



BioSolar Cells

Toekomstbeelden van een duurzame energievoorziening in Nederland

Rol en positie van het onderzoeksprogramma

BioSolar Cells in de energietransitie

Lucien Hanssen
Huib de Vriend

Nijmegen / Driebergen
Juni 2013

Inhoudsopgave

Samenvatting	pagina 3
1. Ten geleide	pagina 6
2. Afbakening en onderzoeksvragen	pagina 7
3. Raamwerk voor analyse	pagina 10
4. Het duurzame energie speelveld	pagina 13
4.1 Het beleidsvenster	pagina 13
4.2 Het economievenster	pagina 16
4.3 Het samenlevingsvenster	pagina 18
4.4 Het technologievenster	pagina 20
5. Toekomstbeelden van een duurzame energievoorziening	pagina 22
5.1 Drijvende krachten	pagina 22
5.2 Nederland krijgt duurzame energie	pagina 24
5.3 Rol en positie BioSolar Cells in de energietransitie	pagina 26
6. Literatuur	pagina 29

Samenvatting

Het BioSolar Cells (BSC) programma richt zich op het verbeteren van het fotosyntheseproces waarmee algen en cyanobacteriën energie uit zonlicht vastleggen in chemische energie en het optimaliseren van hun teelt- en processystemen. Ook houdt het BSC programma zich bezig met de ontwikkeling van geavanceerde katalysatoren en nagebootste fotosynthese in zogenaamde kunstmatige bladeren. Het voordeel van kunstmatige bladeren ten opzichte van traditionele zonnecellen is dat deze systemen het geabsorbeerde zonlicht rechtstreeks via katalyse omzetten in een brandstof (bijvoorbeeld waterstof) die kan worden opgeslagen. Daarmee levert het BSC programma een bijdrage aan een duurzame energievoorziening en aan de productie van hoogwaardige groene grondstoffen voor chemie, voeding en pharma.

Het BSC onderzoek gaat verder dan het slim benutten van zonne-energie, BSC management en onderzoekers willen ook weten hoe de samenleving denkt over biosolar technologie.

Toepassingen uit het BioSolar Cells programma kunnen vele nieuwe vragen oproepen over onze leefomgeving, over maatschappelijke verhoudingen en over de wetenschap zelf. Vragen die niet alleen door wetenschappers en technologen kunnen worden beantwoord. Vanwege de impact die resultaten uit het onderzoek gaan krijgen, is het belangrijk al in een vroeg stadium de samenleving hierover mee te laten denken. Zien ondernemers iets in deze nieuwe toepassingen? Willen consumenten de nieuwe producten kopen? Hoe duurzaam zijn de toepassingen uit het BioSolar Cells programma? Het omgaan met dit soort vragen vraagt om een procesgerichte benadering waarin kansen, risico's, onzekerheden en opvattingen in onderlinge samenhang inzichtelijk worden gemaakt. Hierdoor is het mogelijk maatschappelijke kwesties rondom biosolar technologie niet alleen vroegtijdig te signaleren, maar ook duidelijk te adresseren. Om dat mogelijk te maken hebben we toekomstbeelden ontwikkeld. Door deze vragen in de context van verschillende toekomsten te plaatsen, kan namelijk worden benadrukt dat er voor de samenleving iets te kiezen valt. Dit schept een kader en creëert de ruimte die noodzakelijk is voor een constructieve gedachteswisseling met de stakeholders van het BSC programma.

Drijvende krachten

In dit onderzoek gaat daarom de aandacht niet alleen uit naar technologische, maar ook naar maatschappelijke vernieuwingen. We schetsen een overzicht van ontwikkelingen en krachten in verschillende domeinen van de samenleving die bepalend zijn of worden voor de energietransitie. Een van die ontwikkelingen betreft het gebruik van biomassa voor energieopwekking die de weg zou vrijmaken voor hoogwaardige benutting van groene grondstoffen. Toch is er steeds meer twijfel over de vraag of de eerste generaties biobrandstoffen (energiegewassen, agrarische restproducten en afvalstromen) wel fungeren als wegbereider voor een biobased economy. Er dreigt zelfs een *lock in* situatie: door de verdere optimalisatie van volwassen technologieën binnen bestaande productiestructuren wordt energiebenutting wel efficiënter, maar is er onvoldoende *incentive* om te investeren in innovatieve technologieën en productiesystemen die nodig zijn om een hoogwaardig gebruik van biomassa door slimme cascadering tot stand te brengen. Tegelijkertijd constateren we dat maatschappelijke organisatiestructuren meer en meer van hiërarchisch naar netwerk, van nationaal naar regionaal, en van lineaire naar circulaire productiesystemen gaan. Er ontstaan nieuwe samenwerkingsvormen op gebieden als de voedsel- en energievoorziening. Ook de overheid is op zoek naar een meer faciliterende rol. We staan volgens transitiedenkers op een kantelpunt met bijbehorende consequenties en draagvlak voor hernieuwbare energie.

Om tot toekomstbeelden of scenario's te komen, identificeren we eerst de belangrijkste trends en drijvende krachten (*drivers*) op het gebied van duurzame energie in de samenleving. Een trend definiëren we als een ontwikkeling die met een hoge mate van zekerheid zal plaatsvinden. Een driver is onzeker, kan verschillende richtingen opgaan en heeft een grote maatschappelijke impact, en is daarmee geschikt voor het ontwikkelen van uiteenlopende toekomstbeelden. Voor deze analyse maken we gebruik van bureaustudie, interviews en deelname aan bijeenkomsten over duurzame energie. Een selectie van de belangrijkste drijvende krachten voor een transitie richting een duurzame energievoorziening maken we aan de hand van een overzicht van de ontwikkelingen, waarbij we

vanuit vijf actorgroepen - overheden, bedrijfsleven, ngo's, coöperaties en consumenten - door vier bepalende vensters naar de energietransitie kijken. Voor elk van de actorgroepen maken we eerst aparte deelanalyses, waarin telkens relevante drivers en trends voor de energietransitie vanuit een Nederlands perspectief zijn gearticuleerd. Deze deelanalyses zijn opgenomen in een aparte rapportage.

Vensters

Kijkend door het beleidsvenster zien we dat een effectief en consistent beleid voor de lange termijn wordt gezien als een cruciale factor. We hebben het dan vooral over subsidie- en fiscaal beleid en het effect ervan op de kansen voor verschillende spelers en technologieën. Bij voorkeur resulteert dit in gelijke toegang tot kennis, technologie, subsidies en markt voor alle partijen (*level playing field*). In Nederland zien we echter een ongelijk speelveld voor de verschillende toepassingen van biomassa. In de praktijk wordt vooral het gebruik van biomassa in de vorm van energie gestimuleerd. Dit gebeurt door beleid gericht op productie van duurzame elektriciteit (SDE⁺-subsidie) en verplichte bijmenging van biobrandstoffen. Bovendien wordt het huidige EU-stelsel van CO₂-emissierechten en de handel daarin door de meeste actoren als inefficiënt bestempeld en is er een luider wordende roep om een slimme CO₂-belasting. De combinatie van subsidies en beprijzing van CO₂ heeft een grote impact op de verdere ontwikkeling van de energievoorziening. Onzekerheid over de richting waarin deze drijvende kracht van subsidie- en fiscaal beleid zal werken, is gelegen in de onzekerheid over de politieke ontwikkelingen op nationaal en internationaal niveau.

In het economievenster is de mogelijkheid en bereidheid van verschillende partijen om te investeren in efficiëntieverbetering van bestaande energietechnologieën en in ontwikkeling van nieuwe duurzame technologieën van doorslaggevend belang. De termijn waarop en de mate waarin een *return on investment* kan worden verwacht, is hierbij beslissend. Of grootschalige investeringen in duurzame energievoorziening voldoende aantrekkelijk worden voor investeerders hangt onder meer af van het overheidsbeleid, de prijsontwikkeling van fossiele brandstoffen en de ontwikkeling van de technologie zelf. Banken zijn terughoudend geworden bij het financieren technologisch risicovolle projecten. Durfkapitalisten kunnen in Nederland en de rest van Europa vaak onvoldoend rendement halen en wijken uit naar China en de VS. De beschikbaarheid van conventioneel investeringskapitaal is daarmee een onzekere factor geworden. Conventionele financieringsstructuren lijken onvoldoende om het benodigde investeringsvolume te financieren; de verhouding tussen rendement en risico dient te worden verbeterd. Voor een deel zou de overheid investeringsvehikels mogelijk kunnen maken die minder risicovol zijn en meer kapitaal kunnen aantrekken. Daarnaast kan worden aangesloten bij maatschappelijke ontwikkelingen door nieuwe constructies, zoals vormen van corporatieve financiering en kleinschalig participatief beleggen of *crowd funding* mogelijk te maken. De energietransitie vraagt dus niet alleen om technische, maar ook om financiële innovatie. De snelheid waarmee en de mate waarin die financiële innovatie zich zal voltrekken is onder meer afhankelijk van maatschappelijke en economische ontwikkelingen en de juridisch-fiscale ruimte die (nieuw) beleid gaat bieden. Deze combinatie van factoren zorgt voor een grote mate van onzekerheid.

Binnen het samenlevingsvenster is de belangrijkste vraag hoe bottom-up initiatieven en nieuwe manieren van besluitvorming die aansluiten bij een verandering van de rol van consumenten in prosumenten zich zullen ontwikkelen. Vanwege hun kleinschaligheid is de directe impact van dergelijke initiatieven weliswaar beperkt, indirect kunnen ze wel veranderingen in de bestaande structuur van de energievoorziening teweeg brengen. Onzekerheid is er vooral over de schaal waarop een dergelijke maatschappelijke herorganisatie zal doorzetten - en daarmee is er ook onzekerheid over de mate waarin deze transitie zal doorwerken in andere domeinen. Het zoeken naar nieuwe waardeketens waarbinnen producenten en consumenten met elkaar nieuwe regels en tradities afspreken en nieuwe markten ontwikkelen, kan een daadwerkelijke steun voor duurzame energie inhouden. Over de vertaling van het maatschappelijke draagvlak voor duurzame energie in een bereidheid daarvoor te betalen, bestaat minder onzekerheid. Ondanks de beledenen steun zullen huishoudens en bedrijven niet vanzelf meer willen gaan betalen of hun energiesubsidies opgeven.

In het technologievenster kunnen we vaststellen dat er minder onzekerheid is over de vraag of nieuwe technologie zal worden ingezet. De mate waarin en de manier waarop is echter afhankelijk van andere

factoren, zoals beleidsbeslissingen, de capaciteit om te investeren, lock-in effecten en afschrijvingstermijnen van oude technologie. Ook is er een belangrijke theoretische limiet, die los staat van draagvlak en strategieën: technologieën hebben in de regel een tijdpad nodig van ongeveer dertig jaar om ontwikkeld, operationeel en geoptimaliseerd te worden. Hierdoor is het niet mogelijk om uitspraken te doen over de impact van technologie als zelfstandige drijvende kracht. Kijken we naar de realisatie van specifieke technologieën dan is de onzekerheid variabel. Uiteraard is er verschil tussen technologie die al volop in ontwikkeling is en technologie die nog in de kinderschoenen staat. In het laatste geval is de implementatie per definitie onzeker en is het moeilijk iets te zeggen over de impact. Daarnaast kan onderscheid worden gemaakt tussen incrementele technologie die inpasbaar is in bestaande (infra)structuren en radicale technologie die verandering in de economische en maatschappelijke organisatiestructuren vereist. In beide gevallen is de impact sterk afhankelijk van de aard van de technologie en de maatschappelijke context waarin hij wordt toegepast.

Toekomstbeelden

Voor het maken van toekomstbeelden selecteren we de belangrijkste drijvende krachten die zowel qua onzekerheid als qua impact hoog scoren. Deze drijvende krachten gebruiken we voor het opzetten van een raamwerk voor het doordenken van verschillende perspectieven op en ontwikkelingen in een duurzame energievoorziening. Om de toekomstbeelden in een brede transitiecontext te kunnen plaatsen interviewen we *leading experts* die zijn geselecteerd op basis van hun gezag en kennis van technologieontwikkeling, als van het maatschappelijke krachtenveld op het terrein van duurzame energievoorziening. Een weerslag van deze gesprekken is terug te vinden in de vier intermezzo's die in hoofdstuk vier zijn opgenomen.

