



Planbureau voor de Leefomgeving

Opties voor energie- en klimaatbeleid

Beleidsstudie

Opties voor energie- en klimaatbeleid

Opties voor energie- en klimaatbeleid

PBL

Opties voor energie- en klimaatbeleid

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving
Den Haag, 2016
PBL-publicatienummer: 2393

Contact

Jan Ros (jan.ros@pbl.nl)

Eindredactie en projectleiding

J.P.M. Ros & K.M. Schure

Auteurs

J.P.M. Ros
K.M. Schure
J. Matthijsen
C.R. Vringer
H.E. Elzenga
J. Notenboom
R.B.A. Koelemeijer
G.P. Geilenkirchen
H.D. Hilbers
A. Hoen
J.D. van Dam
H.L. van Soest
D.P. van Vuuren

Delen van dit rapport zijn geformuleerd op basis van stukken geschreven ter ondersteuning van dit project door:

B. Daniëls, P. Koutstaal, M. Menkveld en T. van Dril (ECN), B.E. Kampman, H.J. Croezen, B.C. Jaspers, B.L. Schepers, C. Leguijt, en anderen (CE Delft), R. van Tilburg (Sustainable Finance Lab)

Met dank aan

P.M. Herder, M.P. Hekkert, K. Blok en J.R. Ybema voor de review van een conceptversie van dit rapport

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Productie

Uitgeverij PBL

Opmaak

Textcetera, Den Haag

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: PBL (2016), *Opties voor energie- en klimaatbeleid*, Den Haag: PBL.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

Voorwoord 7

BEVINDINGEN

Samenvatting 10

- Bekrachtiging van het doel 11
- De belangrijkste technische opties voor 2050 zijn bekend 11
- Transitiebeleid: verbinden van innovatie en implementatie 13
- Grote rol voor hernieuwbare energie 13
- Specifieke aanpak in de verschillende sectoren 14
- Krachtiger financiële prikkels 19
- Bewaken van de voortgang 20

VERDIEPING

1 Inleiding 22

- 1.1 Het doel van dit rapport 22
- 1.2 Analysemethodiek: backcasting 25
- 1.3 Beleidsinstrumenten in een vernieuwingsproces 26
- 1.4 Leeswijzer 28

2 Broeikasgasemissies 30

- 2.1 Emissies in Nederland 30
- 2.2 Emissie-effecten buiten de Nederlandse grenzen 31

3 Beleidsdoelstellingen 34

- 3.1 Het emissiedoel voor 2050 34
- 3.2 Tussendoel(en) voor 2030 36
- 3.3 Subdoelen voor specifieke actoren 41
- 3.4 Beleidsopties met betrekking tot doelen 43

4	De weg naar verregaande emissiereductie	46
4.1	Methodiek van backcasting: opties voor 80 procent emissievermindering	46
4.2	Warmtevoorziening in de gebouwde omgeving	50
4.3	Verkeer en vervoer	61
4.4	Verduurzaming van de industrie	77
4.5	Elektriciteitsproductie en -voorziening	86
4.6	Productie van gassen en brandstoffen	99
4.7	Transport en opslag van CO ₂	106
4.8	Landbouw, landgebruik en voedsel	113
4.9	Nederlandse transitie in een internationale context	120
5	Prijsprikkels en financiering	126
5.1	Versterken van het ETS binnen EU-verband	126
5.2	Aanvullend nationaal beleid ETS-sectoren boven op het ETS	129
5.3	Economische versterking van emissiereducerend beleid in niet-ETS-sectoren	133
5.4	Inrichten financiering van de energietransitie	136
	Bijlagen	140
	Literatuur	154

Voorwoord

Het Planbureau voor de Leefomgeving wil bijdragen aan goed onderbouwd beleid. Inzicht in de beleidsopties om een bepaald doel te realiseren helpt politici en beleidsmakers bij het maken van gefundeerde keuzes.

De beleidsopties voor energie- en klimaatbeleid worden in dit rapport gezien vanuit één overkoepelende invalshoek: wat zijn beleidsopties waarmee het kansrijk wordt om in Nederland de uitstoot van broeikasgassen in 2050 met tenminste 80 procent te hebben verminderd ten opzichte van 1990? Deze invalshoek is gekozen vanwege de opgave die de bij het klimaatakkoord van Parijs (2015) betrokken partijen hebben gesteld, de ingrijpendheid en complexiteit van de daarmee gepaard gaande transitie en de urgentie om emissiebeperkende maatregelen te nemen.

De studie is gericht op de lange termijn. Dat heeft drie redenen. Recent hebben PBL en ECN al een studie uitgebracht waarin een groot aantal beleidsopties op hun mogelijke effecten in 2020 en 2030 zijn gezien. Ten tweede is 2050 dichterbij dan we denken en juist in een kapitaal- en infrastructuurintensieve sector als energie onderwerp van beslissingen op dit moment. Ten derde zijn langetermijndoelen van belang om te kunnen beoordelen of beslissingen gericht op de middellange termijn die doelen naderbij brengen of realisatie ervan bemoeilijken.

Aan dit rapport hebben vele medewerkers van het PBL meegewerkt. De projectleiding was in handen van Jan Ros en Klara Schure. Daarnaast hebben ECN, CE Delft en Sustainable Finance Lab bijdragen geleverd. Dank is ook verschuldigd aan de wetenschappelijke reviewers. Alle namen staan in het colofon vermeld. Ik ben allen zeer erkentelijk.

Hans Mommaas, directeur PBL

BEVINDINGEN

BEVINDINGEN

Samenvatting

In het klimaatakkoord van Parijs is afgesproken om het internationale klimaatbeleid te richten op een beperking van de mondiale temperatuurstijging tot ruim onder de 2°C, met een streven naar maximaal 1,5°C. Deze doelstelling stelt het klimaat- en energiebeleid voor een grote opgave, want daarvoor moet de mondiale uitstoot van broeikasgassen verregaand worden teruggebracht. Europese leiders hadden al eerder aangegeven een ‘tweegradendoelstelling’ te ondersteunen en dat de emissies in de EU in 2050 ten opzichte van 1990 met 80 tot 95 procent moeten worden verminderd. De mondiale doelstelling is in Parijs zelfs nog aangescherpt met het streven naar maximaal 1,5°C temperatuurstijging.

De opgave voor het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen is ook voor Nederland dusdanig groot dat er ingrijpende veranderingen nodig zijn. Met deze studie wil het Planbureau voor de Leefomgeving beleidsopties aanreiken om het daarvoor benodigde transitieproces krachtige impulsen te geven. We doen dit vanuit de volgende centrale vraagstelling:

Wat zijn beleidsopties waarmee het kansrijk wordt om in Nederland de uitstoot van broeikasgassen in 2050 ten opzichte van 1990 met ten minste 80 procent te hebben verminderd?

De hier beschouwde beleidsopties zijn bekeken vanuit het voor het gekozen doel vereiste transitieproces; ze zijn niet integraal beoordeeld op andere effecten. Veel opties zijn bovendien nog niet eerder nader bestudeerd en daarom in dit rapport niet in detail uitgewerkt. Gedragsveranderingen zijn niet systematisch meegenomen, en evenmin is getoetst of er juridische belemmeringen kunnen zijn bij de uitwerking van bepaalde beleidsopties. Mede gezien de complexe juridische discussie omtrent sluiting van kolencentrales op korte termijn is ervoor gekozen deze optie in dit rapport niet te behandelen. Er is naar gestreefd om beter inzicht te geven in het beleid dat in algemene zin nodig is voor de realisatie van het aangegeven langetermijndoel voor broeikasgasemissies, als een belangrijke stap naar een brede maatschappelijke en politieke afweging. In de afgelopen jaren heeft het Energieakkoord een grote rol gespeeld in het beleid. In dit rapport gaan we niet in op een mogelijk vergelijkbare aanpak of anderszins bestuurlijke invulling in de komende periode.

Broeikasgasemissies zijn vooral het gevolg van het gebruik van fossiele brandstoffen en grondstoffen. Klimaatbeleid is daarom primair energiebeleid in brede zin: aanbod en gebruik. Echter, ook procesemissies van landbouw en industrie in de vorm van andere broeikasgassen dan CO₂ (zoals methaan en lachgas) en effecten van diverse vormen van landgebruik vormen een niet te veronachtzamen aandachtsveld voor klimaatbeleid.

In deze samenvatting geven we geen compleet overzicht van alle in het rapport beschouwde beleidsopties, maar hebben we de opties uitgelicht die een goede indicatie en illustratie geven van het beleid dat nodig is voor het realiseren van het aangegeven doel.

Bekrachtiging van het doel

In een transitieproces worden bestaande structuren en machtsposities aangetast, vaak met weerstand tot gevolg. Investerings in vernieuwing op de lange termijn zijn nodig, maar soms moeilijk te verenigen met het streven naar een maatregelenpakket met de laagste kosten op de korte termijn. Tegenvallers kunnen ontmoedigend werken. Daarentegen biedt het transitieproces ook kansen voor innovatieve bedrijven en organisaties. Juist om die redenen is een belangrijke beleids optie:

- Bekrachtiging van het doel voor 2050, bijvoorbeeld in een wettelijk kader of in een breed maatschappelijk akkoord met politieke ondersteuning (een ruime Kamermeerderheid).

Een dergelijke beleidsmaatregel versterkt het toekomstperspectief voor CO₂-arme technieken en geeft een duidelijk signaal aan potentiële investeerders. Daarnaast kan Nederland zich in Europees verband sterk maken voor een tussendoel van 45 procent emissievermindering in 2030 op EU-niveau. Dat past goed in een mondiaal tweegradenscenario waaraan alle landen bijdragen met gelijke lasten per eenheid bbp.

De belangrijkste technische opties voor 2050 zijn bekend

Er is tot het jaar 2050 nog 34 jaar te gaan. Dat is voor vernieuwing van het systeem geen heel lange termijn. Zo worden investeringen in infrastructuur en gebouwen voor langere tijd gedaan en belopen ook de technische afschrijvingstermijnen van investeringen in onderdelen van het energiesysteem meestal 25 tot 50 jaar, bijvoorbeeld grote centrales, industriële procesinstallaties en infrastructuur. Ook de daarbij vereiste institutionele vernieuwing vraagt veel tijd, bijvoorbeeld nieuw netbeheer voor het transport en de opslag van CO₂. De investeringen in de komende jaren zullen dan ook grotendeels het systeem van 2050 bepalen. Dat betekent ook dat het systeem van 2050 grotendeels zal zijn ingericht met technologie die al bekend is en die zich ten minste in het stadium van eerste pilotprojecten bevindt.

Daarmee is niet gezegd dat R&D minder belangrijk wordt. Ten eerste richt die zich op verdere verbetering van bekende technologie, zoals betere zonnepanelen, accu's met een hogere energiedichtheid, verdere efficiencyverbetering van industriële processen en nieuwe biomaterialen. Ten tweede is 2050 geen eindpunt en zal in de tweede helft van de eeuw verdere vernieuwing gewenst zijn.

Een doorkijkje naar 2050 geeft inzicht in wat er technisch in het energiesysteem mogelijk en nodig is om het doel van 80 procent emissiereductie te realiseren. Daarbij worden er geen ingrijpende gedragsveranderingen verondersteld. Overigens is gedrag in de vorm van consumptie, mobiliteit en benutting van diensten direct en indirect de oorzaak van alle emissies en kunnen gedragsveranderingen ook bijdragen aan een vermindering van de emissies. Daarvan worden enkele voorbeelden genoemd.

De volgende technische maatregelen spelen in CO₂-arme toekomstbeelden een grote rol:

- *Energiebesparing*. Hiervoor zijn nog lang niet alle maatregelen met een relatief korte terugverdientijd al genomen. Het totale technische besparingspotentieel is echter verre van voldoende om het emissiedoel te halen. Bovendien zijn verdergaande maatregelen niet altijd goedkoop.
- *Productie van CO₂-vrije elektriciteit*. Hiervoor zijn er relatief veel technologische opties. In Nederland heeft vooral voor windenergie op zee een groot potentieel, maar ook windenergie op land, zonnepanelen en kernenergie kunnen aanzienlijke bijdragen leveren.
- *Elektrificatie*. Hoe meer CO₂-vrije elektriciteit kan worden opgewekt, des te interessanter wordt het om die ook direct in te zetten in het transport, bij industriële processen, en voor de warmtevoorziening van bedrijven en woningen (bijvoorbeeld elektrische warmtepompen). Bij dat laatste kan ook warmte uit de omgeving (lucht en bodem) worden benut.
- *Groene brandstoffen*; naar verwachting blijft er ook in 2050 vraag naar brandstoffen (bijvoorbeeld voor lucht- en scheepvaart, maar ook een deel van de gebouwde omgeving en de industrie); dan kunnen daarvoor groen gas en groene olieproducten (eventueel ook waterstof) worden geproduceerd uit elektriciteit (*power-to-gas/fuel*) en/of uit (duurzaam geproduceerde) biomassa.
- *Afvang en opslag van CO₂ (carbon capture and storage, CCS)*. Bij grote puntbronnen van CO₂ – zoals de staalindustrie, raffinaderijen, grote stoomketels en kolen- en gascentrales – en bij de productie van groene brandstoffen uit biomassa kan CO₂ worden afgevangen en opgeslagen; de combinatie bio-energie en CCS levert zelfs negatieve emissies (verwijdering van CO₂ uit de atmosfeer) .

Het gaat daarbij niet om een keuze uit deze vijf opties. De ambitie reikt zo ver dat ze alle vijf in bepaalde mate nodig zijn. Als de verdere ontwikkeling en toepassing van één van deze vijf (groepen van) technische opties worden gestopt of niet worden opgepakt, dan wordt de kans op het halen van het doel kleiner.

Betekent de transitie ook een overgang naar een decentrale energievoorziening? De benutting van energie uit de directe omgeving biedt meer mogelijkheden om lokaal in de eigen energievraag te voorzien. Soms wordt decentraal als het 'nieuwe' afgezet tegen het 'oude' centrale systeem. Het gaat echter niet om een keuze tussen een centrale of decentrale energievoorziening, maar om een goede integratie van decentrale opties in het grotere geheel. Zo vraagt de benutting van omgevingswarmte met elektrische warmtepompen voldoende centrale elektriciteitsopwekkings- en distributiecapaciteit in de wintermaanden, en gebeurt de omzetting van een teveel aan zonnestroom in bijvoorbeeld gas in de zomermaanden waarschijnlijk fabrieksmatig.

Transitiebeleid: verbinden van innovatie en implementatie

In transitiebeleid komen innovatie en implementatie samen. Het kan vooral mis gaan in de verbinding van die twee, in de eerste fase van toepassing die niet voor niets ook wel wordt aangeduid als de 'vallei des doods'. De technologie is dan nog niet marktrijp, te duur en te risicovol voor potentiële gebruikers. De meeste van de hiervoor genoemde opties zijn deze 'vallei des doods' nog niet of niet helemaal voorbij. De kosten voor toepassing op de korte termijn liggen in veel gevallen ver boven de 100 euro per ton CO₂ (ter vergelijking: met het voorgenomen beleid wordt in 2030 in het kader van het Europese emissiehandelssysteem (ETS) een CO₂-prijs van ongeveer 20 euro per ton CO₂ verwacht, met een bandbreedte van minder dan 10 tot 60 (ECN & PBL 2015)).

De eerste fase van toepassing van nieuwe technologie is belangrijk voor verdere prijsverlaging en het verkrijgen van vertrouwen in de technologie. Gezien de daarvoor benodigde omvang moet er dan flink wat geld bij; dat kan oplopen tot honderden miljoenen euro per technologie, en soms zelfs meer. Bovendien zijn aanpassingen in de infrastructuur, instituties en regelgeving nodig, zaken die ook tijd en geld vragen. Voor de transitie gericht op het gekozen langetermijndoel is het belangrijk om het beleid niet eenzijdig te richten op emissiereductie op de korte termijn tegen zo laag mogelijke kosten, maar juist te investeren in technieken die op lange termijn een grote bijdrage kunnen leveren (en wellicht nog veel goedkoper kunnen worden). Dat wil overigens niet zeggen dat emissiereductie op de korte termijn er niet toe zou doen. Om het in Parijs afgesproken doel te kunnen halen, draagt ook vermindering van de belasting van de atmosfeer met broeikasgassen op de korte termijn in belangrijke mate bij.

Grote rol voor hernieuwbare energie

In het vigerende beleid speelt, zowel op EU-niveau als in Nederland, een verplichtende doelstelling voor hernieuwbare energie in 2020 een belangrijke rol. Het is juist deze doelstelling (en niet die voor broeikasgasemissies in 2020) die de stimulans heeft gegeven tot vernieuwingen in het energiesysteem die anno 2016 in de praktijk zichtbaar worden; dit mede onder invloed van ondersteunende instrumenten

als de subsidieregeling Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE+) en de salderingsregeling voor zonnepanelen. Een beleidsoptie is dan ook in Nederland door te gaan met een ‘opklimmend’ doel voor hernieuwbare energie en ondersteunende instrumenten daarbij, of helder aan te geven welke bijdrage hernieuwbare energie kan leveren in een overkoepelend doel voor de emissiereductie van broeikasgassen. De benodigde inzet van hernieuwbare energie in 2050 is vooral sterk afhankelijk van de inzet van CCS en kernenergie. Voor een emissiereductie van minstens 80 procent in 2050 is zonder de andere opties ten minste 80 procent hernieuwbare energie nodig, en dit is op zich technisch mogelijk. Het volgen van het EU-beleid met de doelstellingen voor 2030, met sturing op CO₂ en zonder specifieke landenverplichtingen voor hernieuwbare energie, zet Nederland op een pad richting 40 procent hernieuwbare energie in 2050. Om het emissiedoel dan toch met technische maatregelen te halen, is onder andere inzet van veel CCS of kernenergie onmisbaar. Een beleidsoptie om in Nederland een geleidelijke ontwikkeling van hernieuwbare energie te realiseren, is:

- Doelstelling voor hernieuwbare energie in 2030 in Nederland van 30 of 34 procent (gericht op een lineaire ontwikkeling naar 70 respectievelijk 85 procent in 2050).

Specifieke aanpak in de verschillende sectoren

Om de uitstoot van broeikasgassen in 2050 met minstens 80 procent te kunnen reduceren, zijn in alle economische en maatschappelijke sectoren ingrijpende veranderingen noodzakelijk. Omdat al deze sectoren hun eigen kenmerken hebben en de mogelijke beleidsopties tegelijkertijd over de sectoren heen gaan, is er in dit rapport voor de overzichtelijkheid een indeling gemaakt in zeven groepen ‘sectoren’: de gebouwde omgeving, de verkeers- en transportsector, de industrie, transport en opslag van CO₂, de elektriciteitsvoorziening, de productie van (groene) brandstoffen, en tot slot landbouw en voedsel. Voor deze zeven sectoren is onderzocht:

- a) hoe het toekomstbeeld er na realisatie in 2050 uit kan zien;
- b) welke acties op korte termijn kunnen/moeten worden genomen om de ontwikkeling verder te brengen in de richting van het toekomstbeeld; en
- c) welke beleidsopties de beoogde ontwikkeling kunnen ondersteunen.

We bespreken hierna per sector de belangrijkste bevindingen; voor meer achtergrondinformatie, zie hoofdstuk 4 van de Verdieping; zie ook <http://themasites.pbl.nl/energietransitie/>). Daarbij moet worden aangetekend dat bijna elke verandering in de ene sector ook tal van aanpassingen in en bijdragen van andere sectoren vraagt.

Gebouwde omgeving: van kleine stapjes naar planmatige verduurzaming

Bij een emissiereductie van minstens 80 procent past het streven om bestaande gebouwen en woningen energieneutraal te maken, of beter nog: emissievrij. Dat kan door wijken gasvrij te maken, de woningen en gebouwen verregaand te isoleren en de resterende warmtevoorziening te elektrificeren. Het kan ook met de inrichting van een

warmtenet met duurzame warmtebronnen als geothermie. Beide opties betekenen ingrijpende veranderingsprocessen voor de mensen die er wonen of werken. Het is belangrijk daarmee ervaring op te doen. Duidelijkheid over wat er in welke wijk of regio te gebeuren staat, is nodig om tot een planmatige aanpak te kunnen komen en zo door afstemming van maatregelen de efficiëntie te verbeteren. Als voor deze aanpak wordt gekozen, zijn normen voor broeikasgasemissies nodig als heldere randvoorwaarden. Zonder zo'n aanpak bestaat het risico dat opties worden gekozen die op de korte termijn wel kosteneffectief zijn, maar die verdergaande reducties daarna juist bemoeilijken. We noemen hierna enkele beleidsopties die een samenhangend pakket van beleidsmaatregelen kunnen vormen:

- De Rijksoverheid neemt de verantwoordelijkheid om een 'deltaplan' voor verduurzaming van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving op te stellen, met:
 - o een verplichting voor gemeenten (in samenwerking met onder andere energiebedrijven) voor lokale warmteplannen als basis voor het 'deltaplan';
 - o een programma van boringen voor geothermie om meer duidelijkheid te krijgen over het potentieel;
 - o warmtelevering als dienst van energiebedrijven, zodat de laatste meer verantwoordelijkheid kunnen nemen voor de verduurzaming.
- Subsidiëring van pilots (die circa 10 jaar kunnen duren) om op wijkniveau in één stap te gaan naar de gewenste eindsituatie: van wijken op gas naar een warmtenet of naar gasvrije, geëlektrificeerde wijken en naar wijken met een van tevoren vastgelegde lage CO₂-emissie.
- Normstelling (in CO₂/megajoule) voor:
 - o de gemiddelde emissie (ten gevolge van de productie) van de totaal geleverde warmte in warmtenetten over een jaar;
 - o de gemiddelde emissie van de door een energiebedrijf ingezette/verhuurde warmteapparatuur (afnemend in de tijd).
- Ontwikkeling van een maatschappelijk aanvaarde tariefstructuur voor warmte.

Verkeer: 'nulemissievoertuigen' tot de standaard maken

De uitstoot van broeikasgassen kan in transport worden gereduceerd door het zuiniger worden van voer-, vaar- en vliegtuigen, door inzet van andere energiedragers en door ander gedrag (minder mobiliteit, zuiniger rijgedrag, efficiënter transport). Voor de personenautomobiliteit kan een transitie naar emissieloos rijden (in elektrische of op waterstof rijdende auto's) een forse bijdrage aan de klimaatdoelen leveren. Een dergelijke transitie moet voor een groot deel vanuit Europa worden bewerkstelligd, maar Nederland kan daar wel de besluitvorming over beïnvloeden.

Nederland stimuleert al jaren via het fiscale regime de instroom van zogenoemde nulemissieauto's en kan overwegen het stimuleringsbeleid te verbreden. Daardoor wordt voor iedereen zichtbaar dat emissieloos rijden geen theorie is, maar gewoon al kan, wat de maatschappelijke en daardoor ook de politieke acceptatie versnelt. Daarbij is het belangrijk zeker te stellen dat de oplaadinfrastructuur tijdig meegroeit met de feitelijke behoefte.

Beleidsmaatregelen die het mobiliteitsgedrag beïnvloeden (zoals een kilometerheffing, het heroverwegen van wegenprojecten of ruimtelijke ordening), kunnen zolang auto's nog grotendeels op fossiele brandstoffen rijden ook de uitstoot van broeikasgassen verminderen. Minder uitstoot van broeikasgassen is hier echter maar een van de effecten: voor het wegvervoer en de lucht- en scheepvaart zijn ook andere oplossingen nodig. Nog meer dan bij personenautoverkeer is hier de internationale context bepalend. De internationale luchtvaart valt gedeeltelijk onder het Europese emissiehandelssysteem (ETS), maar voor scheepvaart zijn er nog geen heffingen op brandstoffen of op CO₂-uitstoot. De CO₂-normering van vrachtauto's wordt via de Europese Unie geregeld en is nog in ontwikkeling. Emissieloos vrachtverkeer staat nog in de kinderschoenen en vergt verdere ontwikkeling.

Enkele beleidsopties die het EU-beleid kunnen versterken, zijn:

- Inzet op EU-beleid voor lagere CO₂-normen voor personenauto's. Zo is 35 gram CO₂ per kilometer in 2030 goed voor een aanzienlijk aandeel nulemissieauto's. Bovendien is dit een opstap naar een perspectief voor 2035 waarin dan alleen nog nulemissiepersonenauto's worden verkocht.
- Inzet op EU-beleid voor een introductie van (lagere) CO₂-normen voor bestelauto's (eveneens gericht op een toename van het aandeel nulemissiebestelauto's) en vrachtauto's.
- Inzet op een adequate beprijzing van de CO₂-uitstoot van de binnenvaart, zeevaart en luchtvaart.

Zolang het EU-beleid onvoldoende prikkels geeft, zijn er voor in Nederland in te zetten beleidsinstrumenten de volgende beleidsopties:

- Het verbreden van het stimuleringsbeleid voor nulemissieauto's.
- Ervoor zorgdragen dat er tijdig concrete plannen beschikbaar zijn zodat de (oplaad) infrastructuur op orde is tegen de tijd dat nulemissievoertuigen een groot deel van het wagenpark gaan uitmaken.
- Deelnemen aan een Europees experiment voor nulemissievrachtvervoer en de benodigde infrastructuur daarvoor.

Industrie: de vrijblijvendheid voorbij

De industrie is een mix van koplopers die zeer geavanceerde, emissiearme technologie toepassen en (veel) bedrijven waar nog fors energiebesparingspotentieel met relatief korte terugverdientijden onbenut is gebleven. De CO₂-prijs (in het kader van het ETS) is te laag en de handhaving op energiebesparing te weinig dwingend om krachtige prikkels te geven. Er is veel potentieel voor emissievermindering, met nieuwe generaties procestechnologie, met elektrificatie (ook in hybride systemen) en met de afvang en opslag van CO₂. Te overwegen is in Nederland meer verplichtende beleidsinstrumenten in te zetten om de technische mogelijkheden beter en sneller te benutten en in situaties waarin dit tot duidelijke concurrentienadelen leidt daarvoor regelingen ter ondersteuning of compensatie in te richten. Voor bedrijven die opereren op mondiale markten kan mondiaal beleid worden verkend en in een internationale samenwerking worden voorbereid.

Enkele beleidsopties voor vernieuwing zijn:

- Budgetneutrale CO₂-prijsprikkels voor energie-intensieve industrie (het beprijzen en belonen van de werkelijke emissie ten opzichte van *best performance standard*);
- Tenderregeling voor ondersteuning bij innovatieve procesvernieuwing en elektrificatie in combinatie met verplichtende afspraken over CO₂-emissievermindering.

Een beleidsoptie voor een betere benutting van de mogelijkheden op zeer korte termijn is:

- Het verscherpen van de handhaving van de Wet milieubeheer.

En op de middellange termijn:

- Een traject voor een CO₂-afvangverplichting per bron uitstippelen, te beginnen (bijvoorbeeld in 2025) met de meest geconcentreerde CO₂-stromen (laagste afdangkosten)(zie ook CCS), mogelijk met een financiële regeling bij kosten hoger dan de Europese CO₂-prijs.

CCS: op tijd klaarstaan om CO₂ op te slaan

Het afvangen van CO₂ bij grote puntbronnen is een belangrijke technische optie.

Toepassing is pas mogelijk als de organisatie, infrastructuur en opslaglocaties klaarstaan. Daarmee moet op tijd worden begonnen. Wil CCS werkelijk een kans krijgen, dan is een bedrijf of een samenhangend geheel van partijen nodig dat die taken op zich neemt.

Enkele beleidsopties die de basis voor een samenhangend pakket bieden, zijn:

- Starten met de oprichting van een CCS-bedrijf, bijvoorbeeld in een publiek-private samenwerking, voor het opzetten van een bedrijf voor transport en opslag van CO₂ (met de Rijksoverheid als belangrijke aandeelhouder).
 - o Opzet van een financieringsstructuur (reserveren gelden).
 - o Opbouw en beheer van CO₂-infrastructuur en beheer en afsluiting van opslaglocaties.
- Opstellen door de Rijksoverheid van een routekaart met voor CCS geformuleerde (niet-vrijblijvende) doelen op basis waarvan meer duidelijkheid ontstaat over de omvang van de afvang en opslag in de tijd.
- Ontwikkelen van een wettelijk kader dat het beschikbaar houden van geschikte offshore-faciliteiten/infrastructuur en velden voor CO₂-opslag verplicht stelt.

Elektriciteitsvoorziening: vasthouden van voortrekkersrol in de transitie

De transitie naar een CO₂-arm systeem is momenteel vooral zichtbaar in de elektriciteitsvoorziening. In 2013 was circa 10 procent van de geproduceerde elektriciteit afkomstig van hernieuwbare bronnen. Dit kan bij doorzetting van het lopende beleid met specifieke ondersteuning door bijvoorbeeld SDE+ (de CO₂-prijs uit het ETS is onvoldoende) in 2030 al meer dan 40 procent zijn. Windenergie op land is al verregaand ontwikkeld en ook voor windenergie op zee en zonnepanelen zijn en worden al aanzienlijke kostenverminderingen bereikt. Kosten voor inpassing van deze variabele

bronnen in het systeem worden relevanter en zijn ook afhankelijk van de mogelijkheden voor opslag van de energie en de interconnectie binnen Europa. Daarbij past een beleidslijn waarin de hernieuwbare opties, inclusief de kosten voor inpassing in het systeem, tegen elkaar kunnen worden afgewogen.

Enkele beleidsopties zijn:

- Een wettelijk vastgelegde CO₂-norm (afnemend in de tijd) voor elektriciteitsproductie (met onder andere als doel dat er geen nieuwe kolencentrales bijkomen).
- Een verplichting voor het aandeel hernieuwbare energie in de elektriciteitsproductie voor elektriciteitsproducenten of -leveranciers; dit kan in samenhang met continuering van de SDE+-regeling en eventueel inclusief een bijdrage van zonnepanelen bij klanten, waarmee de salderingsregeling kan worden afgebouwd.
- Stimuleren van intensivering van de Europese initiatieven voor een supergrid in Europa.

En gericht op verdere ontwikkeling van nog niet toegepaste technologie:

- Verkenning van aanvullende technische opties in de vorm van:
 - o subsidie voor een demonstratieproject geothermische elektriciteitsproductie;
 - o het versterken van R&D-programma's gericht op nieuwe vormen van kernenergie, zoals thoriumreactor, en het opzetten van een maatschappelijk debat over kernenergie.

Productie van groene brandstoffen: verkennen en demonstreren van grootschalige aanpak

Het is zeker dat bepaalde vormen van transport (vooral lucht- en scheepvaart, wellicht ook vrachtverkeer) in 2050 nog afhankelijk zullen zijn van vloeibare brandstoffen. Het is ook waarschijnlijk dat er voor vele woningen, gebouwen en bedrijven dan ook nog gas nodig is. Het is belangrijk die vraag zoveel mogelijk in te vullen met groene brandstoffen en groen gas, geproduceerd uit (duurzame) biomassa of elektriciteit. Er zijn al enkele voorbeelden van groen gas en biobrandstoffen in de praktijk. Innovatieve technieken met een groter potentieel staan op de rand van grootschaliger toepassing. Het toekomstige aanbod van biomassa is echter erg onzeker. Die zal vooral moeten worden geïmporteerd, waarbij handhaving op duurzaamheid belangrijk is.

Enkele beleidsopties zijn:

- Een verplichting voor het aandeel groene brandstoffen (inclusief groene waterstof) en/of groene grondstoffen. Hiervoor zijn er enkele mogelijkheden, die in de beginfase beter niet tegelijkertijd moeten worden ingezet:
 - o een verplichting voor het aandeel groen gas in het gasnet;
 - o een verplichting voor het aandeel groene brandstoffen voor verkeer en vervoer (liefst op EU-niveau);
 - o een verplichting voor groene grondstoffen in de chemie met compensatie, bijvoorbeeld in de vorm van emissierechten.

Of als alternatief:

- Subsidies voor een grootschalige demonstratiefabriek voor de productie van groene brandstoffen uit lignocellulose en een demonstratieproject voor *power-to-waterstof* met injectie in het gasnet.

En daarnaast:

- Initiatieven voor het vergroten van het aanbod van duurzame biomassa:
 - o verdere initiatieven voor internationale duurzaamheidscriteria voor biomassa, alsmede de handhaving daarop;
 - o subsidie voor een samenwerkingsprogramma met andere landen (vooral ontwikkelingslanden) ter stimulering van de productie van duurzame biomassa en import naar Nederland.

Landbouw, landgebruik en voedsel: minder dierlijke producten voor meer negatieve emissies

De mogelijkheden om met technische maatregelen de directe emissies van de landbouw te verminderen zijn beperkt. Mestvergisting is nog wel een belangrijke optie om methaanemissies te verminderen. Echter, landgebruik is een belangrijk aandachtsveld. Diverse mondiale scenario's geven aan dat later deze eeuw negatieve emissies nodig zijn om onder de tweegradendoelstelling te blijven. Belangrijke opties om negatieve emissies te realiseren, zijn de combinatie van bio-energie en CCS en de vastlegging van CO₂ in natuurlijke systemen. In beide gevallen levert dat een vraag naar land op. Er wordt veel land gebruikt voor de productie van dierlijke producten.

Enkele beleidsopties zijn:

- Institutioneel onderzoek: verkenning naar sturingsmogelijkheden om maatschappelijk optimaal gebruik van landbouwgrond te bevorderen (gelet op de broeikasgasemissies van gewassen in de hele productieketen van bio-energie en dierlijke producten, versus natuurlijke systemen).
- Stimuleren van een vermindering van de consumptie van dierlijke producten:
 - o een verschuiving van vlees en vleesproducten van het verlaagde btw-tarief naar het algemene btw-tarief van 21 procent;
 - o voorlichting over de gevolgen van consumptie van vlees en andere dierlijke producten voor het klimaat.
- Een verplichting voor mestvergisting.

Krachtiger financiële prikkels

Algemeen geldende beleidsprikkels zijn van belang om CO₂-arme technische systemen een voorkeurspositie te geven op de markt ten opzichte van vervuilende systemen. De belangrijkste pijler voor het Europese klimaatbeleid is het Europese emissiehandelssysteem (ETS). Zoals hiervoor al is aangegeven, leidt het vigerende beleid op afzienbare termijn niet tot een CO₂-prijs die de transitie met kracht verder kan brengen. Die prijsprikkel om CO₂-arme technieken een gunstiger positie op de

markt te geven, kan worden versterkt. Een aandachtspunt daarbij is wel dat extra emissiereducerende maatregelen in Nederland kunnen leiden tot meer emissieruimte binnen het ETS in andere landen ('waterbedeffect').

Enkele beleidsopties die Nederland in EU-kader kan inzetten op versterking van het ETS of die in Nederland zelf als aanvullende financiële instrumenten kunnen worden ingezet, zijn:

- Verlaging van het emissieplafond (sneller dan gepland);
- Vernietigen van emissierechten uit de marktstabiliteitsreserve die niet zijn geveild in de periode 2013-2020;
- Een minimumprijs voor te veilen rechten.

Mogelijk aanvullende beleidsopties in Nederland kunnen zijn:

- Invoeren van een CO₂-bodemprijs, die stijgt in de tijd (een variabele heffing boven op de ETS-prijs);
- Opkopen van emissierechten;
- Verminderen van de degressieve structuur van de energiebelasting;
- Energiebelasting in de eerste schijf (consumenten) verschuiven van elektriciteit naar aardgas (in aanvulling op de recente herverdeling) ter stimulering van elektrificatie;
- Vastleggen van de voortzetting van de openstelling van de SDE+-regeling na 2019 (in samenhang met een eventueel eerder aangestipt doel voor hernieuwbare energie in 2030).

Bewaken van de voortgang

Het voorgaande laat zien dat de transitie die nodig is om het gestelde doel te kunnen realiseren een complex geheel is van vele veranderingsprocessen, elk met een eigen dynamiek, maar toch ook weer op diverse manieren met elkaar verbonden. Sturing op een dergelijk proces met een helder doel heeft alleen kans van slagen als die krachtig en voortvarend genoeg is om voldoende snelheid in de transitie te houden. Maar die sturing moet eveneens inspelen op het feit dat het nog een zoekproces is. Voor de vormgeving van het proces op korte termijn is de basisvraag wat er binnen vijf of tien jaar in de veranderingsprocessen in de verschillende sectoren moet zijn bereikt om tegen die tijd te kunnen concluderen dat de transitie voortvarend genoeg verloopt. Het antwoord op die vraag geeft gewenste tussendoelen en de daarbij passende acties. Die tussendoelen kunnen helpen als indicatoren om in beeld te krijgen of en ervoor te zorgen dat de transitie met de benodigde vaart gestalte krijgt.

VERDIEPING

VERDIEPING

Inleiding

1.1 Het doel van dit rapport

In het in december 2015 in Parijs gesloten klimaatakkoord is afgesproken om het internationale klimaatbeleid te richten op een beperking van de mondiale temperatuurstijging tot ruim onder de 2°C, met een streven naar maximaal 1,5°C. Om dit doel te kunnen bereiken, moet de mondiale uitstoot van broeikasgassen verregaand worden teruggebracht. Uitgaande van de ‘tweegradendoelstelling’ en op basis van eerlijke verhoudingen in de lasten hebben de Europese leiders al eerder aangegeven dat voor de Europese Unie een vermindering van de broeikasgasemissies in 2050 van 80 tot 95 procent ten opzichte van 1990 het doel is, onder de voorwaarde dat andere ontwikkelde landen vergelijkbare inspanningen plegen. Ook in het Nederlandse *Energierapport* (EZ 2016) en het daaraan ten grondslag liggende *Energieakkoord* (SER 2013) zijn deze reductiepercentages genoemd als richtpunt voor Nederland. Het Parijse klimaatakkoord met een streven naar maximaal 1,5 °C temperatuurstijging scherpt deze doelen in feite nog verder aan (zie ook tekstkader 1.1).

De opgave voor het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen is ook voor Nederland dusdanig groot dat er ingrijpende veranderingen nodig zijn in de productie- en consumptiesystemen. Dit geldt vooral voor het energiesysteem, omdat het overgrote deel van de uitstoot van broeikasgassen (vooral het belangrijkste broeikasgas koolstofdioxide, CO₂), is gerelateerd aan energie. De hiervoor benodigde ‘energie-transitie’ is een lastig proces, met veel hordes die moeten worden genomen en waarvoor de beleidsondersteuning langdurig moet worden volgehouden. Zo’n ingrijpend veranderingsproces wordt concreter wanneer er ook een helder einddoel is.

Met deze studie wil het Planbureau voor de Leefomgeving beleidsopties aanreiken die nodig zijn om dit transitieproces krachtige impulsen te geven. We doen dit vanuit de volgende centrale vraagstelling: *met welke beleidsopties kan Nederland in 2050 de uitstoot van broeikasgassen met minstens 80 procent reduceren ten opzichte van 1990?*

Klimaatbeleid is nauw verweven met energiebeleid. Het klimaatbeleid vergt echter ook aandacht voor niet direct aan energie gerelateerde processen in de landbouw en de industrie. Daarbij komen vooral andere broeikasgassen dan CO₂ vrij; denk aan methaan (CH₄), lachgas (N₂O) en fluorkoolwaterstoffen. Bovendien gaat het in klimaatbeleid niet

alleen om technische verbeteringen in processen, producten en systemen, maar ook om gedragsaanpassingen.

De gekozen vraagstelling betekent dat er geen nieuwe scenarioberekeningen zijn gemaakt om na te gaan of met bepaalde beleidspakketten in 2050 80 procent emissiereductie kan worden bereikt. Voor een dergelijke, meer precieze analyse zijn de onzekerheden over een zo lange termijn te groot. Wel is de methode van backcasting gehanteerd om acties voor de korte termijn te identificeren, en de beleidsopties die daartoe stimuleren en die nodig zijn voor de veranderingsprocessen om uiteindelijk in 2050 te komen tot minstens 80 procent emissiereductie (zie paragraaf 1.2). De beschouwde beleidsopties in dit rapport zijn bekeken vanuit het voor het gekozen doel vereiste transitieproces; ze zijn niet integraal beoordeeld op andere effecten. Ook de gedragscomponent is niet systematisch meegenomen, en evenmin is getoetst of er juridische belemmeringen kunnen zijn bij de uitwerking van bepaalde beleidsopties. Mede gezien de complexe juridische discussie omtrent sluiting van kolencentrales op korte termijn is ervoor gekozen deze optie in dit rapport niet te behandelen. Er is naar gestreefd om beter inzicht te geven in het beleid dat in algemene zin nodig is voor de realisatie van het aangegeven langetermijndoel voor broeikasgasemissies, als een belangrijke stap naar een brede maatschappelijke en politieke afweging. Daarbij gaat het in veel gevallen om opties voor nieuw beleid. In die zin is deze studie ook een verkenning van een breed scala aan beleidsopties om dat nieuwe beleid vorm te geven. Van veel van de beschouwde beleidsopties zijn de precieze uitwerking en de kosten nog niet goed bekend. Waar mogelijk zijn wel indicaties van de kosten opgenomen. In de afgelopen jaren heeft het Energieakkoord een grote rol gespeeld in het beleid. In dit rapport gaan we niet in op een mogelijk vergelijkbare aanpak of anderszins bestuurlijke invulling in de komende periode.

De analyse in dit rapport is gericht op beleidsopties voor de Nederlandse overheid. De ontwikkelingen in Nederland kunnen echter niet los worden gezien van internationale ontwikkelingen en de wijze waarop het klimaatprobleem op mondiaal niveau wordt opgepakt. In de *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving* (WLO, zie CPB & PBL 2015) is in beeld gebracht hoe de mogelijke ontwikkelingen in Nederland samenhangen met mondiale ontwikkelingen. De studie laat ook zien dat een emissiereductie van 80 procent of meer in 2050 verder gaat dan wat er op basis van huidige ontwikkelingen, met inbegrip van het vastgestelde klimaatbeleid, kan worden verwacht; voor meer informatie uit de WLO, zie bijlage 2.

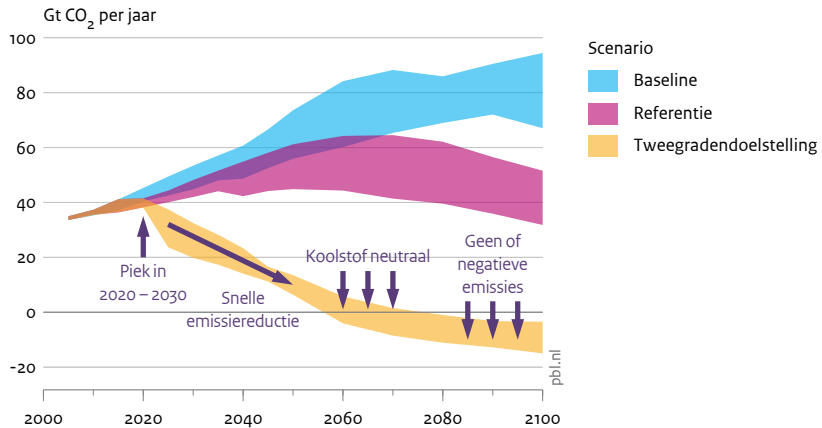
In het vervolg van deze inleiding gaan we in op de methodiek die voor deze studie is gehanteerd (paragraaf 1.2). Daarna bespreken we de beleidsinstrumenten die in de verschillende fasen van het voor de transitie benodigde vernieuwingsproces een bijdrage kunnen leveren aan de beoogde vermindering van de uitstoot van broeikasgassen (paragraaf 1.3). We besluiten dit inleidende hoofdstuk met een leeswijzer voor de overige hoofdstukken van de Verdieping.

1.1 De urgentie: afspraken in het akkoord van Parijs en consequenties voor broeikasgasemissies

Op 12 december 2015 spraken 195 landen in het klimaatakkoord af het internationale klimaatbeleid te richten op een beperking van de temperatuurstijging tot ruim onder de 2°C, en mogelijk tot 1,5°C. Deze doelstelling kan met hulp van scenario's worden vertaald naar een maximale hoeveelheid van het belangrijkste broeikasgas (CO₂) die vanaf nu nog wereldwijd mag worden uitgestoten om de doelstelling te halen ('koolstofbudget') of in jaarlijkse emissiedoelstellingen (voor alleen CO₂ of ook andere broeikasgassen). Een dergelijke analyse laat zien dat de emissie maximaal 600-1200 miljard ton CO₂ mag zijn vanaf nu (afhankelijk van de gebruikte methode en onzekerheid over onder andere de niet-CO₂-emissies) om met een kans van twee derde onder de 2°C te blijven (Tavioni et al. 2015). Dit lijkt veel, maar is het niet: momenteel bedraagt de jaarlijkse mondiale uitstoot 40 miljard ton CO₂. Bij een gelijkblijvende uitstoot wordt dat budget dus in 15-30 jaar opgesoupeerd. Voor het beperken van de temperatuurstijging tot maximaal 1,5°C (wat tijdens de klimaatop in Parijs als ambitie is geformuleerd) is het budget nog veel kleiner, ergens rond de 300-400 miljard ton. Uitgaande van 1000 miljard ton, geldt dat wanneer de emissies wereldwijd met een constante snelheid worden gereduceerd, deze in ongeveer 50 jaar naar nul moeten worden teruggebracht om zo binnen het budget te blijven. Omdat het voor ontwikkelingslanden (met een snellere groei van economie en bevolking) nóg moeilijker is om de doelstelling te halen, betekent dit dat rijke landen zelfs al rond 2050 koolstofneutraal moeten zijn. De meeste scenario's laten zien dat het wereldenergiesysteem rond 2060 volledig moet zijn omgeschakeld naar een systeem gebaseerd op hernieuwbare energie en – voor zover er nog met fossiele brandstoffen worden gebruikt – met afvang en opslag van CO₂.

De meeste scenario's gaan uit van de mogelijkheid van negatieve emissies in de tweede helft van deze eeuw. Dit betreft het vastleggen van CO₂ uit de lucht door herbebossing of afvang en opslag van CO₂ in combinatie met bio-energie. Het budget kan in de komende decennia ook iets worden verruimd door de inzet van negatieve emissies. Maar negatieve emissies kunnen niet onbeperkt worden ingezet vanwege de gevolgen van bio-energiecultuur en herbebossing voor landgebruik (en dus voedselvoorziening) en de beperkte opslagcapaciteit. Scenarioberekeningen laten zien dat zónder negatieve emissies de reductie voor alle broeikasgassen wereldwijd in 2050 tussen de 60-75 procent ten opzichte van 2010 zou moeten zijn. Mét negatieve emissies geldt een reductie van 40-60 procent. Voor alleen CO₂ zijn de benodigde reducties wereldwijd fors grot(70-95 procent zonder negatieve emissies, 60-85 procent mét), omdat de technische mogelijkheden voor reductie van niet-CO₂-broeikasgassen beperkt zijn. Volgens berekeningen met energiemodellen zijn zowel in mondiaal opzicht als voor Nederland verregaande reducties technisch mogelijk (zie figuur 1.1). De komende 5 tot 10 jaar is het wel nodig duidelijkheid te krijgen over de toekomstige bijdrage van negatieve emissies (Van Vuuren et al. 2015).

Figuur 1.1
Mondiale CO₂-emissies



Bron: Tavoni et al. 2015; Nature Climate Change

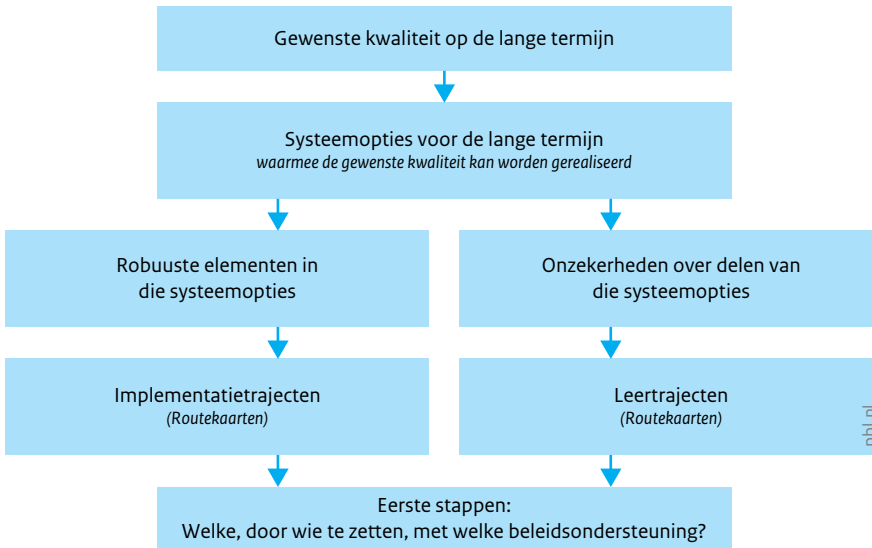
1.2 Analysemethodiek: backcasting

In de analyse is gebruikgemaakt van backcasting. Figuur 1.2 geeft een schematisch overzicht van de volgens deze methodiek te zetten stappen. Het uitgangspunt in dit schema is de gewenste kwaliteit van het beschouwde systeem op de lange termijn: in dit geval de broeikasgasemissies in 2050 afgeleid van het klimaatakkoord van Parijs. De stappen die daarvoor achtereenvolgens moeten worden gezet, leiden tot inzicht in wat er in de komende jaren moet gebeuren om die gewenste kwaliteit in 2050 te kunnen bereiken.

In de komende jaren moet het transitieproces verder vorm krijgen met zowel implementatietrajecten voor elementen die door voldoende betrokkenen en belanghebbenden als robuust worden beschouwd, als met leertrajecten voor potentieel belangrijke, maar nog onzekere opties. Vele maatschappelijke partijen zullen daarbij betrokken zijn. De eerste stappen daarin vormen het plan van aanpak voor de komende periode. Daarbij is beleidsondersteuning cruciaal. Dit rapport reikt daarvoor beleidsopties aan.

De gegeven beleidsopties zijn niet kwantitatief doorgerekend op het CO₂-effect op de korte termijn. Dat is bij de gekozen vraagstelling voor dit rapport minder relevant dan het belang dat deze hebben voor de lange termijn. In een recente studie hebben het ECN en PBL overigens al een overzicht gegeven van beleidsopties die zijn gericht op vermindering van broeikasgasemissies op de korte termijn (ECN & PBL 2016) die ook van belang zijn voor keuzes in het klimaatbeleid. Die opties zijn wel kwantitatief uitgewerkt met het reductiepotentieel op korte termijn en de daarbij behorende kosten per vermeden ton CO₂. De belangrijkste resultaten daarvan zijn opgenomen in bijlage 1.

Figuur 1.2
Methodiek van backcasting en de te volgen stappen



Bron: PBL

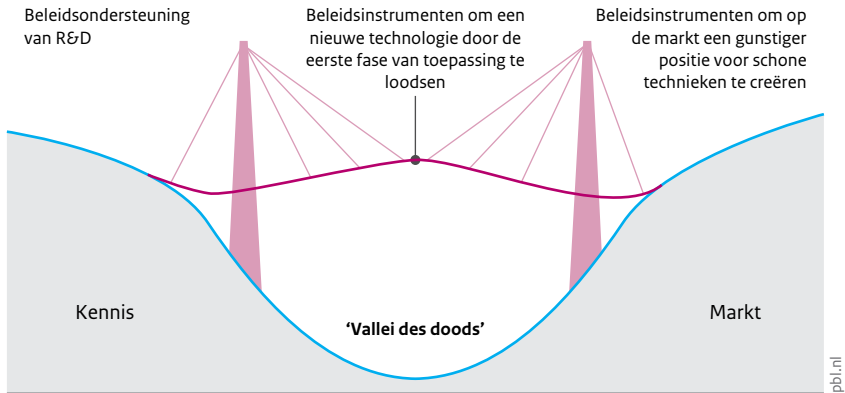
1.3 Beleidsinstrumenten in een vernieuwingsproces

Voor het klimaatbeleid is er de uitdaging om nieuwe technologieën te ondersteunen die op termijn een grote bijdrage kunnen leveren aan een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen. Figuur 1.3 geeft een vereenvoudigd beeld van het innovatieproces en de rol van beleid daarin.

Dat innovatieproces begint bij R&D, de ontdekkingsfase met de eerste kleinschalige pilots, een internationaal proces waarin Nederland op basis van de kennispositie speerpunten kiest. Dat geldt ook voor de daaropvolgende eerste fase van toepassing. Per technologie vraagt die fase veel meer geld dan R&D. Veel technologieën sneuvelen hier. Om die reden wordt deze fase ook wel aangeduid als ‘de vallei des doods’. Voor het klimaatbeleid en de technologieën die een grote bijdrage kunnen leveren aan het halen van het einddoel, is het een grote uitdaging technologieën door deze fase te krijgen. Ten slotte komt de fase waarin de nieuwe technologie moet komen tot grootschalige toepassing op de markt. Het beleid is dan gericht op het creëren van een gunstige marktpositie voor CO₂-arme opties.

In al deze fasen zijn dus beleidsinstrumenten gewenst. Het stellen van concrete doelen kan deze ontwikkeling helpen op gang brengen, omdat het perspectief biedt. Zo kan ook een voldoende hoge CO₂-prijs bedrijven stimuleren tot investeringen in R&D en eerste toepassingen.

