

Datum : 19 februari 2010
Aan : Ministerie van Economische Zaken

Innovatief klimaatbeleid

Introductie

Aanleiding voor deze notitie is de vraag hoe het beleid voor duurzame energie er idealiter uit zou moeten zien. Om deze vraag goed te kunnen beantwoorden plaatsen we deze in de bredere vraag naar wat optimaal klimaatbeleid eigenlijk is¹. We schetsen eerst het ‘common wisdom’ verhaal² waarin alleen generieke maatregelen worden genomen. Vervolgens bespreken we een aantal redenen waarom dit verhaal onvolledig is, zoals imperfecties in het Europese CO₂ emissiehandelssysteem, leereffecten en de mogelijkheid van ‘directed technical change’. We schetsen de gevolgen daarvan voor het klimaatbeleid en bespreken kort enkele praktische aandachtspunten.

Emissiehandel en kennis spillovers

Sinds de start van emissiehandel in 2005 is er in Europa een prijs voor CO₂. Deze prijs geeft een prikkel om de uitstoot van CO₂ te beperken. Onder efficiënt beleid loopt de CO₂ prijs tot midden deze eeuw langzaam op om daarna snel te stijgen.² De reden daarvoor is dat de overgang naar schone technologie duur is en daarmee zo lang mogelijk moet worden uitgesteld.³ Naast het verlagen van de CO₂ uitstoot leidt het bepalen van CO₂ ook tot

¹ In deze notitie gaan we niet in op voorzieningszekerheid als achterliggende reden voor beleid op het terrein van duurzame energie. De reden daarvoor is dat het belang van voorzieningszekerheid economisch gezien gering lijkt te zijn. Zie Koutstaal (2009) voor een overzicht en referenties.

² Zie bijvoorbeeld Nordhaus (2008). De ontwikkeling van de CO₂ prijs in de tijd is overigens sterk afhankelijk van de gekozen discontovoet. Zo gaat Stern uit van een lage discontovoet, wat een hogere huidige CO₂ prijs rechtvaardigt. Daar gaan we in deze notitie niet verder op in. Voor de discussie over de hoogte van de discontovoet, zie Aalbers 2009.

³ Met schone technologieën duiden we in deze notitie op alle technologieën die het mogelijk maken om de CO₂ uitstoot te verlagen. Hieronder vallen naast de technologieën die energie opwekken uit hernieuwbare bronnen zoals zon, wind en biomassa, ook: (i) de technologieën die nodig zijn voor de opvang en opslag van CO₂ (CCS); (ii) alle technologieën die leiden tot energiebesparing; en (iii) alle technologieën die deze technologieën op de een of andere wijze ondersteunen zoals

innovatie in schone technologie. Dit wordt aangeduid met de term “induced innovation” (Hicks, 1932). Een stijging van de relatieve prijs van CO₂ leidt er namelijk toe dat innovatie zich zal richten op het verminderen van het gebruik van CO₂ in het productieproces. Zo laten Newell, Jaffe en Stavins (1999) zien dat energieprijzen een effect hebben op technologische verandering voor airconditioners, terwijl Popp (2002) laat zien dat hogere energieprijzen leiden tot meer energiebesparende innovatie.

Het betrijzen van CO₂ alleen is echter niet voldoende om innovatie efficiënt te bevorderen. De aanwezigheid van kennisspillovers betekent namelijk dat bedrijven kunnen profiteren van de kennisontwikkeling bij andere bedrijven zonder dat ze ervoor betalen. Hierdoor is de prikkel om te innoveren te laag, wat leidt tot een te lage kennisproductie. Het klimaatdossier wordt dus gekenmerkt door zowel een milieu- als een kennisexternaliteit. Efficiënt beleid moet daarom via twee sporen worden opgezet. Het eerste spoor richt zich op het duurder maken van CO₂ en heeft als bijkomstig effect dat innovatie in de richting van schone technologie gestuurd zal worden. Het tweede spoor richt zich op de onderproductie van kennis en heeft als bijkomstig effect dat de CO₂ prijs op termijn veel minder zal stijgen. Daarbij kan in de Nederlandse context bijvoorbeeld gedacht worden aan de WBSO.

In deze notitie beargumenteren we dat het bovenstaande verhaal onvolledig is. Het houdt bijvoorbeeld geen rekening met imperfecties in het Europese emissiehandelssysteem (ETS), geen rekening met leereffecten en geen rekening met de mogelijkheid van ‘directed technical change’. De consequentie hiervan is dat: (i) het stimuleren van innovatie en diffusie van schone technologieën serieuze aandacht moet krijgen; (ii) generieke stimulering van innovatie en diffusie onvoldoende efficiënt is. We bespreken eerst enkele (recente) inzichten uit de economische theorie op het gebied van milieubeleid, waarna we ingaan op de consequenties daarvan voor het huidige beleid.

Imperfecties emissiehandelssysteem

Het emissiehandelssysteem dat we op dit moment in Europa kennen, de EU ETS, verschilt op een aantal wezenlijke punten van het emissiehandelssysteem uit de tekstboeken. Deze verschillen, of beter gezegd imperfecties, leiden ertoe dat schone technologie een nadeel heeft ten opzichte van vuile technologie. De imperfecties zijn:⁴

smart grids, batterijen met een hoge energiedichtheid, etc. Aan het eind van deze notitie komen we terug op de vraag welke technologieën schoon zijn en welke niet.

⁴ Een andere imperfectie is de regel dat installaties die gratis emissierechten ontvangen bij sluiting geen recht meer hebben op deze gratis toedeling. Dit geeft bedrijven een prikkel om oude installaties open te houden en niet te investeren in nieuwe installaties. Dit geldt echter niet voor de elektriciteitssector, waar de emissierechten na 2012 geveild gaan worden (met uitzondering van een overgangsregime voor enkele Oost-Europese landen).

- Het emissiehandelssysteem is niet werelddekkend.
- Er is onzekerheid over de prijs in het emissiehandelssysteem na 2020. De CO₂ prijs tot 2020 is daardoor onnodig volatiel.
- Er is een groot verschil in marginale bestrijdingskosten tussen de sectoren die onder de EU ETS vallen en sectoren die daar niet onder vallen.

Hieronder bespreken we kort de implicaties van deze imperfecties.

Het emissiehandelssysteem is niet werelddekkend

Op dit moment hebben alleen de Europese Unie en Noorwegen een emissiehandelssysteem. Een aantal van de landen met de grootste uitstoot, in het bijzonder de Verenigde Staten en China, ontbreken. De (wereldwijde) prikkel voor het verminderen van de CO₂ emissies en daarmee voor ‘induced innovation’ is hierdoor te gering.

