisch rijden - Evaluatie van transitie op basis van systeemopties* (PBL, 2009) en *Moving in the right direction* (PBL/ECN, in voorbereiding). Op mondiale schaal ligt de potentiële toepassing van een technologie (bijvoorbeeld door klimatologische verschillen) anders dan in de EU of in Nederland. Daarom is een vergelijkbare exercitie uitgevoerd op deze schaalniveaus. Er is een eenvoudige verdeling van emissies gekozen voor deze illustratieve analyse op basis van gelijke emissies per hoofd van de bevolking. De resultaten op Europees en mondiaal schaalniveau zijn vergeleken met de resultaten van enkele andere studies met 2050 als zichtjaar.

In een laatste stap is nagegaan welke technologieën met het beleid van *Schoon en Zuinig* de komende jaren vooral worden gestimuleerd en in hoeverre de ontwikkelingen tot 2020 in lijn zijn met de gewenste ontwikkeling daarna.

Hoewel de elektriciteitsproductie en het wegverkeer zonder maatregelen meer dan de helft van de toekomstige emissies kunnen uitmaken, is de analyse een eerste illustratieve proeve met beperkte omvang. Bovendien zijn er aanzienlijke onzekerheden over de maximaal haalbare toepassing van de technologieën in 2050 en over de kostenniveaus. Daarnaast is het lopende beleidsproces gericht op de lange termijn (waaronder het transitiebeleid) niet beoordeeld op effectiviteit en is uitgegaan van het halen van doelstellingen in 2020.





# 2

## Potentieel en kosten van klimaat- en energiedoelen

In het Coalitieakkoord van het kabinet Balkenende IV zijn ambitieuze klimaat- en energiedoelen geformuleerd voor het jaar 2020. Tevens zijn door de Europese Unie voor Nederland klimaat- en energiedoelen vastgesteld. In dit hoofdstuk worden de verschillen tussen de Nederlandse doelen van het Coalitieakkoord en de in Europees verband verplichte doelen geanalyseerd. De volgende vragen komen aan bod: wat zijn de extra kosten om het doel van het Coalitieakkoord te realiseren en in hoeverre realiseert het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* de doelen? In paragraaf 2.1 wordt een overzicht van de Nederlandse en Europese klimaat- en energiedoelen gegeven. Paragraaf 2.2 analyseert in hoeverre kosteneffectieve maatregelpakketten en het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* de doelen realiseren. Vervolgens worden het potentieel en de kosten van de maatregelpakketten gepresenteerd (paragraaf 2.3). Daarna wordt in gegaan op de consequenties voor het nationale klimaatdoel van het EU-brede emissiehandelssysteem voor bedrijven (paragraaf 2.4). In de laatste paragraaf worden de conclusies getrokken. De analyse van het potentieel en de kosten van klimaat- en energiedoelen in dit hoofdstuk wordt gebruikt voor hoofdstuk 3, waarin de synergie met het luchtbeleid wordt beschreven.

De conclusies van hoofdstuk 2 moeten met enige voorzichtigheid worden gehanteerd, omdat het potentieel en de kosten van maatregelen voor een groot deel zijn gebaseerd op het Optiedocument uit 2005. Een deel van het potentieel van de maatregelen is mogelijk niet meer realiseerbaar en nieuwe inzichten in potentiële en kosten van maatregelen zijn niet meegenomen. Tevens zijn economische ontwikkelingen en beleid na het verschijnen van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* niet meegenomen. In hoofdstuk 1 zijn de beperkingen van de analyse verder toegelicht.

### 2.1 Nederlandse en Europese klimaat- en energiedoelen

#### Doelen voor broeikasgasemissies

##### *Doelstelling Nederland volgens het Coalitieakkoord*

De Nederlandse overheid heeft in het Coalitieakkoord voor 2020 als doel gesteld om de Nederlandse broeikasgasemissies met 30% ten opzichte van 1990 te reduceren, bij voorkeur in Europees verband. Net als in de Kyoto-periode mogen eventuele overschrijdingen van dat niveau worden gecompenseerd door de aankoop van buitenlandse emissierechten. De inzet van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* uit 2007, is dat de sectoren die onder het Europese CO<sub>2</sub>-emissiehandelssysteem vallen (de ETS-sectoren) en de sectoren die daar niet onder vallen (de niet-ETS-sectoren) beide een evenredige bijdrage leveren aan de nationale doelstelling (VROM, 2007). Dat wil zeggen dat beoogd wordt dat beide sectoren in 2020 een reductie van 30% realiseren ten opzichte van 1990.

##### *Doelstelling van de Europese Unie*

De langetermijnklimaatdoelstelling van de EU is om de gemiddelde mondiale temperatuurstijging te beperken tot 2 °C ten opzichte van het pre-industriële niveau (EC, 2007). Om invulling te geven aan deze doelstelling heeft de Europese Raad in 2007 besloten om in 2020 een reductie van 30% ten opzichte van 1990 te realiseren indien een wereldwijde en brede klimaatovereenkomst tot stand komt. Dat laatste houdt in dat andere ontwikkelde landen zich aan vergelijkbare emissiereducties verbinden en economisch meer gevorderde ontwikkelingslanden een bijdrage leveren die in verhouding staat tot hun verantwoordelijkheden en capaciteiten (EU, 2007) (hierna 'wereldwijde en brede klimaatovereenkomst'). Indien er geen wereldwijde en brede klimaatovereenkomst tot stand komt, wil de EU toch minstens 20% reductie ten opzichte van 1990 realiseren.

##### *Voorstel van de Europese Commissie voor ETS-sectoren en niet-ETS-sectoren*

De Europese Commissie heeft in januari 2008 een omvangrijk pakket van klimaat- en energiemaatregelen voorgesteld om de door de Europese Raad vastgestelde beleidsdoelstellingen

voor 2020 te realiseren (EC, 2008a tot en met EC, 2008f). Het pakket onderscheidt doelstellingen voor de emissiereductie van de emissiehandelende en de niet-emissiehandelende sectoren in 2020 ten opzichte van 2005. De reductiedoelen van deze sectoren bereiken gezamenlijk een reductie van 20% in 2020 ten opzichte van 1990. Voor de emissiehandelende sectoren wordt een richtlijn voorgesteld voor een aanpassing van het Europese emissiehandelssysteem (ETS-systeem). Volgens het voorstel komt er in plaats van de huidige nationale emissieplafonds één Europees emissieplafond, en wordt veilen van emissierechten het uitgangspunt bij het verstrekken van emissierechten. Het Europese emissieplafond dat door de Commissie voor 2020 wordt voorgesteld, komt overeen met een reductie van 21% ten opzichte van 2005. Het voorstel voor de klimaat- en energiemaatregelen van de Europese Commissie is door de Europese Raad en het Europees Parlement goedgekeurd in december 2008. Voor zover het vastgestelde pakket wijzigingen bevat die relevant zijn voor de analyse worden deze vermeld.

Voor de niet-ETS-sectoren beoogt de Europese Commissie een EU-brede broeikasgasemissiereductie van 10% in 2020 ten opzichte van 2005. Voor elke lidstaat is een afzonderlijke reductiedoelstelling voorgesteld, die afhankelijk is van het bruto binnenlands product (bbp) per hoofd van de bevolking. Voor Nederland is de voorgestelde reductiedoelstelling in 2020 16% vergeleken met 2005. Dit komt overeen met 24% vergeleken met 1990. Het reductiepercentage in 2020 vergeleken met 1990 is hoger dan vergeleken met 2005 omdat de emissie van de niet-ETS-sectoren is afgenomen in de periode 1990-2005. Volgens het voorstel mogen de lidstaten een beperkte hoeveelheid emissierechten inzetten die zijn verkregen via het Clean Development Mechanism (CDM) en Joint Implementation (JI). Maximaal is de toegestane hoeveelheid een aandeel van 3% van het emissieniveau van de niet-ETS-sectoren in 2005. Volgens het vastgestelde pakket van december 2008 kan dit onder bepaalde voorwaarden worden verruimd naar 4%. Indien Nederland maximaal gebruikmaakt van de ruimte om CDM- en JI-emissierechten in te zetten dan moet de binnenlandse emissie in 2020 worden gereduceerd tot 21% ten opzichte van 1990. In het geval Nederland voldoet aan de bepaalde voorwaarden, dan wordt de binnenlandse reductiedoelstelling 20%.

Indien er een wereldwijde en brede klimaatovereenkomst wordt bereikt worden de reductiedoelstellingen voor de niet-ETS-sectoren – net als die voor de ETS-sectoren – aangescherpt en worden tevens de mogelijkheden om gebruik te maken van CDM en JI verruimd. In het voorstel van de Europese Commissie staat niet expliciet vermeld met hoeveel procent de reductiedoelstelling wordt verhoogd. PBL heeft op basis van enkele uitgangspunten de verwachte verhoging afgeleid (MNP, 2008a). De Europese doelstelling voor de Nederlandse niet-ETS-sectoren zal dan worden verhoogd van 24% tot naar schatting 33% (2020 ten opzichte van 1990). Daarnaast is afgeleid dat de mogelijkheid om gebruik te maken van CDM/JI-emissierechten wordt verruimd van 3% naar 8% van de emissie in 2005 (MNP, 2008a). De door de Europese Commissie voorgestelde reductiedoelstelling voor de niet-ETS-sectoren komt dan overeen met een binnenlandse emissiereductie van (minimaal) 26% (2020 ten opzichte

van 1990), indien (maximaal) gebruik wordt gemaakt van de toegestane inzet van CDM/JI-emissierechten. De goedkeuring door de Europese Raad en het Europees Parlement in december 2008 specificiert in geval van een internationaal akkoord, een analyse naar de gevolgen en voorstellen van de Europese Commissie.

### Doelen voor hernieuwbare energie en energiebesparing

#### *Doelstelling Nederland volgens het Coalitieakkoord*

De Nederlandse overheid heeft in het Coalitieakkoord doelen vastgesteld voor hernieuwbare energie en energiebesparing. Het aandeel hernieuwbare energie zou in 2020 20% van het totale primaire energiegebruik moeten bedragen en het energiebesparingstempo zou in de loop van de tijd moeten oplopen tot 2% per jaar.

#### *Doelstelling van de Europese Unie*

De Europese Raad heeft met het oog op broeikasgasemissiereductie en energiezuikerheid doelen voor 2020 geformuleerd voor hernieuwbare energie (20% van het totale finale energiegebruik van de EU), en energiebesparing (20% ten opzichte van het geraamde gebruik in 2020) (EU, 2007).

#### *Voorstel van de Europese Commissie voor lidstaten*

Om het aandeel hernieuwbare energie in het totale Europese finale energieverbruik te verhogen tot 20% in 2020 heeft de Europese Commissie nationale doelstellingen per lidstaat geformuleerd. De verdeling over de lidstaten houdt onder meer rekening met het aandeel hernieuwbare energie in 2005 en het bbp per hoofd van de bevolking. Lidstaten mogen zelf bepalen met welke mix van (hernieuwbare) elektriciteit, verwarming en koeling en transport zij hun doelstelling willen bereiken. Voor de transportsector werd voorgesteld dat het aandeel biobrandstoffen in transportbrandstoffen in 2020 in elke lidstaat minstens 10% bedraagt. De Europese Raad en het Europees Parlement hebben het voorstel gewijzigd in een aandeel hernieuwbare energie van 10% in het finale energiegebruik van de transportsector. Dit betekent dat naast voertuigen die rijden op biobrandstoffen ook op elektriciteit en met waterstof aangedreven voertuigen mee mogen tellen. Voorwaarde is wel dat de elektriciteit en waterstof met hernieuwbare energiebronnen worden geproduceerd. Het voorstel introduceert duurzaamheidscriteria die gehanteerd moeten worden bij het realiseren van de biobrandstoffen-doelstelling. Voor Nederland is de voorgestelde doelstelling voor hernieuwbare energie een aandeel van 14% van het finale energieverbruik in 2020. Dit kan niet eenduidig worden vertaald naar het aandeel in het primaire energieverbruik waarin de doelstelling van de Nederlandse overheid is gedefinieerd. Voor elektriciteit en warmte verschillen de verhoudingen tussen finaal en primair verbruik namelijk sterk, waardoor ook de bijdrage van hernieuwbare elektriciteit en warmte aan het finaal respectievelijk primair verbruik sterk verschillen. Daarnaast tellen bepaalde maatregelen (bijvoorbeeld warmtepompen) wel mee voor de Nederlandse definitie, maar niet voor de Europese. Geschat wordt dat het aandeel van 14% van het finale energieverbruik overeenkomt met 15 tot 19% van het primaire energieverbruik, afhankelijk van de gekozen invulling. In dit hoofdstuk wordt gerekend met 17%.

	Doelstellingen Coalitieakkoord (CA)		Doelstellingen Europese Unie conform voorstel Europese Commissie (EC)		
	Nederland		Nederland		EU-27
	CA	EC EU20%	EC EU30%	EC EU20%	EC EU30%
Broeikasgasemissies	-30% t.o.v. 1990			-20% t.o.v. 1990	-30% t.o.v. 1990
- ETS-sectoren	-30% t.o.v. 1990			-21% t.o.v. 2005	-33% t.o.v. 2005
- Niet-ETS-sectoren	-30% t.o.v. 1990	-24% t.o.v. 1990 (-21% <sup>1</sup> in binnen-land)	-33% t.o.v. 1990 (-26% in bin- nen-land)	-10% t.o.v. 2005	-21% t.o.v. 2005
<i>Hernieuwbare energie</i>					
* conform EC-definitie		14%	14%	20%	20%
* conform NL-definitie	20%	17% <sup>2</sup>	17% <sup>1</sup>		
- Bijmenging biobrandstoffen	10%	10%	10%	10%	10%
<i>Energiebesparing</i>					
- Energiebesparing in 2020				20% t.o.v. baseline	20% t.o.v. baseline
- Tempo van energiebesparing	2%/jaar				

1. De goedkeuring door de Europese Raad en het Europees parlement bepaalt dat onder bepaalde voorwaarden het aandeel CDM/JI kan worden verhoogd van 3 tot 4%. De binnenlandse reductiedoelstelling wordt dan verlaagd van -21% tot -20%.

2. Omrekening van EC-definitie naar NL-definitie ligt tussen 15% en 19%.

De Europese Commissie heeft in haar voorstel geen taakstellingen geformuleerd voor energiebesparing op lidstatenniveau. De Europese Unie heeft wel diverse normen in voorbereiding voor energiebesparing op Europees niveau, zoals energie-efficiëncynormen voor elektrische apparaten, CO<sub>2</sub>-normen voor personenvoertuigen en energie-efficiëncylabellen voor gebouwen.

De Nederlandse en Europese klimaat- en energiedoelen staan samengevat in Tabel 2.1.

## 2.2 Doelbereik van kosteneffectieve maatregelpakketten en het Werkprogramma *Schoon en Zuinig*

De doelen van het Coalitieakkoord zijn ambitieuzer dan het voorstel van de Europese Commissie. Dit roept de vraag op welke extra maatregelen nodig zijn en hoe hoog de extra kosten zijn van de ambitieuzere doelen. Om deze vraag te beantwoorden zijn het potentieel en de kosten van klimaat- en energiemaatregelen geschat voor de volgende drie varianten van klimaat- en energiedoelen:

**Coalitieakkoord (CA).** In deze variant worden de doelen uit het Coalitieakkoord gerealiseerd: 30% broeikasgas (BKG)-reductie in 2020, een besparingstempo van gemiddeld 2% per jaar tussen 2010 en 2020 en een aandeel hernieuwbaar van 20% in het primaire energieverbruik in 2020. Er zijn geen beperkingen op de aankoop van CDM/JI-buitenlandse emissierechten.

**Voorstel van de Europese Commissie (EC) EU 20%.** De door de EC voorgestelde doelen voor Nederland zijn een aandeel van 17% hernieuwbare energie (volgens de Nederlandse definitie) en een binnenlandse emissiereductie voor de niet-ETS-sectoren in 2020 van minimaal 21% ten opzichte van 1990. Dat

betekent dat maximaal gebruik wordt gemaakt van de ruimte van CDM/JI voor de niet-ETS-sectoren.

**Voorstel van de Europese Commissie (EC) EU 30%.** Het binnenlandse reductiedoel van de niet-ETS-sectoren wordt verhoogd van minimaal 21% naar 26%. Ook in deze variant wordt maximaal gebruikgemaakt van de ruimte van CDM/JI voor de niet-ETS-sectoren.

De EC-varianten bevatten conform het voorstel van de Europese Commissie geen nationaal doel voor energiebesparing. Volgens de Europese Raad en het Europese Parlement is de doelstelling voor de transportsector een aandeel hernieuwbare energie van 10% in het finale energiegebruik. In alle varianten is nagegaan wat dit betekent als dit doel wordt gehaald met biobrandstoffen en is een aandeel van 10% biobrandstoffen in het energiegebruik van de transportsector opgelegd in de berekeningen.

Als referentiescenario is gebruikgemaakt van het *Global Economy*-scenario met hoge olie- en gasprijzen (GEHP) uit de scenariostudie Welvaart en Leefomgeving (CPB/MNP/RPB, 2006) met actuele ontwikkelingen (ECN, 2008). Hierin zijn de ontwikkelingen van energie en emissies in 2020 geraamd bij een economische groei van 2,9%/jaar, en op basis van het vastgestelde nationale en Europese beleid tot en met 2006 – dat wil zeggen zonder het beleid uit het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* en het Europese klimaat- en energiepakket.

Uit het Optiedocument energie en emissies (ECN/MNP, 2006) is voor iedere variant een pakket binnenlandse klimaat- en energiemaatregelen met de laagste kosten geselecteerd zodanig dat de doelen worden gehaald (ECN, 2009b). Verondersteld is een prijs van emissierechten van het emissiehandelssysteem van ETS-sectoren van 35 euro/ton CO<sub>2</sub>-eq. Deze prijs, kortweg CO<sub>2</sub>-prijs genoemd, komt qua orde van

	Referentiescenario	Coalitieakkoord	EC EU 20%	EC EU 30%
Broeikasgassen binnenlands niet-ETS sectoren	0%	30%	21%	26%
Hernieuwbare energie	7%	20%	17%	17%
Energiebesparing	1%/jaar <sup>2</sup>	2%/jaar	1,7%/jr <sup>2</sup>	1,8%/jr <sup>2</sup>

1. Doelen zijn vetgedrukt. Niet vetgedrukte getallen zijn schattingen voor het referentiescenario GEHP en de kosteneffectieve varianten voor het Coalitieakkoord en het voorstel van de Europese Commissie in 2020.

2. Nederlandse definitie conform het protocol monitoring energiebesparing

grootte overeen met de prijs van emissierechten die wordt geschat door de Europese Commissie in haar voorstellen. Hoe omgegaan kan worden met de betekenis van een Europees breed emissieplafond voor het nationale reductiedoel komt in paragraaf 2.4 aan de orde.

#### Doelbereik van de kosteneffectieve maatregelpakketten

Van de hierboven beschreven kosteneffectieve maatregelpakketten zijn de effecten bepaald. Vergeleken met het referentiescenario leidt het EU-pakket tot forse stappen voor emissiereductie in de niet-ETS-sectoren, vergroting van het aandeel hernieuwbare energie en verhoging van het tempo van energiebesparing (Tabel 2.2). De stappen zijn echter niet groot genoeg om de doelen van het Coalitieakkoord te halen:

- De emissie van de niet-ETS-sectoren blijft in 2020 op het niveau van 1990 in het referentiescenario en vermindert met 21% à 26% ten opzichte van 1990 door het voorstel van de Europese Commissie. Het doel van het Coalitieakkoord van -30% wordt niet gehaald.
- Het aandeel van hernieuwbare energie gaat van 7% in het referentiescenario naar 17% door het voorstel van de Europese Commissie, terwijl het doel van het Coalitieakkoord 20% is.
- Het tempo van energiebesparing gaat van 1%/jaar in het referentiescenario naar 1,7%/jaar tot 1,8%/jaar door het voorstel van de Europese Commissie volgens de Nederlandse definitie. In de Nederlandse definitie (die is toegepast voor Tabel 2.2) is het gebruik van energiedragers, die als grondstof voor bijvoorbeeld plastics en kunstmest worden gebruikt, inbegrepen. Volgens de Europese definitie voor energiebesparing worden niet-energetische toepassingen uitgesloten. In dat geval is het tempo van energiebesparing 2,0%/jaar tot 2,1%/jaar. Het doel van het Coalitieakkoord is 2%/jaar.

In een eerdere verkenning (2007) naar het potentieel van de technische maatregelen hebben ECN en PBL de kosten van de klimaat- en energiedoelen van het Coalitieakkoord geraamd. De jaarlijkse kosten werden geschat op circa 8 à 9 miljard euro in 2020. Hierbij was de aankoop van buitenlandse emissiereducties via CDM en JI inbegrepen. Voor realisatie van alleen het klimaatdoel werden de directe kosten van de binnenlandse maatregelen geraamd op 2 à 3 miljard euro; en als ook de energiedoelen zouden worden gerealiseerd was dit 7 à 8 miljard euro in 2020 (ECN/MNP, 2007).

Uit de recente ECN-verkenning blijkt dat de kosten van het voorstel van de Europese Commissie hier tussenin liggen

(ECN, 2009b). In vergelijking met het voorstel van de Europese Commissie zijn de extra kosten om de energiedoelen van het Coalitieakkoord te halen minimaal 2 à 3 miljard euro in 2020. De extra kosten zijn ongeveer gelijk verdeeld over energiebesparing en hernieuwbare energie.

#### Doelbereik van het voorgenomen beleid van het Werkprogramma Schoon en Zuinig

De effecten van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* (VROM, 2007) zijn in eerdere verkenningen (ECN/MNP, 2007; ECN, 2008) geschat. Beschouwd zijn de emissiereductie van broeikasgassen, het aandeel hernieuwbare energie en het tempo van energiebesparing (zie Tabel 2.3). De schattingen hebben een grote onzekerheidsband. Hiervoor zijn twee belangrijke oorzaken. In de eerste plaats zijn de effecten afhankelijk van de toekomstige Europese beleidsomgeving, zoals EU-normering voor elektrische apparaten en motorvoertuigen en de CO<sub>2</sub>-prijs van het emissiehandelssysteem van de energie-intensieve bedrijven. In de verkenningen is daarom gebruikgemaakt van twee mogelijke ontwikkelingen van het Europese beleid: één met een lage intensivering van het EU-beleid en een CO<sub>2</sub>-prijs van 20 euro/ton en de ander met een hoge intensivering van het EU-beleid en een CO<sub>2</sub>-prijs van 50 euro/ton (prijsspeil 2007) in 2020. In de tweede plaats is het nationale beleid in veel gevallen niet voldoende concreet uitgewerkt voor een precieze schatting van het effect. Een voorbeeld hiervan zijn de sectorconvenanten met bedrijven, belangenorganisaties, gemeenten en provincies. Op basis van de huidige stand van zaken lijken onvoldoende prikkels (subsidies en heffingen) en verplichtingen (normen en verboden) aanwezig om het aanwezige potentieel van technische maatregelen met zekerheid te realiseren.

Voor het doelbereik van het voorgenomen beleid uit het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* geldt:

- Het doel van het Coalitieakkoord voor hernieuwbare energie wordt niet gehaald met de voorgenomen binnenlandse maatregelen. Het doel van 2% energiebesparing per jaar kan bij streng Europees beleid worden gehaald, mits de Europese definitie voor energiebesparing wordt gehanteerd. In de Nederlandse definitie (die is toegepast voor Tabel 2.3) is het gebruik van energiedragers, die als grondstof voor bijvoorbeeld plastics en kunstmest worden gebruikt, inbegrepen. Volgens de Europese definitie voor energiebesparing worden niet-energetische toepassingen uitgesloten. Daardoor is het verwachte energiebesparingtempo hoger: 1,6%/jaar à 1,9%/jaar bij minder streng Europees beleid en 2,0%/jaar à 2,3%/jaar bij streng Europees beleid.

	Coalitieakkoord	EC EU 20%	EC EU 30%	Werkprogramma Schoon en Zuinig <sup>2</sup>
BKG binnenlands niet-ETS		21%	26%	19% tot 28%
Hernieuwbaar	20%	17% <sup>1</sup>	17% <sup>1</sup>	11% tot 17%
Energiebesparing	2%/jaar			1,4%/jr tot 1,9%/jr

1. 14% volgens de EC-definitie komt overeen met 15% en 19% volgens de NL-definitie.