Op basis van de dominante drivers schetsen we twee toekomstbeelden: Nederland als Energie Haven en Nederland als Energie Boerderij. Er is gekozen voor de metafoor van de haven omdat de haven goed past in het beeld van Nederland als in- en doorvoerland van grote stromen fossiele en groene grondstoffen, verbruik in energieproductie of verdere verwerking in de omringende gebieden door raffinage en chemische industrie. Ook de groei en ontwikkeling van offshore windenergie en aquacultuur past in dit beeld van een grootschalig en intensief gebruik van het kustgebied en havens. De tweede metafoor is die van de boerderij. De boerderij staat model voor kleinschalige productievormen gekoppeld aan lokale en regionale distributienetwerken waarin huishoudens en het MKB al dan niet in collectieve verbanden energie produceren via wind, zon of andere hernieuwbare bronnen om in hun eigen behoeften te voorzien. De omvang van deze vormen van energieproductie is nog beperkt, maar wel sterk groeiend. De voorziene verdere ontwikkeling van decentrale opwekking heeft grote effecten op de energienetten. Netbeheerders ondersteunen deze energieontwikkelingen en zijn proefgebieden gestart met intelligente besturingstechnologie voor lokale producenten en afnemers. Deze *smart grids* kunnen op termijn ook de handel in energie faciliteren en deze zelfs ingrijpend veranderen.

Wordt één van de hier geschetste toekomstbeelden realiteit, of wordt het een mengvorm? Het antwoord op die vraag kan hier en nu niet worden gegeven. Hoe de toekomst er uit zal zien is niet alleen afhankelijk van de technologie die onder meer in het BioSolar Cells programma wordt gegenereerd, maar wordt in belangrijke mate bepaald door drijvende krachten en keuzes in het beleid, de economie en de samenleving. Als er wordt besloten om biosolar technologie in de komende jaren verder door te ontwikkelen en uit te rollen, dan kan dit het beste gebeuren in de vorm van een gefaseerde business case waaraan een pilot is vooraf gegaan. Hiermee kan optimaal rekening worden gehouden met alle actoren en drijvende krachten op het gebied van duurzame energie die zijn geschetst in de vier vensters.

1. Ten Geleide

De zon levert energie die we duurzaam kunnen benutten als het lukt om die energie effectief op te vangen en vast te leggen. Het BioSolar Cells (BSC) programma richt zich op de verbetering van het systeem waarmee planten, algen en sommige bacteriën deze energie uit zonlicht opnemen. Het onderzoek in BSC richt zich op het optimaliseren van het fotosyntheseproces en het ontwikkelen van 'kunstmatige bladeren'. Daarmee levert het programma een bijdrage aan een duurzame energievoorziening en aan de productie van hoogwaardige groene grondstoffen voor chemie, voeding en pharma. Het BSC onderzoek gaat verder dan het slim benutten van zonne-energie. BioSolar Cells wil ook weten hoe de samenleving denkt over nieuwe technologieën. Om een breed draagvlak te verkrijgen, dienen wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen in een vroeg stadium en op een reflectieve wijze te worden bediscussieerd. In plaats van te wachten tot het moment waarop de samenleving alleen maar ja of nee kan zeggen tegen gegeven opties, kunnen we kiezen voor een benadering die de mogelijkheden biedt om de maatschappij zelf mede vorm te laten geven aan die ontwikkelingen. De inbreng van niet-academische en meer praktische kennis kan de technologieontwikkeling niet alleen verrijken, het meedenken door de samenleving zal er eveneens toe leiden dat academische feiten en argumenten minder worden betwist (Hanssen 2009).

De maatschappelijke debatten over genetische modificatie en meer recent over nanotechnologie hebben laten zien dat de manier waarop een nieuwe technologie door zowel de experts als door betrokken maatschappelijke actoren wordt gepresenteerd van grote betekenis is voor publieke steun. Daarbij gaat het om de perceptie van de wijze waarop, en het doel waarmee de technologie wordt ontwikkeld. Waarden spelen een belangrijke rol in de publieke oordeelsvorming. Maatschappelijke debatten gaan veel vaker over economische, sociale, of morele waarden die mensen belangrijk vinden en de manier waarop die waarden zich tot elkaar verhouden, dan over de technologie zelf. Een debat dat geen ruimte biedt voor articulatie van die waarden maakt bij voorbaat weinig kans (Hanssen et al. 2013).

Open toekomst

Een andere les uit technologiedebatten is dat er ruimte moet zijn voor handelingsperspectieven die kunnen leiden tot verschillende toekomstbeelden. Ontbreekt die ruimte, dan zal voor stakeholder- en publieksgroepen ook de prikkel ontbreken om aan een debat deel te nemen. We kunnen de toekomst niet voorspellen, maar ons er wel op voorbereiden door na te denken over mogelijke ontwikkelingen en bijbehorende technologietrajecten. Daarbij realiseren we ons dat de toekomst niet vastligt. Er zijn meerdere scenario's mogelijk. Toekomstbeelden die verschillen omdat de maatschappelijke waarden die er aan ten grondslag liggen zich op een andere manier tot elkaar verhouden. Door het debat in de context van verschillende toekomsten te plaatsen kan worden benadrukt dat er voor de samenleving iets te kiezen valt - en dat waardeoriëntaties daarin een belangrijke rol spelen. Dat schept een kader en creëert de ruimte die noodzakelijk is voor een zinvolle en constructieve gedachtewisseling.

Zo roepen ook toepassingen uit het BioSolar Cells programma nieuwe vragen op over onze leefomgeving, over maatschappelijke verhoudingen en over de wetenschap zelf. Vragen die niet alleen door wetenschappers en technologen kunnen worden beantwoord. Vanwege de impact die resultaten uit het onderzoek gaan krijgen, is het belangrijk al in een vroeg stadium als samenleving hierover mee te denken. Zien ondernemers iets in deze nieuwe toepassingen? Willen consumenten de nieuwe producten kopen? Hoe duurzaam zijn de toepassingen uit het BioSolar Cells programma? Het omgaan met dit soort vragen vraagt om een procesgerichte benadering waarin kansen, risico's, onzekerheden en opvattingen inzichtelijk worden gemaakt. Hierdoor is het mogelijk maatschappelijke kwesties rondom BioSolar Cells niet alleen vroegtijdig te signaleren, maar ook duidelijk te adresseren. Uitkomsten kunnen worden ingezet om onderzoeksagenda's en technologietrajecten bij te sturen naar gewenste maatschappelijke praktijken (Hanssen & Gremmen 2013).

2. Afbakening en onderzoeksvragen

Het BioSolar Cells programma richt zich op twee grote maatschappelijke behoeften: energie en voedsel. Hoewel de maatschappelijke debatten over energie en over voedsel raakvlakken kennen, verschillen ze sterk van karakter en dat maakt het lastig om het onderzoek op beide terreinen tegelijk te richten. In Europa bevindt het debat over nieuwe technologie en voedselvoorziening zich al jarenlang in een impasse. Uiteenlopende pogingen om die impasse te doorbreken hebben gefaald (De Vriend & Schenkelaars 2008). We zien daarom meer ruimte en kansen in het maatschappelijke debat over BioSolar Cells in de energievoorziening. Resultaten van Eurobarometeronderzoek laten zien dat een meerderheid van de Europese burgers voorstander is van het gebruik van duurzame energiebronnen als zon, wind, waterkracht en biomassa (European Commission 2007). Het thema duurzame energie biedt eveneens kansen om aan te sluiten bij lopende maatschappelijke initiatieven en overheidsbeleid - zowel in regionaal, nationaal als in EU-verband.

BioSolar Cells programma

BioSolar Cells (BSC) is een omvangrijk en ambitieus publiekprivaat onderzoeksprogramma dat loopt van 2012-2016 en waarin onderzoek wordt verricht naar fotosynthese, de efficiëntie daarvan in verschillende planten en de productie van brandstoffen uit algen, cyanobacteriën en kunstmatige systemen. Een deel van het onderzoeksprogramma is fundamenteel van aard en richt zich bijvoorbeeld op de vraag welke mechanismen een rol spelen in het verschil in efficiëntie van de fotosynthese tussen plantensoorten en het ontwikkelen van modelsystemen. Andere onderdelen van het programma, variërend van het gebruik van LED-verlichting in kassen tot het ontwikkelen van 'kunstmatige bladeren', zijn meer toegepast van aard. Het plantenonderzoek is voornamelijk gericht op het begrijpen van verschillen in natuurlijke fotosynthesesystemen en het verbeteren van de groei van planten, die vooral worden gezien als bron van voedingsmiddelen. Hierbij gaat het ondermeer om de bestudering van de fotosynthese-eigenschappen van relevante gewassen onder uiteenlopende groeiomstandigheden, de ontwikkeling van modellen voor fotosynthese-eigenschappen in planten, identificatie van relevante genen die zijn betrokken bij de fotosynthesecapaciteit en productiviteit met het oog op genetische verbetering, of het verbeteren van de productiviteit van gewassen zoals tomaten (Klein Lankhorst et al. 2013).

Het plantenonderzoek is gefocust op voedselproductie en speelt in het BSC programma geen prominente rol in het oplossen van het energievraagstuk. Het onderzoek naar algen, cyanobacteriën en kunstmatige fotosynthese is vooral gericht op de productie van (transport)brandstoffen en bouwstenen voor de chemie. Van de 42 miljoen Euro die in het onderzoek wordt geïnvesteerd, is 25 miljoen Euro afkomstig van publieke middelen. Sinds het najaar van 2012 maakt het BioSolar Cells programma deel uit van het Topconsortium Kennis & Innovatie (TKI) BioBased Economy (BBE). In dit TKI gaat het om alle mogelijke toepassingen van biomassa: energie, veevoer, voeding, biomaterialen en fijnchemicaliën.¹

Toekomstbeelden

In onze bijdrage aan het Cluster Maatschappelijk Debat van het BioSolar Cells programma ontwikkelen we scenario's voor de transitie naar een duurzame energievoorziening in Nederland. Er is gekozen om met toekomstbeelden te werken, omdat hierbinnen niet de technologie zelf centraal wordt gesteld, maar de maatschappelijke context waarin die technologie al dan niet een plek krijgt. Dit schept ruimte voor een discussie over maatschappelijke uitgangspunten en de mogelijke rol van kennis en toepassingen uit het BioSolar Cells programma in verschillende maatschappelijke contexten. In onze scenarioaanpak van een duurzame energievoorziening beperken we ons in eerste instantie tot Nederland en relevante regio's. Duurzame energie in de zin van onderzoek, beleid of financiering is zeker ook een Europees en zelfs een globaal thema. We refereren aan landen om eens heen, zoals Duitsland en Denemarken, waar duurzame energie al een substantieel deel van de energiemix uitmaakt. Ook duiden we de consequenties van het energiebeleid van grote wereldspelers, zoals de Verenigde Staten en China, voor Nederland.

¹ Zie: www.tki-bbe.nl

In 2014 start *Horizon 2020* het nieuwe kaderprogramma voor onderzoek van de Europese Unie.² Het doel van Horizon 2020 is drieledig: het versterken van de positie van de EU op het gebied van wetenschap; het versterken van industrieel leiderschap op het gebied van innovatie; en het adresseren van grote maatschappelijke kwesties. Dit laatste richt zich op uitdagingen, zoals klimaatsverandering, duurzaam transport, hernieuwbare energie en voedselgarantie. Voor een deel komen deze opgaven overeen met die van het BioSolar Cells programma.

Om het transitieproces zichtbaar te maken schetsen we een doorkijk naar de middellange termijn (2013-2020). In 2020 moet de impact zichtbaar zijn van de huidige generatie incrementele technologieën voor hernieuwbare energie.³ In de periode na 2020 is er ruimte voor de toepassing van nieuwe doorbraaktechnologieën en radicale innovaties die pas op langere termijn van betekenis zullen worden. Als we kijken naar de mogelijke rol van kennis en technologie uit het BSC-programma in de transitietrajecten dan focussen we in eerste instantie op toekomstverwachtingen op het gebied van algenteelt als een voorbeeld van een incrementele innovatie en naar kunstmatige bladeren als een voorbeeld van een meer radicale innovatie.

We kijken niet alleen naar kennis en technologie, maar ook naar (keten)organisatieaspecten en maatschappelijke inbedding. Er zullen nieuwe waardeketens ontstaan, waarbinnen producenten en consumenten met elkaar nieuwe regels en tradities afspreken, en nieuwe markten ontwikkelen. In het onderzoek is er daarom ook aandacht voor het signaleren van mogelijke maatschappelijke partners voor BSC en kansrijke coalities. Daarnaast is het goed om te kijken waar nieuwe groeperingen ontstaan rondom alternatieve energienetwerken, maatschappelijke bewegingen die een alternatief bieden tegenover traditionele energieproducenten en -leveranciers.