Figuur 1.3
Beleidsinstrumenten in verschillende fasen van het innovatieproces



Bron: PBL

In de praktijk worden er ook specifieke beleidsinstrumenten ingezet. Gericht op een bepaalde technologie wordt het in te zetten instrument afgestemd op de ontwikkelingsfase. In de eerste fase van ontwikkeling gaat het vooral om innovatieprogramma's met subsidieregelingen voor R&D en demonstratieprojecten. In de eerste fase van toepassing kan ook nog met investerings- of uitrolsubsidies (denk aan de SDE+-regeling) worden gewerkt, maar subsidiebeleid wordt normaal als 'eindig' beschouwd. Een technologie kan niet voortdurend met geld aan de praat worden gehouden, maar moet op termijn 'op eigen benen' staan. In die eerste uitrolfase kan ook worden gedacht aan verplichtingen voor een beperkt deel van de activiteit of normen voor nieuwe elementen die nog een klein deel van het totaal uitmaken (zoals nieuwe woningen). In die fase is het van groot belang ook beleidsimpulsen te geven aan de vormgeving van het systeem rond zo'n technologie: bepaalde institutionele en infrastructurele aanpassingen. Als zo'n nieuwe technologie verregaand is ontwikkeld en er ervaring mee is opgedaan in de praktijk, past voor het doorzetten van de implementatie van zo'n techniek meer generiek beleid, zoals internalisering van effecten in de prijzen (bijvoorbeeld een CO₂-prijs). Soms kan het daarbij blijven, vaak biedt normering uiteindelijk het gewenste *level playing field*. De uitdaging is vooral een soepele overgang van het ene instrument naar het andere te realiseren, zodat niet het beeld van inconsistent beleid ('zwabberbeleid') ontstaat. Al deze typen instrumenten komen in diverse vormen terug in de beleidsopties in dit rapport.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 gaan we kort in op de emissies zoals die recent zijn vastgesteld en de verdeling daarvan over verschillende bronnen. De huidige situatie geeft een goed beeld van de uitdaging. Daarnaast geldt dat de Nederlandse productie en consumptie ook effecten hebben op emissies in het buitenland. Maatregelen kunnen dus ook tot over de grenzen reiken. De belangrijkste aandachtspunten hierbij worden kort beschouwd. Beleid begint met duidelijkheid over na te streven doelen. In hoofdstuk 3 beschrijven we beleidsdoelstellingen die in het vernieuwingsproces kunnen worden gehanteerd, niet alleen voor 2050 in Nederland, ook voor tussenjaren, voor verschillende aspecten (niet alleen broeikasgasemissies) en op verschillende niveaus.

In hoofdstuk 4 geven we allereerst inzicht in de technische mogelijkheden om in 2050 het doel te realiseren. Dit hoofdstuk geeft informatie over de robuustheid en het potentiële belang van bepaalde technologische opties in het eindbeeld van 2050. Deze opties worden ook wel als systeemopties aangeduid, omdat er dikwijls ook nieuwe samenwerkingsverbanden nodig zijn, net als daarop toegespitste instituties en aanpassingen in de infrastructuur. Per sector worden vervolgens de belangrijkste systeemopties verder in kaart gebracht qua mogelijke vormgeving daarvan in de toekomst, de huidige stand van ontwikkelingen en de uitdagingen om het heden met de toekomst te verbinden. Dat laatste gebeurt door passende acties voor de korte termijn te benoemen, sterk gericht op ondersteuning in de eerste fase van toepassing. Daarbij worden opties voor ondersteunende beleidsinstrumenten benoemd, met de daarbijhorende overwegingen. Hoewel de systeemopties over sectoren heen gaan, is er voor de overzichtelijkheid een indeling gemaakt in zeven groepen: gebouwde omgeving, verkeer en transport, industrie, landbouw, elektriciteitsvoorziening, productie van brandstoffen, en transport en opslag van CO₂. Tot zover vallen het klimaat- en energiebeleid in grote mate samen. Vervolgens komt het voedselsysteem aan de orde, met daarbij het landgebruik dat eveneens gevolgen heeft voor de uitstoot van broeikasgassen.

Elk hoofdstuk en in de hoofdstukken 4 en 5 elke paragraaf eindigen met een overzicht van de beleidsopties, zodat de lezer deze snel kan vinden.

De transitie in Nederland zal plaatsvinden in de context van grote mondiale veranderingen, waarin ook andere (Europese) landen systemen vernieuwen. De onderlinge afhankelijkheid maakt dat samenwerking belangrijk is en ook kansen biedt.

We illustreren dit aan het eind van hoofdstuk 4 met enkele voorbeelden.

In hoofdstuk 5, tot slot, gaan we in op instrumenten waarmee een kansrijke marktsituatie voor voldoende verregaand ontwikkelde CO₂-arme technische opties kan worden gecreëerd. Een belangrijk instrument is het Europese emissiehandelssysteem (ETS), waarvan mogelijke aanpassingen worden toegelicht. Daarnaast heeft Nederland mogelijkheden om nationaal instrumenten in te zetten.

Broeikasgas-emissies

2.1 Emissies in Nederland

In Nederland is de emissie van broeikasgassen in 2013 ten opzichte van 1990 met ongeveer 10 procent afgenomen (zie tabel 2.1). Deze emissiereductie is het gevolg van een vermindering van de overige broeikasgassen (niet-CO₂). De CO₂-emissies zijn in deze periode met ongeveer 3 procent toegenomen.

Voor verkeer en transport is in het Energieakkoord (SER 2013) voor 2050 een emissie van 12 megaton CO₂ genoemd. Deze hoeveelheid is afgeleid van scenariostudies van de Europese Commissie (EC 2011), met daarin op EU-niveau in een scenario leidend tot een algehele reductie met 80 procent voor de sector verkeer en transport een mogelijke reductie tot 60 procent ten opzichte van 1990. Uit dezelfde scenario's komt naar voren dat de technische mogelijkheden voor een verdere vermindering bij de veehouderij en akkerbouw beperkt zijn. Omdat dit ook blijkt uit analyses van technische opties in Nederland, moet er rekening mee worden gehouden dat met technische maatregelen maximaal een halvering van de landbouwemissies kan worden bereikt, en dan vooral in de glastuinbouw. Dat maakt de opgave voor de energiegerelateerde CO₂-emissies bij de industrie, de energiebedrijven en in de gebouwde omgeving des te groter.

De emissies van lucht- en scheepvaart buiten de Nederlandse grenzen zijn in de huidige situatie geen onderdeel van de emissiedoelstellingen. Op basis van het Nederlandse aandeel in de mondiale economie is een schatting gemaakt van het aandeel in de mondiale emissies van lucht- en scheepvaart dat aan Nederland kan worden toegerekend. Deze schatting laat zien dat deze emissies in 2050 zonder emissiebeperkende maatregelen een relevant deel van de resterende emissieruimte kunnen innemen. Ook de netto uitstoot van natuurlijke systemen in Nederland, bodems en bossen (ook wel aangeduid met LULUCF), zijn geen onderdeel van de nu geldende emissiedoelstellingen. De belangrijke posten zijn het inklinken van veengronden (inclusief moerige gronden), waarbij circa 6 megaton CO₂ per jaar vrijkomt, en de opname van CO₂ in Nederlandse bossen van een kleine 2 megaton CO₂ per jaar, die overigens aan het afnemen is.

Tabel 2.1 Broeikasgasemissies in Nederland

	Emissies in megaton CO ₂ -equivalenten		
	1990	2013	2050
Verkeer en vervoer	31	36	Volgens Energieakkoord: 12
Gebouwde omgeving	28	31	
Industrie en energie CO ₂	94	92	
Landbouw	33	26	
Niet-CO ₂ -broeikasgassen (niet-landbouw)	34	11	
Totaal*	220	196	44 bij 80 procent reductie (11 bij 95 procent reductie)
Internationale lucht- en scheepvaart**	7	8	
Bodems en bossen (LULUCF ¹)		4	

Bron: ECN & PBL (2015)

* Nederlandse emissies die onder de emissiedoelstellingen vallen, dat wil zeggen exclusief lucht- en scheepvaart buiten de Nederlandse grenzen en exclusief LULUCF-emissies.

** Nederlands aandeel in de mondiale emissies naar rato van het gdp-aandeel van Nederland in de mondiale economie.

2.2 Emissie-effecten buiten de Nederlandse grenzen

Het uitgangspunt voor de analyse in dit rapport is een doel voor de broeikasgasemissies in Nederland. Dat dekt echter niet het hele verhaal omtrent het Nederlandse aandeel in het beperken van de klimaatverandering. De emissies in Nederland zijn het gevolg van productie en consumptie binnen de Nederlandse grenzen. Die productie in Nederland en consumptie door Nederlanders zijn onderdeel van internationale ketens van processen, die met elkaar verbonden zijn via import en export. Daarmee kunnen de effecten op broeikasgasemissies van keuzes in Nederland zich uitstrekken tot ver buiten de eigen grenzen. Dit effect is vergelijkbaar met de ecologische voetafdruk, maar dan in termen van broeikasgasemissies in plaats van in termen van landgebruik.

In dit rapport zijn de beschouwde beleidsopties in eerste instantie niet gericht op vermindering van emissies over de grenzen (met uitzondering van de consumptie van dierlijke producten, zie verder). We noemen hierna wel enkele belangrijke aspecten:

- *Bio-energie*. In de huidige situatie wordt er al flink wat biomassa en/of biobrandstof geïmporteerd, en dit kan nog aanzienlijk toenemen. De productie van biomassa kan in bepaalde situaties (soms zelfs zeer) hoge emissies tot gevolg hebben (PBL 2014). Die emissies zijn ook tijdsafhankelijk, want de groei van bomen en veranderingen in bodems zijn processen van vele jaren. Die potentieel grote effecten zijn de reden waarom duurzaamheidscriteria voor biomassa zo belangrijk zijn, want niet in alle gevallen zijn de emissies groot. De effecten in de productie van bio-energie vormen wel een belangrijke beperkende factor voor het potentieel op de lange termijn.

- *Fossiele brandstoffen*. De winning en verbouwing en het transport van fossiele brandstoffen brengt emissies met zich. Naarmate de hoogwaardige of lokale voorraden uitgeput raken, en laagwaardiger of verder weg gelegen voorraden worden aangesproken, nemen deze emissies door verschillende oorzaken toe. Een voorbeeld hiervan is de vervanging van Nederlands aardgas door gas uit het buitenland, zoals uit Rusland, door schaliegas of door elders geproduceerd lng. Ook het gebruiken van bijvoorbeeld teerzanden voor olie leidt tot hogere emissies. Als de omzetting van kolen in gas of olieproducten een belangrijke rol gaat spelen, dan zijn hier ook hoge emissies mee gemoeid.
- *Consumptie van dierlijke producten*. De emissies in de productieketen van dierlijke producten, vooral vlees- en zuivelproducten, kunnen bij verduurzaming van het energiesysteem een relatief steeds grotere rol gaan spelen. Een afname van de consumptie van dierlijke producten kan daarom een relevante bijdrage leveren aan de vermindering van mondiale broeikasgasemissies. Echter, het effect van een verandering in de consumptie van Nederlanders zal, en hoeft, zich niet helemaal in Nederland te manifesteren. Het betreft immers voor een groot deel mondiale markten. Indicatief betekent een halvering van de consumptie van dierlijke producten door Nederlanders en benutting van de vrijkomende grond voor energieteelt dat daarmee circa 10 procent van de Nederlandse energievraag kan worden gedekt, wat overeenkomt met een vermindering van de emissies met 10 tot 15 megaton CO₂ per jaar. Gezien het potentieel grote effect van de consumptie van dierlijke producten op het klimaat gaan we hier in paragraaf 4.8 verder op in.
- *Kapitaalgoederen*. De inzet van besparingsmaatregelen en hernieuwbare energie betekent een verschuiving in de energiekosten van grondstoffen naar installaties en apparatuur. Deze kapitaalgoederen worden veelal geïmporteerd. In de productieketen is energie nodig, en daar zijn weer emissies aan verbonden. In innovatietrajecten is het daarom ook de uitdaging om de verhouding tussen de energieopbrengst en de energievraag in de productie zo hoog mogelijk te krijgen. Voor zonnepanelen en windmolens bijvoorbeeld, hebben de technische ontwikkelingen ertoe geleid dat deze verhouding inmiddels gunstig is.
- *Bioplastics*. De meeste koolstof uit de als hernieuwbare grondstof ingezette biomassa komt in het product terecht, de bioplastics. Nederland exporteert een groot deel daarvan. De emissiebeperking bij de uiteindelijke afbraak of verbranding van die bioplastics telt niet mee als emissievermindering van de chemie of van Nederland. Daardoor is de huidige beleidsimpuls voor het overgaan op biograndstoffen klein.

Noot

- 1 LULUCF: Land Use, Land-Use Change and Forestry.

Beleids- doelstellingen

3.1 Het emissiedoel voor 2050

Bij transitieprocessen gaat het om zodanig ingrijpende veranderingen dat een helder doel, met een breed maatschappelijk draagvlak en krachtige politieke steun, cruciaal is. Dat zal bij actoren een groter vertrouwen in of een grotere zekerheid over een standvastig langetermijnbeleid teweegbrengen. Dat is nodig om op de route naar 2050 stimulansen te geven tot de voor de transitie noodzakelijke investeringen, maar ook om de ongetwijfeld opkomende weerstanden te overwinnen en barrières weg te nemen. Die bekrachtiging van een helder doel voor broeikasgasemissies in 2050 kan bijvoorbeeld door:

- wettelijke vastlegging in een klimaatwet, in lijn met het advies van de RLI (2015);
- vastlegging in een breed maatschappelijk akkoord met steun van een Kamermeerderheid.

Voor zover het woord ‘doel’ kan worden geassocieerd met streven naar iets beters, wat ook een zekere vrijblijvendheid in zich heeft, maken de genoemde opties voor vastlegging het tot een noodzakelijk te bereiken resultaat. Ook De Nederlandsche Bank heeft gewezen op de noodzaak van een visie voor de langere termijn, met heldere doelen en transitiepaden voor verschillende sectoren (DNB 2016). Volgens de DNB helpt een wettelijke verankering van het langetermijndoel bij het stellen van prioriteiten en het stroomlijnen van nationaal beleid. Daarbij geeft een consistent, geloofwaardig langetermijnbeleid bedrijven en huishoudens de gelegenheid hun investeringen geleidelijk aan te passen (hiervoor wordt het begrip ‘zachte landing’ gehanteerd), waardoor excessief waardeverlies kan worden vermeden.

Als basis voor zo’n helder, nationaal doel is het akkoord van Parijs een belangrijke stap: alle daarbij betrokken landen ondersteunen een ambitieus klimaatdoel, een mondiaal akkoord voor een mondiaal probleem. Daarin kan een EU-lijn worden gevolgd, met de inzet om die te versterken. Hoe meer landen/partijen het klimaatakkoord bevestigen met daarbij passende doelen voor de eigen bijdrage, des te kansrijker is het transitieproces (zie ook tekstkader 3.1).

3.1 Drijfveren voor een energietransitie in andere Noordwest-Europese landen

In omringende landen van Nederland is de energietransitie een belangrijk maatschappelijk en politiek onderwerp. Elk land geeft er op een eigen manier invulling aan.

Denemarken richt zich sinds de oliecrisis in de jaren zeventig van de vorige eeuw consequent op het verminderen van de import van fossiele brandstoffen. Later kwamen daar de zorg om klimaatverandering en de kansen voor de Deense cleantechbedrijven als belangrijke drijfveren bij. Lokale initiatieven en burgerparticipatie zijn al lang een belangrijke maatschappelijke kracht achter de transitie.

In *Duitsland* is de maatschappelijke weerstand tegen kernenergie groot, en wordt al 25 jaar een actief stimuleringsbeleid gevoerd voor hernieuwbare energie.

De *Energiewende* wordt gedreven door meerdere motieven: het afschakelen van kerncentrales, klimaatverandering, het verminderen van de import van fossiele brandstoffen, het creëren van kansen voor de industrie en regionale ontwikkeling, en energieopwekking door burgers. Burgerparticipatie en zeggenschap willen hebben over de eigen energieverzorging staan aan de basis van de *Energiewende*.

Het *Verenigd Koninkrijk* hecht al sinds het bewind van Margaret Thatcher grote waarde aan het terugdringen van broeikasgasemissies. Doelen hiervoor zijn bij wet verankerd. Het beleid stimuleert alle vormen van koolstofarme technologieën: hernieuwbare energie, kernenergie en koolstofopvang- en opslag. Met vijfjaarlijkse *carbon budgets* worden stapsgewijs de broeikasgasemissies verminderd op basis van technisch-wetenschappelijk advies door het Committee on Climate Change.¹

Frankrijk wil broeikasgasemissies terugdringen, het binnenlands potentieel aan hernieuwbare energie benutten, en kansen creëren voor zijn industrie, maar worstelt tegelijkertijd met zijn nucleaire toekomst. De energietransitie is in Frankrijk in de wet verankerd. In de uitvoering gaat veel aandacht uit naar het transport en de gebouwde omgeving.

De baten van het vermijden van een al te grote temperatuurstijging op aarde staan tegenover de kosten voor een CO₂-arm systeem. Niet alleen vergt de gewenste vernieuwing de nodige investeringen op de korte termijn, ook op de lange termijn kunnen de totale jaarlijkse kosten hoger liggen. Er is grote onzekerheid over die kosten; de bandbreedte is groot vanwege onzekerheden over de mate waarin technologie goedkoper wordt en onzekerheid over de hoogte van grondstofprijzen. De WLO geeft voor tweegradenscenario's een CO₂-prijs in 2050 in Nederland van 200 tot 1.000 euro per ton CO₂ (CPB & PBL 2015). Hierbij wordt verondersteld dat er wereldwijd op een kostenefficiënte manier klimaatbeleid wordt gevoerd, bijvoorbeeld via een wereldwijd emissiehandelssysteem. In een eerdere verkenning zijn de directe jaarlijkse kosten van een CO₂-arm systeem begroot op 0 tot 20 miljard euro (PBL 2011).

3.2 Tussendoel(en) voor 2030

Een krachtig ondersteund doel voor 2050 is een belangrijke factor, maar er kan niet van worden uitgegaan dat zo'n doel allesbepalend zal zijn voor beslissingen op de korte termijn. Daarvoor zijn doelen eerder in de tijd (tussendoelen) van belang, en deze werken vooral krachtig door als ze een verplichtend karakter hebben. Tussendoelen kunnen worden gericht op twee zaken:

1. Een vermindering van de broeikasgasemissies op de korte termijn, omdat het budget voor de emissies in de rest van de eeuw beperkt is (zie ook tekstkader 1.1).
2. Voortvarendheid in de transitie, omdat de ingrijpende vernieuwingsprocessen zoveel tijd vragen dat de periode tot 2050 al krap kan worden genoemd en de komende jaren dus goed moeten worden benut. Met tussendoelen kunnen acties (maatregelen) op korte en middellange termijn worden afgestemd op het doel voor de lange termijn, of worden bijgestuurd als ontwikkelingen afwijken van het pad richting het langetermijndoel.

3.2.1 Tussendoel voor 2030 voor broeikasgasemissies

In de Europese Unie is vastgelegd dat de broeikasgasemissies in 2030 met 40 procent moeten zijn gereduceerd ten opzichte van 1990. Uitgaande van mondiale kosteneffectieve emissiepaden gericht op een temperatuurstijging van minder dan 2°C, kunnen evenwel scherpere doelstellingen voor de Europese Unie worden overwogen (tot boven 50 procent), afhankelijk van de uitgangspunten voor lastenverdeling. Bij het uitgangspunt van gelijke lasten per eenheid bnp past een reductie van 45-47 procent op EU-niveau (Hof et al. 2012). Voor de streefwaarde van maximaal 1,5°C temperatuurstijging valt een nog sterkere reductie te overwegen.

Nederland kan ervoor kiezen om voor de emissies binnen Nederland een doel vast te leggen dat meer in lijn is met het akkoord van Parijs dan met de verplichtingen die uit het huidige EU-doel voor 2030 volgen (voor doelen in ons omringende landen zie tekstkader 3.2). Ook kan worden overwogen dit alleen te doen voor sectoren die niet onder het Europese emissiehandelssysteem (ETS) vallen, zoals landbouw, verkeer en vervoer, gebouwde omgeving, en kleinere bedrijven.

3.2.2 Eén of meer tussendoelen voor het transitieproces

Voor 2020 zijn er op EU-niveau verplichtende nationale doelen afgesproken, niet alleen voor broeikasgasemissies, maar ook voor energiebesparing en hernieuwbare energie. In het Nederlandse Energieakkoord (SER 2013) is ook voor 2023 een doel voor hernieuwbare energie vastgelegd, met daarbij zelfs specifieke bijdragen van bijvoorbeeld windenergie en meestook van biomassa in kolencentrales. Voor 2030 is op EU-niveau vooralsnog alleen een afspraak gemaakt over bindende nationale doelen voor broeikasgassen. Dit verplichtende karakter is er vooralsnog niet voor hernieuwbare energie of energiebesparing.

3.2 Broeikasgasemissiedoelen in omliggende landen op weg naar 2050

Duitsland, Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk hebben een nationaal broeikasgasreductiedoel voor 2050, met tussendoelen voor verschillende jaren. Zodoende is een emissiereductiepad vastgelegd waarop het beleid is georiënteerd. Deze doelen gelden voor alle sectoren van de economie; er wordt geen onderscheid gemaakt tussen ETS- en niet-ETS-sectoren. Dit geldt ook voor 2020, waarvoor het nationale doel in Duitsland en het Verenigd Koninkrijk in ambitie verder gaat dan de reductie van 20 procent die voor de Europese Unie als geheel is afgesproken.

Het Verenigd Koninkrijk heeft in de *Climate Change Act* een wettelijk bindend doel voor 2050 vastgelegd van minimaal 80 procent emissiereductie ten opzichte van 1990. Om dit langetermijndoel te realiseren, zijn sedert 2008 *carbon budgets* ingesteld voor opeenvolgende perioden van vijf jaar. De eerste vier perioden lopen tot 2028 en hebben emissiereductiedoelen van respectievelijk 23, 29, 35 en 50 procent. Het Parlement heeft deze doelen wettelijk vastgelegd. Eind november 2015 heeft het adviserend Committee on Climate Change een doel van 57 procent emissiereductie voorgesteld voor de vijfde budgetperiode, 2028-2032. Volgens het Committee past dit voorstel bij een kosteneffectief reductiepad naar 80 procent in 2050.

De Duitse regeringscoalitie heeft met steun van de oppositie overeenstemming bereikt over 80-95 procent broeikasgasemissiereductie in 2050 ten opzichte van 1990, en voor 2020, 2030 en 2040 over tussendoelen van respectievelijk 40, 55 en 70 procent. Hoe deze doelen moeten worden gerealiseerd, is onderwerp van een klimaatactieplan. De Duitse regering werkt aan het opstellen van zo'n plan voor de periode tot 2050. Voor 2020 is er reeds een klimaatactieplan, maar de maatregelen daarin lijken onvoldoende om het tussendoel in 2020 te realiseren. In Frankrijk is in de wet vastgelegd om de broeikasgasemissies in 2050 met 75 procent te beperken ten opzichte van 1990. Ook Frankrijk werkt met een systematiek van *carbon budgets* waarvan de eerste drie, voor de periode 2015-2028, zijn vastgelegd. Over het budget voor 2029-2033 wordt in 2019 een besluit genomen. Omdat Frankrijk vanwege het hoge aandeel kernenergie en relatief veel waterkracht al veel koolstofarme elektriciteit heeft (circa 30-60 gram CO₂ per kilowattuur), is veel inspanning gericht op sectoren buiten de elektriciteitsvoorziening. Frankrijk heeft in 2016 een koolstofarme strategie uitgebracht, met doelen en maatregelen voor de verschillende sectoren (transport, gebouwde omgeving, landbouw en bosbouw, energie, en industrie).

Tabel 3.1

Voordelen van een aanpak met één tussendoel en van een aanpak met meer specifieke tussendoelen (bijvoorbeeld voor 2030)

Eén verplichtend tussendoel (broeikasgasemissies) voor 2030	Meer specifieke verplichtende tussendoelen voor 2030
De kosten tot 2030 kunnen zo laag mogelijk worden gehouden.	De kans wordt groter dat de eerste toepassing van nieuwe (relatief nog dure) technieken voortvarend genoeg doorzet om ze op tijd beschikbaar te krijgen voor verdere emissiereducties tot 2050.
De markt krijgt optimale ruimte voor maatregelkeuzes. Daarmee wordt het risico vermeden dat de overheid te veel stuurt op de technologiekeuze en met verkeerde keuzes een efficiënte invulling voor de lange termijn in de weg staat.	Minder kans op een lock-in (door investeringen in optimalisatie van het bestaande systeem) die een extra barrière vormt voor vernieuwing.
	Innovatieve technologie kan met specifieke ondersteuning eerder tot ontwikkeling en 'rijping' komen; dat kan op de lange termijn (na 2030) bijdragen aan een efficiënte aanpak.

De voordelen van de ene benadering zijn (in de negatieve formulering) de nadelen van de andere benadering!

Uit het *Energierapport* (EZ 2016) blijkt dat het tweede kabinet-Rutte kiest voor sturing op CO₂. Het kabinet benoemt geen andere doelen, met het argument om flexibiliteit te behouden en zo min mogelijk voor te schrijven.

Uiteraard geldt dat het toevoegen van een extra doel op de korte termijn tot extra maatregelen en dus tot extra kosten leidt. Indien verstandig ingezet, kunnen deze extra maatregelen echter worden beschouwd als een investering in innovatie die in een latere fase kunnen worden terugverdiend. Anders geformuleerd: zonder extra investeringen op de korte termijn, wordt de kans kleiner om het doel voor 2050 te halen. In eerdere analyses heeft het PBL het belang van meerdere doelen voor de transitie aangegeven (Koelemeijer et al. 2013).

In tabel 3.1 zijn de voors en tegens van meerdere specifieke doelen tegenover één doel op hoofdlijnen samengevat (zie voor keuzes in andere landen tekstkader 3.3).

Gezien de termijn van nog 34 jaar die beschikbaar is voor de transitie en de tijdsduur die nodig is voor de ingrijpende vernieuwingen is het cruciaal dat er op zo kort mogelijke termijn al belangrijke vernieuwingen in praktijk komen. Wachten met maatregelen omdat ze in de huidige situatie nog relatief duur zijn, kan ertoe leiden dat er later onvoldoende tijd is om tot benutting van het potentieel in 2050 te komen. Een krachtige impuls voor vernieuwing is voor het halen van het langetermijndoel belangrijker dan een streven naar de laagste kosten voor emissiereductie op de korte termijn.

Voor de vormgeving van beleid (en beleidsdoelen voor de komende jaren) is daarbij de volgende vraag cruciaal: Wat wil Nederland over 5, 10 of 15 jaar hebben bereikt in de

3.3 Broeikasgasreductie versus meerdere doelen in omringende landen

De keuze voor een of meerdere doelen voor het energie- en klimaatbeleid is ook terug te vinden in de beleidsstrategieën van omringende landen. Het duidelijkst is dit bij een vergelijking van Duitsland met het Verenigd Koninkrijk.

Het Verenigd Koninkrijk kiest voor één enkel langetermijndoel, namelijk ten minste 80 procent broeikasgasreductie in 2050 ten opzichte van 1990.

De argumentatie voor deze keuze is a) dat broeikasgasemissiereductie hetgeen is waar het om gaat, b) dat bij meerdere doelen inconsistenties kunnen optreden en c) dat dit kan leiden tot hogere kosten en inefficiënties. Het nationale beleid kent dan ook voor de periode na 2020 slechts één doel, ondersteund met bijvoorbeeld maatregelen gericht op het beprijzen en normeren van CO₂. De Britse beleidsfilosofie is gebaseerd op technologieneutraliteit en het geven van vrijheid aan de markt om te bepalen welke technologie wordt ingezet. In de praktijk worstelt het Verenigd Koninkrijk met het geven van de juiste marktprikkels en het vormgeven van ondersteuningsregimes die uiteindelijk de commerciële toepassing van koolstofarme technologieën ondersteunen.

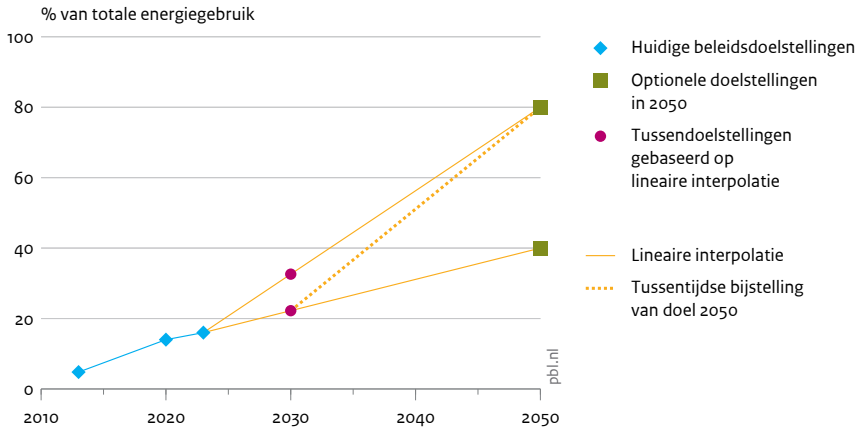
Duitsland kent voor de periode tot 2050 een stelsel van doelen voor energiebesparing en -efficiëntie, hernieuwbare energie en broeikasgasemissies. Daarbinnen maakt Duitsland duidelijke technologische keuzes. Het meest evident is de planmatige uitfasering van kernenergie – de maatschappelijke risico's en onzekerheden ervan worden te groot bevonden – en de keuze voor vooral wind- en zonne-energie als fundament voor de toekomstige energievoorziening. Dit laatste in combinatie met het terugdringen van de energievraag. Het Duitse beleid kent veel pull-maatregelen gericht op het tot ontwikkeling brengen van technologieën. Zo hebben de Duitse teruglevertarieven (*feed-in*) voor hernieuwbare energie een grote rol gespeeld in het tot stand komen van een markt voor hernieuwbare energie, het aantrekken van investeringen en het op grond van schaalvoordelen reduceren van kosten. Het Duitse beleid gaat ervan uit dat doelen voor broeikasgasemissie, hernieuwbare energie en energie-efficiëntie, weliswaar niet perfect, elkaar onderling ondersteunen. Critici stellen dat de Duitse energietransitie niet kostenefficiënt is, zich vooral toelegt op de elektriciteitsvoorziening, en nog niet heeft bijgedragen aan een reductie van broeikasgassen in overeenstemming met de eigen doelstellingen.

voortgang van de vernieuwingsprocessen, zodat er voldoende vertrouwen kan zijn dat het doel van 2050 ook haalbaar blijft? We gaan in hoofdstuk 4 uitgebreid in op de vernieuwingsprocessen in de verschillende sectoren en in het systeem als geheel.

3.2.3 Tussendoel voor hernieuwbare energie

In het huidige beleid spelen, zowel op EU-niveau als in Nederland, verplichtende doelen voor hernieuwbare energie in 2020 een belangrijke rol. Het is juist deze doelstelling

Figuur 3.1
Aandeel hernieuwbare energie bij verschillende doelen in 2050



Bron: PBL

(en niet het doel voor broeikasgasemissies in 2020) die de stimulans heeft gegeven tot vernieuwingen die anno 2016 in de praktijk zichtbaar worden; dit mede onder invloed van ondersteunende instrumenten als de subsidieregeling Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE+) en de salderingsregeling voor zonnepanelen. Een te overwegen beleidsoptie is dan ook in Nederland door te gaan met een ‘opklimmend’ doel voor hernieuwbare energie en ondersteunende instrumenten daarbij.

Het aandeel hernieuwbare energie dat in 2050 nodig is voor het bereiken van een emissiereductie van 80 procent of meer hangt sterk samen met de inzet van vooral CO₂-afvang en -opslag (of *carbon capture and storage*, CCS) en, in mindere mate, energiebesparing en kernenergie. Het aandeel varieert daarmee ruwweg tussen 30 en 85 procent (zie ook paragraaf 4.1 en figuur 4.1 in die paragraaf). In de Nederlandse situatie is wind op zee een belangrijke potentiële bron, maar ook zon, aardwarmte en wind op land kunnen een flinke bijdrage leveren. Daarnaast kan duurzame biomassa een belangrijke bron zijn, maar de mate waarin is voor de lange termijn nog erg onzeker. Voor een emissiereductie van 95 procent en met uitsluiting van kernenergie is 70-90 procent hernieuwbare energie nodig, met daarbij in alle gevallen ook een ruime inzet van CCS en verregaande energiebesparing (Ros & Schure 2016).

Volgens het *Energie rapport* (EZ 2016) leidt het EU-doel van 40 procent emissiereductie voor broeikasgassen in 2030 naar een aandeel hernieuwbare energie tussen de 19 en 24 procent. Lineaire extrapolatie van die ontwikkeling komt uit op circa 40 procent in 2050 in Nederland.

In figuur 3.1 zijn mogelijke ontwikkelingen geschetst van een aandeel hernieuwbare energie van 16 procent in 2023 (het doel in het Energieakkoord) volgens een lineaire

toename naar 40 en 80 procent in 2050. Dat laatste komt in 2030 uit op een aandeel van bijna 33 procent.

Dergelijke ontwikkelingen hoeven uiteraard niet langs een rechte lijn te lopen. Een overweging kan ook zijn om de kosten enigszins gelijkmatig over de tijd te spreiden. Daarbij spelen twee factoren een rol:

- meestal worden de goedkoopste opties het eerst genomen; dan kan er op de korte termijn wellicht iets meer;
- opties worden in de tijd goedkoper, zeker de meer innovatieve – mits erin wordt geïnvesteerd; dan is een geleidelijke groei met optimale benutting van de in voorgaande projecten opgedane ervaringen efficiënt.

Het is vooraf niet goed aan te geven, hoe een kostenoptimaal pad er dan uit zou zien. Om die reden is een andere invulling dan een lineaire benadering niet bij voorbaat een betere.

Om de opgave in perspectief te plaatsen, kunnen de huidige ontwikkelingen erbij worden genomen. De huidige opgave om van een aandeel hernieuwbare energie van bijna 5 procent in 2013 naar 14 procent in 2020 te komen, vergt een gemiddelde jaarlijkse toename met 1,3 procentpunt. Voor een aandeel van 40 procent in 2050 is vanaf 2023 een gemiddelde jaarlijkse toename van 0,9 procentpunt vereist, voor 80 procent in 2050 2,4 procentpunt. Als tot 2030 het huidige EU-beleid wordt gevolgd en in 2050 alsnog 80 procent is gewenst, dan moet de gemiddelde jaarlijkse toename vanaf 2030 2,9 procentpunt zijn. Hoe langer daarom wordt gewacht met specifieke beleidsimpulsen voor hernieuwbare energie, des te minder kansrijk worden toekomstbeelden waarin hernieuwbare energie de hoofdrol speelt.

3.3 Subdoelen voor specifieke actoren

In feite is het huidige emissiedoel voor 2020 voor Nederland al een subdoel, omdat het een afgeleide is van een EU-doel. Het kan nog veel verder gaan dan doelen voor landen: doelen voor gemeenten, productiesectoren, bedrijven, producten, huishoudens, enzovoort. Dat kunnen subdoelen zijn voor broeikasgasemissies, maar ook voor andere aspecten. In tabel 3.2 zijn de voor- en nadelen van subdoelen tegenover elkaar gezet.

In het huidige klimaatbeleid wordt gewerkt met subdoelen voor broeikasgasemissies in niet-ETS-sectoren. Om aan de aan Nederland opgelegde verplichting voor niet-ETS-emissies te voldoen, mogen die niet-ETS-emissies samen niet hoger zijn, uiteraard wel lager. De indeling van de niet-ETS-sectoren is nu vooral gericht op de verantwoordelijke ministers, die hieraan invulling kunnen geven met het inzetten van passende beleidsinstrumenten. Er kan worden overwogen ook doelen te formuleren die nadrukkelijker zijn gericht op de actoren die de maatregelen moeten nemen (bijvoorbeeld transportbedrijven naast verkeer en vervoer algemeen, of eigenaren

Tabel 3.2

Voor- en nadelen van subdoelen

Voordelen van subdoelen	Nadelen van subdoelen
Subdoelen brengen een doel dichterbij de actoren die voor de realisatie ervan actie moeten ondernemen. Daardoor is de stimulans die er van het doel uitgaat groter en daarmee ook de kans dat er daadwerkelijk actie wordt genomen. Die actoren kunnen ook bestuurders en beleidsmakers op verschillende schaalniveaus zijn.	De aanpak leidt tot minder flexibiliteit in de keuze van maatregelen en daarmee mogelijk tot een minder kostenefficiënte uitwerking.

van utiliteitsgebouwen naast gebouwde omgeving algemeen). Een eerdere analyse (Ros & Daniels 2015) kwam uit op een algemeen emissiereductiedoel voor niet-ETS-sectoren in 2030 dat is gericht op het doel voor de lange termijn van 41-49 procent ten opzichte van 2005 (het op EU-niveau gehanteerde referentiejaar).

Het ETS is in feite een slimme combinatie van één verplichtend doel (emissieplafond) gericht op de laagste kosten, met daarbij verhandelbare emissierechten (en -plichten) gericht op individuele bedrijven; zie paragraaf 5.1 voor een verdere bespreking van het ETS. Dit principe van een overkoepelende verplichting met verhandelbare rechten kan in meer situaties worden toegepast.

3.3.1 Centraal of decentraal?

Het onderscheid tussen ETS en niet-ETS gaat ook over een beperkt aantal grote puntbronnen tegenover een groot aantal kleine diffuus verspreide bronnen. Dit roept ook de vraag op of een CO₂-arm energiesysteem sterk decentraal georiënteerd moet zijn. Het tegenover elkaar plaatsen van toekomstbeelden voor een centraal georiënteerde energievoorziening tegenover een decentrale energievoorziening is echter tot op zekere hoogte een schijntegenstelling. Het gaat eerder om accentverschillen (zie ook bijlage 2 over de WLO-scenario's), waarbij het zelfs de vraag is of er uiteindelijk veel keuze zal zijn.

Een decentrale aanpak past bij de benutting van hernieuwbare energie die diffuus in de omgeving aanwezig is (wind, zon, warmte in bodem, grondwater en buitenlucht). In veel gevallen blijkt echter dat voor een optimale benutting van deze energie een slim samenspel met grootschalige systemen gewenst is. Technische opties buitenspel zetten omdat ze centraal zijn, bevordert niet om alle mogelijkheden voor een kostenefficiënt systeem op de lange termijn te benutten. Dat betekent in institutioneel opzicht samenwerking van partijen die kleinschalig opereren, in ieder geval met partijen die grootschalige systemen beheren en andersom.

Publieke ondersteuning voor decentrale oplossingen kan wel betekenen dat er bereidheid is te kiezen voor (iets) kleinschaliger systemen, ook al zouden die (iets) duurder kunnen uitpakken.

3.4 Beleidsopties met betrekking tot doelen

Hierna zijn de belangrijkste beleidsopties met betrekking tot beleidsdoelen bijeengebracht, met een indicatie van de kosten en met de overwegingen daarbij.

Beleidsoptie	Wettelijke vastlegging van het doel voor broeikasgasemissies in 2050 in Nederland
Indicatie kosten	Er zijn veel onzekerheden over kosten op de lange termijn van nog in ontwikkeling zijnde technologieën en over prijzen van grondstoffen in verschillende scenario's. Schattingen van de meerkosten in Nederland in 2050 voor een emissiereductie van 80 procent op basis van modelanalyses, ten opzichte van een referentiebeeld, variëren van 0 tot 20 miljard euro (PBL 2011). Daartegenover staan uiteraard baten van minder klimaatverandering op mondiaal niveau.
Overwegingen	Om in lijn met het akkoord van Parijs te zijn, kan zo'n doel in de orde van 80-95 procent liggen. Een alternatief hiervoor is vastlegging in een breed maatschappelijk akkoord, met politieke bekrachtiging en een waarborgstructuur. Zo'n wettelijke vastlegging of akkoord biedt grotere zekerheid over de beleidslijn voor een langere periode en leidt ertoe dat beslissingen van actoren op de korte termijn sterker worden beïnvloed door het perspectief op de lange termijn. Het geeft ook een internationaal signaal dat het akkoord van Parijs serieus wordt genomen.
Beleidsoptie	Inzet op 45 procent emissiereductie op EU-niveau in 2030
Indicatie kosten	Extra kosten voor Nederland zijn niet doorgerekend. Past in een mondiaal emissiepad gericht op een temperatuurstijging van minder dan 2°C bij gelijke lasten per eenheid bnp (Hof et al. 2012).
Overwegingen	Dit geeft een krachtiger signaal vanuit de Europese Unie voor het internationale proces om tot voldoende ambitieuze emissiereductieplannen in alle landen te komen om het doel van het klimaatakkoord in Parijs te kunnen halen.

Beleids optie	Doel voor 30-33 procent hernieuwbare energie in Nederland in 2030
Indicatie kosten	Dit extra doel naast het doel voor broeikasgasemissies in 2030 kan leiden tot extra investeringen in innovatieve (en dan nog relatief dure) opties; qua ordegrrootte kan het gaan om jaarlijks 200-300 miljoen euro meerkosten per extra procentpunt hernieuwbare energie in 2030 – indicatieve raming op basis van ECN en PBL (2016). Deze bedragen zijn echter sterk afhankelijk van de referentie. Bij een hogere elektriciteitsprijs (bijvoorbeeld onder invloed van de CO ₂ -prijs) kunnen de meerkosten rond 2030 aanmerkelijk lager zijn. Het is echter waarschijnlijk dat dit tot een efficiënt pad leidt voor de inrichting van een systeem met een groot aandeel hernieuwbare energie in 2050.
Overwegingen	Bij een lineaire ontwikkeling in de tijd tussen 2023 en 2050 leidt 30 procent in 2030 naar 70 procent in 2050 en 33 procent in 2030 naar 80 procent in 2050. Een toekomstbeeld met een grote rol voor hernieuwbare energie en een kleine rol of geen rol voor CCS en/of kernenergie vraagt een geleidelijk doorzettende, versterkte toename van hernieuwbare energie, ook in het volgende decennium. Indien in sterke mate wordt ingezet op CCS en mogelijk kernenergie, dan is zo'n versnelde toename minder noodzakelijk.

Beleids optie	Doel voor emissiereductie in niet-ETS-sectoren in Nederland in 2030 ten opzichte van 2005 stellen op 41-49 procent
Indicatie kosten	Het leidt tot meer investeringen voor de eerste fase van toepassing van innovaties, waarbij de meerkosten sterk afhankelijk zijn van de ontwikkeling van nieuwe technologie. Rekening houdend met gemiddelde kosten tussen 100-200 euro per ton CO ₂ , kost een extra procentpunt reductie jaarlijks 120-250 miljoen euro – indicatieve raming op basis van ECN en PBL (2016).
Overwegingen	De Europese verplichting voor Nederland is nog niet vastgesteld (verwacht wordt een reductieverplichting rond de 38 procent); naar verwachting leidt dit niet tot krachtige impulsen voor een transitie in die sectoren (Ros & Daniels 2015). Voor verkeer en vervoer is in het Energieakkoord (SER 2013) al een ambitie vastgelegd die past bij een transitiepad; voor de andere sectoren niet. Het nadeel van te veel focus op emissiereductie op de korte termijn kan zijn dat er vooral wordt bijgestuurd en geoptimaliseerd in het bestaande systeem, in plaats van dat er wordt geïnvesteerd in vernieuwing (zie daarvoor hoofdstuk 4).

Noot

- 1 Het Verenigd Koninkrijk was het eerste land ter wereld met een klimaatwet. In bijlage 3 wordt op basis van gesprekken met leden van het Committee on Climate Change een beeld gegeven van de ervaringen die daarmee zijn opgedaan.

De weg naar verregaande emissiereductie

4.1 Methodiek van backcasting: opties voor 80 procent emissievermindering

Het rapport *Naar een schone economie in 2050* (PBL 2011) liet al zien dat er theoretisch honderden varianten bestaan om in Nederland een emissievermindering van 80 procent te realiseren. Deze varianten verschillen vooral van elkaar in de mate waarin gebruik wordt gemaakt van bepaalde technische systeemopties, niet zozeer in wélke systeemopties worden toegepast. Het aantal beschikbare technieken met voldoende potentieel voor grootschalige toepassing is namelijk niet groot. Het is dan ook risicovol om opties al te gemakkelijk als ‘niet realiseerbaar’ of ‘voorlopig te duur’ aan de kant te schuiven. Het verwaarlozen van ontwikkelingen voor een langere periode kan betekenen dat de optie niet meer op tijd beschikbaar zal zijn voor een grote bijdrage in 2050. We bespreken hier eerst de belangrijkste conclusies van de eerder uitgevoerde analyses van de mogelijke toekomstbeelden met een emissievermindering van 80 procent.

Energiebesparing vormt belangrijke basis voor een CO₂-arm systeem , met een potentieel voor extra reductie van 25 tot 35 procent (boven op business-as-usual)

Bij energiebesparing kan het gaan om structurele veranderingen in de economie (minder energie-intensieve processen en activiteiten), technische verbeteringen en/of gedragsaanpassingen. In de meeste scenarioanalyses en toekomstbeelden is rekening gehouden met autonome ontwikkelingen, mede gebaseerd op vaststaand beleid, waarin wordt uitgegaan van efficiëntieverbeteringen in de tijd. Nieuwe apparaten, gebouwen, voertuigen en processen worden in de loop van de tijd efficiënter in hun energievraag en deze ontwikkeling zal verder doorzetten. Het potentieel aan extra technische besparingsopties daarbovenop is beperkt en die extra maatregelen hebben in sommige gevallen een aanzienlijk prijskaartje.

Zonder inzet van CCS en kernenergie is er 80 tot 85 procent hernieuwbare energie nodig. Met een maximale inzet van CCS is er 35 tot 40 procent hernieuwbare energie nodig

De gegeven bandbreedtes in figuur 4.1 hangen samen met de mate van extra energiebesparing. Dat deze bandbreedtes beperkt zijn, laat zien dat die extra besparing slechts weinig invloed heeft op de noodzaak voor hernieuwbare energie.

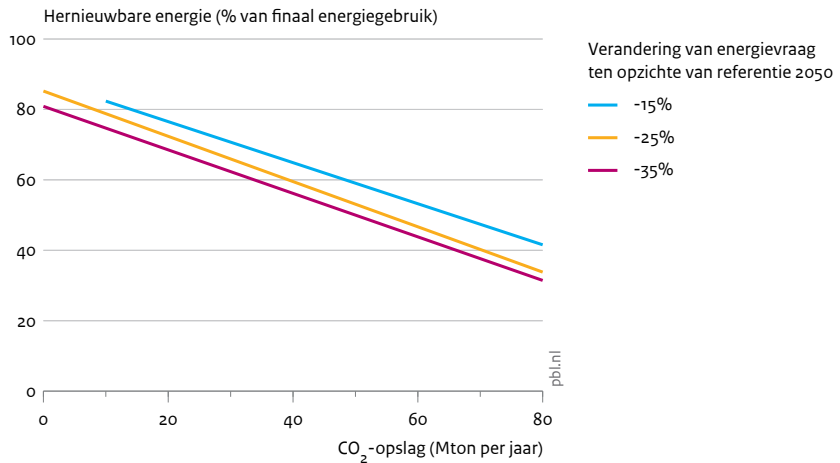
De belangrijkste hernieuwbare energiebronnen zijn:

- bio-energie; directe inzet voor warmte en elektriciteit via verbranding, maar – misschien nog belangrijker – voor de productie van groen gas, biobrandstoffen en bioplastics;
- warmte uit de omgeving; heet water uit de diepe ondergrond (geothermie), warmte uit de bodem, het grondwater of de lucht (te winnen met warmtepompen);
- zoninstraling; te winnen met zonnepanelen (elektriciteit) of zonnecollectoren (warmte);
- stromingsbronnen als wind (windmolens) en diverse waterstromen.

Figuur 4.1

Relatie tussen inzet van hernieuwbare energie, CO₂-opslag en emissiebesparing, 2050

Bij 80% emissiereductie ten opzichte van 1990



Bron: PBL model E-Design

Bij grootschalige inzet kan de inzet van kernenergie de noodzakelijke bijdrage van hernieuwbare energie met 10-15 procent terugbrengen.

Er zijn dus varianten met een maximale inzet van hernieuwbare energie en energiebesparing denkbaar zonder CCS. Juist het feit dat de andere technische opties daartoe alle verregaand moeten worden ingezet en er daarbij rekening moet worden gehouden met tegenvallers, maakt dat de inzet van CCS eigenlijk als onmisbaar moet worden beschouwd.

Maximale inzet van CCS kan opslag van 80 tot 90 megaton CO₂ per jaar betekenen. Dit is waarschijnlijk alleen realiseerbaar met export van CO₂, omdat de capaciteit voor opslag over een langere periode in het Nederlandse deel van de Noordzee beperkt is (20 tot 25

megaton per jaar over 50 jaar) en opslag onder land vooralsnog geen draagvlak heeft en daarom erg onzeker is.

Voor een emissiereductie van 95 procent is 70-90 procent hernieuwbare energie nodig, met daarbij veel energiebesparing en 25-60 megaton CO₂-opslag (minder dan voor 80 procent reductie omdat er minder fossiel in het systeem past). Zonder CCS zijn geen varianten gevonden die nog als praktisch haalbaar zijn ingeschat, wel zonder kernenergie, al zou de inzet van kernenergie het benodigde aandeel hernieuwbare energie enigszins omlaag kunnen brengen.

Bio-energie is een robuust element van een CO₂-arm systeem en de combinatie met CCS is zeer belangrijk

Zonder bio-energie is het vrijwel onmogelijk om het doel te halen. Nederland heeft zelf een beperkt potentieel aan biomassa die beschikbaar kan komen als energiebron. Import van duurzaam geproduceerde biomassa is daarom een belangrijke optie, maar ook een onzekere. Het verdient de voorkeur de waarschijnlijk beperkt beschikbare biomassa in 2050 in te zetten voor toepassingen zonder CO₂-arme alternatieven, zoals de productie van brandstoffen voor luchtvaart, scheepvaart en waarschijnlijk vrachtverkeer, de productie van groen gas voor warmte van een deel van de bestaande bebouwing en de bedrijven en voor de productie van kunststoffen.

De combinatie van biomassa met CCS kan leiden tot negatieve emissies. Die kunnen dienen ter compensatie van moeilijker te saneren bronnen (bijvoorbeeld de landbouw). Voor een vermindering met 95 procent is deze combinatie zelfs onmisbaar.

CO₂-vrije elektriciteitsproductie vormt belangrijke pijler

Nederland heeft een aanzienlijk potentieel voor de opwekking van CO₂-vrije elektriciteit – veel groter dan het huidige verbruik. Hernieuwbare opties hiervoor zijn wind op zee, zonnestroom, wind op land, mogelijk geothermie en enkele kleinere bronnen. Daarnaast kan kernenergie een optie zijn voor een nog groter aanbod. Dat potentieel grote aanbod van CO₂-vrije elektriciteit biedt kansen voor benutting in nieuwe toepassingen door elektrificatie in transport (elektrische voertuigen), in de warmtevoorziening (elektrische warmtepompen) en bij industriële processen. Ook bestaat er de mogelijkheid om deze elektriciteit om te zetten in waterstof en vervolgens (met hergebruik van CO₂) in groen gas (*power-to-gas*) of vloeibare brandstoffen voor transport (*power-to-liquids*).

Er kan ook specifieker worden gekeken naar de potentiële rol van bepaalde technieken of beter gezegd systeemopties in een CO₂-arm systeem (PBL 2011, 2016; Ros & Daniels 2015). De belangrijkste systeemopties zijn:

- energiebesparing (verdergaand dan wat er in *business-as-usual*-scenario's wordt verondersteld);
- nulemissiewegverkeer;
- elektrische warmtepompen in woningen, gebouwen en bij bedrijven met benutting van omgevings- en restwarmte;

- bio-CCS voor groen gas en biobrandstoffen (bijdragend aan negatieve emissies);
- eindenergie (op zee en op land);
- zonnepalen;
- CCS bij industrie en raffinaderijen;
- CCS bij elektriciteitscentrales;
- kernenergie;
- omzetting van elektriciteit in brandstoffen: *power-to-gas/fuel*
- warmtenetten met onder andere geothermie

Bij een doelstelling van ten minste 80 procent is geen van de opties absoluut onmisbaar, maar het overgrote deel zal nodig zijn. Voor alle opties geldt bovendien dat er nog onzekerheden van verschillende aard zijn met betrekking tot hun toekomstperspectief. Mede gezien die onzekerheden is er weinig ruimte om opties snel aan de kant te schuiven. Daarbij is de kans klein dat niet in de lijst opgenomen (nieuwe) opties in 2050 al een grote rol kunnen spelen. Dit hangt mede samen met het feit dat kapitaalgoederen in het energiesysteem een levensduur van 25-50 jaar hebben (Kramer & Haigh 2009).

Dat laatste betekent overigens niet dat R&D irrelevant zou zijn. Zowel voor verdere verbetering van de in de lijst genoemde opties als voor de inpassing daarvan in het systeem is verder onderzoek van groot belang. Daarnaast is er institutionele vernieuwing nodig, die ook complex kan zijn en waar institutionele R&D belangrijke inzichten kan bieden.

Bij de meeste opties zijn er nog diverse onzekerheden die verder onderzoek weg kunnen nemen. Die kunnen te maken hebben met mogelijke neveneffecten (bijvoorbeeld van kernenergie of CO₂-opslag), onzekerheid over de omvang van duurzaam exploitabele energiebronnen (biomassa, geothermie) of de al dan niet succesvolle ontwikkeling om de kosten omlaag en de efficiëntie omhoog te brengen.

Sommige systeemopties bevinden zich in de eerste fase van toepassing, andere zijn nog in de fase van demonstratieprojecten op beperkte schaal. Voor alle opties geldt dat er nog een lange weg te gaan is voordat het potentieel ervan ook daadwerkelijk wordt gerealiseerd. Ingrijpende vernieuwingen in het maatschappelijke systeem houden zich niet aan bestaande indelingen en verantwoordelijkheden.

Toch is ervoor gekozen in het vervolg van dit hoofdstuk de systeemopties enigszins te groeperen naar maatschappelijke 'sectoren', te weten:

- gebouwde omgeving (huishoudens, dienstverlening) en dan vooral de warmtevoorziening (lage temperatuur);
- verkeer en transport;
- industrie (met warmtevoorziening vooral op hoge temperatuur);
- elektriciteitsvoorziening;
- productie van brandstoffen (gassen, vloeibare en vaste brandstoffen);
- transport en opslag van CO₂;
- landbouw en voedsel.

Hoe ziet die weg voor deze sectoren er dan uit, en dan vooral in de komende vijf tot tien jaar? Die periode is relevant, want het effect van concrete beleidsinstrumenten die in de komende regeerperiode worden ingezet, zal zich daarop moeten richten. Bij de uitwerking wordt wederom de methode van de backcasting gebruikt, in drie stappen:

- d) Hoe kan de systeemoptie er na realisatie in 2050 uitzien?
- e) Wat zijn belangrijke acties die op de korte termijn kunnen/moeten worden genomen om de ontwikkeling verder te brengen in de richting van het toekomstbeeld?
- f) Welke beleidsinstrumenten kunnen effectieve prikkels geven tot deze belangrijke acties?