2. Om redenen van consistentie in de berekeningen zijn de resultaten van (PBL/ECN, 2008) niet meegenomen. Rekening houdende met het effect van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* is in deze publicatie het aandeel van hernieuwbare energie geschat op 5 tot 9% in 2020. Hierbij is het vastgestelde (oktober 2008) beleid meegenomen maar mogelijk extra beleid in de komende periode niet.

3. Nederlandse definitie conform het protocol monitoring energiebesparing.

## Emissiereductie broeikasgassen in 2020

Tabel 2.4

	Coalitieakkoord	EC EU 20%	EC EU 30%	Werkprogramma Schoon en Zuinig
<b>Kosteneffectieve maatregelen</b>				
Binnenlandse maatregelen	72	63	65	26 – 67
w.v.				
Energiebesparing <sup>1</sup>	33	21	27	14 – 31
Hernieuwbare energie	28	21	19	5 – 19
CCS	5	15	15	0 – 10
Overige broeikasgassen	6	6	6	6 – 7
Overschot elektriciteit	-13	-12	-11	-9 – -15
Totaal binnenlandse reductie	59	51	54	17 – 52

1 Energiebesparing is inclusief verminderde elektriciteitsvraag

Reductie broeikasgassen van kosteneffectieve maatregelen en het effect van het Werkprogramma Schoon en Zuinig ten opzichte van huidig beleid in de referentieraming GEHP in 2020 (Mton CO<sub>2</sub>-eq.).

- Het door de EC voorgestelde reductiedoel voor de niet-ETS-sectoren wordt voor EU 20% waarschijnlijk wel gehaald; maar voor EU 30% is het halen van het reductiedoel afhankelijk van de strengheid van het Europees beleid (MNP, 2008a).
- Het door de EC voorgestelde doel voor hernieuwbare energie wordt waarschijnlijk (mede afhankelijk van EU-definitie) niet gehaald met binnenlandse maatregelen. Een mogelijkheid is om gebruik te maken van groencertificaten uit het buitenland. Het is hierbij onzeker of er voldoende groencertificaten op de markt komen (MNP, 2008a).

naar het buitenland (10 tot 15 Mton; zie hieronder voor toelichting). Per saldo is de binnenlandse emissiereductie gelijk aan de optelsom van het reductie-effect van de binnenlandse maatregelen en het ontstane overschot van de elektriciteitsproductie dat wordt geëxporteerd. Dit betekent dat het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* in het meest gunstige geval leidt tot een binnenlandse emissiereductie van broeikasgassen van 52 Mton (bovengrens in Tabel 2.4). Deze reductie is in lijn met de door de EC voorgestelde doelen (51 respectievelijk 54 Mton) en iets minder dan het doel van het Coalitieakkoord. In het minst gunstige geval (ondergrens 17 Mton) blijft de binnenlandse reductie ver achter bij zowel het kabinetsdoel (CA) als de EU-doelen (EC/EU 20% en EC/EU 30%).

Hieronder worden de binnenlandse maatregelen en het overschot van de elektriciteitsproductie toegelicht.

### Besparing

Van alle binnenlandse maatregelen levert energiebesparing (inclusief verminderde elektriciteitsvraag) in bijna alle pakketten de grootste bijdrage aan de binnenlandse reductie. Door het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* wordt fors ingezet op maatregelen in de bestaande bouw vooral door het sectorconvenant 'Meer met minder'. De gemiddelde kosten van energiebesparing kunnen hierdoor sterk oplopen. Het gemiddelde kostenniveau van de maatregelen in de gebouwde omgeving is relatief hoog en het is niet zeker of de goedkoopste maatregelen (volledig) worden benut. Relatief goedkope opties in de sectoren industrie (warmtevraag vermindering, warmtekracht koppeling (WKK) en verbeteringen in de pro-

## 2.3 Potentieel en kosten van klimaat- en energiemaatregelen

### 2.3.1 Broeikasgassen

In deze paragraaf wordt nagegaan met welke kosteneffectieve maatregelen de doelen kunnen worden gehaald. Deze worden vergeleken met de maatregelen die door het voorgenomen beleid van het *Werkprogramma* worden geëffectueerd.

Binnenlandse maatregelen voor energiebesparing, hernieuwbare energie, CCS (Carbon Capture and Storage) en overige broeikasgassen leveren een forse emissiereductie van broeikasgassen, zowel in de pakketten met de kosteneffectieve maatregelen (63 tot 72 Mton) als in het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* (26 tot 67 Mton), zie Tabel 2.4. De emissiereductie wordt deels teniet gedaan door het ontstaan van een overschot aan elektriciteitsproductie dat wordt geëxporteerd



cesvoering bij raffinaderijen), elektriciteitsproductie (gascentrales in plaats van nieuwe kolencentrales) en glastuinbouw (warmtevraagvermindering, WKK en CO<sub>2</sub>-levering) worden waarschijnlijk door het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* niet volledig benut.

#### *Hernieuwbare energie*

In de kosteneffectieve varianten om het kabinetsdoel en de EU-doelen te realiseren, is de bijdrage van hernieuwbare energie groot ondanks het feit dat de kosten hoog zijn. De hoge bijdrage wordt veroorzaakt door het opgelegde doel voor hernieuwbare energie. In het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* blijft vooral de realisatie van windenergie achter en wordt groen gas helemaal niet gerealiseerd. Een forsere beleidsinzet lijkt vereist om zowel het kabinetsdoel als het EU-doel voor hernieuwbare energie te halen.

#### *CCS*

CCS speelt in de kosteneffectieve maatregelpakketten om de EU-doelen te realiseren een belangrijker rol dan in het Werkprogramma *Schoon en Zuinig*. Een belangrijke kanttekening is dat de (mate van) beschikbaarheid van CCS in 2020 nog erg onzeker is. In het kosteneffectieve pakket om de kabinetsdoelen te realiseren, is de bijdrage van CCS aan de emissiereductie volgens de modelberekeningen beperkt. Dit komt omdat er verdringing plaatsvindt door efficiëntere elektriciteitscentrales (gascentrales in plaats van nieuwe kolencentrales en WKK) die nodig zijn om het energiebesparingsdoel te halen.

#### *Overige broeikasgassen*

De reductiebijdrage van de overige broeikasgassen (OBG) zijn in alle maatregelpakketten in dezelfde orde van grootte. Wel wordt in het werkprogramma ook ingezet op de duurdere co-vergisting van mest, waardoor een grotere reductie kan worden bereikt.

#### *Overschot elektriciteitsproductie*

Door de combinatie van een lagere groei van de elektriciteitsvraag door energiebesparing, een toename van de elektriciteitsproductie door de klimaatmaatregelen (windenergie) en een verwachte uitbreiding van elektriciteitscentrales ontstaat er een Nederlands overschot aan elektriciteitsproductie. In de recente verkenning (ECN, 2009b) is de extra nieuwbouw van gasgestookte elektriciteitscentrales overigens deels als reductiemaatregel behandeld, omdat zij minder CO<sub>2</sub> uitstoten dan het parkgemiddelde. Grootschalige sluiting van oude centrales is niet aannemelijk vanwege de relatief gunstige concurrentiepositie van de Nederlandse centrales ten opzichte van vooral Duitsland (ECN, 2008). De reden hiervoor is dat de oude Nederlandse centrales een relatief hoog rendement hebben, omdat ze in vergelijking met die in het buitenland relatief jong zijn.

#### *Illustratie kosteneffectiviteit van klimaat- en energemaatregelen*

Naarmate de reductieopgave groter is, moeten maatregelen met hogere kosten worden ingezet. Welke maatregelen dit zijn wordt geïllustreerd voor het kosteneffectieve maatregelpakket van het Coalitieakkoord (Figuur 2.1). Er is een groot reductiepotentieel voor energiebesparing met negatieve

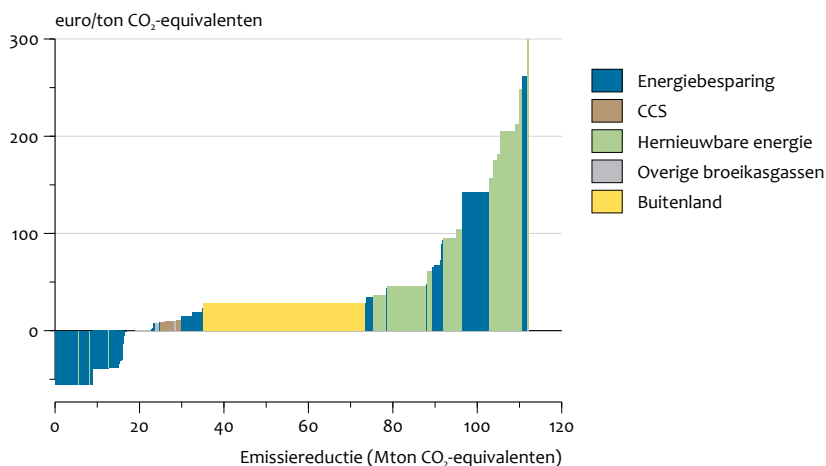
kosten. Dit is het deel links in de grafiek. Hierbij moet wel worden bedacht dat hier relatief veel maatregelen bij zitten met ongunstige neveneffecten, zoals comfortverlies (kleinere auto's) of indirecte effecten op de economie (langzamer rijden van zakelijk verkeer). Deze negatieve welvaartseffecten, maar ook positieve welvaartseffecten bijvoorbeeld voor de gezondheid, zijn niet meegenomen. Daarom kan Figuur 2.1 een vertekend beeld geven vanuit het perspectief van de nationale welvaartseffecten.

Na het deel van de grafiek met rendabele maatregelen komen rechts hiervan de maatregelen met zeer lage kosten. Het betreft maatregelen van de emissiereductie van overige broeikasgassen, energiebesparing en CCS bij de chemische industrie (circa 5 Mton). CCS bij elektriciteitscentrales ontbreekt hier in de kosteneffectieve variant van de kabinetsdoelen, omdat CCS wordt verdrongen door duurdere maatregelen (gascentrales in plaats van nieuwe kolencentrales) om het doel van energiebesparing te halen. Vervolgens representeert de brede, horizontale, bruine balk de bijdrage van aankoop van buitenlandse reducties via JI/CDM-projecten. De aankoop van CDM/JI wordt in dit geval gedaan indien het nationale reductiedoel van -30% wordt gedefinieerd op basis van fysieke emissies zoals wordt besproken in paragraaf 2.4. In de figuur is een CO<sub>2</sub>-prijs van CDM/JI verondersteld van 35 euro/ton CO<sub>2</sub>-eq. Rechts van de aankoop van buitenlandse emissiereductie staan duurdere maatregelen die betrekking hebben op hernieuwbare energie (windenergie, biomassa elektriciteitscentrales, groen gas, biobrandstoffen verkeer en elektrische warmtepompen) en energiebesparing (energiezuinige personenauto's en energiezuinig rijden in de sector verkeer en WKK, warmte en elektriciteit in alle overige sectoren) om de doelen voor hernieuwbare energie en energiebesparing te halen. De kosteneffectiviteit van de maatregelen loopt hierbij op tot meer dan 300 euro/ton.

#### *Onzekerheid in de totale kosten*

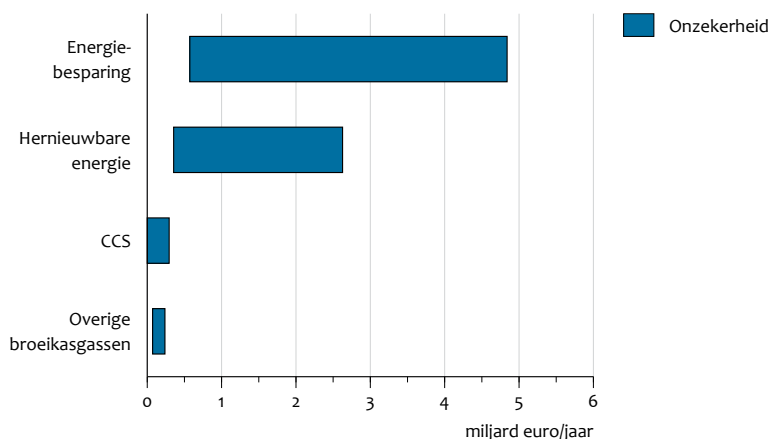
De totale kosten om de doelen van het Coalitieakkoord te halen met kosteneffectieve maatregelen zijn gelijk aan de oppervlakte van de gekleurde vlakken van de grafiek. Vanwege het steile verloop aan het einde van de kostencurve zijn de totale kosten relatief gevoelig voor de onzekerheid in de schatting van het potentieel van de maatregelen. Verandering in het geschatte potentieel van een maatregel doet de kostencurve naar links of naar rechts schuiven. Stel dat het potentieel wordt gecorrigeerd voor een onderschatting van enkele maatregelen, dan schuift het steile deel van de kostencurve naar rechts, voorbij het doel van de emissiereductie. De kostencurve tot aan het doel wordt dan vlakker waardoor de totale kosten lager zijn. Omgekeerd geldt dat wanneer het potentieel van enkele maatregelen is overschat dan de kostencurve naar links schuift, waardoor extra dure maatregelen (die nu niet in de figuur staan; met een kosteneffectiviteit hoger dan 300 euro/ton) nodig zijn. Hierdoor nemen de totale kosten relatief sterk toe.

De kostencurve van de kosteneffectieve maatregelen van de door de EC voorgestelde doelen verloopt vlakker (niet afgebeeld) omdat de doelen minder ambitieus zijn. De onzekerheid in de totale kosten is relatief groter naarmate de doelen ambitieuzer zijn, omdat het potentieel van maatregelen met



Kosteneffectiviteit van klimaat- en energiemaatregelen voor de kosteneffectieve variant van het kabinetsdoel (Coalitieakkoord) (ECN, 2009b).

Ten opzichte van referentiescenario GEHP



Nationale kosten van klimaat- en energiemaatregelen voor het Werkprogramma Schoon en Zuinig ten opzichte van het referentiescenario GEHP in 2020 (ECN, 2009b).

lage en middelmatige kosten begrensd is en een relatief groter aandeel van maatregelen met hoge kosten nodig is. Dit betekent dat naarmate de doelen ambitieuzer zijn zowel de kosten als de onzekerheid in de kosten toenemen.

### Kosten van het Werkprogramma Schoon en Zuinig

De kosten van de klimaat- en energiemaatregelen van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* zijn 1 tot 6 miljard euro in 2020 bij een lage intensivering van het Europese beleid en een CO<sub>2</sub>-prijs van 20 euro/ton. Bij een hoge intensivering van het Europese beleid en een CO<sub>2</sub>-prijs van 50 euro/ton worden meer maatregelen geëffectueerd en zijn de jaarlijkse kosten 3 tot 7 miljard euro in 2020. De grote bandbreedte in de kostenschatting wordt veroorzaakt door de onzekerheid in toekomstige ontwikkelingen van energieprijzen en de beschikbare kennis over de technische potentiën en kosten

van maatregelen. Dit geldt vooral bij nieuwe technologieën waarmee nog weinig of geen ervaring is opgedaan. Voor een uitgebreide discussie, zie (ECN, 2009). Deze beleids- en kennisonzekerheden in ogeschouw genomen geeft Figuur 2.2 de kostenonzekerheden van maatregelen voor het Werkprogramma *Schoon en Zuinig*. De kosten worden gedomineerd door energiebesparing en hernieuwbare energie.

### 2.3.2 Hernieuwbare energie

Het realiseren van het hernieuwbare energiedoel (20% in 2020) uit het Coalitieakkoord betekent het vermijden van 410 PJ fossiele energie door hernieuwbare energiebronnen ten opzichte van het GEHP-scenario (en als ook het doel van energiebesparing wordt gehaald). Voor het EU-doel (17% in 2020) moet 308 tot 336 PJ fossiele energie worden vermeden, zie Tabel 2.5. Het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* reali-

Additioneel vermeden fossiel (PJ <sub>primair</sub> )	Coalitieakkoord	EC EU 20%	EC EU 30%	Werkprogramma Schoon en Zuinig
Biobrandstoffen	50	50	50	37-84
Wind	145	145	146	16-100
Warmte	41	35	35	21-37
Biomassa	99	72	43	0-41
Groen gas	75	34	34	0
Totaal	410	308	336	74-262

Additioneel vermeden fossiel energiegebruik van kosteneffectieve maatregelen en het effect van het Werkprogramma Schoon en Zuinig ten opzichte van huidig beleid in de referentieraming GEHP in 2020 (PJ<sub>primair</sub>).

seert een aandeel hernieuwbare energie van 11% (74 PJ extra afname) tot 13%, bij een CO<sub>2</sub>-prijs van 20 euro/ton. Het aandeel is 15% tot 17% (262 PJ extra afname), bij een CO<sub>2</sub>-prijs van 50 euro/ton, zie Tabel 2.5. Hieronder worden de bijdragen van de afzonderlijke hernieuwbare energiebronnen toegelicht.

#### Biobrandstoffen

Voor de kosteneffectieve varianten is een aandeel van 10% biobrandstoffen in de transportsector expliciet in de berekeningen als doel opgelegd. De inzet van 10% biobrandstoffen komt overeen met ongeveer 37–84 PJ vermeden fossiele energie. Het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* formuleert een doel van 10 tot 20%, afhankelijk van het kunnen voldoen aan de duurzaamheidscriteria voor biobrandstoffen. Deze bandbreedte is als uitgangspunt genomen voor de doorrekening van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig*.

#### Wind

Windenergie op land en zee levert de grootste bijdrage aan het doel van hernieuwbare energie en is een van de meest kosteneffectieve hernieuwbare energiebronnen.

#### Warmte

Hernieuwbare warmte bestaat voornamelijk uit maatregelen in de gebouwde omgeving zoals zonneboilers en uit klimaatvriendelijke kassen in de glastuinbouw.

#### Biomassa

Deze categorie omvat de inzet van biomassa in de elektriciteitsopwekking. Hiervoor zijn meestook en bijstook van biomassa in kolencentrales ingezet. In geval van bijstook wordt de biomassa eerst in een aparte installatie vergast of verbrand en worden de geproduceerde gassen daarna meegeestookt in de kolencentrales. De mogelijkheden voor meestook en bijstook hangen af van het beschikbare kolenvermogen. Als door andere maatregelen kolencentrales verdrongen worden, heeft dit ook consequenties voor de mogelijkheden voor bij- en meestook. Voor de doelvariant EC/EU 20% is de inzet van biomassa iets groter dan in EC/EU 30%. Het doel van hernieuwbare energie is immers een vast aandeel van het energiegebruik, en dit is in de EC/EU 30% variant lager.

#### Groen Gas

Groen gas speelt een relatief grote rol in de variant om de doelen van het Coalitieakkoord te halen, vanwege het 20%-doel voor hernieuwbare energie. Groen gas is echter nau-

welijks opgenomen in het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* en het doel voor hernieuwbare energie wordt dan ook niet gehaald met het voorgenomen beleid. De categorie 'groen gas' omvat gas dat uit biomassa wordt geproduceerd via vergisting of vergassing (ECN/MNP, 2006). Groen gas is in de berekeningen gerangschikt onder de gebouwde omgeving. Daardoor telt de broeikasreductie mee voor de niet-ETS-sectoren. Dit is de reden waarom groen gas ook een rol van betekenis speelt in de doelvarianten EC/EU 20% en EC/EU 30%.

De energiebronnen windenergie, biomassa en groen gas blijven achter in het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* vergeleken met de kosteneffectieve varianten voor het Coalitieakkoord en het EC-voorstel. De inzet van warmte en biobrandstoffen in *Schoon en Zuinig* komt ongeveer overeen met de inzet volgens het kosteneffectieve maatregelpakket.

## 2.4 Het nationale klimaatdoel is lastig verenigbaar met EU breed emissieplafond van de ETS-sectoren

De wijziging van het Europese ETS-systeem volgens het voorstel van de Europese Commissie gaat een nieuwe realiteit creëren. Voor de periode na 2012 bestaan alleen nog emissieplafonds voor de niet-ETS-sectoren van lidstaten, en niet meer voor de totale nationale broeikasgasemissies. Indien Nederland toch vasthoudt aan de nationale reductiedoelstelling van -30% dan kan Nederland niet meer een nationaal emissieplafond van de ETS-sector inboeken in de broeikasgasbalans. Het kabinet heeft daarom aangegeven de Europese doelstelling van de Europese ETS-sector als resultaat in te boeken voor de Nederlandse ETS-sector. Volgens PBL is deze methode echter niet betekenisvol omdat er geen sturende werking voor de emissie van de ETS-sector van uitgaat (PBL, 2008). Een alternatieve methode is om de fysieke emissies van de ETS-sector mee te tellen. Een andere alternatieve methode is de reductiedoelstelling van 30% te beperken tot de niet-ETS-sectoren. Een argument hiervoor is dat Nederland alleen nog op de emissies van de niet-ETS-sectoren rechtstreeks invloed kan uitoefenen. In deze paragraaf wordt nagegaan hoe groot het beleidstekort is om van de EC voorgestelde doelen te komen tot een Nederlandse reductiedoelstelling van -30% volgens de drie verschillende methoden.



	Meetellen ETS op basis van fysieke emissie		Inboeken EU-ETS-reductiedoel		ETS buiten beschouwing laten	
	EU 20%	EU 30%	EU 20%	EU 30%	EU 20%	EU 30%
<i>Reductie-opgave om Coalitiedoel te realiseren</i>	97	97	97	97	27	27
<i>Reductie ETS</i>	35	33	54 (-21% t.o.v. 2005)	63 (-31% t.o.v. 2005)	n.v.t.	n.v.t.
<i>Reductie Niet-ETS<sup>1</sup></i>	19	31	19	31	19	31
<i>Beleidsstekort</i>	43	33	24	3	8	-4

<sup>1</sup> Reductie niet-ETS-sectoren is gelijk aan emissie van referentiescenario minus het EC voorgestelde doel voor de niet-ETS-sectoren in Nederland

#### *Eerste methode: fysieke emissie meetellen*

In het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* is de nationale reductiedoelstelling van -30% opgeknipt in een doel van -30% voor enerzijds de ETS-sector en anderzijds de niet-ETS-sectoren. Hierbij werd uitgegaan van het kunnen toekennen van een nationaal ETS-emissieplafond van -30%. In de nieuwe realiteit volgens het EC-voorstel bestaat een dergelijk nationaal ETS-emissieplafond echter niet. Een mogelijkheid is om vast te houden aan de nationale reductiedoelstelling en daarbij voor de ETS-sector de fysieke emissies mee te tellen. De nationale reductiedoelstelling betekent een reductieopgave van 97 Mton CO<sub>2</sub>-eq. vergeleken met het referentiescenario GEHP (Tabel 2.6). De reductieopgave wordt (deels) ingevuld door enerzijds de reductie van de ETS-sector onder invloed van de CO<sub>2</sub>-prijs van het Europese emissiehandelssysteem en de doelstelling van hernieuwbare energie en anderzijds het reductiedoel voor de niet-ETS-sectoren. Volgens de ECN-verkenning (ECN, 2009b) leiden de kosteneffectieve varianten van het EC-voorstel tot een reductie in de ETS-sector van 35 Mton CO<sub>2</sub>-eq. in EU 20% en 33 Mton CO<sub>2</sub>-eq. in EU 30%. Realisatie van de doelstelling van de niet-ETS-sectoren betekent dat een reductie van 19 Mton CO<sub>2</sub>-eq. moet worden gerealiseerd in geval van EU 20% en 31 Mton CO<sub>2</sub>-eq. in geval van EU 30%, beide vergeleken met het referentiescenario GEHP. Op basis van bovenstaande reductieopgave en reducties van de ETS-sector en niet-ETS-sectoren blijkt een beleidsstekort van 43 Mton in geval van EU 20% en 33 Mton in geval van EU 30%.

#### *Tweede methode: inboeken EU-ETS-reductiedoel*

Uit een brief van het kabinet aan de Tweede Kamer van 26 mei blijkt dat het kabinet ervoor kiest om vast te houden aan het nationale doel van 30% van het Coalitieakkoord (VROM, 2008a). In de brief wordt tevens aangegeven dat het kabinet de Europese reductiedoelstelling van het Europese emissieplafond van de ETS-sectoren (voor EC/EU 20% is dit -21% ten opzichte van 2005 en -31% voor EC/EU 30%) als resultaat voor de Nederlandse ETS-sectoren zal inboeken. Volgens PBL is deze keuze niet betekenisvol omdat er geen sturende werking voor de emissie van de ETS-sectoren in Nederland van uit gaat (PBL, 2008). Als resultaat van het inboeken van de Europese reductiedoelstelling van het Europese emissieplafond wordt het bovengenoemde beleidsstekort verkleind tot 24 Mton in geval van EU 20% en 3 Mton in geval van EU 30%.