De Europese Unie heeft als doelstelling voor 2020 om 20 procent van het energiegebruik in Europa duurzaam op te wekken. Nederland moet hier met 14 procent aan bijdragen. Het kabinet Rutte II is ambitieus en wil in 2020 dat zelfs 16 procent van onze energie duurzaam wordt opgewekt. Het aandeel hernieuwbare energie in het totale energieverbruik was vorig jaar (2012) 4,4 procent (CBS StatLine 2013). Zestien procent voor 2020 is geen geringe opgave en betekent dat er een jaarlijkse groei in de duurzame energieproductie van 17,5 procent nodig is.⁴ Belangrijk voor de slaagkans is de huidige discussie in de Sociaal-Economische Raad (SER) over een nieuw akkoord voor het Nederlandse energiebeleid voor de langere termijn.⁵ De SER faciliteert het proces en bindende afspraken over energiebesparing, schone energietechnologieën en klimaatbeleid zijn er onderdeel van. Tegelijkertijd moet het aanzetten tot duurzame groei en groene werkgelegenheid.

Onderzoeksvragen

In ons onderzoek gaat de aandacht niet alleen uit naar technologische, maar zeker ook naar maatschappelijke vernieuwingen. Op de eerste plaats willen we een overzicht verkrijgen van de ontwikkelingen en krachten in de verschillende domeinen van de samenleving die bepalend zijn of gaan worden voor de energietransitie. Een eerste onderzoeksvraag luidt:

Welke zijn de bepalende krachten voor een transitie richting een duurzame energievoorziening?

Er wordt vaak gesteld dat energiebenutting van biomassa de weg vrijmaakt voor hoogwaardige benutting van groene grondstoffen. Eerste en tweede generatie biobrandstoffen zijn een alternatief voor fossiele brandstoffen, maar sluiten tegelijkertijd goed aan bij behoeften van gevestigde partijen in de energiewereld. Er is echter steeds meer twijfel over de vraag of de eerste en tweede generatie biobrandstoffen (energiegewassen, agrarische restproducten en afvalstromen) wel fungeren als wegbereider voor de biobased economy. Onderzoekers laten zien dat een verbreding naar ander sectoren zoals chemie of pharma niet vanzelf optreedt. Er dreigt een *lock in* situatie: door de verdere optimalisatie van volwassen technologieën wordt energiebenutting steeds efficiënter, maar komt een

² Zie: <http://ec.europa.eu/research/horizon2020/>

³ Met incrementele technologie wordt een bestaande technologie bedoeld die klaar is te implementeren en gaandeweg dat traject wordt verbeterd en opgeschaald.

⁴ Berekend volgens de formule: $4,4 \cdot (1+X)^8 = 16$. 4,4=percentage startjaar (2012); X=benodigd groeipercentage; 8=aantal jaren dat beschikbaar is; 16=streefpercentage eindjaar (2020). Hieruit volgt dat X=17,5 procent.

⁵ Zie: www.energieakkoordser.nl

hoogwaardig gebruik van biomassa door slimme cascadering ⁶ niet tot ontwikkeling (Weterings et al. 2011). Een tweede vraag is daarom:

Hoe kom je tot een afstemming van incrementele en radicale innovatie zonder lock-in effecten?

Daarnaast mogen we constateren dat maatschappelijke organisatiestructuren meer en meer van hiërarchisch naar netwerk, van nationaal naar regionaal en van lineaire naar circulaire productiesystemen lijken te gaan. Er ontstaan nieuwe samenwerkingsvormen in domeinen als de voedsel- en energievoorziening. Ook de overheid is op zoek naar een meer faciliterende rol. We staan volgens transitiedenkers op een kantelpunt met bijbehorende consequenties en draagvlak voor hernieuwbare energie (Rotmans 2012). Een derde onderzoeksvraag is:

Wat is de rol van de verandering in maatschappelijke organisatiestructuur in de energietransitie?

De antwoorden op deze vragen worden geplaatst in de context van het BioSolar Cells programma. Daarbij maken we gebruik van toekomstbeelden om demogelijke rol en positie van BSC op de middellange termijn (2013-2020) en de periode daarna aan te geven.

⁶ Cascadering is in de biobased economy een belangrijke term. Cascadering wil zeggen dat eerst de componenten met de hoogste toegevoegde waarde uit biomassa worden gehaald. Hoogwaardige biomassa componenten kunnen worden gebruikt in bijvoorbeeld chemie en pharma. Onderdelen van biomassa die niet meer te gebruiken zijn, kan men verbranden (bijstook biomassa in kolencentrales) en zo worden gebruikt voor het opwekken van energie.

3. Raamwerk voor Analyse

Om tot toekomstbeelden of scenario's te komen, identificeren we eerst de belangrijkste trends en drijvende krachten (*drivers*) op het gebied van duurzame energie in de samenleving. Een trend kunnen we definiëren als een ontwikkeling die met een hoge mate van zekerheid zal plaatsvinden. Een driver is onzeker, kan verschillende richtingen opgaan, en heeft bovendien een grote maatschappelijke impact. Deze analyse doen we aan de hand van recente literatuur, zoals scenariostudies, *position papers* van stakeholders, beleidsdocumenten, essays, onderzoeksrapporten en wetenschappelijke artikelen. Daarnaast zijn er verschillende bijeenkomsten bezocht van stakeholders van de biobased economy - en van duurzame energie in het bijzonder; en is er deelgenomen aan webfora en LinkedIn groepen over de biobased economy.

Maatschappelijke actoren

Om een indruk te krijgen van de maatschappelijke ruimte en de krachten waarbinnen BioSolar Cells opereert op het terrein van de duurzame energievoorziening maken we eerst een overzicht van de bepalende actoren en de wijze waarop zij de verschillende drivers en trends formuleren. We onderscheiden een vijftal actorcategorieën actief in een duurzame energievoorziening:

1. (Inter)nationale overheden en publieke adviesinstanties.
2. Bedrijven en (semi)private adviesbureaus.
3. NGOs en maatschappelijke organisaties.
4. Nieuwe Coalities rondom decentrale initiatieven als voorbeeld van nieuwe structuren waarin burgers, organisaties en bedrijven zich vanuit energietransitiedoelen organiseren.

Die zien we vooral in de vorm van burgers die zonne- en windenergie een belangrijk middel vinden om een bijdrage te leveren aan een duurzame lokale samenleving en hun eigen energiecoöperaties beginnen. De nieuwe technologie maakt het mogelijk om decentraal aan de slag te gaan. Begin 2013 zijn er meer dan driehonderd van dergelijke initiatieven actief.⁷

5. Consumenten en hun energiegedrag zijn bestudeerd aan de hand van surveys en focusgroepen.

Voor elk van de vijf actorgroepen is een deelanalyse gemaakt. De deelanalyses zijn opgenomen in een aparte rapportage.⁸ Van de bestudeerde onderzoeksrapporten en documenten zijn de belangrijkste bevindingen op het gebied van een duurzame energievoorziening en in het bijzonder voor Nederland kort samengevat. De daaruit relevante aspecten voor het identificeren van drijvende krachten zijn benoemd en gebruikt in hoofdstuk vier: Het duurzame energie speelveld.

De media zijn niet als aparte categorie opgenomen. Zij vormen niettemin een belangrijke informatiebron voor alle actoren. Daarbij bepalen journalisten voor een deel de beeldvorming van kwesties door de manier waarop ze erover berichten (*framing*). Redactionele stukken in landelijke dagbladen en tijdschriften, evenals in relevante webomgevingen zijn meegenomen in onze analyses.

Omgaan met onzekerheden

Elke technologie heeft haar eigen implicaties voor de onderlinge menselijke relaties, voor wet- en regelgeving, voor gevoelens van nuttigheid en veiligheid, en voor het verdelen van kosten en baten. Deze maatschappelijke constitutie bepaalt voor een belangrijk deel de publieke perceptie en acceptatie van een technologie. Bestuurders en beleidsmakers hebben de neiging vraagstukken die zich voordoen bij de verdere ontwikkeling van een technologie te willen reduceren tot eenduidige en rechtlijnige kwesties. Het probleem dient te worden getemd, zodat er consensus komt over de belangen die in het geding zijn en de wetenschap slechts hoeft aan te geven welke oplossing het meest efficiënt is. Omdat andere maatschappelijke partijen (bedrijven, NGOs) een andere kijk op het vraagstuk kunnen hebben of andere doelen nastreven, maken ze niet alleen bezwaar tegen de manier

⁷ Zie voor de actuele stand van zaken: www.hieropgewekt.nl/initiatieven

⁸ Hanssen, L. & H. De Vriend (2013). *Toekomstbeelden voor een duurzame energievoorziening in Nederland. Deelanalyses: actorgroepen en drijvende krachten*. Nijmegen / Driebergen: Deining Maatschappelijke Communicatie / LIS Consult.

waarop het vraagstuk wordt neergezet, maar ook tegen wijze waarop het wordt aangepakt. Bestuurders en beleidsmakers zijn in deze situaties sterk afhankelijk van agenderingsprocessen die beheerst worden door media, opiniepeilingen en politiek debat, waarin tegenstrijdige belangen en gezichtspunten van actoren een grote rol blijven spelen (Hanssen & De Vriend 2011).

Bij het vaststellen van een kwestie is belangrijk een onderscheid maken tussen aan de ene kant informatie en kennis over technologische aspecten: *wat is mogelijk*. En aan de andere kant informatie en kennis over maatschappelijke aspecten: *wat is wenselijk en aanvaardbaar*. Bij beleidsvraagstukken over duurzame energievoorziening gaat het om problemen die niet individueel, maar langs de weg van collectief handelen, moeten worden opgelost. Een gestructureerd probleem karakteriseert zich door consensus over de te bereiken doelen en de manier waarop die kunnen worden gerealiseerd. In die situaties is meestal sprake van voldoende vertrouwen in wetenschappelijke kennis. De wetenschap verleent steun in beleidsvorming, besluitvorming en handhaving.

In complexere situaties, waarin sprake is van uiteenlopende standpunten en redeneerwijzen, de zogenaamde ongestructureerde problemen zoals de opwarming van de aarde of de winning van schaliegas, bestaat die overeenstemming over doelen en oplossingsrichtingen niet. Vaak is er in die situaties sprake van grote wetenschappelijke onzekerheid; niet alleen over de onderzoeksfeiten, maar ook over de precieze rol die de afzonderlijke academische disciplines zouden moeten vervullen. Wetenschappers en experts zijn het onderling niet altijd eens over probleemorzaken, risicomodellen en (toekomstige) feiten. De wetenschap kan hier slechts mogelijke risico's en oplossingsrichtingen signaleren en specifieke opties uitsluiten (Hanssen 2007).

Als we spreken over de toekomstige duurzame energievoorziening dan zien we dat er deels kenmerken zijn van een gestructureerd probleem: er is een redelijke mate van maatschappelijke consensus over de noodzaak van die verduurzaming. Tegelijkertijd zijn er ook kenmerken van een ongestructureerd probleem vanwege de onzekerheid en het gebrek aan overeenstemming over de wijze waarop die verduurzaming vorm moet krijgen. Het is mogelijk om trends en drijvende krachten te signaleren, maar de mate waarin en de snelheid waarmee ze zullen doorzetten is afhankelijk van maatschappelijke keuzes. We kiezen er daarom voor om met toekomstbeelden te werken.

Toekomstbeelden

Scenariostudies zijn gebaseerd op de gedachte dat de toekomst niet te voorspellen valt, maar dat men zich er wel op kan voorbereiden door over mogelijke ontwikkelingen na te denken. Een scenario is een beschrijving van een *mogelijke* toekomst, waarbinnen een bepaald plan kan worden ontwikkeld. Een scenariostudie omvat meerdere scenario's met tot de verbeelding sprekende verhalen. Schetsen die toepassingen uit het onderzoeksprogramma van BioSolar Cells in een maatschappelijk perspectief plaatsen en waar andere actoren zich al dan niet in kunnen herkennen. Die toekomstbeelden zijn een hulpmiddel om bijvoorbeeld meer helderheid te krijgen over de keuzes die actoren maken of de waardeoriëntaties die actoren daarbinnen hanteren.

Voor de ontwikkeling van toekomstbeelden gaat het erom eerst de drijvende krachten (*drivers*) die zowel qua onzekerheid als qua impact hoog scoren, te selecteren. Een overzicht van deze drivers is te vinden in het rapport met de deelanalyses van de actorgroepen (Hanssen & De Vriend 2013). De belangrijkste en bepalende drivers kunnen vervolgens worden gebruikt om toekomstbeelden voor een duurzame energievoorziening te schetsen. De gemaakte scenario's bieden zo een raamwerk voor het doordenken van uiteenlopende maatschappelijke perspectieven op mogelijke ontwikkelingen binnen het BioSolar Cells programma en op de sturing ervan. De eveneens gesignaleerde trends zullen weliswaar met een redelijke mate doorzetten, maar zullen afhankelijk van het scenario verdere ontwikkelingen juist ondersteunen of belemmeren.