Hoewel de transitie gericht op het einddoel in deze analyses centraal staat, geven we bij elk van deze sectoren ook een overzicht van de belangrijkste maatregelen die aanvullend op korte termijn tot emissievermindering kunnen leiden. Aan het einde van het hoofdstuk staan we nog eens apart stil bij de internationale samenwerking.

4.2 Warmtevoorziening in de gebouwde omgeving

4.2.1 Hoe kan het toekomstbeeld voor 2050 eruitzien?

Inleiding

De warmtevoorziening in de gebouwde omgeving is grotendeels gebaseerd op aardgas. Dit wordt wel beschouwd als het weinig efficiënt benutten van een hoogwaardige energiedrager. Het gaat immers vooral om relatief lage temperaturen en met gas kunnen ook veel hogere temperaturen worden opgewekt. De Raad voor de leefomgeving en infrastructuur heeft de toepassing voor lage-temperatuurwarmte als één van de vier energiefuncties aangeduid (Rli 2015). Daarbij gaat het om de warmtevoorziening voor woningen, voor utiliteitsgebouwen, kleine bedrijven in de gebouwde omgeving en de glastuinbouw. Een geïntegreerde oplossing voor deze afnemers van warmte kan tot efficiëntere oplossingen met veel minder gasgebruik leiden.

Volgens het Energieakkoord uit 2013 streven alle partijen naar een energieneutrale gebouwde omgeving in 2050 (SER 2013). Het concept van de nul-op-de-meter woning past daar bijvoorbeeld bij. Energieneutraal leidt wel tot flinke emissievermindering, maar onzeker is in welke mate precies en energieneutraal is geen garantie voor een emissie van nagenoeg nul. Er kan bijvoorbeeld worden gekozen voor meer zonnepanelen met netto levering op het net in plaats van heel zware isolatie. Daardoor blijft in een energieneutraal concept verwarming op aardgas met bijbehorende uitstoot mogelijk. Op termijn moet dat ook worden verduurzaamd.

Het grootste deel van de woningen en gebouwen die er in 2050 zullen zijn, staat er nu al. Dat betekent dat de verandering van de warmtevoorziening vooral ook in bestaande woningen en gebouwen moet plaatsvinden. Dat is een zeer grote opgave: per jaar

moeten dan 200.000 woningen worden aangepakt en ruim 10.000 objecten van enige omvang in de utiliteitsbouw.

Varianten voor de technische uitvoering

De belangrijkste technische opties die een rol kunnen spelen bij het verwezenlijken van een warmtevoorziening in de gebouwde omgeving met minimale CO₂-emissies zijn:

- Het verminderen van de warmtevraag door isolatie. Soms moeten woningen aan de buitenzijde volledig worden ingepakt en ontstaat dus een ander uiterlijk en groter volume.
- Het toepassen van andere verwarmingstechnieken en/of energiedragers:
 - o Elektrische warmtepompen:
 - 100 procent invulling van de warmtevraag van een woning met elektrische warmtepompen is voorbehouden aan nieuwbouw en ingrijpend gerenoveerde woningen, aangezien goede isolatie en lage-temperatuurverwarming zoals vloerverwarming nodig zijn. Tevens zijn er opslagvaten van enkele honderden liters per huishouden nodig om warm tapwater op te slaan.
 - Een alternatief voor ingrijpende renovatie is om de piekvraag (op koude dagen) op te vangen met gasgestookte CV-ketels. Dan gaat het om zogenoemde hybride systemen, met nog steeds aanzienlijk gasgebruik (circa de helft van 100 procent CV). In de utiliteitsbouw hebben alle toepassingen in de huidige praktijk een gasketel als back-up.
 - Toepassing van warmtepompen in de utiliteitsbouw kan voor de opwekking van warmte en koude (voor koeling) met warmte-koudeopslag (WKO).
 - o Warmtenetten, gevoed met CO₂-arme warmte, zoals aardwarmte (geothermie) of benutting van bodemwarmte met grotere warmtepompen, warmte uit biowarmtekrachtkoppeling of fossiele centrale met CCS; restwarmte van bedrijven kan een minder zekere bron van warmte zijn door afhankelijkheid van bedrijfsontwikkelingen; warmtenetten zijn vooral te overwegen in gebieden waar dichte bebouwing en warmtebronnen in elkaars relatieve nabijheid zijn.
 - o Groen gas uit biomassa of uit *power-to-gas*; het toekomstige aanbod is echter onzeker (zie paragraaf 4.6).

Daarnaast is een belangrijke optie in de gebouwde omgeving het opwekken van hernieuwbare elektriciteit met zonnepanelen. Deze optie vermindert niet direct de emissies bij de verwarming van de woningen en gebouwen, maar draagt wel bij aan een emissievrije elektriciteitsproductie in Nederland (zie ook paragraaf 4.5) en vormt in de praktijk een belangrijk element van energieneutrale woningen en gebouwen. In de glastuinbouw is het toekomstbeeld de klimaatneutrale kas. Ook daarvoor zijn bovenstaande technische opties in beeld, naast specifieke maatregelen voor energiebesparing. Daarbij geldt dat de glastuinbouw naast warmte en licht ook CO₂ nodig heeft.

Betrokken actoren

De transitie in de gebouwde omgeving vraagt betrokkenheid van vele actoren en brengt uitdagingen met zich voor de organisatie die nodig is. Diverse van die actoren kunnen een andere rol krijgen:

- *Energieleveranciers* gaan mogelijk grote investeringen doen in de aanleg van warmtenetten en in elektrificatie bij hun klanten. Zij zijn mogelijk beter samen met de klanten in staat technische opties af te wegen. Zij kunnen daarmee meer in de rol komen van aanbieders van de dienst warmtevoorziening (warmtebedrijven), niet alleen bij warmtenetten, maar ook bij elektrificatie.
- *Netbeheerders* hebben als wettelijke taak om elektriciteitsnetten en gasnetten aan te leggen en te onderhouden en alle gebouwen hierop aan te sluiten. De Autoriteit Consument & Markt (ACM) kan beheerders van gasnetten ontheffen van deze verplichting in gebieden waar een warmtenet is of waar plannen bestaan er een aan te leggen. Het ligt in de rede dat een dergelijke ontheffing ook geldt voor gebieden waarin is gekozen voor *all electric*, en waar een verzaamd elektriciteitsnet wordt aangelegd.
- Voor *eigenaren-bewoners van bestaande woningen* telt vooral dat comfort tegen aanvaardbare kosten gegarandeerd is. Er moet voldoende vertrouwen zijn in de technologie. Daar is nog wel een wereld te winnen. Nieuwe systemen kunnen kinderziektes hebben of mogelijk andere nadelen hebben voor de bewoners. Veranderingen ondervinden weerstand en kosten tijd.
- *Gemeenten* hebben grote invloed op de aanleg van energie-infrastructuur en kunnen een regierol nemen bij de uitrol van alternatieve warmtevoorzieningsinfrastructuur in hun gemeente. Gemeenten kunnen een belangrijke rol vervullen in het creëren van draagvlak onder de bevolking.
- *Woningcorporaties* kunnen een belangrijke rol spelen bij het verduurzamen van hun voorraad woningen en gebouwen en het creëren van draagvlak onder hun huurders voor de komst van een alternatieve warmtevoorzieningsinfrastructuur. Zij zijn in potentie een belangrijke partner voor de Rijksoverheid om ervoor te zorgen dat nieuwe arrangementen passen in het rijksbeleid en aantrekkelijk zijn voor huurders.
- De *Rijksoverheid* kan sturend optreden richting gemeenten, geeft de randvoorwaarden voor duurzaamheid en dus voor broeikasgasemissies en voor een sociaal gewenste verdeling van de kosten (en dus de prijs van warmte).
- *Installateurs* spelen een grote rol als adviseur richting woningeigenaren. Opleiding en het opdoen van ervaring gericht op nieuwe technieken ondersteunen de vernieuwing.
- De *Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM)* bouwt de huidige activiteiten (opsporen en produceren van aardolie en aardgas) waarschijnlijk op termijn af. De NAM kan kennis en ervaring inzetten voor de exploitatie van (diepe) aardwarmte.
- *Glastuinbouwbedrijven* zijn grootverbruiker van warmte, licht en CO₂, maar in de huidige praktijk ook initiatiefnemers van geothermieprojecten en daarmee soms ook aanbieders van warmte voor warmtenetten.

De potentiële klimaatwinst

Als de gebouwde omgeving (woningen en utiliteitsbouw) naar een emissie van nagenoeg nul zou gaan, dan betekent dat een vermindering ten opzichte van de huidige situatie met circa 25 megaton CO₂. Voor klimaatneutrale kassen komt dat neer op bijna 7 megaton CO₂. Echter, helemaal geen emissie is bepaald geen eenvoudige opgave. We geven hier een indicatie van wat er met specifieke maatregelen kan worden bereikt.

Energiebesparing met isolatie

De kosten per type maatregel voor isolatie kunnen aanzienlijk verschillen. Ter indicatie: isolatie tot het niveau van label B-woningen leidt tot een besparing met ruim 30 procent tegen kosten van 36 euro per ton CO₂ (Schepers et al. 2015). Bij hoge isolatie (tot label A+) kan het gasgebruik met 56 procent worden teruggebracht. Hier zijn hoge kosten aan verbonden (gemiddelde investeringskosten per woning van 14.000 tot 34.000 euro; ordegrrootte 500 euro per ton CO₂ (Schepers et al. 2015). Bij de huidige energieprijzen is een dergelijk vér-gaande isolatie niet rendabel. Op termijn kan dit door leereffecten mogelijk wel goedkoper worden uitgevoerd. De energiebehoefte van de glastuinbouw kan tot 2050 met bijna 40 procent afnemen door een combinatie van areaalkrimp, de toepassing van energiebesparende kassen en energiebesparende teeltmethoden (Schepers et al. 2015).

Geothermie (warmtenetten)

Omdat de winbare hoeveelheid warmte pas bekend is als ter plekke een boring is verricht, zijn schattingen van het Nederlandse potentieel zeer onzeker. TNO (2010) schat dat er 150 petajoule per jaar gedurende honderden jaren kan worden gewonnen. Het is niet duidelijk of daarbij rekening is gehouden met de dichtheid van de bebouwing of de aanwezigheid van glastuinbouw rondom de bron, met andere woorden: of het potentiële warmteaanbod van de ondergrond rendabel via een warmtenet kan worden gedistribueerd aan voldoende afnemers.

Het ECN (2015) geeft een indicatie van de kosten per eenheid geproduceerde aardwarmte. Daarbij worden basisbedragen berekend voor hernieuwbare-energietechnieken die in aanmerking komen voor SDE+-subsidie. Geothermieprojecten met een diepte tussen 500 en 3.500 meter komen in aanmerking voor een basisbedrag van 0,056 euro per kilowattuur, oftewel 15,6 euro per gigajoule. Dat bedrag geeft een indicatie voor de productiekosten van aardwarmte, maar transport- en distributiekosten zijn daar nog niet in meegenomen. Ter vergelijking: de productiekosten (exclusief energiebelasting) voor de productie van 1 gigajoule warmte met aardgas in een HR107-ketel bedragen ongeveer 11,7 euro.

Elektrische warmtepompen

Warmtepompen maken gebruik van omgevingswarmte. Het rendement van warmtepompen – het aantal eenheden warmte dat per eenheid gebruikte energie wordt geleverd – wordt meestal aangeduid met de term ‘Coefficient of Performance’ (COP). Bij elektrische warmtepompen is de gemiddelde COP voor ruimteverwarming en warmtapwaterbereiding ongeveer 3 tot 4. Omgevingswarmte is er voldoende, zij het

dat er bij de benutting van warmte uit grondwater door diverse bronnen op een bepaald oppervlak ruimtelijke beperkingen kunnen zijn. Technisch gezien kan in de toekomst de warmtevraag van alle woningen met elektrische warmtepompen worden ingevuld. Tegenover de lagere energiekosten staat dan een investering die een factor 4-10 hoger ligt dan voor een HR-ketel. De beperkingen zitten in bijkomende hoge kosten voor renovatie (vloerverwarming) in bepaalde situaties. Hybride systemen vormen dan een alternatief.

Groen gas

Het toekomstige aanbod kan aanzienlijk zijn, maar is ook uiterst onzeker (zie daarvoor paragraaf 4.6)

4.2.2 Welke stappen kunnen er in de komende jaren worden gezet?

In 2050 is 80 procent van de huidige woningen nog in gebruik. Ook vele van de bestaande utiliteitsgebouwen zullen er tegen die tijd nog staan. De uitdaging is dus vooral om ook de bestaande bebouwing emissiearm te maken. Op dit moment verwarmt 93 procent van de huishoudens hun woning met gas. Ruim 4 procent is aangesloten op een warmtenet. Daarnaast wordt inmiddels circa 2 procent van de woningen (geheel of gedeeltelijk) verwarmd met warmtepompen (ECN & PBL 2015). Voor 2013 is vastgesteld dat in zo'n 550.000 woningen maatregelen zijn getroffen, maar de energiebesparing gaat meestal stapje voor stapje (veelal HR-ketels en dubbele beglazing). Eigenaren-bewoners doen vooral relatief kleine investeringen (maximaal 5.000-7.000 euro, meestal veel minder) en vaak gaat het om één maatregel per keer. Woningcorporaties zien hun financieringsruimte en het meekrijgen van de huurders als grote belemmeringen (ECN & PBL 2015). De aarzeling voor grotere stappen kan worden verminderd door meer zekerheid over de energieprestaties te bieden, bijvoorbeeld als gespecialiseerde bedrijven transparante garanties gaan geven.

In het kader van de Wet Milieubeheer is er de verplichting voor bedrijven, ook in de utiliteitsbouw, om besparingsmaatregelen met een terugverdientijd van 5 jaar of minder te nemen. Mede door de beperkte handhaving is hier op termijn van 2030 nog een potentieel van circa 30 petajoule te winnen (Van Dril & Menkveld 2016).

Door de energiebelasting bestaat al een hoog niveau van financiële prikkels, vooral bij particulieren. Bij het Energieakkoord is vooral gekozen voor verleiding in de vorm van communicatie en financiële prikkels. Daarnaast zijn er leningen mogelijk en is er in december 2015 een subsidieregeling voor warmtepompen, houtketels en zonnewarmte in werking getreden (ISDE). Een extra prikkel kan zijn het aantrekkelijker maken van elektrische warmtepompen door de prijsverhouding tussen elektriciteit en aardgas via aanpassingen in de belastingtarieven verder te verschuiven dan onlangs is gedaan (zie ook paragraaf 5.3). Te verwachten is dat in eerste instantie vooral hybride systemen daardoor een extra impuls krijgen. Deze hoeven een overgang naar *all electric* op termijn niet in de weg te staan. Ze leiden tot meer ervaring bij installateurs en meer vertrouwen bij de klanten.

Het tempo van verduurzaming is nog onvoldoende om in Nederland in 2050 een klimaatneutraal woningbestand te realiseren. Vooral bij bestaande woningen en gebouwen zijn krachtiger beleidsimpulsen vereist om tot de gewenste eindsituatie te komen. Bij een gelijkmatige aanpak over de komende 35 jaar gaat het om zo'n 200.000 woningen en ruim 10.000 utiliteitsgebouwen per jaar (Sipma 2014). Het is zaak dat voortvarend op te pakken en ook zo veel mogelijk mee te liften met renovatieprogramma's om in één stap die gewenste eindsituatie te bereiken. Dat kan in vele situaties over de lange termijn de kosten te beperken.

In het programma Stroomversnelling worden slecht geïsoleerde woningen in één keer omgebouwd tot nul-op-de-meter woningen, door verregaande isolatie (inkapseling; een extra schil om de woning) bijna altijd in combinatie met volledige elektrificatie. Dergelijke projecten vergen grote investeringen; naar schatting 30.000-45.000 euro per woning (Schilder & Van Middelkoop (2016)). In de experimenten is gewerkt met toegesneden financieringsconstructies, waarbij het energiebedrijf de investering doet en de bewoner een aangepaste (niet noodzakelijkerwijs hogere) maandelijkse rekening krijgt. De uitgevoerde projecten zijn vooral gedaan bij corporatiewoningen met een G-label. Gecombineerd met andere verbeteringen is het in dit soort situaties financieel het gunstigst. Projecten met andere eigendomssituaties, meer diverse bouwvormen of waar al enkele energiebesparende maatregelen zijn getroffen, kunnen minder aantrekkelijk uitvallen. Daarom is een planmatige aanpak op natuurlijke renovatiemomenten gericht op de lange termijn noodzakelijk.

Belangrijk bij een planmatige aanpak op wijkniveau zijn keuzes rond de infrastructuur: de inrichting van nieuwe warmtenetten, het al dan niet vervangen of aanleggen van gasinfrastructuur en/of het verzwaren van het elektriciteitsnetwerk. Hiermee worden immers ook bepaalde technische opties in de gebouwen en woningen voor lange tijd uitgesloten. Eigenaren van gebouwen en woningen zijn niet verantwoordelijk voor deze infrastructuur, maar afstemming is noodzakelijk want de gevolgen van die keuzes kunnen voor hen aanzienlijk zijn.

Collectieve warmte en *all electric* kunnen zich momenteel niet verheugen in een grote populariteit bij bewoners. Voor warmte zijn de meest gehoorde bezwaren dat de kosten ondoorzichtig en de aansluitkosten hoog zijn, en de leverancier monopolist is. Voor *all electric* zijn berichten over te lage verwarmingscapaciteit van de dure installaties en hogere elektriciteitslasten dan voorgespiegeld debet aan het slechte imago.

In mei 2016 is aangekondigd dat in het kader van het Energieakkoord een energiebesparingsverplichting wordt ingevoerd met een aanzienlijke ambitie (15-20 petajoule in 2020). Deze verplichting geldt niet rechtstreeks voor gebouweigenaren, maar wordt opgelegd aan energieleveranciers of een onafhankelijk uitvoeringsorgaan. Die kunnen dat weer gaan uitbesteden aan gespecialiseerde bedrijven. Uit de optiek van ondersteuning van de transitie is het belangrijk dat een dergelijk instrument vooral wordt gericht op grondige gebouwverbeteringen en niet op de kleinere goedkope opties (laaghangend fruit).

Een 'deltaplan' voor de isolatie en warmtevoorziening in de gebouwde omgeving kan de route naar 2050 uitstippelen en de basis leggen voor een planmatiger aanpak. De basis daarvoor kan dan worden gelegd met lokale warmteplannen, waarvoor vooral gemeenten en energiebedrijven aan zet zijn. Om echt effectief te zijn, kan dat niet vrijblijvend zijn. De Rijksoverheid moet in dat geval de randvoorwaarden voor de broeikasgasemissies duidelijk aangeven. In die plannen moet duidelijkheid worden verschaft over de genoemde opties voor de infrastructuur en de daarbij behorende technische en bouwkundige keuzes. Maar gemeenten moeten die samen opstellen met de eigenaren van utiliteitsgebouwen en woningen, woningcorporaties, bedrijven, vergunningverleners (wet milieubeheer), netbeheerders en lokale energiecoöperaties. Utiliteitsgebouwen, glastuinbouwbedrijven en industrie moeten worden meegenomen in die lokale warmteplannen, al hebben grote complexen en bedrijven dikwijls specifieke eigen wensen en technische mogelijkheden.

Voor de afweging van een mogelijk warmtenet in zo'n lokaal warmteplan is het belangrijk zekerheid te hebben over de beschikbare bronnen van warm water en vooral geothermie. De glastuinbouw loopt momenteel voorop bij de benutting van aardwarmte uit de diepe ondergrond (geothermie), maar een grotere schaal levert meer mogelijkheden. Dat zal op veel plaatsen tot boringen moeten leiden, met een zeker risico op mislukking. Daarnaast kan restwarmte van bedrijven worden benut, mits deze op termijn van CO₂-arme bronnen komt. De beschikbaarheid van dergelijke bronnen voor meerdere decennia is echter onzeker en bedrijven willen zich meestal niet vastleggen op langdurige levering. Het past in een 'open' systeem met meerdere warmtebronnen.

De opkomst van renovatieprojecten zoals in het programma Stroomversnelling en van eventuele warmtenetten leidt tot nieuwe verhoudingen tussen vragers en aanbieders van energie. Daarbij nemen de energiebedrijven investeringen en onderhoud van bepaalde voorzieningen en apparaten voor hun rekening. Dat kan de dominante marktform voor de toekomst zijn. Energieleveranciers leveren een comfortabel woonklimaat en bieden hun klanten een pakket aan, inclusief technische maatregelen en eventuele bouwkundige aanpassingen. De kosten worden, uitgesmeerd over vele jaren, verwerkt in de energierekening. De energiebedrijven kunnen in die situatie meer verantwoordelijkheid nemen en/of opgelegd krijgen voor CO₂-arme warmte en voor de geleidelijke overgang van het huidige naar het gewenste systeem in 2050.

Een andere financieringsoptie is om gebouwmaatregelen te financieren met een objectgebonden lening voor een investering in energiebesparing of energiegerichte renovatie. De financiële risico's blijven aanwezig, maar worden mogelijk strenger getoetst door de bestaande woningfinancier, die immers belang heeft bij een hoge waarde van het onderpand.

De overgang in de bestaande gebouwde omgeving van een verwarmingssysteem op gas naar een warmtenet of een *all electric* (of verregaand geëlektrificeerd) systeem is ingrijpend voor alle betrokken partijen, niet in de laatste plaats voor de bewoners en gebruikers van gebouwen. Wat op een tekentafel technisch goed mogelijk is, kan in de

uitvoering een enorme communicatieve en sociale uitdaging zijn. Met voorbereiding, participatie, daadwerkelijke technische aanpassingen, soms uitgesmeerd over vele jaren en nazorg zijn veel jaren gemoeid. Het is belangrijk hiermee zo snel mogelijk ervaring op te doen en deze te delen, ook van buitenlandse projecten. Hiertoe moet een flink aantal technisch, financieel en sociaal goed begeleide pilots op wijkniveau (of vergelijkbaar representatief niveau) worden uitgevoerd. Technisch het meest voor de hand liggend zijn pilots voor warmtenetten, voor *all electric* wijken en voor wijken met een minimale CO₂-emissie als doelstelling. Maar het is noodzakelijk ook te differentiëren naar verschillende woningtypen en wijkopbouw, inkomensniveaus, eigendomsverhoudingen (woningcorporaties en particuliere woningeigenaren), institutionele vormen, financieringsconstructies en participatiemodellen.

Een zeer begrijpelijke zorg bij afnemers van warmte is dat een nieuw systeem – of dit nu een warmtenet of een *all electric* optie is – warmte voor hen duurder zal maken en dat anderen die voorlopig niet tot maatregelen worden gedwongen beter af zijn. Hier ligt een opgave voor de Rijksoverheid voor het waarborgen van een eerlijke verdeling van de lasten. Dat geldt onder andere voor de kostenverdeling bij een energiebesparingsverplichting voor energiebedrijven. Dit geldt ook bij nieuwe warmtenetten waar afnemers kunnen worden geconfronteerd met een aansluitplicht en hoge aansluitkosten.

Voor nieuwbouw wordt vooralsnog de doelstelling van bijna-energie neutraal gehanteerd. In de huidige praktijk geeft zo'n doelstelling ook sterke prikkels aan de inzet van zonnepanelen, mede op basis van de gunstige salderingsregeling. Met de opwekking en levering aan het net van CO₂-vrije elektriciteit kan worden gecompenseerd voor het gebruik van aardgas voor verwarming. Zonder iets af te doen aan de positieve bijdrage van zonnepanelen aan een CO₂-vrije elektriciteitsvoorziening (zie ook paragraaf 4.5), biedt realisatie van 'energie neutraal' geen garantie voor nulmissie. Een (eventueel aanvullend) doel kan 'klimaatneutraal' zijn, ingevuld als 'nulmissiewoningen en -gebouwen'. Dit kan eventueel worden bekrachtigd door af te zien van een gasnet.

In de glastuinbouw gaan de kassen zo'n 25 jaar mee. Dat biedt ruimte om voor 2050 bij de vernieuwing in glastuinbouwbedrijven ook de warmtevoorziening mee te nemen. Het verdient aanbeveling om de kassen mee te nemen in de lokale warmteplannen, niet in de laatste plaats omdat ze ook leverancier van warmte kunnen zijn. Van de huidige 12 geothermieputten zijn er 10 door tuinders aangelegd. Toepassing van elektriciteit voor belichting van gewassen wordt een steeds belangrijker factor. De elektriciteitsvraag over een etmaal is relatief goed stuurbaar, waarmee kan worden ingespeeld op het aanbod van intermitterende bronnen. Gasvrije glastuinbouwbedrijven zullen een alternatief moeten hebben voor de CO₂-voorziening voor groeibevordering, die nu wordt afgetapt van de ketel of warmtekrachtkoppelingsinstallatie. Dat kan op lange termijn met gesloten kasconcepten of biogas, en op korte termijn met uitbreiding van het bestaande CO₂-net in het Westland.

4.2.3 Welke beleidsopties ondersteunen de ontwikkeling?

Hierna zijn op hoofdlijnen de beleidsopties aangegeven die passen bij de hiervoor geschetste ontwikkeling en die de transitie in de gebouwde omgeving verder kunnen brengen. Ze zijn niet in detail uitgewerkt.

Warmtevoorziening voor de lange termijn: institutionele beleidsopties

Verregaande verduurzaming vereist eerst nog institutionele kaders. Hieronder zijn enkele richtingen genoemd waarin die kunnen worden ontwikkeld.

Beleidsoptie	Ontwikkelen van een 'deltaplan' voor de verduurzaming van de warmtevoorziening. Ter onderbouwing hiervan worden onder leiding van gemeenten lokale plannen opgesteld. Als eerste volgt hieruit een plan voor de infrastructuur.
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	Het ligt voor de hand de regie voor de gewenste planmatige opzet van het transitieproces bij de Rijksoverheid te leggen. Maar gemeenten en burgers gaan een belangrijke rol spelen in lokale keuzes.

Beleidsoptie	Verplichting aan gemeenten voor het opstellen van lokale plannen voor de warmtevoorziening. Cruciaal onderdeel hiervan is een plan voor de lokale infrastructuur.
Indicatie kosten	Ondersteunend budget benodigd voor de gemeenten, mede om er deskundigheid bij in te huren en voldoende partijen erbij te betrekken.
Overwegingen	Het is belangrijk lokale partijen en uiteindelijk ook bewoners, bedrijven en gebouwdeigenaren erbij te betrekken. De gemeenten kunnen dan de coördinerende partij zijn, maar met deskundige ondersteuning.

Beleidsoptie	De Rijksoverheid ontwikkelt een systeem voor een maatschappelijk aanvaardbare verdeling van de kosten voor de warmtevoorziening (prijsbepaling van de warmte).
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	In een systeem met meerdere geheel verschillende technische concepten, mogelijke monopolies van aanbieders en saneringsprogramma's die lopen over drie decennia kan er onrust ontstaan over de prijs die voor warmte moet worden betaald. Die onrust moet worden weggenomen door een inzichtelijke en acceptabele kostenstructuur, waarin ook sociale overwegingen kunnen worden meegenomen.

Warmtevoorziening voor de lange termijn: verkenningen

De omvang, kosten en complexiteit van de verduurzaming vragen voorzichtigheid met opschaling. Onderstaande opties betreffen vooral verkenningen van voldoende schaal om inzicht te krijgen in werkbare oplossingen.

Beleidsoptie	Investeringssubsidies plus projectsubsidies voor ondersteuning van een flink aantal representatieve pilots voor verduurzaming van een hele wijk in één stap naar de gewenste eindsituatie. Een dergelijke pilot is zowel een technisch als sociaal leertraject, met monitoring van de ervaringen. Het gaat hierbij om projecten die een looptijd van zeker tien jaar kunnen hebben. Representativiteit houdt in dat verschillende doelgroepen, technische opties, woning- en utiliteitsbouwtypen en financiële en institutionele organisatievormen worden vertegenwoordigd.
Indicatie kosten	Een pilot met bijvoorbeeld 1.000 woningen kan zo'n 20-40 miljoen euro aan investeringskosten met zich brengen (indicatieve schatting, op basis van genoemde kosten voor saneringen in het programma Stroomversnelling, kosten van elektrische warmtepompen en Schilder en Van Middelkoop (2016)).
Overwegingen	Dergelijke veranderingen in de bestaande omgeving zijn ingrijpend, niet alleen technisch. Goed begeleide voorbeeldprojecten leiden tot ervaringen bij diverse betrokken partijen, die belangrijk zijn om de (on)mogelijkheden beter in te schatten en het grootschalige transitieproces soepel te laten verlopen.

Beleidsoptie	Een programma voor nader onderzoek voor geothermie op kansrijke locaties. Kansrijk wordt in deze bepaald door kennis over de bodem en het potentieel aan warmteafnemers op korte afstand.
Indicatie kosten	Nader onderzoek kan eventueel ook proefboringen inhouden. Het boren van putten om aardwarmte te winnen is duur: ECN (2015) rekent met een bedrag van 18,2 miljoen euro voor een bron met 12 megawatt thermisch vermogen. De grote investering in combinatie met het risico op 'misboren' maakt dat financiering van projecten afhankelijk is van deelname aan de Garantieregeling aardwarmte, en dat financiers een relatief groot deel eigen vermogen verlangen (ECN & PBL 2015).
Overwegingen	Duidelijkheid over het potentieel van geothermie op specifieke locaties is van belang om warmteplannen te kunnen maken. Daarnaast kan worden doorgegaan met de bestaande garantieregeling voor boringen door andere partijen.

Versteving en aanpassing van bestaand beleid en bestaande initiatieven

Er zijn al veel beleidsinstrumenten en initiatieven voor de gebouwde omgeving. De mogelijkheden om die te verbeteren of te versterken worden niet uitputtend behandeld. Toch zitten er instrumenten bij die ook op langere termijn bij verdergaande reductie van grote betekenis kunnen zijn. Dat betreft bijvoorbeeld de in Europees verband vastgelegde en steeds verder ontwikkelde eisen voor apparaten (Ecodesign richtlijn). Dit kan nationaal verder worden ondersteund door aankoop te stimuleren. In het Energieakkoord zijn acties voor de gebouwde omgeving afgesproken die verder kunnen worden geïntensiveerd (Van Dril & Menkveld 2016). Onderstaande opties bouwen daar op voort of geven alternatieven. Deze opties sluiten dus meer aan bij een benadering met kleinere stappen.

Beleids optie	Intensievere handhaving in het kader van de Wet Milieubeheer op besparingsmaatregelen bij utiliteitsbouw; verplichte Energie Prestatie Keuring (EPK). Dit kan gepaard gaan met een stimuleringsregeling voor maatwerkadvies.
Indicatie kosten	Aan de handhaving zijn kosten verbonden; die zijn (zonder tegemoetkominingsregeling) voor rekening van de gebouweigenaar. Ook aan een stimuleringsregeling zijn kosten verbonden.
Overwegingen	Hiermee kan nog een aanzienlijk potentieel aan redelijk goedkope besparingsopties (minder dan vijf jaar terugverdientijd) worden benut.

Beleids optie	Invullen van de energiebesparingsverplichting met vooral opties voor klimaatneutrale woningen en gebouwen.
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	Vermijden dat vooral laaghangend fruit wordt geplukt en er veel overlap ontstaat met bestaande instrumenten. Voorkomen van freeriders (doelgroepen die van aanvullende kostenvoordelen profiteren, terwijl ze de maatregel toch al van plan zijn uit te voeren).

Beleids optie	Een verplichting voor een plan voor het renoveren van bestaande utiliteitsgebouwen (eventueel boven een bepaalde grootte) als basis voor energiebesparingscontracten met eventueel daarin broeikasgasemissies opgenomen. Dit kan binnen een bepaalde ruime termijn of op momenten waarop van gebruiker wordt gewisseld. In het kader van het Energieakkoord is een verplichting tot label C opgenomen, mogelijk kan een verplichting ook worden gericht op CO₂-reductie op lange termijn.
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	Dit geeft een stimulans om meer planmatig en integraal de stap richting klimaatneutraal te zetten.

Beleids optie	Een geleidelijk afnemende CO₂-norm gemiddeld voor alle bij het huis behorende verwarmingsapparatuur in huizen van woningcorporaties en particuliere verhuurders en eigenaren.
Indicatie kosten	Kosten zijn niet nader bekeken, en mede afhankelijk van het tempo van afname van de norm.
Overwegingen	Kan onderdeel zijn van een meer verplichtend beleid zoals afgesproken bij het Energieakkoord. Eventueel kan de verplichting uitruilelementen bevatten of verhandelbaar zijn. Een geleidelijke aanscherping kan ook richtinggevend zijn voor uiteindelijk totale emissiereductie op langere termijn voor alle gebouwen.

Beleids optie	Implementeren en geleidelijk aanscherpen van een emissienorm (in CO₂/megajoule geleverde warmte) voor bestaande en nieuwe warmtenetten.
Indicatie kosten	Dit kan noodzaken tot uitsluiting van relatief goedkope bronnen of tot het nemen van extra emissiebeperkende maatregelen bij bronnen; de kosten zijn sterk situatieafhankelijk.
Overwegingen	Hiermee kan worden vermeden dat er alsnog (te) grote bijdragen van fossielgestookte warmtekrachtkoppelingsinstallaties (restwarmte) of aardgasgestookte ketels (om te voldoen aan te piekvraag) zonder toepassing van CCS in het systeem komen. Ook geothermiesystemen waarbij veel olie of gas meekomt uit de bodem kunnen onder zo'n norm worden gebracht en gewogen.

Beleids optie	Een geleidelijk afnemende CO₂-norm gemiddeld voor alle apparatuur die het energiebedrijf aan klanten verhuurt voor de warmtevoorziening.
Indicatie kosten	Kosten zijn niet nader bekeken, en mede afhankelijk van het tempo van afname van de norm.
Overwegingen	Dit is een direct implementeerbare verplichting, omdat de verplichting in te bouwen is in bestaande of toekomstige contracten. Zo'n norm wordt belangrijker in een systeem waarin de warmteleveranciers de apparaten voor de warmtevoorziening (ketels, warmtepompen) verhuren aan klanten. Daarmee hebben zij een grotere invloed op de keuze van de consumenten. Zo'n gemiddelde norm heeft het voordeel dat hiermee op een geleidelijke overgang kan worden gestuurd en kan worden ingespeeld op (on) mogelijkheden in bepaalde situaties.

4.3 Verkeer en vervoer

4.3.1 Hoe kan het toekomstbeeld voor 2050 eruitzien?

Inleiding

Het verkeer en vervoer is momenteel vrijwel volledig afhankelijk van fossiele brandstoffen. Sinds 1990 zijn de emissies in deze sector gestegen, van 31 megaton naar 36 megaton in 2013. Daarmee is deze sector een van de belangrijkste bronnen van CO₂. Bovendien leggen Nederlanders steeds meer kilometers af, per auto, trein en vliegtuig. In de langetermijns scenario's van de *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving* (WLO) worden tot 2050 30-60 procent meer autokilometers, 30-40 procent meer treinreizigerskilometers en 80-160 procent meer reizigerskilometers per vliegtuig verwacht. Ook het goederenvervoer neemt tot 2050 met 20-50 procent toe (CPB & PBL 2015). De toepassing van zuinige technieken, vooral voor personen- en bestelauto's, zal in de toekomst leiden tot een daling van de CO₂-emissie in het wegverkeer in Nederland met 15-37 procent. De CO₂-emissies van de reizigerskilometers per vliegtuig nemen naar verwachting wel verder toe, met 12-35 procent. Daarmee blijft de totale CO₂-emissie van de sector verkeer en vervoer in 2050 substantieel. Om aan de tweegradendoelstelling te kunnen voldoen, is een transitie noodzakelijk.

De Europese Commissie mikt, bij een scenario van emissiereductie van 80 procent in Europa, op een reductie van 60 procent voor verkeer en vervoer in 2050 ten opzichte van

het niveau van 1990 (EC 2011). Een reductie van 60 procent ten opzichte van 1990 vertaalt zich in een doelstelling van ongeveer 12 megaton in 2050. Bij 80 procent reductie binnen de sector verkeer en vervoer laat dat zelfs slechts 6 megaton emissies in 2050 toe. De lucht- en zeevaart hebben minder mogelijkheden om broeikasgasemissies te reduceren en nemen een aparte positie in het EU-Witboek in. Voor deze sectoren wordt een reductie van 40 procent genoemd in 2050.

De Nederlandse overheid heeft in het Energieakkoord de ambitie van 60 procent reductie voor de sector verkeer en vervoer omarmd. De doelstelling uit het Energieakkoord is exclusief de internationale zee- en luchtvaart. Indien voor de gehele verkeerssector, dus inclusief de internationale lucht- en scheepvaart, in 2050 een reductie van 60 procent wordt nagestreefd, dan betekent dit een reductie van 85 procent voor het deel van de transportsector dat is inbegrepen in het Energieakkoord (TNO et al. 2014). Welke doelstelling ook wordt gekozen: de opgave om deze reducties te halen is groot.

Een CO₂-reductie van 60 procent kan in principe worden bereikt door zuiniger voertuigen, koolstofarmere brandstoffen in combinatie met gedragsaanpassingen: een zuiniger rij-, vlieg- en vaarstijl, en beperking van de transportvraag. Het vereist een sterke daling van de CO₂-emissie van bijna alle vervoersmodaliteiten. Er kan dus geen modaliteit ‘gespaard’ blijven. Van belang hierbij is dat niet alle transportmodaliteiten dezelfde mogelijkheden hebben om de CO₂-uitstoot fors te reduceren (Nijland et al. 2012).

Technische uitvoering

Er zijn verschillende manieren om de uitstoot van broeikasgasemissies in verkeer en transport met technische maatregelen te reduceren:

- zuiniger voer-, vaar- en vliegtuigen;
- inzet van andere energiedragers:
 - o groene brandstoffen (zie paragraaf 4.6);
 - o elektriciteit;
 - o waterstof.

Voor personen- en bestelauto's en voor lichte vrachtwagens zijn er voldoende technische mogelijkheden om de CO₂-uitstoot tot bijna nul terug te brengen. Zowel batterij-elektrische auto's (BEVs) als brandstofcel-elektrische auto's (FCEVs) zijn in theorie 'nulemissieauto's', mits de energiedrager (elektriciteit of waterstof) zonder broeikasgasemissies wordt opgewekt. Deze groep kan in 2050 vrijwel volledig voorzien zijn van een elektrische aandrijflijn. Daarbij is het goed om te bedenken dat het vervangen van het volledige wagenpark van personenauto's en bestelauto's 15 tot 20 jaar in beslag neemt. Dat betekent dat dan reeds voor 2035 alle nieuw verkochte personenauto's en bestelauto's nulemissievoertuigen moeten zijn.

Omdat de auto de meeste tijd ongebruikt voor de deur staat, wordt al geëxperimenteerd met de batterij van de auto als energieopslag en -bron voor huishoudens. Op die manier vervullen de batterijen een bredere functie met betrekking tot systeemintegratie van hernieuwbare elektriciteit. Ook met brandstofcellen wordt met

teruglevering geëxperimenteerd en wordt de auto als ‘elektriciteitscentrale’ op wijkniveau ingezet (Green Village, Delft).

Bij het goederenvervoer over de weg is er een onderscheid tussen langeafstands-transport en stedelijk transport. Voor vrachtverkeer is de vervangingsperiode in het algemeen korter (Traa 2015) dan voor personenauto’s en bestelauto’s. Om de CO₂-uitstoot van het langeafstandstransport over de weg te beperken, kan worden gedacht aan een hogere beladingsgraad en zuiniger voertuigen in combinatie met groene brandstoffen. Daarnaast zijn er beperkte mogelijkheden om het langeafstandstransport over de weg te vervangen door transport over het water en het spoor (‘modal shift’). Modal shift levert alleen een bijdrage als vervoer over water en spoor duurzamer blijft dan vervoer over de weg, en is daarmee afhankelijk van ontwikkelingen in verschillende deelsectoren van mobiliteit en de elektriciteitsproductie. Opties voor nulmissievrachtwagens, zoals rijden op waterstof of het rijdend opladen van een accu via een bovenleiding of een inductiesysteem, verkeren nog in de beginfase van ontwikkeling. Het is daarom onzeker of deze op de lange termijn realiseerbaar zijn.

Voor het goederenvervoer over de korte afstand, zoals het stedelijk transport, zijn er meer opties, zoals elektrische of hybride voertuigen. Voor deze beide typen voertuigen geldt dat hun beladingsgraden laag zijn, onder de 50 procent (Nijland et al. 2012), en dat hier nog substantiële efficiëntiewinsten zijn te behalen door een verdergaande logistieke samenwerking tussen vervoerders. Zo neemt de gemiddelde beladingsgraad van een voertuig naar verwachting toe, bijvoorbeeld door de verwachte stijging in personeelskosten (door personeelsschaarste), de stijgende brandstofkosten en de striktere regulering.

Het vliegverkeer en de scheepvaart hebben slechts beperkte opties om hun fossiele brandstofgebruik te reduceren. Weliswaar kunnen de vlieg- en vaartuigen in beperkte mate zuiniger worden ontworpen, toch zullen vooral groene brandstoffen nodig zijn om deze daadwerkelijk koolstofarm te maken. Omdat de potentiële voorraad biobrandstoffen beperkt is en omdat er voor personenauto’s ook alternatieven voor koolstofarme brandstof bestaan (bijvoorbeeld CO₂-vrij opgewekte elektriciteit en waterstof), is het daarom verstandig om op termijn de biobrandstoffen te reserveren voor die vervoersmodaliteiten waarvoor weinig andere brandstofmogelijkheden bestaan.

Voor persoonlijk vervoer over korte afstanden is de fiets het meest milieuvriendelijke vervoermiddel. De betekenis van de fiets moet niet worden onderschat: in aantallen verplaatsingen en in reistijd zijn de fiets en lopen vrijwel even belangrijk als de auto. Door de snelle verspreiding van de elektrische fiets (in 2015 was al 12 procent van de fietskilometers elektrisch) wordt deze ook steeds meer voor langere verplaatsingen een aantrekkelijk alternatief. Hoewel maar een beperkt deel van het extra fietsgebruik is terug te vinden in de afname van het autogebruik, is dat wel een deel van het stedelijke autoverkeer dat qua geluidshinder, luchtkwaliteit en doorstroming hoge externe kosten met zich brengt.

Betrokken actoren

Naast de Europese Unie en de Rijksoverheid zijn er veel partijen betrokken:

- *Burgers/particulieren.*
- *Leasebedrijven, autoverhuur- en autodeelbedrijven:* de hogere aanschafprijzen maar wel lagere gebruikskosten kunnen leasen en huren aantrekkelijker maken ten opzichte van aanschaf, en daarmee het marktaandeel daarvan vergroten.
- *Transportbedrijven.*
- *Elektriciteitsleveranciers en netbeheerders* worden een belangrijke speler in het vernieuwde systeem. De elektrische auto (vooral het thuis opladen ervan) wordt ook onderdeel van een slim systeem van balanceren van vraag en aanbod van elektriciteit.
- *Autofabrikanten* moeten inspelen op de gestelde Europese normen en voorkeuren van de consumenten – ook in het lagere segment moeten nulemissieauto's doorbreken.
- *Raffinaderijen en olieproducenten* krijgen te maken met een teruglopende verkoop van autobrandstoffen en moeten zich op tijd aanpassen door in te krimpen of in te zetten op de nieuwe segmenten.
- *Tank- en opwaardstationexploitanten* moeten inspelen op de nieuwe eisen die de veranderende infrastructuur met zich brengt – hetzij door klanten die langer stoppen vanwege de laadtijd, hetzij door aanleg van elektriciteitskabels of waterstofinfrastructuur.
- De *gemeentelijke overheid* speelt een belangrijke rol bij de ruimtelijke inpassing van mobiliteit en bij verkeersregulering met het oog op luchtkwaliteit. Gedacht kan worden aan milieuzones, voldoende parkeerplaatsen met laadpaal, aanbod van goed openbaar vervoer, publieke laadmogelijkheden voor elektrische (bak)fietsen, en andere voorzieningen.

Een verregaande reductie van CO₂-uitstoot bij alle vormen van transport kan ook het mobiliteitsgedrag beïnvloeden. De ontwikkeling van CO₂-neutrale technologie kan daarbij samengaan met de ontwikkeling van andere technologieën, zoals autonoom rijden, direct opvraagbare *real-time* reisinformatie en geavanceerde deelautoconcepten. Het is echter ook goed om te bedenken dat verregaande CO₂-reductie niet *afhankelijk* is van de ontwikkeling van deze futuristische concepten. Een personenauto in 2050 kan er qua uiterlijk en functionaliteit vrijwel hetzelfde uitzien als de huidige benzine- of dieselauto, maar alleen onder de motorkap batterijen en elektromotoren hebben in plaats van een verbrandingsmotor. Wel belangrijk is dat het zeer sterk reduceren van de CO₂-uitstoot niet gratis is. Zeker in de overgangsfase zullen nieuwe technieken duurder zijn dan de conventionele. Dat geldt voor elektrische aandrijflijnen in personen- en vrachtauto's, maar ook voor het gebruik van geavanceerde groene brandstoffen in schepen en vliegtuigen. Over het geheel genomen wordt het zich verplaatsen waarschijnlijk duurder worden, en als zaken duurder worden, zal er minder gebruik van worden gemaakt.

De potentiële klimaatwinst

Het doel voor verkeer en vervoer uit het Energieakkoord (60 procent emissiereductie ten opzichte van 1990 in het binnenlands vervoer) betekent een uitstoot in 2050 van zo'n 12 megaton CO₂, tegenover 36 megaton in 2013 (SER 2013). Bij een doel van 80 procent ligt dat nog een stuk lager, rond de 6 megaton in 2050. Ruim de helft van de huidige emissies komt van personenauto's, een bijdrage die met nulmissieauto's grotendeels kan worden geëlimineerd. Voor het vrachtverkeer is de reductie lastiger, en deels afhankelijk van biobrandstoffen. Een grote onzekerheid is de toekomstige beschikbaarheid van duurzaam geproduceerde biomassa voor de productie van biobrandstoffen. Dit geldt eens te meer omdat biobrandstoffen de belangrijkste optie vormen om in 2050 de emissies van lucht- en scheepvaart te verminderen, en wellicht ook die van het goederentransport over de weg over lange afstanden. De emissies van biobrandstoffen bij verkeer worden op nul gesteld, waarmee de gesloten koolstofcyclus (uitstoot gelijk aan opname bij de groei van de biomassa) wordt verrekend. In de praktijk zijn er ook in de productieketen van biobrandstoffen broeikasgasemissies. Deze kunnen zo hoog zijn dat ze niet meer als duurzaam worden beschouwd (PBL 2014). Ze kunnen in theorie ook negatief worden als bij de productie van biobrandstoffen ook CCS wordt ingezet (zie paragraaf 4.7).

Personenauto's die rijden op elektriciteit of waterstof stoten geen CO₂ uit. Er kunnen echter ook emissies optreden bij de productie van elektriciteit of waterstof. In een toekomstig systeem met verregaande emissiereductie is het de verwachting (en daar is beleid ook op gericht) dat de emissie bij de elektriciteitsproductie minimaal is, waardoor er ook integraal sprake zal zijn van nulmissievoertuigen. Een aandachtspunt is wel dat de beleidsinstrumenten gericht op meer toepassing van nulmissievoertuigen zodanig vorm worden gegeven dat de huidige emissies bij elektriciteitsproductie geen belemmerende factor vormen.

4.3.2 Welke stappen kunnen er in de komende jaren worden gezet?

Internationale normstelling voor wegverkeer

Elektrische en brandstofcelpersonenauto's zijn voorlopig duurder, en verdere ontwikkeling is nodig, en mogelijk, om de kosten van accu's en brandstofcellen te verlagen. De kosten daarvan zijn in de afgelopen jaren al aanmerkelijk afgenomen, maar een verdere verlaging is wenselijk. De accu moet zich qua levensduur en betrouwbaarheid nog bewijzen, ook in de praktijk. Ook de actieradius kent nog praktische beperkingen, al biedt de toenemende energiedichtheid van accu's mogelijkheden voor verbetering.

De belangrijkste drijfveer voor de ontwikkeling van het aanbod van zuinige auto's en nulmissieauto's is de Europese CO₂-normering en vergelijkbare regelgeving in andere delen van de wereld. Voor 2021 geldt in de Europese Unie voor nieuwe personenauto's

een CO₂-norm van 95 gram per kilometer. Inzet van (semi-)elektrische en waterstofauto's wordt daarbij gestimuleerd door:

- superkredieten: de verkopen van personenauto's met een CO₂-uitstoot van maximaal 50 gram per kilometer tellen zwaarder mee bij het bepalen van de gemiddelde CO₂-uitstoot van een fabrikant;
- het buiten beschouwing laten van de ketenemissies: de CO₂-normen hebben alleen betrekking op de uitlaatemissies, de zogenoemde *well-to-tank*-emissies tellen niet mee; argument daarvoor is dat er ook beleid is om de elektriciteitsproductie op termijn (vrijwel) emissievrij te maken;
- de testprocedure voor plug-inhybriden, die impliciet een sterke prikkel geeft voor inzet van plug-inhybriden door de wijze waarop de CO₂-uitstootwaarden voor dit type auto's worden bepaald.

De Europese Commissie komt naar verwachting eind 2016/begin 2017 met voorstellen voor de CO₂-normering in de periode ná 2021. Het Europese Parlement heeft voor het jaar 2025 een indicatieve bandbreedte van 68-78 gram per kilometer aanbevolen. De Nederlandse inzet is een norm van 70 gram per kilometer in 2025 en van 35 gram in 2030 (Ministerie van IenM 2016). Dat vereist een grootschalige inzet van nulemissieauto's en past in de Europese ambitie dat alle nieuwe personenauto's vanaf 2035 geen CO₂ meer uitstoten.

Bij de huidige doelstelling voor 2021 van 95 gram per kilometer wordt grootschalige inzet van nulemissieauto's nog niet verwacht, hoewel het in sommige marktsegmenten (vooral het hogere segment) al wel interessant wordt om richting 2020 meer plug-inhybriden in de markt te zetten en op die manier een (op papier) forse reductie van de CO₂-uitstoot te realiseren. Door verdere aanscherping van de CO₂-norm, in combinatie met een (meer) representatieve testprocedure, komen de grenzen van de conventionele verbrandingsmotor snel in zicht en wordt een grotere inzet van (semi-)elektrische en/of waterstofauto's noodzakelijk.

Niet alleen in Europa worden eisen gesteld aan de CO₂-uitstoot van nieuwe auto's. Ook in Noord-Amerika en in Azië wordt in verschillende (grote) landen gewerkt met een vorm van CO₂-normering en/of regulering van de brandstofefficiëntie van nieuwe auto's. De prikkels voor nulemissieauto's die daarin zijn opgenomen verschillen, maar de aanpak is op hoofdlijnen vergelijkbaar.

Het voordeel van CO₂-normering als beleidsinstrument is dat er voor alle autofabrikanten een gelijk speelveld wordt gecreëerd. Fabrikanten hebben bovendien meerdere mogelijkheden om te voldoen aan de normen. Door het gebruik van kostprijsverhogende technologieën kunnen ze de brandstofefficiëntie van hun bestaande aanbod van auto's verbeteren en zodoende de CO₂-uitstoot van hun verkopen reduceren. Ook kunnen ze via hun marketing en prijssetting proberen autokopers meer richting zuinige modellen te stimuleren. Fabrikanten mogen samenwerken om aan hun verplichtingen te voldoen, zodat het aan de markt wordt overgelaten om de meest efficiënte manier te vinden om aan de normen te voldoen.

CO₂-normering als beleidsinstrument heeft echter ook een aantal beperkingen. Zo reguleert het enkel de uitstoot van nieuwe personenauto's, het bestaande wagenpark wordt niet direct gereguleerd. Het duurt circa 15 tot 20 jaar voordat de normen volledig zijn doorgewerkt in het wagenpark. Ook is er geen prikkel op het gebruik van de auto en daarmee op de totale CO₂-uitstoot van het wagenpark: andere manieren om CO₂-emissies te reduceren, zoals de rijstijl en het aantal kilometers dat wordt gereden, worden niet benut met dit instrument. Een zuinige auto leidt tot lagere gebruikskosten van de auto, en kan daarmee het autogebruik doen toenemen.

Naast de CO₂-normen voor personenauto's zijn er in Europees kader ook CO₂-normen afgesproken voor nieuwe bestelauto's. Voor 2017 geldt een norm van 175 gram per kilometer, een norm die in 2015 overigens al is gehaald, en voor 2020 een norm van 147 gram per kilometer. De verwachting is dat deze norm met dieseltechnologie kan worden gehaald, en dat er geen inzet nodig is van (semi-)elektrische bestelauto's of andere nieuwe technologieën.

Voor zware wegvoertuigen, op dit moment goed voor 15-20 procent van de emissies binnen verkeer en vervoer (CBS et al. 2016), zoals vrachtauto's, trekkers en autobussen is er nog geen CO₂-normering. Wel wordt in Europees kader gewerkt aan testprocedures en monitoringsprotocollen om op termijn ook voor deze groep CO₂-normering mogelijk te maken.

Financiële stimulering en extra faciliteiten in Nederland

Als de EU-normering op korte termijn onvoldoende krachtige prikkels geeft voor nulemissieauto's, dan is het een beleids optie om in Nederland nulemissieauto's te stimuleren. Op dit moment is elektrisch rijden vanwege de hogere kosten zonder stimuleringsbeleid nog geen concurrerend alternatief voor de conventionele auto. Het is bekend dat er in de marktintroductiefase van nieuwe milieuvriendelijke technologie, zoals elektrisch rijden, marktfalen optreedt en dat overheidsingrijpen gelegitimeerd is (CPB 2016; OECD 2010). De afgelopen jaren is met fiscale stimulering bereikt dat er ruim 90.000 elektrische personenauto's zijn verkocht, vooral semi-elektrische auto's en vooral in de zakelijke markt. Daarmee is Nederland een van de koplopers. Met de tweede Autobrief heeft Nederland de fiscale stimulering voor nulemissieauto's tot 2020 verlengd. Zo'n 90 procent van de auto's is echter in particulier bezit, en daar is het aandeel nulemissieauto's nog vrijwel nihil, ondanks de fiscale voordelen in de aanschafbelasting (bpm) en de wegenbelasting (mrb). Naar aanleiding van de motie-Groot heeft het Formule E-team (FET) acties voorgesteld voor het stimuleren van elektrisch rijden onder particulieren. Die acties zijn gericht op het geven van objectieve en onafhankelijke informatie, de aanleg van een fijnmaziger netwerk van laadpunten, het aanbieden van lease- en deelconcepten voor zowel nieuwe als gebruikte elektrische auto's en het beperken van de onzekerheid voor kopers over de levensduur van de batterij. Van de Rijksoverheid wordt gevraagd een financiële tegemoetkoming beschikbaar te stellen bij de aanschaf van een nieuwe volledig elektrische auto en een laadtegoed bij aankoop van een gebruikte elektrische auto. Op zich zijn dit effectieve instrumenten om het bezit van elektrische auto's te stimuleren (Hoen & Hilbers 2016).

