



PBL-Notitie

**Beleid voor klimaat en
hernieuwbare energie:
op weg naar 2050**

M. Verdonk, P.A. Boot en J.P.M. Ros
(martijn.verdonk@pbl.nl)
Publicatienummer: 500083017

1 december 2011

Conclusie

- Het huidige Nederlandse klimaat- en energiebeleid is gericht op het bereiken van de Europese doelen die gelden voor 2020. De Europese Unie heeft daarnaast een ambitie om in 2050 een koolstofarme economie in Europa te realiseren. De prikkels en stimulansen die van de 2020-doelen en de realisatie ervan uitgaan zijn nog niet krachtig genoeg om op de lange termijn een koolstofarme economie te realiseren. Dat betekent niet dat een koolstofarme economie in 2050 onhaalbaar zou zijn. Wel veronderstelt het een beleid dat een grotere stimulans biedt voor het realiseren van een koolstofarme economie.
- De huidige Europese doelstelling voor hernieuwbare energie in 2020 leidt niet tot een optimale stimulans voor een energietransitie die nodig is om in 2050 de koolstofarme economie te realiseren. Zo worden technologieën die op de lange termijn van groot belang zijn, zoals windenergie-op-zee, elektrische voertuigen en innovatieve verwerkingstechnologieën van biomassa (zoals vergassing), slechts in beperkte mate gestimuleerd door het huidige beleid dat is gericht op het realiseren van het 2020 doel. Daarnaast is de inzet van biomassa niet optimaal. Biomassa wordt momenteel gestimuleerd bij de grootschalige opwekking van elektriciteit, waarmee een bijdrage wordt geleverd aan het realiseren van het 2020-doel. De beschikbaarheid van duurzame biomassa is echter beperkt; biomassa kan op den duur dan ook beter worden ingezet bij sectoren die weinig mogelijkheden hebben om de CO₂-uitstoot te beperken, zoals de luchtvaart- en transportsector.
- Door in Europa minder nadruk te leggen op het 'uitrollen' van bestaande hernieuwbare energietechnologieën en meer op het stimuleren van innovaties, kunnen de kosten om op de lange termijn een koolstofarme economie te realiseren, omlaag. Er zijn met name kostenbesparingen te verwachten voor zonnestroom, bij de afvang- en opslag van CO₂ (CCS) en wellicht ook bij windenergie-op-zee. Bovendien kan het nog meer stimuleren van innovatie zorgen voor kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven. 'Uitrol'-subsidies kunnen daarentegen vanwege Europese regelgeving niet gericht worden op Nederlandse bedrijven.
- Het stellen van een 'tussendoel' voor klimaat in bijvoorbeeld 2030, helpt om een gunstiger investeringsklimaat te creëren. Een voldoende ambitieus doel creëert voor investeerders meer zekerheid over de rendementen van hun investering in CO₂-arme technologieën. Ondersteunend innovatiebeleid blijft daarbij nodig om gewenste technologische ontwikkelingen te waarborgen. Bovendien bestaat er alsnog het risico dat de realisatie van het tussendoel voor die periode kosteneffectief wordt ingevuld, terwijl die invulling voor de langere termijn niet de meest gunstige hoeft te zijn.
- Voor een effectieve bijdrage van Europa aan het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen is het van belang dat daar mondiale afspraken over worden gemaakt. Bij het uitblijven van een (ambitieuw) mondiaal klimaatakkoord zal het voor Europa waarschijnlijk lastiger en duurder worden om een koolstofarme economie te realiseren.

Inleiding

De Europese Unie heeft voor zijn klimaat- en energiebeleid verschillende doelen voor 2020 gesteld. Die doelen dienen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen, maar ook om de energievoorziening betrouwbaar en op de lange termijn betaalbaar te houden. Het klimaat- en energiebeleid van het huidige kabinet is gericht op het realiseren van die (Europese) doelen.

De Europese Unie heeft daarnaast een ambitie om in 2050 een koolstofarme economie te realiseren. Om die te realiseren heeft de Europese Raad besloten om de Europese broeikasgasemissies tussen 1990 en 2050 met 80 tot 95 procent te reduceren, in het kader van de reducties die het Intergouvernementeel Panel over Klimaatverandering noodzakelijk acht voor de ontwikkelde landen als geheel (EU 2009).

Volgens de *Roadmap 2050* die de Europese Commissie begin 2011 heeft uitgebracht, impliceert een dergelijke doelstelling onder andere een energiesector die zo goed als CO₂-neutraal is (EC 2011a). Om die te kunnen realiseren zijn er in de periode vóór 2020 al stappen gewenst, omdat de economische levensduur van centrales, fabrieken, gebouwen en infrastructuur in de huidige (en nabije) energievoorziening vaak lang is. Daarnaast vergt het teweegbrengen van grootschalige systeemveranderingen een lange adem (PBL 2011a).

Bovenstaande doelen en omstandigheden roepen de vraag op in hoeverre het huidige beleid al voorsortteert om die ambitie voor de lange termijn te realiseren.

Het ministerie van EL&I heeft het PBL verzocht om te bezien (1) in welke mate het realiseren van doelen in 2020, spoort met de ambitie om in 2050 een koolstofarme economie te realiseren. Deze notitie gaat voorts in op de vraag op welke wijze (2) innovatiebeleid gericht op CO₂-arme technologieën en (3) eventuele doelen tussen 2020 en 2050 een bijdrage kunnen leveren aan het realiseren van de langetermijnambitie.

De analyse in deze notitie houdt rekening met de hoofdlijnen van het huidige beleid, namelijk de Europese klimaat- en energiedoelen voor 2020 en de belangrijkste instrumenten die daarbij worden ingezet. Het gaat hierbij om de Europese doelstellingen om een aandeel van 20 procent hernieuwbare energie te realiseren en de emissie van broeikasgassen met 20 procent te reduceren ten opzichte van 1990. Daarbij wordt ook ingegaan op het stimuleringsbeleid voor hernieuwbare energie, namelijk de SDE+-regeling, het bij- en meestoken van biomassa en de hernieuwbare energieverplichting voor de vervoerssector. Daarnaast wordt het innovatiebeleid op hoofdlijnen besproken. Omdat het huidige beleid meer omvat dan deze instrumenten, vindt er in deze notitie geen integrale beoordeling van het huidige beleid van Europa en het kabinet plaats.

1. In welke mate spoort het realiseren van de doelen in 2020 met het streven naar een koolstofarme economie in 2050?

Koolstofarme economie in Nederland: vier bouwstenen essentieel

Uit een recente PBL-studie over de Nederlandse energievoorziening in 2050 (PBL 2011a) blijkt dat de belangrijkste bouwstenen om een koolstofarme economie te realiseren zijn: vermindering van de energievraag; inzet van biomassa; afvang- en opslag van CO₂ (CCS); en CO₂-vrije elektriciteitsopwekking in combinatie met een hogere mate van elektrificatie van bijvoorbeeld het personenvervoer.