Om de toekomstbeelden in een brede transitiecontext te kunnen plaatsen zijn ook vier *leading experts* op het terrein van duurzame energievoorziening geïnterviewd. Deze deskundigen zijn geselecteerd op basis van hun gezag en kennis van technologieontwikkeling, als van het maatschappelijke krachtenveld. In die interviews zijn onze bevindingen op basis van de literatuur en bijeenkomsten

getoetst en verder aangescherpt. Een weerslag van deze gesprekken is terug te vinden in de vier intermezzo's die in hoofdstuk vier zijn opgenomen.⁹

Samenwerking in Cluster

In het Cluster Maatschappelijk Debat (CMD) bestuderen drie AIOs de duurzaamheidsaspecten, de ethisch-filosofische vraagstukken, en de rol van kunst in het maatschappelijke debat rondom toepassingen uit het BioSolar Cells programma. De drie AIOs zijn betrokken bij dit onderzoeksproject en hebben meegedacht bij de ontwikkeling van toekomstbeelden, waarbij het identificeren van trends en drijvende krachten een belangrijke stap is geweest.

Het Cluster Maatschappelijk Debat heeft op de *International Workshop Photosynthesis* in oktober 2012 een eigen sessie verzorgd met een actieve inbreng van de deelnemende onderzoekers. Het CMD heeft hier een korte introductie gegeven over hoe de samenleving gewoonlijk met nieuwe technologie omgaat en waarin het belang van het zoeken naar maatschappelijke kansen is toegelicht. Vervolgens is de deelnemers gevraagd om aan te geven welke maatschappelijke keuzemogelijkheden zij zien met het oog op BioSolar Cells en de toekomstige energievoorziening, en welke waarden daarbij volgens hen in het geding kunnen raken. Dat heeft niet alleen informatie opgeleverd die voor de voortgang van dit onderzoek van belang is, maar het creëert ook betrokkenheid van onderzoekers uit andere clusters bij het onderdeel maatschappelijk debat. Op de *Annual Meeting* van het BioSolar Cells programma in juni 2013 zijn de concept scenario's gepresenteerd en is deelgenomen aan een interactieve postersessie. BSC onderzoekers hebben hierop gereageerd en de toekomstbeelden van commentaar voorzien vanuit de context van hun eigen Biosolar Cells onderzoeksprojecten. Die reacties zijn gebruikt om de maatschappelijke betekenis van het BSC programma in de energietransitie op de middellange termijn verder aan te scherpen.

⁹ De betreffende verslagen zijn goedgekeurd voor publicatie door de geïnterviewde experts.

4. Het duurzame energie speelveld

In dit hoofdstuk geven we een antwoord op onze eerste onderzoeksvraag: Welke zijn de belangrijkste drijvende krachten voor een transitie richting een duurzame energievoorziening? Dit doen we aan de hand van een overzicht van de ontwikkelingen door 'te kijken' door vier bepalende vensters op die energietransitie: het beleid, de economie, de samenleving en de technologie. De vijf actorgroepen die zijn geanalyseerd, zien we terugkomen als we kijken door een of meerdere van deze vier vensters. Voor elk van de actorgroepen zijn eerst aparte deelenalyses gemaakt, waarin telkens relevante drivers en trends voor de energietransitie vanuit een Nederlands perspectief zijn gearticuleerd. De deelenalyses zijn opgenomen in een aparte rapportage (Hanssen & De Vriend 2013).

4.1 Het beleidsvenster

Geopolitieke ontwikkelingen en keuzes bepalen in belangrijke mate ontwikkelingen en toepassingen van nieuwe energietechnologieën. Denk hierbij aan de rol van een opkomende economie als China, waar de vraag naar energie enorm groeit, maar ook het belang van hernieuwbare energiebronnen wordt onderkend. China is de grootste investeerder, na de VS en Duitsland in deze *cleantech* sector (IEA 2013, Van der Slot & Van den Berg 2012). Het beleid in de Verenigde Staten zet stevig in op een combinatie van onconventionele fossiele bronnen zoals schaliegas, off-shore windenergie en biobrandstof met het oog op zelfvoorziening op energiegebied (BP 2013, Shell Scenarioteam 2013). De Nederlandse economie is sterk afhankelijk van fossiele brandstoffen. Nederland verdient veel geld aan de winning van eigen aardgas en export van geïmporteerde, hier geraffineerde olieproducten. Recent onderzoek laat zien dat bijna vijftig miljard Euro direct of indirect afkomstig is van fossiele energiebronnen. Het gaat om een optelsom van aardgasbaten, accijnzen, loon- en winstbelastingen van energieleveranciers en energie-intensieve sectoren zoals de chemie (Weterings et al. 2013).

De kern van het Nederlandse energiebeleid voor de langere termijn is het bereiken van een CO₂-arme economie in 2050 op basis van een internationale aanpak en een energiemix waarin fossiele bronnen in de nabije toekomst nog een dominante rol blijven spelen. Voor de korte termijn worden hernieuwbare energie technieken gestimuleerd die bijna rendabel zijn. Door gericht innovatiebeleid dienen nieuwe technieken ontwikkeld te worden voor de lange termijn, zoals ook in het BSC programma gebeurt. Een betrouwbare energievoorziening bestaat uit een 'evenwichtige mix' van groene en grijze energie. Daarnaast wil de overheid een gelijk speelveld scheppen voor alle soorten energie en Nederland positioneren als de gasrotonde van Noord-West Europa. Nederland heeft immers op het gebied van productie en distributie van conventioneel gas een grote expertise opgebouwd (Ministerie EL&I 2011).

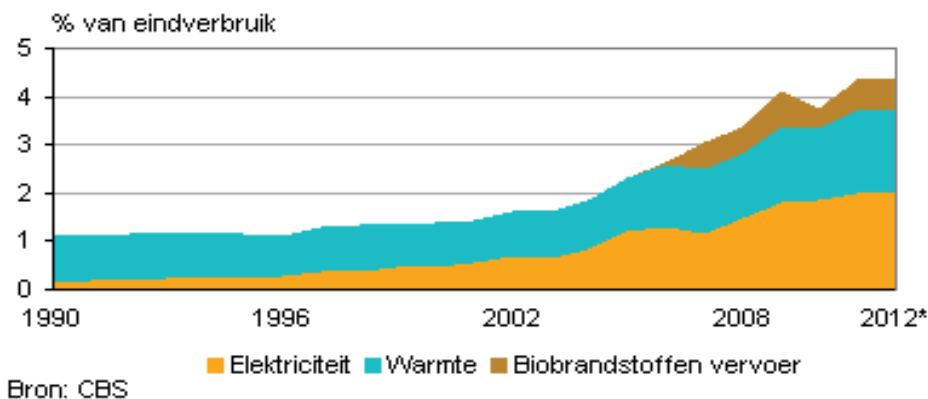
Door een verdere vergroening van het belastingstelsel kunnen verborgen milieukosten beter in de prijzen tot uitdrukking komen. Daardoor wordt investeren in schone en efficiënte technologie aantrekkelijker en verspilling en vervuiling juist duurder. Afschaffen van milieuschadelijke subsidies kan de Nederlandse schatkist een bedrag tot 10 miljard euro opleveren en leidt tot vermindering van milieudruk. Denk hierbij aan lage of ontbrekende accijnzen op brandstoffen voor luchtvaart en scheepvaart en fiscale vrijstelling woon-werkverkeer. De uitdaging is te komen tot slim vormgegeven milieubelastingen, die het gewenste doel weten te bevorderen en in uitvoering niet te complex zijn (Hanemaaijer et al. 2012). De continuïteit van overheidsbeleid is in sterke mate afhankelijk van het bestuurlijke systeem en de mate waarin dat gevoelig is voor electorale belangen. Energiebeleid vraagt vanwege omvangrijke investeringen in infrastructuur en productiecapaciteit om continuïteit voor een termijn van tien tot vijftien jaar. De politiek is over het algemeen terughoudend als het gaat om dergelijke investeringen wanneer die geen direct en zichtbaar maatschappelijk effect hebben.

In het regeerakkoord dat in najaar 2012 is gesloten, heeft het kabinet Rutte II zich als doel gesteld dat in 2020 16% van de energie uit hernieuwbare bronnen afkomstig moet zijn. Om dit doel te bereiken, is een mix voorgesteld van subsidies en regelingen, zoals de regeling stimulering duurzame energieproductie (SDE), een mogelijke leveranciersverplichting voor een percentage duurzame energie, en een bijmengverplichting van biobrandstoffen. Concurrentiepositie van energie-intensieve sectoren en werkgelegenheidseffecten worden niet uit het oog verloren. De kabinetsplannen rond duurzame energie kunnen tegelijkertijd een stevige impuls geven aan de banengroei in de schone-

technologiesector. Het groeipotentieel van de cleantech sector: de hele keten van onderzoek naar duurzame energie tot de maakindustrie voor windparken en installatiesector voor bijvoorbeeld zonnepanelen, is aanzienlijk (Briene 2013).

In hun programma's richten de Nederlandse politieke partijen zich vooral op de periode tot 2020. De meeste politieke partijen zijn voor 20-30 procent verplichte bijstook van biomassa in kolencentrales en een substantiele uitbreiding van energiewinning uit wind en zon. Sommige partijen pleiten voor een SDE afschaffing, al dan niet gecombineerd met een leveranciersverplichting, andere willen juist een intensivering van de regeling (CPB/PBL 2012). Voor de beleidsdoelen op de langere termijn lijkt er meer overeenstemming te zijn. In het document *Nederland krijgt nieuwe energie* (2012) hebben zes politieke partijen een deltaplan hebben opgesteld voor een transitie richting 100 procent aandeel hernieuwbare bronnen voor alle soorten energie in 2050. Hierin wordt gewezen op het belang van langetermijn-beleid en kaders vanuit de overheid die zorgen voor investeringszekerheid. Maar ook op snelle vergunningsprocedures en effectieve subsidieregelingen, afschaffing van het Europese CO₂ emissiehandelssysteem dat lijdt aan te veel vrijgegeven rechten. Daarnaast is het belangrijk om de huidige infrastructuur geschikt te maken voor hernieuwbare bronnen en te investeren in nieuwe infrastructuur (*smart grids*). Een nationaal fonds bevordert de financiering van energiebesparende maatregelen en investeringen in opwekking van hernieuwbare energie.

Figuur 1: De groei van het aandeel hernieuwbare energie als percentage eindverbruik in Nederland



Bijna driekwart van alle hernieuwbare energie komt uit biomassa (voor produceren van elektriciteit en warmte in afvalverbrandingsinstallaties, meestoken van biomassa in elektriciteitscentrales, en verbruik biobrandstoffen voor vervoer). Windenergie levert een vijfde deel van de hernieuwbare energie. De overige bronnen zijn zon, waterkracht, geothermie en buitenluchtwarmte (CBS StatLine 2013).

Het kabinet Rutte II heeft aangegeven in de transitie naar een meer duurzame economie op te willen treden als faciliterende en stimulerende netwerkpartner samen met bedrijven, kennisinstellingen, maatschappelijke organisaties en burgerinitiatieven. De overheid bewaakt het publieke belang, houdt het speelveld open, weegt tegenstrijdige belangen en legt de verbinding met internationale agenda's. Innovaties - via het doorgezette topsectorenbeleid - zijn de sleutel tot een (kosten) effectieve vergroening van de economie en een ambitieus (inter)nationaal klimaatbeleid. Verder wordt belemmerende regelgeving voor groene innovaties en duurzaam handelen geïdentificeerd en aangepakt en is ruimte voor experimenten.¹⁰ Het kabinetsbeleid leunt daarbij op een viertal pijlers. (i) Een slimme combinatie van beprijzing bijvoorbeeld in de fiscaliteit of in het emissiehandelssysteem, innovatiebeleid en overheidsinkoop stimuleert duurzame productie en creëert afzetmarkten. (ii) Herziening van wet- en regelgeving kan groene groei bevorderen. (iii) Via het topsectorenbeleid wordt de innovatiekracht van bedrijfsleven, kennisinstellingen en overheid benut om te werken aan een sterke economie. (iv) In de transitie naar een meer duurzame economie en energiegebruik treedt de overheid meer op als faciliterende netwerkpartner samen met bedrijven, kennisinstellingen, maatschappelijke organisaties en burgerinitiatieven (Ministerie EZ 2013).

¹⁰ In de SDE+ is in 2013 drie miljard Euro beschikbaar, gefinancierd door een extra heffing op de energierekening van burgers. Subsidie kan worden aangevraagd voor productie van duurzame elektriciteit, duurzame warmte, een gecombineerde opwek, of voor productie van biogas.