#### *Derde methode: ETS buiten beschouwing laten*

Als laatste beschouwen we de consequentie voor het beleidsstekort indien het kabinet alsnog zou besluiten om de reductiedoelstelling van 30% te beperken tot de niet-ETS-sectoren. Zoals gezegd is een argument hiervoor dat Nederland alleen nog op de emissies van de niet-ETS-sectoren rechtstreeks invloed kan uitoefenen. Beperking van de reductiedoelstelling tot de niet-ETS-sectoren komt overeen met een reductieopgave van 27 Mton voor het referentiescenario GEHP. Het beleidsstekort wordt dan verder verkleind tot 8 Mton CO<sub>2</sub>-eq. in geval van EU 20% en omgebogen in een overschot van 4 Mton CO<sub>2</sub>-eq. in geval van EU 30%.

In tabel 2.6 staat de reductieopgave volgens de drie hierboven beschreven methoden

voor het omgaan met het nationale klimaatdoel (-30% emissiereductie van broeikasgassen) in 2020 (Mton CO<sub>2</sub>-eq.):

1. meetellen van ETS-sector op basis van fysieke emissies;
2. inboeken van de Europese reductiedoelstelling van de Europese ETS-sector als resultaat voor de Nederlandse ETS-sector;
3. het buiten beschouwing laten van de ETS-sector, met andere woorden het beperken van het reductiedoel tot de niet-ETS-sectoren.

Tevens is de emissiereductie in de ETS-sector en niet-ETS-sectoren opgenomen in het geval de EU-doelen kosteneffectief worden gerealiseerd. Het resterende beleidsstekort is dan:

- 33 tot 43 Mton in geval van het meetellen van de ETS op basis van fysieke emissie;
- 3 tot 24 Mton in geval van het inboeken van Europese reductiedoelstelling van de Europese ETS-sector als resultaat voor de Nederlandse ETS-sector;
- -4 tot 8 Mton in geval van het beperken van het reductiedoel tot de niet-ETS-sectoren..

De goedkoopste manier om het beleidsstekort op te vullen is de aankoop van buitenlandse emissiereducties via CDM/JI. Bij een emissieprijs variërend van 20 tot 50 euro/ton zijn de kosten van de CDM/JI-aankoop:

- 660 tot 2150 miljoen euro in geval van het meetellen van de ETS op basis van fysieke emissie;
- 60 tot 1200 miljoen euro in geval van het inboeken van Europese reductiedoelstelling van de Europese ETS-sector als resultaat voor de Nederlandse ETS-sector;

- -200 tot 400 miljoen euro in geval van het beperken van het reductiedoel tot de niet-ETS-sectoren.

De hierboven genoemde kosten voor de aankoop van CDM/JI zijn geschat voor het geval de EU doelen worden gerealiseerd. Indien de doelen van het Coalitieakkoord worden gerealiseerd, is de binnenlandse emissiereductie van broeikasgassen groter en zijn de kosten van de aankoop CDM/JI kleiner. Geschat wordt dat de binnenlandse emissiereductie dan 9 Mton voor EC/EU 20% en 5 Mton voor EC/EU 30% groter is. Het beleidstekort zal in dat geval afnemen in alle drie methoden. Hoeveel het

beleidstekort afneemt hangt af van de methode en het deel van de extra reductie (5 tot 9 Mton) dat behoort tot de niet-ETS-sectoren.

## 2.5 Conclusies

*De doelen van het Coalitieakkoord leiden tot hogere kosten in 2020 dan de doelen van de Europese Commissie*

De kosten van binnenlandse maatregelen om de energiedoelen van het Coalitieakkoord te realiseren zijn minimaal 2 à 3 miljard euro hoger dan de kosten van het voorgestelde doel van de Europese Commissie bij het EU 20%-doel. De extra jaarlijkse kosten zijn voor zowel energiebesparing als hernieuwbare energie minimaal 1 à 2 miljard euro in 2020. Hierbij is zowel voor het realiseren van de doelen uit het Coalitieakkoord als van die van de EU uitgegaan van het volledig kunnen benutten van het goedkoopste potentieel van technische maatregelen van energiebesparing en hernieuwbare energie. Met welke beleidsinstrumenten dit technische potentieel kan worden gerealiseerd, is niet geanalyseerd. Bij het niet volledig benutten kunnen de kosten sterk oplopen en bestaat het risico dat in de praktijk de doelen niet worden gehaald.

Daarnaast kunnen de kosten in de praktijk zowel hoger als lager uitvallen dan de gepresenteerde kosten vanwege de onzekerheid in potentiële en kosten. Naarmate de doelen ambitieuzer zijn nemen niet alleen de kosten toe maar ook de onzekerheid in de kosten.

### Hernieuwbare energie

De potentieelverkenning laat zien dat er voldoende binnenlands potentieel is om het doel voorgesteld door de Europese Commissie te realiseren. Hierbij kan het aandeel van bio-brandstoffen in de transportsector beperkt blijven tot 10%. De energiebronnen windenergie, biomassa en groen gas worden waarschijnlijk door het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* onvoldoende gestimuleerd om het doel van hernieuwbare energie (20% in 2020) te realiseren. Een mogelijkheid is om gebruik te maken van groencertificaten uit het buitenland. Het is hierbij onzeker of er voldoende groencertificaten op de markt komen.

Realisatie van het doel van 20% betekent extra jaarlijkse kosten van minimaal 1 à 2 miljard euro in 2020 vergeleken met het voorstel van de Europese Commissie. Of er voldoende

beleidsmogelijkheden zijn om tijdig het technische potentieel te realiseren, is in deze analyse buiten beschouwing gelaten.

### De 30%-reductiedoelstelling van broeikasgassen beperken tot niet-ETS-sectoren

De keuze van het kabinet om de Europese reductiedoelstelling van het Europese emissieplafond van de ETS-sectoren in te boeken als resultaat voor de Nederlandse ETS-sectoren is niet betekenisvol omdat er geen sturende werking voor de emissie van de ETS-sectoren in Nederland van uit gaat.

Een alternatieve methode is de reductiedoelstelling van 30% te beperken tot de niet-ETS-sectoren. Dit betekent een vermindering van buitenlandse aankoop met circa 3 tot 16 Mton per jaar in 2020 vergeleken met het voornemen van het kabinet. Bij een CO<sub>2</sub>-prijs van 20 tot 50 euro/ton levert dit een jaarlijkse kostenbesparing van 60 tot 800 miljoen euro in 2020.

*Doelbereik en kosten van het Werkprogramma Schoon en Zuinig onzeker en afhankelijk van strengheid EU-beleid*

De effectiviteit van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* voor de emissiereductie van broeikasgassen, het aandeel hernieuwbare energie en het tempo van energiebesparing is afhankelijk van de intensivering van het Europese beleid en de uitwerking van het nationale beleid in concrete verplichtingen en prikkels voor sectoren. Voorbeelden van intensivering van het Europese beleid zijn EU-normering voor elektrische apparaten en motorvoertuigen en de CO<sub>2</sub>-prijs van het emissiehandelssysteem van de energie-intensieve bedrijven. Het nationale beleid is in veel gevallen nog niet voldoende concreet uitgewerkt om de effecten nauwkeurig in te schatten. Op basis van de huidige stand van zaken lijken voldoende verplichtingen en prikkels te ontbreken om het aanwezige potentieel van technische maatregelen *met zekerheid* te realiseren.

Het door de EC voorgestelde doel voor hernieuwbare energie wordt waarschijnlijk niet gehaald met het voorgenumen beleid van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig*. Het niet-ETS-doel voor broeikasgassen behorend bij het EU 20%-doel kan waarschijnlijk wel worden gehaald (met gebruikmaking van de toegestane hoeveelheid aankoop van CDM- en JI-rechten). Het niet-ETS-doel behorend bij het EU 30%-doel wordt waarschijnlijk gerealiseerd bij een streng Europees beleid en een verdere effectieve uitwerking van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig*. Bij een beperkte intensivering van het Europese beleid worden onvoldoende maatregelen geëffectueerd en bedragen de jaarlijkse nationale kosten 1 tot 6 miljard euro in 2020. Bij een hoge intensivering van het Europese beleid komen of zijn de voorgestelde doelen van de Europese Commissie binnen bereik en zijn de kosten 3 tot 7 miljard euro. De klimaat- en energiedoelen van het Coalitieakkoord blijven buiten bereik zonder (de eerdergenoemde) extra maatregelen. Het doel van 2% energiebesparing per jaar wordt echter bij streng Europees beleid wel gehaald, indien de Europese definitie voor energiebesparing wordt gehanteerd. De jaarlijkse kosten om de klimaat- en energiedoelen van het Coalitieakkoord te halen, worden geschat op circa 9 miljard euro in 2020, met inbegrip van de aankoop van buitenlandse emissiereducties.

De conclusies moeten met enige voorzichtigheid worden gehanteerd omdat het potentieel en de kosten van maatregelen voor een groot deel zijn gebaseerd op het Optiedocument uit 2005. Een deel van het potentieel van de maatregelen is mogelijk niet meer realiseerbaar en nieuwe inzichten in potentiëlen en kosten van maatregelen zijn niet meegenomen. Tevens zijn economische ontwikkelingen en beleid na het verschijnen van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* niet meegenomen.



# Synergie met luchtbeleid

# 3

Klimaat- en energiebeleid leveren een positieve bijdrage aan het luchtbeleid omdat bepaalde klimaatmaatregelen naast vermindering van broeikasgassen ook leiden tot vermindering van luchtverontreinigende emissies (de zogenaamde synergie). Een geïntegreerde aanpak van het klimaat-, energie- en luchtbeleid kan daarom bijdragen aan het op efficiënte wijze vormgeven van het toekomstige Nederlandse klimaat- en luchtbeleid.

In dit hoofdstuk worden de neveneffecten op de luchtverontreinigende emissies geanalyseerd van kosteneffectieve maatregelen om de klimaat- en energiedoelen van het kabinet en de EU te realiseren. Tevens wordt een verkenning uitgevoerd van de neveneffecten van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig*. Hierbij wordt gebruikgemaakt van dezelfde analyse (ECN, 2008) als in hoofdstuk 2. Het doel van dit hoofdstuk is om inzicht te geven in de neveneffecten van het klimaat- en energiebeleid op de luchtverontreinigende emissies (paragraaf 3.1) en op de kostenvoordelen voor het luchtbeleid (paragraaf 3.2) met als zichtjaar 2020. In paragraaf 3.3 wordt gekeken naar effecten van klimaatbeleid op luchtkwaliteit op de langere termijn. Het hoofdstuk sluit af met de conclusies.

## 3.1 Neveneffect op emissies van luchtverontreinigende stoffen

De neveneffecten van klimaat- en energiebeleid op de luchtverontreinigende emissies treden het sterkst op bij energiegerelateerde maatregelen, zoals energiebesparing en de inzet van windenergie. Deze maatregelen leiden tot een vermindering van het gebruik van fossiele brandstoffen, waardoor ook de emissies van luchtverontreinigende stoffen afnemen. Vooral zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) en stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) zijn sterk gekoppeld aan de energiegerelateerde maatregelen. De overige prioritaire luchtverontreinigende stoffen (ammoniak (NH<sub>3</sub>), fijn stof (PM<sub>2,5</sub>) en vluchtige organische stoffen ([VOS]) zijn voor een kleiner deel energiegerelateerd, en de neveneffecten op deze stoffen zijn kleiner.

Niet alle klimaat- en energiemaatregelen leiden zonder meer tot gunstige neveneffecten op luchtverontreinigende stoffen (ECN, 2008; ECN 2009b). De inzet van biomassa heeft vaak geen gunstig effect op de NO<sub>x</sub>-emissie en kan vooral bij toepassing in kleinschalige installaties leiden tot een toename van luchtverontreiniging wanneer geen aanvullende maatregelen worden vereist. Het toepassen van afvang en opslag

van CO<sub>2</sub> (CCS) kan leiden tot een afname van SO<sub>2</sub>-emissies, maar tot een toename van NO<sub>x</sub>- en NH<sub>3</sub>-emissies wanneer geen tegenmaatregelen worden genomen. Of de inzet van biobrandstoffen in het wegverkeer leidt tot een verbetering of verslechtering van de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen is niet duidelijk.

Naast het type klimaatmaatregelen is ook de verdeling van de te nemen maatregelen over het binnenland en het buitenland van belang voor de nationale uitstoot van luchtverontreinigende stoffen. Namelijk, door de aankoop van buitenlandse emissiereducties van broeikasgassen via CDM- en JI-projecten zullen er geen neveneffecten op de luchtverontreinigende stoffen in het binnenland plaatsvinden.

Het neveneffect van het klimaat- en energiebeleid op de emissies van de luchtverontreinigende stoffen in Nederland in 2020 is verkend voor de drie varianten die zijn beschreven in hoofdstuk 2. Deze varianten betreffen de kosteneffectieve klimaat- en energiemaatregelen om de Nederlandse klimaat- en energiedoelen te halen van:

- het Coalitieakkoord (CA) van het kabinet Balkenende IV;
- het voorstel van de Europese Commissie indien de totale EU een emissiereductiedoel van 20% ten opzichte van 1990 nastreeft (EC/EU 20%);
- het voorstel van de Europese Commissie indien de totale EU een emissiereductiedoel van 30% ten opzichte van 1990 nastreeft (EC/EU 30%).

Tevens zijn de neveneffecten geschat voor de klimaat- en energiemaatregelen die door het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* worden geëffectueerd.

Uit de verkenning volgt dat de emissies van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> afnemen door het klimaat- en luchtbeleid, maar relatief (percentageel) minder dan de broeikasgassen (Figuur 3.1). Hoeveel minder kan worden uitgedrukt door de synergiefactor. Deze wordt gegeven in Tabel 3.1.

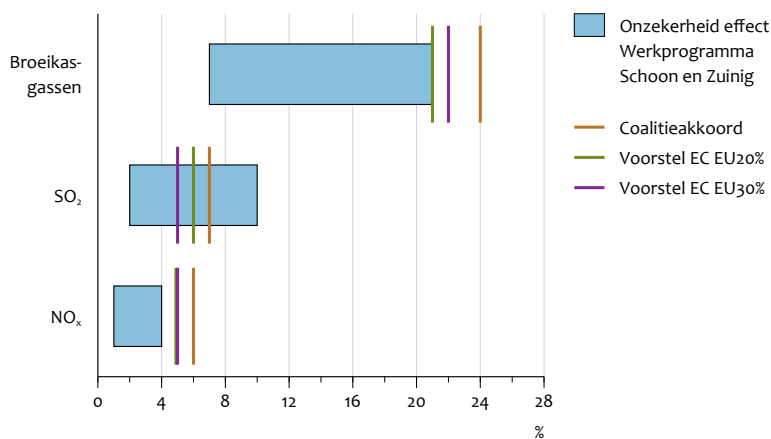
Tabel 3.1 geeft een overzicht van de absolute en relatieve emissiereducties van broeikasgassen (BKG) en een aantal luchtverontreinigende stoffen die onder de NEC-richtlijn vallen (NEC) ten opzichte van de emissie in het referentiescenario GEHP in 2020. Daarnaast laat de tabel ook de verhoudingsgetallen zien tussen relatieve NEC-reducties en BKG-reductie: de zogenaamde synergiefactor. Alleen de effecten van de klimaatmaatregelen op de uitstoot van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>

Reductie (Mton BKG of kton NEC)	Coalitieakkoord	EC EU 20%	EC EU 30%	Werkprogramma Schoon en Zuinig
BKG	59	51	54	17 – 52
NO <sub>x</sub>	13	10	10	2 – 9
SO <sub>2</sub>	4	3	3	1 – 6
<i>Reductie binnenlands (% t.o.v. referentiescenario GEHP)</i>				
BKG	24%	21%	22%	7% - 21%
NO <sub>x</sub>	6%	5%	5%	1% - 4%
SO <sub>2</sub>	7%	6%	5%	2% - 10%
<i>Synergiefactor (reductie %NEC/%BKG)</i>				
NO <sub>x</sub>	0,3	0,2	0,2	0,1 – 0,2
SO <sub>2</sub>	0,3	0,3	0,2	0,3 – 0,5

Effecten van kosteneffectieve varianten gericht op het halen van de doelen van het kabinet en de EU en een bandbreedte voor het geschatte effect van het Werkprogramma Schoon en Zuinig op de reductie van broeikasgassen (BKG) en de luchtverontreinigende stoffen SO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> binnen Nederland.

Relatieve emissiereductie ten opzichte van referentiescenario GEHP 2020

Figuur 3.1



Binnenlandse emissiereductie van broeikasgassen en luchtverontreinigende stoffen ten opzichte van het referentiescenario (GEHP) in 2020 voor kosteneffectieve maatregelen om de doelen te realiseren en voor het Werkprogramma Schoon en Zuinig. De bandbreedte voor het Werkprogramma Schoon en Zuinig wordt veroorzaakt door onzekerheid over de strengheid van het Europese beleid, de CO<sub>2</sub>-prijs en de uitwerking van het nationale beleid.

worden getoond vanwege de beperkte neveneffecten op de overige luchtverontreinigende stoffen.

De kosteneffectieve maatregelen om de doelen te realiseren verminderen de luchtverontreinigende emissies van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> met 5 tot 7% ten opzichte van de voor 2020 geraamde emissies. Voor het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* worden deze neveneffecten geschat op 1 tot 4% voor NO<sub>x</sub> en 2 tot 10% voor SO<sub>2</sub>.

De brede range wordt veroorzaakt door de onzekerheid over de strengheid van het Europese beleid, de CO<sub>2</sub>-prijs en de uitwerking van het nationale beleid. Een extra onzekerheid betreft de sluiting van oude kolencentrales die vooral van invloed is op het neveneffect voor de emissie van SO<sub>2</sub>.

De synergiefactor voor NO<sub>x</sub> ligt tussen 0,2 en 0,3 voor de kosteneffectieve maatregelen om de doelen te realiseren en

tussen 0,1 en 0,2 voor de effecten van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig*. De belangrijkste oorzaak voor de hogere synergiefactor voor de kosteneffectieve pakketten is het grotere aandeel klimaatmaatregelen bij de binnenlandse elektriciteitsopwekking.

Bij SO<sub>2</sub> ligt de synergiefactor tussen 0,2 en 0,5. Bepalend voor de synergie met SO<sub>2</sub> zijn de sluiting van kolencentrales, bij- en meestook van biomassa in kolencentrales en de toepassing van CCS bij kolencentrales. Deze maatregelen leiden tot een vermindering van de SO<sub>2</sub>-emissies.

#### Discussie over overschot elektriciteitsproductie

Zoals in hoofdstuk 2 is toegelicht leidt een deel van de klimaat- en energemaatregelen tot een overschot in de elektriciteitsproductie van Nederland. Grootschalige sluiting van oudere centrales is echter niet aannemelijk vanwege de

	Coalitieakkoord	EC EU 20%	EC EU 30%	Werkprogramma <i>Schoon en Zuinig</i>
NO <sub>x</sub>	9	9	9	7 tot 15
SO <sub>2</sub>	4	2	2	6 tot 9

Additionele binnenlandse emissiereductie (in kton) indien het overschot van de elektriciteitsproductie niet op zou treden (wel sluiting van oudere centrales).

	Projectie (kton)	Indicatief Doel (kton)	Indicatie verschil projectie- doel (kton)	Gemiddelde kosteneffectiviteit ad- ditionele luchtmaatregelen (euro/kg)	
				lage schatting	hoge schatting
NO <sub>x</sub>	206	177	28,5	1,6	4,8
SO <sub>2</sub>	56	44	11,5	5	5,6
NH <sub>3</sub>	143	125	18	2,9	2,9
NMVOS	170	161	9	2,2	3,2
PM <sub>2,5</sub>	15,8	16	-0,2	n.v.t.	n.v.t.

<sup>1</sup>In de raming zijn de effecten meegenomen van het vastgestelde beleid (PBL, 2008), de effecten van het EURO-VI-voorstel met emissienormen voor zwaar verkeer (Velders et al., 2008) en het SO<sub>2</sub>-convenant uit 2008 tussen het kabinet en de energiesector (VROM, 2008b).

Emissies NEC-stoffen in referentieraming GEHP<sup>1</sup>, indicatieve NEC-doelen en gemiddelde kosteneffectiviteit van additionele luchtmaatregelen om het verschil tussen projectie en indicatief doel te dichten in 2020.

relatief gunstige concurrentiepositie van de Nederlandse centrales ten opzichte van vooral Duitsland (ECN, 2008). De reden hiervoor is dat de oude Nederlandse centrales een relatief hoog rendement hebben, omdat ze in vergelijking met die in het buitenland relatief jong zijn.

Tenzij CO<sub>2</sub>-prijzen erg hoog worden, zal het voor elektriciteitsproducenten aantrekkelijk zijn om CO<sub>2</sub>-rechten te kopen in plaats van centrales af te danken en het overschot aan elektriciteitsproductie te exporteren. Wanneer het binnenlandse klimaatbeleid of hoge CO<sub>2</sub>-prijzen zouden leiden tot grootschalige vervroegde sluiting van Nederlandse elektriciteitscentrales, dan zouden de binnenlandse emissiereducties van broeikasgassen, NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> significant groter zijn (Tabel 3.2).

### 3.2 Kosten en realisatie van luchtdoelen

Het huidige luchtbeleid is onvoldoende om te kunnen voldoen aan de indicatieve nationale emissiedoelen (NEC) voor 2020 voor de luchtverontreinigende stoffen (IIASA, 2008a). Aanvullend luchtbeleid is daarvoor nodig. Doordat de binnenlandse klimaat- en energiemaatregelen een gunstig neveneffect hebben op de luchtmissies is minder aanvullend luchtbeleid nodig, en zullen de kosten van dit aanvullende luchtbeleid dalen. In deze paragraaf is berekend welke kosten voor luchtmaatregelen worden vermeden door de klimaat- en energiemaatregelen. De uitgangspunten van de geraamde luchtmissies en indicatieve doelen van de NEC-stoffen en reductiekosten staan in Tabel 3.3. De kosten van de luchtmaatregelen zijn gebaseerd op het Optiedocument (lage schatting) (ECN/MNP, 2006) en andere bronnen (hoge schatting) (Peeters-Weem et al., 2006; Smit, 2008). Ter illus-

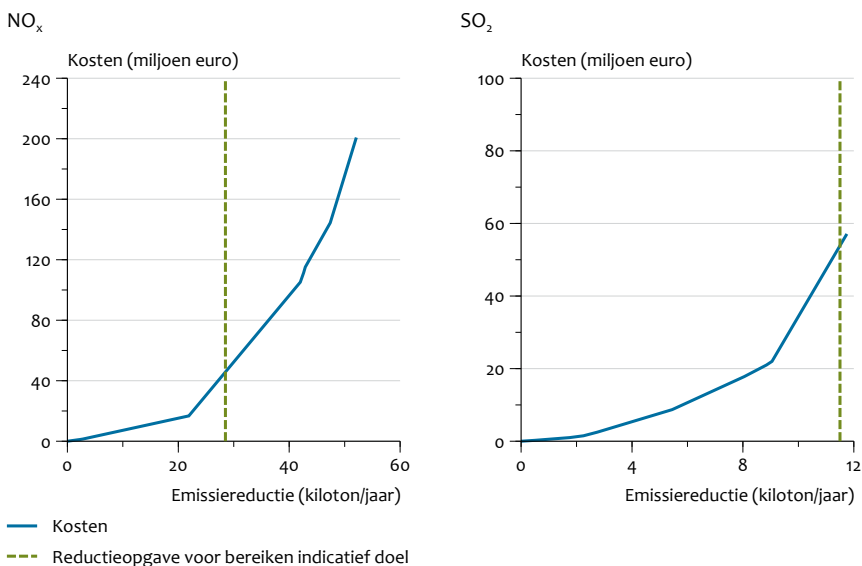
tratie zijn de kostencurven (volgens de lage schatting) van de maatregelen voor NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> gegeven in Figuur 3.2.

Op basis van de beschikbare kosteneffectiviteitsgegevens (Tabel 3.3) worden de kosten van aanvullende luchtmaatregelen, waarmee de indicatieve NEC-doelen voor 2020 kunnen worden gerealiseerd, geschat op 200 tot 300 miljoen euro per jaar in 2020. Als het voorgenomen beleid van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* wordt uitgevoerd, wordt hiervan 5-25% (10-75 miljoen euro/jr) vermeden (Tabel 3.4). Als de kosteneffectieve maatregelen om de doelen te halen worden genomen, wordt 20-25% (45 tot 90 miljoen euro/jr) van deze kosten vermeden. Deze neveneffecten van het klimaatbeleid zijn substantieel in vergelijking met de totale kosten voor het aanvullende luchtbeleid. Echter, in vergelijking met de kosten van de kosteneffectieve maatregelen om de klimaat- en energiedoelen van het kabinet (3 à 9 miljard euro/jr in 2020) te halen zijn de vermeden luchtkosten gering (hoofdstuk 2).