Onzekerheid ETS prijs na 2020

In de Europese Unie zijn de emissieplafonds voor het emissiehandelssysteem vastgesteld tot 2020.⁵ Voor de periode daarna heeft de EU alleen een algemene doelstelling om de opwarming tot 2 graden Celsius te beperken, maar geen concrete emissiedoelstellingen. Vanwege de wetenschappelijke onzekerheid over het verband tussen wereldwijde emissies en temperatuur is het voor (markt)partijen moeilijk om de 2 graden doelstelling te vertalen in een emissiedoelstelling (zie Roe en Baker, 2007; en Klein Tank en Lenderink, 2009). Verder zijn de emissiedoelstellingen na 2020 ook afhankelijk van andere moeilijk in te schatten factoren, zoals de verdeling van de emissieruimte tussen sectoren die onder het emissiehandelssysteem vallen en de sectoren die daar niet onder vallen, de mate waarin emissiehandelssystemen wereldwijd aan elkaar gekoppeld zullen worden en de bereidheid van landen om tot bindende afspraken over emissiereducties te komen (Neuhoff, 2008). De onzekerheid over de doelstellingen na 2020 betekent dat zowel investeringen als innovatie in schone technologie met een lange levensduur minder aantrekkelijk wordt. Voorbeelden van dit soort technologieën zijn *Carbon Capture and Storage (CCS)* en *Concentrated Solar Power (CSP)*.

De onzekerheid over toekomstige emissieplafonds beïnvloedt investeringen in schone technologie niet alleen direct, maar ook indirect doordat het de volatiliteit van de CO₂ prijzen tot 2020 vergroot. Weliswaar hebben bedrijven de mogelijkheid om emissierechten te bewaren voor de periode na 2020, het zogenaamde ‘banking’, maar dit is minder aantrekkelijk wanneer er geen zekerheid is over de waarde van de bewaarde rechten na 2020. Onzekerheid over de toekomstige prijs betekent namelijk dat private partijen die emissierechten zouden willen

⁵ Die plafonds zijn wel afhankelijk van de mate van internationale samenwerking, omdat bij voldoende inspanningen van andere landen de EU zijn emissies in 2020 met 30% ten opzichte van 1990 gaat reduceren, in plaats van met 20%.

bewaren daarvoor een significante risicopremie zullen vragen. Het wordt dan aantrekkelijker om, in geval van bijvoorbeeld een economische dip zoals de recente recessie of van een serie warme winters emissierechten op de markt te brengen in plaats van ze te bewaren, met als gevolg sterkere prijsschommelingen. Deze schommelingen zijn een extra belemmering voor investeringen in schone elektriciteit. De brutomarge van vuile opwekking is namelijk relatief ongevoelig voor schommelingen in de CO₂ prijs, omdat een hogere CO₂ prijs zich deels vertaalt in een hogere elektriciteitsprijs. Investeren in vuile opwekking is daarom relatief minder risicovol (Roques et al., 2006).

Vershil ETS en niet-ETS

In het klimaatbeleid van de Europese Unie wordt onderscheid gemaakt tussen de sectoren die onder het emissiehandelssysteem vallen en sectoren die te maken hebben met ander beleid. Als gevolg van deze 'splitsing' verschillen de marginale reductiekosten aanzienlijk tussen deze groepen sectoren. Zo zijn de marginale reductiekosten in de sectoren die niet onder het emissiehandelssysteem vallen in de meeste landen aanzienlijk hoger. Dit betekent dat de CO₂ prijs in het emissiehandelssysteem hoger zou zijn indien alle sectoren deel zouden nemen aan de emissiehandel. De prikkel tot 'induced innovation' is daarom in de sectoren die onder het emissiehandelssysteem vallen te laag. Denk bijvoorbeeld aan de elektriciteitsopwekking en de energie-intensieve industrie.

Technologische ontwikkeling

Dat technologische ontwikkeling een cruciale rol zal moeten spelen in het oplossen van het klimaatprobleem is onomstreden. Over de vraag welke rol de overheid hierbij te vervullen heeft, lopen de meningen echter sterk uiteen. Aan de ene kant van het spectrum staat de opvatting dat de overheid niet meer hoeft te doen dan het generiek beprijzen van CO₂ en het generiek stimuleren van innovatie. Aan de andere kant staat de opvatting dat de overheid een aaneensluitende reeks van instrumenten moet ontwerpen die er samen toe leiden dat bij een maximale impact wordt bereikt in termen van marktpenetratie en uitrol van nieuwe processen en producten (Taskforce Energietransitie, 2006). Om meer grip te krijgen op deze cruciale beleidsvraag bespreken we hier kort de belangrijkste begrippen die op het gebied van technologische ontwikkeling een rol spelen om vervolgens daaruit een aantal inzichten voor het beleid te destilleren. Deze begrippen zijn: R&D, leereffecten en spillovers.

Door te innoveren zijn organisaties in staat om hun bedrijfsprestaties te verbeteren, hetzij door nieuwe producten op de markt te brengen, hetzij door productieprocessen te vernieuwen. Het is daarbij gebruikelijk om een onderscheid te maken tussen R&D en leereffecten. Met R&D worden al die activiteiten aangeduid waarmee bedrijven, overheden en andere instituties middelen aanwenden om nieuwe producten te ontwikkelen (productinnovatie) of nieuwe kennis

op te doen (vergroting van het menselijk kapitaal). Leereffecten treden op als gevolg van procesinnovaties die zich voordoen tijdens het investeringsproces. Vanuit een economisch perspectief hebben leereffecten en R&D een aantal belangrijke overeenkomsten. Zo leiden ze (op termijn) tot een daling van de kosten verbonden aan nieuwe (schone of vuile) technologie. Daarnaast is er voor beide (R&D en leereffecten) sprake van spillovers: een deel van de voordelen van innovatie en van leereffecten vloeien toe aan andere partijen dan de partij die het onderzoek doet (of heeft gedaan).⁶ Als gevolg hiervan is het niveau van innovatie vanuit een maatschappelijk perspectief te laag. Anders gezegd: er is sprake van een positieve externaliteit. Hieronder bespreken we de implicaties hiervan voor het beleid.