Ze komen wel boven op de fiscale voordelen in de aanschafbelasting (bpm) en de wegenbelasting (mrb) uit de tweede Autobrief. Onzeker is hoe snel nulmissieauto's qua prijs concurrerend worden met conventionele personenauto's, en dus ook hoe lang en hoeveel financiële ondersteuning gewenst is. Bij gebrek aan stimulering is er immers het risico dat een veelbelovende ontwikkeling vroegtijdig stagneert. Het gaat daarbij om een investering op de lange termijn, want de kosten per vermeden ton CO₂ zijn op de korte termijn relatief hoog (zie ook bijlage 1). Andersom kunnen door overstimulering de kosten sterk oplopen en kan het rendement tegenvallen. De enige oplossing hiervoor is het stimuleringsbeleid zeer regelmatig te herijken.

Elektrisch rijden kan ook aantrekkelijker worden gemaakt door extra faciliteiten te bieden, zoals extra parkeermogelijkheden, gebruik mogen maken van busstroken of spitsstroken of een hogere maximumsnelheid. Met het oog op de lokale luchtkwaliteit kan ook worden besloten in bepaalde zones alleen nulmissieauto's toe te laten. Voor zakelijk rijders zal de waardering voor elektrische auto's verder toenemen door parkeren voor deze autosoort overal gratis te maken. Ook het buiten de spits toelaten tot spitsstroken, gratis snelladen langs snelwegen, en gratis toegang geven tot toltunnels en veerdiensten kan de waardering van deze groep vergroten. Een verhoging van de maximumsnelheid voor elektrische auto's op snelwegen en een korting van 500 euro op de aanschaf van een elektrische fiets hebben geen invloed op de waardering van zakelijk rijders voor elektrische auto's. Voor de particuliere autokoper is geen van de bovengenoemde beleidspraktijken aanleiding om eerder een elektrische auto te kiezen. Dat er geen effect bij particuliere autokopers is waargenomen, heeft er vermoedelijk vooral mee te maken dat een elektrische auto voor particulieren op dit moment een minder serieuze keuzeoptie is dan voor zakelijk rijders, mede omdat de meeste particulieren tweedehandsauto's kopen (Hoen & Jacobs 2015).

Veel andere landen zijn recent ook begonnen met het stimuleren van elektrisch auto's. Hiervoor worden allerlei verschillende instrumenten ingezet. De eerste evaluaties van deze programma's komen langzaam beschikbaar, waarmee een beter beeld gaat ontstaan van de *best practices* (ICCT 2015). De markt voor elektrisch rijden is nog jong en het keuzegedrag van consumenten is betrekkelijk moeilijk te voorspellen. Het stimuleren van een opkomende technologie als elektrisch rijden brengt onvermijdelijk het risico op 'falen' met zich, en dat risico is niet volledig af te dekken. Het verdient daarom aanbeveling om bij de vormgeving van stimuleringsregelingen rekening te houden met de robuustheid: is het erg als er meer of minder dan verwacht gebruik wordt gemaakt van de regeling? Daarnaast is het verstandig om ruimte te creëren om de beleidslijn tussentijds bij te stellen op basis van het feitelijk verloop en van nieuwe inzichten (Hoen & Hilbers 2016).

Emissiehandelssysteem als alternatief?

Een andere manier om de CO₂-uitstoot van transport te reguleren is de introductie van een vorm van emissiehandel. Bij de onderhandelingen over aanpassingen van het huidige Europese systeem voor emissiehandel voor bedrijven (het ETS) is ook de optie ter sprake gekomen om wegverkeer toe te voegen aan het ETS, als alternatief voor de

huidige aanpak via (primair) CO₂-normering. Ook zijn aparte systemen geopperd voor de transportsector.

Studies laten echter zien dat de innovatie die nodig is om in 2020 aan de CO₂-norm van 95 gram per kilometer te voldoen via een ETS alleen wordt bereikt bij prijzen van circa 370 euro per ton CO₂ (Mock et al. 2014). Bij het toevoegen van het (weg)verkeer en vervoer aan het bestaande ETS is de verwachting bovendien dat het innovatietempo terugvalt en dat er eerst elders in het systeem CO₂-reductie zal worden gerealiseerd. Het risico bestaat dat technologieën die op de lange termijn nodig zijn om ook in het transport een forse CO₂-reductie te bewerkstelligen, dan niet snel genoeg op de markt komen of nog niet marktrijp zijn, waardoor uiteindelijk hoge kosten moeten worden gemaakt om aan verdergaande doelen te voldoen.

Een beter alternatief is dan ook een apart emissiehandelssysteem voor wegverkeer en -vervoer, in plaats van deze sectoren onder te brengen in het bestaande ETS. Omdat het wegverkeer een relatief gesloten systeem is en daarom veel minder last heeft van risico's op weglek dan bijvoorbeeld de industrie, kunnen hogere CO₂-prijzen gelden dan binnen het bestaande ETS. Het voordeel van het gebruik van een emissiehandels-systeem gericht op persoonlijk wegtransport is dat de totale CO₂-uitstoot bij voorbaat is begrensd, in lijn met de hoeveelheid beschikbare emissierechten. Met het beprijzen van CO₂-emissies worden bovendien alle opties voor CO₂-reductie benut: door de keuze voor een zuinige auto kan de CO₂-uitstoot worden gereduceerd en nemen daarmee ook de kosten van de CO₂-uitstoot af, maar de automobilist kan er ook voor kiezen om minder te rijden in een onzuinige auto en/of zijn rijstijl aan te passen. In de bestaande beleidsstructuur zijn er verschillende instrumenten nodig om deze opties voor CO₂-reductie te benutten: naast de CO₂-normering ook fiscaal beleid en gedragscampagnes als het nieuwe rijden. De CO₂-normering beïnvloedt alleen de technische kenmerken van de auto. Een ETS voor persoonlijk wegtransport zou daarmee een efficiënter instrument kunnen zijn om de CO₂-uitstoot van transport te reduceren. De introductie van zo'n institutionele vernieuwing, de handhaving ervan en zeker ook de verdeling van emissierechten vergen echter een grondige voorbereiding.

Inrichting van nieuwe infrastructuur

De brandstof en de auto vormen niet de enige aandachtspunten in een transitie naar nulmissieauto's. De opbouw van een daarbij passende infrastructuur is zeker zo belangrijk en lastig. Bij batterij-elektrische auto's duurt het opladen langer en is opladen ook vaker nodig door de kleinere actieradius. Dit vraagt om relatief hoge dichtheid aan laadpalen/snellaadstations onderweg. De Green Deal 'Openbaar toegankelijke elektrische laadinfrastructuur' is gericht op kostenreductie, zodat vanaf 2018 rendabele commerciële exploitatie van laadinfrastructuur mogelijk is. Het idee van deze Green Deal is om tot 2018 ten minste 10.000 extra volledig publiek toegankelijke laadpunten te realiseren. Daarvoor moet er een op kostenreductie gericht stimuleringsprogramma komen en een financieringsstructuur voor de uitrol van openbaar toegankelijke laadinfrastructuur. Tot 2018 is maximaal 5,7 miljoen euro subsidie beschikbaar voor die uitrol.

Als op de langere termijn een groot deel van het voertuigpark elektrisch wordt, heeft dat verdergaande gevolgen. Daarbij wil een bezitter van een elektrische auto – zeker gezien de beperkte actieradius – de zekerheid hebben van een nabij de eigen woning gelegen parkeerplaats met een oplaadvoorziening. Van alle woningeigenaren is 85 procent aangewezen op een parkeergelegenheid in de openbare ruimte (Nijland et al 2012). Parkeren in de woonomgeving is al lastig; als er te veel plekken moeten worden vrijgehouden voor steeds meer elektrische voertuigen, kan de weerstand enorm toenemen. Om dit te voorkomen, moeten op tijd plannen voor de inpassing worden ontwikkeld.

Daarnaast is het voor bezitters van elektrische auto's belangrijk om deze ook in buurlanden te kunnen gebruiken. De EU-richtlijn alternatieve brandstoffen (*Clean Power for Transport*) verplicht de lidstaten om in de periode tot 2020 hun laadinfrastructuur uit te breiden. In die internationale samenwerking is standaardisatie al een belangrijk aandachtspunt en zal dat in de komende tijd ook blijven.

Tankstations voor waterstof zijn nog schaars en hebben daarmee de introductie van waterstofauto's uitgesteld. Vanaf 2020 moeten er 20 waterstoftankstations zijn om deze 'impasse' te doorbreken.

Effecten van ander mobiliteitsbeleid op de CO₂-uitstoot

Het infrastructuur- en mobiliteitsbeleid heeft ook effecten op de CO₂-uitstoot, zolang een groot deel van het wagenpark nog rijdt op conventionele brandstoffen. Het gaat daarbij om beleidsopties als een kilometerheffing, rijgedrag (maximumsnelheid), capaciteit van wegen, openbaarvervoeraanbod, fietsbeleid en ruimtelijk mobiliteitsbeleid.

Een kilometerheffing is een effectief middel om het autogebruik te beïnvloeden. Minder autogebruik betekent minder CO₂-uitstoot en ook minder uitstoot van andere schadelijke stoffen zoals fijnstof en stikstofdioxide, minder geluidshinder, minder files en minder verkeersslachtoffers. Het welvaartsverlies door de verminderde mobiliteit is echter fors (CPB & PBL 2015).

De maximumsnelheid heeft invloed op de CO₂-uitstoot. Niet alleen is het brandstofverbruik veel hoger bij een hogere snelheid, de kortere reistijden leiden bovendien nog tot extra autogebruik. Andersom kan een lagere maximumsnelheid de CO₂-uitstoot reduceren. De emissie van schadelijke stoffen, de geluidshinder en het aantal verkeersslachtoffers nemen dan af. Door het lagere brandstofverbruik bespaart de automobilist op brandstofkosten. Daar staat wel welvaartsverlies ten gevolge van de extra reistijd tegenover. Naarmate het autoverkeer schoner en veiliger wordt, wordt een verlaging van de maximumsnelheid minder rendabel.

Meer wegen betekenen meer autogebruik en voorlopig dus ook meer CO₂-uitstoot. In de afgelopen 15 jaar was de groei van de automobieliteit gematigd. De nieuwe langetermijnsenario's van de planbureaus gaan nog steeds uit van een verdere groei van het autoverkeer, maar minder sterk dan voorheen. De wegenprojecten zoals die nu in het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport (MIRT) zijn voorzien, zijn ook in het scenario met een relatief hoge groei voldoende om de congestie tot 2030 niet te laten toenemen (CPB & PBL 2015; zie ook bijlage 2). Dat kan aanleiding zijn om

met deze nieuwe inzichten de projecten nog eens tegen het licht te houden. Wellicht kan in een aantal gevallen ook een congestieheffing de files effectief reduceren zonder het autogebruik verder te stimuleren.

Vanuit klimaat oogpunt is openbaar vervoer veelal gunstiger dan de auto. Dat betekent echter niet dat uitbreiding van het openbaar vervoeraanbod een gunstig effect heeft op de CO₂-uitstoot. Beter openbaar vervoer betekent vooral een betere bereikbaarheid en meer openbaar vervoergebruik. Gemiddeld is ongeveer 15 procent van het extra openbaar vervoergebruik terug te vinden in een afname van het aantal autokilometers. Vanuit klimaat oogpunt is verbetering van het openbaar vervoergebruik dan ook vooral een instrument om de extra reizigers te kunnen opvangen ten gevolge van andere maatregelen.

Stimulering van de (elektrische) fiets levert een bijdrage aan de regionale bereikbaarheid, gezondheid (minder bewegingsarmoede en overgewicht), de luchtkwaliteit en de leefbaarheid in stedelijke gebieden. Volgens een quickscan van Decisio (2012) kunnen de maatschappelijke baten van een overstap van de auto naar de fiets tussen de 10 en 41 eurocent per gereden kilometer bedragen. Hoewel het fietsbeleid in de eerste plaats een regionale en lokale verantwoordelijkheid is, kan het Rijk fietsen in het woon-werkverkeer fiscaal stimuleren en met een gerichte inspanning bijdragen aan een hogere effectiviteit van de lokale en regionale inspanningen (Verrips & Hoen 2016). Bij betere fietsvoorzieningen kan worden gedacht aan stallingsmogelijkheden, herinrichting van de stedelijke verkeersruimte en fiets snelwegen. Slechts een beperkt deel van het extra fietsgebruik is terug te vinden in de afname van het autogebruik, maar wel dat deel van het stedelijk autoverkeer dat qua geluidshinder, luchtkwaliteit en doorstroming hoge externe kosten met zich brengt.

Tot slot heeft ook het ruimtelijke ordeningsbeleid een relatie met mobiliteitsgedrag en CO₂-uitstoot. Het autogebruik is op nieuwbouwlocaties buiten de stadsgewesten 50 procent hoger dan op binnenstedelijke locaties. Het autogebruik door werknemers is in de Randstad op snelweglocaties twee keer zo hoog dan op locaties rond de grote stations. Ruimtelijk mobiliteitsbeleid in de vorm van compacte verstedelijking, het goed benutten van openbaar vervoerknooppunten en een evenwichtige woon-werkbalans leidt tot minder autokilometers en minder CO₂-uitstoot. Dergelijk beleid draagt ook bij aan de bereikbaarheid: door de korte afstanden kunnen vanuit stedelijke locaties meer bestemmingen worden bereikt dan vanuit suburbane locaties. Ruimtelijke keuzes worden veelal op regionaal of lokaal niveau gemaakt. De impact op mobiliteit en bereikbaarheid is een van de factoren die een rol spelen bij ruimtelijke keuzes. Het Rijk kan deze keuzes wel beïnvloeden via het spelregelkader of als belanghebbende aan de onderhandelingstafel (Verrips & Hoen 2016).

Nulemissieopties voor vrachtverkeer

De ontwikkeling van nulemissievoertuigen voor transport over lange afstanden over de weg loopt duidelijk achter en het is veel minder zeker dat dergelijke opties in 2050 al een

grote rol kunnen spelen. Als die er niet komen, dan resteren als opties zuiniger wagens, een efficiëntere benutting ervan en groene brandstoffen (zie voor beleidsopties voor groene brandstoffen paragraaf 4.6).

De ontwikkeling van nulmissievoertuigen is gebaat met praktijkexperimenten met vrachtwagens die onderweg kunnen worden opgeladen (via een bovenleiding of met inductie) of met vrachtwagens op waterstof. Onderzoek in de komende jaren moet er vooral op zijn gericht om tot een keuze tussen de verschillende opties te kunnen komen, omdat het naast elkaar bestaan van genoemde opties niet of slechts zeer beperkt denkbaar is. Een systeem met bovenleiding wordt momenteel in een project van Siemens, Scania en Volvo getest. Voor inductieladen zijn er enkele voorbeelden in het buitenland in het openbaar vervoer en proeven in Zweden en het Verenigd Koninkrijk. Zeker voor onderweg opladen is Europese samenwerking cruciaal. Voor een vervolg van deze ontwikkelingen ligt een Europees samenwerkingsproject voor verdere demonstratie in de praktijk voor de hand. Ook voor rijden op waterstof bevindt de technologie zich nog in de beginfase, waarbij experimenten met proefwagens kunnen worden overwogen. Het is van belang dergelijke ontwikkelingssporen snel in te zetten. De uitrol van de infrastructuur beslaat vele jaren en moet al verregaand zijn gerealiseerd voordat er vrachtwagens op de weg komen die daarvan afhankelijk zijn.

Lucht- en scheepvaart

Lucht- en scheepvaart zijn sectoren die mondiaal concurreren; daarom verdient internationaal beleid de voorkeur. Dat wil niet zeggen dat er met de vanuit Nederland opererende bedrijven geen afspraken (convenanten) kunnen worden gemaakt over zuiniger vlieg- en vaartuigen en eerste stappen in verduurzaming van de ingezette brandstoffen (groene brandstoffen). Dat kan de ontwikkeling van groene brandstoffen (zie paragraaf 4.6) een steun in de rug geven.

Opname van de luchtvaart in het Europese emissiehandelssysteem is een eerste stap geweest. Een ETS op mondiaal niveau voor de lucht- en scheepvaartvaart kan een agendapunt zijn voor het volgende internationale klimaatoverleg.

4.3.3 Welke beleidsopties ondersteunen de ontwikkeling?

Om een reductie van 60 procent (of meer) te halen, is een transitie noodzakelijk.

Een transitie naar duurzame mobiliteit moet voor een groot deel vanuit Europa worden bewerkstelligd. Daarbinnen zijn er meer mogelijkheden voor wegverkeer dan voor lucht- en scheepvaart. De uitstoot kan worden gereduceerd door het stimuleren van zuiniger voer-, vaar- en vliegtuigen, door inzet van andere energiedragers en door ander gedrag (minder mobiliteit, zuiniger rijgedrag). Dat betekent niet dat Nederland zelf niets kan doen. Er zijn diverse mogelijkheden:

1. Nederland kan als EU-lid de internationale besluitvorming direct beïnvloeden (bijvoorbeeld de normering).
2. Nederland kan met stimuleringsbeleid een snellere vergroening van het wagenpark nastreven.
3. Nederland kan met binnenlands mobiliteitsbeleid en ruimtelijke ordening het mobiliteitsgedrag beïnvloeden.

Deze mogelijkheden zijn hierna vertaald in een aantal concrete beleidsopties.

Opties gericht op besluitvorming in Europa

Nederland kan als EU-lid enige invloed uitoefenen op de internationale besluitvorming, direct en indirect; direct in de rol als medeonderhandelaar. Nederlandse kennisorganisaties en experts leveren met onderzoek bijdragen aan de beleids- en besluitvorming. Door elektrisch rijden te stimuleren wordt voor iedereen zichtbaar dat het geen theorie is, maar gewoon al kan, wat de maatschappelijke en daardoor ook de politieke acceptatie versnelt.

Beleidsoptie	Inzet op en actieve ondersteuning van het realiseren van een CO₂-norm voor nieuw verkochte personenauto's op EU-niveau van 35 gram CO₂ per kilometer in 2030.
Indicatie kosten	De kosten voor de overheid zijn beperkt; de meerkosten voor de auto-gebruiker hangen samen met de resultaten van verdere ontwikkeling van de nulemissieauto.
Overwegingen	Om dit emissieniveau als gemiddelde te bereiken, is een hoog aandeel nulemissieauto's noodzakelijk. Daarmee is het een goede opstap naar het doel in het Nederlandse Energieakkoord: in 2035 alleen maar nulemissieauto's nieuw op de markt. Nulemissieauto's die naar verwachting in 2030 een bijdrage kunnen leveren zijn auto's met elektromotoren met energie uit accu's (ontwikkeling loopt voorop) of uit waterstof met een brandstofcel. Aankondiging van een dergelijke normstelling betekent naar verwachting ook een impuls voor verdere R&D en optimalisatie van de productie van nulemissieauto's en vooral de accu's.
Beleidsoptie	Vanaf 2025/2030/2035 voor de verkoop van nieuwe personenauto's alleen nog nulemissieauto's toestaan.
Indicatie kosten	De aanschafprijs van een nulemissieauto is hoger dan van een auto met een verbrandingsmotor, al zal dit verschil metertijd verder afnemen. Hoe eerder de verplichting van kracht wordt, hoe groter het effect van de meerprijs. Overigens komen de kosten voor rijden en onderhoud lager uit en kan dit op termijn leiden tot lagere kosten over de gehele levensduur.
Overwegingen	Dit kan alleen in Europees verband, omdat de toelating van auto's EU-breed is geregeld. Het leidt tot een lagere emissie over de periode 2025-2050, al is deze beperkt omdat de elektriciteitsproductie in de eerste fase van die periode nog zeker niet CO ₂ -vrij zal zijn. Hoe eerder een verplichting ingaat, des te groter kan het effect van een afname van de verkoop van nieuwe auto's zijn.
Beleidsoptie	Verder initiatief voor een ontwikkelingsplan voor oplaadinfrastructuur voor elektrische voertuigen en standaardisatie in West-Europa.
Indicatie kosten	Geen extra kosten in Nederland.
Overwegingen	Voorkomen moet worden dat de ontwikkelingen in Nederland worden afgeremd door het ontbreken van oplaadmogelijkheden in de buurlanden.

Beleids optie	Initiatief voor internationale onderhandelingen over een ETS op wereldwijd niveau voor luchtvaart en voor scheepvaart.
Indicatie kosten	De kosten van maatregelen (en invloed op de prijs van vliegtoeren) zijn afhankelijk van het emissieplafond.
Overwegingen	Geen invloed op onderlinge concurrentiepositie.

Beleids optie	Deelnemen aan experiment met andere West-Europese landen voor nulmissievrachtvervoer en de benodigde infrastructuur daarvoor.
Indicatie kosten	Ondersteunend budget is afhankelijk van de omvang van de proef en het aantal deelnemende landen.
Overwegingen	Het belangrijkste alternatief (groene brandstoffen) biedt geen zekerheid; verdere verkenning en ontwikkeling van deze optie is daarom zinvol.

Opties gericht op versnelde vergroening van het wagenpark

Er zijn verschillende manieren om ook nationaal of regionaal het vergroenen van het wagenpark te stimuleren. Bij het stimuleren van het vergroenen van het wagenpark moet wel rekening worden gehouden met een mogelijk waterbede-effect: Europese autofabrikanten worden afgerekend op de CO₂-uitstootcijfers van hun in geheel Europa verkochte auto's. Als ze door Nederlands stimuleringsbeleid al veel schone auto's in Nederland verkopen, vermindert dat de noodzaak de rest van hun verkoop zuiniger te maken. Mocht het EU-beleid niet voortvarend genoeg zijn, dan is Nederlands beleid het alternatief.

Het ook in of bij de eigen woning kunnen opladen van elektrische voertuigen vraagt aandacht bij de ruimtelijke (her)inrichting van wijken.

Beleids optie	Financiële stimulering nulmissieauto's voor particulieren
Indicatie kosten	In vorm zoals voorgesteld door het Formule E-team ingeschat op 136 miljoen euro.
Overwegingen	Een financiële tegemoetkoming bij de aanschaf van een nieuwe volledig elektrische auto en een laadtegoed bij aankoop van een gebruikte elektrische auto zijn op zich effectieve instrumenten om het bezit van elektrische auto's te stimuleren. Ze komen boven op de bestaande vrijstelling van de bpm en mrb. Overstimulering moet vanwege de potentieel hoge kosten worden vermeden. De snelheid waarmee nulmissieauto's prijstechnisch concurrerend worden, is onzeker. Daarmee is ook onduidelijk of en in welke mate stimulering na 2020 nodig is. Daarom dient de stimulering met regelmaat herijkt te worden, zodat een verantwoorde mate van ondersteuning wordt geboden.

Beleids optie	Extra faciliteiten voor nulmissieauto's, zoals toegang tot de binnenstad, parkeren enzovoort, of een verplicht aandeel voor leasebedrijven.
Indicatie kosten	Niet nader bekeken: afhankelijk van het succes van de regeling.
Overwegingen	Deels lokaal beleid. Specifieke voordelen passen vooral bij stimulering in de eerste fase van toepassing.

Beleids optie	Verplichting voor gemeenten (bijvoorbeeld per 1-1-2020) voor het hebben van ontwikkelingsplannen voor de inrichting van oplaadinfrastructuur, uitgaande van de huidige situatie tot aan een situatie met 25 procent of zelfs 50 procent elektrische personenauto's, rekening houdend met de mogelijke parkeerproblematiek.
Indicatie kosten	Ondersteunend budget voor de gemeenten. Niet nader bekeken.
Overwegingen	In de Green Deal zijn al afspraken gemaakt over uitbreiding van de oplaadinfrastructuur. Als op termijn een groot deel van het wagenpark elektrisch wordt, heeft dat verdergaande consequenties. Tijdige beschikbaarheid met voldoende aandacht voor potentiële parkeerproblemen is een voorwaarde voor een succesvolle verspreiding. Het ook in of bij de eigen woning kunnen opladen van elektrische voertuigen vraagt aandacht bij de ruimtelijke (her)inrichting van wijken. Het is niet zeker dat elektrisch rijden de winnende technologie zal zijn. Op termijn kan waterstof concurrerend blijken te zijn. Een uitrol van oplaadinfrastructuur moet goed passen bij de feitelijke ontwikkeling van het marktaandeel.

Opties gericht op overige beïnvloeding van de mobiliteit

Zolang auto's nog grotendeels op fossiele brandstoffen rijden, is binnenlands mobiliteitsbeleid een manier om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Andersom kan door mobiliteitsbeleid, zoals door de aanleg van nieuwe weginfra door verhoging van de maximumsnelheid, de klimaatopgave worden vergroot. Feitelijk gaat het erom bij mobiliteitsbeleid het klimaateffect als een van de aspecten in de afweging mee te blijven nemen, naast de effecten op de bereikbaarheid, luchtkwaliteit, geluidshinder en verkeersveiligheid. Die effecten zijn niet constant in de tijd. Het kan op korte en middellange termijn effectief zijn om het autogebruik te ontmoedigen, maar die noodzaak kan – vanuit de optiek van reductie van broeikasgasemissies – afnemen naarmate het autoverkeer schoner wordt.

Beleids optie	Verhoging van de accijns op brandstof (eventueel specifiek op de CO₂-emissie bij gebruik van de brandstof).
Indicatie kosten	Levert extra inkomsten voor de staat.
Overwegingen	Door de directe relatie met brandstofverbruik is accijns een efficiënte manier om de CO ₂ -uitstoot van autogebruik te beprijsen. Een verhoging van de brandstofprijzen met 1 procent leidt op de lange termijn tot 0,6 à 0,8 procent lager brandstofverbruik. Deels wordt dit veroorzaakt door de aanschaf van zuiniger auto's of zuiniger rijgedrag. Het autogebruik daalt op termijn met circa 0,4 procent (Geilenkirchen et al. 2010). Op dit moment is de accijns redelijk in lijn met de maatschappelijke kosten van automobilititeit (Verrips & Hoen 2016). Bij een sterke verhoging van de accijns is het maatschappelijk verlies als gevolg van de afname van het autogebruik groter dan de baten voor verminderde uitstoot, verkeersveiligheid en afname files. Een groot verschil in accijns met de buurlanden leidt tot grenstanken. Op dit moment wordt er echter in Nederland nog meer diesel verkocht dan verbruikt. Een overstap naar elektrisch rijden heeft overigens grote gevolgen voor de accijnsinkomsten. De belasting op elektriciteit is beduidend lager.

Een alternatief voor eerdergenoemde beleidsopties is een nieuwe aanpak waarin ieder individu binnen randvoorwaarden keuzes kan maken.

Beleidsoptie	Verkenning van een systeem met een CO₂-budget (verhandelbaar tussen automobilisten/burgers) voor persoonlijk vervoer van Nederlanders tussen 2020 en 2030, uitgaande van de afspraak in het Energieakkoord over de emissie van verkeer en vervoer in Nederland als geheel in 2030.
Indicatie kosten	Niet nader bekeken. De vrijheid van handelen voor de consument maakt dat de extra kosten afhankelijk zijn van hun keuzes (minder of andere mobiliteit kan tot besparingen leiden, aanschaf van elektrische auto's tot extra kosten).
Overwegingen	De uitvoerbaarheid en handhaafbaarheid vormen serieuze barrières voor een dergelijk beleidsinstrument. Grenseffecten, handelen met brandstof die in eerste instantie voor vrachtverkeer is getankt, zijn voorbeelden van zaken die kunnen optreden en die realisatie lastig maken. CE-Delft (2007) deed ook al de suggestie voor introductie van een CO ₂ -budget, maar vooral aan de hand van verhandelbare rechten tussen brandstofproducenten. Voordeel van een CO ₂ -budget, onafhankelijk van de vorm, is dat er bij goede handhaving meer zekerheid kan bestaan over het halen van een emissiedoel en dat het een impuls betekent voor alle denkbare opties (technisch en qua gedrag) voor alle betrokken partijen, consumenten en producenten. Voor eventuele introductie zijn er proeven nodig. Samenwerking met omliggende landen maakt het kansrijker. Het instrument heeft een duidelijk sociaal aspect dat wordt weerspiegeld in de verdeling van de CO ₂ -budgetten.

Daarnaast zijn er andere, specifiekere op gedragsverandering gerichte opties.

Beleidsoptie	Een kilometerheffing.
Indicatie kosten	Afhankelijk van vorm.
Overwegingen	Prijsbeleid is een effectief middel om het autogebruik te beïnvloeden. In 2015 hebben PBL en CPB een MKBA uitgevoerd naar prijsbeleid voor personenautoverkeer. Een heffing van 7 eurocent per kilometer kan leiden tot een reductie van het autoverkeer met 10 à 15 procent. Minder autogebruik betekent minder CO ₂ -uitstoot, maar ook minder uitstoot van andere schadelijke stoffen zoals fijnstof en stikstofoxiden, minder geluidshinder, minder files en minder verkeersslachtoffers. Het welvaartsverlies door de verminderde mobiliteit is echter fors. Alleen bij een zeer forse toename van de files zijn de reistijdwinsten en de milieu- en veiligheidsbaten in evenwicht met de maatschappelijke kosten van de vraaguitval. Een congestieheffing is een efficiëntere manier om via prijsbeleid congestie te reduceren.

Beleidsoptie	Betere fietsvoorzieningen.
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	De fiets is het meest milieuvriendelijke vervoermiddel. De elektrische fiets biedt daarnaast extra comfort en vergroot de bereikbaarheid.

Beleidsoptie	Overig mobiliteitsbeleid, zoals het heroverwegen van infrastructuurprojecten, lagere maximumsnelheid, meer openbaar vervoer en ruimtelijk mobiliteitsbeleid
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	Andere vormen van mobiliteitsbeleid hebben invloed op het autogebruik en kunnen bijdragen aan minder CO ₂ -uitstoot. Het effect op de CO ₂ -uitstoot moet met de andere effecten (op onder andere de bereikbaarheid, verkeersveiligheid en geluidshinder) worden meegewogen.

4.4 Verduurzaming van de industrie

4.4.1 Hoe kan het toekomstbeeld voor 2050 eruitzien?

Inleiding

De CO₂-emissie van het grootste deel van de industrie valt onder het Europese ETS, waaronder de emissies worden afgebouwd (zie ook hoofdstuk 5). Een CO₂-prijs alleen is echter niet genoeg om de technologische veranderingen die nodig zijn voor een transitie naar een CO₂-arme maatschappij te bewerkstelligen. Grote onzekerheden over bijvoorbeeld de ontwikkeling van de economie, maar ook over het beleid op de lange termijn, maken dat bedrijven ook bij een hogere CO₂-prijs terughoudend zijn bij het investeren in de inzet van nieuwe, koolstofarme technologieën. Ook het risico dat opgebouwde kennis weglekt naar andere bedrijven (kennisspillovers) maakt dat er te weinig innovatie plaatsvindt. Naast een verbetering van het Europese ETS (hoofdstuk 5) is aanvullend beleid nodig om broeikasgasemissies substantieel te reduceren en innovaties te bevorderen, bijvoorbeeld in de vorm van subsidies om de uitrol van inmiddels ontwikkelde schone technologieën of de ontwikkeling van geheel nieuwe technologieën te stimuleren (Acemoglu et al. 2016). In deze paragraaf gaan we daar verder op in. De industrie omvat een grote diversiteit aan processen, van zeer grote tot kleine schaal. Dat maakt het lastig om tot een krachtige, doelgerichte beleidslijn te komen. In veel gevallen is maatwerk gewenst, dat beleidsmatig vooral met specifieke vergunningen vorm wordt gegeven. Toch wordt in deze korte analyse getracht enkele hoofdlijnen in beeld te brengen.

De Nederlandse industrie emitteerde in 2014 44 megaton CO₂. Volgens de *Nationale Energieverkenning* (ECN & PBL 2015) ligt het primaire besparingstempo bij doorzetting van aangekondigd beleid op ongeveer 0,6 procent, en stijgt het totale energieverbruik tot 2030 licht. Om in 2050 het doel van minimaal 80 procent emissiereductie in Nederland te bereiken, is het huidige tempo van besparingen in de industrie daarmee onvoldoende.

Het beeld van de industrie in 2050 is onzeker, omdat de ontwikkelingen van de verschillende sectoren over een zo lange periode niet goed kunnen worden voorspeld. We baseren de analyse daarom voornamelijk op de huidige industriële activiteiten. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen procesemissies en emissies die zijn gerelateerd aan de warmtevoorziening.

Technische uitvoering

De technische maatregelen voor verregaande CO₂-emissiereductie zijn ruwweg in te delen in de volgende categorieën:

1. *Energie-efficiëntieverbeteringen* van bestaande processen en apparaten, zoals het vermijden van onnodig verbruik, de keuze voor energie-efficiënte technologie en het gebruik van restwarmte. Verbeterde processen kunnen ook leiden tot besparing op grondstoffen of verbeterde productkwaliteit.
2. *Elektrificatie* van de industrie betreft de vervanging van de inzet van fossiele brandstoffen door elektriciteit. Elektriciteit kan onder andere worden ingezet bij het genereren van proceswarmte (*power-to-heat*, bijvoorbeeld met elektrische warmtepompen waarbij omgevingswarmte of restwarmte kan worden opgewaardeerd), de productie van waterstof gevolgd door ammoniak (*power-to-products*) of naar methaan (*power-to-gas*), of bij het vervangen van thermische processen door elektrochemische processen. De laatste processen worden beschreven onder punt 3 hierna, (innovaties en nieuwe processen), omdat die vaak nog in een R&D-fase zitten, of nog moeten worden ontwikkeld. Ook hybride systemen (elektriciteit en gas) kunnen worden ingezet. Hiermee kan worden ingespeeld op het fluctuerende aanbod van hernieuwbare elektriciteit en daarmee op de elektriciteitsprijs. Deze vorm van vraagsturing helpt een betere balans tussen vraag en aanbod van elektriciteit te bereiken.
3. *Innovaties en overige nieuwe processen* betreffen een grote diversiteit; we noemen hierna enkele voorbeelden. In de staalproductie (jaarlijkse emissie rond de 6 megaton) kunnen verbeterde processen (zoals Hisarna) de ijzer- en staalproductie een stuk energiezuiniger maken. Geconcentreerde CO₂ die in dit proces vrijkomt, kan na zuivering, droging en compressie direct worden gebruikt of opgeslagen (CCS). In de chemische industrie kunnen chemische processen worden vervangen door biotechnologische processen, waarbij een veel lagere temperatuur nodig is en dus op gas kan worden bespaard. In diverse processen zijn sterk verbeterde productzuiveringen en -scheidingen te bereiken door buitengewoon energie-intensieve destillatie en verdampers (thermische processen) te vervangen door (pervaporatie)membranen.
4. *Circulair grondstofgebruik* kan de norm worden in de toekomst. Er zijn drie manieren om het grondstofgebruik circulair te maken: a) biobased en bioafbreekbaar produceren als ook inzet van bio-energie; dit wordt ook wel aangeduid met circulaire productie in de biosfeer, waarbij biobased grondstoffen dienen als vervanger van fossiele grondstoffen; b) hergebruik: afgedankte producten weer opwerken tot grondstof voor de productie van nieuwe producten, liefst van dezelfde soort; c) niet-herbruikbare kunststof- en biomassa-stromen kunnen, als alternatief

voor direct verbranden, worden omgezet in olie en gas door (hydro)pyrolyse. Daarnaast kan emissiereductie worden bereikt door veranderingen in het consumptiegedrag veranderen (deeleconomie) of het produceren van andere producten (langere levensduur, kleinere CO₂-voetafdruk).

5. *Toepassing van CCS*, de opvang en ondergrondse opslag van CO₂, is een optie voor relatief grote puntbronnen van CO₂. CCS wordt gezien als een oplossing voor moeilijk te vermijden procesgerelateerde CO₂-emissies en wordt in dat verband genoemd als belangrijkste maatregel voor reductie van broeikasgasemissies bij ruwe ijzerproductie, ammoniakproductie, waterstofproductie en cement-klinkerproductie. De meest pure (>95 procent) stromen (ethanolproductie, ammoniakproductie) kunnen tegen de laagste kosten worden afgevangen. Bij de andere genoemde bronnen komt de tijdens het proces gevormde CO₂ in redelijk hoge(re) concentraties (>20 volumeprocent) in de procesgassen in grote volumes vrij, waardoor het schaalvoordeel in afvangkosten groot is en de CO₂ daardoor makkelijker en nog tegen relatief lage kosten kan worden afgevangen. Afvang van CO₂ bij bronnen met minder geconcentreerde afgasstromen, zoals bij grote gasgestookte ketels, is ook mogelijk maar duurder.

Buiten deze vijf technische opties, die veelal grote consequenties hebben op de processen, kan ook de warmtevraag op een andere manier – en niet industrie specifiek – worden ingevuld. Lage-temperatuurwarmte (< 250°C), dat veel wordt gebruikt in de voedingsmiddelenindustrie, papierindustrie en chemie, kan mogelijk direct worden geleverd uit verschillende hernieuwbare bronnen, zoals (diepe) geothermie, duurzaam opgewekte elektriciteit (zoals benoemd onder *elektrificatie*), en eventueel biomassa of daaruit afgeleide brandstoffen (groen gas, pyrolyseolie). Hoge temperatuurwarmte, zoals gevraagd in deelsectoren van de bouwmaterialenindustrie, kan worden geproduceerd op basis van groen gas of hernieuwbare elektriciteit (bijvoorbeeld in vlamboogovens).

De genoemde maatregelen kennen verschillende tijdschalen voor grootschalige impact en toepassing. Energie-efficiëntieverbeteringen, elektrificatie (1 en 2) en inzet van alternatieve warmtebronnen kunnen al snel worden ingezet, op een termijn van 0-15 jaar bij (natuurlijke) vervanging of toevoeging van apparaten of processen. Innovaties en nieuwe processen (3), en, voor een deel, circulair grondstofgebruik (4) vereisen ingrijpendere procesvervangingen en verdere ontwikkeling, en zullen pas op langere termijn grootschalig worden ingepast (20-30 jaar). CCS (5) kan ook relatief snel ontwikkeld worden, maar dat hangt samen met de ontwikkeling van infrastructuur en organisatie. Een tijdschaal van 10 jaar is technisch mogelijk.

Betrokken actoren

- *Bedrijven (energieverbruikers/emittenten)* zijn essentieel in ontwikkeling en implementatie en kunnen door toepassing van een secure energiehuishouding en verregaande innovaties hun concurrentiekracht blijven behouden. Daarbij moet onderscheid

worden gemaakt tussen grote bedrijven die zelf een grote rol spelen in innovatie en kleine bedrijven die veel meer afhankelijk zijn van kennisinstellingen.

- *Producenten/leveranciers van nieuwe technologie/installaties* kunnen bewezen technologie in specifieke toepassingen en demo's omzetten en kunnen helpen met het inzichtelijk maken van energiezuinige technologieën.
- *Uitvoerders energie-audits* kunnen een belangrijke(re) rol gaan spelen. Ook kunnen nieuwe dienstverlenende bedrijven een plek vinden in het faciliteren van energie-audits en het in kaart brengen van rendabele investeringen op dit vlak.
- *Netbeheerders en energiebedrijven* hebben een belangrijke rol, bijvoorbeeld voor warmtedistributienetwerken tussen industrieën, en voor het faciliteren (flexibel) van verhoogd elektriciteitsverbruik van hernieuwbare bronnen.
- *Financiers* kunnen kapitaal beschikbaar stellen voor financiering van energie-besparende maatregelen/innovaties, en voertuigen hiervoor ontwikkelen.
- *Consumenten* bepalen voor een belangrijk deel de marktpositie van veel bedrijven en ook de betekenis van een groen imago. Beleid gericht op consumentenproducten kan een stimulans zijn, zowel voor de consumenten bij hun afwegingen welke producten te kopen, als voor de producenten om CO₂-arme producten op de markt te brengen.

De potentiële klimaatwinst

Bij een sterke inzet op energiebesparing kan deze grofweg op hetzelfde niveau liggen als de groei van industrie. Door procesinnovatie is de schatting dat daarbovenop 30-40 procent (orde van grootte 15 megaton) reductie kan worden behaald, waarvan een derde momenteel al commercieel beschikbaar is (CE Delft 2016). Het potentieel van verdere elektrificatie (waarvan een deel al bij energiebesparing zit), circulair grondstofgebruik, en andere hernieuwbare bronnen kan aanzienlijk zijn, maar is lastig vooraf te kwantificeren.

De noodzaak van CCS is sterk afhankelijk van het al dan niet succesvol doorvoeren van de andere opties. In de huidige situatie lijkt het maximumpotentieel voor CO₂-afvang bij maximale kosten tot 80 euro per ton CO₂ uit te komen op circa 18-25 megaton CO₂ per jaar (exclusief hoogovengasgestookte energiecentrales). Bij toepassing van groen gas of biomassa in stoomketels in combinatie met CCS kunnen ook negatieve emissies worden gerealiseerd.

4.4.2 Welke stappen kunnen er in de komende jaren worden gezet?

Aanvullend beleid wordt vooral gevoerd met een sterke focus op convenanten: Meerjarenaafspraken energie-efficiëntie (MEE, voor ETS-bedrijven) en MJA3 (voor niet-ETS-bedrijven). Voor de overige bedrijven geldt de Wet milieubeheer, die verplicht tot investeringen met een kortere terugverdientijd dan vijf jaar. Mede als gevolg van mogelijke uitzonderingssituaties en beperkte handhaving is er nog een aanzienlijk potentieel onbenut.

Per categorie kunnen op korte termijn een aantal stappen worden gezet.

Energie-efficiëntie

Door inzicht in de mogelijkheden voor besparingen te verhogen, en handhaving te versterken, kan nog meer worden bereikt. Extra facilitering met kennis en menskracht kan de lijsten met energiebesparingsmaatregelen verder uitbreiden, en sanctiebeleid of versterking van handhaving kan ervoor zorgen dat energie-efficiënte maatregelen eerder worden doorgevoerd. De terugverdientijdseisen kunnen steviger worden neergezet, bijvoorbeeld 5 of 8 jaar, met bewijslast bij de bedrijven als die door specifieke omstandigheden onmogelijk zouden zijn. Deze eisen kunnen ook bij de MEE-bedrijven worden gesteld. Ook kan er worden gedacht aan het (verder) ontwikkelen van energieprestatiekeuringen (EPK's), en het stimuleren van de opbouw van een ESCo-bedrijfstak: de energievoorziening en het management daarvan worden uitbesteed aan een Energy Service Company die de energiehuishouding efficiënter kan organiseren.

Elektrificatie

Elektrificatie van industriële processen maakt inzet van elders opgewekte duurzame energie mogelijk. Deze bronnen kennen vaak een variabel aanbod (zon, wind), en vereisen daarom een andere inpassing. Met hulp van hybride warmtesystemen kan gebruik worden gemaakt van elektriciteit bij goedkoop aanbod, en van andere brandstof (gas) alleen bij hoge elektriciteitsprijzen. Een herziening van de elektriciteitstarieven en het stimuleren van de ontwikkeling en toepassing van hybride (warmte)systemen kunnen de inpassing van een groter aandeel hernieuwbare elektriciteit in de industrie faciliteren. Soms is verzwaren of aanleg van elektriciteitskabels daarvoor nodig, en kan samen met netbeheerders en bedrijven per situatie worden bekeken waar dat, maatschappelijk, de beste oplossing biedt, en hoe de investering moet worden gefinancierd.

Innovaties en nieuwe processen

Veel procesinnovaties zijn nog in ontwikkeling. Op dit moment is voor ruwweg een derde van de processen een nieuw proces met een significant lagere energievraag en/of CO₂-emissie commercieel beschikbaar. Voor de overige twee derde van de geïdentificeerde optimale procesintensificaties is er belang bij verder onderzoek en ontwikkeling. Het gaat dan om de ontwikkeling tussen de *proof of principle* die bij kennisinstututen op laboratoriumschaal worden geleverd en het bewijs van technologische volwassenheid dat door langeduurtesten op industriële schaal in de praktijk kan worden geleverd. Vooral kleinere innovatieve mkb-bedrijven blijven vaak steken in deze 'vallei des dood's'. Door gerichte financierings- en onderzoeksprogramma's voor deze kostbaardere prototypes en *pilot plants* voor technologieën in deze fase kan hieraan een impuls worden gegeven. Er kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het intensiveren van innovatiebeleid (bijvoorbeeld topsectoren) en de verhoging van de bijbehorende ontwikkel- en uitrolsubsidies.

Circulair grondstofgebruik

Circulair grondstofgebruik, en als onderdeel daarvan biobased processen, vormt een zeer brede klasse met een groot potentieel (zie ook kader 4.4.1). Ook efficiënter

4.4.1 Circulair grondstofgebruik: voorbeeld

Een goed voorbeeld van circulair biobased materiaalgebruik is de Nederlandse papierindustrie. Meer dan 85 procent van het papier dat in Nederland wordt gebruikt, wordt ingezameld om weer te dienen als grondstof voor de productie van nieuw papier. Dit herhaalt zich totdat de vezels zo sterk versleten zijn dat ze niet meer geschikt zijn voor papierproductie (na 7-8 keer recycelen). Dan worden de vezels afgevoerd en gebruikt voor energieproductie, door bijstook in cementovens of kolencentrales of als deel van het biogene materiaal in afvalverbrandingsinstallaties. Op die manier dragen ze bij aan de biobased energieproductie in Nederland.

materiaalgebruik en de keuze voor minder milieubelastend materiaal kunnen leiden tot een significante reductie van de CO₂-voetafdruk bij grondstoffen. Onderdeel hiervan, en van circulair grondstofgebruik is ook het toepassen van nieuwe processen. Het echt integraal optimaliseren van materiaalstromen is ingewikkeld. Een eerste stap is het beter ontsluiten van keteninformatie van producten. Een volgende stap kan dan normering of beprijzing zijn. Bestaande recycling van kunststoffen en metalen kan verder worden geoptimaliseerd en gefaciliteerd.

CCS

Stappen die hierin kunnen worden gezet liggen de komende tijd onder andere in het klaarzetten van de infrastructuur. De beschikbaarheid van (rest)warmtebronnen (die kunnen worden benut voor de afvang) en CO₂-bronnen bij kandidaat-industrieën kunnen scherper in kaart worden gebracht, met duiding van welke industrieën het meest aan deze optie kunnen hebben. Dit moet dan gepaard gaan met het in kaart brengen van de infrastructuur en het opstellen van een routekaart (zie hiervoor paragraaf 4.6). Tijdens deze fase zullen ook eerste-orde technische en financiële haalbaarheidsstudies naar concrete opties bij de industrie moeten worden uitgevoerd, voor zover nog niet gedaan. In de huidige situatie wordt niet voor CCS gekozen omdat de CO₂-prijs in het ETS de enige beleidsprikkel is en deze te laag is. Versterking van het ETS kan dit verbeteren (zie hoofdstuk 5), maar het is onzeker of hiermee het mogelijke emissiereductiepotentieel snel kan worden benut. Specifieke beleidsprijkkels kunnen daarom worden overwogen. Aangezien vooral de kosten voor afvang sterk kunnen variëren, ligt het voor de hand in een eventuele meer verplichtende brongerichte benadering te beginnen met CO₂-stromen die bij enkele industriële processen al in geconcentreerde vorm vrijkomen en dan geleidelijk de minder geconcentreerde stromen mee te nemen. Doordat dit doorwerkt op de emissies in de ETS-sector kan dit een drukkend effect hebben op de prijs van ETS-rechten door het waterbedeffect (zie ook kader 4.4.2).

4.4.2 Carbon leakage

Het effect van *carbon leakage*, ofwel dat bedrijven uit Nederland zouden wegtrekken of de productie zou verschuiven naar buitenlandse vestigingen – als gevolg van beleid om emissiereductie te bewerkstelligen – en elders doorgaan met hoge emissies, wordt nogal eens gebruikt om maatregelen in Nederland tegen te gaan. Onderzoek naar dit effect geeft een wisselend beeld, maar geen bewijs dat het daadwerkelijk optreedt (Ecorys 2013). Ten slotte kan verduurzaming ook leiden tot reductie van kosten op de lange termijn en daardoor de concurrentiepositie op de lange termijn bevorderen. Daarnaast zijn er ook vestigingsplaatsfactoren waarin Nederland goed scoort, zoals een gunstige ligging van zeehavens, goede infrastructuur, een stabiele sociale situatie op de arbeidsmarkt en een hoog opleidingsniveau.

4.4.3 Welke beleidsopties ondersteunen de ontwikkeling?

Hieronder geven we een – niet uitputtende – lijst met beleidsopties om de genoemde maatregelen te versterken. Daarnaast valt in Europees verband uiteraard te denken aan het versterken van het ETS (zie hoofdstuk 5).

Er kan worden gezocht naar krachtiger prikkels om de opties voor procesvernieuwing daadwerkelijk in praktijk te brengen.

Beleidsoptie	Budgetneutrale CO₂-prijsprikkel voor de energie-intensieve industrie. Bijvoorbeeld conditionele heffing op basis van het verschil tussen werkelijke emissie en een emissie passend bij best practices (benchmark) in combinatie met teruggaaf via tenderregeling gericht op vernieuwende projecten met CO₂-vermindering.
Indicatie kosten	Verschuiving van lasten binnen de industrie (ECN & PBL 2016). Mogelijke optie geeft een kosteneffectiviteit ² van 33 euro per ton in 2020 en 40 euro per ton in 2030, met CO ₂ -reducties van 0,6 megaton en 4,6 megaton respectievelijk. Kosten en CO ₂ -reductie zijn afhankelijk van de exacte invulling.
Overwegingen	Heffing voor bedrijven, bijvoorbeeld op basis van hoeveel hun emissies hoger zijn dan een doelwaarde die voor de betreffende bedrijfstak is vastgesteld. Terugsluis kan bijvoorbeeld via een tenderregeling zorgen voor een tegemoetkoming in de kosten van CO ₂ -reducerende maatregelen. Zet naar verwachting bestaande MEE-convenanten buiten spel, en geeft ook kans dat de bestaande EIA niet (veel) meer uithaalt. Hernieuwbare energie onder deze regel zou niet onder de SDE+-moeten vallen.

Een andere mogelijkheid hiervoor combineert ondersteuning bij ontwikkeling en toepassing met een verplichting voor emissiereductie, eventueel op een bepaalde termijn, afhankelijk van de benodigde ontwikkelingstermijn.

Beleids optie	Tenderregeling voor ondersteuning bij procesvernieuwing in combinatie met verplichtende afspraken over toepassing en eventueel CO₂-emissievermindering (mogelijk vast te leggen in vergunningen).
Indicatie kosten	Overheidssubsidieprogramma. Niet nader bekeken.
Overwegingen	Implementatie nieuwe processen die nog niet geheel marktrijp zijn, maar wel grote potentie hebben om in de toekomst in de markt een rol te spelen. Daarbij ook aandacht voor flexibiliteitsopties (<i>demand-response</i>) bij industriële processen, eventueel kennisbeleid voor ontwikkelen.

Of een benadering met een minder verplichtend karakter:

Beleids optie	Extra subsidie voor demonstratieprojecten en implementatieonderzoek.
Indicatie kosten	Niet nader bekeken. De investeringskosten van demonstratieprojecten variëren sterk, afhankelijk van het type proces en keuze voor een pilot of eerste grootschalige toepassing. Het kan afhankelijk van de schaalgrootte om 10 miljoen euro gaan, maar ook om honderden miljoenen.
Overwegingen	Om te bepalen welke innovaties voor een dergelijke ondersteuning in aanmerking komen, is transparant additioneel beleid nodig. Een mogelijkheid hiervoor is een openbare webbased 'denktank' voor belangrijke innovaties. In een zogenoemde Innovatie Bibliotheek is transparant welke innovaties naar de markt zijn gekomen en welke in de 'pijplijn' zitten en op termijn te verwachten zijn. Door middel van een transparante <i>ranking</i> door experts kan focus worden gevonden welke technologische innovaties sterk zullen bijdragen in de doelstelling van CO ₂ -emissiereductie en worden geen innovaties 'vergeten'. De overheid ontwikkelt criteria, toetst maatschappelijk draagvlak, en zorgt waar nodig voor afstemming met het buitenland.

Bovenstaande opties zijn sterk gericht op innovatie en ingrijpende aanpassingen. Hierna volgen enkele opties die dichter bij het huidige beleid staan.

Beleids optie	Aanscherpen MEE- en MJA3-convenanten.
Indicatie kosten	In eerste instantie komen de kosten bij de betrokken bedrijven terecht, maar de energiebesparingsmaatregelen kunnen in veel gevallen rendabel zijn voor desbetreffende bedrijven.
Overwegingen	Verplichting om inzicht te hebben in de energiestromen door een energiejaarrekening met energiebalans inclusief verliezen, gebaseerd op metingen van deelprocessen en analyse voor warmtestromen om te detecteren waar (onnodige) verliezen optreden en/of beter gebruikt of hergebruikt kunnen worden (PINCH-analyse). Lozing van restwarmte bij hoge temperatuurniveaus verbieden tenzij uit te leggen. Aandeel werkelijk toegepaste duurzame energie apart vermelden, naast een zogenoemde Key Performance Indicator (KPI) voor fossiele energieverbruik per eenheid van product. Momenteel wordt door RVO ook al aan aanscherping gewerkt. Invoeren van bovengenoemde budgetneutrale CO ₂ -prijsprikkel kan het aanscherpen van MEE- en MJA3-convenanten overbodig maken.

