

De koolstofarme samenleving

5.1 **Inleiding**

- Leeswijzer

5.2 **Uitgangssituatie Nederland**

- Energie
- Hernieuwbare energie
- Hernieuwbare elektriciteit
- Energiebesparing
- Gevolgen economische recessie

5.3 **Een koolstofarm Nederland in 2050**

- Energiebesparing en verbetering van de efficiency
- Energiebronnen
- Kwaliteit van het energiesysteem
- Schaal van het energiesysteem

5.4 **Kansen voor economie en werkgelegenheid**

5.5 **Barrières en instrumenten**

- Economische hindernissen
- Institutionele hindernissen
- Belemmeringen voor duurzaam gedrag
- Tot besluit

5.6 **Acties en kortetermijnstappen aan de hand van drie cases**

- Windenergie op zee
- Verkeer en vervoer
- Gebouwde omgeving

5.7 Enkele conclusies en strategische keuzen voor de komende jaren

5.1 Inleiding

Wereldwijd is er een toenemende belangstelling om op termijn te komen tot een samenleving, die aanzienlijk minder afhankelijk is van fossiele brandstoffen. De belangstelling hiervoor is meervoudig: de verbranding van fossiele brandstoffen leidt tot de uitstoot van broeikasgassen, wat bijdraagt aan de klimaatverandering. Daarnaast is er de toenemende afhankelijkheid van Nederland en de EU op de (niet altijd stabiele) leveranciers van fossiele brandstoffen. Hierdoor neemt de voorzieningszekerheid van energie af. Tot slot worden de gemakkelijk winbare voorraden olie en gas schaarser, wat naar verwachting leidt tot hogere olie- en gasprijzen. Genoeg redenen om in te zetten op een samenleving met een duurzamere energievoorziening. Hierin gaat men zuinig om met energie en voorkomt men zoveel mogelijk de schadelijke effecten van het gebruik van fossiele brandstoffen.

In dit hoofdstuk staat de koolstofarme samenleving centraal. Een koolstofarme samenleving richt zich op een minimale uitstoot van de emissies van broeikasgassen in de atmosfeer. Anders dan bij een fossielvrije samenleving, staat een koolstofarme samenleving de inzet van fossiele brandstoffen in beperkte mate toe. Vergeleken met een klimaatneutrale samenleving gaat een koolstofarme samenleving echter minder ver. Een koolstofarme samenleving laat immers nog wel enige emissies van broeikasgassen toe. Inzetten op een koolstofarme samenleving is zowel van belang voor het verbeteren van de energievoorzieningszekerheid als voor het beperken van klimaatverandering. Daarnaast kan de bijdrage van Nederlandse bedrijven aan de koolstofarme samenleving de nodige toegevoegde waarde en groene banen opleveren, wat een bijdrage levert aan een meer duurzame economie.

Een moderne samenleving zoals Nederland is sterk afhankelijk van een betrouwbare, schone en betaalbare energievoorziening omdat dit een belangrijke randvoorwaarde vormt voor duurzame economische groei. Het realiseren van een koolstofarme samenleving vergt ingrijpende veranderingen in de wijze waarop Nederland op dit moment in haar energiebehoefte voorziet. Dergelijke veranderingen betekenen grote investeringen en leiden op korte termijn tot hogere energiekosten. De keuze voor een koolstofarme samenleving vergt dan ook een zorgvuldige afweging tussen schoon, betrouwbaar en betaalbaar, zowel op de korte als de lange termijn (MNP, 2007).

Leeswijzer

Dit hoofdstuk gaat in op Nederland als een koolstofarme samenleving met als aandachtspunten de energievoorziening, de gebouwde omgeving en het transport. Deze sectoren zijn gezamenlijk verantwoordelijk voor ongeveer tweederde van de huidige broeikasgasemissies. Paragraaf 2 schetst de uitgangssituatie van Nederland anno 2010. Op dit moment

zijn olie, kolen en gas nog dominant en het aandeel hernieuwbare energie is nog beperkt. Paragraaf 3 schetst hoe een koolstofarm energiesysteem in Nederland er in 2050 uit kan zien. Hierbij wordt ingezoomd op verschillende energiedragers, energiebronnen en de schaal van een toekomstig systeem. Tevens wordt aandacht besteed aan de aspecten betrouwbaar, betaalbaar en schoon. Paragraaf 4 gaat in op kansen voor Nederlandse bedrijven op het terrein van hernieuwbare energie. Paragraaf 5 beschrijft de nodige barrières voor een koolstofarme samenleving. Het gaat hierbij niet zozeer om technische barrières, maar vooral om economische, institutionele en gedragsmatige hindernissen. Daarnaast wordt geduid welke beleidsinstrumenten de overheid heeft om de gesignaleerde hindernissen te verlagen of te verwijderen. Om meer concreet te kunnen zijn over hindernissen en mogelijke interventies, werkt paragraaf 6 drie cases uit: wind op zee, verkeer en vervoer, en de gebouwde omgeving. Analyse van deze cases illustreert enkele belangrijke hindernissen. Daarnaast biedt het inzicht in de acties die men op korte termijn kan ondernemen. Tenslotte identificeert paragraaf 7 enkele strategische keuzen die de overheid in de komende jaren kan nemen om de koolstofarme maatschappij te realiseren.

5.2 Uitgangssituatie Nederland

Energie

Nederland is anno 2010 voor haar energievoorziening vrijwel geheel afhankelijk van fossiele brandstoffen. Olie, kolen en gas zijn met een bijdrage van ongeveer 95% dominant in de nationale energievoorziening (CBS, 2010f). Nederland beschikt zelf over aardgas; voor steenkool en olie is Nederland vrijwel geheel aangewezen op import vanuit het buitenland. De nog beschikbare hoeveelheid Nederlands aardgas zal bij het huidige verbruikstempo volstaan voor ongeveer 20 jaar (zie hoofdstuk 2), maar de Nederlandse overheid heeft de ambitie om dat te verlengen. Op mondiaal niveau zijn de energievoorraden nog groot genoeg voor een lange periode van energiegebruik. Wel nemen de zorgen over de beschikbaarheid vooral voor olie toe, omdat grote voorraden olie zich concentreren in een beperkt aantal landen. Hierdoor worden geopolitieke aspecten steeds belangrijker (zie ook hoofdstuk 4 en 6). Bij conventioneel gas is dat ook het geval, maar onconventioneel gas nog niet. Onconventioneel gas is in de VS competitief geworden, waardoor de vraag-aanbodssituatie van gas sterk is veranderd. Voor Nederland is vergroening van gas een interessante optie, omdat het een goed ontwikkeld gasnet heeft en vergisting van biomassa relatief kostenefficiënt is. Niet-fossiele energiebronnen leveren tot op heden maar

een beperkte bijdrage aan de Nederlandse energievoorziening. Zo bedraagt het aandeel kernenergie in 2009 ruim 1% en het aandeel hernieuwbare energie bijna 4% (CBS, 2010g). Zowel de overschakeling op hernieuwbare energie, als kernenergie als energiebesparing zijn effectieve manieren om de emissies te reduceren en minder afhankelijk te worden van fossiele brandstoffen.

Hernieuwbare energie

Wind, waterkracht, zon, biomassa, de bodem en warmte uit de buitenlucht vormen mogelijke bronnen van hernieuwbare energie (CBS, 2010i). Van de bijna 4% hernieuwbare energie in Nederland in 2009 is het grootste deel afkomstig van biomassa. Ruim een kwart van de hernieuwbare energie komt van windenergie en de rest is afkomstig van overige bronnen. De bijdrage van biomassa aan het totale energieverbruik betreft twee manieren: het bijstoken van biomassa in elektriciteitscentrales, en het bijmengen van biobrandstoffen in benzine en diesel voor het wegverkeer. Ongeveer 4% van de biobrandstoffen worden bijgemengd in de verkeersbrandstoffen. Om aan de Europese doelstelling voor hernieuwbare energie te voldoen in 2020, is de verwachting dat zowel het opgestelde vermogen voor wind op zee als op land aanzienlijk zullen moeten toenemen. Daarnaast is het verplicht om in 2020 in het transport voor 10% gebruik te maken van hernieuwbare bronnen. In de praktijk betekent dit een flinke toename van biobrandstoffen.

Hernieuwbare elektriciteit

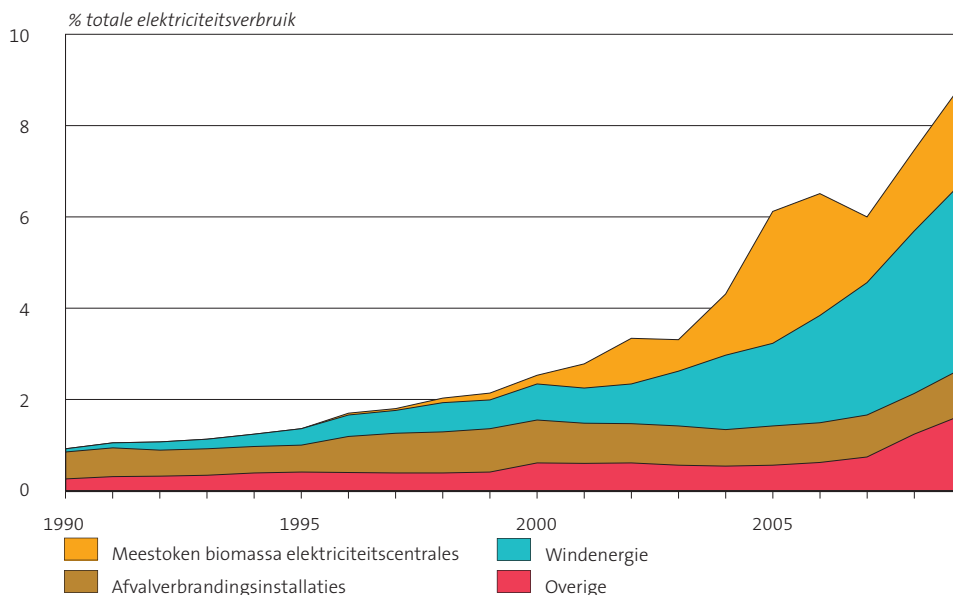
Het meestoken van biomassa in elektriciteitscentrales en afvalverbrandingsinstallaties levert een aanzienlijke bijdrage aan het aandeel hernieuwbare elektriciteit in Nederland. In 2009 bedroeg het aandeel hernieuwbare elektriciteit circa 9%. Hernieuwbare elektriciteit vormt vooral een alternatief voor bronnen die nu op grote schaal worden ingezet voor de productie van elektriciteit en warmte zoals aardgas en steenkool. De bijdrage van zonne-energie aan hernieuwbare elektriciteit blijft vooralsnog beperkt tot nog geen half procent. Windenergie zorgt voor bijna de helft van de hernieuwbare elektriciteit in Nederland (zie 5.2.1). Dit betreft vooral wind op land. De bijdrage van wind op zee aan het totale windvermogen ligt om en nabij de 10% (CBS, 2009b).

Energiebesparing

De afgelopen jaren ligt het gemiddelde energiebesparingstempo in Nederland op bijna 1%. Dit tempo loopt sinds 2000 geleidelijk af bij zowel huishoudens als bij de industrie- en de transportsector. Alleen voor de landbouwsector is vanaf 2000 sprake van een opgaan-

de besparingstrend (Boonekamp en Gerdes, 2009). Om het tempo van energiebesparing omhoog te krijgen is het onder andere nodig dat er in de gebouwde omgeving meer energie wordt bespaard. Hiervoor heeft de overheid energieprestatienormen opgesteld voor nieuwe woningen, waardoor het aantal woningen met isolatie nu al jaren gestaag stijgt. Het blijkt echter moeilijk om de energiebesparing te realiseren in de al bestaande bouw.

5.2.1 Productie hernieuwbare elektriciteit in Nederland



Bron: CBS.

Gevolgen economische recessie

De economische recessie leidde zowel in Nederland als in andere EU-landen tot een afname van de economische productie en daardoor ook tot een afname in emissies. In 2009 nam de Europese uitstoot van broeikasgassen af met maar liefst 7% door de economische crisis (EEA, 2010). Hierdoor wordt het plafond van het Europese Emissiehandel Systeem (ETS) voor de grote bedrijven die onder dit systeem vallen minder knellend. Dit betekent dat de impuls vanuit de ETS om te investeren in energiebesparing en hernieuwbare energie is afgenomen. Een ander gevolg van de recessie is dat zowel banken als overheden door de recessie minder middelen beschikbaar hebben. Hierdoor is de kredietverstrekking voor alle investeringen beperkt, dus ook voor milieu-investeringen. Voor de overheid is dit de aanleiding om de komende jaren flink te bezuinigen, waarbij de overheidsuitgaven

voor energie en klimaat mogelijk ook onder druk komen te staan. Dit hoeft overigens niet direct nadelig te zijn voor de beoogde emissiereducties, maar dan zullen burgers en bedrijven wel naar rato van hun energiegebruik moeten gaan meebetalen, in plaats van subsidiëring uit de algemene middelen (PBL, 2010b). De krapte bij de financiers lijkt knellender, omdat investeringen in nieuwe technieken zoals hernieuwbare energie een relatief hoog risicoprofiel hebben. Daarnaast is het rendementsprofiel van hernieuwbare energie vaak laag. Deze combinatie van een hoog risico en laag rendementsprofiel maken investeringen in hernieuwbare energie relatief onaantrekkelijk (Biermans *et al.*, 2009). Dit wordt versterkt door een lage CO₂-prijs. Waarschijnlijk is een gevolg van de recessie dat de kredietverstrekking voor risicovolle investeringen zoals CCS en hernieuwbare energie langer onder druk blijven staan.