De weg naar een energieke samenleving

Verslag van een interview met Pieter Boot¹¹

Boot vraagt zich af wat het goede moment is om maatschappelijke aspecten te bespreken van een technologie zoals kunstmatige fotosynthese zolang nog niet duidelijk is of die belangrijk gaat worden. Hij ziet meer in aandacht voor de BioBased Economy (BBE) als geheel. In de mondiale en Europese economie zijn er weinig vlakken waarop Nederland beter presteert dan andere landen, maar op het vlak van de BBE heeft ons land potentieel. Het Nederlandse beleid zet in op hoogwaardige producten binnen de BBE en zoekt naar een verbinding met de traditionele bulkchemie die vaak gekoppeld is aan onze havens. Het is volgens Boot zinvol om aan te sluiten bij wat er in de politiek loopt, bij sterke punten in de technologie, en te werken aan grotere maatschappelijke opgaven zoals betaalbare energie of afname van broeikasgas. De hoofdvraag is echter: Hoe kan die technologie zinvol worden ingezet? Denk aan CCS (*carbon capture & storage*) als onderdeel van onze energietransitie. Dat is technologisch mogelijk, maar komt niet verder door gebrek aan financiën en maatschappelijk draagvlak. Waarom lukt het ons niet om die twee te combineren?

Zonne-energie en toegevoegde waarde voor Nederland

In Nederland is veel belangstelling voor zonne-energie. Maar het marktaandeel van zonne-energie in ons land is nog erg klein. In onze nationale stroomvoorziening heeft zon momenteel een aandeel van 0,2%. Om uit te groeien tot een substantieel aandeel moet er jaarlijks forse groeicijfers worden gerealiseerd. Boot betwijfelt bovendien of grootschalige toepassing van zonne-energie voor Nederland wel zinvol is. Dan ligt het meer voor de hand om te denken aan zonnige gebieden in Zuid-Europa. Nederland moet het bij hernieuwbare energie meer van de wind hebben.

Tóch kan zonne-energie voor Nederland interessant zijn vanuit een perspectief van R&D. Het maakt op zich niet uit wie dat doet. Het is best denkbaar dat Nederland zich met specifieke kennis op één onderdeel positioneert. Nederland kan daarmee toegevoegde waarde creëren, niet door productie van zonnecellen dat kunnen de Chinezen of Duitsers beter, maar bijvoorbeeld door het produceren van machines die de cellen maken. Verder ziet hij aanvullende R&D kansen in andere projecten in de schone technologiesector en in de energiebesparing die nodig zullen zijn om het kabinetsdoel van 16% duurzame energie in 2020 te halen.

Radicale evolutie in de energiepolder

Volgens Boot voltrekt alle voortgang zich in de vorm van evoluties, stapsgewijze aanpassingen. Maar transities vereisen inventiviteit, nieuwe coalities, en bereidheid tot investeren met een onzeker rendement. Bij oplossingen voor grotere opgaven zoals een energietransitie spreekt hij dan ook liever van een radicale evolutie. Hij beaamt dat je daarbij beducht moet zijn voor lock-in effecten. Als voorbeeld noemt hij de eerste, tweede en derde generatie biobrandstoffen, waartussen een strijd om de investeringen kan ontstaan. De kunst is om die generaties aan elkaar te koppelen.

Nederland zit nog niet in de fase van Duitsland, maar daar zie je dat burgers nu substantieel moeten gaan bijdragen aan de transitie naar duurzame energieopwekking. Dat is het gevolg van het enorme succes van de stimuleringsmaatregelen in wind- en zonne-energie. Door de grootschalige transitie wordt het voor de overheid eenvoudigweg te duur. Zo zie je dat de schaal de transitie parten kan spelen. Ook in Denemarken is fors geïnvesteerd in duurzame energie, vooral in wind. Beide landen hebben die omslag gerealiseerd met een opslag op de elektriciteitsrekening voor burgers. Voor ons land ziet Boot kansen in het SER-akkoord. Dat kan ook tot meer politieke stabiliteit in het energiebeleid voor de langere termijn leiden. De inzet van de SER is in juli 2013 een akkoord te sluiten tussen ondernemers, werknemers, kabinet en milieubeweging dat ook de ambities van de 'energieke samenleving' ruimte geeft door een verdere vergroening van het belastingstelsel, goede aansluiting tussen innovatie en toepassing van hernieuwbare energie, een veelheid aan beleidsinstrumenten voor energiebesparing en een grote rol voor decentrale overheden.

¹¹ Dr Pieter Boot is sectorhoofd bij het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Het PBL voert evaluaties en toekomstverkenningen uit van beleid en maatschappelijke ontwikkelingen, en duidt de achtergronden ervan. Het interview is gehouden op 14 december 2012.

4.2 Het economievenster

Landen voeren een actief energiebeleid, waarbij gebruik wordt gemaakt van uiteenlopende subsidies, regels en fiscale instrumenten die enerzijds ingrijpen op de beprijzing van energiebronnen, anderzijds het gedrag in vraag- en aanbodkant van de energiemarkt beïnvloeden. In een vrije markt zijn de prijzen van energiedragers en de kosten van technologieontwikkeling in hoge mate bepalend voor de toekomstige energiemix. Hoewel de schaliegashype een matigend effect lijkt te hebben op de energieprijzen is de verwachting dat de prijzen van fossiele energiedragers op de langere termijn verder zullen stijgen, vooral die van olie en gas (BP 2013, Shell Scenarioteam 2013). Een belangrijke stimuleringsregeling in Nederland is de SDE⁺. Waar de SDE zich in het verleden richtte op uitrol en innovatie, richt de SDE⁺ zich alleen op uitrol om zo de EU doelstelling tegen zo laag mogelijke kosten te realiseren. De nadruk ligt op de korte termijn waardoor in potentie kansrijke maar nog dure technologieën zoals zonne-energie relatief weinig subsidie krijgen; de ontwikkeling zal vooral uit het buitenland komen waarbij China een doorslaggevende rol speelt (Hieminga & Van Woelderens 2011).

Publieksonderzoek laat zien dat een ruime meerderheid van de Nederlanders positief denkt over duurzame energieopwekking in de vorm van zonnepanelen (79%) of windmolens (81%), maar ook dat bijna de helft (44%) geen hogere prijs voor duurzame energie wil betalen (De Hond 2012). Consumenten zien vooral een rol voor de overheid en het bedrijfsleven als het gaat om duurzame energie. De overheid moet adequate voorlichting geven en ontwikkelingen sturen door goed gedrag te belonen en slecht gedrag te straffen. Bedrijven dienen een voortrekkersrol te vervullen met innovaties en nieuwe producten op het gebied van duurzame energie (Van den Berg et al. 2013). Consumenten nemen vooralsnog een afwachtende houding aan en vinden dat overheid en bedrijfsleven eerst aan zet zijn. Veel van hen willen hun consumptie wel verduurzamen, maar verbinden daaraan de voorwaarde dat andere consumenten dat ook doen (Vringer et al. 2013).

In Nederland wordt de energieprijs voor consumenten voor ongeveer de helft bepaald door belastingen. Voor bedrijven hangt de hoogte van de energiebelasting af van de sector en de omvang van het verbruik. Grootverbruikers als de basischemie en metaalindustrie betalen niet alleen aanzienlijk minder belasting over de stroom en gas die ze verbruiken en ook de kostprijs ligt lager (Van Dril et al. 2012). Door het ontbreken van een *level playing field* is het lastig om kleinschalige initiatieven voor energielevering op lokaal niveau van de grond te krijgen. De kosten en de benodigde kennis om zelf te starten zijn groot en de risico's zijn evident binnen de huidige prijsverhouding tussen groene en grijze stroom. Deze prijsverhouding is een belangrijk mechanisme voor het creëren van marktaandeel voor groene stroom (VNG 2013).

Partijen vanuit decentrale energie en milieubeweging die betrokken zijn bij het SER-overleg over duurzame energie en de meeste politieke partijen pleiten voor een vorm van fiscale vergroening. Dit kan in vorm van een CO₂-heffing, waardoor verborgen milieukosten beter in de prijzen tot uitdrukking. Investeren in schone en efficiënte technologie wordt aantrekkelijker en verspilling en vervuiling duurder. Een dergelijke CO₂-heffing dient wel geleidelijk te worden verhoogd, zodat er een duidelijk prijssignaal aan de markt wordt gegeven voor het toepassen van CO₂-arme technieken (Galliana & Green 2009). Het EU emissiehandelssysteem, feitelijk een kunstmatige markt in rechten om CO₂ te mogen uitstoten, functioneert nog steeds niet naar behoren. Zo heeft het systeem weinig invloed op de prijs van fossiele energie en worden de bedrijven niet geprikkeld om hun uitstoot te verlagen door te investeren in energiebesparing, duurzame bedrijfsprocessen of opslag van CO₂.

De beschikbaarheid van durfkapitaal en publiekprivate financiering is van doorslaggevend belang voor onderzoek, innovatie en implementatie van duurzame energietechnologie. De transitie in Nederland van grijze naar groene energieopwekking vergt een investeringsvolume van circa € 100 miljard in de periode 2010-2020 om de EU doelen te halen. Deze transitie vraagt niet alleen om technische maar ook om financiële innovatie (Hieminga & Van Woelderens 2011). De Nederlandse overheid wijst inmiddels ook op de noodzaak om over de grenzen heen te denken en wijst het belang van het creëren van een interne markt voor hernieuwbare energie in eigen land en in de EU. Overheden zouden meer in de rol van *launching customer* kunnen treden. In eigen land kan het uitbreiden van de *Green Deals* of andere groene convenanten een aanjager zijn voor de hernieuwbare energiemarkt (Ministerie EZ 2013, Hanemaaijer et al. 2012).

Verstandig omgaan met oude belangen, nieuwe technologie de ruimte geven

Verslag van een interview met Herman Wijffels¹²

Wijffels constateert dat de bestuurlijke elite in Nederland gericht is op het zo lang mogelijk in stand houden van fossiele energieproductie en -gebruik. Dat uit zich ook in onze duurzame energie aanpak. Er is een salderingsregeling voor huishoudens die niet verder gaat dan dekking van de eigen behoefte aan energie, terwijl grote bedrijven subsidies krijgen voor het inrichten van windmolenparken.

Kleinere spelers staan institutioneel gezien buiten spel. De logica in het denken bij het ministerie van Economische Zaken is gebaseerd op een groei van het BNP die loopt via grote bedrijven en niet via kleine marktinitiatieven of zelfvoorzienende particulieren. Een oplossing zou zijn om de zes tot zeven miljard Euro belastingvoordeel op energie voor grootverbruikers geleidelijk af te schaffen, en dat geld te gebruiken voor investeringen in kleinschalige decentrale initiatieven voor hernieuwbare energie.

Circulaire economie: duurzaam oogsten uit stromen

Met de huidige lineaire organisatie van de economie veroorzaken we een ernstige mate van overschot en uitputting. We moeten onderzoeken hoe we, gezien de verwachte groei van de wereldbevolking, een verhoging van de productiviteit kunnen realiseren binnen de grenzen van het draagvermogen van de aarde. Daarvoor moeten we leren oogsten uit stromen, zodanig dat de natuurlijke productiviteit in stand blijft. Maar ook het hergebruik van grondstoffen kan worden gestimuleerd. Voor de Nederlandse landbouw betekent dat bijvoorbeeld dat we af moeten van de enorme import van grondstoffen die resulteren in een overschot aan nutriënten hier en uitputting in het land van herkomst. Afvalstromen kunnen benut worden voor hergebruik van grondstoffen en materialen, en voor energieopwekking. Het beste is energie te oogsten uit een stroom die er altijd is: de zon.

De EU heeft weinig eigen energiebronnen; dit zou een reden moeten zijn voor Europa om in te zetten op de energietransitie. Niet alleen op energie sec, maar ook op transitie als bron van economische ontwikkeling met nieuwe bedrijvigheid die op lokaal en regionaal niveau toegevoegde waarde genereert. In Duitsland heeft men dit tijdig onderkend. De Duitsers hebben zwaar ingezet op de gehele keten van duurzame energieopwekking, en met aanpassing van de bijbehorende institutionele contexten. Een van de karaktereigenschappen van nieuwe technologie die beschikbaar komt, is dat deze juist aantrekkelijk is om op kleine schaal in te zetten. Alleen stuiten we in Nederland op institutionele belemmeringen. Niettemin de transitie is begonnen en laat zien dat er een stroom aan latente energie op gang komt bij particulieren en kleine bedrijven om hierin te investeren.