Beleids optie	<i>Verscherpen handhaving wet milieubeheer.</i>
Indicatie kosten	Daadwerkelijke kosten liggen bij de overheid, voor handhaving en derving belastinginkomsten. In eerste instantie komen er ook kosten bij de betrokken bedrijven, maar de korte terugverdientijd maken de energiebesparingsmaatregelen snel rendabel voor desbetreffende bedrijven. Een variant is doorgerekend (ECN & PBL 2016) waarbij emissiereducties worden geschat op 1 megaton per jaar, en kosten-effectiviteit op -71 euro per ton in 2020 en -107 euro per ton in 2030.
Overwegingen	Hier is al aandacht voor. Gedacht kan worden aan het verplichten van energieprestatiekeuringen (EPK's) om de handhaving te kunnen aanscherpen. Daarbovenop kunnen maatregelen die onder de Wet milieubeheer vallen worden uitgebreid, door het uitbreiden van de jaarlijks te updaten lijst voor iedere industriesector met specifieke generieke maatregelen en/of een minimum aan energiezuinige types (labels en energie-klassen) en het opschroeven van de terugverdientijd. Aantoonplicht bij de bedrijven leggen in plaats van bij de handhavers.

Voor de toepassing van CCS in de industrie zijn er de volgende, elkaar aanvullende beleids opties.

Beleids optie	<i>Subsidie voor een demonstratieproject voor CCS bij een gasgestookte installatie.</i>
Indicatie kosten	Afhankelijk van de grootte van het project. In de NEV 2015 werd een schatting van minimaal 420 miljoen euro geraamd voor een project zoals ROAD (ECN & PBL 2015).
Overwegingen	Het gasverbruik bij de industrie is aanzienlijk en een belangrijk deel daarvan vindt plaats in relatief grote verbrandingsketels waarvoor CCS een optie is; een experiment is erop gericht om tot verdere optimalisatie van het afvangproces te komen.

Beleids optie (zie ook paragraaf 4.7)	<i>Traject voor afvang verplichting per bron uitstippelen aan de hand van de routekaart.</i>
Indicatie kosten	Niet nader bekeken. Mede afhankelijk van condities waaronder verplichting wordt afgesproken.
Overwegingen	Dit kan volgen op of onderdeel zijn van het maken van een routekaart. Maatschappelijk draagvlak is een randvoorwaarde. Helder moet worden afgesproken welke varianten voor CO ₂ -afvang en -opslag wel en niet aanvaardbaar zijn voor maatschappelijke partijen. Afvang en opslag van CO ₂ leidt tot minder vraag naar ETS-rechten, met een drukkend effect op de prijs van ETS-rechten en leidt door het waterbedeffect niet noodzakelijk tot EU-brede emissiereductie. Om die reden is inzet op beleid in EU-kader dat leidt tot krachtige prikkels voor deze maatregelen op EU-niveau ook een belangrijke optie.

Beleids optie (zie ook hoofdstuk 4.7)	Financiële instrumenten voor ondersteuning van exploitatie van afvang vanaf 2025. Bijvoorbeeld een SDE+-achtige constructie waar (een deel van) de meerprijs boven op de ETS-prijs wordt vergoed of andere stimulering voor investeringen in CO₂-afvang bij bepaalde bronnen.
Indicatie kosten	Het huidige kostenniveau voor afvang bedraagt ³ (Brownsort 2013; ECN 2011; IEA 2013): <ul style="list-style-type: none"> – 10-20 euro per ton CO₂ voor industriële CO₂-bronnen met CO₂-concentraties > 90 procent; – 40-50 euro per ton CO₂ voor industriële CO₂-bronnen met CO₂-concentraties tussen 20-70 procent; – 40-50 euro per ton CO₂ voor kolencentrales (bij basislast productieprofiel); – 60-80 euro per ton voor grote gasgestookte industriële vuurhaarden. Verwachte ETS-prijs rond 2025 ligt rond de 10-15 euro per ton, maar is erg onzeker.
Overwegingen	Afvang alleen stimuleren bij bronnen waar deze niet te duur is, maatschappelijk geaccepteerd is, en waar geen andere decarbonisatieopties beschikbaar zijn.

4.5 Elektriciteitsproductie en -voorziening

4.5.1 Hoe kan het toekomstbeeld voor 2050 eruitzien?

Uitgangspunten

In vergelijking met andere sectoren zijn de huidige emissies van de elektriciteitsproductie relatief hoog, maar zijn er veel CO₂-arme technieken. Uit systeemstudies blijkt daarom dat de uitstoot van CO₂ uit deze sector het snelst en meest drastisch kan worden verminderd (IPCC 2014).

De EU-klimaat- en energiedoelen voor 2030 bevatten onder andere een doel voor het realiseren van 27 procent hernieuwbare energie in de Europese Unie als geheel. Dit komt overeen met een hernieuwbare-elektriciteitsproductie van circa 50 procent in 2030 (COM-SWD 2014). Bij een CO₂-arm energiesysteem in 2050 speelt elektriciteit naar verwachting een grotere rol dan nu en zal de gehele elektriciteitsproductie ten minste broeikasgasneutraal zijn. Delen van de warmteopwekking in de gebouwde omgeving en industrie, en delen van het transport kunnen worden geëlektrificeerd. Dat vergt onder andere verzwaren van het hoofdnets en van de distributienetten. Bovendien kan er met elektriciteit waterstof worden geproduceerd, dat – indien gewenst – vervolgens weer kan worden omgezet in andere brandstoffen.

Integratie van niet-regelbare hernieuwbare-elektriciteitsproductie vergt verdergaande integratie van het energiesysteem, waarbij elektriciteit kan worden opgeslagen (zoals in batterijen, gas of warmte). Dit behelst onder andere het introduceren van marktprikkels om de vraag naar elektriciteit flexibeler te maken. Ook zijn er prikkels nodig waardoor er voldoende back-upcapaciteit beschikbaar is, en investeringen in CO₂-arme opwekkingscapaciteit renderen ondanks dalende prijzen.

Vraag en aanbod

De ontwikkeling van de elektriciteitsvraag hangt af van economische ontwikkeling, efficiencyverbeteringen en elektrificatie van andere onderdelen van het energiesysteem, zoals de warmtevoorziening in woningen, gebouwen en de landbouw, hogetemperatuurwarmteproductie in de industrie en elektrisch transport. De mate waarin de vraag zal toenemen is onzeker en kan wel met een factor vier verschillen (Daniels & Koutstaal 2016). Al met al kan de elektriciteitsvraag in 2050 oplopen tot het dubbele van de huidige vraag.

Het aanbod van elektriciteit zal een variabelers tijdsprofiel hebben als gevolg van natuurlijke schommelingen in een toenemend aanbod uit wind en zon. Ook waterkracht, hoewel alleen indirect van belang voor Nederland, kent natuurlijke schommelingen. De rest van het elektriciteitssysteem kan deze schommelingen opvangen door flexibilisering van het aanbod en van de vraag.

Varianten voor de technische uitvoering

Technische opties voor besparing op elektriciteitsgebruik liggen vooral in efficiencyverbetering van apparatuur die bij bedrijven en in huishoudens wordt gebruikt. Beleid daarop wordt vooral op EU-niveau vormgegeven met de Ecodesign-richtlijn (EC 2009; EU 2012).

De belangrijkste CO₂-arme elektriciteitsproductieopties in de Nederlandse context zijn: hernieuwbare opwekking, opwekking op basis van fossiele brandstoffen met CCS en kernenergie. Hieronder volgt een schets van het potentieel van deze technieken.

- Hernieuwbaar:
 - o *Windenergie*. Vooral wind-op-zee heeft een groot potentieel van 170 terawattuur (40 gigawatt)⁴ (schatting op basis van Van Hoorn & Matthijssen 2013; Van Hoorn & Sorel 2011), waarbij de productiekosten van windparken oplopen naarmate ze verder uit de kust en in diepere zee komen te liggen; wind-op-land is al verregaand ontwikkeld, breed toegepast en redelijk goedkoop, maar door ruimtelijke beperkingen is het potentieel in Nederland maximaal 25 terawattuur (10 gigawatt (Van Hoorn & Matthijssen 2013).
 - o *Zonnepanelen*. Op basis van de huidige gemiddelde opbrengst per paneel en van het plaatsingspotentieel in de gebouwde omgeving kan er circa 55 terawattuur (66 gigawatt) zonnestroom worden opgewekt (Lemmens & Van den Wijngaart 2014). Opgemerkt wordt dat de opbrengst per paneel nog kan toenemen. Een groter aantal panelen in een opstelling maakt het geheel relatief goedkoper; het is echter onzeker of er in Nederland veel perspectief is voor (grootschalige) zonnecentrales, omdat bij een nadruk op grootschalige opwekking import goedkoper kan zijn.
 - o *Bio-energie*. Het potentieel is sterk afhankelijk van het toekomstige aanbod, ook via import, van duurzaam geproduceerde biomassa. In geval van schaarste van duurzame biomassa geldt dat er voor de elektriciteitsproductie meer CO₂-vrije alternatieven zijn dan voor andere toepassingen. Grootschalige inzet van biomassa in centrales leent zich goed voor CCS (BECCS) en leidt in die combinatie tot negatieve emissies.

Tabel 4.1

Hoofdcombinaties van een CO₂-arm elektriciteitssysteem in 2050

1	Aanbod: veel intermitterend vermogen, beperkt fossiel-CCS, geen/beperkt BECCS. Beperkte rol interconnectie; <i>curtailment</i> wind en zon. Eindgebruik: veel elektrificatie en hybride systemen.
2	Aanbod: veel intermitterend vermogen, beperkt fossiel-CCS, geen/beperkt BECCS. Beperkte rol interconnectie; grote rol <i>power-to-fuel</i> . Eindgebruik: beperkte aanpassingen bij eindgebruik.
3	Aanbod: veel intermitterend vermogen, beperkt fossiel-CCS, geen/beperkt BECCS. Grote rol interconnectie. Eindgebruik: elektrificatie heeft dominante rol.
4	Aanbod: veel intermitterend vermogen, beperkt fossiel-CCS, geen/beperkt BECCS. Grote rol interconnectie; grote rol <i>power-to-fuel</i> . Eindgebruik: beperkte aanpassingen.
5	Aanbod: weinig intermitterend vermogen, grote rol fossiel-CCS, beperkte rol BECCS. Beperkte rol interconnectie. Eindgebruik: beperkte aanpassingen.
6	Aanbod: weinig intermitterend vermogen, grote rol kernenergie en fossiel-CCS. Beperkte rol interconnectie. Eindgebruik: beperkte aanpassingen.

Bron: Daniels & Koutstaal (2016)

- o *Geothermie*. Het potentieel is nog onzeker, wellicht alleen prijstechnisch aantrekkelijk genoeg in combinatie met benutting van de restwarmte van een geothermiecentrale.
- o *Overige hernieuwbare bronnen*. Het gaat hierbij om elektriciteit uit bijvoorbeeld getijdenenergie of zoet-zoutosmose. Deze bronnen kunnen naar verwachting in Nederland slechts een beperkte bijdrage leveren.
- Fossiel met CCS:
 - o *Aardgas- en kolencentrales met CCS*. De opwekking van elektriciteit met behulp van fossiele brandstoffen blijft mogelijk bij CO₂-neutrale opwekking mits dit wordt gecombineerd met afvang en opslag van CO₂ (zie voor transport en opslag paragraaf 4.7). De kosten voor afvang en opslag zijn per vermeden ton CO₂-emissie voor kolen lager dan voor gas, maar per geproduceerde kilowattuur elektriciteit kan dit weer anders uitpakken.
- Kernenergie:
 - o Kernenergie, ofwel de nieuwste generatie uraniumreactoren ofwel in de verdere toekomst thoriumreactoren. Thoriumreactoren zijn nog in ontwikkeling en zullen naar verwachting niet voor 2040 inzetbaar zijn. Ook kernfusie is nog in ontwikkeling en naar verwachting ook niet voor 2045-2050 inzetbaar.

Voor eventueel fossiel vermogen dat wordt ingezet om een piekvraag op te vangen, zoals gasturbines (meestal bij weinig aanbod van wind en zon), is een combinatie met CCS minder waarschijnlijk. De CO₂-uitstoot per geleverde hoeveelheid elektriciteit bij een gascentrale is circa 40 procent lager dan die van een kolencentrale. Door overstap van kolen naar gas is dus vermindering op korte termijn te realiseren. Overigens zal in een CO₂-arme elektriciteitsvoorziening de rol van gas zonder CCS in de totale elektriciteitsproductie beperkt blijven. Op systeemniveau zijn er diverse varianten denkbaar met een CO₂-arme elektriciteitsproductie. In tabel 4.1 zijn ter illustratie van mogelijke verschillen zes hoofdcombinaties geschetst op basis van Daniels en Koutstaal (2016).

Productie. De productie bestaat bij de eerste vier hoofdcombinaties overwegend uit elektriciteit uit zon en wind. Het discontinue, intermitterende karakter van de hernieuwbare elektriciteitsproductie uit wind en zon vormt in de komende tien jaar in Nederland nog geen probleem. Tussen nu en 2050 kan echter de behoefte aan meer flexibiliteit om natuurlijke schommelingen op de elektriciteitsmarkt te kunnen opvangen fors toenemen als ook het aandeel elektriciteit uit zon en wind verder toeneemt (hoofdcombinaties 1 t/m 4). Er zijn tal van opties die de benodigde flexibiliteit leveren, naast het afschakelen (*curtailment*) van intermitterend vermogen bij overproductie. De kosten van verschillende flexibiliteitsopties liggen rond 1 eurocent per kilowattuur (Agora 2016). Al deze flexibiliteitsopties hebben gevolgen voor de infrastructuur: het hoofdnetwerk en/of de distributienetten.

Interconnectie. Import en export van stroom binnen heel Europa, zodanig dat ook de variabiliteit in het elektriciteitsaanbod als gevolg van veel of juist weinig zon en wind kan worden verkleind in een Europese elektriciteitsmarkt. Zo'n goed werkend Europees netwerk wordt ook wel een *supergrid* genoemd (deels gelijkstroom om verliezen te beperken). Zo'n sterk Europees netwerk is inclusief het offshore-netwerk dat elektriciteit uit wind-op-zee transporteert. Het wordt dan ook lonend om stroom te importeren of te exporteren over afstanden van meer dan 1.500 kilometer (de typische grootte van een weersysteem en bijbehorend windpatroon). Dit vergt wel een infrastructuur die door vele landen loopt. Bij een grotere nadruk op CCS of kernenergie zijn voor Nederland minder aanpassingen van interconnectie nodig.

Opslag/omzetting. Het gaat hierbij op korte termijn om opslag in bijvoorbeeld accu's (korte termijn) en stuwmeren (lange termijn; nu al een optie in Nederland via het Europese netwerk) en voor de langere termijn om omzetting van elektriciteit naar andere energiedragers, bijvoorbeeld *power-to-fuel* (zie voor verdere uitwerking daarvan paragraaf 4.6. In het laatste geval zijn aan de eindgebruikerskant minder aanpassingen nodig.

Eindgebruik aanpassingen. Bij verdergaande elektrificatie van het energiesysteem ontstaan meer mogelijkheden voor flexibiliteit (Koutstaal & Sijm 2015). Hierbij kan worden gedacht aan vraagsturing en inzet van hybride systemen.

Betrokken actoren

Om in beeld te krijgen welke stappen kunnen worden gezet, is het behulpzaam om dit vanuit actorperspectief te bezien. Bij het elektriciteitssysteem zijn de belangrijkste spelers:

- de verbruikers:
 - o bedrijven
 - o huishoudens
 - o toekomstige producenten van groene brandstof uit elektriciteit (zie paragraaf 4.6);
- de elektriciteitsproducenten:
 - o de grote energiebedrijven
 - o huiseigenaren, woningcorporaties, eigenaren van gebouwen die decentraal zonnestroom opwekken
 - o landbouwbedrijven en industriële bedrijven die lokaal windenergie opwekken;
- de beheerders van het hoofdnet en de distributienetten;
- regelgevers en toezichthouders, die de spelregels bepalen en waarborgen.

Bij een toenemend belang van flexibiliteit worden nieuwe eisen aan het ontwerp van de elektriciteitsmarkt als geheel gesteld en aan de regulering en inrichting van de verschillende deelmarkten en deelnemende marktpartijen. Er komen waarschijnlijk nieuwe partijen, zoals Energy Service Company's (ESCO's), en andere partijen die diensten van verschillende kleine producenten, zoals huishoudens of kleine bedrijven, bundelen en vermarkten. De markt en het beleid daaromheen moeten de randvoorwaarden creëren waardoor alle marktpartijen in staat worden gesteld efficiënt bij te dragen aan de vermindering van de CO₂-uitstoot.

De noodzakelijke marktaanpassingen en -reguleringen staan nog in de kinderschoenen. Hoewel er al veel studies zijn naar effecten van benodigde marktaanpassingen in de toekomst, moeten de institutionele veranderingen nog plaatsvinden.

Inmiddels lijkt duidelijk dat het inrichten van een aparte capaciteitsmarkt in Noordwest-Europa niet noodzakelijk is om voldoende back-upvermogen te garanderen (Agora_ Energiewende 2016). Overigens hebben Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk inmiddels een aparte capaciteitsmarkt. De huidige zogenoemde *energy-only*-markt, waar alleen geleverde energie als handelswaar geldt, kan prima werken zolang wordt geaccepteerd dat er gedurende korte perioden hoge prijzen moeten worden betaald voor elektriciteit uit back-upvermogen. Als het effect hiervan op de elektriciteitsprijzen voor de consument beperkt blijft, kan dit een acceptabel marktmodel blijven.

De institutionele uitvoering van de marktregulering en -aanpassingen bij de zes verschillende hoofdcombinaties vragen om verschillende aanpassingen van de markt. Het meest verregaand zijn de aanpassingen bij de hoofdcombinaties 1 tot en met 4, met veel intermitterend vermogen. Deze combinaties vereisen de meeste flexibiliteit. Veel flexibiliteit heeft veel institutionele aanpassingen nodig. Partijen moeten verantwoordelijk worden gemaakt voor flexibiliteit. Wie zorgt voor het aanbieden van flexibiliteitsproducten op de verschillende netten? Ook moet het technisch, logistiek en

administratief worden geregeld. Meer interconnectie vraagt om institutionele aanpassingen op internationaal niveau. Op Europees niveau speelt hierbij het netwerk voor transmissiesysteemoperatoren voor elektriciteit (ENTSO-E) een rol sinds 2008. Het ENTSO-E richt zich in eerste instantie op verdere liberalisering van de elektriciteitsmarkten, en kijkt hierbij naar optimalisaties rond interconnectie. Een optimale benutting van de potentie van een *supergrid* vraagt de samenwerking tussen vele Europese landen. Dat kan tot vertraging leiden. Daardoor zijn verdere regionale en/of bilaterale afspraken mogelijk een eerste doel voor een verdergaande flexibilisering van de internationale stroommarkt. Een voorbeeld hiervan is de interconnectie op de Noordzee, onder andere met het oog op elektriciteitsproductie uit wind-op-zee (Herweijer 2011). Daarbij zijn veel beheerders van hoofdnetten in de verschillende landen partij, elk met eigen belangen.

Voor het beheer en de ontwikkeling van het hoofdnet in Nederland (en deels in Duitsland) en daarmee ook voor de interconnectie met de buurlanden is Tennet verantwoordelijk. De Rijksoverheid is als eigenaar van Tennet verantwoordelijk voor de aansturing. Voor de aanpassingen op lagere, lokale distributienetwerken ligt de verantwoordelijkheid bij de netbeheerders, zoals Liander en Stedin.⁵ Provincies en gemeenten zijn grootaandeelhouder van bijna alle distributie- en netwerkbeheerders. Op dit moment zijn deze netbeheerders al bezig om te onderzoeken wat de knelpunten kunnen zijn bij mogelijke veranderingen van vraag en aanbod op het netwerk.

De potentiële klimaatwinst

Het elektriciteitsverbruik in Nederland is al enkele jaren ongeveer constant, met circa 120 terawattuur. In 2013 was ongeveer 80 procent van de elektriciteitsproductie op basis van fossiele brandstoffen (55 procent gas en 25 procent kolen). De bijbehorende uitstoot van CO₂ vormde, met iets minder dan 50 megaton, ongeveer een kwart van de totale uitstoot van broeikasgassen in 2013 (196 megaton) (ECN & PBL 2015). Een volledig CO₂-neutrale opwekking van elektriciteit in 2050 leidt dus netto tot een vermindering van 50 megaton CO₂ ten opzichte van 2013.

Elektrificatie van andere delen van het energiesysteem en de inzet van *power-to-fuel* kunnen in combinatie met CO₂-vrije elektriciteitsproductie nog eens tot enkele tientallen megaton extra CO₂-vermindering leiden. Er is in Nederland voldoende potentieel om in 2050 al deze elektriciteit CO₂-vrij op te wekken. Dit maakt duidelijk dat de elektriciteitsvoorziening de gangmaker kan zijn van een CO₂-arme energievoorziening in 2050 (IEA 2016).

4.5.2 Welke stappen kunnen er in de komende jaren worden gezet?

De transitie van het elektriciteitssysteem kan door hervormingen op verschillende punten worden bespoedigd. Voor een deel zijn dit punten die direct kunnen leiden tot vermindering van de CO₂-uitstoot. Voor het overige zijn het punten die nodig zijn om een transitie naar een CO₂-arme energievoorziening richting 2050 vorm te geven. Niet per se effectief op de korte termijn, maar voorwaardelijk voor een CO₂-neutrale elektriciteitsvoorziening in 2050.

1. Stappen om de uitstoot van broeikasgassen bij elektriciteitsproductie verder te verminderen:
 - a. het tegengaan van koolstofintensieve elektriciteitsproductie en starten met de uitvoering ervan;
 - b. het verder stimuleren van bestaande CO₂-arme technologieën;
 - c. het stimuleren van efficiencyverbeteringen en gedragsveranderingen die tot besparing van elektriciteitsverbruik leiden.
2. Hervormingen, marktontwerp en regulering van de elektriciteitsproductie:
 - a. hervorming van het Europese emissiehandelssysteem (ETS);
 - b. hervormingen van het marktontwerp gericht op meer flexibiliteit (aanbod én vraag).
3. Innovatie om (nieuwe) CO₂-arme technieken te ontwikkelen en marktrijp te maken.
4. Governance rond de transitie naar CO₂-arme elektriciteitsproductie:
 - a. verantwoordelijkheden regelen als gevolg van wijzigingen in de elektriciteitsmarkt en de komst van nieuwe partijen;
 - b. infrastructurele veranderingen, transmissie en distributie, CO₂-opslag.

Hieronder lichten we deze punten toe en werken we die op een aantal onderdelen verder uit.

Stappen om de uitstoot van broeikasgassen bij elektriciteitsproductie verder te verminderen

Het tegengaan van koolstofintensieve elektriciteitsproductie

Het uitfaseren van kolencentrales is een actueel aandachtspunt in het beleid, met juridische en financiële consequenties, waar in het bestek van dit rapport niet op wordt ingegaan. Duidelijk is wel dat kolencentrales zonder CCS niet passen in een CO₂-arm toekomstbeeld (en met CCS is er veel opslagcapaciteit nodig).

Een beleidsoptie om de bouw van nieuwe kolencentrales tegen te gaan, is normering van de CO₂-uitstoot, onafhankelijk van de technologie voor elektriciteitsproductie. Zo'n zogenoemde *Emission Performance Standard* (EPS) past binnen een – bij voorkeur internationale – nog op te stellen *exit*-strategie voor de meest koolstofintensieve elektriciteitsproductie. Nederland kan zo'n norm opleggen per bedrijf of zo mogelijk aan de elektriciteitssector als geheel. Een vorm hiervan kan zijn dat de sectorgemiddelde CO₂-emissiefactor (gram CO₂ per kilowattuur) als gevolg van investeringen van een bedrijf in extra vermogen niet mag toenemen. Dat voorkomt in ieder geval investeringen in nieuwe kolencentrales zonder CCS en op afzienbare termijn ook in gascentrales zonder CCS. Een andere mogelijkheid is het stellen van een EPS voor nieuwe individuele centrales, die na een bepaalde overgangstermijn ook van kracht wordt voor bestaande centrales.

Ook financiële instrumenten kunnen worden ingezet. Een voorbeeld hiervan is een inputheffing op fossiele brandstoffen bij elektriciteitsproductie, die daarmee is gericht op een gunstiger positie van koolstofvrije opties ten opzichte van de fossiele opties. Deze aanpak ontmoedigt echter ook de toepassing van CCS bij centrales op basis van fossiele brandstoffen, omdat voor de afvang immers extra energie nodig is.

Het verder stimuleren van bestaande CO₂-arme technologieën

De vernieuwing in het energiesysteem is in de afgelopen jaren vooral zichtbaar geworden bij de elektriciteitsproductie, niet alleen in Nederland. In Duitsland bijvoorbeeld, wordt de eerder dan in Nederland in gang gezette *Energiewende* ook wel aangeduid als (tot nu toe) een *Stromwende*. De internationale ontwikkelingen hebben ertoe geleid dat wind-op-land een al verregaand ontwikkelde techniek is geworden, en dat ook de prijzen van wind-op-zee en zonnepalen aanmerkelijk zijn gedaald. Daarmee zijn deze technieken de eerste fase van toepassing voorbij, ook in Nederland. Dat wil echter nog niet zeggen dat deze technische opties onder de huidige marktcondities vanzelf zullen doorgroeien. De Europese beleidsaanpak in de vorm van het ETS, met de daaruit voortkomende CO₂-prijs, is daarvoor bepalend, maar van het ETS wordt de komende jaren geen effect verwacht voor de verdere doorgroei van hernieuwbare elektriciteit (Agora 2016), zie ook hoofdstuk 5).

Te overwegen zijn daarom specifiekere beleidsprikkelers in Nederland.⁶ Dat kan door de lijn van het Energieakkoord door te trekken, want die reikt nu niet verder dan 2023. Het handhaven en uitbreiden van de huidige SDE+-subsidieregeling om nieuwe niet-marktrijpe technologieën in de markt te zetten zijn belangrijk voor het verder stimuleren van hernieuwbare opties na 2023.

Wat betreft de SDE+-regeling, pleit het belang van de continuïteit in de ondersteuning van hernieuwbare energie voor de continuering van dit instrument. In de komende jaren zal ook blijken hoe effectief deze aanpak is en hoe de combinatie met een gerichte kostenvermindering bij wind-op-zee uitpakt. Op langere termijn kan het zinvol zijn na te denken over een nieuwe aanpak. Dat hangt vooral samen met de elektriciteitsprijs. Een toename van de gesubsidieerde elektriciteitsproductie met lage variabele kosten leidt tot een continue druk op de elektriciteitsprijs. Hernieuwbaar opgewekte elektriciteit wordt dan goedkoper, maar de elektriciteitsprijs evenzeer, en de ‘onrendabele top’ blijft zolang de CO₂-prijs niet sterk toeneemt. Het kan dan zinvol worden na te gaan denken over alternatieve ondersteuningsinstrumenten die beter passen bij een zeer groot aandeel uit wind en zon opgewekte elektriciteit. Een apart aandachtspunt vormt hierbij de ‘salderingsregeling voor kleinschalige zonnepanelen’. Hierdoor kunnen kleine elektriciteitsproducenten niet alleen profiteren van de eigen opwekking op het moment van productie, maar kunnen ze deze ook aan het net leveren en verrekenen met het verbruik op een ander moment. Deze regeling is bij gedaalde kosten van zonnepanelen zeer lucratief voor deze producenten en leidt tot zeer aanzienlijke uitbreiding in 2030 met grote gedeelde belastinginkomsten (ECN & PBL 2015). Een dergelijk instrument is effectief om de uitrol van zonnepanelen op gang te brengen, maar past minder goed bij een volgende fase van omvangrijke toepassing: het levert geen bijdrage aan de gewenste flexibiliteit van het systeem en de subsidiering is niet in de pas gebleven met de gedaalde kosten van zonnepanelen. Bovendien is het noch voor de overheid bij de vormgeving van zo’n regeling noch voor huis- en gebouweigenaren mogelijk de bijkomende kosten voor systeemintegratie mee te nemen. Daarom kan het van belang zijn beleidslijnen voor te bereiden waarin dat wel gebeurt.

Een algemeen doel voor hernieuwbare energie in 2030 is te overwegen (zie paragraaf 1.1), maar een specifiek doel voor hernieuwbare elektriciteitsproductie voor

producenten of leveranciers in Nederland in 2030 is eveneens denkbaar (leveranciersverplichting). Een doel gericht op belangrijke hernieuwbare technologieën als zonne- en windenergie beperkt de speelruimte voor producenten, maar zorgt voor meer gefocust ontwikkelingsbeleid. Een aandeel van ten minste 50 procent hernieuwbare elektriciteitsopwekking past bij het doel voor 2030 van de Europese Unie, en zou iets hoger uitkomen dan doorgaan met bestaand beleid (43 procent in 2030; hierbij is aangenomen dat de SDE+-regeling ook na 2023 opengesteld blijft voor nieuwe projecten). Bij een verdergaande ambitie (zie ook figuur 3.1) past een hoger doel, dat overigens ook in petajoule kan worden gesteld om onzekerheden in de ontwikkeling van de vraag weg te nemen.

Daarbij kan een systeem worden voorbereid waarin elektriciteitsleveranciers ook de decentrale opwekking, zoals zonnestroom, van hun klanten mogen meetellen.

Dan kunnen zij de afweging maken op basis van kostenefficiëntie, waarbij de kosten voor systeemintegratie en de vereiste flexibiliteitsmaatregelen worden meegenomen. Dat is voor een huiseigenaar die overweegt zonnepanelen te plaatsen of een boer die een windmolen wil neerzetten onmogelijk. De elektriciteitsleveranciers bepalen dan welke financiële stimulering aan hun klanten wordt geboden.

Zoals aangegeven kan de toepassing van bio-energie als brandstof om elektriciteit op te wekken in combinatie met CCS tot negatieve emissies leiden; dit is zelfs mogelijk bij kolencentrales met biomassa-meestook en CCS. Toch is meestook van biomassa in kolengestookte centrales in het huidige Energieakkoord gelimiteerd. Ten eerste vanwege het ontbreken van afdoende duurzaamheidscriteria voor de biomassa en goede handhaving, ten tweede vanwege het ruime potentieel aan alternatieve CO₂-arme opties voor elektriciteitsproductie. En ten derde omdat kolencentrales met biomassa-meestook niet in een CO₂-arm toekomstbeeld passen, tenzij in combinatie met CCS, waarvoor dan veel opslagcapaciteit nodig is. Het lijkt daarom verstandiger biomassa-centrales (met CCS) vooralsnog als een reserveoptie voor de lange termijn te zien. Als duidelijk is dat het aanbod van duurzame biomassa groot genoeg kan zijn, dan kan deze optie vrij snel worden geïmplementeerd.

Hervormingen, marktontwerp en regulering van de elektriciteitsproductie

Er zijn hervormingen en wijzigingen van de elektriciteitsmarkten nodig voor de lange- en kortetermijnlevering van elektriciteit als gevolg van meer intermitterende bronnen, interconnectie en back-up. Zelfs als Nederland mikt op een CO₂-arme elektriciteitsproductie met een beperkte hoeveelheid intermitterende bronnen, krijgt het als gevolg van interconnectie wel te maken met de gevolgen van intermitterende bronnen in het buitenland. Omdat de elektriciteitsmarkten hoe dan ook een meer internationaal karakter krijgen, zal Nederland zich daartoe moeten verhouden. Hierbij kan worden gedacht aan:

- hervormingen van het marktontwerp gericht op meer flexibiliteit, waaronder unificatie van de tijdshorizon bij elektriciteitsmarkten;
- flexibilisering van de vraag: gebouwen, industrie en versnelde uitrol van slimme meters bij huishoudens; verdere internationalisering van de elektriciteitsmarkt via interconnectie;

- stimulering van opslagmethoden voor elektriciteit uit intermitterende bronnen;
- verdergaande integratie van elektriciteitsmarkten;
- verdergaande integratie van energiesystemen door toename van elektrificatie.

Innovatie om (nieuwe) CO₂-arme technieken te ontwikkelen en marktrijp te maken

Hierbij gaat het om R&D-gelden en subsidies voor demonstratie- en opschalingsprojecten om nog niet of nauwelijks in Nederland toegepaste nieuwe vormen van schone elektriciteitsproductie te ondersteunen. Het kan hierbij om de volgende ondersteuning gaan:

- voor nieuwe opslagvormen van elektriciteit en/of conversie naar andere energiedragers (bijvoorbeeld ammoniak) en vice versa;
- bij R&D gericht op kennisopbouw over thoriumreactoren als voorbereidend traject voor eventuele praktijkexperimenten in Nederland in een later stadium;
- bij R&D gericht op prijsdalingen en efficiencyverbeteringen bij elektriciteitsproductie uit wind en zon en bij systeemintegratie en *smart grids*;
- voor een demonstratieproject van CCS bij een gasgestookte centrale;
- voor een demonstratieproject van elektriciteit (in combinatie met warmte) uit diepe geothermie;
- voor osmosecentrales, elektriciteit uit getijdestromen en golfbewegingen; gezien de zeer waarschijnlijk beperkte energieopbrengst in Nederland ligt specifieke ondersteuning niet voor de hand; voor toepassing kan Nederland profiteren van R&D op plekken waar dit al wel veel wordt gedaan.

Ruimtelijke inpassing

Voor veel genoemde opties is ruimtelijke inpassing niet eenvoudig. Daarom is ruimtelijke toekenning van plekken belangrijk, bijvoorbeeld voor kernenergie, wind-op-zee, wind-op-land en grootschalig zonnepanelen, hoofdnetaanpassingen (interconnectie) en ondergrondse CO₂-opslag. Betrokkenheid van belanghebbenden is daarbij van belang. Opties als kernenergie en CO₂-opslag onder land liggen daarbij gevoelig. Een maatschappelijk debat daarover kan duidelijkheid geven over de kansen om deze in de toekomst in te zetten. De nieuwe Omgevingswet moet de verschillende partijen in staat stellen om de energietransitie naar een duurzame energievoorziening naar 2050 ruimtelijk adequaat vorm te geven. In een evaluatie van het wetvoorstel Omgevingswet geven Folkert et al. (2013) aan dat er plussen en minnen zijn. De Omgevingswet sluit aan bij de behoefte aan maatwerk, maar de behoefte aan een andere rol van de overheid krijgt veel minder invulling. Dat wil zeggen dat initiatief en goedkeuring bij de overheid blijft liggen, waardoor initiatieven vanuit de samenleving (energieke samenleving) moeilijker hun weg zullen vinden. Dus als er juist vanuit de regio initiatieven worden verwacht om invulling te geven aan verduurzaming van het energiesysteem, is de huidige Omgevingswet daarvoor mogelijk minder adequaat. De plancyclus van de Omgevingswet, waarbij de verschillende overheden een omgevingsvisie voor de lange termijn vaststellen, geeft weer veel flexibiliteit en de mogelijkheid om allerlei ruimtelijke belangen integraal af te wegen. Het is dan wel zaak

om in de omgevingsvisies van het Rijk, de provincies en de gemeenten het onderwerp ‘energie’ expliciet op te nemen en uit te werken.

4.5.3 Welke beleidsopties ondersteunen de ontwikkeling?

Er zijn allerlei opties om de komende jaren de richting in te slaan richting een CO₂-arme of CO₂-neutrale elektriciteitsproductie. Alle opties hebben voor- en nadelen, niet alleen wat betreft de kosten, maar ook sociaal-maatschappelijk en praktisch. Daarnaast zijn er opties die elkaar mogelijk in de weg kunnen gaan zitten. De opties die zich richten op de uitstootvermindering van CO₂ in de elektriciteitsvoorziening die onder het ETS valt, zullen Europa-breed niet tot een vermindering van de CO₂-emissie leiden zonder extra maatregelen, zoals emissierechten uit het ETS halen door ze op te kopen.

De eerste drie opties zijn gericht op implementatie van schonere technieken en kunnen ook in combinatie vorm worden gegeven.

Beleids optie	Wettelijke vastlegging van een verbod op nieuwe kolencentrales (ongeacht de toepassing van CCS).
Indicatie kosten	Niet nader bekeken. Zolang kolencentrales de goedkoopste optie zijn, leidt een verbod tot een iets hogere elektriciteitsprijs.
Overwegingen	Nog uit te zoeken of dit juridisch naast het ETS (waarin is opgenomen dat er geen norm in vergunningen mag worden opgenomen) kan. De afweging met betrekking tot CCS hangt ook samen met de opslagmogelijkheden. Bij een kolentrale wordt relatief veel CO ₂ afgevangen.

Beleids optie	Een prestatienorm voor de gemiddelde CO₂-emissiefactor, een Emission Performance Standard (EPS) voor de gemiddelde CO₂-uitstoot per kilowattuur van de elektriciteitsproductiesector als geheel. Een alternatieve optie is om van bedrijven te eisen dat met investeringen in nieuw vermogen de gemiddelde uitstoot niet omhoog mag gaan.
Indicatie kosten	Dit zal leiden tot een iets hogere elektriciteitsprijs. Hoeveel hoger is afhankelijk van de snelheid waarmee de EPS strenger wordt.
Overwegingen	Een nog uit te stippelen pad waarlangs de EPS geleidelijk naar beneden wordt bijgesteld stimuleert enerzijds investeringen in CO ₂ -arme capaciteit en beperkt anderzijds investeringen in nieuw fossiel vermogen. In eerste instantie kan dit helpen bij de uitfasering van oude kolencentrales. Afhankelijk van de snelheid waarmee de EPS afneemt, wordt later ook andere fossiele capaciteit uitgefaseerd. Dit is een relatief flexibele optie, die effectiever wordt als ze wordt afgestemd met de buurlanden (Sijm et al. 2013). Als gevolg van de interconnectie kunnen anders goedkopere (kolen) stromen worden geïmporteerd. Zo'n internationale afstemming ligt voor de hand, omdat de buurlanden vergelijkbare klimaatambities hebben.

Beleids optie	Een verplicht aandeel hernieuwbare energie in 2030 bij de elektriciteitsproductie, al dan niet in combinatie met het voortzetten van de SDE+-regeling voor (in ieder geval) de elektriciteitsproductie.
Indicatie kosten	Uiteraard afhankelijk van het verplichte aandeel, kunnen dit over de periode 2020-2030 miljarden zijn. Extra jaarlijkse kosten zijn circa 300 miljoen euro (in 2030) voor 50 procent in 2030 ten opzichte van 43 procent dat in 2030 met het huidige beleid zou worden bereikt (ECN & PBL 2015).
Overwegingen	<p>Zo'n verplichting geeft elektriciteitsbedrijven de ruimte om te kiezen voor de voor hen gunstigste technologie, maar geeft tevens zekerheid dat de ontwikkeling van hernieuwbare elektriciteit wordt doorgezet (de bijdrage van biomassa daarin moet apart worden afgewogen tegen andere toepassingen van biomassa). Het risico bestaat dat kolencentrales met bijstook van biomassa op deze manier worden gestimuleerd. Een meer beperkend doel gericht op bepaalde technologieën, inclusief de benodigde infrastructuur, is dan een alternatief.</p> <p>Daarbinnen past het op een daarvoor geschikt moment stoppen met de specifieke salderingsregeling voor zonnepanelen. In plaats daarvan mogen elektriciteitsbedrijven zonnepanelen bij hun klanten meetellen voor de verplichting en dus zelf overwegen onder welke condities zij daar prikkels bij hun klanten voor willen geven.</p> <p>Een vergelijkbare aanpak kan gelden voor windmolens op land, waardoor subsidies kunnen worden afgebouwd.</p> <p>Of handhaven van subsidiëring een betere optie is dan een systeem van verplichtingen in Nederland is niet zonder meer duidelijk en bevat ook een tijds-element. Er kleven risico's aan beide manieren van aanpak. Zo kan een systeem van verplichtingen tot hogere kosten voor burgers leiden als gevolg van een producentensurplus. Handhaving van subsidiëring kan ongewenst worden wanneer langdurig uitsluitend gesubsidieerd productievermogen is geïnstalleerd.</p>

Een alternatief voor de voorgaande opties is:

Beleids optie	Inputbelasting voor grondstoffen van elektriciteitsproductie (op basis van de fossiele koolstofinhoud van brandstoffen).
Indicatie kosten	Kan tot een hogere elektriciteitsprijs leiden; belastinginkomsten kunnen worden teruggesluisd, bijvoorbeeld voor ondersteuning van hernieuwbare energie.
Overwegingen	Verbeterd de positie van niet-fossiel ten opzichte van fossiel. De meerprijs van CCS bij fossiel wordt daardoor ook hoger.

De volgende twee opties zijn erop gericht nationaal en internationaal integraal het elektriciteitssysteem als geheel verder vorm te geven:

Beleids optie	Stimuleren van intensivering van de Europese initiatieven voor een supergrid in Europa.
Indicatie kosten	Niet nader bekeken. In de eerste fase vooral een institutioneel veranderingsproces op Europese schaal. Kosten voor extra interconnectiecapaciteit op termijn.
Overwegingen	Meer interconnectie leidt tot een betere benutting van wind en zon, maar extra masten en kabels kunnen een last betekenen voor landen die er mogelijk zelf weinig baat bij hebben. De Europese koepel van nationale transmissiebedrijven voor elektriciteit (ENTSO-E) heeft vergroting en stroomlijning van de interconnectie tussen EU-Lidstaten al geruime tijd op de agenda staan. Zonnestroom uit Spanje lijkt er bijvoorbeeld voorlopig nog niet in te zitten. De huidige aanpassingen van de interconnectie van Nederland met de buurlanden is goed geregeld en planning voor nieuwe interconnectie wordt tijdig voorbereid. Extra interconnectie kan concurrerend zijn voor de ontwikkeling van conversietechnieken als <i>power-to-fuel</i> .

Enkele technologieën verkeren nog in de ontwikkelingsfase of de eerste fase van toepassing en kunnen daarbij beleidsondersteuning goed gebruiken:

Beleids optie	Subsidie voor demonstratieprojecten CCS.
Indicatie kosten	Afgezien van infrastructuurkosten, ligt de prijs voor CCS-demonstratieprojecten rond enkele tientallen miljoenen euro per jaar per megaton CO ₂ (ECN & PBL 2016).
Overwegingen	CCS is potentieel een belangrijke bouwsteen voor een CO ₂ -arm energiesysteem, en het is daarom van belang om meer kennis op te bouwen over de haalbaarheid en kosten van CCS. CCS is met de huidige CO ₂ -prijs niet rendabel. Deze optie wordt interessanter bij uitzicht op hogere CO ₂ -prijzen, bijvoorbeeld als gevolg van hervormingen van het ETS.

Beleids optie	Subsidie voor een demonstratieproject geothermische elektriciteitsopwekking.
Indicatie kosten	Een schatting van de kosten van geothermische elektriciteitsproductie is 0,12-0,18 euro per kilowattuur, of 0,05-0,06 euro per kilowattuur als dit wordt gecombineerd met de benutting van warmte (Ecofys & TNO 2011).
Overwegingen	Bij voorkeur op een locatie met een warmtenet (eventueel te verwachten) voor benutting van de restwarmte (zie paragraaf 4.2).

Beleids optie	Versterken R&D-programma voor kennisontwikkeling van nieuwe-generatie kerncentrales, bijvoorbeeld de thoriumreactor.
Indicatie kosten	Zoals de meeste R&D vindt dit onderzoek ook plaats op een internationaal podium. De kosten worden dan ook internationaal gedragen. Als Nederland hier een rol van betekenis in wil spelen en wil profiteren van de opgedane kennis, zal het navenant moeten bijdragen. Na de R&D-fase worden de kosten een veelvoud van het hiergenoemde bedrag.
Overwegingen	Optie voor de langere termijn; R&D is van belang voor kennisopbouw om toepassing van de technologie in de verdere toekomst mogelijk te maken.

Ten slotte zijn er beleids opties die de randvoorwaarden voor inpassing van CO₂-arme opties in het systeem moeten creëren, zoals:

Beleids optie	Opzetten van maatschappelijk debat over kernenergie.
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	Maatschappelijk draagvlak is cruciaal, ook voor eventuele innovatieve alternatieven, zoals een thoriumreactor waaraan ook risico's kleven.

4.6 Productie van gassen en brandstoffen

4.6.1 Hoe kan het toekomstbeeld voor 2050 eruitzien?

Inleiding

Als het om energie gaat, wordt Nederland wel gekenmerkt als een gasland. De grote gasvoorraad die Nederland beschikbaar had (en voor een deel nog heeft) is daar niet vreemd aan. Echter, naast de broeikasgasemissies zijn het geleidelijk uitgeput raken van deze voorraad, de problemen in Groningen met de gaswinning en het ‘ongemak’ dat wordt gevoeld bij al te grote afhankelijkheid van gasimport redenen om (veel) minder aardgas te gaan gebruiken.

‘Nederland gasland’ betekent ook dat de infrastructuur en energiegebruiksapparatuur sterk is gericht op gas. Veel woningen, gebouwen en bedrijven zijn ervan afhankelijk en het is waarschijnlijk dat die afhankelijkheid er in 2050 – ondanks verdere besparing en elektrificatie – voor een deel nog zal zijn. Dat roept de vraag op of Nederland niet in beperkte mate kan doorgaan als gasland, maar dan met groen gas. Dan zijn ingrijpende aanpassingen aan de gebruikerskant en in de infrastructuur minder nodig.

Datzelfde speelt enigermate rond olie. Nederland heeft weliswaar geen bijzondere voorraden, maar de grote capaciteit van havens, opslag en raffinaderijen maken Nederland ook een land met belangen gerelateerd aan olieproducten. De transitie kan van grote invloed zijn op de raffinaderijen, omdat de vraag naar fossiele olieproducten aanzienlijk zal afnemen. Door elektrificatie in het verkeer kan de vraag naar benzine en diesel dalen. Toch is de verwachting dat transport (vooral lucht- en scheepvaart en mogelijk vrachtvervoer over de weg) en een deel van de chemie zeker tot 2050 afhankelijk blijven van olieproducten. Ook hierbij is het de vraag of Nederland niet kan overgaan op groene olieproducten, zoals biodiesel of synthetische diesel, biokerosine en -grondstoffen voor de chemie.

De energie voor dat groene gas en die groene olieproducten moet komen van ofwel duurzaam geproduceerde biomassa ofwel CO₂-vrij geproduceerde elektriciteit, eventueel in combinatie met het gebruik van CO₂ als grondstof (*power-to-gas* of *power-to-liquids*). Biomassa zal voor een belangrijk deel moeten worden geïmporteerd. CO₂-vrije elektriciteit kan in Nederland worden geproduceerd, maar in de context van een Europees elektriciteitsnetwerk met veel uitwisseling tussen landen kan er ook (meer) import nodig zijn.

Technische uitvoering

Naast een nog efficiëntere inzameling van biomassa in Nederland zelf zal er meer import zijn. Het gaat dan vooral om residuen uit bossen en van de landbouw en energiegewassen die worden geteeld op land dat geen of beperkte waarde heeft voor voedselproductie of biodiversiteit. Dit zijn hout of houtachtige biomassa (vooral lignocellulose). Na voorbereiding en transport gebeurt grootschalige verwerking nabij een Nederlandse haven, waar ook goede afzetmogelijkheden zijn voor de producten. Er zijn thermische en biotechnologische processen beschikbaar voor de omzetting van biomassa in brandstoffen (of grondstoffen). De CO₂ die overblijft, wordt uit het gas verwijderd en kan worden opgeslagen, of worden gecombineerd met waterstof uit *power-to-gas* om het rendement te verhogen. Zo worden de twee routes op slimme wijze gecombineerd.

Waterstof kan worden geproduceerd met elektrolyse van water (elektriciteit is de energiebron) of innovatieve varianten daarvan (de huidige gangbare methode is productie uit aardgas). Waterstof kan direct worden ingezet, door verbranding voor warmte, in een brandstofcel voor elektriciteit (eventueel in combinatie met warmte), zoals in waterstofauto's, worden bijgemengd tot aan een beperkt percentage in het gasnet, of in reactie met een koolstofbron (dat kan CO₂ zijn) worden omgezet in synthetische koolwaterstoffen: groen gas of groene vloeibare brandstoffen. Bij de verwerking van ruwe olie in raffinaderijen komen ook aanzienlijke emissies vrij, ruim 10 megaton CO₂ in 2014 (NEa 2015). CCS is een belangrijke optie om deze emissie voor een groot deel te elimineren.

Betrokken actoren

De grootschalige productie van groene brandstoffen uit biomassa en/of elektriciteit staat nog in de kinderschoenen. Het is dan ook niet bij voorbaat duidelijk welke partijen welke investeringen (kunnen) gaan doen. Dat kunnen bestaande bedrijven zijn die deze vernieuwing in het verlengde van bestaande activiteiten plaatsen, of nieuwe bedrijven. De betrokken partijen in de huidige ketens van gas en olie zijn:

- Actoren in de gasketen:
 - o de NAM, daarnaast bedrijven als Total en Engie, die verantwoordelijk zijn voor de opsporing en winning aardgas;
 - o de Gasunie, verantwoordelijk voor het transport van gas en de infrastructuur;
 - o Gasterra, groothandelaar in gas, levert aan energiebedrijven en grote industriële bedrijven en exporteert;

- o Energie Beheer Nederland is actief betrokken bij het opsporen, produceren, opslaan en verhandelen van gas en olie (een staatsdeelneming, waarvan 100 procent van de aandelen in handen is van de Nederlandse Staat);
- o energiebedrijven, leveren gas aan huishoudens en bedrijven;
- o biogasproducenten, in de huidige situatie slechts kleinschalig door boeren (mest) of bedrijven (nat industrieel afval), maar er kunnen ook nieuwe partijen komen die groen gas gaan produceren;
- o gasgebruikers (huishoudens en bedrijven).

Gasterra en energiebedrijven kunnen groen gas en brandstoffen opnemen in de mix van te leveren producten. Het is echter niet zonder meer duidelijk welke partij de grootschalige productie van groen gas kan/wil oppakken.

- Actoren in de keten van olieproducten:
 - o raffinaderijen en petrochemie kunnen groene brandstoffen opnemen in de mix van te leveren en te produceren producten;
 - o biobrandstoffensector, maar de meeste bedrijven zijn sterk gericht op basistechnologie voor de productie van biodiesel of bio-ethanol;
 - o leveranciers van transportbrandstoffen die (ook) afnemer zijn van groene brandstoffen;
 - o kunststofbedrijven die basisproducten (monomeren) inzetten voor hun productie;
 - o afnemers van kunststofproducten (die soms groene producten willen).

Ook hiervoor geldt dat nog niet duidelijk is welke partij de grootschalige productie van groene olieproducten kan/wil oppakken.

- Actoren betrokken bij de productie en het aanbod van biomassa:
 - o producenten (landbouw en bosbouw);
 - o ontwikkelaars en initiatiefnemers algen- en wierenteelt;
 - o transporteurs en havenbedrijven;
 - o overheden die de verantwoordelijkheid hebben voor de duurzaamheid van biomassa en bij de uitvoering kunnen samenwerken met certificerings- en handhavinginstanties. De duurzaamheid van de ingezette biomassa is een cruciaal punt, waarvoor wereldwijd geaccepteerde duurzaamheidscriteria nodig zijn, met een betrouwbaar handhavingssysteem. Dat geldt zeker nog voor teelten op land als daarbij het criterium is dat het land weinig waarde heeft voor voedselproductie of biodiversiteit;
 - o kleine nieuwe bedrijven die zijn gestart met voorbewerkingstechnologie (pyrolyse en torrefactie), nu nog op zeer kleine schaal.
- Elektriciteitsproducenten (vaak ook energieleveranciers) kunnen de *power-to-gas*-route gebruiken als buffer voor pieken in het elektriciteitsaanbod, wanneer de vraag er niet naar is, of wanneer het elektriciteitsnet (tijdelijk) is overvraagd. Zij hebben dus belang, maar voor hen gaat het om nieuwe technologie.

Het is goed denkbaar dat een belangrijke rol zal worden gespeeld door nieuwe bedrijven of waarschijnlijker nog (grote) bedrijven in een nieuwe rol. Naarmate de beschreven processen meer in een nieuw energiesysteem raken geïntegreerd, zullen er ook nieuwe afhankelijkheden en nieuwe samenwerkingsverbanden ontstaan.

De potentiële klimaatwinst

De mogelijkheden voor import van biomassa zijn afhankelijk van het mondiale aanbod in 2050 en de prijs van de biomassa. Indicatieve ramingen wijzen op een potentieel aanbod in Nederland – bij indicatieve verdelingen van het mondiale aanbod per capita of per eenheid bnp – van 300 tot 800 petajoule (PBL 2014). Het is echter nog een grote uitdaging om een aanbod van rond de 800 petajoule of meer op duurzame wijze te realiseren.

Verkenningen van de mogelijkheden voor windenergie op zee en zonnepanelen wijzen op een potentieel van zeker 600 petajoule, veel meer dan de huidige elektriciteitsvraag, en opties als geothermie, kernenergie en waterkracht kunnen wellicht extra bijdragen. Verschillende vormen van elektrificatie in het transport en de warmtevoorziening verhogen weliswaar de vraag, maar het is niet ondenkbaar dat er 200 tot 400 petajoule aan in Nederland CO₂-vrij geproduceerde elektriciteit beschikbaar kan komen voor de productie van groene brandstoffen (*power-to-gas en power-to-liquids*) (Ros & Schure 2016). Bij de omzetting van biomassa en elektriciteit in groene brandstoffen gaat weliswaar energie verloren, maar op basis van bovenstaande ramingen kan verregaande benutting van deze routes jaarlijks ruwweg 300 tot 600 petajoule aan brandstoffen opleveren. Daarmee kunnen fossiele emissies van ruim 15 tot meer dan 30 megaton CO₂ worden vermeden. Bovendien is de omzetting van elektriciteit in brandstoffen een vorm van energieopslag die kan bijdragen aan een goede balans tussen vraag en aanbod van elektriciteit. De toepassing van CCS bij raffinaderijen kan – bij de veronderstelling van een vergelijkbare omvang van de sector in 2050 als nu – een vermindering van 5-8 megaton CO₂ opleveren.