Indien wordt verondersteld dat er grootschalige sluiting plaatsvindt van oude elektriciteitscentrales waardoor geen overschot van de elektriciteitsproductie optreedt dan is de emissiereductie van de luchtverontreinigende stoffen groter, zoals aangegeven in de vorige paragraaf. De kostenbesparing voor aanvullend luchtbeleid neemt in dat geval toe tot 80 à 150 miljoen euro/jr in 2020 bij het halen van de kabinetsdoelen.

De vermeden kosten doen zich vooral voor bij de reductie van NO<sub>x</sub> (5-45%) en SO<sub>2</sub> (10-50%) (Tabel 3.4), in geringere mate bij NMVOS (5-15%) en vrijwel niet bij NH<sub>3</sub> en de fijnere fractie van fijn stof (PM<sub>2,5</sub>) (0-1%).





Kosten van reductiemaatregelen voor NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> en de indicatieve reductieopgave om in 2020 op het indicatieve doel uit te komen (ECN/MNP, 2006).

*Discussie over de kostenbesparing van het luchtbeleid*

In bovenstaande analyse is de besparing op de kosten voor aanvullende luchtmaatregelen voor Nederland in kaart gebracht. De kostenbesparing heeft dus betrekking op de aanvullende luchtmaatregelen om het verschil tussen projectie en indicatief doel te dichten in 2020. Het is waarschijnlijk dat er ook een besparing optreedt bij luchtmaatregelen die worden genomen vanwege het *bestaande* beleid. Een voorbeeld is een ontzwavelingsinstallatie bij een kolencentrale die niet nodig is indien er geen nieuwe kolencentrale wordt gebouwd.

De kostenbesparing op luchtmaatregelen die vallen onder het *bestaande* beleid is niet expliciet onderzocht. Voor veel luchtmaatregelen is de besparing op de kosten voor het uitvoeren van het *bestaande* luchtbeleid echter wel verwerkt in de kosten van de klimaat- en energiemaatregelen, maar niet apart in beeld gebracht.

Voor de EU kan een schatting van deze besparing worden gegeven op basis van resultaten van het GAINS-model (IIASA, 2008a). Hieruit blijkt dat het Europese klimaatbeleid tot een forse besparing leidt in de kosten van het al bestaande luchtbeleid. Voor de EU als geheel worden de kosten van het bestaande luchtbeleid geschat op zo'n 88 miljard euro per jaar in 2020 zonder klimaatbeleid. Klimaatbeleid zorgt voor een daling van die kosten met zo'n 10% ofwel 8 miljard euro (IIASA, 2008a). Ook voor Nederland schat het GAINS-model de kostenbesparing van het Europese klimaatbeleid op het bestaande luchtbeleid op circa 10% (IIASA, 2008b). In hoeverre dit representatief is voor de beschouwde maatregelpakketten van dit rapport moet worden onderzocht, omdat het GAINS-model mogelijk andere klimaatregelen veronderstelt (met mogelijk grotere kostenbesparingen voor het bestaande luchtbeleid).

3.3 Effecten van klimaatbeleid op luchtkwaliteit op langere termijn

De voorgaande paragrafen beschouwde de synergie met het luchtbeleid voor de nabije toekomst (tot 2020). Deze paragraaf beschouwt de langere termijn (tot 2050). Bij het vastgestelde klimaat- en luchtbeleid zullen de emissies van luchtverontreinigende stoffen op de lange termijn toenemen, terwijl tegelijkertijd de doelen waarschijnlijk worden aangescherpt. De afstand tussen de emissies bij het vastgestelde beleid en de doelemissies zullen daardoor in de toekomst toenemen. Naarmate de afstand groter wordt, nemen ook de kosten van de maatregelen om deze afstand te overbruggen toe (Figuur 3.2). Het synergie-effect van het klimaat- en energiebeleid leidt daarom mogelijk tot een (relatief) grotere kostenbesparing op langere termijn dan is aangegeven in de vorige paragraaf. Daarnaast geldt mogelijk dat de nu bekende luchtmaatregelen die zijn opgenomen in de kostencurve van Figuur 3.2 tekort schieten om de mogelijke aanscherping van luchtdoelen op langere termijn te kunnen realiseren. Nieuwe systemen en innovaties zijn dan nodig om de afstand te overbruggen. Een groot deel daarvan betreft maatregelen die ook het energiegebruik en de emissie van broeikasgassen verminderen.

Een voorbeeld hiervan is het wegtransport. Het wegtransport is van groot belang voor de lokale luchtkwaliteit en bij wegtransport kunnen grote systeemveranderingen plaatsvinden onder invloed van klimaatbeleid. Er is een aantal opties om CO<sub>2</sub>-emissies van het wegverkeer te verminderen: inzet van biobrandstoffen of overschakelen op elektrisch of met waterstof aangedreven auto's. De opties worden hieronder vergeleken op hun bijdrage aan de verbetering van de luchtkwaliteit.



Vermeden kosten ten opzichte van realisatie NEC-doelen met alleen luchtmaatregelen	Coalitieakkoord (%/jr)	EC EU 20% (%/jr)	EC EU 30% (%/jr)	Werkprogramma Schoon en Zuinig (%/jr)
NO <sub>x</sub>	45 (75)	35 (60)	35 (60)	5 tot 30
SO <sub>2</sub>	35 (75)	30 (65)	25 (45)	10 tot 50
Alle NEC-stoffen	25 (45)	20 (40)	20 (30)	5 tot 25

Indicatie van vermeden kosten van extra luchtmaatregelen voor de kosteneffectieve varianten om de doelen van het kabinet en de EU te halen en het Werkprogramma Schoon en Zuinig, als percentage van de totale kosten van de aanvullende luchtmaatregelen zonder dit klimaatbeleid. Hierbij is rekening gehouden met het overschot van elektriciteit dat wordt geëxporteerd. Voor een situatie zonder extra elektriciteitsexport gelden indicatief de schattingen tussen haakjes.

Met het huidige beleid zal na 2030 het wagenpark vrijwel volledig bestaan uit personen- en vrachtauto's die voldoen aan de Euro-6-norm (of wellicht hoger). In het algemeen zal een overgang van de huidige brandstoffen (benzine en diesel) naar biobrandstoffen in toekomstige voertuigen geen grote veranderingen van de luchtverontreinigende emissies hebben, mits auto's die deels of volledig rijden op biobrandstoffen ook voldoen aan de Euro-normen (Verbeek et al., 2008).

Bij overschakelen op elektrisch of met waterstof aangedreven auto's zullen de uitlaatemissies van het wegverkeer tot nul afnemen. De PM<sub>2,5</sub>-concentraties als gevolg van wegverkeer zullen hierdoor gemiddeld in Nederland met zo'n 0,6 µg/m<sup>3</sup> dalen, langs drukke straten zal deze daling oplopen tot 1,5-3 µg/m<sup>3</sup>. Dit betekent een afname van zo'n 10% van de bijdrage van antropogene bronnen aan de gemiddelde concentratie PM<sub>2,5</sub> in Nederland; in drukke straten kan dit oplopen tot 15-30% van de PM<sub>2,5</sub>-concentratie. De afname is relatief beperkt vergeleken met de afname in de periode 1990-2030, omdat Euro-6-auto's al lage emissies hebben. Daarnaast zullen slijtage-emissies van fijn stof zoals slijtage van banden en wegdek niet afnemen bij overschakelen op elektrische auto's of auto's op waterstof. Hoewel de concentratiedaling dus beperkt is, gaat het wel om een gezondheidsrelevante fractie. Bovendien treden deze emissies voor een belangrijk deel op in de leefomgeving, waardoor de blootstelling hoger is dan bij emissies uit elektriciteitscentrales.

Naast uitlaatemissies van verkeer zelf zullen ook emissies die optreden tijdens de productie van brandstoffen afnemen (onder meer uit raffinaderijen). Dit wordt deels teniet gedaan door toename van emissies van de elektriciteit- en/of waterstofproductie. Netto zal de stedelijke luchtkwaliteit echter verbeteren bij het overschakelen op elektrische en/of waterstof aangedreven voertuigen.

In studies rond de herziening van de EU-richtlijnen worden gezondheidsbaten berekend van emissiereductiemaatregelen (AEAT, 2005). Analooq aan die methodiek kunnen ook gezondheidsbaten worden berekend van het overschakelen op elektrische auto's. Schattingen van de gezondheidsbaten komen uit op zo'n 0,5-1 miljard euro per jaar.

### 3.4 Conclusies

#### Kostenbesparing op luchtbeleid is gering

Maatregelen die gericht zijn op het halen van de Nederlandse klimaat- en energiedoelen van het Coalitieakkoord leiden tot een vermindering van de emissies van luchtverontreinigende stoffen. De kostenbesparing (vermeden reductiekosten) van luchtbeleid is echter relatief gering vergeleken met de extra kosten van het klimaat- en energiebeleid om de klimaat- en energiedoelen te realiseren.

De kosten van aanvullende luchtmaatregelen om indicatieve NEC-doelen voor 2020 te realiseren worden geschat op 180 tot 280 miljoen euro per jaar in 2020. Met kosteneffectieve maatregelen om de klimaat- en energiedoelen van het kabinet te halen wordt 45 tot 90 miljoen euro/jr vermeden op deze luchtkosten. In aanvulling op deze kostenbesparing zal ook bij het vastgestelde luchtbeleid een kostenbesparing optreden. Mogelijk is deze kostenbesparing enkele malen groter dan die optreedt bij het aanvullende luchtbeleid. Deze vermeden luchtkosten zijn relatief gering in vergelijking met de kosten om klimaat- en energiedoelen van het kabinet te halen (3 à 9 miljard euro/jr in 2020).

De vermeden luchtkosten doen zich vooral voor bij de reductie van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>, in geringere mate bij NMVOS en vrijwel niet bij NH<sub>3</sub> en de fijnere fractie van fijn stof (PM<sub>2,5</sub>).

#### Kostenbesparing op luchtbeleid groter als export van elektriciteit niet plaatsvindt

In de komende tien jaar kan een overschot aan opgewekte elektriciteit in Nederland ontstaan dat dan wordt geëxporteerd naar het buitenland. Het overschot ontstaat door de combinatie van een verdere groei van fossiel opgewekte elektriciteitsproductie, een minder sterke groei van de elektriciteitsvraag door energiebesparing en een toename van de elektriciteitsproductie door windenergie.

Grootschalige sluiting van oude centrales is niet aannemelijk vanwege de relatief gunstige concurrentiepositie van de Nederlandse centrales ten opzichte van vooral Duitsland.

Wanneer meer oude centrales worden gesloten, zouden meer luchtkosten binnen Nederland worden vermeden. De kostenbesparing voor aanvullend luchtbeleid zou in dat geval

toenemen tot 80 à 150 miljoen euro/jr in 2020 bij het halen van de klimaat- en energiedoelen van het kabinet.

#### Emissies van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> nemen wel substantieel af

Door de klimaat- en energiematregelen nemen de emissies van luchtverontreinigende stoffen af (synergie). De procentuele afname van de luchtverontreinigende stoffen NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> is een factor 2 tot 10 lager dan die van de broeikasgassen (synergiefactor).

Door het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* verminderen de luchtverontreinigende emissies van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> met 1 tot 10% ten opzichte van de voor 2020 geraamde emissies. De brede range wordt veroorzaakt door de onzekerheid over de strengheid van het Europese beleid en de CO<sub>2</sub>-prijs, en de uitwerking van het nationale beleid. Een extra onzekerheid is in hoeverre oude kolencentrales sluiten. Dit is vooral van invloed is op de emissiereductie van SO<sub>2</sub>.

Bepalend voor de synergie met SO<sub>2</sub> zijn de sluiting van kolencentrales, bij- en meestook van biomassa in kolencentrales en de toepassing van CCS bij kolencentrales. Deze maatregelen leiden tot een vermindering van de SO<sub>2</sub>-emissies.

#### Energiebesparing en windenergie hebben het grootste synergie-effect

De neveneffecten van klimaat- en energiebeleid op de luchtverontreinigende emissies treden het sterkst op bij energiegerelateerde maatregelen zoals energiebesparing en de inzet van wind. De inzet van biomassa kan echter vooral bij toepassing in kleinschalige installaties leiden tot een toename van luchtverontreiniging wanneer geen aanvullende maatregelen worden vereist. Het toepassen van afvang en opslag van CO<sub>2</sub> (CCS) kan leiden tot een afname van SO<sub>2</sub>, maar tot een toename van NO<sub>x</sub>- en NH<sub>3</sub>-emissies wanneer geen tegenmaatregelen worden genomen. Een toename van de NO<sub>x</sub>- en NH<sub>3</sub>-emissies hangt ook af van de toegepaste CCS-techniek. Of de inzet van biobrandstoffen in het wegverkeer leidt tot een verbetering of verslechtering van de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen is niet duidelijk.

Voor de nationale uitstoot van luchtverontreinigende emissies is naast het type klimaatmaatregelen ook de verdeling van de te nemen maatregelen over het binnenland en het buitenland van belang. Door de aankoop van CO<sub>2</sub>-emissiereducties uit het buitenland zullen de neveneffecten op de luchtverontreinigende stoffen eveneens in het buitenland plaatsvinden.

#### Op lange termijn zijn door elektriciteit of waterstof aangedreven voertuigen gunstig voor de luchtkwaliteit

Met het huidige beleid zal het wagenpark na 2030 vrijwel volledig bestaan uit personen- en vrachtauto's die voldoen aan de relatief strenge Euro-6-norm (of wellicht hoger) voor luchtverontreinigende emissies. Dit zal leiden tot relatief lage emissies van het wegverkeer. In het algemeen zal een overgang van de huidige brandstoffen (benzine en diesel) naar biobrandstoffen in toekomstige voertuigen geen grote veranderingen van de luchtverontreinigende emissies hebben, mits auto's die deels of volledig rijden op biobrandstoffen ook voldoen aan de Euro-normen (Verbeek et al., 2008).

De potentie van elektrisch en/of met waterstof aangedreven auto's voor het verder verbeteren van de luchtkwaliteit in vooral steden is groter dan die van biobrandstoffen. Het is wel zo dat de bijdrage van deze typen auto's aan een betere luchtkwaliteit in de toekomst relatief beperkt is, omdat Euro-6-auto's al relatief lage uitlaatemissies hebben. Slijtage-emissies van fijn stof van banden en wegdek zullen vooralsnog niet afnemen bij het overschakelen op elektrische auto's of auto's op waterstof, tenzij hierop nieuwe maatregelen worden getroffen. Uit schatting blijkt dat de PM<sub>2,5</sub>-concentraties, door deze nieuwe technologieën, gemiddeld in Nederland met zo'n 0,5 µg/m<sup>3</sup> kunnen dalen. Langs drukke straten kan deze daling oplopen tot 2-3 µg/m<sup>3</sup>. Ondanks deze relatief beperkte verbetering van de luchtkwaliteit betreft de verbetering wel een gezondheidsrelevante fractie van fijn stof. De gezondheidsbaten daarvan worden geschat op 0,5-1 miljard euro per jaar.

# Betekenis van *Schoon en Zuinig* voor de lange termijn

# 4

De kwantitatieve doelstellingen voor energie en klimaat van het kabinet – evenals van de EU – zijn vooral gericht op 2020. In het licht van beperking van klimaatverandering zijn deze echter niet meer dan tussendoelen. De EU stelt dat op de lange termijn een verdergaande vermindering van de emissie van broeikasgassen noodzakelijk is om de temperatuurstijging tot minder dan 2 °C te beperken (zie paragraaf 4.1).

In dit hoofdstuk staat de lange termijn (2050) centraal met de vraag in hoeverre het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* deze verdergaande emissievermindering al voorbereidt. Het is een verkenning van de betekenis die een beschouwing van de lange termijn heeft op acties op de korte termijn. Daarvoor wordt nagegaan welke technieken en technische systemen er in 2050 beschikbaar (zie paragraaf 4.2) en nodig zijn (paragraaf 4.3), welke kosten daarmee ruwweg kunnen zijn gemoeid (paragraaf 4.4 en 4.5) en in welke mate de ontwikkeling en toepassing van die technieken en systemen met het huidige beleid nu al daadwerkelijk worden gestimuleerd (paragraaf 4.6).

De analyses zijn uitgevoerd voor twee belangrijke deelsystemen: elektriciteitsproductie en wegtransport. Daarmee wordt een belangrijk deel van het totale probleem beschouwd. Het *baseline scenario* in *Energy Technology Perspectives* van het International Energy Agency (IEA, 2008) laat een aandeel van de elektriciteitssector en transport in 2050 in de mondiale broeikasgasemissies zien van ongeveer 60%. Aan de hand van deze deelsystemen kan de afweging tussen korte en lange termijn goed worden geïllustreerd. Daarbij is niet alleen gekeken naar de mondiale schaal, maar ook naar de mogelijke vervolgaanpak na 2020 in de EU en Nederland. Genoemde IEA-studie is gebruikt als belangrijkste bron voor gegevens over rendementen en kosten van technologieën in 2050.

Dit hoofdstuk omvat geen uitgebreide beleidsevaluatie. Het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* is immers pas kort geleden van start gegaan. Monitoringresultaten van de doorwerking zijn nog nauwelijks beschikbaar. Realisatie van systeemopties voor de lange termijn moet tal van barrières overwinnen en vraagt samenspel tussen vele partijen met verschillende

belangen. Die worden in dit hoofdstuk niet nader geanalyseerd. Aan het einde van dit hoofdstuk worden wel enkele relevante beleidsaspecten op een rij gezet en wordt kort ingegaan op een ex-ante evaluatie.

## 4.1 Emissiereductiedoelstellingen voor broeikasgassen in 2050

De langetermijnklimaatdoelstelling van de EU is om de gemiddelde mondiale temperatuurstijging te beperken tot 2 °C ten opzichte van het pre-industriële niveau (EC, 2007). Op basis daarvan kan een bandbreedte van gewenste maximale concentratie broeikasgassen worden vastgesteld en daaruit kunnen bijbehorende emissies worden berekend. Echter, zo eenduidig is de kennis niet dat daaruit één getal rolt. Hierbij speelt met name de onzekerheid in de zogenaamde klimaatgevoeligheid (de relatie tussen broeikasgasconcentratie en temperatuur), de koolstofkringloop en de timing van de reducties. In Tabel 4.1 zijn de conclusies met de onzekerheden daarin samengevat.

Op basis van deze resultaten is in deze studie een range gekozen voor de mondiale emissiereductie, waarvan de uitersten verder zijn geanalyseerd op de consequenties. De beschouwde scenario's zijn:

**M25: Mondiaal 25% reductie van broeikasgassen in 2050 ten opzichte van 1990**

**M60: Mondiaal 60% reductie van broeikasgassen in 2050 ten opzichte van 1990**

Het BLUE-MAP-scenario (IEA, 2008) gaat uit van een emissiereductie van 50% ten opzichte van een recent jaar, wat neerkomt op circa 35% ten opzichte van 1990 (IEA, 2008).

De genoemde wereldwijde reducties zullen verschillend uitpakken in verschillende delen van de wereld. Voor het vaststellen van regionale reducties zijn diverse verdeelsleutels mogelijk. In geval van daarvoor geschikte instrumenten (emissiehandel kan daarin een belangrijke rol spelen) kan een

Broeikasgasgehalte (ppm CO <sub>2</sub> -eq.)	Emissie reductie broeikasgas-sen mondiaal 1990-2050 (%)	Kans op overschrijding van temperatuurstijging van 2 °C (%)
350	75-90	0-30
450	25-60 (OECD baseline 37)	30-75
550	0-40	70-100

bron: MNP 2006

Temperatuurstijging In °C	Broeikasgasgehalte ppm CO <sub>2</sub> -eq.	CO <sub>2</sub> -gehalte ppm CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> -emissie 2050 % van 2000 emissie
2.0-2.4	445-490	350-400	-85 --50
2.4-2.8	490-535	400-440	-60 --30
2.8-3.2	535-590	440-485	-30 --+5
3.2-4.0	590-710	485-570	+10 --+60

bron IEA 2008 (op basis van IPCC 2007)

optimale invulling van een nieuw systeem voor energievoorziening worden bereikt waarin de mondiale kosten minimaal zijn. Dan wordt optimaal gebruikgemaakt van de technische mogelijkheden waar dan ook ter wereld. In de praktijk bestaan er echter vele belangentegenstellingen, werken markten imperfect en zijn er vele barrières voor implementatie van zo'n mondiale institutie, waardoor het mondiale optimum niet wordt gerealiseerd. Enkele punten van ondersteuning daarvoor zijn:

- Er worden beleidsdiscussies gevoerd over een belangrijk deel van de reducties opeigen grond (50%, sommige landen willen minder, andere meer).
- De morele afweging niet de suggestie te willen wekken om het probleem te willen afkopen speelt daarbij een mogelijke rol, net als politieke geloofwaardigheid.
- Het vergroten van energiezekerheid binnen landen/regio's kan betekenen dat dezeregio's de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen (en daarmee de broeikasgasemissies)
- verder wil terugdringen dan optimaal zou zijn vanuit klimaatbeleid alleen.
- Het zoeken van beleidsynergie met lokale aspecten zoals luchtverontreiniging en geluid.
- Een deel van de wereldwijde opties moet voortkomen uit ingrijpende systeeminnovatie
- met flinke financiële drempels.
- Het streven naar een rol van Nederland of de EU in innovatie en een thuismarkt, mede voor bedrijven in de productketen 'eromheen'.

Daarom is ter illustratie naast een mondiaal maatregelpakket met zo laag mogelijke kosten ook de situatie uitgewerkt, waarbij de EU en Nederland de emissiereductie binnen de eigen grenzen realiseren (zie Tabel 4.2 voor de gebruikte gegevens). Dat geeft meer inzicht in de technologische opties voor de lange termijn op deze schaal. Als uitgangspunt voor de te realiseren emissiereductie is genomen dat de gemiddelde emissies per persoon in de EU respectievelijk Nederland in 2050 gelijk zijn aan de gemiddelde emissie per persoon op wereldniveau. Dit uitgangspunt moet worden gezien als een uiterste, waarmee de hoekpunten van het speelveld als het ware in beeld worden gebracht. In de praktijk zal immers toch

worden gezocht naar enige vorm van kostenverevening. Omdat de huidige emissies per capita aanzienlijk verschillen, impliceert het gekozen uitgangspunt een andere emissiereductie voor de EU en Nederland dan wereldgemiddeld.

Voor de EU leiden mondiale reducties van 25 en 60% tot doelstellingen van 73 respectievelijk 86% ten opzichte van 1990. Voor Nederland zijn de gewenste reducties 74 respectievelijk 86%. Deze reductiepercentages zijn voor de verdere analyse ook toegepast op het totaal van wegverkeer en elektriciteitsproductie. In Tabel 4.2. zijn de gebruikte waarden en de resultaten samengebracht. De ECN/NRG-visie gaat overigens uit van een reductie van 60% voor CO<sub>2</sub> in Europa in de periode 1990-2050 (ECN/NRG, 2007).

Bij het vaststellen van een technologiepakket waarmee de benodigde emissiereducties worden gerealiseerd, moet rekening worden gehouden met verdere groei van de vraag naar elektriciteit en in de mobiliteit. Er zijn veronderstellingen nodig over de omvang in 2050. Hiervoor is zoveel mogelijk gebruikgemaakt van resultaten van het OECD-scenario, dat ook de basis is geweest voor de IEA-analyse (MNP/OECD, 2008). Dat scenario loopt tot 2030, zodat extrapolatie tot 2050 nodig is (IEA, 2008). Voor Nederland wordt het WLO-scenario gebruikt dat qua veronderstellingen het beste daarbij past: Trans-Atlantic market (CPB/MNP/RPB, 2006). In dit geval is extrapolatie van 2040 naar 2050 uitgewerkt.

De reductiepercentages per sector kunnen overigens van de algemene doelstelling afwijken, omdat uit diverse analyses is gebleken dat bij de elektriciteitsproductie kosteneffectievere maatregelen mogelijk zijn dan bij het wegverkeer (het sterkste bij vrachtvervoer). Dat kan leiden tot hogere emissiereducties bij elektriciteitsproductie en lagere bij verkeer. Bovendien kan de vraag naar elektriciteit nog extra toenemen als gevolg van maatregelen in het verkeer in de vorm van elektrisch rijden of rijden op waterstof geproduceerd met elektrolyse. Beide aspecten zijn meegenomen in de analyses.