Het SER Energieakkoord: naar een nieuw poldermodel

De energietransitie is er niet bij gebaat dat gevestigde partijen binnen de SER met elkaar bepalen hoe de toekomstige energievoorziening er uitziet. VNO-NCW vertegenwoordigt vooral de belangen van de fossiele sector en de vakbonden hebben geen echt belang bij het energievraagstuk. Daarom is besloten om af te wijken van het normale proces en is er een poging gedaan om een breed draagvlak te creëren door nieuwe partijen aan tafel te vragen. De gevraagde inzet is een ware balanceeract. Transitiebeleid behelst volgens Wijffels verstandig omgaan met gevestigde belangen en gedane investeringen, en tegelijkertijd nieuwe duurzame technologie de ruimte en de middelen geven.

Opvallend is dat er een ander beeld ontstaat als men kijkt naar lagere overheden zoals gemeenten en provincies. Die staan dicht bij de mensen en voelen de druk van burgers die veranderingen willen veel meer dan op het niveau van een rijksoverheid. Bedrijven spelen daar al op in met hun energieproducten en -diensten. Ook banken gaan producten maken waarmee burgers de investering in zonnepanelen of energiebesparingen kunnen financieren. Gemeenten en provincies zitten niet stil en zijn bezig met gelden uit de verkoop van Nuon en Essent investeringsfondsen in te richten voor duurzame energie. Tegelijkertijd kunnen we waarnemen dat zich op het niveau van die burger ook een sociaal-culturele omslag voltrekt: zelforganisatie, samenwerken en delen wordt het nieuwe paradigma.

¹² Prof. dr Herman Wijffels is hoogleraar Duurzaamheid en maatschappelijke verandering aan de Universiteit Utrecht. Hij was voorzitter van de SER in de periode 1999-2006. Het interview is gehouden op 26 maart 2013.

4.3 Het samenlevingsvenster

In de publicatie *Energie in 2030* constateren de auteurs dat het rechtvaardig verdelen van lasten en lasten van onze energievoorziening een politiek beladen en maatschappelijk controversieel vraagstuk is (Ganzevles & Van Est 2011). De komende twintig jaar vallen de miljardeninkomsten uit de reguliere aardgaswinning geleidelijk weg en wordt de Nederlandse energievoorziening wellicht vuiler en onbetrouwbaarder, omdat meer energie moet worden geïmporteerd uit het buitenland. De overheid zal de boodschap moeten uitdragen dat pijnlijke en vergaande ingrepen nodig zijn. Ingrepen met hoge kosten die veel partijen in de samenleving zullen raken. Daarbij komt het gegeven dat alle energiebronnen voor de toekomst maatschappelijk controversieel zijn. Niet alleen kernenergie, kolencentrales en schaliegaswinning, maar ook biobrandstoffen, CO₂-opslag en windenergie op land. Immers ook de laatste drie technologieën ervaren inmiddels meer of minder verzet in Nederland.

Een aantal mythes bepaalt het energiedebat. Deze mythes ontnemen niet alleen de burger maar ook de politiek het zicht op de urgentie van het energievraagstuk. Daarmee staan ze niet alleen een samenhangend beleid, maar ook een beleid dat kan rekenen op maatschappelijk draagvlak in de weg (Ganzevles & Van Est 2011). Een veel gebezigde mythe luidt dat technologie het energievraagstuk oplost. Er is altijd technologische vooruitgang, maar niet alle vooruitgang wordt even gewenst door de samenleving. Bovendien technologieën hebben tijd nodig om ontwikkeld, operationeel en geoptimaliseerd te worden. Om economische risico's, zoals kennisachterstand, marktverlies en werkeloosheid van een te late energieverduurzaming af te wenden, is het belangrijk tijdig te beginnen. Duitsland heeft dit bijvoorbeeld gedaan met een consistente regelgeving voor zonne-energie en Denemarken deed hetzelfde voor windenergie. Soortgelijke analyses vinden we terug in de transitiekunde die stelt dat niet alleen technologische, maar juist institutionele (wet- en regelgeving) en sociale innovaties (netwerksamenleving) doorslaggevend zullen zijn (Rotmans 2012).

Nederlanders beseffen dat de huidige economische recessie oproept tot (gedrags)verandering, zo blijkt uit recent publieksonderzoek. Weliswaar is de crisis volgens hen in de eerste plaats economisch van aard, maar er spelen meerdere factoren een rol. De helft van de respondenten vindt dat er ook sprake is van een crisis op het gebied van omgangsvormen en moraal, en van een crisis in bestuur en organisatie van de samenleving. Nederlanders willen deel uitmaken van een samenleving die aandacht heeft voor kwaliteit en betrokkenheid (Lampert & Wijffels 2012). Dit sluit aan bij de komst van de circulaire economie en van de lease-samenleving. In die samenleving blijven producenten eigenaar van hun product en bieden enkel diensten aan. Een bedrijf verkoopt geen lampen of stoelen, maar biedt licht- of zitcomfort. De huidige markt werkt net andersom: hoe eerder een product wordt weggegooid hoe beter. De consument koopt een nieuw exemplaar en de afvalberg groeit. Om meer richting een lease-samenleving te gaan, kunnen bedrijven en consumenten worden gestimuleerd om productiewijze en gedrag te veranderen door extra belastingheffing op energie- en grondstofgebruik.

Er is onder burgers sprake van een toenemende relativering van wat de overheid vermag en van een toenemend besef dat het nemen van eigen verantwoordelijkheid belangrijker wordt (Rotmans 2012, Lampert & Wijffels 2012). De motieven voor meer zelfsturing zijn divers en lopen uiteen van zuiver idealistisch: een betere wereld, tot meer pragmatisch: minder kosten. Er is nu al een aanzienlijke groep burgers die een voorkeur uitspreekt voor een andere manier van organiseren, ook op het gebied van de energievoorziening. Op tal van plaatsen nemen ze het initiatief tot het oprichten van lokale energiecoöperaties. Kenmerkend is dat burgers niet langer afhankelijk willen zijn van bureaucratische en dure organisaties. Tegelijkertijd hebben we in de energiewereld te maken met instituties en lobbykrachten die zijn geënt op traditionele organisatieprincipes. De huidige situatie vertoont dan ook alle kenmerken van een overgangssituatie die volgens transitiedeskundigen wel een jaar of tien kan duren en waarin gevestigde partijen uit de energiewereld voorlopig nog de marsroute van de energietransitie bepalen. Deze partijen verdedigen gevestigde belangen, zoals subsidies op fossiel energiegebruik. Ook is er verzet tegen een CO₂-belasting die bedrijven kan stimuleren om over te stappen op CO₂-arme technologie. De transitie-experimenten die wel plaatsvinden, hebben in Nederland een sterk technologisch karakter en zijn nauwelijks gericht op stelselwijziging of gedragsverandering. Het creëren van nieuwe duurzame waardeketens en sociaal leren lijken hierbij van ondergeschikt belang te zijn (Rotmans 2011).

De grote lijn wordt duidelijk

Verslag van een interview met Jan Rotmans¹³

Rotmans stelt vast dat wereldwijd de innovatie in de energiewereld wordt gestuurd door de grote bedrijven. Deze verzetten zich tegen de transitie naar het gebruik van hernieuwbare energiebronnen. Dat is zichtbaar aan de wereldwijde investeringen in de winning van onconventioneel fossiel: teerzanden en schaliegas. Die strategie resulteert op dit moment in lage prijzen voor kolen op de wereldmarkt en houdt vooralsnog de transitie naar duurzame energie tegen. Daarbij komt dat het verdienmodel van de energiebedrijven niet meer werkt. Op de stroommarkt is er een overcapaciteit mede door de gesubsidieerde zonne- en windstroom uit Duitsland; gefinancierd door de Duitse belastingbetaler. Fossiele gascentrales staan al stil, kolencentrales waarvan de grondstof goedkoper is draaien nog wel.

Nederland zet in op fossiel

De EU zet niet stevig in op energietransitie en Nederland al helemaal niet. Nederland is van oudsher een fossiel land, dat begon met turf, later werd dat steenkool, en na de oorlog is dat gas geworden. Mede hierdoor heeft Nederland veel energie-intensieve bedrijven, vaak multinationals. Als het gaat om energiebeleid wordt het standpunt van VNO-NCW bepaald door de energiereuzen en energie-intensieve bedrijven, die uit zijn op schaalvoordelen. De verknoping tussen deze bedrijven en de politiek is groot. De energielobby is ook tegen fiscale vergroening. Fiscale vergroening is nodig voor een *level playing field*. Dat geeft Rotmans weinig hoop op een doorbraak via het nieuwe SER akkoord. Daarin neigt men toch weer naar een regime van 90 procent fossiel en 10 procent duurzaam.

Al met al heeft Rotmans vastgesteld dat er in ons land ongeveer 55 wegwijzers staan (regelingen) die nog steeds in de richting van fossiele energie wijzen. En die moeten allemaal worden omgezet, maar op lange termijn is hernieuwbaar de trend. Het krachtenveld is zeer dynamisch, maar de grote lijnen van de ontwikkeling zijn duidelijk. Schone energie heeft op dit moment een aandeel van 2% in de globale energievoorziening. Als dat aandeel exponentieel groeit met 25% per jaar, dan zitten we in 2020 op een aandeel van 5-10% en in 2040 op een 30%. De periode van tegenkrachten en spanning waarin we nu zitten zal ongeveer tien jaar duren, zo blijkt uit historisch transitieonderzoek. De schone economie gaat uiteindelijk winnen, maar we weten niet hoe lang dat precies gaat duren.

Wat zorgt voor een doorbraak?

Rotmans ziet meerdere drijvende krachten. Om te beginnen is er de lokale energieopwekking, die de komende jaren doorzet. Hieraan ligt ten grondslag een hang naar autonomie, onafhankelijkheid en zelfredzaamheid. De overheid doet het niet, dus doen we het als burger zelf. En er is technologie die het mogelijk maakt: *smart grids*, slimme apparaten, ICT. Het directe effect hiervan is beperkt, misschien 1% van de 16% duurzame energie die we in 2020 in Nederland willen realiseren, maar het indirecte effect ervan is belangrijker. Deze initiatieven zorgen voor schrik in de markt en zetten druk op grote energiebedrijven om producten en diensten te leveren die consumenten willen: schone en duurzame energie. De maatschappelijke ordening is aan het veranderen. Er ontstaan nieuwe verbanden, waarin de menselijke maat terugkomt. Dat is een belangrijke veranderkracht.

Fiscale vergroening zou een andere drijvende kracht kunnen zijn, maar die wordt tegengehouden door de fossiele energiebedrijven. Het effect van fiscale vergroening is dat energie-intensieve bedrijven en consumenten meer gaan betalen voor vuile stroom. Daarmee creëer je incentives om over te stappen op schone energie. Het besef dat een transitie noodzakelijk is, leeft inmiddels politiek breed. Ook bij EZ en andere ministeries is een cultuuromslag gaande naar een groene economie, maar dat is nog een zoektocht. Als men tot opschaling van radicale innovaties wilt komen, dan zal een kleinere nichespeler samenwerking moeten vinden met een traditionele partij die zich richt op incrementele innovaties. We moeten dus op zoek naar bedrijven die de poorten open willen zetten voor radicale innovatie. Een faciliterende overheid brengt die verbinding tot stand, en dan vooral op regionaal niveau met korte lijnen en de bereidheid om kennis tussen alle betrokken partijen te delen.

¹³ Prof. dr Jan Rotmans is hoogleraar Duurzame transitities aan de Erasmus Universiteit Rotterdam en directeur van het Dutch Research Institute for Transitions (DRIFT). Het interview is gehouden op 30 januari 2013.