4.6.2 Welke stappen kunnen er in de komende jaren worden gezet?

Twee belangrijke technische opties voor grootschalige verwerking van lignocellulose biomassa zijn vergassing en (geavanceerde vormen van) fermentatie. Deze technieken hebben al een ontwikkelingstraject in Nederland en het buitenland doorlopen – en verdergaande R&D zal bijdragen aan verdere optimalisatie van de processen –, maar de ontwikkelingen zijn in Nederland blijven steken bij plannen voor grootschalige demonstratieprojecten, de eerste fabrieken op praktijkschaal. Realisatie daarvan is een belangrijke vervolgstap voor deze opties voor het opdoen van ervaring, zeker als daarbij voldoende aandacht is voor de afvang of het hergebruik van CO₂.

Voor dergelijke processen, en zeker voor vergassing, geldt dat de kosten per eenheid product sterk afnemen bij toenemende schaalgrootte. De eerste grootschalig opgezette fabriek vereist een investering van minstens honderden miljoenen euro. Op basis van de opgedane ervaringen kunnen vervolginvesteringen relatief goedkoper zijn, maar daarvoor moet zo'n nieuwe fabriek al enige jaren hebben gedraaid. De voorbereiding en het opdoen van ervaring beslaan meer dan vijf, wellicht tien jaar. Er kan ook gebruik

worden gemaakt van ervaringen in het buitenland, al gaat het nog slechts om een zeer beperkt aantal voorbeelden.

De biomassagrondstof heeft een relatief hoog aandeel in de kosten. Daarom is het van groot belang van tevoren voldoende zekerheid te hebben over de aanvoer van duurzaam geproduceerde biomassa, in de vorm van langjarige contracten en spreiding over verschillende leveranciers. De afgelopen jaren is er een aanzienlijke biomassastroom richting Nederland gekomen voor meestook in kolencentrales. Daartoe zijn de laatste jaren afspraken gemaakt over de duurzaamheid en de handhaving daarop. De discussie om kolencentrales te sluiten is nu actueel en het zou daarom nuttig zijn om te bezien of ook bij sluiting van kolencentrales alle inspanningen rond het regelen van de huidige import van duurzame biomassa in de komende periode alsnog kunnen worden benut voor de nieuwe duurzamere toepassing.

De toekomstige beschikbaarheid van duurzaam geproduceerde biomassa is echter erg onzeker. Een actieve rol van Nederland in projecten in het buitenland en dan vooral in minder ontwikkelde landen is niet nieuw, maar Nederland kan nog sterker ondersteuning bieden bij het inrichten van grootschaliger systemen voor de inzameling en productie van biomassa, de voorbereiding (bijvoorbeeld pyrolyse of torrefactie) en voor de handhaving op duurzaamheidscriteria. Hoe actiever, des te sneller duidelijk wordt wat de mogelijkheden voor aanbod op de lange termijn daadwerkelijk zijn.

De belangrijkste ontwikkelingen rond *power-to-gas* hebben tot nu toe vooral plaatsgevonden in enkele buurlanden (Duitsland, Verenigd Koninkrijk, Denemarken). Dat heeft te maken met de voorlopersrol van deze landen met hernieuwbare elektriciteit en het fluctuerende aanbod, waardoor het opslagvraagstuk op de agenda van de energiebedrijven kwam. De met het Energieakkoord opgepakte inhaalslag met veel stroom van zon en wind brengt de aandacht daarvoor ook naar Nederland. Verdere ontwikkeling van *power-to-waterstof* kan leiden tot verdere kostenreductie van de technologie, de mogelijke toepassing bij sterk fluctuerend elektriciteitsaanbod, toevoeging van het product waterstof aan het gasnet, testen van apparatuur met gasmengsels, (her)gebruik van CO₂ bij de productie van synthetische brandstoffen, en de mogelijke combinatie met de hiervoor genoemde biomassaverwerking.

Het belang van de elektriciteitsproducenten is om de opwekkingscapaciteit optimaal te kunnen benutten en een zo goed mogelijke prijs voor de elektriciteit te krijgen. Zij kunnen daarom overwegen hun activiteiten uit te breiden door ook producent van groene brandstoffen te worden. Ook voor de leveranciers van gas en olieproducten kan er een belang ontstaan om hun markten ook in een CO₂-arm energiesysteem zoveel mogelijk te behouden door hun producten te vergroenen. Dit kan door groene brandstoffen aan te kopen, maar ook door ze zelf te produceren. Daar ligt voor het beleid het meest voor de hand liggende aangrijpingspunt.

Grootschalige omzetting van elektriciteit in brandstoffen betekent ook aanpassingen in de infrastructuur om de elektriciteit bij de elektrolysefabriek te krijgen. Er wordt in dat verband ook wel gedacht aan fabrieken nabij de bron, zoals op zee bij windparken, omdat transport van gas goedkoper is dan dat van elektriciteit.

De prijs van groen gas en groene olieproducten ligt al snel een factor 2-3 hoger dan die van de fossiele producten. Voor introductie ervan in transport is al eerder gewerkt met

een bijmengverplichting, waardoor de prijsverhoging van het nieuwe mengproduct meevalt. Tien procent bijmenging van een product dat 2-3 keer duurder is, leidt tot een prijsverhoging van 10-20 procent, exclusief belastingen. Deze prijsverhoging kan ook weer positief doorwerken op besparingen en elektrificatie (Ros & Schure 2016).

De genoemde vormen van vergroening kunnen ook de uitdaging vormen voor raffinaderijen die immers met hun fossiele olieproducten een veel minder prominente positie in de meeste toekomstbeelden hebben. Tot nu toe wijst weinig erop dat deze bedrijven sterk inzetten op de genoemde innovatieve routes. Voor zover bestaande raffinageprocessen in 2050 nog een rol spelen, dan zou een routekaart voor afvang van CO₂ bij grote bedrijven ook de raffinaderijen moeten omvatten. Gezien de lastige internationale concurrentiepositie kan een compensatieregeling worden overwogen voor de kosten die boven de dan geldende CO₂-prijs in het kader van het Europese ETS uitgaat. Voor raffinaderijen geldt dat inzet op een mondiaal emissiehandelssysteem een optie is.

4.6.3 Welke beleidsopties ondersteunen de ontwikkeling?

Beleidsprakkels voor het op gang brengen van grootschalige productie van groene brandstoffen op praktijkschaal kan op verschillende manieren:

Beleidsoptie	Het subsidiëren van de eerste grootschalige fabriek voor de omzetting van lignocellulose biomassa in groen gas of groene olieproducten.
Indicatie kosten	Schatting rond de 500 miljoen euro (ECN & PBL 2015).
Overwegingen	De overheid kan (mede op advies van onafhankelijke deskundigen) een specifiek project ondersteunen. Bij de eventuele afweging tegen andere projecten kan worden overwogen de potentiële bijdrage aan emissiereductie op de lange termijn mee te nemen, naast of in plaats van alleen de kosten per vermeden emissie (of zoals in SDE+-regeling per petajoule hernieuwbaar) voor het project zelf.

Een alternatief voor subsidies voor demonstratieprojecten kan zijn om te werken met verplichtingen voor een deel van de productie. Voor transport zou in eerste instantie de inzet kunnen zijn om het EU-beleid tot 2020 (verplicht 10 procent hernieuwbare brandstof) enigszins bij te stellen en door te zetten naar 2030.

Gezien het feit dat de grootschalige productie van groene brandstoffen nog in het beginstadium verkeert en een geleidelijke toename de voorkeur verdient, dienen eventuele verplichtingen vooralsnog niet te hoog te worden gekozen en valt het te overwegen om in de eerste fase niet alle verplichtingen tegelijk te stellen. Tegelijkertijd is het belangrijk de verplichting zodanig hoog te stellen dat innovatieve grootschalige productie erdoor wordt gestimuleerd.

Beleids optie	Verplicht aandeel (in procent of in petajoule) groen gas in het gasnet, toenemend in de tijd.
Indicatie kosten	Kosten liggen bij producenten of leveranciers van gas, die deze doorberekenen aan de consument. De hoogte van het aandeel moet zorgvuldig worden vastgesteld om voldoende gebruik te kunnen maken van kostendalingen, maar toch de transitie genoeg vaart te geven.
Overwegingen	Beoordeling voor het kiezen tussen verschillende technologische opties gebeurt door marktpartijen. Het belang van een in de tijd toenemende verplichting draagt ertoe bij dat het potentieel voor de lange termijn eerder wordt meegenomen in de afweging. Een verplichting in petajoule geeft in vergelijking met een verplichting in procent meer zekerheid dat met bepaalde investeringen aan de verplichting kan worden voldaan.

Beleids optie	Verplicht aandeel (in procent of in petajoule) groene olieproducten voor transport, toenemend in de tijd (inclusief lucht- en schaaapvaart).
Indicatie kosten	Kosten liggen bij producenten of leveranciers van olieproducten, die deze doorberekenen aan de consument. De hoogte van het aandeel moet zorgvuldig worden vastgesteld om voldoende gebruik te kunnen maken van kostendalingen, maar toch de transitie genoeg vaart te geven.
Overwegingen	Beoordeling voor het kiezen tussen verschillende technologische opties gebeurt door marktpartijen. Het belang van een in de tijd toenemende verplichting draagt ertoe bij dat het potentieel voor de lange termijn eerder wordt meegenomen in de afweging. Een verplichting in petajoule geeft in vergelijking met een verplichting in procent meer zekerheid dat met bepaalde investeringen aan de verplichting kan worden voldaan.

Beleids optie	Verplicht aandeel (in procent of in petajoule) groene grondstof, bijvoorbeeld in de chemie (kunststof- en ammoniakproductie) en bij raffinaderijen (waterstof), toenemend in de tijd en gekoppeld aan een compensatieregeling voor extra kosten.
Indicatie kosten	Op de korte termijn betekent dit kostenstijging voor grondstoffen, afhankelijk van het aandeel.
Overwegingen	Het is te overwegen dit op termijn in vergunningen van bedrijven op te nemen. Dergelijke vormen van vergroening leiden niet tot een evenredige emissiereductie bij de productie en leveren ook weinig baten op in de vorm van te verkopen of uitgespaarde emissierechten. Doorberekening in de prijs kan tot een concurrentienadeel leiden. Een compensatieregeling past daarbij.

In het geval van bijmenging van groene brandstoffen bij de fossiele brandstoffen werken dergelijke verplichtingen prijsverhogend. Dat kan een stimulans zijn voor energiebesparing en elektrificatie. Dat kan uiteindelijk leiden tot een door de markt gekozen balans tussen de verschillende vergroeningspaden.

Ondersteunend voor de productie van biobrandstoffen zijn acties om zoveel mogelijk duurzaam geproduceerde biomassa in de wereld en voor Nederland beschikbaar te krijgen.

Beleids optie	Verdere vormgeving van duurzaamheidscriteria voor biomassa, de handhaving ervan en de beoordeling van in Nederland ingezette biomassa.
Indicatie kosten	Veel (ambtelijk) overleg en uitvoering handhavingsprogramma's. Lastig in te schatten, omdat het een internationale procesketen betreft.
Overwegingen	Het vergroot de zekerheid dat de inzet van biomassa in plaats van fossiele brandstoffen daadwerkelijk tot flinke emissiereductie leidt zonder onacceptabele neveneffecten. Het vergroot ook de zekerheid voor investeerders dat de grondstof niet ter discussie kan komen te staan. Mogelijke afwijkingen van elders gehanteerde criteria kunnen tot onduidelijkheid leiden en als oneerlijk worden ervaren. Vereist goede handhaving.

Beleids optie	Beschikbaar stellen van een budget voor een programma voor projecten waarin Nederland de inzameling, productie, verwerking en transport van biomassa in het buitenland (vooral minder ontwikkelde landen) meehelpt vorm te geven.
Indicatie kosten	Niet nader bekeken. Sterk afhankelijk van de projecten.
Overwegingen	Het op gang brengen van stromen biomassa en ervaring opdoen met de praktische aspecten daarvan en inzicht vergaren in duurzaamheid en institutionele knelpunten.

Daarnaast is er de optie om de productie van de olieraffinaderijen zo snel mogelijk emissie-arm te maken (waarvoor CCS een belangrijke technische optie vormt), vooral ter overweging als de CO₂-prijs in ETS-kader laag blijft.

Beleids optie	Verplichting tot CO₂-afvang bij raffinaderijen vanaf een bepaald jaar (in ieder geval na 2025); daarbij is een compensatieregeling te overwegen.
Indicatie kosten	Kosten voor afvang naar schatting 60-80 euro per ton (CE-Delft 2016).
Overwegingen	Compensatie moet worden afgewogen tegen de mogelijke bedrijfseconomische gevolgen en meerkosten ten opzichte van de dan geldende CO ₂ -prijs.

4.7 Transport en opslag van CO₂

4.7.1 Hoe kan het toekomstbeeld voor 2050 eruitzien?

Inleiding

Het afvangen en opslaan van CO₂ (*carbon capture and storage, CCS*) is een *end-of-pipe*-oplossing, die extra energie vraagt en waarmee het fossiele systeem nog enigermate in stand kan worden gehouden. De opslagmogelijkheden zijn eindig. Het zijn juist deze kenmerken die CCS voor velen niet tot een aantrekkelijke, duurzame optie maken. Toch is realisatie van verregaande emissiereductie in 2050 zonder CCS bijna ondenkbaar, omdat de alternatieven in veel gevallen ook praktische beperkingen (kunnen) hebben

Figuur 4.2
Processtappen bij afvang en opslag van CO₂ (CCS)



Bron: PBL

en het volledig fossielvrij maken van het energiesysteem in de daarvoor nog resterende 34 jaar zeer lastig is. Voor Nederland betekent een emissiereductie met 80 procent in 2050 zonder CCS een aandeel hernieuwbare energie van meer dan 80 procent, aangevuld met verregaande energiebesparing. Om tot 95 procent emissiereductie te komen, is de inzet van CCS noodzakelijk. Voor sommige industriële processen is CCS bovendien vooralsnog de enige manier om koolstofextensief te kunnen worden. CCS kan niet alleen worden ingezet om nog een bijdrage van fossiele energie mogelijk te maken, de combinatie van CCS met biomassa biedt ook de mogelijkheid tot *negatieve* emissies. Die kunnen in het beeld van 2050 goed worden benut om te compenseren voor nog resterende overige broeikasgasemissies. In paragraaf 1.1 is al aangegeven dat het totale CO₂-budget voor de rest van deze eeuw beperkt is om de temperatuurstijging onder de 2 graden te houden, en dat er rekening mee moet worden gehouden dat dit al ruim voor het einde van de eeuw is uitgestoten. Ook dan zijn negatieve emissies cruciaal om de afspraken van Parijs te kunnen nakomen. De afvang van CO₂ wordt bij de verschillende bronnen besproken en hier slechts op hoofdlijnen meegenomen. In dit hoofdstuk ligt de focus op transport en opslag.

Technische uitvoering

Het afvangen en opslaan van CO₂ (CCS) betreft een combinatie van vijf processtappen die zijn weergegeven in figuur 4.2.

Toepassing van CCS is een optie voor relatief grote puntbronnen van CO₂. Dat zijn bij de industrie onder andere de processen in de ijzer- en staalbasismetaalindustrie, de chemische industrie, en bij raffinaderijen. Bij elektriciteitscentrales gaat het vooral om biomassa elektriciteitscentrales en dan eventueel nog operationele kolencentrales. Het is de vraag in hoeverre aardgascentrales, die in de toekomst vooral worden ingezet als pieklasteenheid en reservevermogen, worden uitgerust met CO₂-afvanginstallaties (zie bijvoorbeeld Ploumen et al. 2007).

Mogelijke nieuwe, grote bronnen van CO₂ zijn processen waarin biomassa wordt omgezet in groen gas of groene transportbrandstoffen en grondstoffen en een relevant deel van de koolstof uit de biomassa niet in het eindproduct terecht komt. Afvang en opslag daarvan leidt tot negatieve emissies.

Investeringskosten voor implementatie van CO₂-afvang bij bestaande energiecentrales en industriële bronnen zijn naar schatting 40-70 procent hoger dan investeringen bij nieuwbouw. Bij het toepassen van CCS nemen niet alleen de investeringskosten toe, maar ook de operationele kosten. In het geval van afvang uit gassen met een lage CO₂-concentratie en -druk, zijn er ook significant extra brandstofkosten. Die extra vraag naar energie betekent een grotere afhankelijkheid van de beschikbaarheid van brandstof, maar in bepaalde situaties kan warmte uit restwarmte, van (voorlopig nog) minimaal 140°C, worden ingezet.

Een beperkt deel van de afgevangen CO₂ kan nuttig worden gebruikt: in de chemie en de bouwmaterialenindustrie kan volgens een schatting van VNCI (2012) in een Routekaart tot 2030 ongeveer 2,5 megaton/jaar aan CO₂ worden gebruikt als grondstof. Daarnaast wordt ongeveer 0,5 megaton per jaar aan CO₂ uit koolstof van biologische oorsprong gebruikt voor de glastuinbouw en voedingsmiddelenindustrie en als oplosmiddel. Er is voor dergelijke toepassingen weinig uitbreidingspotentieel. Een nieuwe vorm van hergebruik met meer potentieel kan *power-to-gas/fuel* zijn (zie paragraaf 4.6).

De niet nuttig toepasbare afgevangen CO₂ kan via een netwerk in de regio's rond Rotterdam en IJmuiden/Amsterdam naar één punt bij IJmuiden worden verzameld en vandaar naar gedepleteerde gasvelden en olievelden op de Noordzee worden getransporteerd voor eeuwigdurende opslag (EBN & Gasunie 2010). De opslagcapaciteit op het Nederlandse deel van de Noordzee wordt geschat op 1.400 megaton CO₂.

Bij afvang van grote hoeveelheden CO₂ over een langere periode moet export worden overwogen (benutting van een groot aquifer in het Noorse deel van de Noordzee). Daarnaast is er opslagcapaciteit op (onder) land in Nederland, maar na het echech van Barendrecht is benutting daarvan vooralsnog geen optie.

Betrokken actoren

- *Het bedrijf – industrieel bedrijf of energiebedrijf – met CO₂-emissies.* Het bedrijf krijgt de verantwoordelijkheid of verplichting om CO₂ af te vangen en geschikt te maken voor transport en opslag. Bedrijven hebben al kenbaar gemaakt na afleveren van de CO₂ aan de poort geen verdere bemoeienis te willen met transport en opslag.
- *Eigenaren van gas- en olievelden.* Sommige gas- en olievelden die geschikt zijn voor opslag van CO₂ zullen nog niet leeg zijn, andere zullen een tijdje leegstaan, en weer andere kunnen CO₂ gebruiken voor *Enhanced Oil Recovery* (EOR). Vooral bij het openhouden zullen er nieuwe verantwoordelijkheden en plichten zijn bij huidige bedrijven, of bij een nieuw op te richten bedrijf dat het onderhoud op zich neemt in de tijd tussen exploitatie en gebruik voor CO₂-opvang.
- *Overheden.* Met de EU CCS Directive en aanvullend beleid van lidstaten zijn indertijd de wettelijke barrières geslecht, zoals die rondom vergunningprocedures, wettelijke aansprakelijkheid bij lekkage, eisen aan abandonnering en fondsvorming voor eventuele gebreken in de toekomst.
- *Netwerkbedrijf.* In de huidige situatie is er geen expliciet verantwoordelijke voor transport en opslag van CO₂.
- Energie Beheer Nederland is actief betrokken bij het opsporen, produceren, opslaan en verhandelen van gas en olie (een staatsdeelneming, waarvan 100 procent van de aandelen in handen zijn van de Nederlandse Staat) en kan ook een rol spelen bij (voorbereiding) van opslag van CO₂.
- Toezichthouder.

De potentiële klimaatwinst

De rol van CCS in 2050 is sterk afhankelijk van de overige maatregelen die worden genomen en de vereiste emissiereductie. Bij verregaande inzet van energiebesparing en vooral hernieuwbare energie (>80 procent) en eventueel kernenergie zijn er toekomstbeelden waarin CCS niet nodig is om toch aan 80 procent emissiereductie te komen, maar de onzekerheid over de haalbaarheid van dergelijke toekomstbeelden is groot. Voor hogere reductiepercentages zijn varianten zonder CCS, rekening houdend met praktische beperkingen voor andere technieken, nauwelijks voorstelbaar. In de toekomstbeelden varieert de opslag van CO₂ in de meeste gevallen tussen de 20 en 50 megaton per jaar.

4.7.2 Welke stappen kunnen er in de komende jaren worden gezet?

De opbouw van het CO₂-transportnetwerk is al in 2005 gestart, en is in de loop van de jaren verder uitgebouwd vanuit de bestaande OCAP-pijpleiding en initiatieven rond Rotterdam en de Maasvlakte (zie ook kader 4.7.1). Doel was om hergebruik in de glastuinbouw mogelijk te maken. Naarmate de glastuinbouw meer overgaat op klimaatneutrale of emissievrije kassen en eigen gasketels meer en meer gaan verdwijnen, zal de noodzaak van zo'n leidingsysteem alleen maar groter worden.

4.7.1 Het OCAP-systeem

Het OCAP-systeem bestaat uit een pijpleidingsysteem met een hoofdleiding van meer dan 80 kilometer vanaf Botlek naar Schiphol en de Amsterdamse haven. De hoofdleiding heeft een transportcapaciteit van ongeveer 1 megaton per jaar en kan CO₂ onder een druk van ongeveer 20 bar transporteren. De pijpleiding wordt beleverd vanuit de Shell PER+- en Abengoa-fabrieken in de Botlek. Beide fabrieken samen kunnen jaarlijks maximaal 1,3 megaton (1,0 + 0,3 megaton per jaar) aan de pijpleiding leveren. Vanuit de pijpleiding worden een kleine 600 tuinders beleverd met ongeveer 400 kiloton per jaar aan CO₂. De levering vindt hoofdzakelijk in de zomer – in het groeiseizoen – plaats. Het leidingsysteem wordt geëxploiteerd door Linde Gas en VolkerWessels.

Bij de uitrol van CCS in Nederland zou de OCAP-leiding via een 20 kilometer lange pijpleiding kunnen worden aangesloten op bestaande pijpleidingen naar een gasveld en een viertal olievelden vlak onder de kust bij IJmuiden. De capaciteit van deze leidingen ligt dan tussen de 2 en 10 megaton per jaar (CE Delft 2016; EBN & Gasunie 2010).

De betreffende velden zijn naar verwachting tussen 2016 en 2020 leeg geproduceerd en beschikbaar voor opslag van CO₂. De kosten van transport en opslag liggen in het algemeen onder de 10 euro per ton CO₂, maar zijn afhankelijk van afstand en soort opslaglocatie (gedepleteerd gas- of olieveld of aquifer) alsmede de capaciteit daarvan. Zeker in de demo- en precommerciële fase moet opslag zoveel mogelijk in de nabijheid van de kust worden gedaan om de transportafstanden en daarmee de kosten zo laag mogelijk te houden. Nadat de velden in de nabijheid van de kust zijn gevuld, moet het transportnetwerk worden uitgebreid in de richting van verder gelegen opslagvelden, waar zich de meeste opslagcapaciteit bevindt.

Vanwege de opslagcapaciteit in de hiervoor genoemde Nederlandse offshore-gasvelden en olievelden is het minder waarschijnlijk dat er al op afzienbare termijn een aansluiting zal komen op de in de gebruikszones van Groot-Brittannië en Noorwegen liggende gas- en olievelden en aquifers op de Noordzee.

Velden die beschikbaar zijn, kunnen niet onmiddellijk worden gebruikt voor CO₂-injectie. Alvorens met CO₂-injectie kan worden begonnen, dient een veld voor opslag ontwikkeld te worden. De gemiddelde periode daarvoor bedraagt naar schatting drie tot vier jaar, afhankelijk van het type veld en de lokale situatie. De benodigde termijn om tot een geschikte locatie te komen, kan langer worden als opslaglocaties afvallen omdat ze niet aan de (veiligheids) criteria voldoen of als er juridische knelpunten optreden, bijvoorbeeld doordat winningsvergunningen kunnen worden verlengd. Hierdoor kan vertraging of afstel van een CO₂-opslagproject het gevolg zijn.

Bij vrijwel alle potentiële opslaglocaties op zee en in noord-Nederland wordt nog aardgas gewonnen. Dit kan op twee manieren tot knelpunten leiden: onshore komt er mogelijk niet tijdig voldoende opslagcapaciteit vrij, terwijl er offshore waarschijnlijk een paar jaar ligt tussen het einde van de aardgasproductie en het begin van CO₂-opslag (EBN & Gasunie 2010).

Er is nog een zekere ontwikkelingstijd nodig voordat CCS grootschalig en over een breed palet aan industriële sectoren kan worden ingezet. De ontwikkelingstijd is vooral nodig voor doorontwikkeling van CO₂-afvangtechnologie naar commerciële schaal voor gassen met beperkte drukken en CO₂-concentraties, de kosten te verlagen en een infrastructuur op te bouwen. De verwachting is dat het zeker nog tien jaar vergt om te zorgen voor een capaciteit van minimaal 10 megaton per jaar. Eerst een grootschalige Nederlandse proef (bijvoorbeeld ROAD) met een bouwtijd en proeftijd van vijf jaar, daarna volgt de uitbouw van het netwerk en de bouw van grootschalige commerciële installaties.

In het kader van verschillende studies is door potentiële leveranciers van CO₂ voor opslag aangegeven dat zij zich niet verantwoordelijk voelen voor de afvoer en opslag van de afgevangen CO₂. Andere partijen moeten die rol op zich gaan nemen, waarbij het voor de hand ligt dat de Rijksoverheid een belangrijke speler wordt om de infrastructuur in samenspel met bedrijven in te richten en te beheren en daarmee de verantwoordelijkheid voor transport en opslag te nemen.

Investeren in de infrastructuur voor CCS moet passen bij een brongericht plan van aanpak dat duidelijkheid moet geven over het aanbod van CO₂. Aangezien vooral de kosten voor afvang sterk kunnen variëren, ligt het voor de hand in die brongerichte benadering te beginnen met CO₂-stromen die bij enkele industriële processen al in geconcentreerde vorm vrijkomen (zie ook paragraaf 4.4) en dan geleidelijk de minder geconcentreerde stromen mee te nemen.

Onderwerpen die aan bod moeten komen, of verder ondersteunend beleid vragen met betrekking tot infrastructuur en opslag zijn:

- realistisch opslagpotentieel: welke olie- en gasvelden zijn geschikt voor opslag, welke faciliteiten op deze locaties en welke pijpleidingen zijn geschikt of kunnen geschikt worden gemaakt voor CO₂-transport en –opslag?;
- welke mogelijke additionele pijpleidingtracés en welke eventuele barrières zijn er vanuit de ruimtelijke ordening en hoe kunnen die eventueel worden opgelost?
- zijn er schattingen van benodigde investeringen voor nieuwe infrastructuur of voor het aanpassen van bestaande infrastructuur, en hoe kunnen de benodigde financiële middelen worden gegenereerd (bij bestaande leidingen samen met de exploitant)?

Volgens woordvoerders van de industrie, overheid en kennisinstututen kan CCS in de toekomst voor de industrie een vestigingsfactor zijn als de ETS-prijs hoger wordt en in Nederland stabiel kan blijven (CE Delft 2016).

4.7.3 Welke beleidsopties ondersteunen de ontwikkeling?

De recente ontwikkelingen op gebied van beleid en grootschalige projecten en de aanbevelingen in diverse recente onderzoeken bevatten een duidelijke lijst met te nemen acties die kunnen resulteren in de volgende beleidsrichtingen:

Beleids optie	Start met de oprichting van een CCS-bedrijf, bijvoorbeeld in publiek-private samenwerking, inclusief regeling voor de financiering van de taken.
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	Zorg voor verbindingsmogelijkheden tegen acceptabele kosten voor alle potentiële gebruikers. Richt een exploitatiemaatschappij op voor het transportnetwerk zoals dat eerder ook is gebeurd voor warmtenetwerken op land. Zorg dat de overheid aandeelhouder is in deze maatschappij, net als de overheid directe aandeelhouder is in NAM en via EBN aandeelhouder is in andere gas- en oliewinningsprojecten.

Beleids optie	Ontwikkelen van een wettelijk kader dat het beschikbaar houden van geschikte offshore-faciliteiten/infrastructuur en velden voor CO₂-opslag verplicht stelt (mogelijk onderdeel van takenpakket te vormen CCS-bedrijf).
Indicatie kosten	Niet nader bekeken. Afhankelijk van de voorwaarden en kosten van risicoafdekking.
Overwegingen	Regelen wettelijke aansprakelijkheden, verplichtingen en randvoorwaarden als onderdeel van dat wettelijk kader. Er is bijvoorbeeld duidelijk omschreven welke maatregelen en procedures moeten worden genomen om risico's tijdens exploitatie en na abandonneren te minimaliseren. Ook is er net als bij gas- en oliewinning een fonds voor afdekken van eventuele financiële, materiële en fysieke schades ontstaan tijdens exploitatie, tijdens en na abandonnering.

Het ligt voor de hand de oprichting van een CCS-bedrijf en zeker ook het beschikbaar houden van offshore-opslagfaciliteiten gepaard te laten gaan met een beleidsplan voor afvang van CO₂. Indien de ontwikkelingen in het ETS te weinig perspectief bieden op de gewenste termijn, kunnen specifieke beleidsmaatregelen worden overwogen en mogelijk instrumenten voor financiële compensatie voor bedrijven, als het ten koste kan gaan van hun concurrentiepositie. Dat kan een drukkend effect hebben op de prijs van ETS-rechten (waterbedeffect).

Beleids optie	Stel een nationale routekaart voor CCS op, die duidelijkheid schept over afvang, de inrichting van de infrastructuur en de daarmee beschikbaar komende opslagcapaciteit
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	Maatschappelijk draagvlak is een randvoorwaarde. Helder moet worden afgesproken welke varianten voor CO ₂ -afvang en -opslag wel en niet aanvaardbaar zijn voor maatschappelijke partijen.

Beleids optie (zie ook paragraaf 4.4)	Traject voor afvangverplichting per bron uitstippelen aan de hand van de routekaart
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	Dit kan volgen op of onderdeel zijn van het maken van een routekaart. Maatschappelijk draagvlak is een randvoorwaarde. Helder moet worden afgesproken welke varianten voor CO ₂ -afvang en -opslag wel en niet aanvaardbaar zijn voor maatschappelijke partijen. Afvang en opslag van CO ₂ leidt tot minder vraag naar ETS-rechten, met drukkend effect op de prijs van ETS rechten en leidt door het waterbedeffect niet noodzakelijk tot EU-brede emissiereductie. Om die reden is inzet op beleid in EU-kader dat leidt tot krachtige prikkels voor deze maatregelen op EU-niveau ook een belangrijke optie.

Beleids optie (zie ook paragraaf 4.4)	Ontwikkel financiële instrumenten voor ondersteuning van exploitatie van afvang vanaf 2025. Bijvoorbeeld een SDE+-achtige constructie waar (een deel van) de meerprijs bovenop de ETS prijs vergoed wordt of andere stimulering voor investeringen in CO₂-afvang bij bepaalde bronnen.
Indicatie kosten	Het huidige kostenniveau voor afvang bedraagt ⁷ (Brownsort 2013; ECN 2011; IEA 2013): <ul style="list-style-type: none"> – 10-20 euro per ton CO₂ voor industriële CO₂-bronnen met CO₂-concentraties > 90 procent; – 40-50 euro per ton CO₂ voor industriële CO₂-bronnen met CO₂-concentraties tussen 20-70 procent; – 40-50 euro per ton CO₂ voor kolencentrales (bij basislast productieprofiel); – 60-80 euro per ton voor grote gasgestookte industriële vuurhaarden. Verwachte ETS-prijs rond 2025 ligt rond de 10-15 euro per ton maar is erg onzeker.
Overwegingen	Afvang alleen stimuleren bij bronnen waar het niet te duur is, maatschappelijk geaccepteerd is, en waar geen andere decarbonisatieopties beschikbaar zijn. Bij deze optie moet er rekening worden gehouden met het effect ervan op het ETS.

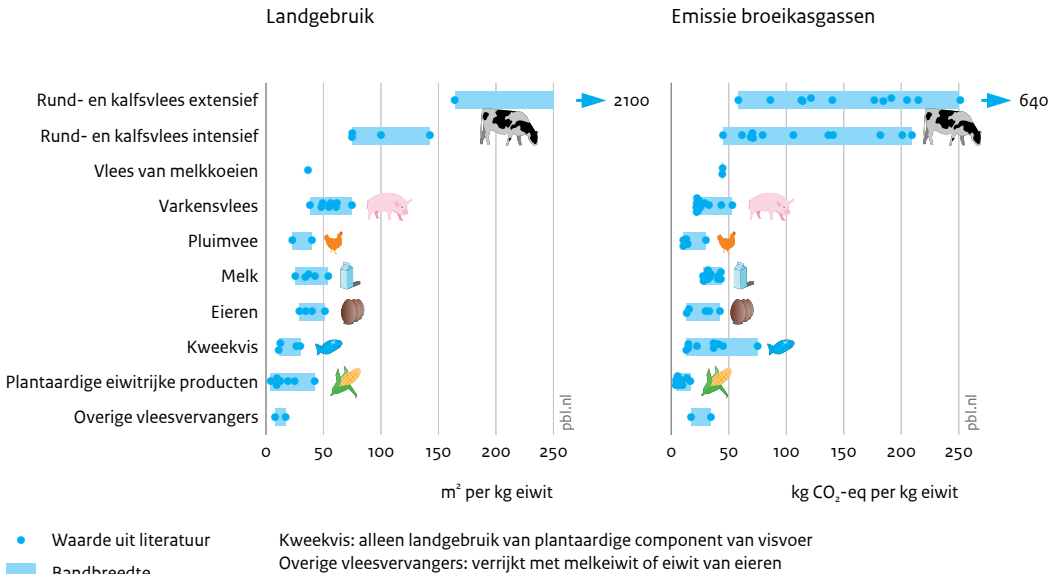
4.8 Landbouw, landgebruik en voedsel

4.8.1 Hoe kan het toekomstbeeld voor 2050 eruitzien?

Inleiding

Bij het produceren en consumeren van voedsel komen naast CO₂ ook aanzienlijke hoeveelheden methaan (CH₄) en lachgas (N₂O) vrij. Methaan komt vooral vrij bij veehouderijen, onder andere bij mestopslag en pensfermentatie⁸, lachgas bij de akkerbouw vanuit de bodem vooral door bemesting. De Nederlandse landbouwsector draagt in de huidige situatie voor ruim 13 procent (circa 25 megaton⁹ CO₂-equivalenten; CBS et al. (2016)) bij aan de Nederlandse uitstoot van broeikasgassen. De technische mogelijkheden voor vermindering van deze emissies zijn vooralsnog beperkt. Daarom moet er rekening mee worden gehouden dat – bij een succesvol energietransitiebeleid

Figuur 4.3
Landgebruik en emissie broeikasgassen per eiwitbron



Bron: PBL 2011

– de landbouw in 2050 een groter aandeel in de Nederlandse emissies zal hebben dan nu het geval is.

Hoewel het uitgangspunt van deze analyse een verregerende emissiereductie in Nederland is, maken we voor dit onderwerp een uitzondering en kijken we ook naar effecten van de Nederlandse voedselconsumptie over de grens vanwege de potentieel grote effecten. Daarbij zijn niet alleen de emissies uit de productieketens voor voedingsproducten relevant, ook het landgebruik, vooral als gevolg van de consumptie van vlees en zuivel (zie figuur 4.3). Zo'n 75 procent van de broeikasgasemissies uit de landbouw hangt samen met de productie van vlees, melk en eieren (Vermeulen et al. 2012). Niet alleen bij de productie van landbouwproducten, maar ook door omzetting van bos, savannes en grasland naar landbouwgrond en bij de oxidatie van veengronden komt veel CO₂ vrij (dat laatste speelt ook in Nederland).

Het verminderen van de consumptie van dierlijke producten betekent daarom ook minder landgebruik voor de teelt van veevoer. Dat land kan dan worden ingezet voor de vastlegging van koolstof of voor de teelt van biomassa voor energie. Dat maakt de aandacht voor de consumptie van dierlijke producten zeer relevant voor klimaatbeleid.

Technische uitvoering

Het potentieel voor emissievermindering door technische maatregelen in de akkerbouw en bij de intensieve en grondgebonden veehouderij in Nederland is vooralsnog beperkt. De meeste winst is te boeken door maatregelen ter voorkoming van methaanemissies bij mestopslag, zoals mestvergisting. Daarnaast lopen er onderzoeksprogramma's om de methaanuitstoot bij melkkoeien door het herkauwen van gras ('methaanarme koeien') verder te verminderen.

De ingezette landbouwwerktuigen gebruiken vooral fossiele diesel, waarbij een grotere inzet van biodiesel een optie vormt. Op termijn kunnen elektrische tractoren een alternatief zijn, maar slechts als ter plekke de mogelijkheid van betaalbaar snel opladen voor de boer aanwezig is. Tractoren op waterstof, met kleinschalige productie van waterstof uit elektriciteit, kunnen een alternatief vormen. De CO₂-emissie van koolstofrijke gronden, zoals veengronden, kan worden beperkt door beheermaatregelen.

Voor de lange termijn komen er mogelijk aantrekkelijke alternatieven voor vlees (onder andere geprint kunstvlees en *novel protein foods*), die steeds meer de *look, taste and feel* van echt vlees en vis benaderen. Ook voor deze producten zijn gewassen nodig, maar beduidend minder dan voor vlees. Onderzoek hiernaar bevindt zich nog in de beginfase. Het is onduidelijk in hoeverre deze alternatieven in 2050 een bijdrage kunnen leveren aan de reductie van broeikasgassen.

Betrokken actoren

De grootste aangrijpingspunten om de bijdrage van het voedselsysteem aan het versterkte broeikas effect te verminderen zijn geïllustreerd in figuur 4.4.

Die verschillende aangrijpingspunten staan ook voor de verschillende actoren: de landbouwers en veehouders, de voedingsindustrie, de detailhandel en de consumenten.

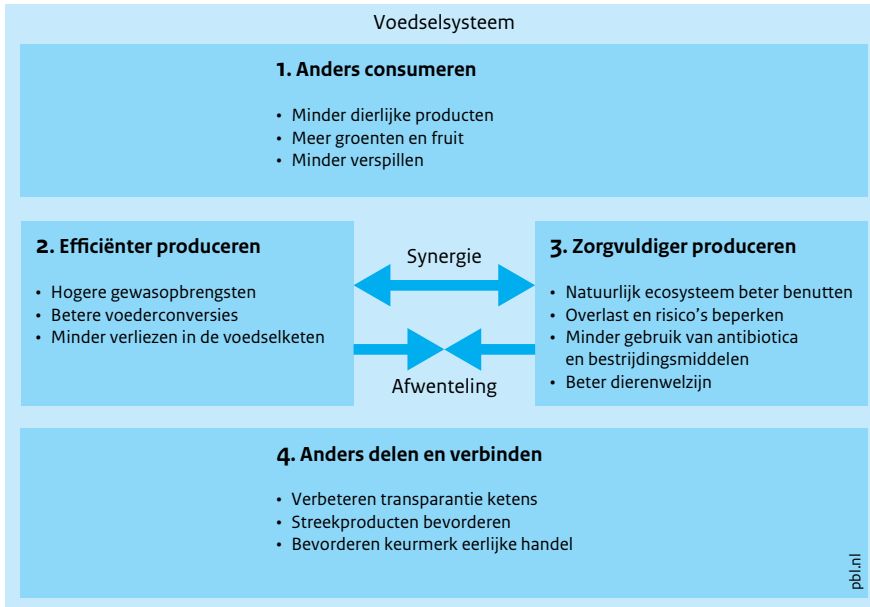
De duurzaamheid van biobrandstoffen die worden geproduceerd op basis van agrarische gewassen (koolzaad, mais, oliepalm, tarwe, suikerriet, en dergelijke) wordt betwist, als gevolg van de indirecte landgebruiksveranderingen en de daarmee gepaard gaande uitstoot van CO₂. Op basis van die emissie-effecten is het aandeel van dergelijke biobrandstoffen aan de EU-doelstelling voor hernieuwbare energie in verkeer en vervoer begrensd. Voor agrarische producten met andere toepassingen zijn dergelijke duurzaamheidscriteria er niet. Voor voedselproductie ter vervulling van de basisbehoefte van de mensen is dat begrijpelijk. Land dat voor die productie nodig is, komt niet snel ter discussie te staan. Echter, de consumptie van dierlijke producten kan voor een deel als een vorm van luxe worden beschouwd. Vanuit dat perspectief zijn ook duurzaamheidscriteria voor de productie van veevoer te overwegen.

Potentieel voor emissiereductie

Door vergisting van alle Nederlandse mest kan ruim 5 megaton CO₂-equivalenten aan emissie worden vermeden, waarvan driekwart door vermeden stalemissies van methaan en een kwart door vervanging van aardgas door het geproduceerde

Figuur 4.4

Vier oplossingsrichtingen voor een duurzamer voedselsysteem



Bron: PBL, 2013

biogas (ECN & PBL 2016). Nulemissielandbouwwerktuigen kunnen in theorie tot een vermindering met 1 megaton CO₂-equivalenten leiden (CBS et al. 2016). Andere technische maatregelen bij akkerbouw en veehouderijen hebben een zeer beperkt potentieel voor emissievermindering (zie bijvoorbeeld Rougoor et al. (2013). Beheermaatregelen bij veengronden en moerige gronden kunnen de emissie met circa 1 megaton CO₂ beperken (PBL 2016).

Vermindering van de consumptie van dierlijke producten heeft een veel groter effect, onder andere op de omvang van de veestapel, al zal het effect van consumptieverandering van Nederlanders voor een groot deel over de grens optreden. Voor het klimaatprobleem is dat zeker zo relevant. In de eerste plaats worden daarmee de emissies in de productieketen vermeden die rechts in figuur 4.3 zijn aangegeven. Het leidt daarnaast tot minder landgebruik. In een verkennende studie (Rood et al. 2014) is het effect geschat van halvering van de Nederlandse consumptie van dierlijke producten. Dat kan leiden tot het vrijkomen van een hoeveelheid landbouwgrond waarop biomassa kan worden geteeld. Met die biomassa kan zo'n 10 procent van de Nederlandse energievraag worden gedekt, wat 10 tot 15 megaton CO₂-emissiereductie per jaar kan opleveren. Stel dat de vleesconsumptie met 5 procent daalt, dan vermindert het benodigde areaal cultuurgrond met circa 90.000 hectare (5 procent van het Nederlands landbouwareaal). Ter indicatie: als op deze grond bijvoorbeeld loofbos

komt, dan kan in totaal (niet op jaarbasis) 30 megaton CO₂ worden vastgelegd, al neemt de groei van bomen wel vele decennia in beslag.

4.8.2 Welke stappen kunnen er in de komende jaren worden gezet?

Anders consumeren

Uit Verhoog et al. (2015) blijkt dat de vleesconsumptie van Nederlanders sinds 2010 afneemt. Door enerzijds in te zetten op voorlichting rond de negatieve effecten van vleesconsumptie en anderzijds het eten van vlees financieel onaantrekkelijker te maken, kan de consumptie van vlees verder dalen.

Om de Nederlandse bevolking te verleiden om bij de voedselkeuze duurzaamheid meer in acht te nemen en draagvlak te creëren voor ingrijpende maatregelen, is bewustwording belangrijk. Door multimediale voorlichting, niet alleen gericht op gezonde voeding maar ook op het kennismaken met vleesvervangers, kan het denken over voedsel worden beïnvloed. Dit kan bijdragen aan een omslag naar een duurzaam voedselsysteem.

Er kunnen ook krachtiger beleidsimpulsen worden overwogen. Een eerste stap kan zijn aanpassing van het btw-tarief. Alhoewel btw-heffing in beginsel is bedoeld om inkomsten voor de overheid te genereren en minder geschikt is om het marktmechanisme te corrigeren, kan in het licht van het verminderen van milieuschadelijke subsidies worden overwogen om vlees dat nu in het verlaagde btw-tarief (6 procent) zit, in het algemene btw-tarief van 21 procent te plaatsen, of er kan worden gedacht aan de beprijzing van vlees op een andere manier in te richten. Afschaffen van het verlaagde tarief op vlees leidt tot een afname van de Nederlandse vleesconsumptie met ongeveer 5 procent, en leidt op wereldschaal tot een broeikasgas-emissiedaling¹⁰ van 0,4 megaton CO₂-equivalenten (alleen de directe emissies, exclusief het effect van landgebruiksverandering). De extra belastingopbrengst is ongeveer 750 miljoen euro (PBL 2016). Het vraagstuk in welk btw-tarief samengestelde (vlees/niet-vlees) producten te plaatsen, kan worden geklaard door hier heldere afspraken over te maken. Bijvoorbeeld als een product enig vlees (bijvoorbeeld salampizza) bevat, kan het hele product onder het algemene tarief worden gebracht. Dit blijft echter een politieke keuze. De volgende stap kan zijn om niet alleen vlees, maar ook eieren, melk en (eventueel) vis, of alle consumptie, in het algemene btw-tarief (21 procent) te plaatsen. Dit leidt tot een vermindering van broeikasgasemissie van 0,3-0,5 megaton. De derde stap kan zijn om in aanvulling op het algemene btw-tarief een verbruiksbelasting op dierlijke producten in te voeren. Het invoeren van een verbruiksbelasting (zoals die in Nederland ook bestaat voor frisdranken) kan leiden tot een verdere afname van de dierlijke consumptie.

Anders delen en verbinden

Gezien de verwachte groei van de wereldbevolking, de stijgende vleesconsumptie en de stijgende energiebehoefte zal zowel de vraag naar voedsel en veevoer als die naar biomassa toenemen. Welk gewas op landbouwgrond wordt verbouwd, wordt thans in belangrijke mate bepaald door het marktmechanisme: met welk gewas kan de boer

het meeste verdienen? Uiteraard gelden daarbij fysieke randvoorwaarden: voor welk type gewas is de grond geschikt? Het is de vraag in hoeverre het marktmechanisme – mede in het licht van het 2-graden doel – tot een maatschappelijk optimaal gebruik van landbouwgrond zal leiden. Sturen op het (mondiale) gebruik van landbouwgrond vanuit het oogpunt van het beperken van klimaatverandering is een complexe aangelegenheid. Welke gewassen vanuit klimaat oogpunt de voorkeur hebben, is namelijk afhankelijk van de productieketen waar het gewas wordt ingezet. Zo kent het gebruik van een gewas als energiedrager een andere klimaatimpact dan het gebruik van een gewas als veevoer. Op welke schakel in de productieketen sturing het meest effectief en efficiënt is, en hoe een sturingsinstrument dan het beste vorm kan worden gegeven (prijsprikkel, regulering?) vergt nadere analyse. Op Europese schaal kan het Gemeenschappelijke Landbouwbeleid (GLB) meer worden gericht op het realiseren van maatschappelijke doelen, zoals beperking van klimaatverandering. Maar ook hier rijst dan de vraag hoe het GLB deze productieketenbenadering kan meenemen en hoe het GLB dan vorm moet worden gegeven om effectief te kunnen zijn. Ook valt te denken aan een verdere uitbouw van duurzaamheids certificering van voedselketens. Vooralsnog is nader onderzoek naar de mogelijkheden voor de vormgeving van dergelijke beleidsopties en de mogelijke consequenties belangrijk.

In paragraaf 1.1 is uitgelegd dat de totale hoeveelheid CO₂ die gedurende deze eeuw in de atmosfeer mag worden gebracht om niet boven de in Parijs afgesproken temperatuurstijging te komen beperkt is, en dat het waarschijnlijk is dat daarvoor ook negatieve emissies nodig zijn. Twee mogelijkheden daarvoor zijn de combinatie van biomassa met CCS en de vastlegging van CO₂ in natuurlijke systemen. Voor beide opties is de beschikbaarheid van land belangrijk. Veel landbouwgrond wordt nu ingezet voor de productie van veevoer. Dat staat momenteel niet ter discussie. De teelt van gewassen voor bio-energie wel, onder andere door het mogelijk prijsopdrijvende effect op voedsel (*trade-offs*). Voor een duurzaam gebruik van land is het zinvol dat er een maatschappelijk debat wordt gevoerd over prioriteiten voor landgebruik.

Efficiënter en zorgvuldiger produceren

De opslag van dierlijke mest is een belangrijke bron van methaanemissies. Deze uitstoot kan grotendeels worden vermeden door de mest snel na het vrijkomen te vergisten. Bijkomend voordeel hiervan is dat het gevormde biogas kan worden ingezet ter vervanging van aardgas. Dierlijke mest is echter geen energierijke afvalstroom en mestvergisting moet daarom vooral worden gezien als emissiebeperkende techniek (ECN & PBL 2016).

Vergisting is een bekende techniek en daarom rijp voor grootschalige toepassing. Een technisch alternatief is niet beschikbaar. Er hangt echter wel een prijskaartje aan, dat voor de boeren vanuit bedrijfseconomisch perspectief een zware last betekenen. Daarom kan het voortzetten van een subsidieregeling (zoals de SDE+-regeling) worden overwogen.

Nulemissielandbouw werktuigen zoals tractoren en bemesters zijn nog toekomstmuziek. Het gevraagde vermogen gedurende vele uren maakt elektrische landbouw werktuigen minder voor de hand liggend. Betaalbare vormen van snelladen of de inzet

van waterstof zijn alternatieven. Het ligt voor de hand de ontwikkelingen daarvan in het wegverkeer af te wachten. Te overwegen valt om een pilot voor landbouwwerktuigen op waterstof uit te voeren in een geheel emissievrije opzet, bijvoorbeeld door op de boerderij met elektriciteit van zonnepanelen waterstof te produceren en die in te zetten als energiebron voor de landbouwwerktuigen.

4.8.3 Welke beleidsopties ondersteunen de ontwikkeling?

In deze paragraaf zijn mogelijke beleidsopties weergegeven die invulling geven aan de in de vorige paragraaf beschreven stappen. De eerste twee opties hebben betrekking op een vermindering van de emissie bij de landbouwprocessen in Nederland.

Beleidsoptie	Verplichting mestvergisting. In combinatie met subsidie ter compensatie van de extra kosten (SDE+-constructie).
Indicatie kosten	700 miljoen euro per jaar (ECN/PBL 2016).
Overwegingen	Technologie is al verregaand ontwikkeld en er zijn geen alternatieven. Daarom is grootschalige toepassing een logische volgende stap. De kosten kunnen aanzienlijke bedrijfseconomische consequenties hebben, die met een compensatieregeling kunnen worden beperkt.

Beleidsoptie	Subsidie van een pilot voor nulmissiewerktuigen op een boerderij.
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	Vooraf is een beoordeling van deskundigen over een kansrijke uitvoeringsvorm gewenst. Bij een positieve beoordeling kan op basis van een pilot op praktijkschaal de haalbaarheid van de optie op termijn voor de boeren beter worden ingeschat.

De volgende beleidsopties zijn gericht op de consumptie van dierlijke producten en daarmee indirect op het landgebruik in de productieketen.

Beleidsoptie	Verschuiving productcategorieën 'vlees en vleesproducten' van het verlaagde btw-tarief naar het algemene btw tarief van 21 procent.¹¹
Indicatie kosten	Schatting extra belastinginkomsten door afschaffing van lage btw tarief voor vlees is 750 miljoen euro (PBL 2016).
Overwegingen	Hiermee wordt een bescheiden stap gezet in de richting van vermindering van de consumptie van dierlijke producten. Dit heeft daarmee een negatief effect op de omvang van de productieketen van dierlijke producten, maar geeft een positieve impuls aan plantaardige verwerking van plantaardige producten. Emissiereducties worden vooral in het buitenland bereikt. Administratief is het lastig om de grens te trekken tussen producten die maar een klein deel vlees bevatten. Vereenvoudiging kan worden bereikt door uniformering van het btw tarief op consumptie naar 21 procent. De directe kosten worden dan lager en de belastingopbrengsten aanzienlijk hoger.

Beleids optie	<i>Voorlichtingscampagne over de negatieve effecten van vleesconsumptie en/of de consumptie van dierlijke producten.</i>
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	Hiermee kan een beperkte invloed op de consumptie worden bereikt. Deze optie is meer gericht op het verkrijgen van draagvlak voor grotere veranderingen en mogelijk krachtiger beleid op termijn.

Beleids optie	<i>Studie(s) naar de sturingsmogelijkheden om maatschappelijk optimaal gebruik van landbouwgrond te bevorderen.</i>
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	Welk gewas op landbouwgrond wordt verbouwd, wordt in belangrijke mate bepaald door het marktmechanisme. Mogelijk is dat vanuit maatschappelijk en klimaat oogpunt niet optimaal. Grondige bestudering van de mogelijkheden om tot een meer optimaal landgebruik te komen en de mogelijke effecten is daarom gewenst. Daarnaast kan deze studie worden gebruikt om een maatschappelijk debat hierover te voeren. Daarbij kunnen toepassingen van land voor veevoer, bio-energie en voor natuurlijke systemen (en CO ₂ -opslag in bodem en vegetatie) worden gewogen.

Daarnaast is er een beleids optie om te stimuleren dat de bodememissies in Nederland afnemen.

Beleids optie	<i>Subsidierегeling beheermaatregelen bij veengronden en moerige gronden.</i>
Indicatie kosten	165 euro per hectare per jaar (investering, afschrijving, onderhoud) (PBL 2016).
Overwegingen	Besparing tot 10 ton CO ₂ per hectare per jaar (van 1 centimeter bodemdaling naar 0,5 centimeter per jaar).

4.9 Nederlandse transitie in een internationale context

4.9.1 Koploper of volger

Het klimaatakkoord van Parijs betekent een enorme mondiale opgave, die gepaard zal moeten gaan met ingrijpende veranderingen in alle landen. Daarin zijn landen van elkaar afhankelijk en kunnen ze elkaar ook ondersteunen. Beleids opties voor energie- en klimaatbeleid omvatten dan ook de internationale dimensie met:

- het benutten van de in het buitenland ontwikkelde kennis en technologie en het optimaal te gelde maken van de in Nederland ontwikkelde kennis en technologie;
- het meehelpen voorbereiden, organiseren en realiseren van nieuwe internationale systemen;
- het geven van voorbeelden voor toepassing van technieken en systemen met lage uitstoot van broeikasgassen om een geloofwaardiger en krachtiger positie te krijgen in onderhandelingen over internationale afspraken.