	Dimensie	Wereld		EU-27		Nederland	
		1990	2050	1990	2050	1990	2050
Populatie	miljoen	5264	8905	450	470	14,9	16,84
Elektriciteitsproductie	TWh	11500	39.500	2550	3900	65	150
Lichte voertuigen	mld km (voertuig)	7400	24.434	2098	3347	89	120
Vracht-vervoer	mld ton.km	5100	27.063	1550	4545	33,9	100
<b>Broeikasgasemissies</b>							
		1990	2050	1990	2050	1990	2050
		A B		A B		A B	
Totaal	% reductie 1990-2050		25 60		73 86		74 86
	Tg CO <sub>2</sub> -eq.	39120	29340 15648	5760	1549 826	213	55 30
	Mg CO <sub>2</sub> -eq. /cap	7,4	3,29 1,76	12,8	3,29 1,76	14,3	3,29 1,76
Elektriciteitsproductie	Tg CO <sub>2</sub> -eq.	7476	5607 2990	1517	408 218	39	10 5
	g CO <sub>2</sub> -eq. /kWh	650	142 76	595	105 56	600	68 36
Lichte voertuigen	Tg CO <sub>2</sub> -eq.	2000	1500 800	440	118 63	17,7	4,6 2,5
	g CO <sub>2</sub> -eq. /km	270	61 33	210	35 19	198	38 20
Vracht-vervoer	Tg CO <sub>2</sub> -eq.	900	675 360	230	62 33	5,0	1,3 0,7
	g CO <sub>2</sub> -eq. / ton.km	176	25 13	148	14 7	148	13 7

Uitgangspunten voor de omvang van de activiteiten en de daaruit afgeleide emissiefactoren als doelen (exclusief elektriciteitsvraag als gevolg van maatregelen bij transport en zonder verschuivingen van doelstellingen over sectoren).

## 4.2 Opties voor de lange termijn

Er is een breed scala aan technische opties om op de lange termijn de gewenste emissiefactoren (emissie per eenheid geproduceerde elektriciteit in kWh of per verreden kilometer) te kunnen realiseren. Technieken die nog in de laboratorium-fase zitten en waar nog vele fundamentele problemen aan kleven, worden overigens niet meegenomen. Voor de hier gepresenteerde analyse is verondersteld dat die geen rol van betekenis kunnen spelen in de situatie van 2050.

Er zijn twee soorten technieken om emissies te reduceren, te weten technieken gericht op energiebesparing en technieken op het niveau van de productieketens en -systemen. Tot de eerste categorie behoren isolatie van woningen en gebouwen, zuiniger apparaten en zuiniger auto's. Deze zijn in dit hoofdstuk niet nader beschouwd. Voor de analyses is de elektriciteitsbesparing volgens het BLUE-MAP-scenario in 2050 overgenomen, evenals de efficiencyverbetering van de auto's (IEA, 2008).

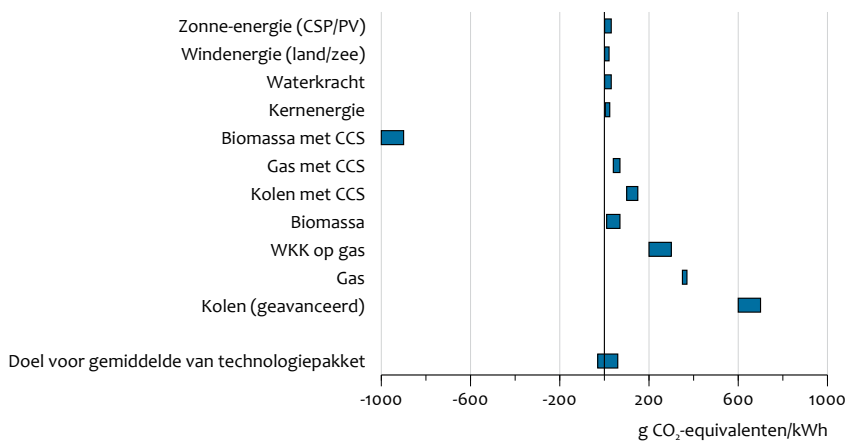
Voor een schonere elektriciteitsproductie en schonere wegverkeer bestaan diverse technische opties. Vele van die technieken verkeren nog in een ontwikkelstadium. In Figuur 4.1 zijn de emissiefactoren voor de elektriciteitsproductie op een rij gezet, zoals ze naar verwachting in 2050 in de praktijk zouden kunnen zijn. De emissiefactor is opgebouwd uit een direct en een indirect deel. Technieken op basis van zon, wind, waterkracht, kernenergie of reststromen biomassa, maar ook rijden op elektriciteit of waterstof, hebben een verwaarloosbare directe emissiefactor. De indirecte emissiefactor op basis van de benodigde hoeveelheid energie in de productieketen (bijvoorbeeld om een windmolen te bouwen, te plaatsen en na gedane dienst af te breken, maar ook energie om bijvoor-

beeld uranium te produceren of kolen en gas te winnen en te distribueren) is hierin ook meegenomen. Voor de meeste technieken voor elektriciteitsproductie wordt de indirecte emissiefactor in 2050 als laag geschat (MNP, 2008b; NREL, 2004; WISE, 2008).

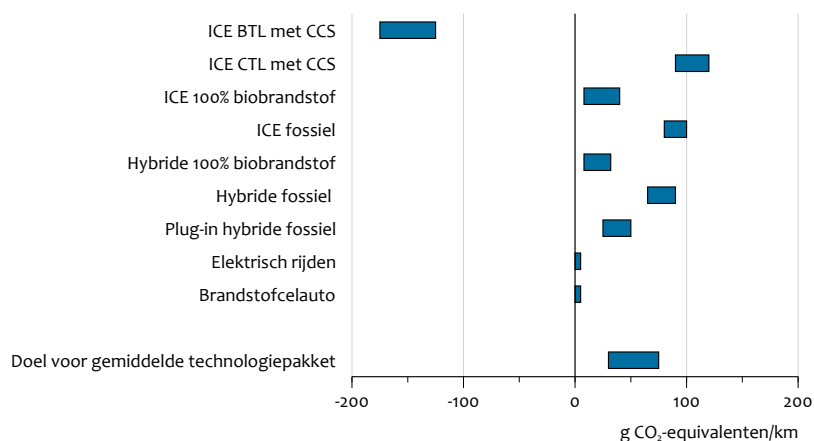
De emissiefactoren voor gas, kolen en biomassa met afvang en opslag van CO<sub>2</sub> (CCS) zijn gebaseerd op bestaande verbrandingstechnologie en een rendement van 90% bij de afvang. Er wordt bovendien rekening gehouden met rendementsverlies als gevolg van de extra energie die nodig is voor CCS en indirecte emissies (NREL, 2004). Het is denkbaar dat in 2050 geavanceerdere kolentechnologie op basis van kolenvergassing beschikbaar is, maar de mate van toepassing wordt op die termijn beperkt geacht.

De combinatie van biomassa met CCS levert juist negatieve emissiefactoren op (NREL, 2004). Hierbij wordt immers koolstof uit de lucht eerst vastgelegd in biomassa en vervolgens na verbranding opgeslagen in de bodem. Dit kan praktisch worden gerealiseerd in de vorm van mee- of bijstoken van biomassa in kolen- of gascentrales of in aparte biomassacentrales, in alle gevallen met CCS.

De biobrandstoffen behoren tot de technische opties voor wegverkeer. Ook daarbij is een combinatie met CCS op de lange termijn denkbaar. Dit geldt voor de productie van biobrandstoffen via vergassingsroute en Fischer-Tropsch-synthese tot biodiesel (BTL: biomass-to-liquid, eventueel in combinatie met CTL: coal-to-liquid; Williams, 2008) of tot DME (dimethylether). De optie CTL kan in diverse landen in beeld komen vanuit het oogpunt van energiezuikerheid (minder afhankelijk van olie), maar geeft hoge CO<sub>2</sub>-emissies, zelfs in combinatie met CCS.



Emissiefactoren (direct en indirect) voor technische systemen voor elektriciteitsproductie, als doel voor het gemiddelde zijn de resultaten van M25- en M60-analyses overgenomen (zie toelichting in de tekst).



Mogelijke toekomstige emissiefactoren voor verkeer (direct: alleen voor biobrandstoffen inclusief de indirecte emissie) als doel voor het gemiddelde zijn de resultaten van M25- en M60-analyses overgenomen (zie toelichting in de tekst).

Voor geteelde biomassa wordt rekening gehouden met emissies in de keten, met name N<sub>2</sub>O bij de teelt. Er wordt uitgegaan van voornamelijk tweedegeneratiebiobrandstoffen, waarbij deze indirecte emissie beperkt blijft. Voor zover er voor het verkeer sprake is van extra vraag naar elektriciteit wordt deze energie meegenomen als extra vraag voor de elektriciteitsproductie. Dit speelt vooral een grote rol bij elektrisch rijden en rijden op waterstof, als men die met elektrolyse produceert. De directe emissie van elektrisch rijden of rijden in brandstofcelauto's is vrijwel nul. Een overzicht van de emissiefactoren voor lichte voertuigen is gegeven in Figuur 4.2.

#### Toelichting op de 'doelen' voor de gemiddelde emissiefactoren van technologiepakketten in de Figuren 4.1 en 4.2

In de figuren is aangegeven welke emissiefactor nodig zou zijn om de gewenste emissiereductie te behalen. Het gaat om de gewenste gemiddelde emissiefactor voor het pakket aan technieken om het emissiedoel te halen en moet dus niet worden gezien als indicatie voor een norm voor elke vorm van elektriciteitsproductie of voor elke auto. De range die hiervoor is gegeven is als volgt opgebouwd:

Stap 1. De reductiepercentages voor de verschillende schaalniveaus (zie paragraaf 4.1) volgens M25 en M60 zijn in een eerste benadering aangehouden voor zowel de elektriciteitsproductie als het verkeer. Daaruit volgen gewenste emissies voor beide.



Stap 2. De emissies zijn vertaald naar emissiefactoren op basis van de omvang van de elektriciteitsproductie en het wegverkeer in 2050 volgens de gebruikte scenario's op alle drie schaalniveaus (zie Tabel 4.2).

Stap 3. Met deze stap wordt eigenlijk al vooruitgelopen op de berekeningen van pakketten van maatregelen (zie paragraaf 4.3). In de berekeningen zijn opties voor verkeer opgenomen die invloed hebben op de elektriciteitsvraag. Elektrisch rijden en de productie van waterstof vragen elektriciteit. Grootschalig overgaan op elektrisch vervoer kan de elektriciteitsvraag met zo'n 10% verhogen. De productie van biobrandstoffen kan juist als co-product elektriciteit opleveren, waardoor de vraag enigszins afneemt. Voor beide effecten is de elektriciteitsvraag gecorrigeerd.

Stap 4. Bij het zoeken naar kosteneffectieve pakketten is niet alleen binnen verkeer en binnen elektriciteitsproductie gezocht naar een geschikt maatregelpakket. Er is ook gelet op zo laag mogelijke kosten voor beide. Dit heeft ertoe geleid dat in vele varianten de emissiereductiedoelstelling voor wegverkeer is versoepeld (hogere emissiefactor) en die voor de elektriciteitsproductie is verhoogd (lagere emissiefactor; het heeft zelfs geresulteerd in varianten met negatieve emissiefactoren). Daarbij is het totaal van de emissies gelijk gehouden.

De analyses hebben een range van resultaten opgeleverd voor de gewenste emissiefactoren. Lage waarden passen vooral bij M60 voor de EU en Nederland met de veronderstelling van gelijke emissies per capita. Hoge waarden komen vooral uit de M25-analyses op wereldschaal.

De gewenste gemiddelde emissiefactor voor de elektriciteitsproductie in 2050 in diverse doorgerekende technologiepakketten op de diverse schaalniveaus variëren van -30 tot 90 g CO<sub>2</sub>-eq./kWh. De negatieve waarden duiden op aanzienlijke verschuiving van emissiereducties van verkeer naar elektriciteitsproductie.

De afgeleide gewenste emissiefactoren voor verkeer komen bij dat doorschuiven juist hoger te liggen. In de uitgevoerde analyses variëren de afgeleide doelstellingen voor lichte wagens tussen 30 en 75 g CO<sub>2</sub>-eq./km gemiddeld (ter vergelijking: de EU-norm voor nieuw verkochte personenauto's is 130 g CO<sub>2</sub>-eq./km vanaf 2015 door motortechnische aanpassingen volgens het klimaat- en energiepakket dat door de Europese Raad en het Europese Parlement is goedgekeurd in december 2008. Hierbij wordt gestreefd naar een realisatie van gemiddeld 120 g CO<sub>2</sub>-eq./km door vooral het verhogen van het aandeel biobrandstoffen. Over een aanscherping naar 95 g CO<sub>2</sub>-eq./km in 2020 wordt nagedacht en besloten na 2013.) Zonder dat doorschuiven zou de waarde voor de EU en Nederland rond de 20 g CO<sub>2</sub>-eq./km liggen. Voor zwaar vrachtvervoer variëren de gewenste emissiefactoren in de berekeningen tussen de 30 en 100 g CO<sub>2</sub>-eq./ton.km gemiddeld. Dit is sterk afhankelijk van de mate van doorschuiven, omdat anders waarden onder de 10 g CO<sub>2</sub>-eq./ton.km gemiddeld gewenst zouden zijn.

Opvallend is dat schoon fossiel soms niet, soms nauwelijks voldoet aan de gewenste niveaus van emissiefactoren. Maatregelen als warmtekrachtkoppeling (WKK) op gas en poederkoolcentrales met CCS, hybride auto's op fossiele brandstof of coal-to-liquid met CCS hebben een hogere emissiefactor dan de factor die gemiddeld nodig is om aan het emissiedoel te kunnen gaan voldoen. Zij kunnen wel een rol spelen op de lange termijn, maar moeten in dat geval voldoende kunnen worden gecompenseerd met maatregelen met een lagere emissiefactor. Een snellere introductie van geavanceerde technologie met hogere CO<sub>2</sub>-verwijderingsrendementen voor kolen met CCS is dan gewenst. De compensatie moet echter vooral komen van de combinatie van biomassa met CCS.

#### *Toepassingspotentieel*

De toepassing van de technieken is niet onbeperkt. Op basis van fysieke grenzen en praktische belemmeringen blijft de toepassing van diverse technieken ook op de lange termijn gelimiteerd. In de hier gepresenteerde analyses is gekozen voor een enigszins voorzichtige inschatting van de potentiële voor 2050 voor de verschillende schaalniveaus. Technische varianten, die nog in het verkennende stadium verkeren, worden niet geacht al een grote bijdrage te leveren halverwege deze eeuw. Dat heeft geleid tot de volgende uitgangspunten:

- Voor CCS – hoewel nog geen op grote schaal bewezen technologie, maar wel met redelijke kans op succes – is uitgegaan van de opslagcapaciteit in lege gas- en olievelden. Voor Nederland is deze relatief groot (EZ, 2008) en voor de EU juist beperkt. *Aquifers* zijn vooralsnog niet meegenomen vanwege onzekerheden over de daadwerkelijke grootschalige mogelijkheden voor veilige opslag.
- Het potentieel van windenergie is groot, maar toepassing is beperkt tot maximaal 25% van de totale elektriciteitsproductie vanwege mogelijke problemen met gridstabiliteit. Dit percentage is overgenomen uit de studie van EEA (EEA, 2008) voor 2030. Het doortrekken hiervan naar 2050 is weer een voorzichtige benadering, die is gekozen omdat geen schattingen voor latere jaren bekend zijn. Op wereldschaal hebben Greenpeace en de Global Wind Energy Council (GWEC, 2006) in een optimistisch scenario een productie van bijna 8000 TWh (20%) verondersteld. De hier uitgevoerde analyses gaan niet verder dan dat. Grootschalige energieopslag zou een mogelijkheid kunnen zijn het potentieel te verhogen, maar is niet meegenomen.
- Zonne-energie (Photo-voltaïsch, PV, en Concentrating Solar Power, CSP) is vrijwel onbeperkt toepasbaar, maar staat nog aan het begin van het implementatietraject. Er is uitgegaan van een groei van circa 20% per jaar vanaf 2010. Voor PV is bovendien beschikbaarheid van daken met correctie voor voldoende zoninstraling (zoals in Nederland als gevolg van schaduw van bomen) als beperkende factor genomen.
- De voorraad uranium is een beperkende factor voor toepassing van kernenergie in 2050. Er is uitgegaan van *identified resources* (NEA/IAEA, 2008) en rendementen bij momenteel toegepaste technologie. Voor de EU en Nederland is gerekend met een beschikbaar deel van het uranium gelijk aan het aandeel in de elektriciteitsproductie. Innovatie kan in de toekomst wellicht tot aanzienlijk hogere rendementen leiden of gebruik kunnen maken van

thorium, maar een grote bijdrage van deze technologieën in 2050 is niet aangenomen.

- Het potentieel van biomassa voor energie is nog erg onzeker. Recente studies (WAB, 2008a; EEA, 2006) geven indicaties die zijn gebruikt in de berekeningen als maximaal in te zetten hoeveelheid biomassa. Op wereldschaal is de WAB-studie uitgekomen op 200-500 EJ/jaar. Een deel daarvan is gereserveerd voor elektriciteitsproductie en wegverkeer. In een eerste benadering is voor elk schaalniveau uitgegaan van het beschikbare potentieel op dat schaalniveau (geen import van biomassa). Op wereldschaal is het potentieel op 150 EJ gehouden, voor de EU op 9 EJ en voor Nederland op 0,2 EJ.
- Voor geothermie en waterkracht zijn de ramingen van IEA (IEA, 2008) overgenomen.

Vele van de nog tamelijk nieuwe technieken volgen in de eerste fase van het traject tot aan grootschalige toepassing een exponentiële groeicurve. Voor een technologie als CSP, die nog slechts in beperkte capaciteit wordt toegepast, is geschat dat een toepassing mondiaal van ongeveer 9000 TWh in 2050 een realistisch potentieel is. Hiervoor is het noodzakelijk dat een groei van de productie van zo'n 20% per jaar lange tijd wordt volgehouden. Zou de ontwikkeling van CSP nog tien jaar op een laag pitje staan en komt dan dezelfde groeicurve op gang, dan ligt het potentieel in 2050 ruim onder de 2000 TWh. Dat betekent dat wachten met de ontwikkeling nog lange tijd tot een aanzienlijk lager potentieel kan leiden. Vergelijkbare analyses kunnen voor andere relatief nieuwe technieken als Biomass-To-Liquid, PV en wind op zee worden gedaan. Hieruit blijkt de noodzaak van activiteiten op korte termijn om in 2050 voldoende mogelijkheden te hebben.

#### *Kosten en baten*

De kosten op de lange termijn liggen voor de nieuwe technieken soms aanzienlijk lager dan de huidige kosten voor die technieken. Hoe meer ervan wordt toegepast, des te efficiënter worden product en productieproces. Voor de analyses in dit hoofdstuk is zoveel mogelijk gebruikgemaakt van de kostenramingen van IEA voor de verschillende technieken in 2050 (IEA, 2008). Het moge duidelijk zijn dat de onzekerheden hierin tamelijk groot zijn en op basis daarvan slechts een indicatie kan worden gegeven over de kosten in de toekomst.

In de praktijk moet ook rekening worden gehouden met kosten voor nieuwe infrastructuur. Voorbeelden daarvan zijn distributiesystemen voor nieuwe brandstoffen, bijvoorbeeld voor waterstof, nieuwe elektriciteitstransportsystemen zoals HVDC (High Voltage Direct Current) voor transport over grote afstanden, gridaanpassingen voor decentrale elektriciteitsopwekking en transportsystemen voor CO<sub>2</sub> die moet worden opgeslagen. De investeringen in infrastructuur komen relatief in een vroeg stadium van het ontwikkelingstraject aan de orde om andere investeringen te faciliteren.

De barrières voor systeeminnovatie, zoals de inrichting van nieuwe infrastructuur er één is, zijn hier niet verder doorgelicht. In het algemeen geldt wel dat er vele betrokkenen met verschillende belangen zijn, die allemaal mee moeten gaan in een samenhangende vernieuwingstraject, zowel technologisch als institutioneel. Hierop wordt wel ingegaan in de

diverse rapportages van PBL over systeemopties voor de lange termijn (met de subtitel *Evaluatie van transitie op basis van systeemopties*, voorbeelden: Nagelhout en Ros, 2006; Ros en Montfoort, 2006)

De baten van nieuwe technieken liggen niet alleen op het vlak van broeikasgasemissies. De synergie met luchtverontreiniging in Nederland is in hoofdstuk 3 al belicht voor de ontwikkeling tot 2020, maar de kostenbesparingen blijken beperkt. Desalniettemin heeft het doorzetten van ontwikkelingen met elektrische voertuigen voor vervoer in stedelijke gebieden een grote potentie voor verbetering van de lokale leefomgevingskwaliteit qua luchtverontreiniging (zie hoofdstuk 3) en geluidhinder (Naghelout en Ros, 2009).

De nieuwe technieken verbreden de diversiteit in de energievoorziening en kunnen daarmee de voorzieningszekerheid vergroten. Technologie op basis van directe zoninstraling zoals PV en CSP biedt bovendien kansen voor ontwikkeling in zonrijke landen, waaronder vele ontwikkelingslanden.

### 4.3 Pakketten van maatregelen voor realisatie van doelen

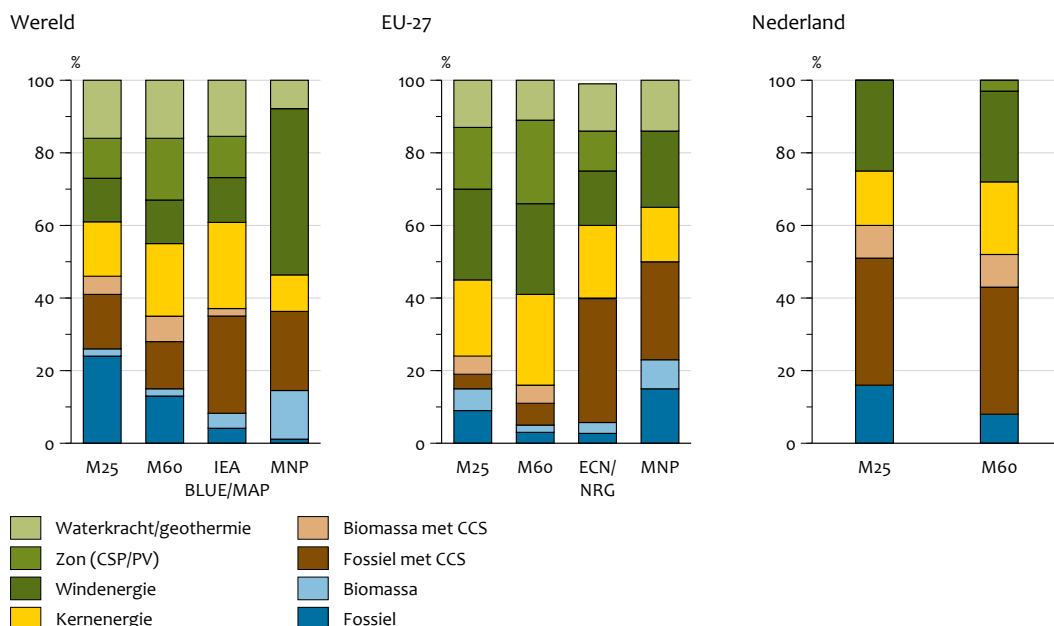
Voor de elektriciteitssector en voor het wegvervoer kunnen op alle drie schaalniveaus pakketten van maatregelen worden vastgesteld die nodig zijn om de gevraagde emissies in 2050 te realiseren. Daarbij wordt rekening gehouden met de grenzen aan de potentiële toepassing van de verschillende technische systemen op die schaalniveaus. De resultaten voor de elektriciteitsproductie zijn weergegeven in Figuur 4.3. Ter vergelijking zijn de resultaten van enkele andere scenario-studies opgenomen. Bij de vergelijking van de pakketten dient te worden bedacht dat de resultaten (de gemiddelde emissiefactoren) ook verschillen. Op mondiale schaal zijn de maatregel-pakketten van M25 en M60 vergeleken met de IEA-studie (IEA 2008) en een eerdere PBL studie (MNP 2006). In deze studies leiden de scenario's tot een mondiale emissiereductie van 50% tussen 2005 en 2050, wat neerkomt op een reductie van ongeveer 35% ten opzichte van 1990.

Op Europese schaal is de emissiereductie voor broeikasgassen 73% in M25 en 86% in M60.