Leereffecten

In de praktijk worden leereffecten vaak gemodelleerd op basis van de leercurve: een (dalend) verband tussen de omvang van de markt of de cumulatieve investeringen en de gemiddelde kosten van een product (Arrow, 1962). Dit verband moet niet worden geïnterpreteerd als een oorzakelijke relatie, maar als een empirische beschrijving. Investeringen op zichzelf veroorzaken geen lagere kosten, maar zorgen er via procesinnovatie voor dat de gemiddelde kosten dalen.⁷ In de loop der jaren is de leercurve empirisch onderbouwd (Dutton and Thomas 1984; Argote and Epple 1990). Bij het bepalen van hun productiecapaciteit houden individuele bedrijven geen rekening met het weglekken van een deel van de kennis die ze tijdens het investeringsproces opdoen, terwijl ze wel profiteren van het weglekken van kennis bij andere bedrijven. Dit kan voor de overheid een reden zijn om nieuwe schone technologieën te stimuleren, zodat additionele kennis over efficiëntere productiemethoden kan worden opgebouwd. Nu extra kosten maken voor het stimuleren van schone technologie levert later baten op in de vorm van lagere bestrijdingskosten. De omvang van deze baten kunnen tussen technologieën verschillen, bijvoorbeeld omdat ze in een verschillende 'fase' zitten (nieuw of volwassen). Fischer en Newell (2008) laten in een model voor de elektriciteitsmarkt in de VS zien dat het beprijzen van emissies in combinatie met een subsidie voor de meerkosten van schone elektriciteit leidt tot lagere totale kosten dan een beleid zonder subsidies. Zwaan et al. (2002) komen tot eenzelfde conclusie binnen de context van een algemeen evenwichtsmodel voor wereldwijde CO₂ reductie. Zij laten verder zien dat een subsidie op de toepassing van niet-

⁶ Dit kan verschillende oorzaken hebben. Zo hebben patenten een beperkte levensduur, is het vaak lastig of onmogelijk om innovaties te patenteren, zijn er te hoge kosten verbonden aan patenten of kunnen andere bedrijven om een bestaand patent heen innoveren. Daarnaast zijn patenten niet in alle landen evengoed beschermd.

⁷ Omdat er geen goede indicator bestaat voor de gebruikte technologie in een productieproces is het empirisch lastig om een onderscheid te maken tussen leereffecten en schaalvoordelen. Beide resulteren echter in dalende gemiddelde kosten. Er wordt gesproken over schaalvoordelen als – gegeven de stand van de technologie – de gemiddelde kosten dalen als de productie stijgt. Er wordt gesproken over leereffecten als procesinnovaties ertoe leiden dat producten goedkoper kunnen worden geproduceerd gegeven het productieniveau.

fossiele energie tot aanzienlijk lagere CO₂ prijzen leidt als er leereffecten zijn bij de productie van schone technologie vergeleken met scenario's zonder deze leereffecten.

Kennisspillovers bij R&D en 'directed technical change'

Ook bij de productie van R&D treden kennisspillovers op. Als gevolg daarvan wordt er op een concurrerende markt te weinig in R&D geïnvesteerd. Een verhoging van de investeringen in R&D leidt tot een vergroting van de productiviteit van al het toekomstige onderzoek, maar omdat bedrijven vanwege de gebrekkige eigendomsrechten slechts een deel van deze baten naar zich toe kunnen trekken, is het rendement op R&D te laag (Romer, 1990). Door nu een subsidie te geven op de productie van R&D kan de overheid het verschil tussen de maatschappelijke en private baten van R&D wegnemen waardoor er meer in R&D wordt geïnvesteerd.⁸ Zolang de verhouding tussen de private en maatschappelijke opbrengsten van R&D constant is over de tijd, is de optimale R&D subsidie ook constant (Romer, 1986).

In de hierboven besproken economische literatuur over kennisspillovers wordt technologische ontwikkeling gezien als een proces zonder richting. Bij de productie van nieuwe kennis wordt ongeacht het type innovatie in gelijke mate gebruik gemaakt van alle bestaande kennis én elke nieuwe innovatie draagt in gelijke mate bij aan de bestaande hoeveelheid kennis. Kennis heeft als het ware geen kenmerken (of deze kenmerken hebben geen invloed op de technologische ontwikkeling). (Alle) militaire innovatie draagt in dat geval in gelijke mate bij aan civiele innovatie en vice versa. En innovaties in schone en vuile technologie dragen in gelijke mate bij aan elkaars ontwikkeling. Acemoglu et al. (2009) laten deze veronderstelling los. In hun opvatting heeft kennisopbouw een specifieke richting (vies of schoon) en de kennis die we op elke gebied hebben draagt (voornamelijk) bij aan kennisopbouw in dezelfde richting. Er is – in de woorden van Acemoglu et al. – sprake van 'directed technical change'. Hierdoor ontstaan twee kennisspillovers: één in de vuile technologie en één in de schone technologie. Zij laten zien dat de overheid niet langer beide kennisspillovers zou moeten corrigeren, maar alleen de kennisspillover met de hoogste maatschappelijke baten. De intuïtie daarvoor is dat de kennisspillovers als het ware met elkaar 'concurreren', omdat de technologieën substituten van elkaar zijn. Op het moment dat de maatschappelijke baten van schone technologie groter zijn dan de maatschappelijke baten van vuile technologie, verliest de kennisspillover van vuile technologie zijn relevantie (net zoals de kennisspillover van schone technologie niet relevant is als de vervuiling geen of vrijwel geen schade veroorzaakt). Alleen relevante kennisspillovers hoeven door de overheid gecorrigeerd te worden. Acemoglu et al. (2009) beargumenteren dat de kennisspillover voor vuile technologie relevant is als de vervuiling laag is, terwijl de

⁸ Het geven van een subsidie is maar één van de mogelijke instrumenten die de overheid heeft om de kennisproductie te stimuleren. Andere mogelijkheden zijn (langer lopende) patenten, beloningen voor succesvolle innovaties ('prizes') en aankoopbeleid ('procurement'). Aan al deze opties zijn voor en nadelen verbonden. Zie bijvoorbeeld Wright (1983)

kennisspillover voor schone technologie relevant is als de vervuiling hoog is. Gedurende een korte tijd als de vervuiling noch laag noch hoog is, kunnen beide kennisspillovers relevant zijn⁹.