5.3 Een koolstofarm Nederland in 2050

Om enig zicht te krijgen op hoe koolstofarm de samenleving zou moeten worden en wanneer, wordt aangesloten bij het tweegradendoel voor klimaatverandering, dat de EU zich ten doel heeft gesteld en dat door Nederland wordt onderschreven. Dit doel houdt in dat om gevaarlijke antropogene verandering van het klimaat te voorkomen, de mondiale temperatuurstijging met maximaal twee graden mag stijgen ten opzichte van het pre-industriële niveau (PBL, 2009a). Ook de G8 hanteert deze mondiale temperatuurstijging van twee graden als richtlijn.

Voor een 50% kans op het realiseren van deze tweegradendoelstelling, is het nodig dat in 2050 de mondiale broeikasgasemissies 50% lager zijn dan in 1990. Uitgaande van gelijke emissierechten per hoofd van de bevolking, betekent dit dat in de EU en andere geïndustrialiseerde landen in 2050 de emissies circa 80–95% lager moeten zijn dan in 1990 (PBL/SEI, 2009). Diverse studies tonen dat het mogelijk is om op Europees niveau emissiereducties in de orde van grootte van 80% te bereiken. Deze studies schetsen enkele mogelijkheden en de te nemen stappen (ECF, 2010; PBL/SEI, 2009). De EU heeft recent een routekaart geschetst om in 2050 te komen tot een concurrerende koolstofarme economie in 2050.

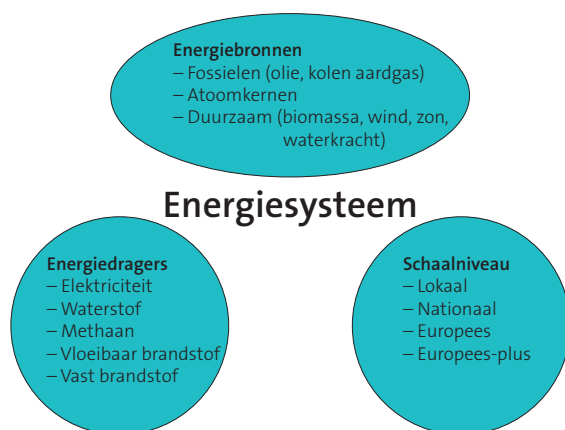
Cruciale elementen in deze studies zijn:

- het verhogen van de energie efficiency;
- voortschrijdende elektrificatie van de samenleving;
- vergroten van het aandeel hernieuwbaar in de energievoorziening.

Verder blijkt uit al deze studies dat het realiseren van de genoemde percentages emissie-reducties ingrijpende consequenties betekent voor het totale energiesysteem. De energiesector alleen zal niet in staat zijn om een koolstofarme samenleving te realiseren. Ook in de industrie, landbouw, transport en de gebouwde omgeving zullen aanzienlijke veranderingen moeten optreden vergeleken met de huidige situatie. Om een reductiepercentage van 80% voor de economie als geheel te realiseren, is het nodig dat de elektriciteitsvoorziening, de gebouwde omgeving en het wegtransport vrijwel geen emissies meer uitstoten en dus in feite in 2050 al klimaatneutraal zijn (ECF, 2010). Vandaar dat de aandacht in dit hoofdstuk vooral uitgaat naar deze drie sectoren.

Het goede nieuws is dat er een breed scala aan technologieën beschikbaar is om de beoogde reducties te bereiken. Er zijn dan ook verschillende langetermijnvarianten denkbaar over de vorm van een toekomstig energiesysteem. Deze zijn bepalend voor de keuze van ontwikkelpaden op de korte termijn. Belangrijke elementen van een energiesysteem zijn de energiebronnen, de energiedragers en het schaalniveau van het systeem (zie 5.3.1). Het gaat hierbij niet zo zeer om alles-of-niets keuzes, maar wel om belangrijke accenten. Om tot de beoogde reductie van broeikasgassen te komen, zijn een ander toekomstig energiesysteem, aanzienlijke energiebesparing en verbetering van de efficiency nodig.

5.3.1 Kenmerken van het energiesystemen



Energiebesparing en verbetering van de efficiency

Als de vraag naar energie vermindert, kan de uitstoot van broeikasgasemissies uit ons energiesysteem met een groot deel worden teruggebracht. Gedragsverandering kan voor

een gedeelte van de vermindering zorgen. Voorbeelden als het nieuwe rijden, de thermostaat lager zetten en korter douchen leiden tot besparingen op zowel emissies als kosten. Sommigen beschouwen ze echter als inperking van individuele vrijheden en comfort. Als gevolg hiervan bestaat er een grote mate van onzekerheid over het te bereiken besparingseffect door vrijwillige gedragsverandering.

Meer zekerheid is er bij technische verbeteringen aan woningen, auto's en apparaten. Hierdoor neemt de efficiency bij gebruik toe. Zo ligt het energiegebruik voor de ruimteverwarming in passief woningen (vergaand geïsoleerd) zo'n 80% lager dan in vele recent gebouwde nieuwe woningen. Ook auto's kunnen nog zuiniger, wellicht op termijn in de orde van 20%. Dit door aanpassingen aan het auto-ontwerp en in de materiaalk keuze. Evenveel rek zit in de efficiency van de verbrandingsmotor. Voor verbeteringen aan elektrische auto's en brandstofcelauto's is het verbeteringspotentieel nog veel groter.

Tenslotte is voor vele (vooral elektrische) apparaten nog veel winst in de efficiency te bereiken. Een deel van de energiebesparing kan overigens weer teniet worden gedaan door een toename van het gebruik (het zogenaamde rebound effect). Hoewel kostenbesparend op termijn, zijn zuiniger woningen, auto's of apparaten in vele gevallen duurder in aanschaf, wat een belangrijke drempel vormt voor investeringen.

Energiebronnen

Er zijn ruwweg drie sporen om tot een ander energiesysteem te komen, namelijk de inzet van kernenergie, schoon fossiel en hernieuwbare bronnen. En alhoewel het op dit moment niet mogelijk is om te voorspellen hoe een Europese of nationale energiemix in 2050 er zal uit zien, gaan de meeste studies er wel vanuit dat er in 2050 een mix van deze technieken zal worden ingezet om aan de vraag aan energie te voldoen.

Fossiele brandstoffen kunnen in de toekomst eigenlijk alleen nog een belangrijke rol spelen als de CO₂-emissies worden afgevangen en opgeslagen (CCS). Deze technologie kan naar verwachting pas na 2020 op grote schaal worden toegepast. Zowel elektriciteitsproductie als industriële processen kunnen CCS toepassen. In Nederland wordt vooral ingezet op opslag in lege gasvelden. De opslagcapaciteit op land in Nederland is geraamd op circa 960 Mton CO₂ en op zee op circa 1160 Mton CO₂ (EBN/Gasunie, 2010). Ter illustratie: ruim één derde van de capaciteit op zee is nodig om de circa 10 Mton CO₂-emissie van de twee geplande kolencentrales op de Maasvlakte voor een periode van 40 jaar op te slaan. Naast toepassing bij kolencentrales denkt men ook over het gebruik van CCS bij gas- en biomassacentrales. Gascentrales zijn zonder CCS in 2050 namelijk niet meer schoon genoeg en de combinatie van biomassa met CCS kan leiden tot negatieve emissies. Tevens is CCS nodig om bij de industrie verregaande emissiereducties te bereiken (CE, 2010a). Uitgaande van de genoemde opslagcapaciteit kan CCS vanaf 2020 enkele decennia een belangrijke rol vervullen bij het reduceren van de broeikasgasemissies. Het is echter een tussentijdse oplossing, die vooral tijd geeft voor de volledige omschakeling naar andere dan fossiele ener-

giebronnen. De inzet van CCS is immers niet ongelimiteerd en er kan capaciteit verloren gaan. Op zee omdat gaswinningplatforms mogelijk worden gesloten terwijl er nog geen CO₂-aanbod is en als platforms eenmaal zijn afgebroken, is het desbetreffende lege gasveld als verloren te beschouwen voor CO₂-opslag. Op land kan er capaciteit verloren gaan door weerstand van de bevolking, zoals in Barendrecht. Gegeven de beschikbare opslagcapaciteit in Nederland en het gegeven dat het wel eens lastig kan zijn om opslagcapaciteit in andere landen te realiseren – omdat die zelf ook CCS willen toepassen en/of vanwege lange transportafstanden – lijkt een strategische discussie over waar en hoe CCS in te zetten geen overbodige luxe. Waar lijken oplossingen moeilijk te realiseren en waar kan CCS het beste worden ingezet?

Omdat CCS alleen toepasbaar is bij grootschalige puntbronnen, kan men fossiele brandstoffen zoals olie en gas niet langer op grote schaal inzetten voor transport of in de gebouwde omgeving. Voor beide sectoren is elektriciteit een goed alternatief. De IEA verwacht dan ook een aanzienlijke stijging van de vraag naar elektriciteit en schat in dat in 2050 de mondiale vraag naar elektriciteit verdubbeld zal zijn (IEA, 2010).

Om aan de toenemende elektrificatie te voldoen, is kernenergie één van de mogelijke oplossingen. Kernenergie heeft als voordeel dat er tijdens de productie nauwelijks broeikasgasemissies worden uitgestoten. De kosten voor het opwekken van elektriciteit met behulp van kernenergie zijn laag. Daarnaast neemt kernenergie relatief weinig ruimte in beslag. Grote discussiepunten rondom kernenergie zijn het vinden van een definitieve oplossing voor de opslag van radioactief afval en het risico op de ontwikkeling van kernwapens. De verwachting is dat er deze en de volgende eeuw voldoende uranium aanwezig is. De huidige economisch winbare voorraden uranium zijn volgens de Nuclear Energy Agency voldoende voor 50 jaar van het huidige verbruik, terwijl de schatting van de totale voorraad uranium bij het huidige verbruik circa 200 jaar is (NEA, 2010). Dit is exclusief de voorraden uranium in fosfaten en de oceanen. Na 2050 kan voor kernenergie door innovatie wellicht worden overgeschakeld op een ander element (thorium) als brandstof. Indien de snelle kweekreactor op een voldoende veilige en maatschappelijk aanvaardbare wijze kan worden gerealiseerd, is voor de komende millennia voldoende brandstof beschikbaar.

De verwachting is dat de capaciteit voor kernenergie wereldwijd de komende decennia gestaag zal uitbreiden. Op dit moment zijn er bijna zestig kerncentrales onder constructie, de meeste in de Aziatische regio (IAEA, 2010). Ook in Nederland zijn er plannen voor uitbreiding van het aantal kerncentrales. Indien de regering positief besluit over de bouw van een extra kerncentrale in Nederland, dan duurt het naar verwachting nog circa 10 jaar voordat deze gerealiseerd is. Zowel bij CCS als bij kernenergie is het daarom nog onzeker of in Nederland enig effect op de broeikasgasemissies verwacht mag worden voor 2020.

Het aandeel hernieuwbaar in de totale energievoorziening zal de komende decennia zowel mondiaal als nationaal waarschijnlijk gestaag toenemen. Hierbij kan het gaan om hernieuwbare energie die men decentraal produceert en daarna invoegt in het net (zoals zonnepanelen op daken, biogasinstallaties, windturbines en warmte). Daarnaast is er grootschalige productie van hernieuwbare energie, zoals windparken op zee, centrales op

zonne-energie (CSP) en de inzet van biomassa in elektriciteitscentrales of als brandstof. Grote vraag is in welk tempo de productie van hernieuwbare energie gaat toenemen. Het tempo waarin het aandeel hernieuwbare energie toeneemt, wordt grotendeels bepaald door beleidsprkkelers (zie paragraaf 5) en het gewenste accent op de schaalgrootte van een toekomstig energiesysteem. Beide factoren beïnvloeden de prijs van hernieuwbare energie, die op dit moment nog aanzienlijk hoger is dan de prijs voor fossiele energie. Zowel schoon fossiel, als kern- en hernieuwbare energie vergen nog forse investeringen. Tegenover de investeringskosten staan ook baten, bijvoorbeeld in de vorm van minder emissies van broeikasgassen en minder luchtverontreiniging.