Het realiseren van een koolstofarme economie zonder één of enkele van deze bouwstenen zal zeer lastig (en kostbaar) worden. Dat komt doordat deze bouwstenen niet onbeperkt kunnen worden ingezet. Per bouwsteen gelden er beperkingen in de mogelijkheden om emissies te reduceren. Zo is biomassa breed inzetbaar, maar de beschikbaarheid van duurzame biomassa beperkt. Het is daarom raadzaam om bij de inzet van duurzame biomassa prioriteit te geven aan de productie van groen gas en als brandstof voor de transportsector (met uitzondering van het personenvervoer). In de transportsector zijn alternatieve (betaalbare) CO₂-arme opties namelijk beperkt. Ook in de bestaande bouw (met name woningen en kleine en middelgrote bedrijven) kunnen betaalbare, alternatieve opties beperkt zijn, waardoor de inzet van duurzame biomassa ook hier gewenst kan zijn. Het beperken van de energievraag is een 'robuuste' bouwsteen, omdat deze de afhankelijkheid van de andere bouwstenen vermindert. Hoewel alle vier bouwstenen onmisbaar lijken, zijn daarbinnen nog vele mogelijkheden voor specifieke technieken en toepassingen.

Het is niet bij voorbaat aan te geven hoe een toekomstig koolstofarm energiesysteem scoort op de andere beleidsdoelen als betaalbaarheid en betrouwbaarheid. Alhoewel omgeven met grote onzekerheden, is het waarschijnlijk dat een koolstofarm energiesysteem duurder is dan in een business as usual-scenario. Maar het is minder afhankelijk van prijsstijgingen van grondstoffen en de import van fossiele brandstoffen neemt af.

Afhankelijk van de toename van fluctuerende vormen van hernieuwbare energie is het tot stand brengen van een Europees elektriciteitsnetwerk een belangrijk aspect van de betrouwbaarheid. Door de vele technische opties is geen enkele specifieke techniek absoluut onmisbaar. Ze verschillen wel in het belang voor het toekomstige systeem. Zo kan biomassavergassing als basis voor de productie van groen gas of vloeibare biobrandstoffen in combinatie CO₂-afvang een cruciale rol spelen. Andere opties met een relatief groot belang lijken te zijn: windenergie-op-zee, kernenergie, elektrische warmtepompen, elektrische en waterstofauto's en CCS in de industrie (PBL 2011a). Het precieze belang van deze opties dient uiteindelijk ook vanuit Europees perspectief te worden bekeken. Het uitsluiten van één of meerdere van deze opties maakt het realiseren van een CO₂-vrije elektriciteitsopwekking meer afhankelijk van de opties die dan overblijven. De precieze locatie van bijvoorbeeld een kerncentrale in een Europees elektriciteitsnetwerk is niet van groot belang.

Belangrijkste bouwstenen voor Europa zijn vergelijkbaar met die voor Nederland

In Europese scenario's zijn vergelijkbare bouwstenen te vinden. Zo blijkt uit een mondiaal klimaatscenario van het IEA voor 2050, dat in Europa energiebesparing, CCS, kernenergie en hernieuwbare energieopties (wind, zon en biomassa) belangrijke elementen zijn om vergaande emissiereducties te realiseren (IEA 2010). In vergelijking met het Nederlandse scenario, gaat het IEA uit van een redelijk grote rol van waterkracht (17 procent) en biomassa (7 procent) in de Europese elektriciteitsopwekking. In Nederland is het belang van die opties voor de elektriciteitsopwekking voor de lange termijn juist beperkter. De potentie van

waterkracht in Nederland is in vergelijking met andere Europese landen nihil. De IEA gaat ook uit van voldoende biomassa. Het PBL wijst nadrukkelijk op alternatieven voor schone elektriciteitsproductie, opdat daarmee het risico op onduurzame biomassa zoveel mogelijk wordt verkleind (PBL 2011a). Ook is de Europese bijdrage van windenergie-op-land groter dan op zee. Voor Nederland lijkt het belang van windenergie-op-zee juist groter dan op land; in Nederland is er relatief gezien meer ruimte op zee dan op land voor de ontwikkeling van windenergie. Het aandeel hernieuwbare energie zal in Nederland in vergelijking met andere Europese landen vermoedelijk ook relatief wat lager blijven. Dat komt doordat Nederland relatief gezien weinig ruimte heeft voor hernieuwbare energie die veel ruimte in beslag neemt, zoals de al genoemde windenergie-op-land.

Huidig Europees klimaatbeleid stimuleert vergaande emissiereducties niet genoeg

Het huidige Europese klimaatbeleid leidt tot een emissiereductie van 20 procent tussen 1990 en 2020. Maar het stimuleert de lidstaten niet genoeg om de bouwstenen in voldoende omvang te ontwikkelen zodat de emissies op de lange termijn met 80 tot 95 procent kunnen dalen.

Zonder verdere aanscherping van het huidige beleid leidt het Europese CO₂-emissiehandelssysteem (ETS) tussen 2005 en 2050 tot een geleidelijke daling van het emissieplafond met 70 procent. In het huidige beleid daalt het ETS-emissieplafond jaarlijks met een lineaire factor van 1,74 procent, die in principe ook na 2020 doorloopt. De Europese Commissie gaat uit van een lagere, feitelijke emissiereductie van 50 procent in de EU zelf, onder meer vanwege de inzet van emissierechten die afkomstig zijn van buiten de Europese Unie (EC 2011a). Voor de sectoren die niet onder het ETS vallen (niet-ETS-sectoren) zijn geen doelen voor na 2020 vastgesteld. De Europese Commissie gaat uit van een emissiereductie van circa 20 procent tussen 2005 en 2020 in de niet-ETS-sectoren, bij de veronderstelling van een vergelijkbare prijsprikkel om CO₂-emissies te reduceren in de niet-ETS-sectoren tot 2020. Totaal zouden de Europese broeikasgasemissies in 2050 met het huidige beleid uitkomen op circa 40 procent ten opzichte van 1990, waarmee het doel van 80 tot 95 procent reductie nog niet binnen bereik ligt (EC 2011a).

Hernieuwbaar energiebeleid niet optimaal voor de lange termijn

Het huidige Nederlandse beleid is gebaseerd op de realisatie van de Europese doelen tot en met 2020. Op basis hiervan worden vorderingen gemaakt naar een meer duurzame energievoorziening (PBL 2011b). De inzet daarbij is om het 2020-doel op een kosteneffectieve wijze te realiseren.