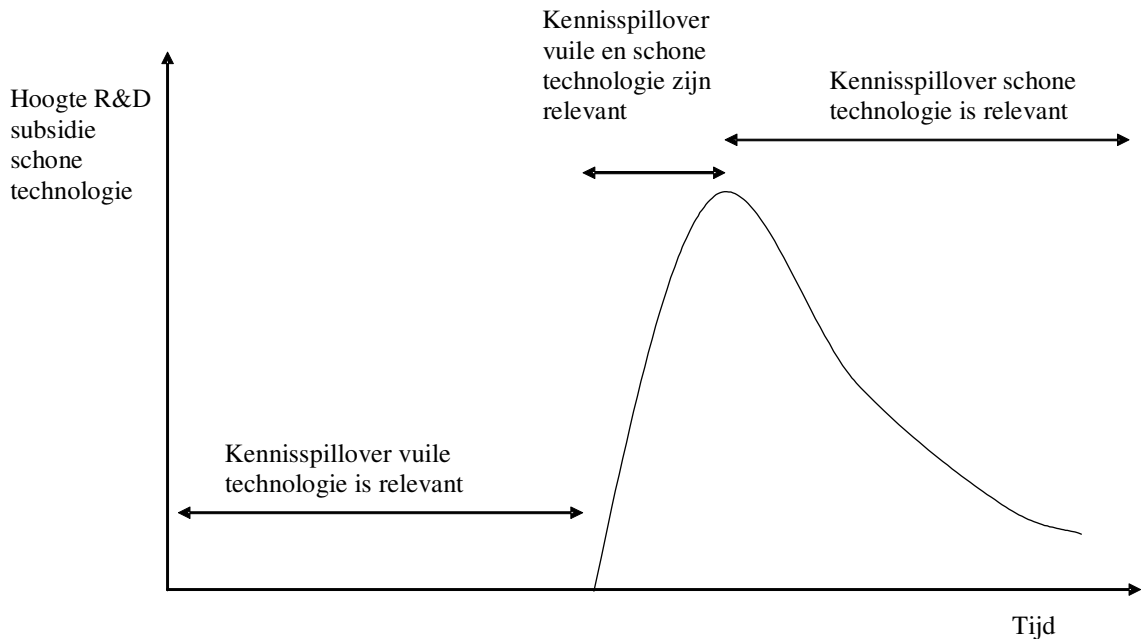
Acemoglu et al. (2009) laten verder zien dat de markt – zelfs als CO₂ optimaal wordt beprijsd – te laat overgaat op R&D in schone technologie. De reden hiervoor is dat de verhouding tussen de private baten van R&D in schone en vuile technologie mede worden bepaald door de relatieve omvang van de markt voor schone technologie ten opzichte van de markt voor vuile technologie én door de looptijd van patenten. In de beginfase van de transitie naar een duurzame energiehuishouding (als de kennisspillover voor schone technologie net relevant is geworden), is de markt voor schone technologie veel kleiner dan de markt voor vuile technologie. Omdat de looptijd van patenten beperkt is, zijn de private baten van R&D in schone technologie laag in vergelijking met de private baten van R&D in vuile technologie. Op de korte termijn levert een innovatie in schone technologie dus weinig op, omdat de afzetmarkt gering is. Op de (midden)lange termijn levert een innovatie in schone technologie niets op, omdat het patent verlopen is. De implicatie hiervan is dat de R&D subsidie voor schone technologie in die fase veel groter moet zijn dan de R&D subsidie voor vuile technologie. Met het groeien van de afzetmarkt voor schone technologie zal het verschil tussen de private en maatschappelijke baten van schone R&D afnemen.¹⁰ De hogere R&D subsidie voor schone technologie kan dan langzaam dalen. Figuur 1 geeft het patroon van de R&D subsidie voor schone innovatie in de loop van de tijd weer.

Figuur 1 laat zien dat de kennisspillovers voor vuile en schone technologie elkaar in de loop van de tijd afwisselen. De kennisspillover van vuile technologie is relevant in de periode voordat het klimaat een maatschappelijk vraagstuk is geworden. De lengte van de overgangperiode, de periode waarin beide kennisspillovers relevant zijn, is onder andere afhankelijk van de substitueerbaarheid van vuile en schone technologieën. Naarmate deze technologieën betere substituten van elkaar zijn zal innovatie in vuile technologie sneller uitgefaseerd moeten worden en verliest de kennisspillover voor vuile technologie sneller zijn relevantie. Verder doorgaan met vuile innovatie betekent in dat geval namelijk dat vuile technologie langer een concurrent zal blijven van schone technologie. Uiteindelijk zal alleen de kennisspillover voor schone technologie relevant zijn

⁹ Merk op dat Acemoglu et al. in hun model uitgaan van een vaste hoeveelheid R&D. Strikt genomen is er daarom binnen de context van hun model geen reden om innovatie in vuile technologie te stimuleren zolang er geen of weinig schade is door vervuiling. Buiten de context van hun model is die reden er wel.

¹⁰ Acemoglu et al. (2009) noemen dit het 'market size effect' verbonden aan innovatie.

Figuur 1: Kennispillovers en de hoogte van de R&D subsidie voor schone R&D



.Hoe relevant is ‘directed technical change’ voor het beleid? Dat R&D een richting kan hebben, wordt vrijwel onmiddellijk duidelijk als we naar de technologische ontwikkeling in het verleden kijken. Denk bijvoorbeeld aan de switch in innovatie van de elektrische auto in de 19^e eeuw naar de brandstofauto in de 20^e eeuw, de innovatie verbonden aan de maanlanding in 1969, de innovatie verbonden aan de hogesnelheidstrein TGV en de innovatieswitch in de Tweede Wereldoorlog van burger naar militaire innovatie. Daarbij kan gedacht worden aan de ontwikkeling van radar, sonar, tanks en synthetische brandstoffen. Ook in de economische literatuur over klimaatverandering wordt over het algemeen erkend dat technologische ontwikkeling een richting heeft c.q. kan hebben. Het wordt echter niet in alle analyses meegenomen, omdat het lastig te modelleren is (of zou zijn).¹¹

Acemoglu et al. (2009) laten zien dat het belang van ‘directed technical change’ groter is naarmate (i) vuile en schone technologie eenvoudiger substitueerbaar zijn; én (ii) naarmate schone innovaties voortbouwen op schone innovaties uit het verleden (en minder op vuile innovaties uit het verleden). Tot op heden is naar deze factoren nog vrijwel geen onderzoek gedaan. Zo is het inzicht in de hoogte van de substitutie-elasticiteit op dit moment anekdotisch van aard. Bij elektriciteit is bijvoorbeeld sprake van een zeer hoge substitueerbaarheid van

¹¹ Zie Nordhaus (2008): “Both forms of technological change are exogenous in the current version of the DICE model. This is a serious limitation, particularly for carbon-saving technological change, because changing carbon prices are likely to induce research and development on new energy technologies. However, robust modeling of induced technological change has proven extremely difficult, and to date no reliable modeling specification for a DICEtype model has been developed.” Zie ook Bosetti et al. (2006).

grijze en groene stroom. Het is namelijk hetzelfde product. Wel kunnen er bij een hoge penetratiegraad van groene elektriciteit problemen ontstaan ten aanzien van de leveringszekerheid (plotselinge fluctuaties in het aanbod) en de voorzieningszekerheid (langdurig gering aanbod als gevolg van windstiltes en bewolking). Naar huidig inzicht zou de ontwikkeling van opslag en slimme netwerken deze problemen grotendeels kunnen ondervangen. Dat wil zeggen, de substitutie-elasticiteit zelf is ook afhankelijk van de technologische ontwikkeling en daarmee endogeen. Vergelijkbare inzichten gaan op voor transport (denk bijvoorbeeld aan elektrisch rijden) en de verwarming van gebouwen (denk bijvoorbeeld aan warmtepompen). Er is voor zover ons bekend geen onderzoek gedaan naar de vraag of, en zo ja in welke mate, schone innovaties inderdaad voortbouwen op schone innovaties uit het verleden.