Kwaliteit van het energiesysteem

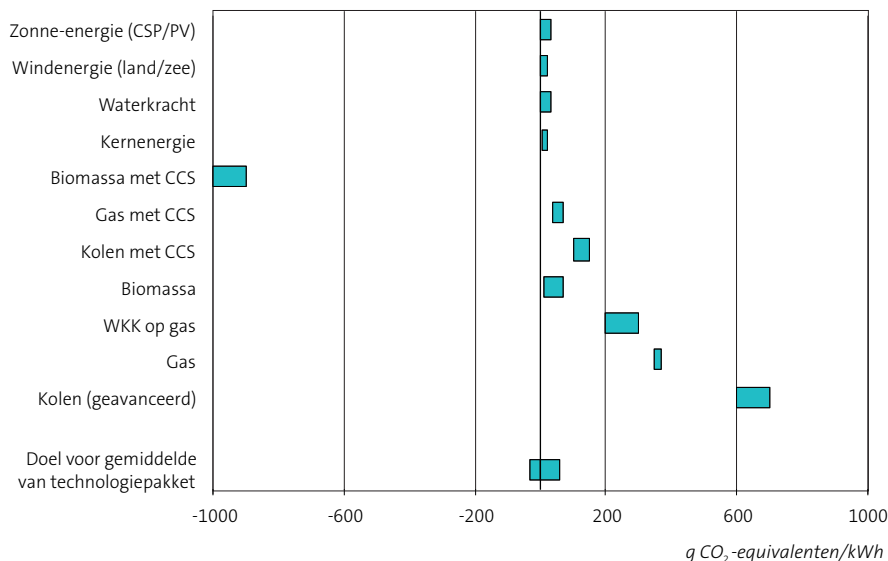
Schoon, betrouwbaar en betaalbaar zijn drie belangrijke aspecten van het huidige en toekomstige energiesysteem. We gaan hier kort in op deze drie aspecten.

Schoon

Wat betreft schoon beperken we ons in dit hoofdstuk vooral tot de emissie van broeikasgassen. Voor andere aspecten van schoon, zoals ruimtebeslag, luchtverontreiniging en hinder beperkt dit hoofdstuk zich tot een enkele opmerking. Zo kan het inzetten van meer kolencentrales gevolgen hebben voor de luchtverontreiniging en vergt de productie van biomassa veel ruimte. Ook windenergie vergt de nodige ruimte en daar komt voor velen ervaren hinder bij. Een overzicht van de ruimtelijke consequenties van het op grote schaal inzetten van hernieuwbare energie in Nederland lijkt daarom wenselijk. Als voorbeeld dient MacKay, die dit voor het Verenigd Koninkrijk heeft gedaan (MacKay, 2009).

Eerder is geconstateerd dat om een koolstofarme samenleving te realiseren, met een reductie van de broeikasgasemissies van 80% en meer, alleen hernieuwbare bronnen, schoon fossiel en kernenergie geschikt zijn. Bestaande kolen- en gascentrales, maar ook warmtekrachtkoppeling (WKK) op gas zijn in 2050 niet schoon genoeg meer (zie 5.3.2). Kolen met CCS leidt weliswaar tot een emissiereductie van meer dan 80%, maar de uitstoot ligt nog wel boven het doel voor het gemiddelde van het technologiepakket dat nodig is. Kolen met CCS alleen is dan ook niet schoon genoeg. Door het inzetten van biomassa met CCS kunnen juist negatieve emissies optreden. Zowel CCS als duurzame biomassa zijn echter niet onbeperkt beschikbaar. De inzet van bio-energie met CCS leidt tot negatieve emissies omdat eerst de CO₂ wordt opgenomen door de planten of bomen. Bij verbranding wordt de dan weer gevormde CO₂ afgevangen en daarmee uit de atmosfeer gehouden. Hoe meer biomassa wordt ingezet, des te meer CO₂ wordt uit het systeem gehaald. Dit leidt ertoe dat productie op basis van biomassa met lagere rendementen (bijvoorbeeld veel biomassa per geproduceerde kWh) tot relatief sterker negatieve emissiefactoren leidt (zie 5.3.2). Op deze wijze is de beschikbare opslagcapaciteit wel snel vol. Bovendien is er meer biomassa nodig waardoor duurzame biomassa schaars wordt.

5.3.2 Emissie factoren elektriciteitsproductie inclusief ketenemissie



Bron: Wijngaart en Ros, 2009.

Betrouwbaar

Bij betrouwbaar spelen de zekerheid over de beschikbaarheid van energiebronnen en een lage faalkans van het energiesysteem een rol. Voor de beschikbaarheid van energiebronnen zijn zon en wind superieur. Het aanbod van wind- en zonne-energie is echter wisselend en minder voorspelbaar. Ook is de vraag naar warmte en elektriciteit niet constant. Om op elk gewenst moment aan de vraag te voldoen, is het belangrijk dat vraag en aanbod naar energie in balans worden gebracht. Aardgas is momenteel de belangrijkste draager die in de warmtevraag voorziet. Omdat de flexibiliteit van aardgas groot is, is het geen probleem aan de wisselende vraag te voldoen. Ook elektriciteit kan lokaal worden omgezet in warmte, maar dat is niet erg efficiënt. Daarom wordt tevens gezocht naar mogelijkheden om aardgas te vervangen door biogas. Ook wil men lokale warmtebronnen benutten, zoals bodemwarmte en restwarmte van bedrijven.

Voor de productie van elektriciteit leveren grote kolen-, gas- en kerncentrales een optimaal rendement als ze continu op vollast worden bedreven. Ze zijn wel enigszins regelbaar, maar minder geschikt om aan pieken in de vraag te voldoen. Bij pieken zet men vooral flexibele gasturbines in. Het aanbod van wind- en zonne-energie is wisselend en minder voorspelbaar. Om op grote schaal wind- en zonne-energie in te zetten en tegelijkertijd een betrouwbare elektriciteitsvoorziening te realiseren, zijn de volgende oplossingen denkbaar:

- opslag van energie in waterreservoirs, accu's of gassen als waterstof of methaan;
- uitwisseling van energie, bijvoorbeeld door de schaal van het systeem te vergroten door de aanleg van een Pan Europees supergrid met gelijkstroom;
- aanpassing van het vraagpatroon van industrie en huishoudens, zoals het flexibel draaien van industriële processen of het centraal gestuurd opladen van elektrische auto's en apparaten;
- de inzet van flexibele centrales.

Betaalbaar

Met betrekking tot de betaalbaarheid kijken we naar de huidige en de toekomstige kosten. Kostendaling van een nieuwe technologie is het gevolg van onder andere innovatie, toepassing en diffusie. Voor veel technieken die nu nog niet op grote schaal worden toegepast, kunnen de kosten in de toekomst nog aanzienlijk afnemen. Op korte termijn is het overbruggen van het prijsverschil tussen de nieuwe en bestaande technologie echter een van de grootste hindernissen (zie ook paragraaf 5).

Het aflopen van de leercurve speelt een belangrijke rol bij het realiseren van de kostendaling. Hiervoor zijn zowel schaal- als leereffecten nodig. De leerkosten kunnen worden opgevat als de extra kosten die men tijdelijk maakt voor de ontwikkeling en toepassing van nieuwe technologie. Dit duurt totdat een min of meer stabiel kostenniveau is bereikt. De ontwikkeling van kosten in de toekomst kent per definitie onzekerheden. Bekend is dat er voor veel technologieën een empirische relatie bestaat tussen de prijs van een technologie en de mate van toepassing. Zo leidt een verdubbeling van de productie tot een bepaald percentage daling van de prijs (vaak in de orde van 10–20%). Het is daarom nodig te investeren in grotere implementatie van de technologie om het prijsniveau verder omlaag te krijgen. Leren kost echter ook tijd. Als bedrijven in zeer korte tijd de toepassing van een technologie opschroeven dan kan het leerproces dit tempo waarschijnlijk niet meer volgen. De prijsvermindering bij verdubbeling wordt dan lager. Dat betekent dat de leerkosten uiteindelijk hoger worden.

Een kostenefficiënte ontwikkeling moet dus voortvarend, maar ook gedoseerd zijn. Het optimale ontwikkelingstempo valt vooraf echter lastig te bepalen, mede omdat het gaat om mondiale processen, waarbij de bijdrage van Nederland beperkt is. Dit vormt een dilemma voor de overheid die dit proces wil faciliteren, bijvoorbeeld met behulp van subsidies of het verplicht stellen van een aandeel hernieuwbare energie. Aan de ene kant is stimulering van de investeringen nodig om de leercurve snel te doorlopen. Aan de andere kant dreigt een minder kosteneffectieve ontwikkeling bij te snelle groei. Als bijvoorbeeld in 2020 alleen nog elektrische auto's op de markt zouden mogen worden gebracht, dan zou dat een zeer hoog prijskaartje hebben. De potentie in de verbetering van de accu en in nieuwe productiemethoden in de keten kan dan nog maar beperkt worden benut. Als daarentegen de komende decennia de productie van elektrische auto's niet van de grond komt, dreigt de ontwikkeling en daarmee het doorlopen van de leercurve stil te vallen.

Mondiaal gezien gaat het om veel geld. Voor zonnepanelen (PV), dat momenteel een relatief dure technologie is, maar waarvoor men nog aanzienlijke prijsreducties verwacht, kunnen de *leerkosten* honderden miljarden euro's bedragen (zie 5.3.3). Voor de meeste andere technologieën gaat het eerder om tientallen miljarden (Wijngaart en Ros, 2009). De *meerkosten* zijn alle extra kosten die worden gemaakt ten opzichte van het doorgaan met de huidige technologie als referentie. De totale meerkosten van het toekomstige systeem worden in sterke mate bepaald door de referentiewaarde voor fossiele brandstoffen. Ter illustratie: CCS zal altijd tot meerkosten leiden, omdat het wordt toegevoegd aan fossiele technologie, terwijl wind en zon de potentie hebben om goedkoper te worden dan fossiele technologie, zeker als de prijzen van fossiel zullen stijgen.

Leerkosten zijn een deel van de meerkosten en hebben betrekking op het leertraject. Het gaat om het prijsverschil tussen de actuele prijs en de te bereiken eindprijs (als die is bereikt, stopt het leren). Hier is de referentie de eindprijs van de technologie zelf. Op de totale meerkosten zijn de leerkosten vaak beperkt. Bij een hoge prijs is de implementatie meestal nog klein is (daarom kost het forceren naar snelle, grootschalige implementatie veel geld). Alleen bij PV is het prijsverschil zo groot dat de leerkosten een groot deel van de meerkosten uitmaken.

5.3.3 Illustratie van de ordegrrootte van de leer- en meerkosten van enkele technologieën

	Prijs per kWh		PR	Productie in 2050	Leerkosten over de gehele periode	Meerkosten tot 2050
	2006	2050				
	<i>euro</i>			<i>TWh</i>	<i>miljard euro</i>	
Referentie		0,0365				
Wind op zee	0,12	0,058	0,91	780	5–10	150–200
	0,15		0,9	780	30–40	200
PV zonnrijke streken	0,22	0,055	0,82	2 750	200	600
			0,87		500	900
CSP zonnrijke streken	0,11	0,039	0,88	3 900	20	80
		0,05			15	300
CCS ¹⁾	0,04 extra	0,016 extra	0,9	8 700	70	1 100
Li-ion batterij	800	300	0,82		3	

Bron: Wijngaart en Ros, 2009, o.b.v. o.a. IEA, 2008

¹⁾ Voor CCS gaat het om de extra kosten voor de toegevoegde technologie; voor de totale productiekosten moeten de kosten voor de kolen-, gas- of biomassacentrale erbij worden geteld. Voor sommige technieken is gekozen voor het opnemen van twee waarden voor een gevoelige variabele. Voor wind op zee betreft dit de huidige kosten, voor PV de leersnelheid en voor CSP het eindniveau van kosten dat zou kunnen worden bereikt. De resultaten laten de gevoeligheid voor deze uitgangspunten zien. De kosten per kWh voor de referentie is voor 2050 geschat op 3,7 Eurocent/kWh, zoveel mogelijk gebaseerd op IEA-kostenramingen en het Nederlandse technologiepakket.

Schaal van het energiesysteem

Voor de energievoorziening maakt het uit op welk schaalniveau het accent wordt gelegd. Op een hoger schaalniveau zijn immers meer opties beschikbaar en dat leidt over het algemeen tot lagere kosten. Daar tegenover staat dat de stuurbaarheid lastiger is en afhankelijkheden toenemen. Dit is zeker het geval bij systemen waarbij energie uit Europa en daarbuiten komt. In deze paragraaf benoemen we drie systemen: lokaal, nationaal en Pan-Europees. In de praktijk is vaak sprake van een mengvorm van meerdere systemen.