Hoewel het kabinet geen energietechnologieën bij voorbaat wil uitsluiten (EL&I 2011), leidt het kabinetsbeleid niet zonder meer tot optimale inzet van hernieuwbare energie op de lange termijn. Door de SDE+-regeling, het bij- en meestoken van biomassa¹ en de bijmengverplichting van biomassa in verkeersbrandstoffen, neemt het aandeel hernieuwbare energie waarschijnlijk toe van circa 4 procent nu naar 9 tot 12 procent in 2020 (zie tabel 1). De technologieën die daarvoor naar verwachting worden ingezet, zijn op de langere termijn echter niet altijd optimaal. De biomassa die (verplicht) gestookt wordt in elektriciteitscentrales kan op de lange termijn waarschijnlijk beter

¹ Met de energiebedrijven is in het kader van de Green Deal afgesproken dat het aandeel tot 2015 oploopt tot 10 procent. In PBL (2011b) is echter uitgegaan van een (verplicht) aandeel van 20 procent in 2020. Indien het aandeel van 10 procent tot en met 2020 zou gelden, zal de verwachte inzet van biomassa in kolencentrales lager uitkomen dan volgens tabel 1.

worden ingezet in sectoren met minder opties voor vergaande CO₂-reductie, zoals de transportsector (met uitzondering van het personenvervoer waar elektrische auto's mogelijk zijn). Ook lijken sommige technologieën die van belang kunnen zijn om de 2050-ambitie te realiseren nog slechts in beperkte mate te worden gestimuleerd. Zo wordt de ontwikkeling van het vergassen van biomassa (voor groen gas en transportbrandstoffen) en windenergie-op-zee niet door de huidige SDE+-regeling gestimuleerd. De hernieuwbare energieverplichting voor de transportsector stimuleert vooral de inzet van biobrandstoffen uit landbouwgewassen en gemakkelijk te verwerken reststromen, en niet zozeer de technologische vernieuwing zoals die bijvoorbeeld nodig is voor de inzet van houtachtige biomassa of agrarische residuen. Het verwachte effect van die verplichting op de stimulering van elektrische en/of waterstofauto's voor 2020 is nihil (ECN & PBL 2010).

Tabel 1

Aandeel hernieuwbare energie in 2020 volgens Europese definitie (% van het eindverbruik van energie)¹

Categorie	Onderkant	Bovenkant
Warmte (excl biomassa)	1,2	1,4
Elektriciteit (excl biomassa)	2,7	3,0
Biomassa (excl. meestook en biobrandstoffen)	2,9	4,1
Biomassa meestook	0,8	1,5
Biobrandstoffen vervoer	1,4	2,0
Totaal	9,0	12,0

Bron: PBL (2011b)

¹Betreft een indicatie van de bijdragen van verschillende categorieën hernieuwbare energie in 2020 bij de bovenkant en onderkant van de bandbreedte.

Biomassa en windenergie-op-land belangrijkste hernieuwbare energieopties in 2020

Voor 2020 wordt een aandeel van 9 tot 12 procent hernieuwbare energie verwacht (PBL 2011b). Dit zal voornamelijk worden gerealiseerd door de inzet van hernieuwbare elektriciteit (met name door windenergie-op-land) en biomassa. Biomassa wordt dan op verschillende manieren ingezet, namelijk voor de productie van elektriciteit, warmte, groen gas (uit vergisting) en vloeibare biobrandstoffen voor transport. Omdat de kosten van verschillende biomassaopties dicht bij elkaar liggen, is niet op voorhand te zeggen hoe de biomassa als gevolg van stimulering door de SDE+-regeling wordt ingezet. De bandbreedte wordt met name bepaald door de onzekerheid in de kostenontwikkeling van de technologieën en het potentieel dat daadwerkelijk benut zal worden. De marge bij biobrandstoffen wordt grotendeels bepaald door de mate waarin biobrandstoffen uit landbouwgewassen en de 'dubbeltellende' biomassa² wordt ingezet.

² Biomassa die volgens de Richtlijn Hernieuwbare Energie dubbel mag worden meegerekend in het bepalen van het aandeel hernieuwbare energie in de transportsector, zoals biodiesel uit afvalolie.

2. Hoe kan innovatiebeleid een bijdrage leveren?

Hiervoor is geconstateerd dat de doelen voor 2020 nog onvoldoende leiden tot een energietransitie. In deze paragraaf wordt daarom ingegaan op de rol die innovatiebeleid mogelijk kan spelen bij de energietransitie. De vraag valt uiteen in drie subvragen: (a) van welke technologieën is nog een substantieel leereffect te verwachten; (b) wat is een optimale verhouding tussen ondersteuning van 'uitrol' en 'innovatie'; (c) en op welke technologieën of thema's zou een robuust innovatiebeleid zich moeten richten? Deze vragen worden in de volgende alinea's besproken.

Sterke kostendaling verwacht voor zonnestroom, windenergie-op-zee en CCS

Bij veel schone technologieën zijn nog grote kostendalingen mogelijk. Deze kunnen worden beschreven met de zogenoemde leercurve, waarin een relatie wordt verondersteld tussen de prijs en de mate van toepassing. De empirie laat voor vele technieken een bepaalde procentuele kostendaling zien bij een mondiale verdubbeling van de capaciteit. Bij reeds gevestigde technologieën verdubbelt de mondiale capaciteit uiteraard niet zo makkelijk als bij technologie die nog aan het begin van een ontwikkelingspad staat. Er zijn uiteraard vele schattingen van mogelijke kosten en alle zijn behept met onzekerheden. Het is immers maar de vraag of een leercurve op basis van historische gegevens tot ver in de toekomst kan worden doorgetrokken. Toch is het een vaak gehanteerde basis voor scenario's. Een veel geraadpleegd voorbeeld is de langetermijnstudie van het Internationaal Energie Agentschap (IEA 2010). Relatief steile leercurves worden vermeld van zonnestroom (ordegrootte 18 procent) en geothermie (15 procent), maar ook bij elektrische auto's (20 procent) of duurzame toepassingen van biomassa (10 procent). Tabel 2 geeft een voorbeeld van de investeringskosten die hiermee voor de toekomst kunnen worden afgeleid bij veronderstellingen over de toekomstige toepassing. Deze kosten zijn overigens mondiale schattingen en niet specifiek voor de Nederlandse situatie. Dit soort overzichten spitst zich doorgaans toe op aanbodgerichte energietechnologieën. Vergelijkbare of nog scherpere kostendalingen zijn te verwachten bij technologieën die de vraag naar energie verminderen, bijvoorbeeld energiezuinige verlichting, elektrische apparaten of isolerend glas (IEA 2008; Kiss & Neij 2011). Van de aanbodopties is door de relatief geringe ervaring met zonnestroom, windenergie-op-zee, geothermie en CCS dus nog een sterke kostendaling te verwachten. Maar de investeringskosten van windenergie-op-zee en kolen met CCS blijven relatief hoog. Wanneer ook rekening wordt gehouden met de potentiële jaarlijkse productie (de capaciteitsfactor), lijken zonnestroom en windenergie-op-zee tegen 2050 ongeveer even duur. Dergelijke kostenvergelijkingen zijn overigens niet meer dan indicatief, mede omdat in de praktijk de inpassing van dergelijke technieken in het elektriciteitsstelsel ook met verschillende kosten of baten gepaard kan gaan. Voor kernenergie is een kostendaling niet vanzelfsprekend (onder meer vanwege toenemende veiligheidskosten).