Een veelgehoorde uitspraak is: ‘Nederland hoeft toch niet alles zelf te ontwikkelen? R&D is een mondiale zaak’. Dat is uiteraard waar, want de innovaties waar het in dit geval om

gaat worden in veel landen opgepakt. Het ligt daarom voor de hand dat Nederland vooral initiatieven neemt op terreinen waar Nederland een goede kennispositie heeft, specifieke voordelen van de Nederlandse ligging kan benutten en goede aansluiting kan vinden bij de huidige bedrijvigheid en infrastructuur. Vooral bij initiatieven rond eerste toepassingen in de praktijk kan een voortrekkersrol ook een thuismarkt creëren die Nederlandse bedrijven een voorsprong kan geven, mocht zo'n ontwikkeling internationaal doorzetten.

Nederland koploper bij de eerste toepassingen	
Voordelen	Nadelen
Kennis komt voornamelijk in Nederland. Buitenlandse bedrijven, waaronder potentiële klanten, komen naar Nederland om voorbeeldprojecten te bekijken (de thuismarkt). Beide aspecten vergroten de kans dat Nederlandse bedrijven in een vervolgfase een rol op veel grotere, internationale markten kunnen krijgen.	De meerkosten in die fase komen voor rekening van Nederland en het is onzeker of en in hoeverre die later kunnen worden terugverdiend (het kan goedkoper zijn om te wachten tot technieken in het buitenland verregaand zijn ontwikkeld).

De eerste toepassing gaat overigens om meer dan een belangrijke stap in de technologische ontwikkeling. Het gaat er ook om dat de Nederlanders die met de technologie aan de slag moeten, er op tijd kennis van nemen (denk aan garagepersoneel voor elektrische auto's of installatiebedrijven voor warmtepompen), dat de infrastructuur (ook) in Nederland op tijd wordt aangepast en verantwoordelijkheden en bevoegdheden goed worden belegd. Al die processen vergen tijd en komen pas op gang bij de eerste toepassing in Nederland zelf.

4.9.2 Samenwerking in de Europese transitie

Voor de organisatie, voorbereiding en realisatie van internationale systemen kunnen samenwerkingsverbanden met andere landen effectief zijn om de transitie verder te brengen en dat gebeurt ook al (zie ook tekstkader 4.9.1). Intensivering van de samenwerking maakt de transitie zeker kansrijker.

Hierna volgen enkele voorbeelden van samenwerkingsverbanden.

Markt- en systeemintegratie van variabele hernieuwbare energie

Dit onderwerp is ingebed in de integratie van de Europese energiemarkten waarop al veel regionale samenwerking plaatsvindt. Een functionerende Europese energiemarkt wordt beschouwd als een essentiële eerste stap voor de Europese Energie Unie (EEU). Inpassing van een toenemend aandeel variabele hernieuwbare elektriciteit is het belangrijkste aandachtspunt in de al op gang gekomen integratie van de Europese elektriciteitsmarkt, zeker in Noordwest-Europa. Verschillende regionale samenwerkingsvormen bestaan reeds:

- functioneren elektriciteitsmarkt: Pentilateral Energy Forum (PLEF);
- infrastructuur: European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E);

4.9.1 Regionale samenwerking in Noordwest-Europa

De idee achter regionale samenwerking is dat EU-lidstaten die gedeelde problemen kennen dit in onderlinge samenwerking vaak het beste kunnen oplossen. In zo'n geval zijn acties van individuele lidstaten vaak niet effectief en is actie op EU-niveau complex, traag en vaak onvoldoende gericht.

Omdat de energiesystemen van buurlanden vaak veel interacties met elkaar hebben, ligt samenwerking voor de hand. Vooral in Noordwest-Europa, waar de energie-infrastructuren sterk zijn vervlochten, is regionale samenwerking op verschillende terreinen ontwikkeld of geagendeerd.

In het Pentilateral Energy Forum (PLEF), waarin de Benelux-landen, Duitsland en Frankrijk met elkaar samenwerken, zijn concrete stappen gezet tot versterking van de koppeling van de elektriciteitsmarkten en wordt samengewerkt bij het beoordelen van de voorzieningszekerheid. Dit leidt tot prijsconvergentie op de markten en efficiëntere maatregelen om de voorzieningszekerheid te garanderen. De werking van de gekoppelde elektriciteitsmarkten is zeker nog voor verdere verbeteringen vatbaar, maar ondertussen biedt zich ook een nieuwe agenda voor het PLEF aan. Die is gericht op het zo efficiënt mogelijk organiseren van flexibiliteit, zodat de toenemende aandelen variabele wind- en zonne-energie kunnen worden geïntegreerd (Fraunhofer-IWES 2015). De kracht van het PLEF is de combinatie van politiek-strategische sturing door de betrokken energieministers met de uitvoering van concrete projecten met alle betrokkenen in de markt.

Een andere voor de energietransitie in Nederland relevante vorm van regionale samenwerking is offshore-windenergie op de Noordzee. De Noordzee biedt een enorm potentieel aan windenergie en de beleidsmatige en politieke samenwerking tussen de landen rond de Noordzee kan een belangrijke rol spelen om het voor bedrijven aantrekkelijk te maken hierin grootschalig te gaan investeren. Gedacht kan worden aan een gezamenlijke langetermijninvesteringsagenda, het afstemmen van tenderprocedures en samenwerking bij de ontwikkeling van een netwerk voor het aansluiten van windparken. Politiek heeft Nederland al concrete stappen gezet voor intensivering van deze regionale samenwerking. Nederlandse offshore-bedrijven kunnen ook veel baat hebben bij een dergelijke samenwerking.

In de voorstellen voor het EU-energie- en klimaatbeleid voor de periode na 2020 krijgt regionale samenwerking veel aandacht. De Europese instellingen zien voor de verschillende regio's in Europa in deze vorm van samenwerking goede mogelijkheden om tot een goede balans te komen tussen nationaal belang en het voordeel van samenwerking. Bij het ontwikkelen van een agenda voor regionale samenwerking uit het perspectief van de Nederlandse energietransitie, kan naast de hiervoor genoemde PLEF en de samenwerking bij offshore-windenergie worden gedacht aan: versterking van het CO₂-prijssignaal door bijvoorbeeld het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk te volgen bij het invoeren van een vloerprijs in het ETS, afstemmen van flankerend beleid voor kolencentrales, afstemmen infrastructuur elektrisch vervoer, gemeenschappelijke demonstratieprojecten voor koolstofarm vrachtvervoer, gemeenschappelijk ontwikkelen van groen gas.

Aandachtspunten zijn onder andere vergroting van de interconnectiecapaciteit en capaciteitsvergoedingen voor (flexibele fossiele) centrales. In Nederland is de noodzaak tot verandering vooralsnog minder urgent vanwege het relatief lage aandeel hernieuwbaar – maar dat kan bij realisatie van het doel in 2023 al anders zijn –, overcapaciteit en een relatief groot aandeel fossiel vermogen, maar op termijn zal verandering voor Nederland ook nodig zijn. Een nieuwe inrichting van de elektriciteitsmarkt in Duitsland zal uiteraard ook invloed hebben op Nederland. Vooralsnog wil de Nederlandse regering vasthouden aan het model van de Energy Only Market, dus een markt waarin per kilowattuur wordt betaald.

Uitrol van hernieuwbare energie

Binnen de huidige EU-Richtlijn Hernieuwbare Energie bestaat onder andere het *cooperation mechanism* voor hernieuwbare energie. Dit mechanisme is tot nu toe amper gebruikt. De idee achter dit mechanisme is om een vorm van samenwerking tussen landen mogelijk te maken waardoor doelen efficiënter kunnen worden gerealiseerd. Regionale samenwerking op het gebied van de uitrol van hernieuwbare energie kan niet los worden gezien van de systeem- en marktintegratie ervan.

Ontwikkeling van offshore-windenergie

Het North Seas Countries' Offshore Grid Initiative (NSCOGI) is een platform voor de ontwikkeling van offshore-windenergie dat in 2010/11 door tien landen (België, Denemarken, Frankrijk, Duitsland, Ierland, Luxemburg, Nederland, Noorwegen, Zweden en het Verenigd Koninkrijk) is opgezet. Ook ENTSO-E, ACER en de Europese Commissie zijn er bij betrokken. Versterking van de samenwerking moet leiden tot een betere benutting van het potentieel aan offshore-windenergie tegen lagere kosten. Volgens de groep is een nieuwe impuls voor samenwerking nodig en ook mogelijk. De groep pleit onder andere voor gezamenlijke planvorming, verbeterde coördinatie van offshore-windenergietenders en inrichting van een Noordzee elektriciteitshandelszone. Daarnaast zijn er samenwerkingsverbanden rond *power-to-gas* op de Noordzee.

CCS

Vanuit Nederlands perspectief ligt het voor de hand om een grote rol te spelen bij de eventuele regionale ontwikkeling van opslag van CO₂ op de Noordzee, maar dit zal afhangen van de noodzaak in andere landen om in de toekomst grootschalig gebruik te maken van deze optie en de al dan niet aanwezige acceptatie van opslag op (onder) land (zie ook paragraaf 4.4 en 4.7).

Nulemissievoertuigen

Om een transitie in het wegtransport naar nulemissievoertuigen in Nederland of andere West-Europese landen tot een succes te kunnen maken, is uitrol van een oplaadinfrastructuur ten minste op West-Europees niveau een belangrijke randvoorwaarde. Dat zou ook kunnen gelden voor een waterstofinfrastructuur. Zie voor deze optie ook paragraaf 4.3.

Procesvernieuwing (energiebesparing) bij bedrijven en elektrificatie

Gedacht kan worden aan gezamenlijke ontwikkelingsprogramma's en demonstratieprojecten.

Duidelijke politieke sturing is gewenst om de samenwerking richting te geven en een gedeeld begrip van de samenwerkende landen onderling over de precieze doelstelling van de samenwerking te creëren. Regelmatige bijeenkomsten van betrokken ministers uit de landen kan helpen deze sturing te organiseren.

4.9.3 Beleids optie

Beleids optie	Intensivering van de samenwerking op het niveau van Noordwest-Europa op gebieden als <ul style="list-style-type: none"> – de uitrol en markt- en systeemintegratie van hernieuwbare energie; – ontwikkeling van windenergie op de Noordzee; – grootschalige opslag van CO₂ op de Noordzee; – infrastructuur voor nulemissievoertuigen.
Indicatie kosten	Samenwerking kan tot een efficiëntere aanpak leiden.
Overwegingen	Een regionaal samenwerkingsverband kan als 'laboratorium' dienen voor EU-brede oplossingen. Keerzijde is dat regionale samenwerking kan leiden tot fragmentatie.

Noten

- 1 Zie <http://www.nederlandelektrisch.nl/Formule-E-Team>.
- 2 Nationale kosten.
- 3 De kosten voor CCS zijn opgebouwd uit kosten voor afvang, transport en opslag. De voornaamste kostencomponent is de afvang.
- 4 Voor de gehele Noordzee zijn er potentiële schattingen van 150-350 gigawatt. De potentiële schattingen voor windenergie op zee op het Nederlands Continentaal Plat in 2050 zijn de afgelopen jaren toegenomen als gevolg van technologische ontwikkelingen. Er zijn veel minder ruimtelijke beperkingen op zee dan op land.
- 5 Zie <http://www.energieleveranciers.nl/netbeheerders/elektriciteit>.
- 6 Bij de introductie van nieuwe CO₂-arme opwekcapaciteit zullen gelijktijdig voldoende CO₂-uitstootrechten uit de markt moeten worden genomen. Gebeurt dit niet, dan neemt de CO₂-uitstoot Europa-breed niet af als gevolg van de werking van het ETS.
- 7 De kosten voor CCS zijn opgebouwd uit kosten voor afvang, transport en opslag. De voornaamste kostencomponent is de afvang.
- 8 Pensfermentatie is het voorverteren van voedsel bij herkauwers, hierbij wordt methaan gevormd.
- 9 Dit is exclusief de broeikasgasemissies van buiten de landbouw opgewekte energie.

- 10 Een vleesconsumptieverlaging in Nederland laat zich niet een-op-een vertalen naar een vermindering van de Nederlandse broeikasgasemissies. Immers maar een deel van het in Nederland geproduceerde vlees wordt ook in Nederland geconsumeerd; er wordt ook vlees geëxporteerd en geïmporteerd.
- 11 Omdat de btw is gericht op belastinginkomsten voor de staat, is deze in beginsel niet geschikt als sturingsinstrument en daarmee mogelijk niet de beste manier om vleesconsumptie te beprijsen.

Prijsprikkels en financiering

In dit hoofdstuk gaan we in op breed ingestoken beleidsinstrumenten die een prijsprikkel introduceren en zodanig kunnen worden ingezet dat CO₂-arme technieken een relatief gunstige positie op de markt krijgen. Prijsprikkels kunnen de onderlinge aantrekkelijkheid van keuzes en technologieën beïnvloeden door de relatieve prijzen te veranderen. Voorbeelden zijn handelscertificaten (zoals het Europese emissiehandelssysteem), belastingen, heffingen en subsidies, al zijn de laatste veelal sectorspecifiek, en in hoofdstuk 4 besproken.

Beleidsopties zijn beschouwd op drie niveaus:

- EU-beleid en in dit verband vooral het Europese emissiehandelssysteem (ETS) (paragraaf 5.1);
- nationale beleidsopties voor verdergaande aanpak om emissies van grote puntbronnen (vallend binnen het ETS) verder te reduceren (paragraaf 5.2);
- overkoepelende beleidsopties die prijsprikkels genereren die ook – of overwegend – voor niet-ETS-sectoren gelden (paragraaf 5.3).

Sectorspecifiekere prijsprikkels (zoals voor verkeer of elektriciteitsproductie) zijn behandeld in de betreffende paragrafen in hoofdstuk 4.

Steeds vaker wordt er ook de vraag gesteld hoe de energietransitie/verduurzaming moet worden gefinancierd. Daarom vatten we in paragraaf 5.4 opties samen die door het Sustainable Finance Lab zijn aangedragen (Van Tilburg 2016) om met nieuwe financieringsmodellen de beschikbaarheid van kapitaal te vergroten en consumenten/bedrijven op die manier te prikkelen om te investeren in CO₂-reducerende maatregelen en deze goedkoper te maken.

5.1 Versterken van het ETS binnen EU-verband

Emissies van broeikasgassen van de grotere bronnen, vooral de energie-intensieve industrie en elektriciteitsproductie vallen in de Europese Unie onder het emissiehandelssysteem (ETS). De reden om het ETS te willen versterken, zijn zorgen dat door het huidige lage prijsniveau van emissierechten investeringen in innovatie te laag blijven. De werking en de reden voor de lage prijs van een emissierecht worden hierna toegelicht. Daarna bespreken we de beleidsopties om de werking ervan te versterken.

Met een totaal van 87 megaton valt in Nederland ruim 44 procent van de totale emissies (196 megaton) onder het ETS.¹

Het ETS heeft als doel de uitstoot van broeikasgassen uit de energie-intensieve industrie en elektriciteitsproductie op kosteneffectieve wijze te beperken. Bedrijven onder het ETS mogen alleen CO₂ uitstoten als ze daarvoor ‘emissierechten’ hebben. Omdat de hoeveelheid emissierechten beperkt is, wordt ook de omvang van de emissies beperkt. Deze emissierechten zijn verhandelbaar, zodat reducties daar kunnen plaatsvinden waar dat het meest voordelig is. Zo ontstaat er een markt voor emissierechten en krijgen CO₂-emissies een prijs. Het ETS is ingericht als belangrijk Europees instrument voor een vermindering van broeikasgasemissies en in diverse lidstaten leunen nationale beleidsdoelstellingen dan ook sterk op dit systeem. Doordat CO₂-emissies onder het ETS nu én in de toekomst een prijs krijgen, worden bedrijven gestimuleerd tot investeringen in schone technologie en draagt het ETS bij aan een beter toekomstperspectief voor innovatieve CO₂-arme technieken. Onderzoek laat zien dat het ETS sinds de invoering in 2005 heeft bijgedragen aan vermindering van de CO₂-uitstoot (Martin et al. 2016) en heeft geleid tot innovatie in koolstofarme technologieën (Calel & Dechezleprêtre 2016). Het ETS geeft een stip op de horizon, omdat elk jaar minder emissierechten zullen worden uitgegeven. Bij het pad dat de Europese Commissie in 2015 heeft voorgesteld en waarover EU-breed overeenstemming bestaat, komen er na 2056 geen nieuwe rechten meer bij. Dat betekent dat de emissies in de industrie en energiebedrijven naar nul moeten gaan in de tweede helft van de 21^e eeuw. Vooral door de economische stagnatie in de Europese Unie sinds het einde van 2008 bleek het echter veel goedkoper om de uitstoot eerder te beperken dan verwacht. Waar een CO₂-prijs werd verwacht van 20-30 euro per ton CO₂, lag de prijs in de eerste maanden van 2016 rond 5 euro per ton. De verwachting is dat de CO₂-prijs ook de komende 10-20 jaar te laag zal blijven om voldoende stimulans te geven voor investeringen in koolstofarme technologieën die nodig zijn om op langere termijn tot een verregaande emissiereductie te komen en de transitie naar een koolstofarme economie in 2050 te realiseren (Dechezleprêtre Popp 2015). Om te zorgen dat het ETS weer een belangrijke pijler wordt onder het Europese beleid om te komen tot een energietransitie, is dan ook een hogere CO₂-prijs nodig. Ook meer zekerheid over toekomstige prijsontwikkelingen is daarbij belangrijk (Acemoglu et al. 2016).² In 2015 is besloten tot het instellen van een marktstabiliteitsreserve (MSR), waardoor het aanbod van rechten meer in overeenstemming met de vraag kan worden gebracht. Grote effecten daarvan op de CO₂-prijs zijn daarvan echter niet te verwachten (Brink et al. 2014; Perino & Willner 2015) zoals ook geïndiceerd door de ontwikkeling van de CO₂-prijs tot op heden.

Beleidsopties zoals besproken in hoofdstuk 4 kunnen het ETS aanvullen, om te zorgen dat de nodig geachte investeringen, ondanks de lage prijs van emissierechten, toch plaatsvinden. Er zijn ook verschillende mogelijkheden om in Europees verband het ETS verder te versterken zodat de CO₂-prijs beter aansluit op wat nodig wordt geacht voor de energietransitie. Hoe krachtiger het marktperspectief, des te eerder krijgen nieuw ontwikkelde CO₂-arme technieken een gunstige positie ten opzichte van vervuilende technieken, en des te sneller kan specifiek ondersteunend beleid worden afgebouwd.

Het ETS kan worden versterkt door enerzijds het aantal rechten te verkleinen, en anderzijds door meer bedrijven onder het ETS te brengen zonder het aantal rechten te verhogen. Bij deze laatste mogelijkheid moet er rekening mee worden gehouden dat in verschillende sectoren heel andere kosten zijn verbonden aan maatregelen tot emissiereductie (zo is het in de gebouwde omgeving en verkeer veel duurder om een megaton CO₂ te reduceren dan in de elektriciteitssector of industrie). Met het onderbrengen van deze sectoren in het huidige ETS kunnen innovatie en ontwikkeling in de betreffende sectoren stagneren. Daarom werken we deze mogelijkheid niet uit als beleids optie. Wel kan de mogelijkheid voor Nederland om emissierechten over te hevelen van ETS-sectoren naar niet-ETS-sectoren worden benut om zonder kosten emissierechten uit de markt te halen, waarbij Nederland alsnog vrij is om het beleid gericht op de transitie in niet-ETS-sectoren zo goed mogelijk vorm te geven. Mogelijke andere instrumenten om emissierechten te reduceren die in de langetermijntransitie passen, staan met uitleg en hun voordelen en kanttekeningen in het hierna volgende overzicht. Ze kunnen elk afzonderlijk worden ingevoerd.

Beleids optie	<i>Verdere aanscherping van het emissieplafond.</i>
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	Afgesproken is om het emissieplafond vanaf 2021 jaarlijks te reduceren met 2,2 procent, ten opzichte van de huidige 1,74 procent. Dit kan verder worden aangescherpt. Dat zorgt voor grotere prijsstijging van emissierechten en daarmee een prijsprikkel voor emissiereducerende maatregelen. Polen en andere Centraal-Europese lidstaten hebben echter zorgen over de energiezeekerheid, de kosten van energie, en de werkgelegenheid die gepaard gaat met de steenkoolwinning. Daardoor lijkt de kans gering dat er op afzienbare termijn voldoende draagvlak voor deze aanscherping te vinden is.

Beleids optie	<i>Structureel marktstabiliteitsmanagement (daarbij bijvoorbeeld: vernietigen emissierechten uit het MSR die niet zijn geveild in de periode 2013-2020).</i>
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	Naar verwachting 1.500 miljoen rechten die in de periode 2013-2020 niet zijn uitgegeven, zullen worden opgenomen in de marktstabiliteitsreserve (MSR). Dat betekent dat deze rechten pas worden geveild wanneer er grotere schaarste op de markt is ontstaan. De Europese Commissie heeft in haar voorstel voor het ETS na 2020 aangegeven een deel van deze rechten (300 miljoen) te willen inzetten voor de reserve voor nieuwe installaties na 2020 en de opbrengst uit veilingen in te zetten voor innovatiesteun. De totale cumulatieve emissieruimte binnen het ETS zal met circa 1.500 megaton CO ₂ afnemen, wat een prijsverhogend effect zal hebben en het signaal geeft dat het ETS echt een rol heeft in de ambitieuze klimaat- en energiedoelstellingen voor de lange termijn. Dat kan enerzijds het vertrouwen in de werking van het ETS versterken, maar anderzijds kunnen ad hoc ingrepen in het aanbod van rechten de onzekerheid over het beleid vergroten. Ook hier geldt als knelpunt draagvlak bij sommige lidstaten.

Bij stevige inzet op de voorgaande opties zal de prijs van de emissierechten omhoog gaan. Als alternatief, of als de prijsverhoging niet voldoende wordt geacht, kan worden gedacht aan de volgende optie.

Beleids optie	Minimumprijs voor te veilen rechten.
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	Wanneer de vraag naar emissierechten lager uitvalt dan verwacht en de prijs onder een afgesproken niveau komt, worden er geen nieuwe rechten geveild. Het introduceren van een onder- en bovengrens voor de emissieprijs (Burtraw et al. 2010; Wood & Jotzo 2011) maakt het ETS robuuster en verhoogt de zekerheid in de ontwikkeling van de emissieprijs, waardoor het voor bedrijven aantrekkelijker wordt om te investeren in koolstofarme technologieën. Momenteel is er geen Europa-breed draagvlak om direct de hoogte van de prijs te beïnvloeden.

5.2 Aanvullend nationaal beleid ETS-sectoren boven op het ETS

Hoewel de Europese Commissie voorstellen heeft gedaan voor aanpassing van het ETS na 2020 die zullen leiden tot een hogere CO₂-prijs, is dat onvoldoende om de gewenste transitie naar de koolstofarme economie in 2050 te realiseren. Hiervoor zijn opties voor aanpassing van het ETS geformuleerd, maar verdere EU-brede versterking van het ETS kampt met het probleem van draagvlak. Lidstaten kunnen echter ook aanvullende maatregelen nemen, waardoor de uitstoot door ETS-sectoren verder wordt vermindert. Nationaal beleid gericht op bedrijven die onder het ETS vallen, leidt op Europees niveau echter niet noodzakelijkerwijs tot minder emissies. Wanneer de totale hoeveelheid ETS-rechten niet verandert, kunnen rechten elders worden gebruikt om meer uit te stoten. Dit zogenoemde waterbede effect leidt ertoe dat de emissies in de Europese Unie per saldo niet dalen en dat de prijs voor CO₂-rechten lager wordt. Mogelijk is er wel een verschuiving in de tijd wanneer de emissies plaatsvinden. Om te voorkomen dat dit waterbede effect zal optreden, moet boven op de aanvullende nationale maatregelen de hoeveelheid beschikbare rechten worden vermindert. Wanneer de CO₂-prijs in Nederland hoger is dan in andere EU-landen, is dat nadelig voor de concurrentiepositie van Nederlandse bedrijven. Hoewel diverse onderzoeken erop wijzen dat de gevolgen voor de economie als geheel beperkt zijn (bijvoorbeeld Kozluk & Timiliotis 2016)), kan dit specifieke bedrijven wel schaden.

Momenteel is er ook al aanvullend beleid voor ETS-sectoren boven op het ETS om de verduurzaming van de energievoorziening op weg te helpen en de doelen uit de EU-richtlijnen voor energiebesparing en het aandeel hernieuwbare energie te halen. In Nederland is de SDE+-regeling³, die investeringen in hernieuwbare energie stimuleert, hier de bekendste van. In samenspel met de doelen voor hernieuwbare energie in 2020 en 2023 heeft deze regeling een belangrijke impuls gegeven aan het feit dat de energietransitie inmiddels zichtbaar begint te worden in Nederland. Het *Energierapport*

(EZ 2016) laat zich niet expliciet uit of er onder de SDE+-regeling nieuwe openstellingen worden gedaan als uit projecties blijkt dat de doelen voor hernieuwbare energie voor 2020 en 2023 zullen worden gehaald, en het is belangrijk om op tijd beleid in te richten voor na die periode om nieuwe investeringen niet te laten stagneren.

We bespreken hierna een aantal beleidsopties om breed ingestoken, aanvullend nationaal beleid te voeren voor de ETS-sectoren. Meer gerichte beleidsopties, zoals – binnen het ETS – specifiek voor industrie en elektriciteitsopwekking zijn te vinden in hoofdstuk 4.

Beleidsoptie	<i>CO₂-bodemprijs invoeren, die stijgt in de tijd (variabele heffing boven op de ETS-prijs). Bijvoorbeeld: de ETS-prijs + heffing gaat van 11 euro per ton CO₂ in 2017 naar 20 euro per ton in 2020 en 50 euro per ton in 2030.</i>
Indicatie kosten	De kosteneffectiviteit ⁴ (nationaal perspectief) is door ECN en PBL (2016) geschat op 4 euro per ton in 2020 en 87 euro per ton in 2030 bij de elektriciteitssector, en 13 euro per ton in 2020 en 4 euro per ton in 2030 voor industrie.
Overwegingen	Bevoordeelt elektriciteitsopwekking met relatief lage CO ₂ -emissies, zoals gas ten opzichte van kolen. Kan leiden tot meer netto elektriciteitsimport vanwege de slechtere concurrentiepositie ten opzichte van het buitenland – als de interconnectiecapaciteit dat toelaat en het buurland geen heffing heeft – en kan leiden tot een hogere elektriciteitsprijs voor consumenten. Bij de industrie kan een bodemprijs leiden tot verslechtering van de concurrentiepositie. Naar verwachting worden echter ook meer energiebesparende maatregelen ingezet, die zichzelf veelal terugverdienen. Eventueel kunnen extra kosten worden gecompenseerd door andere heffingen te verlagen. Het waterbed-effect en <i>carbon leakage</i> kunnen leiden tot een voor gereduceerd effect op emissies door verplaatsing van de emissies naar het buitenland. Deze optie is in het Verenigd Koninkrijk en recentelijk in Frankrijk geïntroduceerd.

Deze optie komt feitelijk neer op de laatste optie van de vorige sectie, maar vereist geen Europa-brede instemming. Daarbij kan de volgende optie helpen om waterbedeffecten van andere opties teniet te doen, of op zichzelf staand te zorgen voor emissiereductie.

Beleidsoptie	<i>Opkopen van emissierechten. Een lidstaat kan als marktpartij opereren op de ETS-markt en rechten opkopen en die vervolgens wegzetten zonder die rechten te gebruiken om emissies af te dekken.</i>
Indicatie kosten	Afhankelijk van de emissieprijs. Om de CO ₂ -prijs in het ETS te laten toenemen met 10 euro per ton, moeten minstens miljarden rechten uit de markt worden gehaald. Kosten zijn daarbij gelijk aan de geldende CO ₂ -prijzen. De verwachte kosten voor een ETS-recht liggen rond 11 euro per ton in 2020, en 20 euro per ton in 2030 (ECN & PBL 2016).

Overwegingen	<p>Door de lage prijs van emissierechten (5-10 euro per ton) is dit een van de goedkoopste maatregelen om emissies te reduceren. Het opkopen van rechten leidt daarbij tot extra schaarste en daarmee een hogere CO₂-prijs. De omvang van de prijstoenname is afhankelijk van de hoeveelheid rechten die wordt opgekocht. De hoeveelheid rechten die wordt opgekocht, is exact gelijk aan de vermindering van de hoeveelheid CO₂ die (gerekend over de gehele looptijd van het ETS) wordt uitgestoten.</p> <p>De totale omvang van de emissieruimte tussen 2016 en 2030 (bestaande uit alle rechten die in deze periode worden geveild en gratis toegewezen, plus de rechten uit voorgaande jaren die nog niet zijn gebruikt, plus de internationale rechten die nog gebruikt kunnen worden in deze periode) bedraagt ongeveer 26,5 miljard rechten. Elke vermindering van de emissieruimte betekent dat er minder uitstoot mag plaatsvinden, maar een significant effect op de prijs van emissierechten is pas zichtbaar wanneer een substantiële hoeveelheid emissierechten wordt opgekocht.</p> <p>Een aanvullende optie is de inrichting van een klimaatcompensatie-programma, waaraan burgers en bedrijven (bijvoorbeeld bij compensatie vliegen) kunnen bijdragen.</p>
--------------	--

Een andere manier om rechten uit het ETS te verwijderen is de volgende optie.

Beleids optie	Verschuiven emissierechten van ETS naar niet-ETS. Een beperkt aantal lidstaten (Graichen et al. 2015)⁵ heeft de mogelijkheid om te besluiten een beperkte hoeveelheid ETS-rechten uit de periode 2021-2030 niet te veilen maar te gebruiken om de niet-ETS-doelstelling te halen. Hiertoe moet voor 2020 worden besloten.
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	<p>Omdat marginale kosten van reductie in sectoren buiten het ETS in het algemeen veel hoger liggen dan bij sectoren binnen het ETS, zal dit de algehele kosteneffectiviteit van emissiereductie in Europa verhogen, door de goedkopere maatregelen (binnen het ETS) te nemen vóór duurdere buiten het ETS. Dit leidt echter niet tot extra emissiereductie, tenzij de rechten (deels) worden vernietigd.</p> <p>Graichen et al. (2015) geven een uitwerking van deze optie en komen op een mogelijk totaal aantal rechten variërend van 65 miljoen tot 300 miljoen. Het nadeel van deze optie is dat het de transitie in niet-ETS-sectoren (bijvoorbeeld de gebouwde omgeving, verkeer en vervoer) kan laten stagneren, waardoor het bereiken van het emissiedoel in 2050 lastiger wordt.</p>

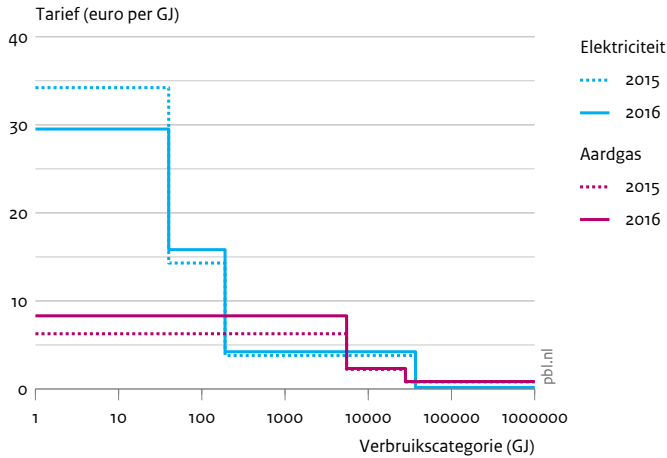
In hoofdstuk 3 is als beleids optie een doel voor het aandeel hernieuwbare energie in 2030 genoemd. Een ondersteunende financiële maatregel kan zijn continuïteit van de SDE+-regeling, tegemoetkomend aan extra exploitatiekosten ten opzichte van de huidige alternatieven.

Beleids optie	Vastleggen voortzetting openstelling SDE+-regeling na behalen hernieuwbare-energie doelen van 2020 en 2023.
Indicatie kosten	Kosteneffectiviteit ter illustratie op basis van windenergie op zee (potentieel grote bijdrage) geschat op 116 euro per ton in 2020 en 65 euro per ton in 2030 en emissiereducties van 3,6 megaton in 2020 en 7,2 megaton in 2030 (ECN & PBL 2016). Het gaat echter om een breed scala aan technische opties bij verschillende sectoren, zowel in de elektriciteitssector als daarbuiten (bijvoorbeeld groen gas). Deze en andere kostenschattingen met betrekking tot het voortzetten van de SDE+-regeling zijn ook te vinden in bijlage 1.
Overwegingen	Dit past in feite bij een nationaal doel voor hernieuwbare energie in 2030 en kan bijdragen aan impulsen voor toepassing van innovatieve technologie (zie paragraaf 3.2.3).

Met behulp van belastingen kan er ook een prijsprikkel worden gegeven. Binnen de huidige energiebelasting is er sprake van een *degressieve tariefstructuur* – hoe groter het verbruik, hoe lager het tarief (zie figuur 5.1). Daardoor is de marginale belastingdruk op het verbruik van aardgas en elektriciteit en voor grootverbruikers, die deels onder het ETS vallen, relatief laag.

Beleids optie	Verminderen degressieve structuur energiebelasting (Vollebergh 2014; Vollebergh et al. 2014).⁶
Indicatie kosten	-10 euro per ton in 2020, -49 euro per ton in 2030 bij een verhoging van de energiebelasting van grootverbruikers met 2 eurocent per kubieke meter (3e en 4e schijf) op aardgas (ECN & PBL 2016) (negatieve kosten, dus gemiddeld per saldo opbrengst, maar kan bij individuele bedrijven wel tot kosten leiden).
Overwegingen	Effecten en kosten zijn onzeker. Maatregelen waarmee op warmte en gas wordt bespaard worden aantrekkelijker. Kan zorgen voor extra impuls voor warmtekrachtkoppeling (wkk) vanwege de inputvrijstelling, waardoor de gasconsumptie toeneemt, alsook de elektriciteitsproductie door de industrie. Op de lange termijn past wkk op fossiele brandstoffen zonder CCS niet goed in het systeem. In eerste instantie komen de kosten bij de betrokken bedrijven terecht, maar de energiebesparingsmaatregelen kunnen in veel gevallen rendabel zijn voor desbetreffende bedrijven. Voor ETS-bedrijven geldt het waterbedeffect. Ook is er een risico dat bedrijven zich in andere landen vestigen, waar regels minder stringent zijn, wat gepaard kan gaan met hogere emissies in mondiale context (<i>carbon leakage</i>).

Figuur 5.1
Tarieven elektriciteit en aardgas naar verbruikscategorie



Bron: CBS

5.3 Economische versterking van emissiereducerend beleid in niet-ETS-sectoren

De huidige prijsprikkels kunnen de keuze voor CO₂-reducerende maatregelen in de weg staan, zoals de volgende ‘perverse’ prijsprikkels:

1. Er wordt evenveel accijns geheven over een liter biobrandstof als over fossiele brandstof. Het verhogen of verlagen van de brandstofaccijns zal daarom de positie van biobrandstof ten opzichte van fossiele brandstof nauwelijks beïnvloeden. Idem voor de energiebelasting op groen gas ten opzichte van fossiel gas. In het huidige beleid wordt via verplichtingen (biobrandstof) en subsidie (hernieuwbare energieproductie) de productie of het gebruik van de hernieuwbare-energie drager gestimuleerd ten opzichte van de fossiele tegenhanger. In het geval van hernieuwbare elektriciteit via zonnepalen bij kleinverbruikers is er de stimulering door (gedeeltelijke of algehele) vrijstelling van de energiebelasting (en opslag duurzame energie; ODE) voor zelf geproduceerde elektriciteit.⁷
2. Bij huishoudens is de prijs van elektriciteit inclusief belastingen per gigajoule een factor 3 hoger dan van aardgas, zoals geïllustreerd in figuur 5.1.⁸ Deze veel hogere prijs voor elektriciteit hangt samen met de hogere (variabele) kostprijs (per gigajoule), maar vooral met de veel hogere belastingdruk (energiebelasting, ODE ten bate van de SDE+-regeling).

3. Binnen de energiebelasting geldt een degressieve tariefstructuur – hoe groter het verbruik, hoe lager het tarief (zie figuur 5.1). Daardoor is de marginale belastingdruk op het verbruik van aardgas en elektriciteit vooral voor kleinverbruikers (zoals huishoudens) hoog en voor grootverbruikers laag. Mede daardoor waren de belastingopbrengsten van aardgas en elektriciteit voor huishoudens in 2014, ondanks dat het verbruik een factor 4 lager ligt, gelijk aan die van de midden- en grootverbruikers, namelijk ongeveer 2,1 miljard euro voor beide groepen (PBL 2016).

Bij een verhoging van de belasting op energie en/of verschuiving van de belasting tussen verschillende energiedragers worden energiebesparingsmaatregelen en CO₂-reducerende maatregelen aantrekkelijker. Op korte termijn kunnen burgers en bedrijven reageren op een verhoging of verschuiving van de energiebelasting door gedragsaanpassing (minder energie gebruiken met de huidige apparaten) (zie kader 5.1 voor meer uitleg over de speciale rol die milieubelastingen kunnen spelen); op lange termijn kan het effect groter zijn, omdat ze ook kunnen kiezen voor nieuwe zuiniger apparaten, of inzet van apparaten op elektriciteit in plaats van op gas (bijvoorbeeld de warmtepomp). Ook treedt er een bestedingseffect op: vermindering van consumptie (en daarmee gepaard gaand energiegebruik), omdat burgers en bedrijven minder geld vrij te besteden hebben. De genoemde beleidsopties hierna kunnen naast elkaar worden ingevoerd.

Een CO₂-belasting op producten (*carbon added tax*; De Bruyn et al. (2015)) kan worden gebaseerd op de emissie van broeikasgassen in de gehele productieketen. Zo'n maatregel op Nederlandse schaal hoeft dus niet de concurrentiepositie van Nederlandse bedrijven aan te tasten, omdat ook geïmporteerde producten op dezelfde manier worden belast. Een dergelijke aanpak kan ook de basis bieden voor een systeem van emissierechten voor individuele burgers. Een groot voordeel van zo'n aanpak is dat het krachtige prikkels geeft aan een breed scala van maatregelen voor verschillende actoren. Consumenten kunnen hun gedrag aanpassen, andere of minder producten en diensten kopen, bedrijven kunnen maatregelen nemen om de CO₂-belasting van hun producten te verminderen. Daartegenover staat echter dat de vaststelling van de CO₂-uitstoot van de producten en brede acceptatie van de cijfers die daarvoor worden gehanteerd een enorme opgave betekent: een institutionele transitie. Die begint daarom met institutionele R&D: verkenningen en experimenten. Bij dergelijk ingrijpende veranderingen is de uiteindelijke haalbaarheid erg onzeker en mede afhankelijk van de kracht van het mondiale klimaatbeleid.

5.1 Belastingen als inkomstenbron of als sturingsmechanisme?

In vergelijking met andere belastingen vervullen de milieubelastingen in Nederland een bijzondere rol. Waar belastingen op arbeid, kapitaal of consumptie primair tot doel hebben om opbrengsten te genereren (ter financiering van overheidsuitgaven), kan milieubelasting primair worden gezien (al zijn de opvattingen hierover verdeeld) als instrument om marktfalen te corrigeren als marktprijzen de schaarseverhoudingen niet goed weerspiegelen of de indirecte kosten (luchtverontreiniging, geluidsoverlast, klimaatproblematiek) niet goed in de prijs zijn gevat. De milieubelasting kan worden aangepast indien de gewenste effecten niet – of juist sneller – worden bereikt.

Een belasting die corrigeert of reguleert leidt op termijn vaak tot lagere belastingopbrengsten. Dit kan een probleem zijn voor de financieringsbehoefte van de overheid. Daarom voegen milieubelastingen een lastige dimensie toe aan belastingheffing in het algemeen: voor het milieudoel is het goed dat milieubelastende activiteiten afnemen, maar om opbrengst te genereren is juist een stabiele belastinggrondslag gewenst (PBL 2016; Vollebergh 2014).

Belastingen veranderen dus onvermijdelijk in meerdere of mindere mate relatieve prijs- en inkomensverhoudingen, zelfs als ze uitsluitend zijn bedoeld om opbrengsten te genereren. Daarbij komt dat die gedragsreacties vanuit milieuperspectief soms gewenst zijn ('minder vervuilen als gevolg van een hogere groene belasting'), maar soms ook ongewenst ('over de grens tanken'). Van belang is bovendien de mate waarin gedragsreacties optreden. Als er relatief weinig effect is, wordt wel gesproken van een grondslag die zorgt voor een stabiele belastingopbrengst.

Beleids optie	Verkennen invoering CO₂-label/CO₂-belasting op producten. CO₂-voetafdruk bepalen per product, ook voor niet-energetisch verbruik. Kan initieel ter informatie dienen, en uiteindelijk worden gebruikt voor beprijzing van CO₂ bij de eindconsument in plaats van bij de producent.
Indicatie kosten	Niet nader bekeken.
Overwegingen	Gaat informatieve/stimulerende werking van uit als het gaat om de transitie naar een koolstofarme energievoorziening. Belast consumptie in plaats van productie, waardoor de concurrentiepositie van Nederlandse bedrijven niet wordt aangetast. Vereist LCA's per product en is daarmee zeer lastig en kostbaar in te voeren. Zo'n instrument geeft tegelijkertijd ook een stimulans voor circulaire economie. Op termijn kan een CO ₂ -belasting op producten de energiebelasting/grondstoffenbelasting vervangen, maar zover is het nog lang niet.

De genoemde beleids optie ligt aan de basis van mogelijke ingrijpende institutionele vernieuwing, gericht op de consumptiekant. Hiervan zijn echter op korte termijn geen al te grote effecten te verwachten. Voor directere prikkels zijn er de volgende beleids opties.

Beleids optie	Energiebelasting eerste schijf (consumenten) verschuiven van elektriciteit naar aardgas (in aanvulling op de verschuiving van 1-1-2016).
Indicatie kosten	Bijvoorbeeld een verhoging van de energiebelasting op gas (met 12 eurocent per kubieke meter tot 31 eurocent) en een verlaging op elektriciteit (met 5 eurocent per kilowattuur tot ruim eurocent). Kosteneffectiviteit is geschat op 80 euro per ton in 2020 en 15 euro per ton in 2030 (ECN & PBL 2016).
Overwegingen	Correctie van deze kostenverhouding helpt om verduurzaming tot stand te brengen, en leidt bovendien tot een welvaartsverbetering en verbetering van de regulerende werking van de energiebelasting (en de ODE) Zorgt er bijvoorbeeld voor dat een hybride warmtepomp voor een gemiddeld huishouden een reëel alternatief wordt voor de HR107-ketel. De terugverdientijd komt dan rond de 11 jaar te liggen, en gerekend over de levensduur van de installatie verdient de hybride warmtepomp zichzelf dan terug. Huishoudens met lagere inkomens besteden een groter deel van hun inkomen aan aardgas dan huishoudens met hogere inkomens. Bij elektriciteit is dat verschil veel kleiner. In het verleden is daarom bij het vaststellen van de tarieven rekening gehouden met deze inkomenseffecten (Tweede Kamer 2014). Kan effect hebben op de saldering van zonnepanelen.

Beleids optie	Verminderen degressieve structuur energiebelasting. Verhogen energiebelasting van grootverbruikers (3^e en 4^e schijf) op aardgas.
Indicatie kosten	-10 euro per ton in 2020, -49 euro per ton in 2030 (ECN & PBL 2016).
Overwegingen	Zie optie bij aanvullend beleid ETS-sectoren, omdat deze voornamelijk van toepassing is bij ETS-sectoren.

5.4 Inrichten financiering van de energietransitie

Bij concrete beleidsvoering hoort ook de vraag hoe het een en ander moet worden gefinancierd.⁹ Dit is bij de energietransitie nog een relatief nieuw terrein.

Bij transitie waar een nieuwe infrastructuur moet worden uitgerold die ten koste gaat van de gevestigde partijen, heeft de financiële sector historisch gezien vaak een doorslaggevende rol gespeeld. De kracht van de financiële sector is dat deze verwachtingen over de toekomst kan vertalen naar huidige financiële prikkels. Krachtig beleid helpt de toekomstverwachting sterker neer te zetten. Het is in de financiële sector waar verwachtingen over de toekomst kunnen worden vertaald naar financiële prikkels voor de huidige besluitvorming. Financiële instellingen als verzekeraars en pensioenfondsen hebben verplichtingen die tientallen jaren ver weg liggen. Een aantal koplopers toont duidelijke initiatieven op het gebied van duurzaamheid, zoals Triodos Bank en de SNS die zichzelf ten doel hebben gesteld in 2030 klimaatneutraal te zijn, en de pensioenfondsen ABP en PFZW die binnen 5 jaar hun portfolio respectievelijk 25 en 50 procent minder koolstofintensief willen maken. Tegelijkertijd zijn de financiële prikkels voor duurzaamheid nog niet alom aanwezig.

Er zijn inmiddels vele studies (bijvoorbeeld Stern 2006) die laten zien dat het vanuit financieel-economisch oogpunt het beste is om de transitie snel in te zetten. Resultaten zijn uiteraard wel sterk afhankelijk van wat de rest van de wereld hierin doet. Duidelijke signalen zijn nodig over de richting die de wereld opgaat, zodat financiers ervan overtuigd raken dat de toekomst duurzaam zal zijn, en de energietransitie het krediet krijgt dat ervoor nodig is.

In voorgaande paragrafen is gesproken over het beïnvloeden van de dynamiek via prijsprikkels. Deze leveren een bijdrage aan het financierbaar maken van projecten door de onrendabele top weg te nemen. Hiertoe zijn naast belastingen en heffingen instrumenten beschikbaar als de Heffingskorting voor groen beleggen, de Energie-investeringsaftrek (EIA), de Milieu-investeringsaftrek (MIA), de Willekeurige afschrijving milieu-investeringen (VAMIL) en de Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE+). Naast het beïnvloeden van relatieve prijzen via heffingen en subsidies, kan de overheid ook zelf speler worden in de financiële sector. Niet als vervanger van private partijen, maar juist in aanvulling, om zo privaats kapitaal richting publieke doelen te geleiden. In Duitsland heeft de KfW over de verschillende onderdelen één geïntegreerd programma gemaakt voor de energietransitie. In Nederland bestaat een dergelijke samenwerking niet tussen de Bank Nederlandse Gemeente (BNG) en de Nederlandse Waterschapsbank (NWB), de FMO en RVO, en de NIA en NLII. Genoemde instanties, die alle activiteiten ontplooiën die in Duitsland bij de KfW zijn ondergebracht, hebben in Nederland niet de overheidsgarantie waarmee ze op de kapitaalmarkt goedkoop geld kunnen aantrekken. Dit dwingt BNG en NWB ertoe vooral in overheden en staatsgegarandeerd krediet (woningcorporaties) te investeren. Anders dan KfW opereren zij ook onder een volledige bankvergunning, waardoor zij zijn onderworpen aan ECB/Basel-banktoezicht dat echter weinig rekening kan houden met het specifieke karakter als overheidsinstelling, wat de nodige extra kosten en beperkingen met zich brengt. Mede hierdoor zijn de tarieven van BNG/NWB hoger dan die van vergelijkbare overheidsinstellingen, zoals KfW, EIB en de Agent van Financiën. Om de beschikbaarheid van financiering voor risicodragend eigen vermogen en langetermijn-vreemd vermogen te stimuleren is het van belang om in regelgeving en toezicht te waarborgen dat vermogensbeheerders een langetermijnblik hebben en oog hebben voor ook de sociale en ecologische risico's.¹⁰

Beleids optie	<i>Verplichten aan vermogensbeheerders en pensioenfondsen om in jaarverslaggeving blootstelling aan klimaatrisico's en bijdrage aan het behalen van internationale klimaatdoelen op te geven. Vergelijk met Franse eisen aan investeerders.</i>
Indicatie kosten	Niet nader bekeken. Zorgt voor extra administratieve lasten voor banken en vermogensbeheerders.
Overwegingen	Kan stimulerend werken op de transitie naar een koolstofarme energievoorziening vanwege grotere transparantie.

Dit kan breder worden getrokken.

Beleids optie	<i>Verplichte opname van Key Performance Indicators (KPI's) op ESG-factoren¹¹ bij banken en vermogensbeheerders (inclusief pensioenfondsen)¹².</i>
Indicatie kosten	Niet nader bekeken. Zorgt voor extra administratieve lasten voor banken en vermogensbeheerders.
Overwegingen	Inzichtelijkheid risico inschatting <i>carbon bubble</i> vergroten. Zorgt voor waardering sociale en ecologische opbrengst. In Europees kader wordt hiernaar gekeken door de Financial Stability Board. Idealiter kan het EU-breed worden geïntroduceerd.

En de gevolgen zijn minder vrijblijvend door:

Beleids optie	<i>Via de Europese Commissie kan Nederland zich inzetten voor een Green Capital Markets Plan (Aviva 2014; UNEP 2015), in samenwerking met industrie en de financiële gemeenschap.</i>
Indicatie kosten	Niet nader bekeken. Zorgt voor extra administratieve lasten voor banken en vermogensbeheerders.
Overwegingen	Daarbinnen kunnen benchmarks voor ESG-performance een plaats krijgen. De lange termijn en duurzame ontwikkeling moeten onderdeel zijn van de verplichtingen van marktspelers, inclusief beloningsschema's die de juiste prikkels geven voor langetermijnstabiliteit en duurzaamheid.

Naast het verhogen van transparantie kan er met beleid worden gestuurd op de beschikbaarheid van goedkoper kapitaal.

Beleids optie	<i>Oprichten Publieke Investeringsinstelling¹³. Vergelijk KfW in Duitsland. Kan huidige instituties omvatten, of eraan toegevoegd worden opgesteld om een 'witte vlek', zoals nu de energietransitie, te helpen financieren (Kremers 2015).</i>
Indicatie kosten	Afhankelijk van de vormgeving.
Overwegingen	Overheidsgarantie kan ervoor zorgen dat er goedkoper geld beschikbaar komt voor maatschappelijk belangrijke projecten, en dat risicovollere projecten kunnen worden ondernomen dan haalbaar zou zijn in de open markt. Kan weerstand oproepen van gevestigde partijen die deel van deze taakstelling al uitvoeren. Veel werk om huidige instellingen te integreren. Grootte moet in de gaten gehouden worden om niet boven gewenst niveau uit te komen

Noten

- 1 2013 cijfers (NEV 2015).
- 2 Overigens zal een CO₂-prijs alleen niet genoeg zijn om de technologische veranderingen die nodig zijn voor een transitie naar een CO₂-arme energievoorziening te bewerkstelligen. Grote onzekerheden over bijvoorbeeld de ontwikkeling van de economie, maar ook van het beleid op de lange termijn, maken dat bedrijven ook bij een hogere CO₂-prijs terughoudend zijn bij het investeren in innovatie, ontwikkeling of de inzet van nieuwe, koolstofarme technologieën. Ook het risico dat opgebouwde kennis weglekt naar andere bedrijven (kennispillovers) maakt

dat er te weinig innovatie plaatsvindt. Daarom is aanvullend beleid nodig, bijvoorbeeld in de vorm van subsidies om de uitrol van inmiddels ontwikkelde schone technologieën of het ontwikkelen van geheel nieuwe technologie te stimuleren.

- 3 Deze regeling geldt overigens niet uitsluitend voor bedrijven die onder het ETS vallen.
- 4 Kosten per eenheid effect, definitie zoals in ECN en PBL (2016).
- 5 ‘Member States with national reduction targets significantly above both the EU average and their cost effective reduction potential.’ Wat *significantly* is, is niet duidelijk, maar het ligt wel voor de hand dat het in ieder geval gaat om Nederland, Duitsland, Frankrijk, Denemarken en het Verenigd Koninkrijk.
- 6 In een studie naar fiscale vergroening (Vollebergh 2014) is de waarde van de milieuschade door aardgasverbruik op ongeveer 7,45 cent per kubieke meter berekend. De heffing op aardgas zou hieraan gelijk gesteld kunnen worden. Voor bedrijven die onder het ETS vallen, zou de heffing verminderd kunnen worden met de schade veroorzaakt door broeikasgassen, omdat die schade al binnen het ETS wordt belast, hoewel het ETS momenteel een prijs kent die duidelijk lager ligt dan de veroorzaakte milieuschade door broeikasgassen. De prijs voor ETS-bedrijven zou dan uitkomen op 2,16 cent per kubieke meter.
- 7 De salderingsgrens van 3.000 kilowattuur werd in 2011 verhoogd naar 5.000 kilowattuur per jaar en vanaf 2014 is de grens gelijk aan het jaarlijkse netverbruik. Voor de resterende teruglevering (na saldering van het netverbruik met teruggeleverde elektriciteit) is de energieleverancier verplicht een redelijke terugleververgoeding te betalen.
- 8 De energetische waarde voor Gronings aardgas is 0,03165 gigajoule per kubieke meter. Elektriciteit heeft een energetische waarde van 0,0036 gigajoule per kilowattuur. De weergegeven prijzen bestaan uit de variabele kosten die het energiedistributiebedrijf doorberekent (leveringsprijzen CBS Statline), het (specifieke) belastingtarief, en sinds 2013 de opslag duurzame energie (ODE) ten bate van de SDE+-regeling. Voor elektriciteit is tariefcategorie ‘0-10.000 kilowattuur’ (0-36 gigajoule) gebruikt en voor aardgas de categorie ‘0-170.000 kubieke meter’ (0-5,381 gigajoule).
- 9 Naar aanleiding van notitie van Rens van Tilburg, Sustainable Finance Lab, Utrecht.
- 10 Zie voor nadere uitwerking en argumentatie <http://sustainablefinancelab.nl/files/2015/04/Working-paper-15-april.pdf> en <http://sustainablefinancelab.nl/the-price-of-doing-too-little-too-late/>.
- 11 Environmental, Social, & Governance.
- 12 Europa-breed heeft de Financial Stability Board hier de Taskforce on Climate-related Financial Disclosures voor opgericht, die eind 2016 uitkomt met een rapport met aanbevelingen voor consistente, vergelijkbare, betrouwbare, heldere, en efficiënte klimaatgerelateerde financiële openbaringen (FSB 2016).
- 13 De discussie over de noodzaak van zo’n instelling in Nederland is onlangs weer op de agenda gekomen, mede naar aanleiding van het geringe succes van Nederland in het binnenhalen van investeringsgeld uit het Juncker-fonds. Daartoe is halverwege 2015 het Nederlandse Investerings Agentschap (NIA) opgericht. De kwartiermaker daarvan adviseerde op hun verzoek de ministers van Financiën en EZ om het NIA door te ontwikkelen tot een volwaardige publieke financieringsinstelling naar het model van de Duitse KfW (Kremers 2015).