Decentraal systeem

Een decentraal systeem kenmerkt zich door een hoge mate van zelfvoorziening op lokale schaal. De omzetting naar energie gebeurt dicht bij de gebruiker. Energieneutrale woningen en gebouwen, klimaatneutrale steden, uitwisseling tussen nabijgelegen bedrijven van specifieke energiestromen en benutting van de energie uit de directe omgeving passen daarbij. Het meest voor de hand liggend is de benutting van warmte, omdat die overal in de omgeving te vinden is. Vooral in de gebouwde omgeving is warmte bij lage temperaturen gewenst. Hiervoor kan men warmte van de zon (zonnecollectoren), uit de lucht, bodem of het grondwater (warmtepompen, warmte-koude opslag als ook koeling wordt gevraagd of geothermie) en gebruik van restwarmte van grote bedrijven worden ingezet. Decentrale elektriciteitsopwekking gebeurt vooral met zonnepanelen (PV), windmolens en warmtekrachtkoppeling op kleine schaal (tot micro-WKK in woningen). Ook hiervoor geldt dat het technische potentieel aanzienlijk is. Een groot deel, zo niet alle vraag kan daarmee worden ingevuld. Vrijwel al deze technieken zijn echter nog duur in termen van kostprijs voor elektriciteit. Daarnaast is de stralingsintensiteit van de zon in Nederland veel lager dan in vele andere Europese landen. Het zal niet lukken met een decentrale elektriciteitsvoorziening te besparen op de distributie. De tijdsprofielen van vraag en aanbod liggen immers ver uit elkaar, zodat ofwel de netten erop moeten worden aangepast en smart grids nodig zijn voor het goed regelen en administreren van de uitwisseling ofwel elektriciteit moet worden opgeslagen.

Van nationaal naar noordwest Europees

Sinds de liberalisering van de energiemarkt in Europa bestaat een nationaal energiesysteem eigenlijk niet meer. Elektriciteit tendeert naar een noordwest Europees systeem. Wel wordt in Nederland met eigen aardgas in warmte voorzien, en wordt elektriciteit opgewekt in grote kolen- en gascentrales. Voor de kolen en olie is Nederland afhankelijk van import. Een dergelijk energiesysteem met grote centrales is ook een optie voor de toekomst. Kolen- en gascentrales met CCS, biomassa, kerncentrales en grote windparken op zee staan daarin centraal. In de toekomst moet Nederland de afname van de eigen aardgasvoorraad opvangen. Dat kan door hogere import van aardgas, maar ook door verschuiving naar kolen en biomassa. In dat geval neemt de afhankelijkheid van andere landen toe. Daarnaast is de afhankelijkheid van CCS in deze opzet groot. Dit kan problematisch zijn

omdat de potentiële opslagcapaciteit in Nederland niet onbeperkt is. Biomassa vormt ook een belangrijk onderdeel van het systeem, waarbij de mondiale voorraad van duurzame biomassa een onzekere factor vormt. Als de afhankelijkheid van importen kleiner wordt, dan betekent dit voor Nederland een veel groter aandeel windenergie. Daarvoor is het nodig dat men investeert in een capaciteit om elektriciteit op te slaan. Elektrisch rijden past daar goed bij.

Pan-Europees systeem

Het voordeel van een systeem op Europese schaal is dat de mogelijkheden van natuurlijke bronnen beter kunnen worden benut. Uitbreiding van het systeem aan de randen, zoals met Noord-Afrika, vergroot de mogelijkheden aanzienlijk. De beschikbaarheid van windenergie, zonne-energie, waterkracht (ook voor opslag) en biomassa in bepaalde regio's gaat soms veel verder dan de vraag in die regio's. Meer uitwisseling levert dan grote voordelen op. Het Europese aanbod van windenergie is veel minder grillig dan het Nederlandse aanbod. Voor Nederland betekent dit mogelijk dat meer windenergie op zee kan worden opgewekt en ingepast in de energievoorziening. Zonne-energie biedt in zuidelijk Europa en Noord-Afrika niet alleen een hogere efficiëntie, maar ook grotere leveringszekerheid. CSP-centrales houden voldoende energie vast voor elektriciteitsaanbod in de nacht. Het potentieel van biomassa voor energie kan vooral worden uitgebreid in streken met groot landbouwareaal. Waterkracht heeft een dubbele functie. Naast schone energie is waterkracht flexibel en kan het dienen als opslagreservoir, zodat vraag en aanbod goed op elkaar kunnen worden afgestemd. Afstemming wordt ook bevorderd doordat op Europese schaal het vraagpatroon vlakker is, mede door het tijdsverschil van enkele uren.

Een grootschalig systeem vraagt ook om aangepaste transport- en distributiesystemen. Elektriciteit verdient daarbij als drager de voorkeur, in elk geval voor korte afstanden. Wat de beste drager is voor de lange afstand is nog onduidelijk. Als gebruik gemaakt wordt van groen gas, dan kan nog lang van het gasnetwerk gebruik worden gemaakt. Maar ook door middel van een internationaal gelijkstroomnetwerk (supergrid) kan elektriciteit snel over duizenden kilometers worden getransporteerd met beperkte energieverliezen. De beperkingen voor het systeem zijn vooral institutioneel. Er zijn immers geen spelers die elektriciteitsdistributie over Europa verzorgen of een supergrid beheren. De meerwaarde van zo'n supergrid is sterk afhankelijk van het hernieuwbare energieaanbod in bepaalde regio's en is dus niet overal aanwezig. Bedrijven met plannen om op grote schaal in hernieuwbare energie te investeren, kijken juist naar de beschikbaarheid van infrastructuur. Als dit niet aanwezig is, is het ook niet aantrekkelijk om te investeren. Een kip-ei situatie die in versterkte mate optreedt bij de opbouw van een systeem waarin ook Noord-Afrika is inbegrepen. Het potentieel is groot, de infrastructuur nauwelijks aanwezig en de huidige geopolitieke situatie wordt als onvoldoende stabiel gezien. De opzet van een energiesysteem op deze schaal lijkt dan ook te vragen om een nieuwe institutionele vormgeving met nieuwe spelers of spelers in nieuwe rollen.

Robuuste onderdelen en keuzen

Om in 2050 een systeemverandering te realiseren zoals geschetst in de bovenstaande paragraaf, is het zaak zo snel mogelijk te beginnen met investeringen in de verdere implementatie van de technologie en in de bijbehorende infrastructuur. De vraag wat nu de robuuste en de minder robuuste onderdelen zijn, is echter niet eenvoudig te beantwoorden. Zo zijn er met name nog grote verschillen in voorkeuren van de politieke partijen over de onderdelen van een toekomstig energiesysteem. Robuust lijkt het in elk geval om te blijven inzetten op energiebesparing in de gebouwde omgeving en industrie, zuiniger auto's, benutting van warmte en groen gas (uit duurzame biomassa).

Robuust zijn energiebesparing, zuinige auto's en benutting van warmte

Daarnaast zijn er nog de nodige keuzen te maken met betrekking tot een toekomstig energiesysteem, zoals:

- De mate waarin schoon fossiel wordt ingezet om voor de komende 50–100 jaar een bijdrage te leveren aan een koolstofarme energievoorziening.
- Het al dan niet inzetten op kernenergie als mogelijke oplossing.
- Hoe de beperkt beschikbare capaciteit van zowel CCS als duurzame biomassa in te zetten?
- Een accent op een decentrale energievoorziening leidt tot hogere kosten, terwijl bij een accent op een Pan-Europees systeem de stuurbaarheid nog internationaal moet worden geregeld.
- Om decentrale energie-opties in te passen is een smart grid nodig dat op een slimme wijze decentrale energiebronnen aan elkaar koppelt, terwijl voor een Pan-Europees systeem een supergrid nodig is om landen te verbinden. Het is echter ook goed voorstelbaar dat een combinatie van beide systemen zal worden toegepast. Dit leidt wel tot hogere kosten.

5.4 Kansen voor economie en werkgelegenheid

Het afgelopen decennium is de mondiale vraag naar hernieuwbare energie sterk toegenomen. Ook voor de komende decennia verwacht men wereldwijd een sterke groei voor hernieuwbare energie technologieën. Zo raamt Roland Berger dat de wereldmarkt voor hernieuwbare energie technologieën tussen 2008 en 2020 zal toenemen van 340 naar 800 tot 1200 miljard euro (van der Slot *et al.*, 2010). Er is dus sprake van een internationaal sterk groeiende markt, met een verwachte bijdrage aan het mondiale bbp van ruwweg 1% in 2020. Door voorop te lopen in de overgang van een fossiele naar een koolstofarme samenleving ontstaan kansen voor bedrijven, die tevens groene banen kunnen opleveren en zo bijdragen aan een meer duurzame economie. Kijkend naar deze verwachting van een groeiende markt voor hernieuwbare technologieën is het zinvol na te gaan of en hoe de Nederlandse economie daarvan kan profiteren. Belangrijke vragen zijn in welke sectoren voor Nederland kansen liggen en wat de mogelijke economische toegevoegde waarde en werkgelegenheidseffecten zijn van een hernieuwbare energiesector.

Voor Nederland is de schatting dat in 2020 met hernieuwbare energie een bedrag van 8–14 miljard euro te verdienen valt, met maximaal 85.000 banen (van der Slot *et al.*, 2010). Factoren die een rol spelen bij het inschatten van kansen voor bedrijven in Nederland zijn de bestaande bedrijvigheid (een geavanceerde chemie- en agrosector), een hoog kennisniveau en structurele sterktes van Nederland (de ligging aan zee en het hoge kennisniveau) (van der Slot *et al.*, 2010). Op basis van de genoemde factoren en de verwachte economische effecten constateert het Innovatieplatform dat er voor Nederlandse bedrijven tot 2020 vooral kansen liggen in de bioketen en onderdelen van wind op zee (Innovatieplatform, 2010). Zo biedt de ligging aan zee en de Rotterdamse haven een comparatief voordeel voor bioraffinage en biogas, wat aansluit bij de Nederlandse ambities om een gasrotonde in Europa te worden. Het Innovatieplatform beveelt aan om duurzame energie als een van de sleutelgebieden voor de Nederlandse economie te benoemen en deze kansrijke gebieden te stimuleren.

Van der Slot constateert verder dat Nederland op tal van hernieuwbare energietechnologieën weliswaar een sterke fundamentele kennispositie heeft, maar dit onvoldoende weet om te zetten in patenten en bedrijvigheid. Voor het missen van kansen door Nederlandse bedrijven op het terrein van hernieuwbare energie zijn enkele verklaringen aan te geven. Ten eerste worden technologieën niet consistent in de tijd ondersteund, waardoor de gegeven subsidies nauwelijks bijdragen aan een sterkere economische positie. Er is vooral geld in de vorm van subsidies beschikbaar tijdens de R&D-fase en relatief weinig voor de marktintroductie (Pols *et al.*, 2009). Een tweede belangrijke factor is de onvol-

doende beschikbaarheid van kapitaal. Tot slot blijkt de Nederlandse thuismarkt voor hernieuwbare energietechnologie in veel gevallen onderontwikkeld te zijn. Dit vormt een belangrijke voorwaarde voor bedrijven om van hernieuwbare energie een succesvolle business case te maken (Pols *et al.*, 2009). Bij het inschatten van de werkgelegenheidseffecten en kansen voor de Nederlandse economie vallen nog wel de nodige kanttekeningen te plaatsen. Zo zal het op de lange termijn naar verwachting niet zozeer gaan om extra banen en werkgelegenheid, maar eerder om een proces van economische herstructurering waarbij een verschuiving plaatsvindt van banen en werkgelegenheid van vervuilende sectoren naar een groenere productie en duurzamere economie (PBL, 2009b). Voor een groei in banen is het immers nodig dat er sprake is van werkpotentieel onder de beroepsbevolking en in Nederland wordt voor de lange termijn eerder een tekort dan een overschot aan arbeidskrachten verwacht. Daarnaast is de tijdshorizon in de genoemde studies beperkt tot 2020. Dit leidt ertoe dat innovaties die tot grote markten kunnen leiden na 2020 buiten beeld blijven, terwijl het voorsorteren op deze kansen wellicht de komende jaren actie vereist. Een tweede consequentie van het slechts vooruit kijken tot 2020 is dat het gewicht van bestaande sectoren die op dit moment van belang zijn voor de huidige Nederlandse economie groot is. Door vooral aan te sluiten bij sectoren die nu al belangrijk zijn – zoals de chemie, transport en agrarische sector – blijft innovatie buiten deze sectoren mogelijk onderbelicht. Een belangrijke vraag is of het aanwijzen van winnaars wel goed mogelijk is, zeker op de lange termijn. Zo was vooraf in Finland ook niet duidelijk, wat de betekenis van Nokia voor de Finse economie zou worden.