Tabel 2

Investeringskosten (CAPEX) van koolstofarme technologieën (in USD per kilowatt)

Technologie	2010	2050
Windenergie-op-land	1.450-2.200	1.200-1.600
Windenergie-op-zee	3.000-3.700	2.100-2.600
Biomassa	2.500	1.950
Zonnestroom	3.500-5.600	1.000-1.600
Geothermie	2.400-5.500	2.150-3.600
Kernenergie ¹	3.000-3.700	2.700-3.300
Kolencentrale in combinatie met	3.200	2.450

vergassing en CCS		
Gascentrale met CCS	1.650	1.350

Bron: IEA (2010)

¹ Uitgaande van een 3^e generatie kerncentrale

Balans nodig tussen investeringen in kennis, demonstraties en toepassing

Om de investeringskosten van (hernieuwbare) energieopties te verlagen is er een balans nodig tussen enerzijds verder onderzoek en demonstraties (oftewel *Research, Development & Demonstration* (RD&D)) en anderzijds door de toepassing te stimuleren (oftewel *learning-by-doing*) met bijvoorbeeld exploitatiesubsidies. Een balans is van belang omdat technologieën die nu nog duur zijn, tegen de tijd dat deze van groot belang zijn om langetermijndoelen te halen, dan tegen lagere kosten kunnen worden ingezet. Hoewel algemene conclusies over een optimale verhouding tussen RD&D en learning-by-doing lastig te geven zijn, lijken beide sporen noodzakelijk te zijn, en leveren onderzoek en demonstraties op de langere termijn meer op dan het bevorderen van de toepassing. Zo hebben investeringen in RD&D een twee keer zo groot effect gehad op de kostenontwikkeling van windenergie als capaciteitsuitbreiding (Klaassen et al. 2005). Ten aanzien van zonnestroom lijkt het effect van beide momenteel even groot, maar verwacht wordt dat op de langere termijn onderzoek en demonstraties tot veel lagere kosten zullen leiden dan learning-by-doing (Nemet & Baker 2009). Dit wordt geconcludeerd op basis van modelmatige analyse en expertschattingen.

Analyses indiceren ook dat een samenhang van publiek ondersteund onderzoek en innovaties door bedrijven van belang is. Publiek ondersteund onderzoek kan zorgen voor technologische doorbraken door – samen met bedrijven – naar fundamenteel nieuwe oplossingen te zoeken waar dat voor bedrijven zonder (publieke) ondersteuning te risicovol is. En juist die doorbraken kunnen tot verdere kostenreducties leiden (Wene 2008). Goed vormgegeven wisselwerking tussen publieke ondersteuning en het bedrijfsleven is dan nodig, zoals in het 'Advies Topsector Energie' ook wordt voorzien (Van der Veer et al. 2011).

Voorziene balans stimulering kennisontwikkeling en toepassing lijkt niet optimaal

In Nederland wordt momenteel de ontwikkeling van hernieuwbare energie op een kosteneffectieve wijze gestimuleerd. Hierdoor zijn de uitgaven voor de toepassing van bestaande technologieën relatief groot in vergelijking met de uitgaven voor nu nog dure, innovatieve technologieën. De kosteneffectiviteit van innovatieve technologieën is op de langere termijn echter waarschijnlijk groter. Doordat de nadruk ligt op het op een kosteneffectieve manier halen van de Europese doelstelling voor hernieuwbare energie in 2020, wordt een energietransitie voor 2050 niet optimaal gestimuleerd. Zo worden windenergie-op-zee, elektrische voertuigen en innovatieve verwerkingstechnologieën van biomassa (zoals vergassing) slechts in beperkte mate gestimuleerd (zie ook paragraaf 1).

Wetenschappelijke analyses bieden voornamelijk onvoldoende houvast om algemene uitspraken te doen over een 'optimale' verhouding tussen kennisontwikkeling en toepassing. Eén van de oorzaken daarvan is dat het onzeker is welk effect het stimuleren van toepassing heeft op kennisontwikkeling. Minder nadruk op de toepassing van bestaande technologieën kan mogelijk tot gevolg hebben dat bedrijven ook minder geneigd zijn om te investeren in de verdere doorontwikkeling en/of de ontwikkeling van nieuwe technologieën. Daarbij is het lastig om goed te schatten wat de omvang is van publieke middelen ten behoeve van innovatie van hernieuwbare

energie. Die middelen wisselen sterk van jaar tot jaar, en complicerend is dat het innovatiebeleid wordt vernieuwd (zie volgende alinea). Dit laat onverlet dat voorzichtig gesteld kan worden dat in Nederland de huidige verhouding tussen publieke middelen die zijn gericht op toepassing ('uitrol') van technologie, en die op innovatie dermate 'scheef' is dat deze – ondanks de wetenschappelijke onzekerheden – niet optimaal lijkt (Kerste & Tieben 2011; Van den Bergh 2011). Voor de stimulering van hernieuwbare energie wordt geschat dat de omvang van middelen voor RD&D ten opzichte van middelen voor 'uitrol' van 12 procent in 2009-2010 via 9 procent in 2012 naar 4 procent in 2015 verloopt³. Ook afgezet tegen het bnp (gemeten in 2009 en 2010 in koopkrachtpariteiten) is de Nederlandse omvang van RD&D in hernieuwbare energie relatief laag. In Scandinavische landen (Denemarken, Finland, Zweden) is deze relatief gezien driemaal zo hoog. Ook in landen als Australië, Canada, Engeland en Zuid-Korea is deze iets hoger, terwijl deze zich in Duitsland, Frankrijk of de Verenigde Staten op een vergelijkbaar niveau bevindt (IEA 2011; Decisio 2011 en OECD Stat Extracts).

Vernieuwingen in het innovatiebeleid

De conclusie dat de huidige balans tussen stimulering kennisontwikkeling en toepassing niet optimaal lijkt, dient uiteraard in de context gezien te worden van de huidige vernieuwing van het Nederlandse innovatiebeleid. Zowel het algemene als het specifiek op energie gerichte innovatiebeleid wordt vernieuwd. Innovatiesubsidies worden vervangen door fiscale ondersteuning en er wordt gewerkt aan een innovatiefonds. Inzet daarvan is dat Nederland in 2020 in de top 5 van kenniseconomieën van de wereld komt en dat het aandeel R&D-investeringen ruwweg verdubbelt van 1,2 procent van het bnp nu naar 2,5 procent in 2020.

Specifiek voor energie-innovatie is een Topteam in het leven geroepen, dat de samenwerking tussen bedrijven, overheid en kennisinstellingen moet verbeteren. Het team wijst daarvoor technologiegebieden aan waarvoor eind 2011 of begin 2012 innovatiecontracten moeten worden gesloten; ontwikkelt een visie op de toekomst; en verdeelt financiële middelen.

Deze vernieuwingen moeten leiden tot een grotere benutting van middelen voor energie-innovatie, waardoor de balans tussen 'uitrol' en 'kennisontwikkeling' anders zal uitvallen. 'Kennisontwikkeling' krijgt waarschijnlijk ook meer gewicht door de toegekende subsidie voor een windenergie-op-zeeproject van Eneco, vanwege het innovatieve karakter van dat windpark. Deze subsidie is afkomstig uit het restant van de vorige SDE-regeling.