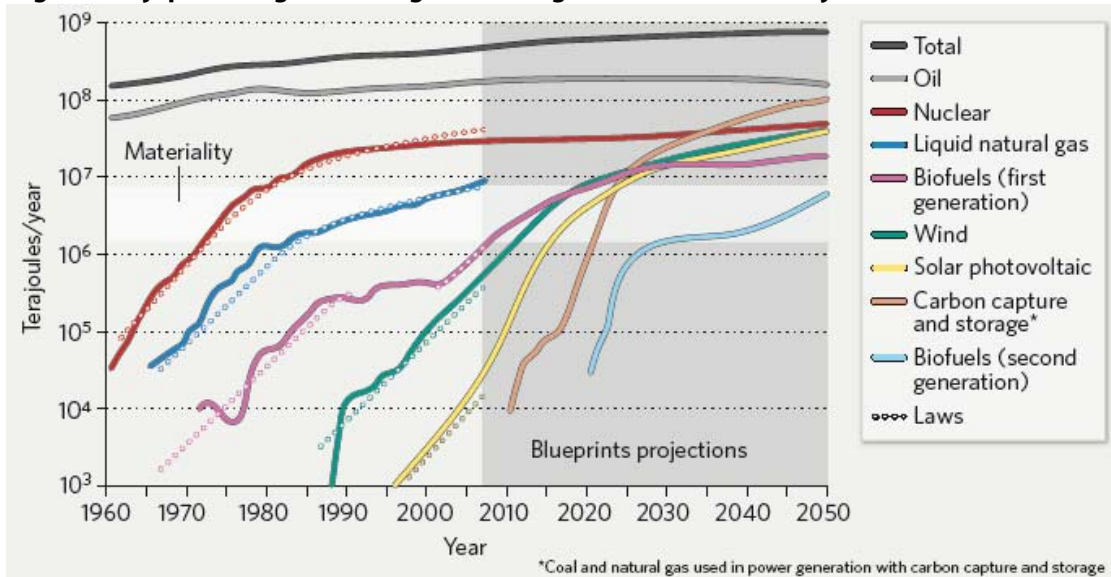
4.4 Het technologievenster

Technologie staat niet op zichzelf, maar is vaak gekoppeld aan een beleidsdoel zoals het beperken van de opwarming van de aarde door vermindering van de CO₂-uitstoot. Binnen de EU is afgesproken te komen tot een afname van 80-95 procent in 2050 ten opzichte van 1990. Dit kan op meerdere manieren: door energiebesparing, door ontwikkeling van CO₂-arme energietechnologie en door hergebruik en opslag van vrijkomend CO₂ (GEA 2012, WEC 2012, Greenpeace 2012, European Commission 2011). Partijen actief in duurzame energieopwekking gaan in hun trendanalyses uit van extrapolaties van bestaande of incrementele technologieën voor groene energie. Voor de benutting van energie uit zonlicht bijvoorbeeld worden zonnecellen en zonnecollectoren ingezet. Radicale innovaties zoals kunstmatige bladeren, waarbij het geabsorbeerde zonlicht rechtstreeks via katalyse wordt omgezet in waterstof, ontbreken. De oorzaak hiervan lijkt te liggen in de beperkte tijdshorizon in het beleid en ook de grote onzekerheid over nieuwe technologische doorbraken. *Smart grids* vormen een positieve uitzondering. Smart grids bestaan uit IT-gestuurde en van buffercapaciteit voorziene netwerken die het mogelijk maken om tijdelijke overschotten en tekorten die ontstaan bij grootschalig gebruik van wind- en zonne-energie op te vangen. Zij maken een systeem van vraag en aanbod mogelijk; integratie van lokale en centrale energiebronnen leidt tegelijkertijd tot besparingen.

Fossiele brandstoffen blijven in de meeste scenario's onderdeel uitmaken van de energiemix, waarbij het broeikasgaseffect wordt gecompenseerd door CO₂-opslagtechnieken (Shell Scenarioteam 2013, BP 2013, GEA 2012, WEC 2012). Deze technieken staan aan het begin van hun implementatietraject en zijn maatschappelijk gezien niet onomstreden. Daarnaast is er aandacht voor biobrandstoffen, vooral voor de 2^e of 3^e generatie gebaseerd op afvalstromen uit landbouw, industrie en huishouden, of uit algen. De kostprijs van de 2^e generatie biobrandstoffen kan nog niet concurreren met fossiele brandstoffen en biobrandstof uit algen staat of valt met de gelijktijdige coproductie van andere hoogwaardige stoffen (cascadering). Genetische modificatie is vrijwel zeker nodig om de productie van biobrandstof uit algen mogelijk te maken (Jones & Mayfield 2012). Het ontbreekt thans aan voldoende kennis om de risico's van zulke gg-algen in te kunnen schatten (Enzing et al. 2012).

Aan alle energiebronnen kleven nadelen. Duurzame energiebronnen hebben meer land- of water oppervlak nodig dan conventionele en kunnen conflicten opleveren met voedselvoorziening en ander ruimtegebruik. Er blijven grondstoffen nodig: bulkmaterialen als staal, maar ook zeldzame metalen voor zonnecellen en batterijen. Het belangrijkste probleem is wellicht dat de groei van nieuwe technologie ter vervanging van bestaande technologie in eerste instantie exponentieel verloopt, maar afzwakt op het moment waarop een marktaandeel in de wereldwijde energiemix is bereikt van één procent (*materiality*). Hiervoor is een tijdspad nodig van zo'n 30 jaar. Deze wetmatigheid geldt ook voor groene technologie. Voor de meest gangbare duurzame technologieën zoals zon en wind wordt dit punt bereikt tussen 2020 en 2030, zie ook figuur 2 (Kramer & Haigh 2009).

Figuur 2: Tijdspad nodig voor energietechnologieën tot een wereldwijd marktaandeel van 1%



Van Bio-based naar Bio-inspired

Verslag van een interview met Rietje van Dam¹⁴

Het Topconsortium Kennis & Innovatie (TKI) van de topsector Bio-Based Economy (BBE) beschikt niet over eigen middelen en wordt vooral gevoed vanuit andere topsectoren zoals agro-food, chemie, maar vooral energie. Energie is een van de weinige sectoren waar nog extra middelen heen gaan. Hierdoor zie je in de praktijk van de BBE een focus ontstaan op biobrandstoffen. Volgens Van Dam gaat dat vooral om de toepassing van biomassa als korte termijn oplossing voor het realiseren van EU-klimaatdoelen. We weten dat grootschalige inzet van biomassa voor energieproductie op de langere termijn niet haalbaar is. Planten zijn namelijk helemaal niet efficiënt in het vastleggen van energie.

Wat planten wel goed kunnen, volgens Van Dam, is het maken van allerlei complexe organische verbindingen. In het maken van *fine chemicals* is de natuur veel efficiënter dan de chemie, en dat is dan ook wat je planten vooral moet laten doen. Momenteel is er in de energiesector wel enige aandacht voor fotovoltaïsche opwekking van energie uit zon, maar dat levert alleen elektriciteit en warmte op. Voor de lange termijn biedt directe omzetting van zonne-energie naar chemische energie in de vorm van chemische binding veel meer perspectief. Een *artificial leaves* systeem kun je daarmee inzetten als platform voor energie én chemie. We gaan daarmee van bio-based naar bio-inspired.

Betekenis voor BioSolar Cells

Daarmee is voor BioSolar Cells de behoefte vanuit de fijnchemie en de agro-food een belangrijkere aanjager dan de vraag vanuit de energiesector. Tenminste vanuit het perspectief van de behoefte aan nieuwe energiebronnen: het *source*-perspectief. Kijk je vanuit het *sink*-perspectief van het klimaatprobleem en de extra CO₂ die vrijkomt bij het verstoken fossiel gas en steenkool, nieuwe milieuproblemen door *fracking* (schaliegas) en het lekken van methaan, dan zijn er andere oplossingen nodig dan meer (schalie)gas winning en efficiënte kolencentrales. De Nederlandse overheid zet vooral in op verdere ontwikkeling van CO₂-opslag en bijstook van biomassa in fossiel gestookte centrales, waardoor fiscale voordelen en subsidies niet in ons voordeel gaan werken.

Wat maakt ons minder afhankelijk van de internationale energie context? Vanuit de BBE zetten we voor energie in op de *artificial leaves*. Immers er is een groot gevaar van lock-in effecten om in te zetten op biobrandstoffen. Voor agro-food en fijnchemie focussen we op cascadering van groene grondstoffen voor productie van hoogwaardige chemicaliën op basis van planten en algen. Bij planten staat de efficiencyverbetering centraal. Bij algen gaat het niet alleen om technologie, maar ook om het ontwikkelen van nieuwe waardeketens door het gebruik van reststromen of nieuwe vormen van aquacultuur.

Regionaal perspectief

Voor het maken van een effectieve koppeling tussen agro-food, chemie en energie ziet Van Dam vooral mogelijkheden op een regionaal niveau, al of niet grensoverschrijdend. Kennisregio's zijn Europees zoals de Zuidwestelijke Delta en Noord-Nederland al laten zien. Op dat niveau houd je de innovatie ook dicht bij de menselijke maat en zijn er volop mogelijkheden om gebruik te maken van het innoverende vermogen van het midden- en kleinbedrijf. Die menselijke maat is belangrijk vanuit het oogpunt van transparantie. Het is letterlijk dichtbij en biedt mogelijkheden voor verschillende partijen om invloed uit te oefenen. Daarmee creëer je vertrouwen in en draagvlak voor de verdere ontwikkeling van gecombineerde toepassingen van energie, agro en chemie.

Van Dam is voorstander van het ontwikkelen van *learning networks*, waarin niet alleen aandacht is voor de technologie zoals die nu in veel opleidingen al aandacht krijgt, maar waarin ook aandacht is voor de sociale component van het leren. Dat betekent dat men niet alleen jonge mensen moet opleiden, maar ook werkende mensen. Dat men de kennis moet vertalen naar laagdrempelige verspreiding via ICT middelen. Dat geldt zeker voor kennis in de regio's. Zij pleit er voor om daar een gezamenlijke kennis resource van te maken met een precompetitief karakter: iedereen die bijdraagt mag er ook gebruik van maken.

¹⁴ Prof. dr Rietje van Dam is hoogleraar Duurzame ontwikkeling en Onderwijsvernieuwing aan de Universiteit Leiden en bestuurslid van het TKI Biobased Economy. Het interview is gehouden op 21 januari 2013.

5. Toekomstbeelden van een duurzame energievoorziening

In dit hoofdstuk geven we een antwoord op de tweede onderzoeksvraag: Hoe kom je tot een afstemming van incrementele en radicale innovatie zonder lock-in effecten? En we beantwoorden de derde onderzoeksvraag: Wat is de rol van de verandering in maatschappelijke organisatiestructuur in de energietransitie? Dit doen we door eerst de belangrijkste drijvende krachten (drivers) te benoemen voor het maken van toekomstbeelden vanuit de vier vensters op de energietransitie: het beleid, de economie, de samenleving en de technologie. We geven ook een beeld van de ambities en de stand van zaken in het BioSolar Cells programma op het gebied van duurzame energie. We schetsen daarna een tweetal toekomstbeelden van een duurzame energievoorziening in Nederland. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een reflectie op de mogelijke rol en positie van het BioSolar Cells programma in de energietransitie en de mogelijke consequenties daarvan voor strategische keuzen van BioSolar Cells voor de middellange termijn 2013 - 2020 en de periode daarna.

5.1 Drijvende krachten

Het gaat erom de belangrijkste drijvende krachten die zowel qua onzekerheid als qua impact hoog scoren, te selecteren. Deze drijvende krachten kunnen dan worden gebruikt voor het opzetten van een raamwerk voor het doordenken van verschillende perspectieven op en ontwikkelingen in een duurzame energievoorziening. Vanuit de vier vensters zoals beschreven in hoofdstuk vier articuleren we hieronder de meest betekenisvolle drivers.

Binnen het beleidsvenster zien we dat een effectief en consistent beleid voor de lange termijn wordt gezien als een cruciale factor. We hebben het dan vooral over subsidie- en fiscaal beleid en het effect ervan op de kansen voor verschillende spelers en technologieën - en liefst een speelveld, dat voorziet in gelijke toegang tot kennis, technologie, subsidies en markt voor alle partijen (*level playing field*). In Nederland zien we een ongelijk speelveld voor de verschillende toepassingen van biomassa. In de praktijk wordt vooral het gebruik in de vorm van energie gestimuleerd. Dit gebeurt door beleid gericht op productie van duurzame elektriciteit (SDE⁺-subsidie) en verplichte bijmenging van biobrandstoffen. In de EU is er grote inefficiëntie in het huidige stelsel van CO₂-emissierechten en de handel daarin. Tegelijkertijd is er een luider wordende roep om een slimme CO₂-belasting. De combinatie van subsidies en beprijzing van CO₂ heeft een grote impact op de verdere ontwikkeling van de energievoorziening. Onzekerheid over de richting waarin deze drijvende kracht van subsidie- en fiscaal beleid zal werken, is gelegen in de onzekerheid over de politieke ontwikkelingen op nationaal en internationaal niveau.