Ondanks deze kanttekeningen blijft overeind staan dat de markt voor hernieuwbare energietechnologie de komende decennia sterk zal groeien en dat Nederlandse bedrijven van deze groeiemarkt kunnen profiteren. Om dit te kunnen doen dienen echter nog de nodige hindernissen te worden genomen en zal ook de overheid de nodige maatregelen dienen te nemen (zie paragraaf 5.5). De meer strategische keuze die voor ligt, is of Nederland op onderdelen voorop wil lopen door *zelf te investeren* in bedrijven die hernieuwbare energietechnologie produceren, of te wachten tot de kosten van technieken zijn gedaald door ervaringen en productie in andere landen en de technieken vervolgens te *importeren*.

5.5 Barrières en instrumenten

Er is technisch gezien voldoende potentieel aanwezig of in ontwikkeling om in Nederland in 2050 tot een koolstofarme samenleving te komen. De barrières die dit in de weg staan, lijken niet primair technisch van aard te zijn. Daarom wordt in deze paragraaf ingezoomd op enkele belangrijke economische, institutionele en gedragsmatige hindernissen. Hierbij geven we kort aan welke beleidsinstrumenten de overheid tot haar beschikking heeft om

te sturen richting een koolstofarme samenleving en wat de overheid kan doen om de gesignaleerde hindernissen weg te nemen.

Economische hindernissen

Voor hernieuwbare energie vormen op de korte termijn de huidige relatief hoge kosten per eenheid opgewekte energie een van de belangrijkste belemmerende factoren. Weliswaar nemen de eenheidskosten af indien het geïnstalleerde vermogen of de verkochte aantallen toenemen, maar die aantallen groeien pas echt als de prijs voldoende gezakt is. Dit vergt nog forse investeringen en de nodige tijd. Om dit leerproces te stimuleren kan de overheid zowel werken met financiële prikkels – zoals subsidies of fiscale regelingen – of regelgeving, zoals het opnemen van een verplicht aandeel hernieuwbare energie in de totale energiemix. Deze stimulering is nodig om de meerkosten van nieuwe technieken te overwinnen. Tegelijkertijd is het een reëel risico dat in een te snel tempo wordt gestimuleerd, terwijl de techniek nog relatief duur is. Zo heeft het Duitse feed-in systeem weliswaar geleid tot een aanzienlijk aandeel hernieuwbare energie in de elektriciteitsvoorziening, maar het tempo waarbij de Duitse overheid de installatie van zonnepanelen stimuleerde, was sneller dan het leerproces. De leerkosten werden hierdoor hoger, omdat leren naast schaal ook tijd kost en de prijsvermindering lager werd door het hoge tempo.

Een belangrijke verklaring voor het feit dat investeren in schone technologie onaantrekkelijk is, is dat de externe kosten onvoldoende in de prijs zijn meegenomen. Als dit wel zou gebeuren, zouden de prijzen van kolen en andere fossiele brandstoffen duurder worden. Dit zou een belangrijke financiële prikkel leveren om te investeren in schone technologie. De oplossing om het milieu beter in de prijzen te verwerken en daarmee tevens een prikkel te geven voor investeringen in schone technologie ligt dan voor de hand.

Voor CO₂ geldt dat er op EU-niveau door de invoering van het emissiehandelssysteem een prijs tot stand komt. Als gevolg van de huidige recessie is deze CO₂-prijs echter gedaald, waardoor de financiële prikkel nu beperkt is. Een mogelijkheid om de externe kosten beter in de prijzen mee te nemen, is om in te zetten op verdere vergroening van het belastingstelsel, zowel in Nederland als in de EU. Tevens kan milieu beter in de prijzen worden meegenomen door het afschaffen van subsidies en fiscale maatregelen die leiden tot meer emissies. In Nederland kan hierbij worden gedacht aan het stoppen met subsidiëren van rode diesel in landbouw en het verminderen van fiscale vrijstellingen voor grootverbruikers.

Een derde economische hindernis betreft de omvang van de benodigde investeringen om tot een koolstofarme samenleving te komen. Momenteel is als gevolg van de recessie sprake van krapte bij mogelijke financiers als gevolg van de recessie, wat het investeren in hernieuwbare energie en CCS bemoeilijkt. Zeker als bedacht wordt dat dit investeringen zijn, die door banken als risicovol worden beschouwd. Om het risicoprofiel van de investeringen te beïnvloeden, zou de overheid garanties kunnen afgeven aan banken. Verder zou kunnen worden gezocht naar andere financiers, zoals pensioenfondsen of groepen burgers.

Naast de beschikbaarheid van voldoende kapitaal spelen ook nadrukkelijk de vragen of en hoe er voor gezorgd kan worden dat tijdig voldoende geschoold personeel aanwezig is en hoe deze herverdeling van arbeid tegen minimale kosten kan plaatsvinden. De eerste resultaten uit de 'Green Growth Strategy' van de OESO wijzen erop dat de verwachte herverdeling van arbeid over sectoren, bedrijven en regio's aanzienlijk is en dat er grote veranderingen zullen zijn in vaardigheden (OESO, 2010).

Institutionele hindernissen

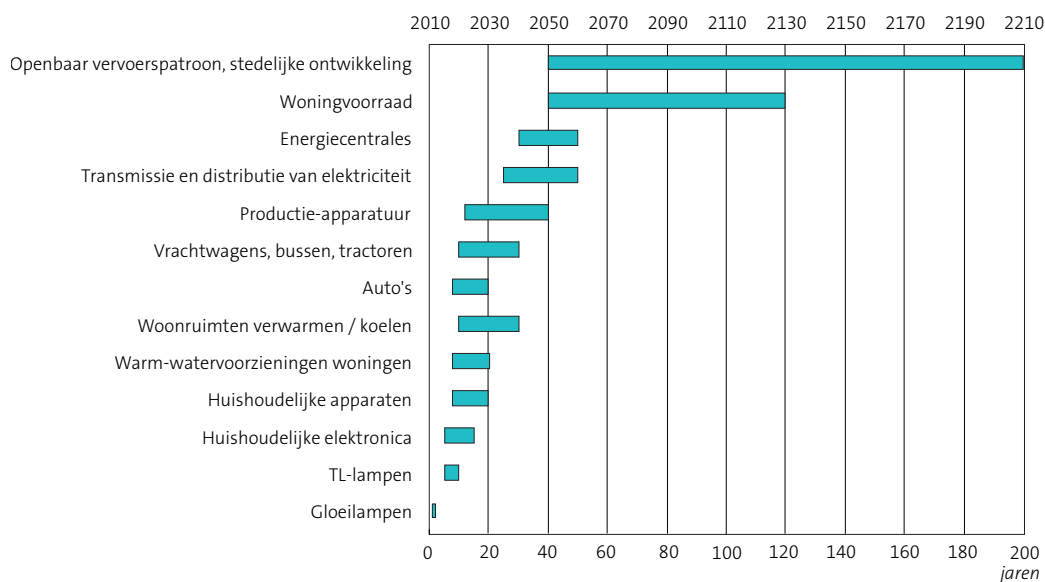
Op het institutionele vlak speelt allereerst dat realisatie van een koolstofarme samenleving ingewikkelde veranderingen vergt, omdat de systemen nou eenmaal complex zijn. Veranderingen vergen soms fundamentele systeemvernieuwingen zoals het verwarmen van woningen met elektriciteit in plaats van met het gas dat nu op grote schaal wordt gebruikt. Het gaat hierbij om complexe transitie, waarbij veranderingen in één domein samenhangen met veranderingen in andere domeinen. Deze complexiteit uit zich ook in wetgeving op diverse beleidsterreinen, die voor vertraging zorgen. Inzicht in welke wetgeving vertragend of belemmerend werkt voor het realiseren van de energietransitie is dan ook nodig, zodat de overheid waar nodig de wetgeving kan aanpassen of procedures kan versnellen. Wat bij de complexiteit tevens een rol speelt is dat vaak sprake is van gevestigde belangen, in termen van eerdere investeringen en machtsverhoudingen. De natuurlijke neiging is om deze belangen sterk te verdedigen ten gunste van het bestaande systeem.

Naast complex is het energiesysteem ook inert. Dit betekent dat veel investeringen die nu genomen worden in met name de energievoorziening of infrastructuur in 2050 nog aanwezig zijn (zie 5.5.1). In dat opzicht is 2050 dan ook dichtbij, omdat de gevolgen van huidige investeringen in 2050 nog zichtbaar en merkbaar zullen zijn. Daarnaast bestaat er spanning tussen het halen van lange termijn doelen, de korte termijn belangen van aandeelhouders en het kosteneffectief willen realiseren van de middellange termijn doelen. Marktconforme instrumenten, zoals emissiehandel, stimuleren tot het nemen van de goedkoopste maatregelen op de korte termijn. Op deze wijze kan bijvoorbeeld op een kosteneffectieve wijze worden voldaan aan de Europese verplichtingen voor 2020. Het geeft echter geen garantie en in de huidige omstandigheden nauwelijks een stimulans voor het investeren in hernieuwbare energie. Hiervoor zijn aanvullende beleidsinstrumenten nodig, zoals financiële regelingen of verplichtingen.

Een andere institutionele hindernis betreft de verdeling van de lusten en de lasten en gefragmenteerde beslissingen (de zogenaamde split incentive). Een split incentive houdt in dat de partij die investeert niet automatisch profiteert van de baten van de investering. Hierdoor zal de neiging om de investering ook daadwerkelijk te nemen gering zijn. Een goed voorbeeld van de split incentive betreft de toepassing van energiebesparende maatregelen door verhuurders in de gebouwde omgeving (zie paragraaf. 5.6 'Gebouwde omgeving').

Tenslotte speelt het ontbreken van een gedragen lange termijn visie en doel, die wordt ondersteund door langdurige sturing en stabiel beleid, een rol. Dit betekent een integrale blik vooruit, heldere (inter)nationale kaders en de nodige stabiliteit, bijvoorbeeld op het gebied van stimulering. Nederland heeft tot op heden een vrij instabiel 'track record' voor het stimuleren van hernieuwbare energie. Dit beweegt veel investeerders ertoe naar andere landen uit te wijken. De overheid zou de ontwikkeling van hernieuwbare en concurrerende technologie kunnen bevorderen door als 'launching customer' op te treden en goede, stabiele condities te scheppen voor de introductie van hernieuwbare energie. De verdergaande elektrificatie vraagt om aanzienlijke investeringen in de energie-infrastructuur en een regierol voor de overheid om deze infrastructuur in internationale samenwerking te realiseren.

5.5.1 De levensduur van onderdelen van het energiesysteem



Bron: PBL, 2009.

Belemmeringen voor duurzaam gedrag

Naast economische en institutionele barrières, zijn er ook gedragsmatige hindernissen, die er voor zorgen dat beschikbare duurzame technieken en producten in de praktijk niet op grote schaal worden gekocht of gebruikt door burgers. Alhoewel bij de meeste burgers sprake is van milieubewustzijn en zij bezorgd zijn over het klimaatprobleem, betekent dit nog niet dat er in de praktijk sprake is van grote bereidheid tot milieuvriendelijk gedrag.

Vooral gemakzucht, routines, tijdsinvestering, gebrek aan kennis en financiële overwegingen blijken hierbij een rol te spelen (Verbeek en Boelhouwer, 2010).

Veel veranderingen zijn lastig voor mensen omdat ze gevangen zitten in dagelijkse routines. Dit leidt er toe dat nieuwe oplossingsrichtingen vaak gezocht worden binnen het oude paradigma. Daarnaast zie je routines sterk terugkomen in gedrag van mensen. De meeste mensen zien het als een grote stap om veranderingen te maken: gedoe en onzekerheid zijn een sterke beperkende factor voor automobilisten om over te stappen op de trein of voor vleeseters om vegetarisch te leren koken. Het kiezen voor de eigen portemonnee of simpelweg gemak zijn ook belangrijke factoren in het aanschafgedrag. Omgekeerd geldt dat bepaalde aankopen niet worden gedaan omdat het veel geld, moeite of tijd kost. Zo vinden consumenten het prijsverschil tussen biologische en niet-biologische producten vaak te groot.

Het merendeel van de burgers beschouwt de overheid als belangrijkste partij om deze belemmeringen op te lossen (MNP, 2004 en 2007; Verbeek en Boelhouwer, 2010). Dit lijkt wel een heel makkelijke manier om te ontkomen aan het veranderen van individuele gedragskeuzen. Toch valt er veel voor te zeggen wanneer bedacht wordt dat er bij individuele keuzen veelal sprake is van een sociaal dilemma. Het sociaal dilemma treedt op wanneer burgers weliswaar weten dat het goed is om hun gedrag te veranderen, maar dit niet doen omdat dit voor henzelf minder positieve consequenties heeft (Vringer *et al.*, 2008). Dit treedt vooral op bij collectieve problemen, waarbij het handelen van een individu of land slechts een beperkte invloed op het effect heeft, terwijl hij wel de kosten maakt.