Daarnaast pleit het kabinet in Europees verband voor meer middelen binnen de bestaande budgettaire kaders om innovatie te stimuleren. Voor innovaties is immers niet zozeer de Nederlandse schaal van belang. De berekende daling van het aandeel innovatie in de totaal beschikbare financiële middelen illustreert wel dat het een

³ De Topsector Energie heeft in 2012 de beschikking over 172 miljoen euro voor energie-innovatie, wat afneemt tot 121 miljoen in 2015 (volgens het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, 1 november 2011). In 2009 bedroegen de middelen hiervoor 158 miljoen en in 2010 326 miljoen (Decisio 2011). De Topsector Energie beslist over de innovatiemiddelen van het ministerie van EL&I en de middelen voor NWO-FOM. De afgelopen jaren was dit 90 procent van de totale energie innovatiemiddelen; dit percentage hebben we voor de nabije toekomst aangehouden. Voor de vergelijking nemen we het gemiddelde van deze jaren. Het aandeel hernieuwbaar in de gerealiseerde middelen fluctueert sterk en bedroeg in 2009 26 procent en in 2010 40 procent. Omwille van de vergelijking is een optimistische veronderstelling gemaakt dat de Topsector Energie grote prioriteit aan hernieuwbare energie geeft en de helft van de beschikbare innovatiemiddelen daarvoor inzet. De ondersteuning van middelen voor 'uitrol' is ook lastig te traceren, maar veronderstellen we op 600 miljoen euro in 2009, 720 in 2010, 900 in 2012 en 1400 miljoen in 2015.

uitdaging zal zijn om via de vernieuwing van het innovatiebeleid een zeker evenwicht bij de hernieuwbare energie te behouden.

Innovatiebeleid biedt kansen voor bedrijfsleven

Ondanks dat de mondiale context voor het stimuleren van innovatie van groot belang is, kan het toch zinvol zijn om in Europees verband of op nationaal niveau innovatie te bevorderen. Zo kan het verstandig zijn om meer Europese middelen in te zetten voor energie-innovatie, om verdere grensoverschrijdende samenwerking tussen Europese bedrijven en kennisinstellingen te bewerkstelligen. Voor een individueel land kan het ook zinvol zijn om innovatie te stimuleren: daardoor worden er kansen gecreëerd voor het bedrijfsleven; en wordt kennis opgebouwd bij middelgrote en kleine bedrijven (zoals de installatiebranche) zodat innovatieve technieken (op termijn) ook kunnen worden toegepast.

Dergelijke kansen kunnen voor het Nederlandse bedrijfsleven worden gecreëerd, als de overheid de aanbevelingen van de Topsector Energie overneemt en uitwerkt. Daarmee bevordert ze een directe band tussen innovatie bij Nederlandse bedrijven en bij kennisinstellingen, Uitzonderingsbeleid is hier minder geschikt voor, omdat exploitatiesubsidies vanwege Europese regelgeving niet direct op het Nederlandse bedrijfsleven kunnen worden gericht.

De Algemene Rekenkamer heeft onlangs geconcludeerd dat de doelmatigheid en doeltreffendheid van het innovatiebeleid gericht op het vergroten van het innovatieve vermogen van Nederland in de periode 2003 tot 2010 niet zijn vast te stellen (Kempkes et al. 2011). Dit rapport gaat niet in op de wijze waarop het innovatiebeleid hierop beter zou kunnen scoren, maar constateert alleen dat de verhouding van inzet van financiële middelen niet goed en steeds minder goed voorsorteert op de lange termijn en kansen voor Nederlandse bedrijven niet lijkt te optimaliseren.

Stimuleren innovaties in energiebesparing en biomassa het meest robuust

Het stimuleren van RD&D in energiebesparende technieken (zoals bij elektrische apparaten, glas en verlichting), biomassa als alternatieve energiebron in de transportsector en windenergie-op-zee lijken robuuste elementen van een RD&D-gebaseerd innovatiebeleid voor de Nederlandse energievoorziening. Deze technologieën hebben een groot potentieel in het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen in Nederland en zijn voor Nederland van groot belang om een koolstofarme economie te realiseren (PBL 2011a).

Energiebesparing en hernieuwbare energie leveren niet alleen een bijdrage aan het reduceren van emissies, maar ook aan het zuinig omgaan met grondstoffen (*resource efficiency*) en het – in beginsel - verbeteren van de voorzieningszekerheid (geldt in mindere mate bij import van biomassa). De afhankelijkheid van de import van fossiele brandstoffen wordt er mee verminderd en hernieuwbare energie zorgt daarbij voor een diversificatie van de energievoorziening.

Biomassa is een robuust element in innovatiebeleid, omdat dit een belangrijk alternatief is voor olie in de transportsector (met name voor vracht en lange afstanden via de zee en lucht, waar niet veel alternatieven voor bestaan).

Windenergie-op-zee heeft een aparte positie vanwege de mogelijk grootschalige toepassing ervan in Europa en de mogelijkheden die er daardoor zijn voor het Nederlandse bedrijfsleven. Mogelijk zijn de kosten op termijn ook nog verder te verlagen.

CCS is eveneens van groot belang om een koolstofarme economie te kunnen realiseren, op de lange termijn vooral toe te passen bij industriële emissies en toekomstige vergassing van biomassa en voor zover dan nog nodig en mogelijk bij gas- en kolencentrales (PBL 2011a). In scenario's waar een vergaande emissiereductie

van broeikasgassen niet centraal staat, is het belang van CCS minder groot, omdat er geen *co-benefits* zijn voor resource efficiency en voorzieningszekerheid.

3. Wat is de invloed van tussendoelen?

Naast stimulering van innovatie zijn ook investeringen in toepassing nodig

Om een koolstofarme economie te realiseren, zijn investeringen in nieuwe technologieën nodig. Innovatiebeleid is nodig om de kosten van gewenste technologieën te verlagen, de toepasbaarheid ervan te vergroten en om kennisexternaliteiten op te vangen, maar zorgt an sich niet voor die benodigde investeringen. Voor bedrijven is het alleen interessant te investeren in nieuwe technologieën als er voldoende vraag naar is. Daarom dient ook de vraag naar die technologieën gestimuleerd te worden.

Zoals hierboven is besproken, zijn de prikkels van het huidige beleid naar verwachting niet groot genoeg om een voldoende vraag te genereren. Om de vraag te vergroten zijn wel verschillende beleidsopties beschikbaar, zoals het aanscherpen van de huidige ETS-emissieplafonds, het instellen van emissieplafonds of prijsinstrumenten voor de niet-ETS-sectoren, invoeren van technologische normen, fiscale maatregelen (zoals minder vrijstellingen in de energiebelasting, vrijstelling voor schone energie), het opheffen van niet-economische barrières (zoals beoogd in de Green Deal), stimuleren van *smart grids* en financieringsconstructies (bijvoorbeeld *revolving funds*) (PBL 2011a; IEA 2011; Drissen et al. 2011).