Het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) en de Nuclear Research & Consultancy Group (NRG) gaan in het visiedocument *De belofte van een duurzame Europese energiehuishouding* (ECN/NRG, 2007) uit van 60% emissiereductie voor alleen de CO<sub>2</sub> in 2050 ten opzichte van 1990. De resultaten van de eerdere PBL studie voor Europa zijn ter vergelijking ook opgenomen, waarbij moet worden aangetekend dat het resultaten voor West-Europa betreft en niet voor de EU-27 (MNP 2006). Voor Nederland is de emissiereductie voor broeikasgassen 74% in M25 en 86% in M60. Er waren geen studies beschikbaar om de M25 en M60 maatregel-pakketten voor Nederland mee te vergelijken.

In de M60-varianten voor de EU en Nederland – afgeleid van de mondiale doelstelling van 60% emissiereductie – zijn de resulterende gemiddelde emissiefactoren zelfs negatief.





Technologiepakketten voor de elektriciteitsproductie in 2050.

Hiermee wordt gecompenseerd voor relatief hoge emissiefactoren in verkeer. Vanuit kostenoverwegingen is het gunstiger meer maatregelen bij de elektriciteitsproductie te nemen om met minder relatief dure (of met relatief minder dure) maatregelen bij verkeer te kunnen volstaan. Hierdoor is de optie van brandstofcellen op waterstof, zowel voor lichte voertuigen als voor vrachtverkeer, veelal buiten de pakketten gebleven.

Er is bij de keuze van de technieken in de M25- en M60-varianten wel rekening gehouden met kosteneffectiviteit, maar om de volgende redenen is dit niet kwantitatief uitgewerkt:

- Er is in de praktijk sprake van spreiding in de kosten voor diverse technieken. Er zouden daarom verdelingscurven nodig zijn, maar zover is de uitwerking niet gegaan.
- De kosten voor 2050 zijn bovendien tamelijk onzeker en de resulterende ranges (met daarin spreiding en onzekerheid) overlappen sterk.
- In de kosten is geen rekening gehouden met positieve dan wel negatieve neveneffecten.

In geval van verwaarloosbare kostenconsequenties voor verschillende varianten is gekozen voor enige diversiteit in het pakket van maatregelen.

Een vergelijking van de samenstelling van de technologiepakketten bij verschillende reducties en schaalveronderstellingen leert dat:

- In alle varianten wordt CCS ingezet in combinatie met kolen en/of gas. Op EU-schaal schetsen ECN en NRG een aanzienlijk groter aandeel CCS dan in de M25- en M60-analyses, waarin opslagcapaciteit voor CO<sub>2</sub> belemmerend is. De combinatie met biomassa met CCS – waarbij negatieve emissies kunnen worden gerealiseerd – speelt vooral in M25 en M60 een grote rol zowel bij elektriciteitsproductie

als bij CTL/BTL en draagt bij aan nog lagere totaalemissies dan in de andere scenario's.

- Windenergie speelt in alle varianten een grote rol.
- Kernenergie heeft in alle varianten een relevante bijdrage.
- De inzet van zonne-energie wisselt in de pakketten voor de verschillende schaalniveaus. In Nederland speelt zonne-energie een bescheiden rol, omdat het naar verwachting in 2050 relatief duur is. In de PBL-resultaten (MNP 2006) speelt zonne-energie nauwelijks een rol, waarbij moet worden aangetekend dat CSP daarin niet als optie is meegenomen.
- In alle gevallen levert biomassa een bijdrage aan zowel de elektriciteitsvoorziening als verkeer en vervoer. Zoals aangegeven kan de combinatie met CCS cruciaal zijn vanwege de negatieve emissiefactor, waarmee moet worden gecompenseerd voor technieken met een hogere emissiefactor. De efficiency van biomassa-inzet voor CO<sub>2</sub>-reductie is bij verkeer kleiner dan bij elektriciteitsproductie.
- In de meeste gevallen speelt elektrisch rijden een duidelijke rol voor korte afstanden. Voor lange afstanden dragen biobrandstoffen bij. Cruciaal voor de toepassing van elektrisch rijden op lange afstanden of de inzet van brandstofcelauto's is de toekomstige gewenste gemiddelde emissiefactor voor verkeer en de mate waarin deze kan worden verhoogd ten koste van die voor de elektriciteitsproductie. Brandstofcelauto's op waterstof komen wel voor in de toekomstbeelden van ECN en IEA, maar zijn in de door PBL uitgevoerde analyses meestal buiten beeld gebleven, omdat verdere reductie bij de elektriciteitsproductie kostenefficiënter bleek.

De gemiddelde productiekosten bij elektriciteit en verkeer liggen op mondiaal niveau 10-20% lager dan voor Nederland, dat weer iets goedkoper uit kan zijn dan het EU-gemiddelde.

Op wereldschaal zijn de gemiddelde productiekosten het laagst vanwege een groot potentieel aan CSP en waterkracht die in Nederland en Europa niet of relatief minder beschikbaar zijn. Voor Nederland zijn de gemiddelde productiekosten lager dan in Europa, omdat Nederland relatief veel meer opslagcapaciteit voor CO<sub>2</sub> heeft. Daarnaast is de EU meer afhankelijk van relatief dure zon-PV. De gemiddelde productiekosten van en de onderlinge verhouding tussen de schaalniveaus zijn sterk afhankelijk van de veronderstelde uitgangspunten voor de potentiële van de technieken.

Biobrandstoffen voor wegverkeer leveren in alle pakketten een relevante, maar niet dominante bijdrage. Bij hoge reductiedoelstellingen voor verkeer komt men op de grens van de afweging of grootschalig op brandstofceltechnologie dan wel elektrisch rijden op accu's moet worden overgegaan. Vooral de inzet van waterstof als brandstof vergt investeringen in een nieuwe infrastructuur die slechts voor grootschalige toepassing rendabel kan zijn (niet voor niches). De IEA-analyse volgens het BLUE/MAP-scenario worden deze technologische opties breed ingezet. In de ECN/NRG-visie wordt de brandstofcelauto een dominante ontwikkeling. Het alternatief voor de relatief dure varianten op waterstof of elektriciteit is meer van de emissiedoelstelling doorschuiven naar een andere sector, zoals de elektriciteitsproductie. Hiervoor is in de M25- en M60-analyses gekozen op basis van het te verwachten kostenvoordeel. Aangetekend moet worden dat de mogelijkheden van het doorschuiven van emissiedoelstellingen van verkeer naar elektriciteitsproductie afhangen van de opties in de hier slechts gedeeltelijk geanalyseerde sectoren als landbouw, industrie en gebouwde omgeving.

Voor lichte voertuigen lijkt elektrisch rijden het belangrijkste alternatief voor vervoer over korte afstanden vanwege de relatief beperkte kosten (Nagelhout en Ros, 2009). Voor vrachtverkeer zou een specifieke biodiesel of DME (dimethylether) geproduceerd met CCS een alternatief kunnen zijn. Voor vrachtverkeer geldt dat de infrastructuur voor specifieke brandstoffen beperkt zou kunnen blijven tot een aantal specifieke tankplaatsen voor bijvoorbeeld DME of wellicht ook waterstof langs snelwegen. Andere bepalende factoren zijn de veiligheid (zowel van waterstof als Li-ion-batterijen), de energiedichtheid in de tank/accu en oplaadfaciliteiten.

#### **Hoe onmisbaar zijn bepaalde technieken in de toekomst?**

De voorgaande analyse laat zien dat er vele varianten van technologiepakketten voor de lange termijn mogelijk zijn. Om te bepalen hoe belangrijk bepaalde technologieën worden voor de toekomst zijn ook analyses gedaan waarbij technieken in 2050 zijn uitgesloten. Daarbij is in de eerste plaats nagegaan of doelen dan nog haalbaar zouden zijn en zo ja, of er een relevante invloed op de kosten zou zijn. Voor alle technieken zijn dezelfde eerder genoemde potentiële aangehouden. Deze analyses zijn gedaan voor de situatie in 2050 met 60% emissiereductie op wereldschaal. Het uitgangspunt voor de EU-27 en voor Nederland is weer geweest een mondiale verdeelsleutel van gelijke emissies per persoon op eigen grondgebied te realiseren met de eigen duurzame voorraden.

#### *Op wereldschaal is geen enkele technologie onmisbaar*

Bij optimalisatie op wereldschaal is geen enkele technologie onmisbaar, op basis van de veronderstelde technische potentiële en de aanname dat deze in de praktijk voor 100% kunnen worden gerealiseerd (zie Tabel 4.3). Indien één van de technologieën wordt uitgesloten dan is het potentieel van de andere technologieën met de gekozen randvoorwaarden ruim voldoende om het op te vangen. Weliswaar leidt uitsluiting van een techniek tot extra kosten, maar met uitzondering van biomassa lijken deze extra kosten beperkt. In deze analyse is overigens verondersteld dat er geen beperkingen zijn met betrekking tot elektriciteitstransport. Hoewel dit over lange afstanden met relatief beperkt energieverlies en tegen redelijke kosten mogelijk is, kan het in de praktijk toch betekenen dat in bepaalde wereldregio's de situatie iets anders kan zijn.

Het resultaat betekent dat er flexibiliteit is in technologiekeuze bij optimalisatie op wereldschaal. Het levert ook kostenvoordelen op, als relatief dure technieken buitenspel kunnen blijven. Gelet op de grote onzekerheden van de kosteninschatting voor 2050 voor de meeste technieken zou een keuze op de korte termijn voor het uitsluiten van een bepaalde technologie op de korte termijn om die reden echter niet verstandig zijn.

#### *Voor Europa zijn biomassa, kernenergie, wind en zon onontbeerlijk*

Op Europese schaal is de situatie anders. De inzet van biomassa, kernenergie, wind en zon is onontbeerlijk om het doel te halen binnen de gestelde randvoorwaarden. Dat laatste, zeker wat betreft de in 2050 beschikbare potentiële, is belangrijk om hierbij in het oog te houden. Beperkende factoren op dit schaalniveau vormen immers vooral het potentieel voor CO<sub>2</sub>-opslag en de beschikbare voorraad biomassa binnen de EU. Als randvoorwaarde is opgelegd dat er geen biomassa mag worden geïmporteerd door de EU. Als deze randvoorwaarde wordt losgelaten en er biomassa wordt geïmporteerd, wordt de afhankelijkheid van zon en wind niet helemaal weggenomen, maar zou er geen noodzaak voor uitbreiding van kernenergie zijn. De beperkte flexibiliteit op EU-niveau leidt er mede toe dat de gemiddelde productiekosten op dat niveau hoger zijn dan bij mondiale optimalisatie. Een optimistisch beeld van de capaciteit voor CO<sub>2</sub>-opslag binnen de EU, zoals in de visie van ECN/NRG, leidt tot veel meer toepassing van schoon fossiel, waardoor zon, wind en kernenergie een kleiner aandeel hebben en minder cruciaal zijn.

#### *Nederland kan niet zonder biomassa en CO<sub>2</sub>-opslag*

In Nederland zijn er vergeleken met het EU-niveau meer mogelijkheden om tot een iets goedkoper pakket te komen. Naast biomassa is ook de CO<sub>2</sub>-opslag onontbeerlijk om het doel te halen. De totale kosten van het pakket nemen met maximaal 20% toe indien windenergie, biobrandstof, kernenergie of elektrisch rijden worden uitgesloten (zie Tabel 4.3).

In Tabel 4.3 zijn de resultaten van de M60-analyses weergegeven.

	Uitgesloten techniek						Elektromotoren auto
	Biobrandstof	Biomassa	CO <sub>2</sub> -opslag	Kern-energie	Wind	Zon	
<i>Wereld</i>							
Doel haalbaar	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Toename kosten (t.o.v. basispakket)	~5%	10-25%	5-10%	~ gelijk	~ gelijk	0-5%	0-3%
<i>EU-27</i>							
Doel haalbaar	ja	nee	ja	nee	nee	nee	ja
Toename kosten (t.o.v. basispakket)	~25%		~30%				0-3%
<i>Nederland</i>							
Doel haalbaar	ja	nee	nee	ja	ja	ja	ja
Toename kosten (t.o.v. basispakket)	10-15%			~ 10%	5-20%	niet	5-10%

Benodigde technieken voor het halen van de doelstelling voor een reductie van 60% op wereldschaal binnen de hier gestelde randvoorwaarden voor potentiële. Dit is bepaald door technieken uit te sluiten en de consequenties te beschouwen (basispakket is M60 volgens Figuur 4.3).

#### Noodzaak van brandstofcelauto's niet zeker

In de uitgevoerde analyses bleek het op alle schaalniveaus mogelijk te zijn de doelstellingen te realiseren zonder de inzet van brandstofcelauto's, die relatief duur bleken. Hoewel ook elektrisch rijden niet onmisbaar bleek, paste dit wel in de meeste pakketten.

#### 4.4 De structurele meerkosten in 2050

Voorafgaande aan een beschouwing over de kosten is de waarschuwing op zijn plaats de cijfers slechts als ruwe indicaties te beschouwen. Kwantitatieve inschattingen voor 2050 kennen immers grote onzekerheden.

Systeeminnovatie kost geld. Nieuwe technologieën zijn in het begin duurder dan de bestaande, omdat het proces van verbetering van de technologie en optimalisatie in de productieketen nog moet worden doorlopen. Er moeten zogenaamde leerkosten worden gemaakt (zie hiervoor paragraaf 4.5). Er moet ook rekening mee worden gehouden dat de productiekosten van nieuwe systemen ook aan het einde van dat leertraject hoger uitvallen dan in de bestaande systemen. Dat zijn dan structurele meerkosten. Dat hoeft overigens niet zo te zijn. In het geval dat fossiele brandstoffen in de toekomst erg duur worden, zou er in bepaalde gevallen sprake kunnen zijn van structurele financiële baten. De leerkosten en de structurele meerkosten (of baten) kunnen samen als de kosten van klimaatbeleid worden gezien.

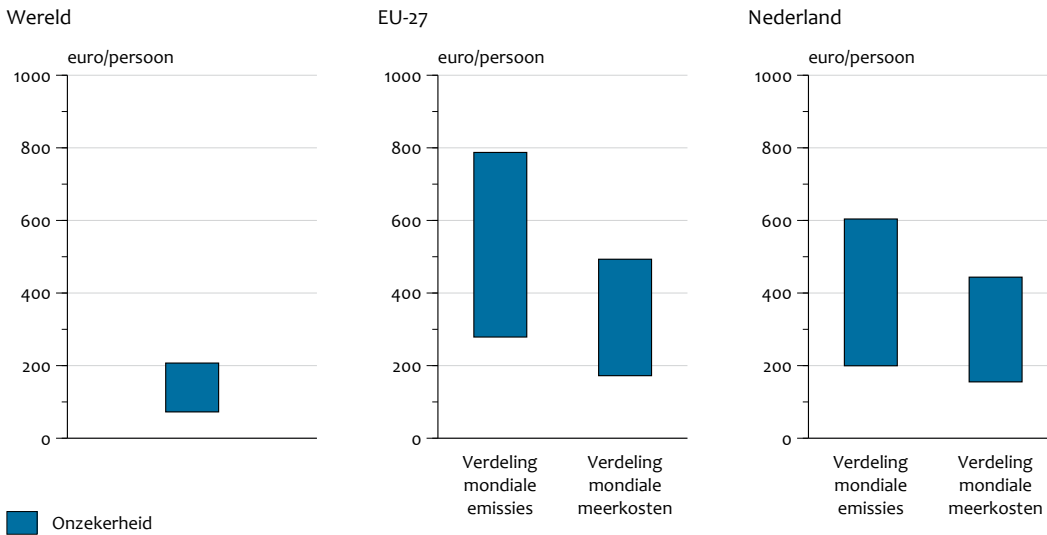
In 2050 zijn de extra kosten of structurele meerkosten (ten opzichte van doorgaan met het huidige technologiepakket) in M60 voor de elektriciteitsproductie en het wegverkeer per jaar 600-1200 miljard euro op wereldschaal (0,3-0,7% van het BNP in 2050). De analyse op EU-niveau komt op 120-250 miljard euro per jaar (0,5-1,1% van het BNP in 2050). De meerkosten voor Nederland bedragen 3-7 miljard euro per jaar (0,3-0,7% van het BNP in 2050).

Om de verhoudingen te zien zijn in Figuur 4.3 deze meerkosten per hoofd van de bevolking uitgedrukt en vergeleken. Nederland en de EU moeten per hoofd van de bevolking veel meer betalen voor het klimaatvriendelijker maken van deze diensten (elektriciteit en wegvervoer) dan wereldgemiddeld. Nederland zit hierbij iets lager dan het Europees gemiddelde.

Bij deze resultaten dient te worden aangetekend dat de huidige kosten van het elektriciteitsgebruik en het wegvervoer per persoon voor de EU ook al hoger liggen dan geldt voor het gemiddelde van de wereld en de referentiekosten voor het doorgaan met het huidige technologiepakket tot in 2050 eveneens. De gemiddelde kosten voor het totaal van deze producten (elektriciteit en mobiliteit over de weg) zijn in de M60-varianten voor een Europeaan bijna drie keer zo hoog als voor een wereldburger. Het verschil wordt grotendeels bepaald doordat in Europa ook in 2050 relatief veel elektriciteit wordt gebruikt en veel wordt gereden. Daarnaast zijn de mogelijkheden voor toepassing van enkele relatief goedkope opties binnen de EU beperkt.

Optimalisatie van het technologiepakket op wereldschaal leidt tot de laagst mogelijke kosten. Hoeveel goedkoper dat voor de EU en Nederland zou kunnen uitpakken, blijkt niet zonder meer uit bovenstaande vergelijkingen. Binnen een mondiaal geoptimaliseerd pakket liggen de kosten voor een gemiddelde Europeaan nog steeds hoger dan voor een gemiddelde wereldburger, omdat in Europa meer elektriciteit wordt gebruikt en meer wordt gereden. Daarom is in Figuur 4.4 ter illustratie in beeld gebracht wat de gemiddelde kosten per persoon in de EU en Nederland zouden zijn als de mondiale kosten naar rato van elektriciteitsgebruik en gereden kilometers zouden worden verdeeld (iedereen betaalt dezelfde prijs per kWh en per kilometer).

Meer gedetailleerde analyses van de consequenties van bepaalde verdeelsleutels op de lange termijn zijn onder meer te vinden in een overzichtsartikel van Den Elzen en Höhne (Den Elzen et al., 2008).



Meerkosten in 2050 (ten opzichte van doorgaan met het huidige technologiepakket) op verschillende schaalniveaus. De verdeling van de emissies gebeurt volgens gelijke emissie per capita, te realiseren op eigen grondgebied. De verdeling van de mondiale meerkosten geeft aan wat binnen het mondiaal optimale technologiepakket M60 (links aangegeven) de kosten voor EU-inwoners en Nederlanders zouden zijn bij verdeling naar rato van elektriciteitsgebruik en verreden kilometers.

#### 4.5 De kosten in de leerperiode tot 2050

De technieken die nodig zijn in 2050 maar die nu nog nauwelijks worden toegepast, zijn in de beginfase van het implementatietraject relatief extra duur. De productieprocessen en -ketens zijn immers nog lang niet geoptimaliseerd. Ze moeten nog voor een belangrijk deel door de leercurven heen. Het gaat om mondiale ontwikkelingen, omdat er op het gebied van technologie een brede uitwisseling van kennis kan worden verwacht. Overigens moet de kennis en ervaring voor met name de realisatie en inpassing van het systeem (meer dan de technologie alleen) ook op lokale schaal worden opgebouwd. Een deel van de kostenvermindering kan daarom slechts in de praktijk worden gerealiseerd als op die schaal ook is meegedaan aan de leerprocessen.

In Figuur 4.5 is een voorbeeld van zo'n leercurve geschetst, in dit geval voor elektriciteitsproductie met wind op zee. Daarbij is verondersteld dat de implementatie van de technieken een S-curve doorloopt, waarbij tot 2050 een deel van deze curve is doorlopen, afhankelijk van de inzet van de techniek in 2050. Op basis van empirische gegevens over de doorlopen ontwikkeling wordt voor een techniek een Progress Ratio vastgesteld. Deze PR-waarde is de factor waarmee kosten (meestal de investeringen) afnemen bij verdubbeling van de cumulatieve productie. De prijsontwikkeling in Figuur 4.5 volgt in eerste instantie de PR-waarde op basis van recente ontwikkelingen, maar krijgt geleidelijk een correctie tot uiteindelijk de waarde 1 bij benadering van de door experts geschatte kosten op de lange termijn.

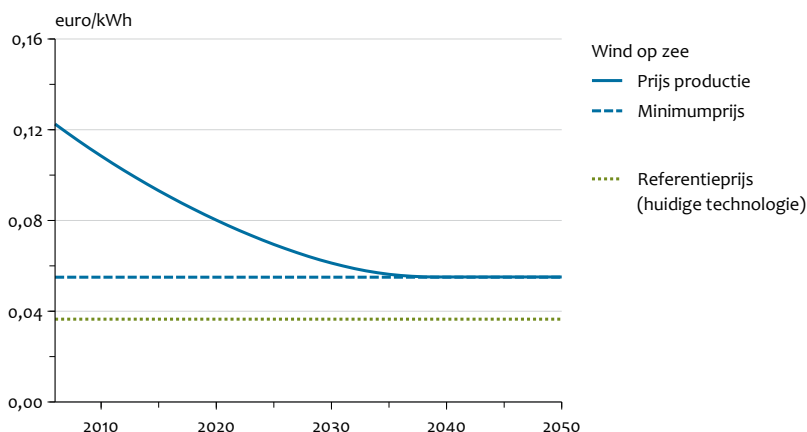
Over de periode tot 2050 is er sprake van meerkosten ten opzichte van doorgaan met de bestaande technologie. Een

deel van deze meerkosten is structureel. Zelfs na optimalisatie van technologie en productieketen kan het nieuwe systeem duurder zijn en blijven dan het huidige systeem. In de praktijk kan de barrière van dit structurele verschil worden weggenomen door institutionele maatregelen (beleidsprykkels) die tot een CO<sub>2</sub>-prijs leiden die minimaal gelijk is aan het verschil. De structurele meerkosten van het totale maatregelenpakket bepalen uiteindelijk de klimaatkosten.

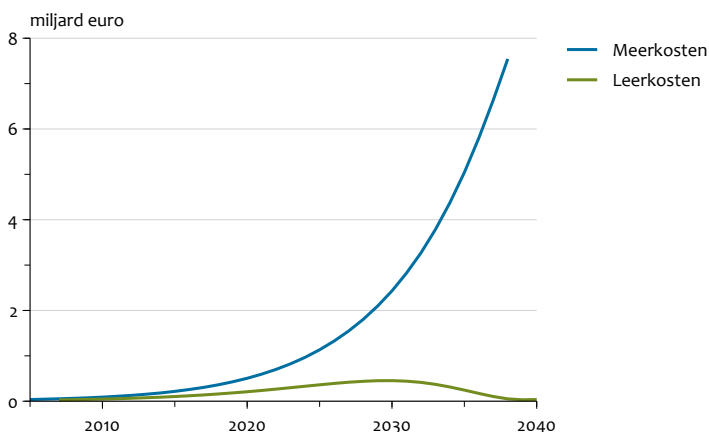
Een deel van de meerkosten is tijdelijk van aard. Dat zijn de leerkosten die moeten worden gemaakt om ervaring met de technologie en de inpassing ervan in de praktijk op te doen. Er moet schaalvergroting in de productie worden gerealiseerd om tot kostenreductie te komen. De leerkosten spelen vooral in de eerste fase van het implementatietraject. Het zijn kosten voor researchprogramma's, demonstratieprojecten, maar ook voor de eerste toepassingen, niches. Het gaat niet alleen om fundamentele verbetering aan de technologie, ook om efficiënte inpassing ervan in een systeem en om steeds goedkopere productiemethoden, onder meer door schaalvergroting.

Leerkosten kunnen op verschillende manieren worden gedefinieerd. In de uitwerking in dit hoofdstuk zijn de leerkosten gedefinieerd als de tijdelijke extra kosten die moeten worden gemaakt voor ontwikkeling en toepassing van de technologie, totdat het niveau van de structurele meerkosten per jaar is bereikt.

Figuur 4.6 toont de ontwikkeling van de totale meerkosten en als onderdeel daarvan de leerkosten. Het verschil zit in de structurele meerkosten. De laatste lopen gelijk op met de mate van toepassing. Als de toepassing echt omvangrijk begint te worden, is het leerproces grotendeels ten einde.



Leercurve voor windenergie op zee.