Om het gebrek aan kennis op te lossen, is vooral het verstrekken van informatie over de positieve en negatieve milieugevolgen van handelen van belang. Verder is informatie over de kosten en baten nodig, omdat veel mensen pas energiebesparende maatregelen nemen als de individuele baten groter zijn dan de kosten. Hierbij kan een milieulabel helpen. Indien de kosten voor duurzame producten flink hoger zijn dan voor reguliere producten of er onzekerheid is over de opbrengsten, vormt dit een belangrijke belemmering voor het kopen van duurzame producten. Dit speelt bijvoorbeeld bij zonnepanelen: het aanschafbedrag is relatief hoog en er is onduidelijkheid over de terugverdientijd.

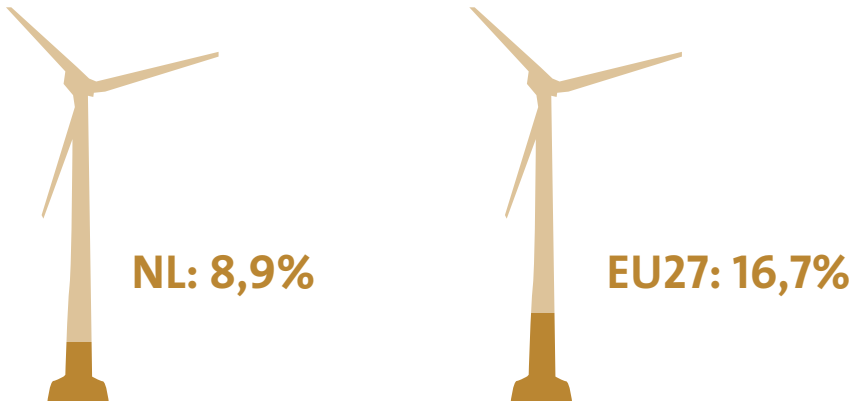
Om in te spelen op de gemakzucht en het terugdringen van de investering in tijd en moeite kan worden ingezet op de betere verkrijgbaarheid van duurzame producten. Op deze wijze kan circa de helft van de mensen worden overgehaald tot het kopen van meer duurzame producten (Verbeek en Boelhouwer, 2010). Het sociaal dilemma kan worden opgelost door te voorkomen dat er 'free riders' zijn, die geen maatregelen nemen maar wel meegenieten van het gerealiseerde effect. Om dit te omzeilen kan de overheid bijvoorbeeld bepaalde minimumeisen verbinden aan producten of producten beprijzen. Dit sluit ook beter aan bij de wensen van de burger, die liever dwingende maatregelen richting bedrijven ziet (MNP, 2007; Schothorst en ter Berg, 2010) met het oog op de te bereiken milieuwinst en het voorkomen van 'free riders'. De aangescherpte Europese eisen voor het elektriciteitsverbruik van elektrische apparaten is een recent voorbeeld van het verbinden van minimumeisen aan producten.

Tot besluit

De OESO constateert dat voor groene groei een brede en integrale instrumentenmix nodig is. Marktmechanismen spelen hier een belangrijke rol. Enkele effectieve instrumenten die de OESO signaleert zijn milieu in de prijzen, het aanmoedigen van investeringen in groene technologieën en het afschaffen van schadelijke subsidies zoals die op fossiele brandstoffen. Naast deze marktconforme instrumenten is ook regulering nodig om te komen tot een groenere consumptie en productie (OESO, 2010). Regulering is vooral nodig bij marktfalen en zwakke respons op prijssignalen of als een verbod op schadelijke activiteiten nodig is. Vrijwillige instrumenten spelen vooral een ondersteunende rol om het bewustzijn van producenten en consumenten te verhogen. Terugkijkend naar enkele dossiers waar in Nederland emissiereducties in de orde van 80% zijn gerealiseerd, onderschrijft het beeld van de OESO dat een brede instrumentenmix nodig is. Verder wordt duidelijk dat bij het realiseren van dergelijke emissiereducties regelgeving een belangrijke rol heeft gespeeld. Zo is het storten van afval sterk terug gebracht door eerst de storttarieven aanzienlijk te verhogen en vervolgens een stortverbod af te kondigen en te handhaven voor de meeste soorten afval. Bij het terugdringen van de emissies van luchtverontreinigende stoffen heeft voortschrijdende EU-regelgeving een belangrijke rol gespeeld. Voor de realisatie van een koolstofarme samenleving is het dus zeer aannemelijk dat ook een combinatie van marktconforme en regulerende instrumenten nodig is.

5.6 Acties en kortetermijnstappen aan de hand van drie cases

Door te kijken naar drie voorbeelden, zullen we meer specifiek ingaan op de bestaande uitdagingen. Wat zijn barrières die op korte en lange termijn moeten worden overwonnen om de potenties goed te kunnen benutten? Achtereenvolgens gaan we in op wind op zee, verkeer en vervoer en de gebouwde omgeving. Dit betreft zeker geen uitputtende overzichten maar geeft wel zicht op enkele belangrijke hindernissen en acties die op korte termijn kunnen worden genomen, om deze te overwinnen of om kansen voor de Nederlandse economie te ondersteunen.



Bron: Eurostat

% van bruto elektriciteitsverbruik

Windenergie op zee¹⁾

Windenergie op zee is een geaccepteerde techniek en wordt al voor 2020 ingezet door onder andere China, de VS en landen in de EU (EEA, 2009). Dat offshore windenergie geen nichemarkt meer is, blijkt ook uit de plannen voor de Noordzee, waar stapsgewijs schaal-sprongen in opgesteld vermogen worden gemaakt. Voor 2020 verwacht de EWEA circa 40 GW windenergie in de Europese wateren en in 2030 150GW (EWEA, 2009). Het potentieel van windenergie op de Noordzee bedraagt in 2050 tot 350 GW. De productie van windenergie wordt voor Noordwest Europa dan ook uiteindelijk beschouwd als een van de meest kansrijke opties om een groter aandeel hernieuwbare energie te realiseren.

De optimistische verwachtingen ten spijt, zijn er nog wel wat drempels te overwinnen. Om te beginnen is windenergie duur vergeleken bij andere bronnen van energie. De productieprijs van windenergie op zee ligt met 18 Eurocent/kiloWattuur ruim boven de productieprijs van energie uit conventionele bronnen (kolen ligt bijvoorbeeld op 4 Ect/kWh). Door leer- en schaaffecten is echter nog een flinke daling van productiekosten te verwachten naarmate de techniek zich verder ontwikkelt en efficiënter wordt. Een andere drempel is het vinden van voldoende en juiste locaties. Het ruimtegebruik van offshore wind staat ander ruimtegebruik namelijk in de weg en heeft ook nadelen voor de ecologie. Veel uitdagingen liggen bij de markt zoals prijsdaling door het ontwikkelen van de optimale vlootsamenstelling of het vinden van de goedkoopste fundering. De overheid speelt echter een belangrijke rol bij bepaalde uitdagingen. Hieronder bespreken we enkele onderwerpen waar de overheid invloed op heeft en mogelijke redenen tot ingrijpen.

¹⁾ Deze paragraaf is gebaseerd op onderzoeksmateriaal van de PBL-studie over dit onderwerp. De publicatie van het onderzoek naar Windenergie op de Noordzee zal later verschijnen.

De Nederlandse en Europese overheid kunnen bijdragen aan de kostenverlaging

Het beter adresseren van de milieuschade in de prijzen is een onderwerp waarbij een coördinerende rol van de overheid noodzakelijk is. Windenergie kent weinig externe kosten zoals luchtverontreiniging of CO₂-productie. In de huidige CO₂-prijs zijn deze kosten maar ten dele berekend. Als dit wel zou gebeuren dan zou windenergie op zee binnen enkele decennia vergelijkbaar of zelfs concurrerend met de conventionele technieken worden.

Daarnaast kan de overheid om de kosten van windenergie voor investeerders te verlagen zowel de investeringskosten als de rentekosten beïnvloeden. Een vorm van overheidssteun is nodig om het voor een (commerciële) ontwikkelaar interessant te maken om in wind op zee te investeren. In Nederland gebeurde dit tot voor kort via de Stimulering Duurzame Energie (SDE). Ook kunnen de rentekosten worden verlaagd, bijvoorbeeld doordat de overheid garant wil staan. Hierdoor neemt het risico voor kapitaalverstrekkers immers af. Een andere vorm van publiek investeren is als de overheid (mee)financiert. Een onderdeel dat zich hiervoor zou lenen is de aanleg van – een deel van – de elektriciteitskabel van het windpark naar land. Voor wat betreft het stimuleren van investeringen in groene technologie, zoals wind op zee, ligt in Nederland nu nadrukkelijk de keuze voor welke instrumenten hiervoor in te zetten. Gegeven de krappe financiën en vanuit het oogpunt dat de vervuiler betaalt, is het niet vreemd dat momenteel wordt nagedacht over het invoeren van een systeem van verplichtingen. Voor de korte termijn lijkt een garantiestelling voor de afname van stroom een eenvoudige optie die leidt tot lagere risico's (en dus lagere kosten) voor investeerders. Bij de stimulering is de omvang van belang. Het risico om te veel te doen terwijl de kosten nog hoog zijn is reëel. De vraag wat een optimale omvang lijkt is echter lastig te beantwoorden.

Het maken van ruimtelijke reserveringen kan ook bijdragen aan lagere prijzen. De locatie van windparken in de zee heeft namelijk direct invloed op de prijs. Belangrijke kostenverhogende factoren zijn de diepte van het water en de afstand naar het elektriciteitsnetwerk. Door deze factoren vertoont de kostenkaart van offshore windenergie op de Noordzee grote verschillen. De overheid is verantwoordelijk voor het ruimtelijk inrichten van de zee en kan op de goedkopere locaties voorrang geven aan windenergie. Daarnaast kan de overheid investeringen stroomlijnen door de ontwikkeling van het netwerk en de locaties voor windparken op elkaar af te (laten) stemmen. De ruimtelijke reserveringen dragen ook indirect bij aan de kostenverlaging. Zekerheid over het systeem van regelgeving, financiële ondersteuning en vergunningverlening en de hoogte van de subsidie lijken belangrijke succesfactoren voor het scheppen van een interessant investeringsklimaat voor offshore wind. Het zorgt er ook voor dat het (door investeerders ervaren) risico lager ligt.

Afstemming tussen lidstaten kan windparken goedkoper maken

De verschillen in vergunningverlening en regelgeving werken kostenverhogend voor ondernemers, doordat ze leiden tot een toename van de transactiekosten. Op dit moment ontwikkelt elk land eigen locaties voor windparken. Elk land heeft daar ook eigen systemen van vergunningverlening, regelgeving en financiële ondersteuning voor. Daarnaast

leiden verschillen in het systeem van financiële ondersteuning en ander beleid tot onderlinge concurrentie tussen landen. Dit probleem wordt groter als de door velen zo begeerde interconnectie tot stand komt. Een hypothetisch windpark midden op de Noordzee dat volledig is aangesloten kan op dit moment uit vijf subsidieregelingen kiezen.

Het institutionele systeem van de verschillende landen is momenteel echter nog niet klaar voor zulke internationale verbonden parken. Er zijn verschillen in de technische eisen aan installaties om aan te sluiten op het elektriciteitsnetwerk en de manier waarop kosten van dat netwerk berekend worden. Er zijn eerst afspraken nodig over handhaving van stabiliteit op het netwerk en afspraken over de toedeling van de duurzaam opgewekte stroom. Internationale samenwerking is sowieso nodig om de interconnectie tot stand te brengen. Deze uitbreiding van het netwerk is nodig voor uitwisseling van overschotten en tekorten. Het biedt ook kansen voor de inpassing van hernieuwbare energie uit wind en zon – beide zijn moeilijker inpasbaar in de nationale netten van kleine landen vanwege het intermitterende karakter. Op dit moment zoekt geen enkel land naar de meest kosteneffectieve locaties voor het totale gewenste eindvermogen op de langere termijn – en al zeker niet internationaal. Dat is onhandig, omdat in 2050 het eindvermogen mogelijk al wordt bereikt en de huidige locaties dan deels nog in gebruik zullen zijn. De parken die het Verenigd Koninkrijk nu bouwt, staan er nog in 2050.