In deze paragraaf wordt ingegaan op de rol die doelen voor hernieuwbare energie en/of voor de reductie van broeikasgasemissies tussen 2020 en 2050, spelen bij het creëren van een gunstig investeringsklimaat.

Doelen leveren een bijdrage aan investeringsklimaat

Er zijn geen voorbeelden bekend van landen die een succesvolle 'schone' industrie ontwikkelden zonder een krachtig ondersteunend beleid waarin specifieke doelen zijn geformuleerd. Uitzondering hierop vormt de op export gerichte Chinese zonnestroomindustrie die gestimuleerd is door een specifiek industriebeleid, gebaseerd op lage arbeidskosten en schaalvoordelen, wat voor Nederland minder relevant lijkt. Klimaat- of hernieuwbare energiedoelen stimuleren de vraag naar CO₂-arme technieken. Zo hebben de doelen van het Kyoto Protocol een grotere impact op investeringen dan kennisontwikkeling (Nakicenovic & Nordhaus 2011; Popp et al. 2011). Dat ondersteunende beleid moet wel consistent zijn en meerdere jaren worden volgehouden (zie analyse naar innovaties energiebesparing door Noailly en Batrakova 2010). Beleid is ook succesvoller als brede groepen uit de bevolking er baat bij hebben (zie Deense en Duitse ondersteuning van windenergie, Hajer 2011).

Het is zeer aannemelijk dat een duidelijk CO₂-reductietraject, met een bindend Europees tussendoel voor een wat langere periode (2030 of 2035) bijdraagt aan een gunstiger investeringsklimaat (CPB 2010; Eurelectric 2010; Van den Bergh 2011). Bindende doelen en bijbehorende prijssignalen geven aan welke waarde overheden werkelijk hechten aan de inzet op groene groei (OECD 2011). Cruciaal is immers de *verwachting* van investeerders of inzet op schone technologie voor een langere periode kan renderen. Onzekerheid over het investeringsklimaat blijkt ook de belangrijkste reden voor instabiliteit van de Europese CO₂-prijs, meer dan intrinsieke marktfactoren (zoals de prijsverwachting van kolen en gas) (Blyth & Bunn 2011).

Een tussendoel voor klimaat biedt voordelen

Waarschijnlijk biedt een Europese doelstelling voor het reduceren van broeikasgasemissies tussen 2020 en 2050 meerdere voordelen ten opzichte van een

doel voor hernieuwbare energie. Ten eerste is er al een concreet klimaatdoel voor 2050 waardoor een tussendoel daar goed bij zou passen. Een klimaatdoel sluit ook beter aan bij de achterliggende problematiek: het tegengaan van klimaatverandering. Ten tweede kan bij een klimaatdoel een breed palet aan opties worden ingezet: niet alleen hernieuwbare energieopties, maar ook opties CCS, kernenergie en opties voor niet-CO₂-broeikasgassen. Dit bredere palet aan opties sluit beter aan bij de mogelijkheden van Nederland, waar grootschalige inzet van hernieuwbare energieopties die veel ruimte vragen minder voor de hand ligt. Dit sluit ook beter aan bij de ambities van het huidige kabinet om in te zetten op kernenergie en Nederland als distributieland voor aardgas (de zogenoemde 'gasrotonde'), waar CCS op termijn ook goed bij in te passen valt.

Het ligt bij een klimaatdoel overigens voor de hand om een doel te differentiëren naar sectoren die wel of niet onder ETS vallen. Conform de huidige systematiek zou dan een Europa-breed ETS-emissieplafond ingesteld kunnen worden en voor de lidstaten (bindende) doelen voor de niet-ETS-sectoren.

Een tussendoelstelling voor hernieuwbare energie ligt niet voor de hand. Er is namelijk (nog) geen 2050-doel voor geformuleerd. Alsnog een doel voor 2050 bepalen zal in zekere zin arbitrair zijn, omdat het niet rechtstreeks uit een probleem valt af te leiden. Daarnaast worden energie-efficiency en opties zoals kernenergie en CCS niet door een hernieuwbare energiedoelstelling gestimuleerd.

Doel voor energiebesparing als alternatief?

Een doelstelling gericht op energiebesparing biedt ook voordelen, omdat die bijdraagt aan de ambities van zowel een klimaatdoel als een hernieuwbare-energie-doel. Een energiebesparingsdoel draagt namelijk bij aan een vermindering van broeikasgasemissies, minder import van brandstoffen (bijdrage aan voorzieningszekerheid), verbeterde luchtkwaliteit en biedt vermoedelijk goede kansen voor bedrijven in Nederland.

Echter, vergelijkbaar met een doel voor hernieuwbare energie, sluit een doel voor energiebesparing minder goed aan bij het achterliggende probleem (klimaatverandering) dan een klimaatdoel. Bovendien raken met een doel voor energiebesparing ook opties buiten beeld, zoals CCS en hernieuwbare energie. Ten slotte is er momenteel geen bindend besparingsdoel voor 2020 waar op kan worden aangesloten. Dit alles neemt overigens niet weg dat energiebesparingsbeleid (zoals normen voor energiegebruik van apparaten) een zinvolle invulling van klimaatbeleid kan zijn.

Bijdrage klimaatdoel aan energiedoelen: een gemengd beeld

Een klimaatdoel draagt niet alleen bij aan het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen, maar kan ook bijdragen aan andere doelen van het energiebeleid: voorzieningszekerheid, betaalbaarheid en betrouwbaarheid. Met klimaatbeleid wordt de uitstoot van broeikasgassen verminderd door onder meer energiebesparing en door fossiele brandstoffen te vervangen door hernieuwbare energie. Hiermee neemt de afhankelijkheid van de import van (schaarser wordende) fossiele brandstoffen af. Hernieuwbare energie zorgt tevens voor een diversificatie van de energievoorziening, wat tot een zekere risicospreiding leidt. Daar staat tegenover dat de inzet van biobrandstoffen weliswaar de afhankelijkheid van olie vermindert, maar de afhankelijkheid van de import van biomassa neemt er door toe. Op voorhand is niet aan te geven hoe het importsaldo uitvalt.

Bij een ambitieus klimaatdoel blijven de directe kosten van het energiesysteem gelijk of nemen toe, waarbij de baten van vermeden effecten nog niet zijn meegerekend (PBL 2011a). Hoe de kosten uitvallen, hangt af van hoe de kosten van CO₂-arme technologieën en fossiele brandstofprijzen zich ontwikkelen. Aan de ene kant nemen

de investeringskosten toe, maar aan de andere kant nemen de kosten voor brandstoffen juist weer af.

Voor een betrouwbare energievoorziening is het in een CO₂-arm elektriciteitssysteem van belang dat vraag en aanbod goed op elkaar zijn afgestemd. Dat is met energie uit wind en zon niet altijd even eenvoudig. Daarom zijn goede uitwisselingsmogelijkheden (eventueel gecombineerd met opslag) tussen Europese landen van groot belang voor een betrouwbare energievoorziening. Bij een klimaatdoel nemen de perspectieven voor kernenergie toe. Kernenergie biedt vermoedelijk echter maar beperkte kansen voor de Nederlandse industrie.