Beleidsconsequenties

In deze sectie bespreken we de implicaties van de aanwezigheid van leereffecten en ‘directed technical change’ voor het klimaatbeleid. We gaan er daarbij vanuit dat er sprake is van een wereldwijd afdoend klimaatakkoord, dat wil zeggen we bespreken het zogenaamde ‘first-best’ klimaatbeleid. Dit schetst een beeld van het beleid dat onder die omstandigheden idealiter gevoerd zou moeten worden. Dit beeld is nuttig omdat het richting geeft aan het denken over klimaatbeleid. In de beleidspraktijk van alle dag kunnen zich echter situaties voordoen die niet passen in dit ideaal beeld. Daarom bespreken we in de volgende sectie allerhande ‘complicaties’ die zich bij de implementatie van het first-best beleid voor kunnen doen. Deze inzichten gebruiken we om het huidige beleid in de juiste context te plaatsen.

Zowel leereffecten als ‘directed technical change’ maken dat de overheid niet kan volstaan met het voeren van generiek beleid in de vorm van het beprijzen van CO₂ en het stimuleren van innovatie. De omvang van de te verwachten leereffecten zijn immers bepalend voor de mate waarin een technologie extra ondersteund moet worden, bijvoorbeeld in de vorm van een uitrolsubsidie.¹² Omdat de leereffecten zowel tussen technologieën als tussen tijdstippen verschillen, kan alleen beleid dat volledig rekening houdt met deze verschillen de juiste stimulans geven. De implicatie van ‘directed technical change’ is dat niet alle kennispillowers altijd relevant zijn (zie ook figuur 1). Als de overheid hiermee in haar beleid rekening wil houden, dan betekent dat dat de overheid een uitspraak zal moeten doen over (i) het tijdstip waarop de kennispillower voor vuile technologie haar relevantie verliest; en (ii) de vraag welke technologie schoon is en welke technologie niet. Zonder deze twee uitspraken is het namelijk

¹² In de volgende sectie gaan we in op de vraag welke instrumenten, zoals subsidies of een verplicht aandeel duurzaam, het meest geschikt is om met leereffecten rekening te houden.

niet mogelijk om 'directed technical change' te instrumenteren, want de overheid weet dan niet wanneer ze schone technologie extra moet gaan stimuleren en evenmin welke technologieën daarvoor in aanmerking komen.

Mocht de overheid besluiten om in haar beleid zowel rekening te houden met leereffecten als met 'directed technical change' dan heeft dit de volgende effecten. In de eerste plaats leiden zowel uitrolsubsidies als beleid dat rekening houdt met 'directed technical change' tot lagere CO₂ prijzen, zowel nu als in de toekomst. Het gevolg daarvan is dat de totale verdisconteerde bestrijdingskosten van CO₂ inclusief de kosten verbonden aan het stimuleren van innovatie lager uitvallen vergeleken met beleid waarin alleen CO₂ wordt beprijsd. De mate waarin dit het geval zal zijn is afhankelijk van het effect van innovatie op de kosten van schone technologie én van de omvang van de te verwachten leereffecten. In de tweede plaats geldt dat generiek beleid alleen (generiek kennisbeleid in combinatie met generiek CO₂ beleid) niet langer afdoende is. In de derde plaats zijn zowel de uitrolsubsidie als de subsidie voor innovatie van schone technologie niet constant over de tijd. Bij de leereffecten is de reden dat de kostendaling die door capaciteitsuitbreiding gerealiseerd kan worden afneemt als de capaciteit stijgt. Bij 'directed technical change' is de verhouding tussen de private en maatschappelijke baten van schone innovatie niet constant.

Bespreking

Een ideale wereld waarin het hierboven beschreven first-best beleid uitgevoerd kan worden, bestaat niet. Hieronder bespreken een aantal stellingen en schetsen aan de hand daarvan enkele beleidsimplicaties. De eerste vier stellingen gaan over beleid in het algemeen, de laatste vijf stellingen richten zich meer specifiek op het Nederlandse beleid.

Stellingen beleid algemeen

Stelling 1: De effectiviteit van first-best beleid wordt ondergraven als er sprake is van een onvolledige klimaatcoalitie.

Het gevaar bij een onvolledige coalitie is dat de landen die niet meedoen als 'pollution haven' gaan fungeren als er sprake is van vrijhandel tussen de twee blokken, i.e. de coalitielanden vs. de niet-coalitielanden. Zowel in een wereld met als zonder 'directed technical change' leidt vrijhandel ertoe dat de industrie die in de coalitielanden aanwezig is, een prikkel heeft om zich te verplaatsen naar de niet-coalitielanden. In een wereld met 'directed technical change' bemoeilijkt vrijhandel bovendien het omslaan van de innovatierichting. De industrie in de niet-coalitielanden heeft in dat geval namelijk geen prikkel om over te stappen op schone technologie, waardoor de afzetmarkt voor schone technologie stagneert. Innovatie in vuile technologie blijft daardoor het meest winstgevend. Het verschil tussen een wereld met en

zonder 'directed technical change' is dat additionele maatregelen zoals 'border taxes' en 'escrow accounts' in een wereld met 'directed technical change' op termijn wel kunnen leiden tot het omslaan van de richting van de technologische verandering. De afscherming van de eigen economie maakt namelijk dat er in dat geval wel een omvangrijke markt ontstaat voor de toepassing van schone technologie. Als er voldoende landen meedoen en schone en vuile technologie in voldoende mate substitueerbaar zijn, dan zullen bedrijven in de niet-coalitielanden na verloop van tijd ook een prikkel hebben om schone technologie te gaan gebruiken. Op dit moment bestaat nog onvoldoende inzicht over de exacte werking van dit mechanisme.

Stelling 2: Zelfs als innovatie een richting zou hebben, kan beleid daar niets aan veranderen.

In het recente verleden zijn er aantal succesvolle voorbeelden geweest van beleid waarmee de richting van innovatie is veranderd. Denk bijvoorbeeld aan de innovatie voorafgaand aan de maanlanding in 1969, aan de innovatie in de Tweede Wereldoorlog en aan de ontwikkeling van de TGV. De richting van de innovatie is dus te beïnvloeden. Over het algemeen in dat in het verleden via aankoop ('procurement') gebeurt. Ons zijn geen voorbeelden bekend waarin de overheid via marktprikkels, dat wil zeggen subsidies of belastingvoordelen, succesvol de richting van de innovatie heeft veranderd. Dit impliceert overigens niet dat dit niet mogelijk zou zijn. Mocht het – om welke reden dan ook - niet mogelijk zijn om de richting van de innovatie via innovatiebeleid te veranderen, dan is er een grotere rol weggelegd voor het stimuleren van innovatie via het beprijzen van CO₂. Daarbij treedt dan wel een verlies aan welvaart op omdat de CO₂ prijs in dat geval voor twee doeleinden (verminderen CO₂ uitstoot én verminderen kennisspillover) wordt gebruikt. De reden voor het verlies aan welvaart is dat het omdraaien van de innovatierichting een tijdelijk hogere CO₂ prijs vergt op een moment dat goedkope schone technologieën nog niet beschikbaar zijn. Dit brengt hoge kosten met zich mee, omdat daarmee gelijktijdig een forse prikkel wordt gegeven om (de nu nog dure) schone technologie te gaan gebruiken. De totale kosten van het beleid zijn beduidend lager bij toepassing van meerdere instrumenten in vergelijking met één instrument (de CO₂ prijs). Zo zijn de welvaartskosten van alleen een CO₂ heffing tussen de 1 en ruim 4% hoger in vergelijking met een optimale combinatie van CO₂ heffing en innovatiesubsidie in het model van Acemoglu et al. (2009). Daarbij moet worden opgemerkt dat het huidige CO₂ instrumentarium belangrijke tekortkomingen vertoont als instrument om innovatie te stimuleren vanwege onduidelijkheid over de hoogte van de emissieplafonds na 2020, zie sectie 'Imperfecties emissiehandelssysteem'.