Leer- en meerkosten (mondiaal per jaar) voor wind op zee (meerkosten ten opzichte van het huidige technologiepakket als referentie).

Hoewel de leerkosten in dit geval een stuk lager liggen dan de meerkosten (zie ook Figuur 4.6), kunnen ze wel een barrière opwerpen. De leerkosten moeten relatief vroeg worden gemaakt. De pieken in de leerkosten voor nieuwe technieken, waarvan de implementatietrajecten momenteel op gang komen, liggen overigens pas tussen 2030 en 2040, omdat de toepassing dan een omvang van enige importantie krijgt. Van de totale meerkosten van de beschouwde technieken moet om dezelfde reden het grootste deel na 2040 worden opgebracht. De grootste horde voor de korte termijn is het prijsverschil tussen de nieuwe en de bestaande technologie.

Bij Figuur 4.6 dient te worden aangetekend dat de ontwikkeling van de leerkosten een geheel ander verloop kan krijgen als de nieuwe technologie uiteindelijk tot lagere productiekosten leidt dan de bestaande technologie. De baten kunnen dan aanzienlijk zijn. Op basis van de gehanteerde kostencijfers (IEA, 2008) is deze situatie niet voorgekomen. In specifieke

projecten kan dit anders uitpakken. Bovendien kunnen hogere prijzen voor fossiele brandstoffen tot een ander beeld leiden.

Tabel 4.4. laat de berekende leer- en meerkosten zien voor wind op zee en voor enkele andere technieken (PV, CCS, CSP, Li-ion batterijen).

De resultaten in de tabel tonen de gevoeligheid van de uitkomsten voor bepaalde parameters zoals de waarde voor de Progress Ratio en het verschil in geschatte kosten voor 2050 en de referentiekosten. Een hogere PR-waarde geeft aan dat het leerproces en daarmee de daling van het prijsniveau langzamer verloopt. Dit wordt vooral zichtbaar in de leerkosten. Zon-PV is momenteel nog erg duur en daarom op dit punt erg gevoelig voor de PR-waarde. Een PR waarde van 0,87 tegenover een waarde van 0,82 leidt tot leerkosten die 2,5 keer hoger zijn.

	Prijs euro/kWh			Productie in 2050 TWh	Leerkosten over de gehele leerperiode in miljard euro	Meerkosten tot 2050
	2006	2050	PR			
Referentie		0,0365				
Wind op zee	0,12	0,058	0,91	780	5-10	150-200
	0,15		0,9	780	30-40	200
PV zonnrijke streken	0,22	0,055	0,82	2750	200	600
			0,87		500	900
CSP zonnrijke streken	0,11	0,039	0,88	3900	20	80
		0,05			15	300
CCS *	0,04 extra	0,016 extra	0,90	8700	70	1100
Li-ion batterij	800	300	0,82		3	

\* Voor CCS gaat het om de extra kosten voor de toegevoegde technologie; voor de totale productiekosten moeten de kosten voor de kolen-, gas- of biomassacentrale erbij worden geteld.

De vaststelling van de PR-waarde blijkt afhankelijk van de historische periode die wordt beschouwd. Als telkens alleen de ontwikkelingen in de voorafgaande tien jaar worden meegenomen (dus voor de PR-waarde, blijkt de PR-waarde voor zon-PV sterk te variëren en in de laatst beschouwde perioden toe te nemen (WAB, 2008b).

Het geschatte eindniveau van de prijs voor een nieuwe technologie kent ook een grote onzekerheid. Zij bepalen in sterke mate de structurele meerkosten op de lange termijn, zoals is geïllustreerd voor CSP.

Een factor waarmee in de bovenstaande beschouwing geen rekening is gehouden, betreft de infrastructuur. Investerings in zaken als netaanpassingen, HVDC (direct stroom) voor langeafstandstransport en een pijpleidingsysteem voor CO<sub>2</sub> gaan niet gelijk op met de verandering in technologie. Deze moeten dikwijls in een tamelijk vroeg stadium worden gedaan. Dan is vaak geen probleemhouder of logische partij aanwezig die moet investeren. Daarom kan het inrichten van nieuwe infrastructuur voor de praktijk van de systeeminnovatie een enorme barrière zijn (of de uitdaging!).

De IEA komt voor de totale leerkosten (met een iets andere definitie en uitgedrukt in de vorm van verhoogde investeringen) over de periode tot 2050 in de elektriciteitsproductie op circa 1700 miljard euro in het BLUE-scenario en voor het totaal van alle sectoren op 5500 miljard euro (IEA, 2008). Ter indicatie: een evenredige bijdrage van Nederland aan die leerkosten op basis van gelijke leerkosten per persoon zou dan neerkomen op circa 15 miljard euro of naar rato van het energiegebruik op circa 30 miljard euro over die periode.

#### 4.6 Beleidsmatige ondersteuning in Schoon en Zuinig

In deze paragraaf wordt de rol van het beleid in het algemeen en van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* in het bijzonder kort belicht. Hoewel de beleidsdoorwerking op de actoren die in de praktijk voor de systeeminnovatie moeten zorgen cruciaal is, wordt in dit rapport geen uitgebreide beleidsevaluatie neergezet. Daarvoor is het beleid te kort geleden gepresenteerd. Het moet meer tijd krijgen om daadwerkelijke veran-

deringen in de praktijk te kunnen bewerkstelligen voordat die doorwerking beoordeeld kan worden. De monitoring daarvan ontbreekt nog. Daarom worden slechts enkele elementen aangestipt die meer het karakter van een ex-ante evaluatie hebben, waarbij de doelstellingen voor 2020 als uitgangspunt worden genomen.

Het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* richt zich op het realiseren van kabinetsdoelen voor energie en klimaat in 2020. De voorgestelde Europese doelen richten zich ook op dat jaar. In termen van CO<sub>2</sub>-emissiefactoren is de betekenis van dit beleid weergegeven in Figuur 4.7. Een duidelijke vermindering is (bij elektriciteitsproductie, vooral door WKK) of wordt (verkeer, lichte voertuigen) zichtbaar en de weg naar de doelen van 2050 lijkt te zijn ingezet. Voor vrachtverkeer ontbreekt EU-beleid en een specifieke doelstelling in het Nederlandse beleid en kan op basis daarvan nog nauwelijks een reductie worden verwacht in 2020. De emissiefactoren zijn in het afgelopen decennium nauwelijks omlaag gegaan.

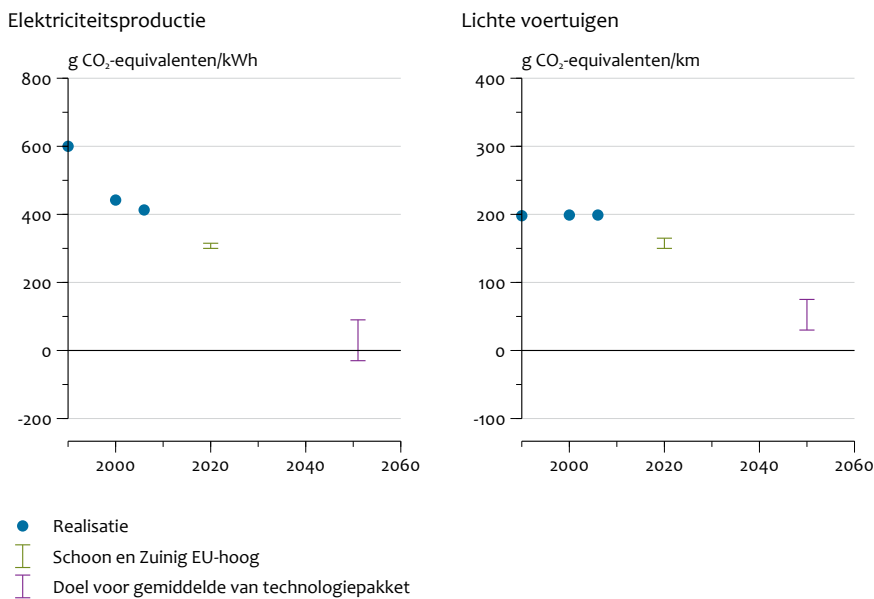
Echter, CO<sub>2</sub>-emissies op de korte termijn zijn niet per definitie een goede indicator voor de voortgang van de transitie. Voor lichte voertuigen worden de reducties tot 2020 vooral bereikt door zuiniger auto's en een beperkt aandeel biobrandstoffen (van de eerste generatie). Een daadwerkelijk aanzet naar de technologie voor de lange termijn wordt hierin nog niet zichtbaar. De beleidsimpulsen hiertoe zijn nog zwak.

Door het ECN en PBL is doorgerekend, hoe in de elektriciteitsproductie de doelen kunnen worden gehaald (ECN/MNP, 2007). Figuur 4.8 vergelijkt de ingezette technologie om elektriciteit op te wekken met de situatie die zonder *Schoon en Zuinig*

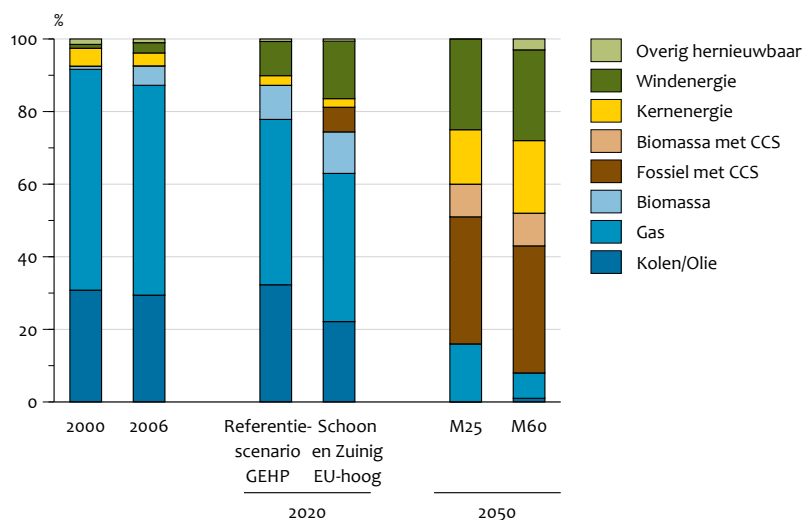
zou kunnen worden verwacht. Voor de effecten van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* zijn de resultaten gepresenteerd voor een veronderstelde CO<sub>2</sub>-prijs van het Europese emissiehandelssysteem van € 50/ton, zie hoofdstuk 2. Voor auto's is het EU-beleid als uitgangspunt genomen.

Deze resultaten voor 2020 zijn geplaatst tussen de huidige situatie en de gewenste situaties volgens M25 of M60 in 2050. Voor elektriciteitsproductie is dit weergegeven in Figuur 4.8.





Ontwikkeling van de emissiefactor van het technologiepakket voor de elektriciteitsproductie en lichte voertuigen (park) in Nederland met de betekenis van Schoon en Zuinig als tussenstap naar 2050 (uitgegaan van EU-hoog-scenario ofwel een krachtig EU-beleid).



Ontwikkeling van het technologiepakket voor de elektriciteitsproductie in Nederland met de betekenis van Schoon en Zuinig als tussenstap naar 2050 (uitgegaan van EU-hoog-scenario ofwel een krachtig EU-beleid).

Het is duidelijk dat het aanvullende beleid een extra stap op weg naar de gewenste situatie in 2050 betekent. Maar de verandering tussen 2000 en 2020 is veel kleiner dan de systeemvernieuwing die tussen 2020 en 2050 nodig is om het gewenste doel van een maximale stijging van 2 graden Celsius te halen.

Er is een versnelling nodig in de vernieuwing van het systeem. Of de snelheid van verandering in de komende tien jaar vol-

doende groot is om vervolgens reëel uitzicht te hebben op de gewenste situatie in 2050 kan hieruit niet worden afgeleid. De introductie van een nieuwe technologie verloopt immers niet lineair, maar meestal volgens een S-curve die in de beginfase een exponentieel karakter heeft. Maar dat gaat niet vanzelf. Het vraagt om beleidsimpulsen. Als de nieuwe technologie duurder is dan de bestaande (en voor CCS als toegevoegde technologie geldt dat in ieder geval), dan zal de versnelling leiden tot toenemende kosten per jaar na 2020.

Een belangrijke stap tot 2020 zou de eerste toepassing van CCS zijn. Daarnaast is uitbreiding van kernenergie nodig of moeten – als daarvoor niet wordt gekozen – de uitbreiding van zon-PV, opslagmogelijkheden voor windenergie of (geïmporteerde) bio-energie extra impulsen krijgen. Voor wegverkeer wordt met de gekozen beleidsaanpak tot 2020 vooralsnog gerekend op efficiencyverbetering, in beperkte mate mobiliteitsvermindering en de inzet van biobrandstoffen. De introductie brandstofcelauto's komt daarin tot 2020 nog niet in beeld. In de praktijk liggen er het komende decennium echter wel mogelijkheden voor de ontwikkeling van elektrisch rijden (Nagelhout en Ros, 2009).

Behalve doelstellingen voor broeikasgasemissies in 2020 heeft het kabinet voor *Schoon en Zuinig* ook doelen voor duurzame energie en energiebesparing geformuleerd. Interessant is de vraag in hoeverre het realiseren van die doelstellingen voorsortert op de gewenste ontwikkelingen op de lange termijn. Het antwoord op die vraag hangt af van de invloed van de doelen voor energiebesparing en duurzame energie op de te treffen maatregelen. De volgende extra maatregelen bij de elektriciteitsproductie zijn onder meer nodig:

- Om het doel voor hernieuwbare energie te realiseren, is een substantieel groter aandeel windenergie op zee en biomassa in de elektriciteitsproductie nodig.
- Om het doel voor energiebesparing te realiseren, draagt een groter aandeel WKK (gas) bij.
- Om het doel voor broeikasgassen te realiseren, is de toepassing van CCS nodig, maar dit hangt in sterke mate af van de CO<sub>2</sub>-prijs en de mate van toepassing van CDM/JI.

Het eerste past prima bij het beeld voor 2050. Nederland zou daarmee ook een belangrijk aandeel hebben in de leerkosten voor wind op zee. Het tweede punt zou kunnen passen, maar met een beperkende randvoorwaarde. Elektriciteitsopwekking met WKK zonder het afvangen van CO<sub>2</sub> heeft in 2050 namelijk een te hoge emissiefactor om in grote mate te worden ingezet. Dit zou kunnen gelden voor gascentrales, die bij vervanging van kolencentrales een factor 2 schoner zijn, maar nog een factor 5 vuiler zijn dan het doel voor het gemiddelde van het technologiepakket van de elektriciteitsproductie in 2050, volgens paragraaf 4.2. Daarbij dient te worden gerealiseerd dat centrales die in het komende decennium nieuw worden gebouwd, in 2050 nog onderdeel van het systeem zullen uitmaken. Daarom is het van belang bij gascentrales (al dan niet met WKK) en installaties bij grote bedrijven de mogelijkheid tot combinatie met CCS in het oog te houden. Dit is vooral lastig bij kleinschalige toepassing en onmogelijk bij micro-WKK.

Bij verkeer zijn er vraagtekens over de rol van bepaalde biobrandstoffen in de toekomst. Het doel van de EU is een aandeel van 10% hernieuwbare brandstof volgens het klimaat- en energiepakket dat door de Europese Raad en het Europese Parlement is goedgekeurd in december 2008. Naast biobrandstoffen tellen ook hernieuwbare elektriciteit en waterstof voor alternatief aangedreven voertuigen mee voor de 10%-doelstelling. Vanwege de hoge aanschafkosten en beperkte beschikbaarheid van alternatief aangedreven voertuigen is de verwachting dat de doelstelling van 10% hernieuwbare elektriciteit voor verkeer voor het overgrote deel

in Europa wordt ingevuld met biobrandstoffen, tenzij aanvullend beleid in EU-verband of door lidstaten wordt geformuleerd. Als broeikasgas criterium voor het gebruik van de biobrandstof geldt dat de emissie van broeikasgassen vanaf 2017 reduceert met 50 tot 60% vergeleken met het gebruik van fossiele brandstof (benzine en diesel). Het meest kritische punt is echter het mogelijke optreden van indirecte effecten (Eickhout et al., 2008). Het gaat om landconversie dat indirect het gevolg is de inzet van landbouwgrond voor energieteelt en de negatieve effecten die daar het gevolg van kunnen zijn (inclusief CO<sub>2</sub>-emissie uit de bodem). De EU heeft hiervoor nadere monitoring voorgesteld. Om die reden is het moeilijk aan te geven welke rol bepaalde biobrandstoffen op de lange termijn kunnen spelen. Het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* verkent een verdergaande doelstelling van 20% van duurzame biobrandstoffen via een verplichting, inclusief het verbeteren en verbreden van biobrandstoffen naar andere brandstoffen en modaliteiten. Realisatie hiervan in 2020 zou echter kunnen bijdragen aan ongewenste indirecte effecten. Naast – en gedeeltelijk ook ter ondersteuning van – de genoemde doelstellingen omvat het beleid financiële middelen. Het totale budget voor het energiebeleid in de periode 2008-2011 bedraagt 7,5 miljard euro (EZ, 2008). Het budget is substantieel, maar een beoordeling of dit toereikend is om als Nederland voldoende bij te dragen aan de mondiale leerkosten kan niet objectief worden vastgesteld (er is geen criterium voor). Daarbinnen worden specifieke bedragen gereserveerd voor CCS, biomassaverbranding en zonnestroom, maar er is ook ondersteuning voor windenergie. Daarbij kunnen de volgende kanttekeningen worden geplaatst.

Er zijn gelden gereserveerd voor toepassing van zon-PV in de gebouwde omgeving in Nederland. In de beleidsnota staat de optimistische, maar niet geheel irreële verwachting dat over tien jaar zon-PV voor de eindgebruiker kostenefficiënt is. Dit betekent niet dat de productiekosten dan op hetzelfde niveau komen als voor andere technieken. Over elektriciteit uit PV in eigen beheer hoeven echter bepaalde belastingen niet te worden betaald. Er zitten dus wel collectieve kosten aan vast. Naar verwachting blijft deze technologie in Nederland relatief duur door de beperkte zoninstraling.

Bij besteding van hetzelfde geld in zonniger streken kan een grotere elektriciteitsopbrengst worden bereikt dan bij proefprojecten in Nederland. Het leerproces gebeurt dan op de plaatsen waar toepassing in de toekomst met een veel grotere zekerheid een belangrijke bijdrage moet leveren.

De noodzaak van toepassing van PV in Nederland in 2050 is nog niet duidelijk en hangt onder meer af van de keuze van mogelijkheden voor andere technologie zoals wind- en kernenergie, maar ook van mogelijke niet-beschouwde voordelen van decentrale energievoorzieningsconcepten.

Ondersteuning van windenergie op zee is van groot belang als bijdrage aan het leerproces voor een technologie met veel potentieel voor Nederland. Daarnaast vraagt de infrastructuur op de korte termijn extra middelen. Anders ligt het bij wind op land, waarvoor er voor een doorgroei na 2020 in Nederland geen ruimte is.



Ook de gelden voor ondersteuning van CCS liggen de komende jaren voor een belangrijk deel op het vlak van de infrastructuur voor CO<sub>2</sub>-transport tussen bronnen en opslagvelden en voor het opzetten van demoprojecten.

#### *Beleidsinstrumenten voor internationale optimalisatie*

In de in dit hoofdstuk gepresenteerde analyses zijn de drie schaalniveaus Nederland, EU en de wereld onderscheiden. Een optimalisatie van de klimaataanpak op wereldschaal leidt (technisch gezien; institutionele kosten niet beschouwd) tot een kostenefficiëntere aanpak dan een verdeling van emissies over wereldregio's of landen. Een mondiale aanpak biedt meer flexibiliteit, want geen van de technieken is op wereldschaal echt onontbeerlijk. De vraag die volgt is echter hoe een mondiale optimalisatie is te realiseren vanuit institutioneel oogpunt. De toegenomen betekenis van de EU in het klimaat- en energiebeleid is een voorbeeld van een stap in die richting, omdat daarmee al over de grenzen van landen heen gezocht wordt naar een optimale aanpak.

Beleidsinstrumenten die een internationale optimalisatie zo dicht mogelijk proberen te benaderen zijn onder meer:

- Emissiehandel voor grote bedrijven in Europa. Een belangrijk kenmerk van dit beleidsinstrument is dat het een kostenefficiënte aanpak bewerkstelligt en een gelijk speelveld voor bedrijven creëert. De mate waarin emissiehandel ook de ontwikkeling van nieuwe technieken bevordert, is afhankelijk van de stringentie van het plafond en de periode waarvoor een emissieplafond geldt. Het is de vraag of bijvoorbeeld het door de EU voorgestelde emissiehandelssysteem voldoende stimulans geeft aan bedrijven om nieuwe technieken, die nog (een deel van) de leercurve moeten doormaken en daardoor relatief duur zijn, van de grond te tillen.
- Internationale afspraken om de emissies van bio-energie bij verbranding op nul te stellen. Dit betekent dat bio-energie bijdraagt aan reductie in het land van toepassing, ongeacht waar de CO<sub>2</sub>-opname heeft plaatsgevonden. Import van biomassa of biobrandstof wordt daardoor een aantrekkelijke optie. De broeikasgasemissies in de keten buiten de landsgrenzen zijn tot nu toe niet meegeteld in het land van toepassing. Het is door indirecte effecten zelfs onzeker, of het netto-effect op broeikasgasemissies wel positief is geweest. Inmiddels worden duurzaamheidscriteria ontwikkeld voor biomassa met daarin eisen aan de broeikasgasemissies over de gehele keten. Het is overigens nog de vraag of de toerekening van emissies voor bio-energie hetzelfde blijft, als landen waar meer biomassa wordt geteeld dan voor energie wordt gebruikt in de toekomst ook met doelstellingen voor broeikasgasemissies worden geconfronteerd.
- Regelingen als Joint Implementation en Clean Development Mechanism. Ook hiervan is een belangrijk effect kostenbesparing doordat vooral het 'lage fruit' elders wordt geplukt. De keuze voor relatief dure maatregelen met leerkosten elders krijgt daarmee geen extra impuls. Het kan bovendien de motivatie om nieuwe technieken voor toepassing in Nederland te ontwikkelen doen afnemen.

Bovenstaande illustreert dat er een *trade-off* bestaat tussen het op korte termijn (voor een tussendoel) nastreven van een

mondiale kostenoptimalisatie bij de reductie van broeikasgasemissies en het creëren van prikkels voor de ontwikkeling van nieuwe technieken die gepaard gaan met leerkosten. Vanuit deze optiek is naast de inzet van beleidsinstrumenten die bijdragen aan de kostenoptimalisatie, ook innovatiebeleid nodig om de van belang geachte systeeminnovatie op de lange termijn te stimuleren.

De leerkosten vormen een belangrijke barrière op de korte termijn. Met beleid kan worden getracht deze barrière te slechten. Dit gebeurt ook in de vorm van subsidies (Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie, SDE), vooral in de eerste fase van de ontwikkeling. De toekenning van gelden gebeurt voor projecten en is technologiespecifiek (al hoeven subsidieprogramma's dat niet te zijn). In de fase van groot-schalige implementatie is er meestal een scala aan technische mogelijkheden en kan het beleid een kostenefficiënte aanpak met algemene normstelling aan de markt overlaten.

Tussen deze twee fasen is er een overgang die niet helder kan worden aangegeven. Naarmate de toepassing toeneemt, wordt de toekenning van subsidies een kostbare zaak, ook al kan de subsidie per project kleiner worden. De technologie wordt immers goedkoper door alle leerervaringen. Een te snelle overgang naar alleen algemene normen kan ertoe leiden dat de ontwikkeling van een nieuwe technologie stopt, omdat de alternatieven nog goedkoper zijn en bedrijven om die reden niet meer investeren. Er wordt daarom ook wel gewerkt met verplichtingen om een technologie in beperkte mate toe te passen. Bij biobrandstoffen is dat gebeurd en dat heeft tot veel activiteiten in de praktijk geleid. Als nadeel van een dergelijke aanpak wordt genoemd dat de overheid dan een keuze voor een technologie maakt en dat dat niet de rol van de overheid zou moeten zijn. Daarom is de beperking in de verplichting essentieel. Dat maakt de beleidsondersteuning onderdeel van het leerproces, waar de technologie doorheen moet als die als een belangrijke optie wordt gezien.