Incorporeren externe effecten in energieprijzen draagt bij aan effectief innovatiebeleid

Het incorporeren van (negatieve) externe effecten, met name klimaatverandering, in een CO₂-prijs of -belasting draagt bij aan een effectief en efficiënt energie-innovatiebeleid (Nordhaus 2011). Een CO₂-prijs die de externe effecten voor een lange periode voldoende heeft geïncorporeerd, vermindert de benodigde omvang van publieke financiële middelen voor innovatie en 'uitrol'. Het IEA indiceert dat de mondiaal benodigde financiële ondersteuning om schone technologie competitief te maken omlaag gaat naarmate de CO₂-prijs hoger is. Bij een emissieprijs van 50 dollar per ton CO₂ daalt de benodigde financiële ondersteuning met ongeveer 60 procent voor maatregelen in de gebouwde omgeving, transport en industrie, en 45 procent voor maatregelen in de elektriciteitsvoorziening. Deze dalingen zijn ten opzichte van de referentiesituatie waarin beleid tot en met 2007 is verwerkt (IEA 2008).

Een klimaatdoel geeft geen garantie voor innovatie; ondersteunend beleid nodig

Een tussendoel voor klimaat heeft ook beperkingen. De stimulans voor innovatie die uitgaat van een klimaatdoel kan verwateren zodra de Europese Unie ook toestaat om emissies buiten Europa te reduceren (zoals via zogenoemde Clean Development Mechanism-projecten). Hierdoor vermindert immers de stimulans om binnen Europa te investeren in (vergaande) emissiereducties en neemt de vraag naar nieuwe technologieën af. Verder treedt bij het instellen van een tussendoel het risico (of de verleiding daartoe) op dat de realisatie ervan op korte termijn kosteneffectiviteit wordt geoptimaliseerd (vergelijkbaar zoals nu met het 2020-doel voor hernieuwbare energie gebeurt), waardoor opties die voor de langere termijn van belang zijn nog steeds onvoldoende worden gestimuleerd. Dit geldt zowel voor een klimaatdoel als een hernieuwbare-energiedoel.

Daarom zal er in het geval van een tussendoel ook ondersteunend beleid nodig zijn, zoals innovatiebeleid, specifieke technologische normen en fiscale maatregelen. Dergelijk ondersteunend beleid kan ook nodig zijn, omdat er geen garantie is voor een bepaalde (minimale) CO₂-prijs. De CO₂-prijs wordt namelijk niet alleen door de hoogte van het emissieplafond bepaald, maar ook door allerlei (markt)omstandigheden, zoals de prijsontwikkeling van gas en kolen en ontwikkelingen in de economie. Bij een bepaalde CO₂-prijs bestaat altijd de kans dat gewenste technologieën onvoldoende worden 'opgepakt' door de markt, omdat ze nog niet uitontwikkeld zijn. Bovendien is innovatiebeleid gewenst vanwege zogenoemde 'kennisexternaliteiten'. Bij kennisexternaliteiten kunnen bedrijven niet volledig profiteren van hun investeringen in innovatie. Een voorbeeld is een bedrijf dat leert van de innovaties van een ander bedrijf dat bewust in innovaties investeert, zonder dat het investerende bedrijf daarvoor wordt beloond. Daardoor kunnen bedrijven ook minder geneigd zijn om in innovaties te investeren. Innovatiebeleid kan helpen om bedrijven te stimuleren om wel te investeren in innovatie.

Om deze redenen blijft er zowel beleid nodig dat het aanbod van nieuwe technologieën stimuleert (zoals innovatiebeleid), als beleid om vraag te creëren (zoals een klimaatdoel aangevuld met specifieke normen of doelen).

De invloed van een mondiaal klimaatakkoord is onzeker

Voor een effectieve bijdrage van Europa aan het verminderen van de mondiale uitstoot van broeikasgassen, is het van belang dat daar mondiale afspraken over worden gemaakt. Europa draagt momenteel ongeveer 12 procent bij aan de mondiale uitstoot (Olivier et al. 2011).

Het is de vraag of het uitblijven van een (ambitieuze) mondiaal klimaatakkoord de conclusies die tot dusver in dit rapport zijn getrokken wezenlijk beïnvloedt. Zo is het de vraag of het dan nog steeds zinvol is om innovaties meer te stimuleren.

Vermoedelijk heeft een mondiaal klimaatakkoord maar beperkt invloed zolang Europa vasthoudt aan het streven naar een koolstofarme economie. Óf Europa daaraan vasthoudt, hangt af van de vraag hoe de Europese Unie de inspanning van andere landen beoordeelt om de emissies van broeikasgassen te reduceren.

Zonder een mondiaal klimaatakkoord wordt het voor Europa om meerdere redenen waarschijnlijk lastiger en duurder om de uitstoot te beperken. Eén reden is dat de ontwikkeling van CO₂-arme technologieën minder snel zal verlopen bij het uitblijven van een (ambitieuze) klimaatakkoord. In welke mate dat het geval zou zijn is niet duidelijk. De huidige uitbreiding van het windturbinepark in bijvoorbeeld China en de Verenigde Staten, is vermoedelijk niet door klimaatbeleid gedreven. Het ontbreken van een mondiaal klimaatakkoord hoeft voor de ontwikkeling van windturbines dus niet van grote invloed te zijn. Wel zal er bij het uitblijven van een mondiaal akkoord waarschijnlijk sprake zijn van een verslechtering van de concurrentiepositie van met name de energie-intensieve industrie in Europa. Dit kan bovendien leiden tot *carbon leakage*⁴.

Daarnaast zal het waarschijnlijk lastiger zijn om politiek draagvlak te verwerven voor het realiseren van ambitieuze reductiedoelen, omdat de bijdrage van Europa aan de mondiale emissies beperkt is. Daar tegenover staat dat energieprijzen van fossiele brandstoffen bij het uitblijven van een mondiaal klimaatakkoord waarschijnlijk sneller stijgen, waardoor investeren in energiebesparing en hernieuwbare energie eerder aantrekkelijk wordt.

Een mondiaal akkoord heeft grote invloed op de mogelijkheden voor Europa om broeikasgasemissies buiten Europa te reduceren (bijvoorbeeld door het aankopen van emissierechten via het Clean Development Mechanism). Op korte termijn betekent een brede coalitie meer mogelijkheden voor (mondiale) emissiehandel. Op de lange termijn kan een ambitieuze klimaatakkoord juist de mogelijkheden voor emissiehandel beperken. Dit komt doordat opkomende economieën (zoals China) dan ook reductiedoelen krijgen opgelegd en die landen dan ook emissies gaan reduceren. Er blijft dan minder (goedkoop) potentieel 'over' voor emissiehandel. Dat zal echter maar beperkte invloed hebben op het realiseren van de Europese 2050-doelstelling, als de Europese Unie conform de verkenning van de Europese Commissie besluit om de emissies voornamelijk binnen Europa zelf te reduceren (EC 2011b).