Stelling 3: De overheid moet schone innovatie niet extra stimuleren. Dat gebeurt immers op andere terreinen (innovatie gericht op geschoolde arbeid of kapitaal) ook niet.

Op deze andere terreinen (geschoolde arbeid of kapitaal) is geen duidelijke reden aanwezig om van type kennis of innovatie te wisselen. Deze reden (oplopende vervuiling) is wel aanwezig bij schone innovatie. Op een gegeven moment dreigt de schade van vervuiling zo groot te worden dat de baten van doorgaan met het ontwikkelen van vuile technologie daar niet meer tegen opwegen. Dat is het moment om schone innovatie extra te stimuleren.

Stelling 4: De informatieachterstand waarmee de overheid te maken heeft, maakt elke vorm van niet-generiek beleid bij voorbaat ineffectief.

Dit is een ingewikkelde vraag, waarvoor het antwoord van geval tot geval kan verschillen. We bespreken twee verschillende situaties. De cruciale vraag ten aanzien van een eventuele informatieachterstand van de overheid is over welke informatie de overheid dan verondersteld wordt minder informatie te hebben en of deze informatieachterstand van de overheid als gegeven moet worden beschouwd.

Informatie-asymmetrie bij specifiek innovatiebeleid.

Het standaardargument waarom de overheid generiek innovatiebeleid moet voeren is dat zij geen informatie heeft over het type innovatie dat het beste is of het meest gewenst is. Zo zal het voor de overheid zeer lastig zijn om een keuze te maken tussen innovatie op het gebied van mp3-spelers of innovatie ten aanzien van nieuwe plastics. Dit argument gaat echter niet op voor beleid gericht op schone innovatie. Om dat beleid uit te voeren hoeft de overheid namelijk geen keuze te maken voor of tegen een bepaalde schone technologie, maar slechts te beoordelen of een technologie schoon of vuil is (wat overigens nog lastig genoeg kan zijn). Zo is het voor een ieder duidelijk dat zon-PV een voorbeeld van schone technologie is, maar of dat ook voor alle vormen van energiebesparing geldt, is veel minder duidelijk. Energiebesparing bij de opwekking van energie (efficiëntere fossiele centrales of installaties) kan er immers toe leiden dat het gat tussen de kosten van vuile en schone technologie toeneemt. Hierdoor wordt het moeilijker om de richting van de innovatie te veranderen. Voor technologieën die zich richten op energiebesparing bij het eindverbruik geldt juist dat ze alleen leiden tot een daling van de CO₂ uitstoot, zolang er gebruik wordt gemaakt van fossiele energie.

Informatie-asymmetrie bij leereffecten

Om leereffecten optimaal te internaliseren moet de uitrolsubsidie gedifferentieerd worden tussen technologieën. Hiervoor is veel informatie en kennis vereist. Zo moet niet alleen inzicht bestaan in de huidige kosten van de technologieën, maar ook over de mogelijke toekomstige kostendalingen als functie van de geïnstalleerde wereldwijde capaciteit. Het is vrijwel onmogelijk om hierover betrouwbare informatie te krijgen. Dit is zondermeer een argument

tegen het gebruik van gedifferentieerde uitrolsubsidies, omdat de informatieachterstand leidt tot een welvaartsverlies. Specifieke uitrolsubsidies hebben echter ook belangrijke voordelen in de zin dat ze leiden tot lagere totale kosten van CO₂ bestrijding. Deze voordelen zullen moeten worden afgewogen tegen de nadelen. De balans tussen de voor- en nadelen kan van geval tot geval verschillen en is afhankelijk van de beschikbare informatie. Zie ook vraag 7 hieronder waar wordt betoogd dat uitrolsubsidies voor biomassa, wind op land en zon-PV zeer waarschijnlijk niet te rechtvaardigen zijn op basis van leereffecten, terwijl dat voor bijvoorbeeld wind op zee wel het geval lijkt te zijn. Als men in dit argument meegaat, dan lijkt de informatieachterstand voor dit specifieke geval beperkt te zijn in de zin dat in ieder geval wel een uitspraak kan worden gedaan over de technologieën die in aanmerking zouden moeten komen voor een uitrolsubsidie.

Ook bij leereffecten is het belangrijk dat de overheid een onderscheid kan maken tussen schone technologieën die een rol zullen spelen in het terugdringen van de CO₂ emissies en vuile technologieën. Uitrolsubsidies zijn alleen zinvol voor de schone technologieën. Zo zou bijvoorbeeld CCS gedurende een (lange) periode een rol kunnen spelen in de overgang naar een duurzame energiehuishouding en dus via een uitrolsubsidie gestimuleerd kunnen of moeten worden. Het zou echter ook mogelijk kunnen zijn dat andere technologieën zich in een dergelijk tempo ontwikkelen dat CCS geen kosteneffectieve optie is en dat de toepassing daarvan ook niet gestimuleerd hoeft te worden. In essentie gaat het hier om het waarden van de optie tot uitstel van implementatie (Erkal en Scotchmer, 2009). Door CCS nog niet te stimuleren houdt men namelijk de optie open, dat er binnen afzienbare tijd een goedkopere mogelijkheid wordt ontdekt om CO₂ te reduceren. De vraag is dan of deze optie voldoende waarde heeft om uitstel te rechtvaardigen. Naarmate de emissiedoelstelling stringenter is en nieuwe ideeën minder vaak ‘langskomen’ heeft de optie tot uitstel minder waarde en zal daadwerkelijk met het uitrollen van CCS begonnen moeten worden.

Stellingen Nederlands beleid

Stelling 5: De bijdrage van Nederland aan de wereldwijde ontwikkeling van technologie is verwaarloosbaar. Nederlands beleid is dan ook niet zinvol.