Ruimtelijk plan voor de ongedeelde Noordzee

Ruimtelijke ordening is een mogelijke sleutel voor het wegnemen van enkele van de genoemde hindernissen. De afstemming van functies, het maken van ruimtelijke reserveringen voor wind op zee en ecologie vraagt om een internationaal gebruiksplan voor de gehele Noordzee. Dit belang zien we terug in het internationale beleid. De Europese Commissie moedigt Maritieme Ruimtelijke Ordening aan en ziet het als een van de instrumenten in de Maritieme Strategie (EC, 2008). Met een integrale, internationale ruimtelijke visie ligt er een bestuurlijk kader onder de uitbreiding van het windareaal. Door de procedures te versnellen en meer zekerheid te bieden voor de lange termijn kan de overheid transactiekosten reduceren, bijvoorbeeld met de reservering van groeirimte voor windparken. Daarnaast kan een ruimtelijk plan dat voorziet in de basisinformatie veel kosten besparen voor ondernemers. Bovendien stelt deze informatie de overheid in staat om de meest relevante locaties voor te selecteren. Tenslotte kan in een ruimtelijk plan de totale impact op de ecologie meegewogen worden. Op deze wijze wordt de uitruil tussen impact en compensatie op het juiste niveau gewogen; het ongedeelde ecosysteem van de hele Noordzee.

Benutten van kansen voor de Nederlandse economie

Offshore windenergie biedt kansen voor de Nederlandse economie. Eerder is al geconstateerd dat er voor Nederlandse bedrijven tot 2020 vooral kansen liggen in de bioketen en wind op zee en welke algemene factoren daarbij een rol spelen. Het is belangrijk dat bedrijven financiële ondersteuning ontvangen tijdens de R&D-fase en de marktintroductie. Ook speelt de beschikbaarheid van voldoende kapitaal voor hernieuwbare energietechno-

logie een rol. Daarnaast is het hebben van een thuismarkt een belangrijke voorwaarde voor bedrijven om van hernieuwbare energie een succesvolle businesscase te maken. De thuismarkt voor windenergie in Nederland lijkt echter nog onderontwikkeld. Hierdoor doen Nederlandse bedrijven niet de benodigde ervaring op met wind op zee om de leercurve door te maken. Er gaan daarom stemmen en tegenstemmen op voor 'industriepolitiek'. Zo leidde de recente aanbesteding van een windpark ten noorden van Schiermonnikoog aan een Duits bedrijf tot de nodige discussies.

Ook de Nederlandse havens zijn minder ver in vergelijking met andere landen als het gaat om het reserveren van capaciteit en ruimte in havens. Ten slotte ontbreekt het Nederland vooralsnog aan een langetermijnvisie voor hernieuwbare energie. Andere landen zijn hierin verder. Zo streeft Duitsland naar een aandeel van 50% hernieuwbare energie tegen 2050 en gunt Engeland de concessiegebieden op de Noordzee voor een periode van 40 tot 50 jaar (Crown Estate, 2008). Dergelijke langetermijndoelen geven investeerders een deel van de nodige zekerheid.

Nederland heeft geen goede staat van dienst als het gaat om het bieden van zekerheid, waardoor investeringen in wind op zee vaker in andere landen dan Nederland plaats vinden. Temeer omdat de hoeveelheid kapitaal die beschikbaar is voor risicovolle investeringen op dit moment nou eenmaal beperkt is (Min EZ, 2010). Indien Nederland een speler wil worden op het gebied van wind op zee en de mogelijke kansen binnen dit gebied wil benutten, dan vraagt dit onder andere om een stevige thuismarkt door stabiel stimuleringsbeleid van de overheid, het op korte termijn reserveren van gebieden van de Noordzee waar de kosten laag zijn en het spoedig reserveren van capaciteit in havens.

Wie te vroeg instapt betaalt de wind duur. Wie te laat instapt vist mogelijk achter het net. Nederland kan de keuze uitstellen en pas over tien jaar werk te maken van windenergie. Aan die keuze kleven enkele nadelen. Ten eerste: als niemand investeert blijft de techniek duur. Ten tweede is de keuze om later in te stappen minder vrijblijvend dan het lijkt. In Duitsland, Denemarken en Engeland wordt de productie infrastructuur ontwikkeld, worden ingenieurs opgeleid en een hele economie opgetuigd. Later instappen leidt er naar verwachting toe dat Nederland vooral importeur wordt van wind op zee en de kans op een bijdrage aan de Nederlandse economie door zelf bedrijvigheid voor wind op zee te realiseren laat lopen. Belangrijke vraag hierbij is wat minimaal nodig is aan stimulering van wind op zee om voldoende kennis op te doen voor de thuismarkt.

Verkeer en vervoer

Eerder is al geconstateerd dat om de broeikasgasemissies in 2050 met 80% of meer te reduceren de sector verkeer en vervoer veel minder CO₂-emissie mag uitstoten. Dit is een enorme opgave, zeker als wordt bedacht dat tussen 2000 en 2050 het verkeersvolume naar verwachting fors zal stijgen. Gangbare maatregelen zoals het verbeteren van de ver-

brandingsmotor, het fiscaal stimuleren van zuinige voertuigen of het verminderen van het verkeersvolume zijn onvoldoende om reducties van meer dan 50% te realiseren. In Hoen *et al.*, (2009) is reeds aangegeven dat er voor verregaande CO₂-reductie in de sector verkeer en vervoer aan drie cruciale condities moet worden voldaan:

- aanzienlijke veranderingen in reis- en consumptiegedrag en publieke acceptatie;
- de grootschalige beschikbaarheid van zo goed als klimaatneutrale brandstoffen;
- de grootschalige beschikbaarheid van geavanceerde auto technologie.

Om aan deze drie condities te voldoen zijn nog de nodige hindernissen te nemen. In deze paragraaf verkennen we enkele hindernissen. We beperken ons tot belangrijke subgroepen binnen de sector verkeer en vervoer, te weten: personenauto's, wegvervoer, scheepvaart en luchtvaart.

Personenauto's

Een belangrijk moment om de milieu-impact van het personenautoverkeer te beïnvloeden is bij de aankoop van een nieuwe auto. Op dit moment bestaan er vooral met betrekking tot de aanschafprijs, de tank- of oplaadtijden, de actieradius en de brandstofbeschikbaarheid grote verschillen tussen de conventionele auto en koolstofarme auto's. Koolstofarme auto's zoals elektrische auto's stoten minstens 90% minder CO₂ uit dan de huidige auto (Kieboom en Geurs, 2008; Ruigrok, 2008; Muconsult, 2001). Het aanschaffen van een koolstofarme auto zal voor de gebruiker tevens leiden tot veranderingen in de wijze waarop hij of zij zich verplaatst. Dat heeft betrekking op het gebruiksgemak en comfort van de auto en de aard en duur van de verplaatsingen. De aanschaf van een koolstofarme auto zal een gedragsverandering noodzakelijk maken. Omdat mensen hun gedrag liever niet aanpassen, zal de vraag naar koolstofarme auto's moeilijk op gang komen.

Een mogelijkheid om de transitie naar koolstofarme auto's te versnellen is door een kunstmatige markt te creëren. De overheid zou kunnen besluiten de barrières die automobilisten ervan weerhouden koolstofarme auto's te kopen met financiële prikkels weg te nemen. Zodra de prijs en prestatie van klimaatneutrale auto's die van de conventionele auto benadert, neemt de bereidheid toe om over te stappen, zo blijkt uit buitenlands onderzoek (Ewing en Sarigollu, 1998; Dagsvik *et al.*, 2002). Uit andere buitenlandse onderzoeken blijkt dat autokopers tevens gevoelig zijn voor veranderingen in de aanschafbelasting. De betalingsbereidheid voor gratis parkeren en gebruik mogen maken van andere busbanen en carpoolstroken is echter gering (Potoglou en Kanaroglou, 2007; Adler *et al.*, 2003). Overigens zijn prijsprykkels niet de enige manier om de barrières bij automobilisten te verkleinen. Het vergroten van de bekendheid van nieuwe technologie door middel van proefprojecten kan hier ook aan bijdragen. Het op korte termijn inzetten op hybride en plug-in hybride voertuigen lijkt efficiënt om een transitie naar volledig elektrische auto's te versnellen, omdat deze een vergelijkbare batterijtechnologie vereisen. Een alternatieve maatregel is het verplichten van een in de tijd oplopend aandeel hybride of elektrische personenauto's. Op deze wijze is er meer zekerheid over het aandeel elektrische personenauto's dat bijvoorbeeld in 2020 in Europa rond zal rijden.

Zowel elektriciteit als waterstof bieden de mogelijkheid om het grootste deel van het personenauto- en bestelautoverkeer op lange termijn klimaatneutraal te krijgen. Vooral nog lijkt de elektrische auto de meest kansrijke opvolger voor de verbrandingsmotor. Op dit moment is het nog niet zeker welke brandstoftechnologie als winnaar uit de bus gaat komen. Wel is het duidelijk dat het huidige Europese en nationale beleid om klimaatneutrale brandstoffen en autotechnologie te stimuleren te beperkt is om in 2050 klimaatneutrale automobilititeit te benaderen. De inzet van biobrandstoffen bij personen- en bestelauto's is (op lange termijn) niet doelmatig. De beperkte hoeveelheid beschikbare biobrandstoffen kan op de langere termijn beter worden ingezet voor het vrachtverkeer en de zee- en luchtvaart (PBL/SEI, 2009). Daarnaast vergt de invoering van nieuwe technologie veel tijd. Om te leren en de kosten terug te dringen is aanvullend beleid nodig. Het beleid dat voor het Europese doel voor 2020 wordt ingezet is daarvoor onvoldoende, omdat het zich vooral op incrementele efficiency verbeteringen van personenauto's richt. Het beleid staat hiermee grote technologische sprongen in de weg (Jeeninga en Schoots, 2008). Er is daarom andersoortig beleid nodig om de productie van klimaatneutrale brandstoffen en de introductie van auto's op elektriciteit of waterstof op gang te brengen (Hoen *et al.*, 2009). Zonder dit beleid zal een succesvolle transitie naar koolstofarme automobilititeit in de weg worden blijven gestaan door het dilemma waarbij: (1) de vraag laag blijft omdat de technische beperkingen van koolstofarme auto's te groot zijn, en (2) de technische beperkingen pas kunnen worden opgelost als de vraag fors toeneemt. De vraag hoe dit aanvullend beleid het beste kan worden vormgegeven zal veel meer dan nu het geval is onderwerp van onderzoek moeten worden, aangevuld met stapsgewijze acties (demonstraties). Tot die tijd is het raadzaam om te blijven inzetten op maatregelen die een transitie niet in de weg staan. Daarbij kan gedacht worden aan de kilometerheffing, verdergaande CO₂-normering, energie efficiënte banden en airconditioners, lichtere auto's en spanningsmeters voor banden.

Wegvervoer, scheepvaart en luchtvaart

In tegenstelling tot lichte voertuigen (personenauto's, bestelauto's, tweewielers) is op waterstof of elektriciteit rijden geen potentiële optie voor verregaande CO₂-reductie bij zwaar wegverkeer, de scheepvaart en de luchtvaart. Zonder aanvullend beleid zullen deze transportmodaliteiten op de lange termijn een zeer belangrijk aandeel hebben in de mondiale uitstoot van broeikasgassen. Voor deze verkeerscategorieën hangt de vermindering van de CO₂-uitstoot onder andere af van innovaties op het gebied van biobrandstoffen. Uit een recente analyse van het PBL blijkt in welke mate innovatie voor deze 'vergeten sectoren' in ons land van de grond komt. Marktpartijen en overheid kunnen hun invloed meer dan nu aanwenden om de CO₂-uitstoot van deze vergeten transportsectoren te reduceren (Hoen *et al.*, 2010). Voor het zware wegverkeer is er mogelijk nog een andere optie. Er zijn aanwijzingen dat ingrijpen in de logistieke keten tot forse emissiereducties zou kunnen leiden. Stevige prijsprikkels bijvoorbeeld zouden bedrijven en distributeurs kunnen bewegen om efficiënter te werken en zo kortere afstanden te rijden. Het lijkt raadzaam om na-

der te onderzoeken wat de economische gevolgen zijn van het optimaliseren van de logistieke keten. Om verregaande emissiereducties bij de luchtvaart te realiseren zijn nog doorbraaktechnologieën nodig. Zonder deze doorbraken is het niet mogelijk om in deze snelst groeiende transportsector emissiereducties van 80% of meer te bereiken.

Gebouwde omgeving

Momenteel wordt circa een derde van de broeikasgasemissies veroorzaakt door het gebruik van fossiele energie in de gebouwde omgeving. Meer dan de helft hiervan is afkomstig van woningen. Bij nieuwbouw streeft men naar een energieneutrale manier van bouwen vanaf 2020. Omdat de levensduur van gebouwen en woningen nu eenmaal lang is, zal in 2050 zo'n 70% van de huidige gebouwen nog bestaan (CPB/MNP/RPB, 2007). Daarom ligt vooral binnen de huidige bestaande gebouwen een grote uitdaging om de uitstoot van broeikasgassen te reduceren. Voor een deel kan dit door energiebesparing in bestaande gebouwen door middel van isolatie en door de efficiency te verhogen van elektrische apparaten die in en om gebouwen worden toegepast. Tenslotte kan de gebouwde omgeving in zijn warmtebehoefte worden voorzien door de inzet van warmte uit de omgeving (zon, bodem en lucht), restwarmte en groen gas in plaats van aardgas.