⁴ *Carbon leakage* betreft het verplaatsen van activiteiten vanuit Europa naar landen zonder (ambitieuze) klimaatbeleid. Daarbij bestaat de kans dat de mondiale emissies toenemen.

4. Conclusies

Een tussendoel voor klimaat draagt bij aan realiseren van energietransitie

Het huidige klimaat- en energiebeleid is gericht op het realiseren van de Europese doelen die gelden voor 2020. De prikkels en stimulansen die daarvan uitgaan zijn niet krachtig genoeg om een energietransitie te realiseren.

Om een koolstofarme energievoorziening te bevorderen is een stabiele CO₂-prijs nodig, die bovendien voldoende hoog is en gestaag stijgt. Deze prijs zal richting kunnen geven aan innovatie en technologische ontwikkeling en ertoe bijdragen dat subsidies voor hernieuwbare energie stapsgewijs minder nodig zijn. Hierdoor kunnen 'uitrolosubsidies' worden verminderd en neemt de financiële ruimte om RD&D te intensiveren toe, in lijn met de voorstellen van het Topgebied Energie. Ook kan een voldoende hoge CO₂-prijs voor een gunstig investeringsklimaat voor CO₂-arme technologieën zorgen.

Om een dergelijke CO₂-prijs te realiseren is het zinvol dat Nederland zich inzet voor een Europees tussendoel voor de reductie van broeikasgasemissies voor bijvoorbeeld 2030 of 2035. Een Europees tussendoel voor klimaat, uitgesplitst naar ETS en niet-ETS, moet dan wel voldoende voorsorteren op de langetermijnambitie. Daarnaast kan het gewenst zijn om aanvullend beleid in te stellen, dat is gericht op het ondersteunen van specifieke technologische ontwikkelingen, zoals normen en/of (sub)doelen voor innovatieve technologieën. Een klimaatdoel biedt namelijk geen garantie voor een bepaalde CO₂-prijs die nodig zou zijn voor de ontwikkeling van gewenste technieken. Een 'tussendoel' voor hernieuwbare energie of energiebesparing als alternatief ligt minder voor de hand, omdat daarmee niet alle aspecten van de benodigde energietransitie worden gestimuleerd. Zo zijn ook CCS en – iets speculatiever – kernenergie belangrijk om op de lange termijn de emissie van broeikasgassen vergaand te kunnen reduceren. Die technieken worden niet beïnvloed door doelen voor hernieuwbare energie of energiebesparing.

Literatuur

- Blyth, W. en D. Bunn (2011), 'Coevolution of policy, market and technical price risks in the EU ETS', *Energy Policy* 39.
- CPB (2010), *Innovatief klimaatbeleid*, Den Haag.
- Decisio (2011), *Monitor van publiek gefinancierd energie onderzoek 2010*, Amsterdam.
- Drissen, E., A. Hanemaaijer & F. Dietz (2011), *Milieuschadelijke subsidies*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- EC (2011a), *Impact Assessment – Accompanying document to the Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*, COM (2011) 228 final. Brussel: Europese Commissie.
- EC (2011b), *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*, COM (2011) 112 final, Brussel: Europese Commissie.
- ECN & PBL (2010), *Referentieraming energie en emissies 2010-2020*, Petten/Den Haag: ECN/PBL.
- EU (2009), *Conclusies van het voorzitterschap van de Europese Raad 29/30 oktober*. Brussel: Europese Raad van de Europese Unie (EU).
- Eurelectric (2010), *Power Choices – Pathways to Carbon-Neutral Electricity in Europe by 2050*, Brussel.
- Hajer, M. (2011), *De Energieke Samenleving*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- International Energy Agency (IEA) (2008, 2010), *Energy Technology Perspectives 2008, 2010*, Paris.
- International Energy Agency (2011), *Clean energy – Progress Report*, Paris.
- Kempkes, P.A.M.G., S. van As, H. van Dijk, H.E.J. van der Geest, M.H.J.M. van Maasacker, J.C. Meijer & M.J.L. van Rossum-Elfferich (2011), *Innovatiebeleid*. Den Haag: Algemene Rekenkamer.
- Kerste, M. & B. Tieben (2011), 'Veelvuldig gedraai aan subsidiekraan slecht voor bevordering duurzame energie', *Me Judice*, jaargang 4, 12 januari 2011.
- Kiss, B. & L. Neij (2011), 'The importance of learning when supporting emergent technologies for energy efficiency', *Energy Policy* 39.
- Klaassen, G. Asami Miketa, Katarina Larsen & Thomas Sundqvist (2005), 'The impact of R&D on innovation for wind energy in Denmark, Germany and the United Kingdom', *Ecological Economics* 54, issue 2-3, pp.227-240.
- Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) (2011), *Energierapport 2011*, Den Haag.
- Nakicenovic, N. & W. Nordhaus (2011), 'Editors' introduction: The economics of technologies to combat global warming', *Energy Economics* 33, pp.565-571.
- Nemet, G.F. & E. Baker (2009), 'Demand Subsidies versus R&D: Comparing the Uncertain Impacts of Policy on a Pre-commercial Low-carbon Energy Technology', *The Energy Journal* 30, 4.
- Noailly, J. & S. Batrakova (2010), 'Stimulating energy-efficient innovations in the Dutch building sector: empirical evidence from patent counts and policy lessons', *Energy Policy* 38.
- Nordhaus, W. (2011), 'Designing a friendly space for technological change to slow global warming', *Energy Economics* 33, pp.665-673.
- OECD (2011), *Fostering Innovation for Green Growth*, Paris.
- Olivier, J.G.J., G. Janssens-Maenhout, J.A.H.W. Peters & J. Wilson (2011), *Long-term trend in global CO2 emissions – 2011 report*, Den Haag/Ispra: Planbureau voor de Leefomgeving/Joint Research Centre of the European Commission.
- PBL (2011a) *Verkenning van routes naar een schone economie in 2050*. Publicatienummer 500083014, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.

PBL (2011b) Effecten van het kabinetsbeleid voor milieu en klimaat – Verkenning voor de Motie-Halsema. Publicatienummer 500003008, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.

Popp, D., I. Hascic, N. Medhi (2011) Technology and the diffusion of renewable energy. *Energy Economics* 33, pp. 648-662

Van den Bergh, Jeroen (2011) Subsidie schone energie zonder klimaatverdrag werkt contraproductief. *Me Judice*, jaargang 4, 14 januari 2011.

Van der Veer, Jeroen, Tim van der Hagen, Fokke Pentiga en Bert de Vries (2011) *Advies Topsector Energie*. Uitgegeven door het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Den Haag.

Wene, Clas-Otto (2008) Energy Technology Learning through Deployment in Competitive Markets, *The Engineering Economist*, 53, 4, pp.340-364

Informatie uit deze notitie mag worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: PBL-notitie Beleid voor klimaat en hernieuwbare energie: op weg naar 2050, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.