Het bovenstaande argument is feitelijk een pleidooi om de ontwikkeling en het uitrollen van technologie aan de grote landen over te laten. Alleen die landen kunnen namelijk een significante bijdrage leveren aan de ontwikkeling en het uitrollen van nieuwe technologie. Dit is op zich een terechte constatering. Echter, ook voor het overnemen van technologie uit andere landen is een zekere mate van eigen R&D nodig om de technologie geschikt te maken voor lokale omstandigheden en toe te passen. Popp (2010) noemt dit adaptieve R&D. Bovendien is het maar de vraag of de Nederlandse bijdrage aan de wereldwijde ontwikkeling en uitrol van schone technologie inderdaad verwaarloosbaar is. De markt voor schone technologie is immers

zeer heterogeen, wat betekent dat Nederland op een beperkt aantal deelmarkten wel degelijk een rol zou kunnen spelen. Zo is bijvoorbeeld het aandeel van Nederland in de wereldwijde productie van windenergie op zee aanzienlijk hoger dan bij de opwekking van elektriciteit met zon-PV of CSP. De relatieve stand van de kennis rondom een bepaalde technologie in een land vergeleken met andere landen kan ook een reden zijn om vooral onderzoek op een bepaald terrein te stimuleren. Dit alles neemt niet weg dat coördinatie van beleid op het niveau van de Europese Unie belangrijke voordelen kan hebben om op die wijze inefficiënties te beperken.

Stelling 6: Nederland doet al voldoende om schone innovatie te stimuleren. Denk bijvoorbeeld aan de WBSO, EOS en middelen uit de FES.

Het lastig om vast te stellen of deze stelling waar is of niet, omdat weinig bekend is over de effectiviteit van de ingezette gelden via EOS en de FES middelen. Het is wel mogelijk om naar de ingezette budgetten te kijken. Het jaarlijkse budget van de WBSO is ongeveer 500 miljoen euro per jaar. Onze schatting is dat er voor schone innovatie in deze kabinetsperiode ongeveer 750 miljoen euro beschikbaar is, dat is omgerekend 187,5 miljoen euro per jaar. Wellicht belangrijker dan de vergelijking op basis van budgetten is dat bij de vormgeving van het huidige beleid geen rekening is gehouden met de inzichten uit de literatuur over ‘directed technical change’. Het betreft dan vooral de constatering dat de verhouding tussen de private en maatschappelijke baten van schone innovatie door de tijd heen systematisch moet veranderen. De budgetten voor schone innovatie vertonen momenteel niet het benodigde patroon uit figuur 1.

Stelling 7: De huidige SDE kan worden gezien als een instrument bedoeld om leereffecten te internaliseren.

Een goede inschatting van de optimale uitrolsubsidie voor schone technologie vereist een uitgebreide, modelmatige analyse die in het kader van deze notitie niet mogelijk is. Niettemin lijkt de SDE in zijn huidige vorm geen goed instrument te zijn om leereffecten te internaliseren. Een belangrijke reden hiervoor is dat het subsidiebedrag onder de SDE niet of nauwelijks lijkt te variëren met de verwachte baten verbonden aan leereffecten. Deze baten hebben vooral te maken met de kennisspillovers die ontstaan bij het uitrollen van nieuwe technologie. Projecten die in deze zin onvoldoende innovatief zijn, zouden niet in aanmerking moeten komen voor een uitrolsubsidie.

Op basis van studies zoals Fischer and Newell (2008) voor de VS kan een eerste inschatting worden gemaakt dat de subsidies voor biomassa en wind op land onder de SDE aan de hoge kant zijn. De leereffecten bij deze technologieën zijn namelijk beperkt gegeven de capaciteit die er (wereldwijd) al staat. Voor kleinschalige zon-PV installaties geldt dat het nu nog een zodanig dure technologie is dat het gedurende lange tijd nog geen wezenlijke rol zal spelen in kosteneffectief klimaatbeleid. De baten van leereffecten liggen daarom ver in de toekomst en

zullen daardoor naar verwachting niet opwegen tegen de hoge kosten van een uitrolsubsidie nu. Ten aanzien van zon-PV zijn het vooral de innovatiesubsidies die een belangrijke rol zouden moeten spelen om verdere kostendalingen te realiseren. Voor wind op zee lijken uitrolsubsidies op basis van leereffecten wel verdedigbaar. Wind op zee is immers een technologie waar de leereffecten relatief groot zijn.

Een tweede reden waarom de SDE in zijn huidige vorm niet kan worden gezien als een instrument om leereffecten te internaliseren is dat een belangrijk deel van de schone technologieën per definitie buiten de boot valt. Denk daarbij bijvoorbeeld aan verschillende vormen van energiebesparing, smart grids, de elektrische of waterstofauto en warmte in de gebouwde omgeving (waarmee niet is gezegd dat leereffecten bij al deze technologieën een belangrijke rol spelen). Bij het vaststellen van het optimale niveau van de uitrolsubsidie voor een specifieke technologie moet overigens rekening worden gehouden met andere technologieën. Zo kan het bijvoorbeeld efficiënter zijn om uitrolsubsidies eerst te richten op energiebesparing (vooropgesteld dat dit een schone technologie is, zie de discussie onder stelling 4) en daarna pas (massaal) op duurzame opwekking van energie.

Stelling 8: Een algemene doelstelling voor de opwekking van duurzame energie, zoals 20% duurzame elektriciteitsopwekking in 2020, is een beter instrument om het uitrollen en de innovatie van duurzame energie te stimuleren dan de SDE.

Ook een concrete doelstelling ten aanzien van het percentage duurzame energie kan er niet in slagen om gelijktijdig twee doelstellingen te realiseren. Hoewel zo'n doelstelling wel een effect heeft op zowel de uitrol als de innovatie van duurzame opwekking is het geen optimaal instrument. Zo'n doelstelling geeft elke technologie namelijk dezelfde impliciete uitrolsubsidie, namelijk de certificaatprijs, en differentieert dus niet tussen technologieën op basis van de verwachte baten verbonden aan leereffecten. Twee technologieën die even duur zijn maar die verschillen ten aanzien van de verwachte baten verbonden aan leereffecten krijgen onder een algemene doelstelling voor de opwekking van duurzame energie dezelfde vergoeding. Dit valt op basis van leereffecten niet te rechtvaardigen. Een ander nadeel van een verplichting is dat de (impliciete) uitrolsubsidie voor alle technologieën hetzelfde is. Dit heeft tot gevolg dat: (i) niet alle leereffecten optimaal gecorrigeerd worden (zie stelling 4); en (ii) er een herverdeling optreedt naar producenten met lagere kosten.

Stelling 9: Het stimuleren van duurzame energie via de SDE compenseert voor de imperfecties in het ETS.

De imperfecties in het ETS leiden ertoe dat de CO₂ prijs op de korte termijn te laag en te volatiel is. De hoogte van de CO₂ prijs op de lange termijn is onzeker. Dit pakt negatief uit voor zowel de investeringen in schone technologie als voor R&D in schone innovatie. Het huidige beleid voor het stimuleren van duurzame energie is echter geen goede manier om deze

imperfecties in het ETS op te heffen. Behalve dat een substantieel deel van de schone technologieën niet onder de SDE valt (zie stelling 7), is het onduidelijk of de SDE wel het meest aangewezen instrument is om R&D in schone technologie te bevorderen. Zo is het bijvoorbeeld onduidelijk wanneer, en zo ja in welke mate, nieuwe technologieën in aanmerking komen voor de SDE.