Bijlagen

Bijlage 1: Beleidsopties voor emissiereductie op de korte termijn

Recent is een Interdepartementaal Beleidsonderzoek gericht op klimaatbeleid uitgekomen met daarbij een door ECN en PBL opgesteld achtergronddocument. Daarin is een breed scala aan beleidsopties voor emissiereductie op de korte termijn beschouwd op kosten en effecten. In onderstaande tabel zijn de opties in een overzicht geplaatst, met daaronder een toelichting op de gepresenteerde cijfers; voor meer informatie, zie ECN en PBL (2016). Uit het overzicht blijkt onder meer dat maatregelen die een grote bijdrage aan de realisatie van het langetermijndoel kunnen leveren op de korte termijn relatief duur zijn. Bij sturing alleen op CO₂ dreigen deze voorlopig buiten de boot te vallen met het risico dat ze bij uitstel van de ontwikkeling niet op tijd of in 2050 in beperkte mate kunnen worden ingezet.

Tabel B.1

Overzicht van beleidsopties voor emissiereductie op de korte termijn

	Emissiereductie		Kosteneffectiviteit	
	megaton		euro/ton	
	2020	2030	2020	2030
Verplichte toepassing zuiniger banden	1,2	1,3	-187	-277
CO ₂ -norm personenauto's naar 95 gram per kilometer	0,7	3,1	-49	-136
Efficiencyverbetering vrachtauto's		0,5		-128
Verscherpte handhaving Wet milieubeheer	1,0	1,0	-71	-107
Aanpassen 3e en 4e schijf EB: aardgas (+)	0,2	0,4	-10	-49
BENG-eisen nieuwbouw utiliteitsbouw		0,7		-20
CO ₂ -bodemprijs (Brits model) industrie	0,0	0,2	13	4
Aanpassen 1e schijf EB: aardgas (+) en elektriciteit (-)	0,0	0,1	324	12
SDE+-regeling biomassameestook kolencentrales	4,3	3,5	53	18
SDE+-regeling wind op land ¹	3,7	7,4	73	20
Sluiting oude kolencentrales van voor 1990	0,7	-0,2	25	41
Budgetneutrale prijsprikkel energie-intensieve industrie	0,6	4,6	33	40
Verdubbelen kolenbelasting elektriciteitsopwekking	-0,7	0,2	22	41
CCS-demonstratieproject ROAD ²	1,2	1,2	65	57
SDE+-regeling wind op zee	3,6	7,2	116	65
Sluiting alle kolencentrales voor 2020	8,1	9,3	30	65
Ondersteuning kernenergie naar Brits model		4,9		65
Afspraken gemiddeld label B huurwoningen	0,4	0,0	78	
Reductie methaanslip uit (wkk-)gasmotoren	0,9	0,8	73	81
CO ₂ -bodemprijs (Brits model) elektriciteitsopwekking	1,4	1,6	4	87
SDE+-regeling grootschalig zon-PV	0,9	2,7	159	89
Fiscaal stimuleren nullemissieauto's	0,0	0,1	916	90
Verplichting monovergisting van mest	1,3	5,3	133	129
Verhogen aandeel hernieuwbare energie transport	0,6	1,4	223	131
Terugdraaien verhoging maximumsnelheid	0,1	0,1	59	164
BENG-eisen nieuwbouw woningen	0,0	0,9		165
Salderingsregeling zon-PV kleinverbruikers ³	0,7	0,9	269	232
Minimaal label B-huurwoningen	0,9	0,3	265	237
Label C-koopwoningen binnen 2 jaar na verhuizing	0,5	1,2	241	277
Kilometerheffing vrachtverkeer	0,4	0,5	294	306
Kilometerheffing personenverkeer	1,7	2,0	490	441
STEP-regeling (huursector)	0,1	0,1	517	486
Aanpassen vrijstelling energiebelasting wkk ⁴	-0,1	-0,1	-75	-163

Specifieke opmerkingen:

1. Nieuw bijgeplaatste windmolens in 2030 hebben waarschijnlijk een negatieve kosteneffectiviteit (netto baat)
2. Kostendaling van CCS is niet te zien, omdat het in beide gevallen het realiseren van de ROAD-demo betreft, maar met 10 jaar verschil in tijd. Het effect in de kosteneffectiviteit is een gevolg van de (veronderstelde) oplopende CO₂-prijs (bedrijven in Nederland hoeven daardoor minder rechten te kopen)
3. Dit komt relatief ongunstig uit qua kosteneffectiviteit, omdat door de salderingsregeling vooral PV op relatief ongunstige locaties extra wordt bijgeplaatst ten opzichte van referentie
4. Leidt niet tot emissiereductie, negatieve kosteneffectiviteit betreft positieve kosten gedeeld door negatief effect.

Opmerkingen bij effecten en kosteneffectiviteit:

- Bovenstaande tabel geeft kosten en effecten van beleidsmaatregelen voor 2020 en 2030. De maatregelen zijn doorgerekend ten opzichte van NEV2015 (vastgesteld en voorgenomen beleidsscenario). Als een beleidsmaatregel al is meegenomen in de NEV, is een referentie geconstrueerd zonder deze beleidsmaatregel (dus: hoe zou de ontwikkeling zijn verlopen zonder de maatregel?). Het effect is dan het verschil tussen deze twee ramingen. Als een maatregel nog niet in de NEV is meegenomen, is het effect van de maatregel ingeschat.
- Emissiereductie is de (directe) emissiereductie van niet-ETS (in Nederland) en het ETS als geheel. Bijvoorbeeld: als in Nederland windmolens worden bijgeplaatst, is de emissiereductie het gevolg van minder inzetten van fossiele elektriciteitscentrales in Nederland of in de omliggende landen (via minder import van elektriciteit). Reducties binnen en buiten Nederland zijn opgeteld.
- Het waterbedeffect is niet meegenomen. Emissiereductie binnen het Europese emissiehandelssysteem (ETS) wordt, onder de veronderstelling dat het emissieplafond limiterend is voor de totale emissie in een beschouwde periode, gecompenseerd door het waterbedeffect: binnen het ETS is er een vaste emissieruimte gedurende meerdere jaren, en extra verlaging van de emissies hier en nu biedt ruimte voor verhoging van emissies in het ETS elders en/of later, waardoor er uiteindelijk per saldo geen extra emissiedaling optreedt in het ETS als geheel. Alleen wanneer het emissieplafond wordt aangescherpt, is er sprake van extra emissiereductie.
- Enkele niet-ETS-maatregelen kunnen ook emissie-effecten buiten Nederland hebben, bijvoorbeeld kilometerheffing vrachtverkeer. Dat is niet meegenomen.
- Kosteneffectiviteit is berekend als de nationale kosten van een maatregel gedeeld door de emissiereductie in een zichtjaar. De nationale kosten omvatten de directe kosten en baten van milieumaatregelen vanuit maatschappelijk perspectief. Daarmee omvatten ze investeringen (vertaald naar jaarlijkse kapitaalkosten), kosten voor onderhoud en beheer (O&M), energiekosten of -baten en uitvoeringskosten van de overheid. De energiekosten/baten zijn gebaseerd op internationale handelsprijzen: de prijs voor met het buitenland verhandelde energie. Overdrachten

binnen Nederland, zoals subsidies en belastingen inclusief fiscale vrijstellingen, zijn geen onderdeel van de nationale kosten. De beperking tot directe kosten en baten betekent dat bredere welvaartseffecten geen onderdeel van de nationale kosten zijn. Voorbeelden zijn structurele effecten op de economie, baten van verminderde emissies door lagere schade (emissies van broeikasgassen, maar ook bijvoorbeeld luchtverontreinigende emissies), en baten ten gevolge van verminderde importafhankelijkheid. Een uitzondering hierop zijn enkele maatregelen in de transportsector die primair gericht zijn op het beïnvloeden van het gedrag (terugdraaien snelheidsverhoging op snelwegen en kilometerheffingen bij personen- en vrachtverkeer). Voor die maatregelen is een quickscan maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) uitgevoerd, waardoor ook onder andere de welvaartseffecten van veranderingen in dit gedrag in de kosten zijn opgenomen.

- De tabel geeft de kosten en effecten weer voor 2020 en 2030. De effecten (emissiereductie) voor die jaren omvatten alle emissiereducties die gerealiseerd zijn vanaf 2013, en die in 2020/2030 nog optreden. Een windmolen die in 2014 is geplaatst en in 2028 is afgebroken telt dus in 2020 wel mee, maar in 2030 niet meer. Bij de kosten geldt dezelfde aanpak, het gaat bij investeringen voor 2030 dan bijvoorbeeld over alle investeringen die gedaan zijn in installaties die na 2013 geplaatst zijn en in 2030 nog bijdragen aan de emissiereductie. Voor de lopende baten en kosten – energiebaten, bediening- en onderhoudskosten, aankoop ETS-rechten – geldt het kostenpeil van 2020 respectievelijk 2030. Voor de energiebaten in 2030 gelden dus de energieprijzen van dat moment, en niet de opgetelde jaarlijkse baten gedurende 2013-2030.
- Het is verleidelijk om uit de getallen de kostendaling van technieken af te willen leiden, maar het verschil in kosteneffectiviteit tussen 2020 en 2030 geeft geen goed beeld van de kostendaling van de betreffende techniek. De getallen geven dus niet weer hoeveel bijvoorbeeld een windmolen in 2030 goedkoper of duurder is dan in 2020. Het getal in 2030 omvat immers ook de kosten en effecten van windmolens die ook in 2020 al produceren en in 2030 nog niet zijn afgeschreven. De verschillen tussen 2020 en 2030 zijn een resultante van kostendaling, groei voor en na 2020, en verschillen in energieprijzen en/of CO₂-prijzen tussen 2020 en 2030. Bij bijvoorbeeld een beleidsmaatregel uit de NEV, waarbij er na 2020 geen nieuwe investeringen plaatsvinden, is de kostendaling niet zichtbaar.
- De onzekerheid in de kosteneffectiviteit is ten minste enkele tientallen euro per ton vermeden CO₂, en wordt onder andere sterk beïnvloed door de gehanteerde prijzen voor energiedragers en door onzekerheden in toekomstige technologiekosten. De kosteneffectiviteit is namelijk erg gevoelig voor allerlei variaties in aannames. De kosteneffectiviteit van beleidsmaatregelen komt meestal tot stand door effecten en kosten van de maatregel en een referentieontwikkeling van elkaar af te trekken en deze op elkaar te delen. Kleine variaties in kosten, baten, of effecten hebben daardoor al een grote impact. Ter illustratie: de kosteneffectiviteit van het aanscherpen van de norm voor personenauto's naar 95 gram per kilometer komt in 2030 uit op zo'n -140 euro per ton CO₂, maar bij variatie van de olieprijs binnen de

bandbreedte zoals die in de NEV wordt gerapporteerd (tussen 90 en 150 dollar per vat in 2030), ligt de kosteneffectiviteit tussen de -40 en -170 euro per ton. Bij maatregelen waar zowel de kosten als de effecten van vele aannames afhangen (bijvoorbeeld: elektrisch rijden), is de onzekerheid in de kosteneffectiviteit nog veel groter.

- Maatregelen zijn individueel doorgerekend. De effecten van de hier beschouwde maatregelen samen zijn in het algemeen lager dan de som van de effecten van individuele maatregelen. Daar waar maatregelen aangrijpen op verschillende technieken/activiteiten is overlap veelal beperkt. Bijvoorbeeld, bij extra bijmengen van 10 procent biobrandstoffen en 10 procent zuinigere auto's is het gezamenlijke effect van deze maatregelen lager dan het effect van de som van de maatregelen afzonderlijk, in dit geval 19 procent reductie in plaats van 20 procent. Bij verschillende beleidsmaatregelen die gericht zijn op zelfde techniek/activiteit kan de overlap echter 100 procent zijn.

Bijlage 2: Korte samenvatting van belangrijke aspecten uit Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving

Hoe zou het Nederlands energiesysteem zich op de lange termijn (2050) kunnen ontwikkelen en wat zijn hierbij de belangrijkste onzekerheden? Deze vragen zijn recentelijk onderzocht en uitgewerkt in de *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving* (WLO) (CPB & PBL 2015).

In de WLO presenteren het Centraal Planbureau en het Planbureau voor de Leefomgeving twee mogelijke toekomstbeelden voor Nederland. Voor een Nederland waarin huidige en toekomstige generaties moeten leven, wonen en werken. Deze toekomstbeelden kunnen beleidsopgaven zichtbaar maken waar de samenleving de komende decennia voor gesteld wordt, op het gebied van woningbouw, infrastructuur, energie en landbouw. De geschetste toekomstbeelden zijn ook bedoeld als een gezamenlijke basis voor het beoordelen van beleidsvoorstellen. De WLO-referentiescenario's kunnen worden gebruikt in maatschappelijke kosten-batenanalyses van beleidsplannen.

Energie- en klimaatscenario's in mondiale context

De Nederlandse energiehuishouding is van oudsher sterk afhankelijk van geopolitieke, economische en technologische ontwikkelingen. Voor de toekomst is echter het mondiale klimaatbeleid de dominante onzekerheid. Voor de WLO zijn om die reden energie- en klimaatscenario's ontwikkeld die tot 2050 uitgaan van de bestaande toezeggingen op het gebied van het mondiale klimaatbeleid. In scenario Laag, bij een lage economische groei, zal de wereldgemiddelde temperatuur na de eenentwintigste eeuw zijn gestegen met 3,5 tot 4 graden, en in scenario Hoog, bij een hoge economische groei, met 2,5 tot 3 graden. In deze scenario's dalen de broeikasgasemissies in Nederland: in scenario Laag met 45 procent en in scenario Hoog met 65 procent ten opzichte van

de emissie in 1990 (zie figuur B.1). De fysische en ook mogelijke socio-economische gevolgen van mondiale klimaatverandering komen in beeld in IPCC (2014). Deze in 2014 en 2015 verschenen IPCC Fifth Assessment Reports geven de stand van de kennis rond de oorzaken en effecten van en mogelijk te treffen maatregelen tegen klimaatverandering.

In beide scenario's intensificeert het klimaatbeleid. Het tempo waarin en de ambitie waarmee dit gebeurt, verschillen echter duidelijk per scenario. In scenario Laag wordt rond 2030 duidelijk dat er geen bereidheid is om de bestaande klimaatafspraken verder aan te scherpen. In scenario Hoog komen rond 2025 juist stringenter klimaatafspraken tot stand. In scenario Hoog wordt beprijzing van CO₂, ondersteund door normstelling en innovatiebeleid, in mondiaal en Europees kader het belangrijkste beleidsinstrument. In scenario Laag blijft er in sterke mate sprake van aanvullend nationaal klimaatbeleid, zoals subsidies en nationale normen. In scenario Hoog verloopt de internationale samenwerking goed en blijven de geopolitieke spanningen beperkt. Als gevolg hiervan zijn de fossiele brandstofprijzen in dit scenario laag. In het Lage scenario zijn de fossiele brandstofprijzen juist relatief hoog.

Energie- en klimaatbeleid en 80 procent minder emissies

In een aanvullende onzekerheidsverkenning in de WLO is ervan uitgegaan dat er een sterker klimaatbeleid wordt gevoerd, zodat de wereldgemiddelde temperatuurstijging op lange termijn beperkt blijft tot 2 C. In de WLO is het 'tweegradendoel' voor het Nederlandse energiesysteem uitgewerkt in een minimumvariant waarin de broeikasgasemissies in 2050 met 80 procent zijn gedaald ten opzichte van 1990 (zie figuur B.1). Het 'tweegradendoel' is van belang omdat het de stip op de horizon is voor het internationale en nationale klimaat- en energiebeleid. Sinds het Parijs-klimaatakkoord in 2015 zijn de klimaatambities zelfs nog verder opgeschroefd. Bij het pad naar het tweegradendoel realiseren de Europese Unie en Nederland in internationale setting een broeikasgasemissiereductie van ten minste 80 procent in 2050 tot mogelijk meer dan 95 procent, maar het is onzeker welke reductie precies nodig zal zijn.

Tweegradenscenario's Centraal en Decentraal

De onzekerheid over de ontwikkeling van nieuwe technologieën en de maatschappelijke acceptatie daarvan wordt geïllustreerd met twee ruimtelijk verschillende beelden. Hierin wordt uitgegaan van dezelfde economische groei als in het Hoge scenario, maar wordt aanzienlijk meer ingezet op energiebesparing en koolstofarme energie. In het tweegradenscenario Decentraal is dit nog meer dan in het tweegradenscenario Centraal. Daartegenover staat dat CCS in scenario Centraal een grotere rol en in Decentraal een kleinere rol speelt ten opzichte van scenario Hoog.

In scenario Centraal ligt het accent in de energiemix op centrale energieopwekking met een grote inzet van CCS, energie uit biomassa en collectieve warmtenetten voor de glastuinbouw en de gebouwde omgeving, en met transport van aardwarmte en restwarmte uit de industrie. Scenario Decentraal verschilt van Centraal door nog meer

energiebesparing; onder andere door verdergaande elektrificatie, minder fossiele brandstoffen en een andere technologiemix van koolstofarme energiebronnen (hernieuwbare energie en kernenergie). In 2050 kan een broeikasgasemissiereductie van 80 procent worden gerealiseerd, met een aandeel hernieuwbare energie van ongeveer 60 tot 70 procent van het finale energiegebruik, in combinatie met ondergrondse opslag van enkele tientallen megatonnen CO₂ per jaar.

WLO-prijzen voor brandstoffen en CO₂

De prijzen van brandstoffen en CO₂ zijn een belangrijke onderscheidende factor binnen de WLO-klimaat- en -energie scenario's. Tabel B.2 geeft het verloop van de 'trendmatige' prijzen van brandstoffen en CO₂ volgens de WLO. Ze geven een beeld van de mogelijke ontwikkeling van de prijzen.

Dat de prijzen van fossiele brandstof in scenario Hoog en de twee graden-scenario's lager zijn dan in scenario Laag lijkt contra-intuïtief: hoge groei leidt (als overige zaken niet veranderen) tot grotere vraag naar fossiele brandstoffen en daarmee tot hogere prijzen. In scenario Hoog is echter de geopolitieke situatie doorslaggevend voor de prijsontwikkeling. De prijzen komen bovendien verder onder druk te staan door het stringente klimaatbeleid in scenario Hoog, waardoor de vraag naar fossiele brandstof daalt, terwijl de vraag naar duurzame biomassa juist zal stijgen.

Stringent mondiaal en Europees klimaatbeleid zal leiden tot hogere CO₂-prijzen dan minder stringente klimaatbeleid, omdat in het eerste geval duurdere opties nodig zijn om de gestelde doelen te halen. De hoogte van de CO₂-prijzen zal een grote invloed hebben op de ontwikkeling en de toepassing van CO₂-arme technologieën en kan daarmee een trendbreuk veroorzaken in zowel de energie- als de broeikasgasintensiteit van de economie. Verder is ook de harmonisatie van het nationale en internationale klimaatbeleid van groot belang voor de CO₂-prijs in Nederland: een lage mate van harmonisatie betekent dat de CO₂-prijzen tussen landen en sectoren van elkaar kunnen verschillen, met als gevolg dat de totale kosten om broeikasgasemissies te bestrijden hoger uitvallen.

De CO₂-prijs in 2013 is de prijs volgens het Europees emissiehandelssysteem (ETS). In 2050 verschilt de aard van de CO₂-prijs per scenario. In het scenario Laag gaat het nog steeds om een ETS-prijs, terwijl de CO₂-prijzen in de overige scenario's gebaseerd zijn op de aanname dat na 2030 een mondiaal emissiehandelssysteem ontstaat waarin alle sectoren te maken hebben met dezelfde CO₂-prijzen.

De innovatie in en de toepassing van nieuwe CO₂-arme technologie zullen in zowel het scenario Laag als Hoog niet alleen op basis van de CO₂-prijs tijdig op gang kunnen komen. Daarvoor is de CO₂-prijs te laag. Additioneel nationaal of internationaal overheidsbeleid is nodig om deze technologieën rond 2030 grootschalig in te kunnen zetten.

De onzekerheid in de hoogte van de CO₂-prijs neemt sterk toe naarmate de emissiereductie groter wordt. Dat is een logische ontwikkeling omdat er steeds verdergaande,

Tabel B.2

Het prijsverloop van alle brandstoffen en CO₂ tussen 2013 en 2050 (prijspeil 2013)

	Laag		Hoog	Tweegradenscenario's Centraal en Decentraal
	2013	2050		
Ruwe olie (\$/vat)	109	160	80	80
Gas (\$/Mbtu)	12	15	7	7
Kolen (\$/ton)	105	130	85	85
Biomassa (\$/gigajoule)	4	14	28	28
CO ₂ (€/ton CO ₂)	4	40	160	200-1000

nog niet genomen, maatregelen worden verlangd. Daarnaast is het sowieso onzeker wat de tweegradendoelstelling voor de Europese Unie en Nederland gaat betekenen in termen van emissiereductie; met een range van 80 tot zelfs meer dan 95 procent wordt rekening gehouden.

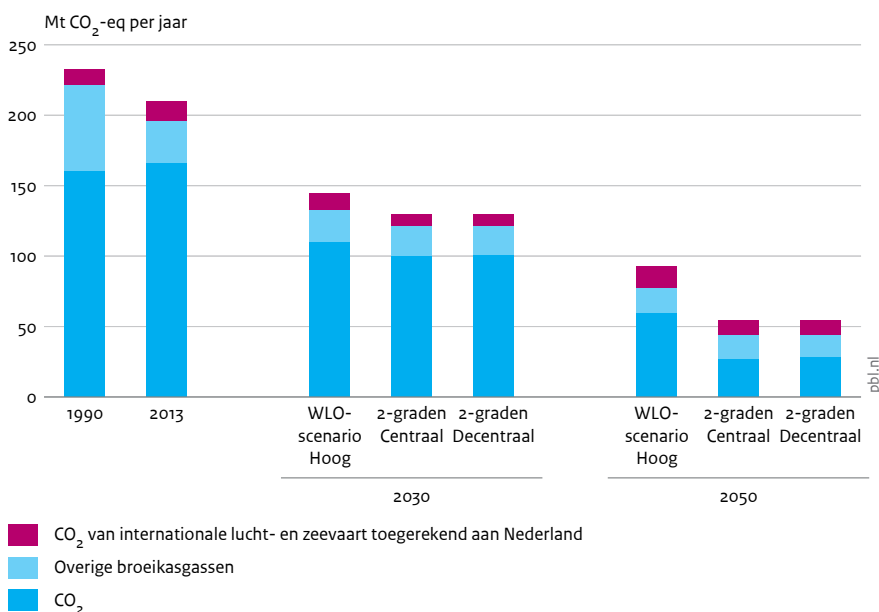
Voor de tweegradenscenario's Centraal en Decentraal in de WLO geven we daarom een bandbreedte van CO₂-prijzen (tabel B.2). Deze bandbreedte is gebaseerd op modelberekeningen voor 2050 met emissiereducties van 80 procent en meer dan 95 procent voor de Europese Unie als geheel. De CO₂-prijzen lopen uiteen van 100-500 euro per ton CO₂ in 2030 tot 200-1000 euro per ton CO₂ in 2050. De CO₂-prijzen aan de onderkant van deze bandbreedte passen waarschijnlijk het best bij een Nederlandse en Europese CO₂-reductiedoelstelling van 80 procent in 2050. Prijzen aan de bovenkant van de bandbreedte komen in beeld als de emissies vanaf 2050 omlaag moeten met 95 procent en meer. Bij een reductiedoelstelling van 95 procent of meer kunnen in aanvulling daarop maatregelen nodig zijn die tot substantiële gedragsveranderingen leiden, zoals minder kilometers rijden en minder vlees eten. In dat geval nemen de negatieve welvaartseffecten van het klimaatbeleid sterk toe.

WLO op hoofdlijnen

- De mate waarin internationaal klimaatbeleid wordt gevoerd, en daarmee ook in Nederland, is bepalend voor de ontwikkeling van het energiesysteem. Nederland heeft daarin een eigen rol en eigen beleid dat binnen een internationale setting van randvoorwaarden en omgevingsfactoren vorm zal krijgen.
- In de WLO-scenario's Laag en Hoog, die uitgaan van de bestaande toezeggingen op het gebied van het mondiale klimaatbeleid, wordt het 'tweegradendoel' niet bereikt. Daarvoor zijn nationaal en internationaal meer en verdergaande reductiemaatregelen nodig, meer dan tot nu toe maximaal is toegezegd.
- Het 'tweegradendoel' is van belang omdat het sinds Parijs 2015 het minimum vormt van de internationale en nationale klimaatambitie. In de WLO is het 'tweegradendoel' voor het Nederlandse energiesysteem uitgewerkt in een scenario waarin de broeikasgasemissies in 2050 met 80 procent zijn gedaald ten opzichte van 1990. Alle inzichten van de WLO tweegradenscenario's zijn daarmee ook nuttig voor de vormgeving van beleid.

- Om de broeikasgasemissies te verminderen, oplopend van 45, 65 tot 80 procent in 2050 ten opzichte van 1990, wordt in de WLO-scenario's effectief beleid verondersteld waardoor er tal van verschillende technologieën grootschalig kunnen worden toegepast in 2030 en 2050. Hoe dat beleid tot stand zou kunnen komen wordt niet in de WLO uitgewerkt. Voor het tweegradenscenario is het nodig het klimaatbeleid zo snel mogelijk aan te scherpen.
- Rond 2030 worden nieuwe CO₂-arme technologieën, die nu nog in ontwikkeling zijn, in scenario Hoog grootschalig toegepast. Om welke technologieën het precies zal gaan, kan door de onzekerheid over de kostenontwikkeling van deze technologieën nu nog niet worden vastgesteld. Wel moet er voor die tijd al internationaal voldoende ervaring zijn opgedaan met kandidaat-technologieën, met het oog op efficiencyverbetering en kostendaling. Voorbeelden zijn CCS, nulemissieauto's (elektrische auto's en auto's op waterstof), nul- op-de-meter woningen bij nieuwbouw en bij renovaties van bestaande bouw.
- Hoewel tot 2030 de noodzaak om CO₂-arme technologieën grootschalig in te zetten nog beperkt is, moeten wetgeving en instituties al wel klaar zijn en moet voldoende leerervaring zijn opgedaan om na 2030 tot grootschalige invoering te kunnen overgaan. De relatief lage CO₂-prijs is onvoldoende om de benodigde innovaties bij de kandidaat-technologieën zoals CCS en geothermie tot 2030 op gang te brengen. Daarvoor is in de WLO-scenario's additioneel nationaal of internationaal overheidsbeleid verondersteld.
- CCS is een techniek waarmee forse emissiereducties kunnen worden bereikt. CCS laat zich in een mix met andere CO₂-arme technologieën door haar kosteneffectiviteit moeilijk vervangen door andere technieken. In scenario Hoog en in de tweegradenscenario's is een belangrijke rol toegedicht aan CCS. In scenario Hoog wordt in 2050 ongeveer 30 procent van de totale emissie van broeikasgassen als CO₂ afgevangen en opgeslagen. CCS is vooral belangrijk bij de warmtevoorziening in de industrie, bij de productie van transportbrandstoffen en bij elektriciteitscentrales. CCS wordt in dit scenario ook ingezet in combinatie met energie uit biomassa. Hierdoor wordt per saldo CO₂ uit de lucht verwijderd en treedt een negatieve emissie op. In scenario Laag speelt CCS geen rol.
- In alle WLO-scenario's raken het energiegebruik en de economische groei in absolute zin ontkoppeld: het energiegebruik daalt ondanks een groei van de economie. Dit betekent een trendbreuk met het energiegebruik in de periode tussen 1990 en 2013. In 2050 is het finale energiegebruik gedaald: in scenario Hoog met 16 procent en in scenario Laag met 25 procent ten opzichte van 2013. In de tweegradenscenario's Centraal en Decentraal daalt het finale energiegebruik met 25 tot 36 procent, respectievelijk. Deze dalingen worden vooral veroorzaakt door verbeteringen in de energie-efficiëntie als gevolg van het gevoerde klimaatbeleid. De rol van gas en transportbrandstoffen in het finale energiegebruik neemt af en die van elektriciteit en hernieuwbare warmte neemt toe.
- In alle scenario's neemt het aandeel hernieuwbare energie in het finale energiegebruik toe, van ongeveer 5 procent in 2013 tot 20-35 procent in 2030 en 40-70 procent in 2050. De belangrijke hernieuwbare energiebronnen zijn biomassa,

Figuur B.1
Emissie van broeikasgassen volgens WLO-scenario's



Bron: PBL/CPB

De toerekening CO₂-uitstoot door internationale lucht- en zeevaart aan Nederland is gedaan op basis van het Nederlandse aandeel in het wereld-bbp (1 procent).

wind, zon, aardwarmte en warmte uit de lucht via de inzet van warmtepompen. Kernenergie vormt een CO₂-arm alternatief voor hernieuwbare bronnen wat betreft de opwekking van elektriciteit en warmte.

- De CO₂-emissie door het Nederlandse deel van de internationale lucht- en zeevaart maakt geen onderdeel uit van de bestaande broeikasgasreductiedoelen en ook niet van de WLO-scenario's. De internationale lucht- en zeevaart is een sector die nu nog niet of nauwelijks wordt meegenomen in de afspraken over de reductiedoelen voor broeikasgassen. Tegelijkertijd kent deze sector door zijn grootteorde, aard van energiegebruik en verwachte groei een extra uitdaging voor het beleid om de CO₂-emissies te beperken (zie ook figuur B.1).

Noot

1 Zie www.wlo2015.nl.

Bijlage 3: Klimaatwet in het Verenigd Koninkrijk

Drie centrale elementen: langetermijndoel, koolstofbudgetten, en een onafhankelijk adviesorgaan

De Britse klimaatwet uit 2008 is de basis voor het klimaat- en energiebeleid in het Verenigd Koninkrijk. Het langetermijndoel is een reductie van broeikasgasemissies met minimaal 80 procent in 2050, ten opzichte van 1990. Dat is de eerste innovatie van de wet. Om het langetermijndoel in te vullen worden *carbon budgets* ingesteld voor steeds een periode van vijf jaar. Dat is de tweede innovatie. Betrokkenen vinden vijf jaar een goede termijn, omdat het ongeveer de termijn is van een parlement en gemiddelde CEO, en lang genoeg om jaarlijkse fluctuaties op te vangen. De derde innovatie van de klimaatwet, ten slotte, is het oprichten van een onafhankelijk orgaan, de Committee on Climate Change (CCC), dat de overheid adviseert over de in te stellen carbon budgets. Bij het niet overnemen van het advies moet de regering aangeven waarom. Zo'n commissie kan verder kijken dan de politiek van alledag. De commissie telt 8 leden, elk met zijn eigen expertise, en heeft veel invloed.

Klimaatwet bedoeld om zekerheid te bieden

Het oorspronkelijke doel van de klimaatwet was meer zekerheid bieden: een signaal naar alle stakeholders in welke richting het Verenigd Koninkrijk gaat. Voordat de klimaatwet er was, bleek het lastig om alle ministeries aan boord te krijgen bij klimaatbeleid. Het waren de ngo's die druk uitoefenden om de wettelijke weg te kiezen. Maar ook de industrie vond een wet handig: geen last-minute verrassingen.

Het beeld dat na gesprekken met betrokkenen¹ ontstaat, is dat de wet bijdraagt aan stabiliteit van beleid en ook heeft geholpen het onderwerp te depolitiseren, zodanig dat klimaatverandering niet eens onderwerp van discussie bij de laatste verkiezingen was. De premier ondersteunt de aanpak van carbon budgets. En zoals een van de commissieleden zei: de klimaatwet kan niet zomaar worden aangepast. De CCC biedt zekerheid als de regering verandert, en de carbon budgets zorgen voor institutionele verankering. De focus is nu meer dan voorheen op het halen van de doelen op een kosteneffectieve manier.

Daar zit nog wel een belangrijk verschil: aan de ene kant de wet, die zekerheid moet bieden, en aan de andere kant het beleid om de doelen te halen. Als dat beleid aangepast wordt zonder een duidelijk vooruitzicht, is zekerheid voor investeerders niet gegarandeerd. De commissie maakt zich dan ook zorgen over hoe de maatregelen die nu worden geschrapt, zullen worden opgevolgd. Alleen op subsidies voor offshore-windenergie is niet radicaal bezuinigd, verder zijn alle groene subsidies flink teruggeschoefd. De zogenoemde *policy gap*, het gat tussen de doelen en wat beleid naar verwachting over een jaar of 10 (het vierde carbon budget) aan emissiereductie zal opleveren, is dit jaar groter dan vorig jaar. De CCC benadrukt dat een helder signaal voor de periode na 2020 nodig is voor investeerders, met name over de toekomst van de Levy Control Framework (een

limiet op de ondersteuning van koolstofarme energie die betaald wordt via de elektriciteitsrekening). Door de wet is de overheid wel verplicht antwoord te geven op de constatering van de commissie dat er kloof is. Net zoals ze moet reageren op het voorstel voor het vijfde carbon budget (2027-2032). Door de huidige status van de wet en de CCC, zou het gezichtsverlies voor de overheid zijn om het advies van de CCC niet te volgen. De aanbeveling voor het vijfde budget (-57 procent ten opzichte van 1990) gaat naar verwachting verder dan wat het Verenigd Koninkrijk als aandeel zou krijgen onder het EU-brede doel van 40 procent emissiereductie in 2030, omdat het volgens de CCC kosteneffectief is op het pad richting 80 procent reductie in 2050.

Risico's van kosteneffectiviteit

Kosteneffectiviteit kan op verschillende manieren bekeken worden. Een risico van de focus op kosteneffectiviteit is dat de focus ook korte termijn wordt. Dat hoort overigens wel een beetje bij de carbon budget-aanpak: nu maatregelen nemen. De CCC gebruikt de overheidsprojecties voor koolstofprijzen om kosteneffectiviteit van maatregelen te beoordelen. Maar de commissie interpreteert kosteneffectiviteit wel als 'dynamisch': maatregelen kunnen nu duur zijn, maar als ze nu niet worden ingezet, worden ze op de lange termijn duurder. Een voorbeeld is de ontwikkeling van offshore-windenergie. Juist over zulke 'dynamisch kosteneffectieve' maatregelen is het niet makkelijk communiceren, en die roepen ook de meeste discussie op.

De klimaatwet heeft volgens de CCC absoluut een verschil gemaakt. Anders zouden er misschien geen klimaatdoelen zijn geweest, of minder ambitieus. Daarnaast is de omschakeling van kolen op gas omgezet in de richting van hernieuwbaar, met een meer fundamentele hervorming van de elektriciteitsmarkt. Vooral in de elektriciteitssector is de vooruitgang zichtbaar. De eerste drie carbon budgets zullen naar verwachting dan ook gehaald worden. Maar, zegt de CCC, dat komt niet allemaal door overheidsbeleid. De recessie heeft ook een belangrijke bijdrage geleverd. En de uitfasering van kolen zou toch al plaatsvinden als de koolstofprijs omhoog gaat. Desondanks is het volgens de CCC goed dat de overheid het nog eens als doel heeft bevestigd.

Breed portfolio aan technologieën

In het algemeen is de CCC technologieneutraal. Het leidende principe is namelijk de carbon budgets op een kosteneffectieve manier te halen, en daarvoor is van belang dat een portfolio aan technologieën beschikbaar is. Wel wijst de CCC steeds op het belang van tijdig uitrollen van offshore-windenergie en -CCS, omdat deze technologieën op de lange termijn een grote rol spelen in het halen van de doelen. Ondanks het (uit financiële overwegingen) schrappen van een groot subsidieprogramma, ziet ook de overheid een rol voor CCS. Zonder CCS zouden de kosten voor het halen van de 2050-doelen verdubbelen, volgens de CCC. Het is ook een essentiële technologie voor het koolstofvrij maken van de industrie. En als de Parijs-ambitie van streven naar maximaal 1,5°C opwarming waargemaakt moet worden, is CCS onmisbaar. Maar ook voor het halen van de 80 procent emissiereductie wordt de optie al meegenomen. Te beginnen bij elektriciteit, gevolgd door industrie. Over grootschalige inzet van BECCS (biomassa met

CCS) is de commissie sceptischer, met zorgen over de duurzaamheid van de biomassa. De commissie doet aannames over wat binnenlands geproduceerd kan worden, en wat een eerlijk aandeel aan biomassa-import zou zijn. Ze ziet biomassa met name toegepast worden in de luchtvaart en industrie, en behalve voor BECCS niet zozeer in de elektriciteitssector. Verrassend genoeg ook niet in het wegtransport, want daar wordt ingezet elektriciteit, en alleen een beetje in zwaar transport (maar daar wordt ook waterstof gebruik voorzien).

Adaptatie en mitigatie in één wet

Adaptatie is ook onderdeel van de klimaatwet, en vormt een subcommissie in de CCC. Volgens de CCC is het geen probleem zowel mitigatie als adaptatie in één wet te hebben. De twee onderdelen (mitigatie en adaptatie) hebben tot nu toe grotendeels hun eigen weg gevolgd. Adaptatie heeft een andere beleidsdynamiek, met sinds de start een minder duidelijke rol dan mitigatie. De wet is wel duidelijk over het leerproces voor adaptatie, met onder andere risico-assessments. Er komt, zeker sinds Parijs, wel steeds meer integratie. Dat is met name logisch voor landbouw en landgebruik. Aan die integratie had in het begin al wel sterker gewerkt kunnen worden.

Vijf lessen voor Nederland

Wat kan Nederland leren van de Britten? De eerste les betreft het langetermijndoel. In de Britse klimaatwet was de minimaal 80 procent emissiereductie gebaseerd op de toen gangbare 2°C. De commissie onderzoekt nu of dat aangepast moet worden naar aanleiding van Parijs. Maar bij het ontwerpen van een nieuwe wet zou een logischer eindpunt misschien niet 2050 zijn, maar netto nulkoolstofemissies, wanneer dat ook realistisch is voor het betreffende land. Van daaruit kunnen dan vijfjaarlijkse carbon budgets ingesteld worden die tot netto nul emissies leiden. Bij het nadenken over een langetermijndoel komt al gauw de discussie over één of meerdere (typen) doelen naar voren. Het Verenigd Koninkrijk heeft duidelijk gekozen voor een aanpak met één (emissiereductie)doel. Maar in het beoordelen van de voortgang in het halen van de carbon budgets, houdt de CCC wel allerlei indicatoren bij van maatregelen die het Verenigd Koninkrijk de goede kant op sturen. Denk naast emissiereductie aan hernieuwbare energie in aanbouw, voortgang met specifieke technologieën als kernenergie en CCS, en beleidsontwikkelingen.

Tweede les: let goed op hoe emissies meegerekend worden. De zogenoemde accounting werkt nu op een netto basis in het Verenigd Koninkrijk, waarbij de gealloceerde ETS-emissierechten tellen in plaats van de werkelijke emissies. Het idee daarachter was dat het flexibiliteit creëert, waarbij fluctuaties op korte termijn makkelijker opgevangen zouden kunnen worden. Het grote nadeel is dat het proces van carbon budgets afgestemd moet worden op het uitdelen van de EU-emissierechten. Dat heeft tot nu toe nooit goed gewerkt. De ingewikkelde berekeningen en discussies kosten de commissie ongeveer de helft van de tijd. Het advies van de CCC voor een nieuwe wet zou zijn: waarschijnlijk beter bruto accounting (dus de werkelijke emissies van grote industrie en elektriciteitsproductie), maar het is een ingewikkeld verhaal en vooral iets om goed te

bestuderen. Als het ETS een hogere koolstofprijs zou leveren, zou dit overigens een minder groot probleem zijn. In dezelfde trant kan bij ontwerp van een nieuwe wet nagedacht worden over het meetellen van internationale scheep- en luchtvaart. In 2008 was dat niet mogelijk, nu misschien wel.

Ten derde: de koolstofdoelen geven niet de zekerheid voor investeerders die ze naar verwachting zouden geven. Een nieuwe wet zou voorzieningen kunnen opnemen die die zekerheid bieden. Bijvoorbeeld: de commissie zou dan specifieke subdoelen voorstellen, zoals het doel van 100 gCO₂/kWh voor de elektriciteitssector, wat zinvol zou zijn om bijvoorbeeld te zien of het aandeel gas in de elektriciteitsproductie niet te hoog wordt. Maar ook: duidelijke regels over hoe subsidies, *feed-in*-tarieven en andere maatregelen beëindigd zullen worden.

Vierde aandachtspunt is financiering van de commissie. De CCC zet zich sterk in voor haar onafhankelijkheid, maar uiteindelijk komt het geld van de overheid (DECC voor mitigatie, DEFRA voor adaptatie). Een andere denkbare route zou direct van het parlement zijn, om de onafhankelijkheid zoveel mogelijk te waarborgen.

Tot slot: besteed ook aandacht aan de kansen voor industrie en breder, de co-benefits van klimaatbeleid. In het Verenigd Koninkrijk ging de aandacht vooral uit naar tegengaan van nadelen van klimaatbeleid, minder naar het creëren van kansen. Ook de CCC heeft daar nog relatief weinig aan gedaan, maar ziet dat er met name voor offshore-windenergie kansen liggen voor het Verenigd Koninkrijk om een leidende rol te pakken.

Noot

- 1 Gesprekken met leden van de Committee on Climate Change, gevoerd op 3 mei 2016.

Literatuur

- Acemoglu, D., U. Akcigit, D. Hanley & W. Kerr (2016). Transition to Clean Technology. Agora (2016). The Power Market Pentagon: A Pragmatic Power Market Design for Europe's Energy Transition. Agora.
- Aviva (2014). A Roadmap for Sustainable Capital Markets: How can the UN Sustainable Development Goals harness the global capital markets?
- Brink, C., S. Beurskens & E. van Andel (2014). Marktstabiliteitsreserve in het EU ETS. Nadere analyse. Nederlandse Emissieautoriteit (NEa)/Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- Brownsort, P. (2013). Briefing: CCS for Industrial Sources of CO₂ in Europe. Scottish Carbon Capture & Storage (SCCS).
- Burtraw, D., K. Palmer & D. Kahn (2010). A symmetric safety valve.
- Calel, R. & A. Dechezleprêtre (2016). Environmental Policy and Directed Technological Change: Evidence from the European carbon market.
- CBS, PBL & WUR (2016). Compendium voor de Leefomgeving. Retrieved 1 Februari 2016.
- CE-Delft (2007). Green4sure, Het groene energieplan. CE Delft.
- CE-Delft (2016). Kansrijk beleid voor CCS - Bijdrage aan het programma Kansrijk Energie- en Klimaatbeleid.
- CE-Delft (2016). Kansrijk beleid voor CO₂-reductie van de industrie - Bijdrage aan het programma Kansrijk Energie- en Klimaatbeleid.
- COM-SWD (2014). Commission Impact Assessment on a policy framework for climate and energy in the period from 2020-2030. COM SWD.
- CPB (2016). Kansrijk innovatiebeleid. Centraal Planbureau.
- CPB & PBL (2015). Notitie Maatschappelijke kosten en baten prijsbeleid personenauto's.
- CPB & PBL (2015). Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving - Nederland in 2030 en 2050: twee referentiescenario's.
- CPB & PBL (2015). Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving. Cahier Mobiliteit. PBL.
- Daniels, B. & P. Koutstaal (2016). De rol van de elektriciteitsvoorziening in het klimaatbeleid. ECN.
- de Bruyn, S., M. Koopman & R. Vergeer (2015). Carbon added tax as an alternative climate policy instrument. CE Delft.
- Dechezleprêtre, A. & D. Popp (2015). Fiscal and Regulatory Instruments for Clean Technology Development in the European Union. CESifo Group Munich.
- Decisio (2012). Maatschappelijke kosten en baten van de fiets.
- DNB (2016). Tijd voor transitie: naar een klimaatneutrale economie.
- Dril, A. W. N., van & M. Menkveld (2016). Beoordeling intensiveringspakket Energieakkoord. ECN.
- EBN & Gasunie (2010). EBN/Gasunie advies CO₂-transport en opslagstrategie.

- EC (2009). Richtlijn 2009/125/EG van het Europees Parlement en de Raad van 21 oktober 2009 betreffende de totstandkoming van een kader voor het vaststellen van eisen inzake ecologisch ontwerp voor energiegerelateerde producten. Retrieved
- EC (2011). White paper, Roadmap to a single European Transport Area, Towards a competitive and resource efficient transport system, COM(2011) 144 final. European Commission.
- ECN (2011). Optiedocument, factsheets 2011. ECN.
- ECN (2015). Eindadvies basisbedragen SDE+ 2016. ECN.
- ECN & PBL (2015). Nationale Energieverkenning 2015.
- ECN & PBL (2016). Kostenefficiëntie van beleidsmaatregelen ter vermindering van broeikasgasemissies - Bijlage bij het IBO kostenefficiëntie CO₂-reductie maatregelen.
- Ecofys & TNO (2011). Diepe geothermie 2050 - Een visie voor 20% duurzame energie voor Nederland.
- Ecorys (2013). Carbon leakage evidence project - Factsheets for selected sectors. European Commission/Ecorys/Öko-Institut/Cambridge Econometrics/TNO.
- EU (2012). RICHTLIJN 2012/27/EU VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 25 oktober 2012 betreffende energie-efficiëntie, tot wijziging van Richtlijnen 2009/125/EG en 2010/30/EU en houdende intrekking van de Richtlijnen 2004/8/EG en 2006/32/EG.
- EZ (2016). Energierapport - Transitie naar duurzaam. Ministerie van Economische Zaken.
- Folkert, R., H. S. M. A. Diederer, G. Beugelink, M. van Veen & N. Sorel (2013). Milieueffecttoets wetsvoorstel Omgevingswet. PBL.
- Fraunhofer-IWES (2015). The European Power System in 2030: Flexibility Challenges and Integration Benefits. An Analysis with a Focus on the Pentalateral Energy Forum Region. Analysis on behalf of Agora Energiewende.
- FSB (2016). Retrieved May 2016.
- Geilenkirchen, G. P., K. Geurs, H. P. Essen, van, A. Scroten & B. H. Boon (2010). Effecten van prijsbeleid in verkeer en vervoer, kennisoverzicht. PBL.
- Graichen, J., H. Boettcher & V. Graichen (2015). Enhanced flexibilities for the EU's 2030 Effort Sharing Decision. Oeko-Institut.
- Herweijer, W. (2011). Kortsluiting op zee - Onderzoek naar effectief netwerkmanagement bij inter-connectie op zee. TenneT TSO B.V.
- Hoer, A. & H. Hilbers (2016). Review adviesrapport 'Maak elektrisch rijden Groot'. PBL.
- Hoer, A. & B. Jacobs (2015). Stimuleren van elektrisch rijden, effect van enkele beleidspraktijken. PBL.
- Hof, A., C. Brink, A. Mendoza Beltran & M. Elzen, den (2012). Greenhouse gas emission reduction targets for 2030. Conditions for an EU target of 40%. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Hoer, A., van & J. Matthijsen (2013). Ruimte en energie in Nederland, een korte verkenning. PBL.
- Hoer, A., van & N. Sorel (2011). Grensoverschrijdende plannen op zee. PBL.
- ICCT (2015). Transition to a global zero-emission vehicle fleet - A collaborative agenda for governments.
- IEA (2013). Technology Roadmap, Carbon capture and storage 2013 edition. OECD/IEA.

- IEA (2016). Re-powering Markets: Market design and regulation during the transition to low-carbon power systems. International Energy Agency.
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.
- Koelemeijer, R., J. Ros, J. Notenboom, P. Boot, H. Groenenberg & T. Winkel (2013). EU policy options for climate and energy beyond 2020. PBL.
- Koutstaal, P. R. & J. P. M. Sijm (2015). De toekomst van de elektriciteitsvoorziening bij toename van zon en wind. ECN.
- Kozluk, T. & C. Timiliotis (2016). Do environmental policies affect global value chains?: A new perspective on the pollution haven hypothesis. OECD.
- Kramer, G. J. & M. Haigh (2009). No quick switch to low-carbon energy. Nature Publishing Group.
- Kremers, J. J. M. (2015). Nederlands Investerings Agentschap voor EFSI: Opstart en verdere vormgeving, rapportage van de eerste voorzitter. In opdracht van EZ en Financiën.
- Lemmens, J. & R. van den Wijngaart (2014). Het potentieel van zonnestroom in de gebouwde omgeving van Nederland. DNV-GL, PBL.
- Martin, R., M. Muûls & U. J. Wagner (2016). The impact of the European Union Emissions Trading Scheme on Regulated Firms: What Is the Evidence after Ten Years? .
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2016). Nederlands standpunt inzake toekomstige CO₂ normering personenvoertuigen. Den Haag.
- Mock, P., U. Tietge, J. German & A. Bandivadekar (2014). Road transport in the EU Emissions Trading System: An engineering perspective. ICCT - The International Council on Clean Transportation.
- NEa (2015). Emissiecijfers Nederlandse deelnemers 3e fase EU ETS. NEa.
- Nijland, H., A. Hoen, D. Snellen & B. Zondag (2012). Elektrisch rijden in 2050: gevolgen voor de leefomgeving. PBL.
- OECD (2010). Taxation, innovation and the environment. OECD.
- PBL (2011). Naar een schone economie in 2050: routes verkend. PBL.
- PBL (2013). De macht van het menu. Opgaven en kansen voor duurzaam en gezond voedsel. PBL.
- PBL (2014). Biomassa: Wensen en Grenzen - PBL Interactive Data Visuals. Retrieved 2016.
- PBL (2016). Dalende bodems, stijgende kosten.
- PBL (2016). Energietransitie - Joulebak 2050. Retrieved 2016.
- PBL (2016). Verschuiven, vereenvoudigen, en vergroenen? Ambities gericht op belastingverschuiving van arbeid naar milieu in perspectief. PBL.
- Perino, G. & M. Willner (2015). The price and emission effects of a market stability reserve in a competitive allowance market. University of Hamburg.

- Ploumen, P. J. e. a. (2007). Investigations to CO₂ storage, strategy for CO₂ capture. KEMA.
- Rli (2015). Rijk zonder CO₂: Naar een duurzame energievoorziening in 2050.
- Rood, T., M. van Gelder & H. van Zeijts (2014). Nederlanders en duurzaam voedsel. Enquête over motieven voor verduurzaming van het voedselsysteem en consumptiegedrag. PBL.
- Ros, J. & B. Daniels (2015). Sectordoelen voor niet-ETS broeikasgasemissies in 2030. PBL/ECN.
- Ros, J. & K. M. Schure (2016). Vormgeving van de energietransitie. PBL.
- Rougoor, C., E. Elferink & L. Terry (2013). Fosfaat, ammoniak en broeikasgassen in de melkveehouderij - Effecten van maatregelen 2020. CLM Onderzoek en Advies.
- Schepers, B. L., N. Naber, F. J. Rooijers & C. Leguijt (2015). Op weg naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving 2050. CE Delft.
- Schilder, F. & M. Middelkoop, van (2016). Verduurzaming van de woningvoorraad - Financiële consequenties voor belanghouders. PBL.
- SER (2013). Energieakkoord voor duurzame groei.
- Sijm, J. P. M., A. J. Welle, van der, B. Tieben, B. Hof & V. Kocsis (2013). Naar een breder afwegings- en reguleringskader voor investeringen in interconnectoren: de Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse (MKBA).
- Sipma, J. M. (2014). Verbetering referentiebeeld utiliteitssector: voorraadgegevens, energiegebruik, besparingspotentieel, investeringskosten, arbeidsinzet. ECN.
- Stern, N. H. (2006). The economics of climate change: the Stern Review. London.
- Tavoni, M., E. Kriegler, K. Riahi, D. P. van Vuuren, T. Aboumahboub, A. Bowen, K. Calvin, E. Campiglio, T. Kober, J. Jewell, G. Luderer, G. Marangoni, D. McCollum, M. van Sluisveld, A. Zimmer & B. van der Zwaan (2015). Post-2020 climate agreements in the major economies assessed in the light of global models. Nature Publishing Group, a division of Macmillan Publishers Limited. All Rights Reserved.
- TNO (2010). Geothermal Energy in the Netherlands.
- TNO, CE-Delft & ECN (2014). Scenarios for energy carriers in the transport sector.
- Traa, M. (2015). Het trendextrapolatiemodel voor vrachtoparken (TREVA) - Modelbeschrijving. PBL.
- UNEP (2015). The financial system we need - Aligning the financial system with sustainable development. UNEP.
- van Tilburg, R. (2016). Financiering van de energietransitie - Beleidsopties in het financiële domein voor middellange termijn energie- en klimaatbeleid. Sustainable Finance Lab.
- van Vuuren, D. P., M. van Sluisveld & A. Hof (2015). Implications of long-term scenarios for medium-term targets (2050). PBL.
- Verhoog, D., H. Wijsman & I. Terluin (2015). Vleesconsumptie per hoofd van de bevolking in Nederland, 2005-2014. LEI.
- Vermeulen, S. J., B. M. Campbell & J. S. I. Ingram (2012). Climate Change and Food Systems.
- Verrips, A. S. & A. Hoen (2016). Kansrijk mobiliteitsbeleid. Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving (CPB & PBL).

VNCI (2012). De sleutelrol waarmaken - Routekaart chemie 2012-2030.

Vollebergh, H. (2014). Fiscale vergroening: uitdagingen voor de belastingen op energie. PBL.

Vollebergh, H., E. Drissen, H. Eerens & G. Geilenkirchen (2014). Milieubelastingen en Groene Groei, Deel II: Evaluatie van belastingen op energie in Nederland vanuit milieuperspectief. PBL.

Wood, P. J. & F. Jotzo (2011). Price floors for emissions trading.

Planbureau voor de Leefomgeving

Postadres
Postbus 30314
2500 GH Den Haag

T +31 (0)70 3288700

www.pbl.nl
[@leefomgeving](#)

Juli 2016