Een kostenefficiënte aanpak betekent ook dat de oplossingen meestal niet binnen de grenzen van Nederland blijven. Voor de inrichting van nieuwe systemen is internationale samenwerking nodig. Een voorbeeld ter illustratie. Als zou blijken dat de elektriciteitsvoorziening voor Europa goedkoper zou zijn met import van zonne-energie (CSP) uit Noord-Afrika, dan is er infrastructuur nodig voor transport naar Europa. Een HVDC-netwerk (direct stroom) is geschikt voor langeafstandtransport van elektriciteit. Dat netwerk zou niet alleen elektriciteit opgewekt in CSP op zeer zonnige plekken kunnen transporteren, maar ook elektriciteit op basis van wind op windrijke plekken, waterkracht uit bergstreken of biomassacentrales daar waar veel biomassa beschikbaar komt. Voor zo'n netwerk is internationale samenwerking een vereiste en zijn gerichte beleidsprijkkels op Europees niveau nodig. Vanuit nationale doelstellingen komt een dergelijke systeemverandering veel minder gemakkelijk tot stand.

Een ander voorbeeld is CO<sub>2</sub>-transport en -opslag. Ook dit vraagt internationale samenwerking, al speelt het op kleinere schaal (bijvoorbeeld in Noordwest-Europa).

## 4.7 Conclusies

### Het doel van maximaal 2 °C temperatuurstijging betekent voor Nederland en de EU technische energiesystemen die in 2050 meer dan 90% schoner moeten zijn

Een klimaatdoelstelling van maximaal 2 °C temperatuurstijging zou in 2050 emissiereducties op mondiaal niveau noodzakelijk kunnen maken in de orde van 25-60% ten opzichte van 1990. Bij een veronderstelling van gelijke emissies per capita zou dit voor Europa en Nederland neerkomen op emissiereducties van 73-86%.

Gelet op verwachtingen ten aanzien van de economische groei in die periode betekent dat een nog grotere verlaging van emissiefactoren (emissies per eenheid van productie), tot ruim boven de 90% gemiddeld, als die emissiereducties binnen de EU of Nederland zouden moeten worden gerealiseerd. Het beeld van de economische activiteit in 2050 is ontleend aan een OECD-scenario, maar gezien de grote emissiereducties en de algemeen herkenbare trend naar mondiale welvaartstijging heeft deze keuze geen grote invloed op de verdere analyse.

### De combinatie van bio-energie en CO<sub>2</sub>-afvang en -opslag kan een sleutel worden tot de oplossing

Om een forse aanscherping in emissiefactoren te realiseren, is toepassing van enkele als relatief schoon beschouwde technieken niet zonder meer toereikend. Dat geldt vooral voor schoon fossiel, zoals elektriciteitsproductie op basis van de huidige technologie met kolen of gas in combinatie met afvang en opslag van CO<sub>2</sub> (CCS) of toepassing van WKK. Bij verkeer geldt dit voor hybride auto's, vele biobrandstoffen en brandstof op basis van kolen (CTL) met toepassing van CCS bij de productie. Dat wil niet zeggen dat deze technieken geen onderdeel kunnen uitmaken van het toekomstige technologiepakket. Er moeten daarnaast echter wel voldoende nog schonere technieken worden ingezet.

Schonere technieken voor de elektriciteitsproductie zijn er op basis van zon, wind of kernenergie met lage emissiefactoren. In het verkeer zijn dat rijden op elektriciteit of waterstof, uitgaande van 'schone' elektriciteit. Belangwekkend is vooral dat toepassing van de combinatie van bio-energie of biobrandstoffen met CCS negatieve emissiefactoren kan opleveren. Dit kan deze technologische combinatie in een totaalpakket van maatregelen een belangrijke sleutel tot de oplossing van het probleem maken. Maar voor beide gelden beperkingen in het potentieel.

### Flexibiliteit qua technologiekeuze binnen de EU sterk afhankelijk van onzekere potentiëlen

Met de aangehouden beschikbare potentiëlen is nagegaan, wat het uitsluiten van een bepaalde techniek betekent voor het halen van de 60%-reductiedoelstelling op mondiaal niveau voor elektriciteitsproductie en wegverkeer samen. Daarbij is voor de elektriciteitsvoorziening gekeken naar zon, wind, nucleair, biomassa en CCS en voor verkeer naar biobrandstoffen, elektrisch rijden en brandstofcelauto's op H<sub>2</sub>. Met de veronderstelling dat elektriciteitstransport geen beperkingen oplevert, hoeft op wereldschaal geen technologie als onmis-

baar te worden gezien. Dat impliceert een bepaalde mate van flexibiliteit.

Op Europese schaal zijn biomassa, wind en zon onmisbaar bij het uitgangspunt dat alleen de eigen voorraden voor duurzame energie worden ingezet en energiebesparing niet verder gaat dan in het BLUE-MAP-scenario. De daarbij aangehouden, enigszins voorzichtige restricties zijn dat CO<sub>2</sub> tegen die tijd alleen in lege gas- en olievelden kan worden opgeslagen (en niet in *aquifers*), er een mondiale verdeelsleutel voor uranium wordt gehanteerd op basis van de huidige geïdentificeerde voorraad en windenergie dan nog tot 25% beperkt blijft om redenen van gridstabiliteit. De onmisbaarheid geldt ook voor kernenergie, maar uitbreiding van de capaciteit daarvoor is niet cruciaal. Vooral de beperkte capaciteit voor CO<sub>2</sub>-opslag binnen de EU maakt dat wind en zon een belangrijker rol moeten spelen. Mocht die capaciteit op termijn groter blijken, dan betekent dat een grotere flexibiliteit op EU-schaal. Het uitsluiten van biobrandstoffen of CO<sub>2</sub>-opslag is mogelijk, maar levert waarschijnlijk aanzienlijke kostenstijgingen op.

Voor Nederland zijn CO<sub>2</sub>-opslag en biomassa cruciaal om een doel van gelijke emissies per capita op eigen grondgebied te kunnen halen. De combinatie van beide is nodig ter compensatie van schoon fossiel dat eveneens een grote rol speelt. Uitsluiten van biobrandstof, elektrisch rijden, kern- en windenergie kan worden opgevangen door meer inzet van andere opties, maar bij elk van deze technologieën levert uitsluiting wel kostenstijgingen op in de orde van 10%, onder meer doordat de in Nederland naar verwachting ook in 2050 nog relatief dure zonne-energie in de vorm van PV in beeld komt.

Brandstofauto's op waterstof lijken op alle schaalniveaus niet cruciaal voor de lange termijn.

De analyses zijn uitgevoerd voor elektriciteitsproductie en wegverkeer in samenhang. Andere sectoren zijn niet meegenomen en kunnen van invloed zijn. Een bredere analyse is gewenst voor een nadere check op onderdelen, zoals de werkelijke beschikbaarheid van biomassa die ook kan worden ingezet voor biomethaanproductie voor toevoeging aan het net. Onzekerheden over de werkelijke potentiëlen van de technieken spelen echter een grotere rol.

### Internationale samenwerking voor duurzame energievoorziening kan kosten besparen

De grotere flexibiliteit in technologiekeuze bij optimalisatie van het technologiepakket op mondiale schaal kan leiden tot lagere kosten, ook voor de EU en Nederland. Dit betekent dat het interessant wordt onder meer het systeem voor de elektriciteitsproductie vanuit een mondiaal perspectief te beschouwen. Vertaald naar de Europese situatie kan een verkenning van de opbouw van een systeem voor elektriciteitsproductie samen met Noord-Afrika zinvol zijn.

### Leerkosten zijn slechts een fractie van structurele meerkosten, maar ze vormen een barrière op korte termijn

Bij indicaties van kosten voor de lange termijn dient te worden bedacht dat de onzekerheid daarin groot is. In het algemeen geldt wel dat er een prijskaartje hangt aan scho-

nere technieken. Zelfs als ze uitontwikkeld zijn en de productiestructuur verregaand is geoptimaliseerd, zijn er meestal structurele meerkosten ten opzichte van het bestaande systeem (hoewel structurele baten niet kunnen worden uitgesloten, zeker bij hoge prijzen voor fossiele brandstoffen). Ter illustratie: deze liggen voor elektriciteitsproductie en wegverkeer in 2050 mondiaal in de orde van 600-1200 miljard euro per jaar. Voor Nederland kan dit bij gelijke emissies per capita op eigen grondgebied komen op 3-7 miljard euro per jaar (rond 0,5% van het BNP in 2050).

Nieuwe technologie is aan het begin van het implementatietraject duurder. Er moeten leerkosten worden gemaakt om ze te krijgen op het productiekostenniveau waarmee voor 2050 is gerekend. IEA schat de leerkosten op 5500 miljard euro totaal in de komende decennia en 1700 miljard euro voor de elektriciteitsproductie. De leerkosten zijn een beperkt deel van de totale meerkosten in de periode tot 2050. Toch vormen zij – samen met de kosten voor nieuwe infrastructuur – op de korte termijn de grootste barrière voor de introductie.

Het leren over technologie is een mondiaal proces en Nederland kan daar slechts een beperkt aandeel in hebben. Wel is lokale ervaring met de toepassing van de technologie van belang voor efficiënte inpassing ervan in het nieuwe systeem. Institutionele barrières zijn er voor vele technologieën, maar in deze analyse niet beschouwd. Voor bijvoorbeeld CSP zijn deze barrières een dominante factor die grootschalige toepassing momenteel belemmert.

#### Beleidsimpuls voor meer windenergie op zee en meer CO<sub>2</sub>-afvang en -opslag in Nederland passen goed bij de lange termijn

De doelstelling voor emissievermindering van het kabinet die de basis vormt voor het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* leidt naar verwachting tot meer toepassing van windenergie op zee en eerste toepassingen van CCS. Het aanvullende doel voor duurzame energie geeft een extra impuls aan windenergie op zee. Deze twee opties passen goed in het beeld voor de lange termijn, ook als wordt gezocht naar een mondiaal optimale invulling.

#### Impuls voor technologische transitie in het verkeer nog beperkt

Interessant is ook een systeemconcept met meer windenergie en elektrisch rijden. Windenergie op zee leidt tot een wisselend aanbod van elektriciteit, ook veel 's nachts. Elektrische auto's kunnen juist in de nacht worden opgeladen. Elektrisch rijden is een belangrijke optie voor verkeer, maar komt met *Schoon en Zuinig* nog weinig in beeld.

De doelstelling voor duurzame energie zou ook tot een grote inzet van biobrandstoffen op basis van de nu toegepaste technologie kunnen leiden. Dat past niet zonder meer bij het eindbeeld en zou zelfs nieuwe barrières voor de gewenste systeeminnovatie kunnen opwerpen.

Het verdient aanbeveling zowel in de productieketen van bio-elektriciteit en biobrandstoffen (BTL biomass-to-liquid) als bij WKK in de industrie de mogelijkheden van een (toekomstige) combinatie met CCS in het oog te houden.

#### Ondersteuning van leerprocessen met zonne-energie zijn efficiënt in zonnrijke streken

De kosten voor zonne-energie in de vorm van PV en CSP zijn sterk afhankelijk van de intensiteit van de zoninstraling. Beide technologieën moeten nog een leerproces doorlopen, waarbij met name voor PV de leerkosten relatief hoog zijn. De inzet van gelden voor zon-PV en CSP in zonnrijke streken kan in twee opzichten efficiënter zijn dan toepassing in Nederland. De elektriciteitsopbrengst is hoger en de lokale leerprocessen spelen zich af in de gebieden met de grootste toepassingsmogelijkheden. Deze technologieën bieden op de lange termijn kansen voor ontwikkelingslanden.

#### Kosteneffectiviteit en het doorlopen van leercurven kunnen op gespannen voet met elkaar staan

Er zijn diverse beleidsinstrumenten die de aanpak van het klimaatprobleem meer op het internationale speelveld brengen, zoals emissiehandel, JI, CDM en afspraken om de emissies van biomassaverbranding bij de gebruikers op nul te zetten. Dergelijke maatregelen stimuleren het zoeken naar de goedkoopste maatregelen op de korte termijn en ondersteunen daarmee een kostenefficiënte invulling van de doelstellingen voor 2020. In de huidige vorm vormen ze geen stimulans voor het genereren en verdelen van leerkosten. Daarvoor zijn er specifieke aanvullende beleidsinstrumenten, bijvoorbeeld financiële regelingen of middelvoorschriften met een beperkte omvang. De effectiviteit van de gekozen instrumenten is in dit kader niet geëvalueerd.



# Literatuur

- AEAT, 2005. Cost-Benefit Analysis of the Thematic Strategy on Air Pollution, Service Contract for carrying out cost-benefit analysis of air quality related issues, in particular in the clean air for Europe (CAFE) programme, report number AEAT/ ED48763001/Thematic Strategy, AEA Technology, Didcot, UK.
- CPB/MNP/RPB (2006) Welvaart en Leefomgeving – Een scenariostudie voor Nederland in 2040. CPB/MNP/RPB, Den Haag/Bilthoven/Den Haag, ISBN 90-6960-150-8.
- EC (2007) Limiting global climate change to 2 degrees Celsius – The way ahead for 2020 and beyond, COM (2007) 0002 final. Europese Commissie (EC), Brussel.
- EC (2008a) Voorstel voor een richtlijn van het Europees Parlement en de Raad tot wijziging van Richtlijn 2003/87/EG ten einde de regeling voor de handel in broeikasgasemissierechten van de Gemeenschap te verbeteren en uit te breiden, COM (2008) 16 definitief. Europese Commissie (EC), Brussel.
- EC (2008b) Voorstel voor een beschikking van het Europees Parlement en de Raad inzake de inspanningen van de lidstaten om hun broeikasgasemissies terug te dringen om aan de verbintenissen van de Gemeenschap op het gebied van het terugdringen van broeikasgassen tot 2020 te voldoen, COM (2008) 17 definitief. Europese Commissie (EC), Brussel.
- EC (2008c) Voorstel voor een richtlijn van het Europees Parlement en de Raad ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen, COM (2008) 19 definitief. Europese Commissie (EC), Brussel.
- EC (2008d) Voorstel voor een richtlijn van het Europees Parlement en de Raad betreffende de geologische opslag van koolstofdioxide en tot wijziging van de Richtlijnen 85/337/EEG en 96/61/EG van de Raad, de Richtlijnen 2000/60/EG, 2001/80/EG, 2004/35/EG en 2006/12/EG en Verordening (EG) nr. 1013/2006, COM (2008) 18 definitief. Europese Commissie (EC), Brussel.
- EC (2008e) Mededeling van de Commissie aan het Europees Parlement, de Raad, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's - Steun voor demonstratie in een vroeg stadium van duurzame elektriciteitsproductie met behulp van fossiele brandstoffen, COM (2008) 13 definitief. Europese Commissie (EC), Brussel.
- EC (2008f) Community guidelines on state aid for environmental protection (2008/C 82/01). Europese Commissie (EC), Brussel.
- ECN (2008) Daniëls B., A. Seebregts, and P. Kroon: Trendanalyse Luchtverontreiniging – De effecten van het werkprogramma Schoon en Zuinig op de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen, ECN-E—08-002, ECN, Petten, maart 2008.
- ECN (2009a) 'Duurzame innovatie in het wegverkeer, Een evaluatie van vier transitiepaden voor het thema Duurzame Mobiliteit', Rapportnr ECN-E- 08-076, Petten.
- ECN (2009b) Analyse Nederlandse klimaat- en energiedoelen 2020 – Effecten op emissies en kosten, ECN-0-09-000, in voorbereiding.
- ECN/MNP (2006) Daniëls B. en J. Farla: Optiedocument energie en emissies 2010/2020, ECN-C-05-105, MNP 773001038. Petten/Bilthoven.
- ECN/MNP (2007) Beoordeling Werkprogramma Schoon en Zuinig. Rapport nr. ECN-E–07-067, ECN/MNP, Petten/Bilthoven.
- ECN/MNP (2007) Beoordeling Werkprogramma Schoon en Zuinig. Rapport nr. ECN-E–07-067, ECN/MNP, Petten/Bilthoven.
- ECN/NRG (2007) De belofte van een duurzame Europese energiehuishouding: energievisie van ENC en NRG. Rapport ECN-E-07-061. Petten.
- EEA (2006) How much bioenergy can Europe produce without harming the environment, EEA-report no 7/2006.
- EEA (2008) Renewables: Wind-energy potential in Europe 2020-2030, European Environmental Agency.
- EZ (2008) Energierapport 2008, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
- Eickhout B., G.J. van den Born, J. Notenboom, M. van Oorschot, J.P.M. Ros, D.P. van Vuuren en H.J. Westhoek (2008) Local and global consequences of the EU renewable directive for biofuels, testing the sustainability criteria. MNP-Report 500143001. Bilthoven.
- Elzen den M. en Höhne N. (2008) Reductions of greenhouse gas emissions in annex-1 and non annex-1 countries for meeting concentration stabilization targets; an editorial comment. Climate change DOI 10.1007/s10584-008-9484-z.
- EU (2007) Conclusies van het voorzitterschap, 8/9 maart 2007. Europese Raad, Brussel.
- EZ (2008), Energierapport 2008, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
- GWEC (2006) Global wind energy outlook, Greenpeace/Global Wind Energy Council.
- IEA (2008), Energy Technology Perspectives, International Energy Agency.
- IIASA (2008a) Amann, M., I. Bertok, J. Cofala, C. Heyes, Z. Klimont, P. Rafaj, W. Schöpp, F. Wagner. National Emission Ceilings for 2020 based on the 2008 Climate & Energy Package. NEC Scenario Analysis Report Nr. 6. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria.
- IIASA (2008b) <http://gains.iiasa.ac.at/gains/EU/index.login?logout=1>
- MNP (2006) Netherlands Environmental Assessment Agency, Stabilising greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of options and costs. MNP-report 500114002.
- MNP (2008a) Consequences of the European Policy Package on Climate and Energy. Publicatienummer 500094009, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.
- MNP (2008b) Zonne-energie in woningen, evaluatie van transitie op basis van systeemopties. MNP-publicatie 500083009.
- Nagelhout D. en J.P.M. Ros (2006) Brandstofcelauto op waterstof verkregen uit zonthermische krachtcentrales (CSP), evaluatie van transitie op basis van systeemopties, MNP-rapport 500083007.
- Nagelhout D. en J.P.M. Ros (2009) Elektrisch autorijden, Evaluatie van transitie op basis van systeemopties. PBL-publicatie 500083010. Bilthoven.
- NEA/IAEA (2008) Uranium 2007: Resources, production and demand. Report OECD Nuclear Energy Agency and International Atomic Energy Agency 2008.
- NREL (2004) Biomass power and conventional fossil systems with and without CO<sub>2</sub> sequestration – comparing the energy balance, greenhouse gas emissions and economics. NREL/TP-510-32575.
- NEA/IAEA (2008) Uranium 2007: resources, production and demand, Nuclear Energy Agency & International Atomic Energy Agency.
- Peeters-Weem, A., F. Strijk, G. Locht, H. Woldendorp, S. Nieuwenhuis (2006) Schieten om te kunnen scoren. Verslag van de werkgroep NEC en industrie. Report no. NeR 06 – 108 (In Dutch). Den Haag.
- PBL (2008) Milieubalans 2008, PBL, Bilthoven.
- PBL (2009) 'Elektrisch rijden – Evaluatie van transitie op basis van systeemopties', Bilthoven.
- PBL/ECN (2008) Tussenstand van een aantal onderdelen uit het werkprogramma Schoon en Zuinig. Bilthoven.
- PBL/ECN (2009) 'Moving in the right direction' (in voorbereiding), Bilthoven/Petten.
- Ros J.P.M. en J.A. Montfoort (2006) Evaluatie van transitie: systeemoptie vloeibare biobrandstoffen, MNP-rapport 500083002.
- Smit, A. (2008) Persoonlijke communicatie met Arend Smit. [www.emissioncare.nl](http://www.emissioncare.nl).
- Velders, G.J.M., J.M.M. Aben, W.F. Blom, J.D. van Dam, H.E. Elzenga, G.P. Geilenkirchen, P. Hammingh, A. Hoen, B.A. Jimmink, R.B.A. Koelmeijer, J. Matthijsen, C.J. Peek, C.B.W. Schilderman, O.C. van der Sluis, W.J. de Vries (2008) Concentratiekaarten voor grootschalige luchtverontreiniging in Nederland. Rapportage 2008. MNP-rapport 500088002. Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven, the Netherlands.
- Verbeek, R., R.T.M. Smokers, G. Kadijk, A. Hensema, G.L.M. Passier, E.L.M. Rabe, B. Kampman en I.J. Riemersma (2008) Impact of Biofuels on Air Pollutant Emissions from Road Vehicles. TNO-CE report MON-RPT-033-DTS-2008-01737. TNO Delft and CE-Delft, the Netherlands.
- VROM (1998) Kosten en baten in het milieubeleid – definities en berekeningsmethoden. Publicatiereeks milieustrategie 1998/6, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag, 1998.
- VROM (2007): Nieuwe energie voor het klimaat – Werkprogramma Schoon en Zuinig, VROM 7421, september 2007.
- VROM (2008a) Brief van de minister van VROM aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten Generaal, kenmerk BREM2008052221. Ministerie van VROM, Den Haag.

VROM (2008b) Gezamenlijk persbericht van het ministerie van VROM, IPO, EnergieNed en de Vereniging voor Marktwerking in Energie. <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=36441>.

WAB (2008a) WUR/MNP/VU/ECN/UCE (2008) Biomass Assessment, assessment of global biomass potentials and their links to food, water, biodiversity, energy demand and economy: inventory and analysis of existing studies, Main report WAB 500102012.

WAB (2008b) UU/ECN. Technological learning in the energy sector, WAB report 500102017

Williams R.H. (2008) 1\$ a gallon synthetic liquid fuel with near-zero ghg-emissions from coal+biomass using near-term technology, viewgraphs for presentation, Princeton University.

WISE (2008) <http://www.wise-uranium.org/nfce.html>.

# Colofon

## Eindverantwoordelijkheid

Planbureau voor de Leefomgeving

## Projectleiding

R.A. van den Wijngaart

## Bijdragen

De hoofdstukken 2 en 3 zijn geschreven door R.A. van den Wijngaart (PBL) op basis van de studie 'Analyse Nederlandse klimaat- en energiedoelen 2020 – Effecten op emissies en kosten' uitgevoerd door B.W. Daniëls (ECN). P. Hammingh (PBL) heeft de berekeningen van de kostenbesparingen op het luchtbeleid uitgevoerd en R.B.A. Koelemeijer (PBL) de gezondheidsbatens van de elektrisch aangedreven voertuigen (hoofdstuk 3). Het hoofdstuk 4 is geschreven door J.P.M. Ros (PBL) met bijdragen van M. Isaac (PBL), L.J.H.M. Janssen (PBL), D. Nagelhout (PBL), K. Schoots (ECN) en J.A. Montfoort (PBL). Aan de samenvatting is bijgedragen door S. Kruitwagen (PBL).

## Met dank aan

J. Bremmer (ministerie van VROM), A.W.N. van Dril (ECN) en K.J.M. Koops (ministerie van EZ) voor commentaar op de inhoud van het rapport.

## Redactie figuren

M. Abels

## Vormgeving en opmaak

Uitgeverij RIVM

## Contact

R.A. van den Wijngaart [ruud.vandenwijngaart@pbl.nl](mailto:ruud.vandenwijngaart@pbl.nl)



### **Luchtkwaliteit en schone energietechnologie profiteren van klimaatbeleid *Schoon en Zuinig*.**

Het voorgenomen klimaatbeleid van het Werkprogramma *Schoon en Zuinig*, dat gericht is op het halen van klimaat- en energiedoelen in 2020, draagt ook bij aan een vermindering van de luchtverontreiniging. De synergie treedt vooral op bij de sluiting van 'oude' elektriciteitscentrales: centrales die overbodig worden door elektriciteitsbesparing en een toename van windenergie. Ook energiebesparing en de afname van het aantal gereden autokilometers draagt bij aan de synergie.

Daarnaast draagt het Werkprogramma *Schoon en Zuinig* ook bij aan de ontwikkeling van schone energietechnologieën die nodig zijn om de klimaatdoelstellingen voor de lange termijn te halen. Voorbeelden zijn wind op zee en kolencentrales met afvang en ondergrondse opslag van CO<sub>2</sub>.

Sommige andere opties van *Schoon en Zuinig* zijn niet schoon genoeg om de op termijn gewenste afname van de uitstoot van broeikasgassen te realiseren in Nederland. Dit geldt bijvoorbeeld voor de nieuwe elektriciteitscentrales op aardgas zonder afvang en opslag van CO<sub>2</sub> en voor de huidige generatie biobrandstoffen voor het verkeer.

Dit rapport laat zien hoe het klimaatbeleid de luchtkwaliteit efficiënt verbetert en een bijdrage levert aan de ontwikkeling van schone energietechnologie voor de lange termijn.