Er is technisch gezien voldoende potentieel aanwezig of in ontwikkeling om de gebouwde omgeving in Nederland in 2040 voor een groot deel (2/3) in de eigen energievraag te voorzien door verregaande energiebesparing en duurzame opwekking van energie in alle gebouwen (Builddesk, 2009; Opstelten, 2007). Bij een verdere ontwikkeling van de techniek en voortzetting van de energieprijzontwikkeling kunnen de kosten voor een groot deel van de noodzakelijke investeringen worden terugverdiend door besparing op de energierekening.

Isoleren van eigen woning niet vanzelfsprekend

Het nïsoleren van woningen heeft een groot besparingspotentieel. Een groot deel van de maatregelen is rendabel. Vanwege praktische bezwaren bij eigenaren van woningen worden de maatregelen echter niet getroffen. Woningeigenaren hebben geen zin in verandering en de bijbehorende verbouwingsoverlast of in de organisatorische en financiële rompslomp. Hierdoor worden veel investeringen waarvan de baten op termijn groter zijn dan de kosten toch niet genomen. Tevens vormt de hoogte van het te investeren bedrag vaak een belemmering. Om deze hindernissen te overwinnen en meer energiebesparing in de gebouwde omgeving te realiseren lijken verplichtingen of sterke prijsprikkels van essentieel belang. Hierbij kan men denken aan (verplichtende) normering voor bestaande huizen en gebouwen, aan fiscale instrumenten en/of het neerleggen van een verplichting tot energiebesparing bij energieleveranciers (witte certificaten). Verder kunnen andere instrumenten de benodigde investeringen ondersteunen. Voorbeelden zijn de koppeling van de onroerende zaakbelastingtarieven, eigenwoning forfait, de overdrachtsbelasting aan de energieprestatie van de woning, of de oprichting van een fonds dat de benodigde investeringen voorfinanciert.

Bij verhuur speelt de split incentive en financiering

Een meer institutionele belemmering komt doordat de lusten en lasten van de te nemen investeringen bij verschillende partijen liggen in de huursector van woningen en andere gebouwen, zoals kantoren. De kosten voor energiebesparende maatregelen liggen nu bij de verhuurder terwijl de huurder profiteert van de baten. Dit wordt ook wel aangeduid met de term 'split incentive'. Vaak is het voor de verhuurders niet mogelijk om de kosten via een verhoging van de huur door te belasten (CE, 2010b). Daarnaast vormen de benodigde financieringsmiddelen nog een hindernis om over te gaan tot energiebesparing in de gebouwde omgeving. Een goed vormgegeven overeenkomst tussen bewoners, corporaties en banken of institutionele beleggers kan het voor alle partijen aantrekkelijk maken om te komen tot een 'Green Housing Deal'. Institutionele beleggers kunnen de vereiste miljardeninvestering financieren. Voor hen zijn dergelijke projecten door de lage rente al snel een rendabele en bovendien een vrij risicoloze investering. Woningbouwcorporaties zien de waarde van hun vastgoed en hun huurinkomsten stijgen. De bewoners genieten meer wooncomfort en betalen de hogere huur met hun lagere stookkosten waardoor hun netto woonlasten gelijk blijven. Indien met verschillende deals voor de gehele bestaande woningvoorraad 30% energiebesparing wordt gerealiseerd, dan vermindert dat de CO₂-uitstoot met ruwweg 4% ofwel: ruim 5 Mton.

Mogelijke lessen uit de Green Deal in het Verenigd Koninkrijk

Op dit moment denkt men in Nederland na over het realiseren van een Green Deal. Een Green Deal is een gerichte aanpak om coalities te smeden en dus een middel om een deel van de vergroening van de economie te bereiken. De Green Deal in Nederland is een voorname van Kabinet Rutte gericht op energiebesparing in de gebouwde omgeving door meer (lokale) duurzame energie te gebruiken.

In het Verenigd Koninkrijk is eind 2010 al een Green Deal gelanceerd om de energetische verbetering van gebouwen te stimuleren. De Green Deal bestaat uit een raamwerk waarbij de precieze invulling nog in aanvullende wet- en regelgeving moet worden geregeld. De Green Deal is een regeling waarin de overheid het mogelijk maakt voor marktpartijen om besparingsmaatregelen te realiseren in woningen en utiliteitsgebouwen en om de kosten hiervan te innen via de energierekening. Voorwaarde voor opname van maatregelen in de Green Deal is dat de kosten van besparingsmaatregelen kleiner zijn dan of gelijk zijn aan de opbrengsten van maatregelen. De eerste Green Deals moeten eind 2012 van start gaan.

De Green Deal in het Verenigd Koninkrijk neemt barrières weg voor consumenten die geen (voordelige) lening kunnen krijgen en/of die opzien tegen een grote investering die zich pas op termijn terugverdient. De regeling voorziet namelijk in een constructie zonder voorfinanciering. Daarbij worden via de maandelijkse verrekening via de energierekening tegelijk de kosten voor de investering als de baten door besparing van energie inzichtelijk. Bij rendabele maatregelen levert dit bij onveranderd stookgedrag een maandelijks voordeel op. Daarbij zijn de kosten voor financiering lager dan de tarieven voor consump-

tief krediet, omdat de terugbetaling via de energierekening voor een betrouwbare aflossing zorgt. Marktpartijen leveren de financiering met privé kapitaal. Aanvullende regelgeving moet de nadere eisen voor deze kredietverstrekking vastleggen. Daarbij komt er een verplichting voor energiebedrijven om besparingen te realiseren bij huishoudens die geen maatregelen kunnen treffen zonder financiële steun.

De regeling neemt ook barrières weg voor eigenaren die niet willen investeren omdat ze mogelijk gaan verhuizen. De overeenkomst is namelijk niet verbonden aan de eigenaar, maar aan het eigendom en gaat over naar de volgende bewoner. In de huursector profiteert vooral de huurder van de lagere lasten door kosteneffectieve maatregelen. De Britse regering overweegt verplichtende maatregelen voor verhuurders als deze groep achterblijft bij het treffen van maatregelen. De regering overweegt de optie dat verhuurders een verzoek voor het treffen van kosteneffectieve maatregelen door huurders en gemeente niet mogen weigeren of een verplichting voor gemeenten om verbeteringen te eisen voor de slechtste gebouwen.

Veel consumenten ontbreekt het aan goede en betrouwbare informatie over mogelijkheden voor energiebesparing. De Green Deal beoogt dit probleem op te lossen door via accreditering van beoordelaars en installateurs te zorgen voor betrouwbare informatie. De aanbieders moeten hierbij aan eisen voldoen die de overheid stelt om de consument te beschermen en te verzekeren van een goed product. Klantwerving kan zowel plaatsvinden door de Green Deal provider, maar ook door elke lokale installateur zodat die klanten kan interesseren als hij voor andere werkzaamheden bij hen thuis is. Op deze wijze wordt goed aangesloten bij de bestaande netwerken. Tenslotte neemt de Green Deal voor een deel gedoe rondom de organisatie en uitvoer van de maatregelen weg doordat bedrijven een compleet pakket kunnen aanbieden dat voorziet in advies, financiën en uitvoer.

5.7 Enkele conclusies en strategische keuzen voor de komende jaren

Technisch gezien is het mogelijk om in Nederland in 2050 een koolstofarme samenleving te realiseren. In deze samenleving is de afhankelijkheid van leveranciers van fossiele brandstoffen verminderd en zijn emissiereducties van broeikasgassen in de orde van grootte van 80% en meer bereikt. Om dit te bereiken zijn het verhogen van de efficiency en het omschakelen naar een ander, koolstofarm energiesysteem twee cruciale factoren. Kernenergie, schoon fossiel en de inzet van hernieuwbare bronnen vormen de onderdelen

van een koolstofarme energiesysteem. Om tot een koolstofarme samenleving te komen, zijn er nog wel de nodige hindernissen. Deze hindernissen zijn niet zozeer technisch van aard, maar liggen met name op het economische, institutionele en gedragsmatige vlak. Om deze hindernissen te overwinnen, is een brede en integrale instrumentenmix nodig. Effectieve marktconforme instrumenten zijn het beter verdisconteren van de milieuschade in de prijzen, het aanmoedigen van investeringen in groene technologieën en het afschaffen van schadelijke subsidies. Daarnaast is regulering nodig, vooral als sprake is van een zwakke respons op prijssignalen of als een verbod op schadelijke activiteiten nodig is. Er blijkt uit andere dossiers waarbij in Nederland reducties van meer dan 80% zijn gerealiseerd – zoals afval en luchtverontreiniging – dat regelgeving een belangrijke rol heeft gespeeld. Voor de realisatie van een koolstofarme samenleving is dus een combinatie van marktconforme en regulerende instrumenten nodig.

Nodig is een combinatie van marktconforme en regulerende instrumenten

Daarnaast zijn er de komende jaren nog de nodige strategische keuzen te maken over de wijze waarop een koolstofarme samenleving in Nederland vorm kan krijgen. Enkele van deze keuzen zijn:

- Welke mix tussen een decentrale energievoorziening en een supranationaal energiesysteem wordt nagestreefd? Om de richting van de regierol van de overheid te identificeren, is hier zicht op nodig. Tot op zekere hoogte zullen beide nodig zijn. Maar moeten de benodigde verbeteringen in het elektriciteitsnetwerk vooral zijn gericht op een internationaal grid dat nationale netten koppelt of vooral op een smart grid dat op een slimme wijze decentrale energiebronnen aan elkaar koppelt? Vooruitlopend op het antwoord op deze vraag lijkt investeren in een Noord-West-Europees systeem voor elektriciteit – onder meer het stopcontact op zee – een robuuste optie. Op deze wijze kan ervaring worden opgedaan met het realiseren van nieuwe institutionele arrangementen en gezamenlijk worden nagedacht over de brandstofmix.
- Hoe de beperkt beschikbare capaciteit van CCS en duurzame biomassa zo optimaal mogelijk in te zetten? De vraag in welke mate duurzame biomassa in te zetten als biobrandstof, input voor elektriciteitscentrales of voor groen gas is hierbij in de praktijk al urgent. Hoe CCS in te zetten is een vraag om rekening mee te houden in de ruimtelijke planvorming. Daarnaast speelt de vraag in welke mate CCS gebruikt kan worden bij de industrie,

elektriciteitscentrales op fossiele brandstoffen. Ook is CCS een troef achter de hand om te zijner tijd in combinatie met biobrandstoffen negatieve emissies te realiseren.

- Op welke wijze om te gaan met het op grote schaal inpassen van hernieuwbare bronnen in een betrouwbare elektriciteitsvoorziening? Vooral via het aanpassen van vraagpatronen, opslag van energie of uitwisseling van energie?
- Wil Nederland de productie van hernieuwbare energie op onderdelen in eigen land bevorderen of juist importeren? Indien Nederland een speler wil worden voor wind op zee, dan vraagt dit onder andere om een stevige thuismarkt door een stabiel stimuleringsbeleid van de overheid en het op korte termijn reserveren van gebieden van de Noordzee en reserveren van capaciteit in havens. Belangrijke vraag hierbij is wat minimaal nodig is aan stimulering wind op zee om voldoende te kunnen leren op de thuismarkt.
- Wat is bij hernieuwbare energie de beste combinatie tussen het ondersteunen van onderzoek en ontwikkeling van nieuwe technologieën en het uitrollen van de technologie? Bij de uitrol is stimulering van de investeringen nodig om de leercurve te doorlopen, maar een te hoog tempo is niet kosteneffectief.
- Met het oog op een koolstofarme samenleving liggen er de komende decennia nog legio keuzen voor. De wetenschap kan aangeven wat de gevolgen zijn van bepaalde keuzen, bijvoorbeeld wat betreft de ruimtelijke consequenties van verschillende sporen; wat de effectiviteit en efficiency van instrumenten is, zeker als deze in combinatie worden ingezet; welke omstandigheden vooral van invloed zijn op de effectiviteit en efficiency van het in te zetten beleid; hoe beleid het beste kan worden vorm gegeven in een specifieke context; en welk institutioneel arrangement op welk schaalniveau nodig lijkt. Uiteindelijk ligt de keuze voor de route naar een koolstofarme samenleving en de daarbij in te zetten instrumenten echter bij de politiek. De vraag hoe het beleid het beste kan worden vormgegeven zal veel meer dan nu het geval is onderwerp van onderzoek moeten worden. Ten slotte is het een uitdaging om de energie in de samenleving te benutten en aan te sluiten bij lopende initiatieven bij bedrijven, gemeenten en burgers om op korte termijn de nodige stappen te zetten naar een koolstofarme samenleving.