Conclusie

Onze kennis over het optimale beleid met betrekking tot het stimuleren van schone technologie is op dit moment beperkt. De reden daarvoor is dat er nog weinig bekend is over het belang van 'directed technological change'. Het gaat dan vooral om de (hoogte van de) substitutie-elasticiteit tussen vuile en schone technologie en de mate waarin technologie voortbouwt op dezelfde technologie uit het verleden. Het lijkt dus aannemelijk, maar het is empirisch nog niet onderbouwd (zie ook Acemoglu et al. 2009).

Als er inderdaad sprake is van 'directed technological change', dan is een volgende vraag hoe we onderscheid kunnen maken tussen schone en vuile technologieën. Alleen dan zijn we immers in staat om het innovatiebeleid praktisch vorm te geven. Dat zon-PV een vorm van schone technologie is zal niemand bestrijden, maar geldt hetzelfde voor alle vormen van energiebesparing? Denk daarbij bijvoorbeeld aan het zuiniger maken van de huidige brandstofmotor of het zuiniger maken van kolencentrales of gascentrales. En is het goedkoper maken van opslag van duurzame geproduceerde energie (denk aan batterijen) ook een vorm van schone technologie? Het antwoord is vermoedelijk bevestigend. Voor het in de praktijk brengen van innovatiebeleid gestoeld op 'directed technical change' is het noodzakelijk om te komen tot heldere criteria op grond waarvan beoordeeld kan worden of een technologie schoon is of niet. Deze criteria bestaan nu niet.

Behalve dat ons inzicht over de aard en omvang van 'directed technological change' beperkt is, is er ook geen helder zicht op efficiënt innovatiebeleid. In welke mate moet innovatiebeleid gestoeld zijn op R&D subsidies, patenten, beloningen voor succesvolle innovaties ('prizes') en/of aankoopbeleid ('procurement')? De literatuur lijkt te suggereren dat het beste instrument contextspecifiek is (Wright, 1983). Een andere relevante vraag is of het stimuleren van schone innovatie 'hetzelfde vraagstuk' is als het stimuleren van innovatie in het algemeen. Het gaat dan met name over de informatiestructuur ten aanzien van schone innovatie. Is er sprake van asymmetrische informatie (bedrijven weten meer dan de overheid) of is er 'gewoon' sprake van onzekerheid (bedrijven noch overheid kennen de toekomst)? Over welke informatie of kennis hebben we het dan? Kennis over kosten, kennis over klanten of kennis over het toekomstige CO₂ plafond (en daarmee de toekomstige vraag naar CO₂ emissiereductie)? Het lijkt vrijwel zeker dat de antwoorden op deze vragen implicaties zullen hebben voor het te voeren beleid.

Samenvattend kunnen we stellen dat 'directed technological change' en leereffecten van groot belang kunnen zijn voor de vormgeving van klimaatbeleid en dan met name op het gebied van het stimuleren van schone innovatie. Maar in welke mate dit een rol speelt en wat dat dan betekent voor het beleid is momenteel nog ongewis.

Literatuur

Aalbers, R.F.T. , 2009, Discounting investments in mitigation and adaptation: A dynamic stochastic general equilibrium approach of climate change, CPB Discussion Paper no. 126.

Acemoglu, D., P. Aghion, L. Bursztyn and D. Hemous, 2009, The environment and directed technical change, NBER w15451.

Argote, L. and D. Eppler, 1990, Learning curves in manufacturing, *Science*, 247, 920.

Arrow, K.J., 1962, The Economic Implications of Learning by Doing, *Review of Economic Studies*, 29(3), 155-173.

Baker, M.B. 2007, Why is Climate Sensitivity So Unpredictable, *Science*, 318, blz. 629-632.

Bosetti, V., C. Carraro, M. Galeotti, E. Massetti and M. Tavoni (2006), "WITCH: A World Induced Technical Change Hybrid Model", *The Energy Journal*, Special Issue. Hybrid Modeling of Energy-Environment Policies: Reconciling Bottom-up and Top-down, 13-38.

Dutton, J.M. and A. Thomas, 1984, Treating progress functions as a managerial opportunity, *Academy of Management Review* 9, 235-247.

Erkal, E. en S. Scotchmer, 2009, Scarcity of Ideas and R&D Options: Use it, Lose it or Bank it, NBER Working Paper nr. 14940.

Fisher, C. and R.G. Newell 2008, Environmental and technology policies for climate mitigation, *Journal of Environmental Economics and Management*, 55(2), 142-162.

Hicks, J., 1932, *The Theory of Wages*, London: Macmillan

Koutstaal, P.R., 2009, Grondstoffen: de dominantie van nationale olie- en gasbedrijven, in : Europese Verkenning 7: Strategisch Europa. Markten en macht in 2030 en de publieke opinie over de Europese Unie, Den Haag.

Klein Tank, A.M.G. and G. Lenderink (Eds.), 2009: Climate change in the Netherlands; Supplements to the KNMI'06 scenarios, KNMI, De Bilt.

Neuhoff, K., 2008, [Tackling Carbon - How to price carbon for climate change policy](#).

Newell, R.G., A.B. Jaffe and R.N. Stavins, 1999, The Induced Innovation Hypothesis and Energy-Saving Technological Change, *Quarterly Journal of Economics*, 114(3), 941-75.

Nordhaus, W., 2008, A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies, Yale University Press: New Haven & London.

Popp, D., 2010, Innovation and Climate Policy, NBER Working Paper nr. 15673.

Popp, D., 2002, Induced Innovation and Energy Prices, *American Economic Review*, 92(1), 160-180.

Roe, G.H. en M.B. Baker, 2007, Why is Climate Sensitivity So Unpredictable, *Science*, 318, blz. 629-632.

Romer, P.M., 1986, Increasing Returns and Long-Run Growth, *Journal of Political Economy*, 94 (5), 1002- 1037.

Romer, P.M. , 1990, Endogenous Technological Change, *Journal of Political Economy*, 98 (5) , S71-S102.

Roques, F.A., Nuttall, W.J., Newbery, D.M., de Neufville, R. and Connors, S. (2006) "Nuclear power: a hedge against uncertain gas and carbon prices?" *The Energy Journal*, 37(4): 1-23

Taskforce Energietransitie, 2006, *Meer met Energie, Kansen voor Nederland*, www.senternovem.nl.

Wright, B.D., 1983, The Economics of Invention Incentives: Patents, Prizes, and Research Contracts, *American Economic Review*, 73(4), 691-707.

Zwaan, B.C.C. van der, R. Gerlagh, G. Klaassen and L. Schrattenholzer, 2002, Endogenous technological change in climate modelling, *Energy Economics*, 24, 1-19.