In het economievenster is de mogelijkheid en bereidheid van verschillende partijen om te investeren in efficiëntieverbetering van bestaande energietechnologieën en in ontwikkeling van nieuwe duurzame technologieën van doorslaggevend belang. De termijn waarop en de mate waarin een *return on investment* kan worden verwacht, is hierbij beslissend. Of grootschalige investeringen in duurzame energievoorziening voldoende aantrekkelijk worden voor investeerders hangt onder meer af van het overheidsbeleid, de prijsontwikkeling van fossiele brandstoffen en de ontwikkeling van de technologie zelf. Banken zijn terughoudend geworden bij het financieren technologisch risicovolle projecten. Durfkapitalisten kunnen in Nederland en de rest van Europa vaak onvoldoend rendement halen en kijken uit naar China en de VS. De beschikbaarheid van conventioneel investeringskapitaal is daarmee een onzekere factor geworden. Conventionele financieringsstructuren lijken onvoldoende om het benodigde investeringsvolume te financieren; de verhouding tussen rendement en risico dient te worden verbeterd. Voor een deel zou de overheid investeringsvehikels mogelijk kunnen maken die minder risicovol zijn en meer kapitaal kunnen aantrekken. Daarnaast zijn er nieuwe constructies nodig zoals vormen van corporatieve financiering en kleinschalig participatief beleggen of *crowd funding*. De energietransitie vraagt dus niet alleen om technische, maar ook om financiële innovatie. De snelheid waarmee en de mate waarin die financiële innovatie zich zal voltrekken is onder meer afhankelijk van maatschappelijke en economische ontwikkelingen en de juridisch-fiscale ruimte die (nieuw) beleid gaat bieden. Deze combinatie van factoren zorgt voor een grote mate van onzekerheid.

Voor het samenlevingsvenster is de belangrijkste vraag hoe bottom-up initiatieven en nieuwe manieren van besluitvorming zich zullen ontwikkelen. Vanwege hun kleinschaligheid is de directe impact van dergelijke initiatieven weliswaar beperkt, indirect kunnen ze wel veranderingen in de bestaande structuur van de energievoorziening teweeg brengen. Onzekerheid is er vooral over de schaal waarop een dergelijke maatschappelijke herorganisatie zal doorzetten - en daarmee is er ook onzekerheid over de mate waarin deze transitie zal doorwerken in andere domeinen. Het zoeken naar nieuwe waardeketens waarbinnen producenten en consumenten met elkaar nieuwe regels en tradities afspreken en nieuwe markten ontwikkelen, kan een daadwerkelijke steun voor duurzame energie inhouden. Over de vertaling van het maatschappelijke draagvlak voor duurzame energie in een bereidheid daarvoor te betalen, bestaat minder onzekerheid. Ondanks de beleidssteun zullen huishoudens en bedrijven niet vanzelf meer willen gaan betalen of hun energiesubsidies opgeven.

In het technologievenster kunnen we vaststellen dat er minder onzekerheid is over de vraag of nieuwe technologie zal worden ingezet. De mate waarin en de manier waarop is echter afhankelijk van andere factoren, zoals beleidsbeslissingen, de capaciteit om te investeren, lock-in effecten en afschrijvingstermijnen van oude technologie. Ook is er een belangrijke theoretische limiet, die los staat van draagvlak en strategieën: technologieën hebben een tijdpad nodig van ongeveer dertig jaar om ontwikkeld, operationeel en geoptimaliseerd te worden, zie ook figuur 2 (Kramer & Haigh 2009). Hierdoor is het niet mogelijk om uitspraken te doen over de impact van technologie als zelfstandige drijvende kracht. Kijken we naar de realisatie van specifieke technologieën dan is de onzekerheid variabel. Uiteraard is er verschil tussen een technologie die al volop in ontwikkeling is en een technologie die nog in de kinderschoenen staat. In het laatste geval is de implementatie per definitie onzeker en is het moeilijk iets te zeggen over de impact. Daarnaast kan onderscheid worden gemaakt tussen incrementele technologie die inpasbaar is in bestaande (infra)structuren en radicale technologie die verandering in de economische en maatschappelijke organisatiestructuren vereist. In beide gevallen is de impact sterk afhankelijk van de aard van de technologie en de maatschappelijke context waarin hij wordt toegepast. Samenvattend zijn in de volgende classificerende tabel 1 voor elk van de vier vensters de belangrijkste drivers en de mate van onzekerheid en impact ervan aangegeven.

Tabel 1. De belangrijkste drivers in de vier onderscheiden vensters

Vensters	Drijvende krachten	Onzekerheid	Impact
Beleid	Gelijk speelveld voor alle partijen	++	+++
	CO ₂ -belasting en/of CO ₂ -handelssysteem	++	+++
Economie	Beschikbaarheid investeringskapitaal	++	+++
	Nieuwe financieringsconstructies	+++	++
Samenleving	Maatschappelijke herorganisatie	+++	++
	Consumentengedrag	++	++
Technologie	Uitrol incrementele technologie	+	?
	Doorontwikkeling radicale technologie	+++	?

Globale trends

In de geanalyseerde studies en rapporten is ook een aantal trends aangegeven die met een redelijke mate van zekerheid zullen doorzetten (Hanssen & De Vriend 2013). Hieronder schetsen we kort de belangrijkste voor het domein van een duurzame energievoorziening. De bevolkingsgroei zal toenemen tot 9 miljard in 2050, vooral in Afrika en Azië. Dit gaat gepaard met een toenemende verstedelijking en voedselvraag. De economische ontwikkeling in Azië en Latijns-Amerika zet voorlopig door en Afrika volgt. De vraag naar energie in Europa en Noord-Amerika daalt, deels vanwege de economische crisis, of blijft gelijk als gevolg van een verbeterde energie-efficiency. In Azië en Latijns-Amerika neemt als gevolg van een stijgende welvaart de vraag naar energie sterk toe. De situatie voor fossiele brandstoffen is minder nijpend dan enkele jaren geleden werd gedacht. Bewezen gasreserves kunnen nog zeker zestig jaar in werelds gasbehoefte voorzien; steenkoolreserves, de helft ervan bevindt zich in China, nog zeker honderd jaar. De schaliegasrevolutie heeft er voor gezorgd dat de VS op weg zijn zelfvoorzienend te worden op energiegebied, maar ook dat wereldwijd de prijzen op de energiemarkten onder druk zijn komen te staan.

Het tegengaan van klimaatverandering blijft voor veel landen een belangrijke beleidsdoelstelling en uit zich in strengere maatregelen gericht op de beperking van de uitstoot van broeikasgassen. Invoering van nieuwe technologieën voor opwekking van duurzame energie zetten door, maar het absolute aandeel in de energiemix neemt slechts geleidelijk toe. Enerzijds komt dit door de beperkte vervangingsnelheid van oude technologie, anderzijds door een druk op nieuwe investeringen vanwege de concurrentie met investeringsrendementen op conventionele energiebronnen. Niettemin de technologiekosten zelf dalen al een aantal jaren als gevolg van schaalvoordelen en technologievolwassenheid voor de twee belangrijkste *renewables* zon en wind.

Transitiebrandstof

Veel actoren in de energievoorziening zien gas als een brandstof die essentieel is in de energietransitie (Hanssen & De Vriend 2013). Gas kan in de stroomvoorziening gemakkelijk worden gecombineerd met zon en wind, omdat gascentrales snel aan en uit kunnen schakelen. Gas geeft bovendien de helft minder CO₂ uitstoot dan steenkool. Voor olie geldt dat het niet alleen een brandstof is, maar ook een grondstof voor veel chemische producten. Daarvoor zijn nu nog niet altijd voldoende duurzame alternatieven beschikbaar. Voorlopig blijven gas en olie nodig als aanvulling op de renewables; totdat de uitrol van benodigde duurzame technologie en de financiering en inrichting van benodigde nieuwe infrastructures zijn beslag hebben gekregen. Dit beeld zien we teug in de lopende SER discussie over een nieuw akkoord voor het Nederlandse energiebeleid. De eerste contouren van dit akkoord lijken te wijzen op forse maatregelen voor energiebesparing; het bieden van zekerheden voor al gedane investeringen door energieproducenten; het zoeken naar nieuwe investeerders in renewables zoals pensioenfondsen en verzekeraars; het ondersteunen van lokale hernieuwbare energieopwekking; maar ook een hogere eigen bijdrage van burgers door een opslag op de energierekening in de bekostiging van de energietransitie.

5.2 Nederland krijgt duurzame energie

Scenariostudies gaan er vanuit dat de toekomst niet te voorspellen valt, maar dat men zich er wel op kan voorbereiden door drijvende krachten en trends zo goed mogelijk in kaart te brengen. Van daaruit kan men verschillende, maar realistische voorstellingen van die toekomst maken. Het is een onderbouwde methodiek om door literatuuronderzoek, trendextrapolatie, actoranalyse en expertraadpleging rekening te houden met ongewone omstandigheden, nieuwe ontwikkelingen en onverwachte mechanismen (Van Asselt et al. 2010). In deze paragraaf wordt een tweetal toekomstbeelden geschetst waarin in 2020 een substantieel deel van de energievoorziening in Nederland duurzaam kan zijn. We hebben voor elk van de vier vensters de belangrijkste drijvende krachten gearticuleerd die zowel qua onzekerheid als qua impact hoog scoren, zie tabel 1 in de vorige paragraaf. Afhankelijk van de ontwikkeling van specifieke drivers kan een duurzame energievoorziening in Nederland vorm krijgen.

We kiezen hierbij voor twee toekomstbeelden: *Nederland als Energie Haven* en *Nederland als Energie Boerderij*. Er is gekozen voor de metafoor van de haven omdat de haven goed past in het beeld van Nederland als in- en doorvoerland van grote stromen fossiele en groene grondstoffen, verbruik in energieproductie of verdere verwerking in de omringende gebieden door raffinage en chemische industrie. Ook de groei en ontwikkeling van offshore windenergie en aquacultuur past in dit beeld van een grootschalig en intensief gebruik van het kustgebied en havens. De tweede metafoor is die van de boerderij. De boerderij staat model voor kleinschalige productievormen gekoppeld aan lokale en regionale distributienetwerken waarin huishoudens en het MKB al dan niet in collectieve verbanden energie produceren via wind, zon of andere renewables om in hun eigen behoeften te voorzien. De omvang van deze vormen van energieproductie is nog beperkt, maar wel sterk groeiend. De voorziene verdere ontwikkeling van decentrale opwekking heeft grote effecten op de energienetten. De netbeheerders willen deze energieontwikkelingen ondersteunen en zijn proefgebieden gestart met intelligente besturingstechnologie voor lokale producenten en afnemers. Deze *smart grids* kunnen op termijn ook de handel in energie ondersteunen en deze zelfs ingrijpend veranderen.

Om de betekenis van het transitieproces zichtbaar te maken, hebben we in tabel 2 een doorkijk gemaakt voor de middellange termijn: 2013-2020. In de tabel zijn deze ontwikkelingen geschetst vanuit de vier vensters.

Tabel 2. Keuzes voor Nederland in de weg naar een duurzame energievoorziening in 2020

Vensters met drivers	Nederland als Energie Haven	Nederland als Energie Boerderij
Beleid		
Gelijk speelveld voor alle partijen	Grote bedrijven houden de regie. De overheid handhaaft de huidige SDE ⁺ regeling. Energiebesparing wordt verplicht voor een snel te realiseren energieverduurzaming.	Grote rol voor MKB, lokale initiatieven en burgers, mogelijk door een gelijke toegang tot kennis, technologie, subsidies en markt. Vermindering energiegebruik is een intrinsiek doel.
CO ₂ -belasting en/of CO ₂ -emissiehandelssysteem	Een CO ₂ beprijzing stuurt in grote mate beslissingen over investeringen, maar moet geleidelijk worden ingevoerd ter voorkoming van (te grote) verliezen uit gedane investeringen.	De beprijzing van CO ₂ stuurt in belangrijke mate beslissingen over investeringen. Hoe hoger de beprijzing, hoe groter de incentives om te investeren in hernieuwbare technologie.
Economie		
Beschikbaarheid traditioneel investeringskapitaal	Marges van energiesector zijn klein, beperkte aantrekkingskracht voor traditionele investeerders. Publiekprivate financiering is van groot belang. Venture capital is bottleneck.	Kleinschalige initiatieven zijn onaantrekkelijk voor grote investeerders. Mogelijk enige vorm van kleinschalige publiekprivate financiering. Venture capital is bottleneck.
Nieuwe financieringsconstructies	Mogelijk interesse van pensioenfondsen en verzekeringsmaatschappijen in duurzame initiatieven indien financieel rendement gewaarborgd.	Nieuwe financieringsconstructies zijn cruciaal. Kan in vorm van directe consumentenfinanciering, collectieve/coöperatieve constructies, nieuwe bankproducten of crowd sourcing.
Samenleving		
Maatschappelijke herorganisatie	Verduurzaming vereist nieuwe vormen van ketenorganisatie, maar de burger / consument maakt daar niet actief deel van uit. Wel veranderingen in de keten van grondstoffenleverancier tot distributeur.	De consument wordt producent en herkomst van energie wordt voor iedereen zichtbaar. Nieuwe organisatievormen bundelen krachten en initiatieven; zorgt voor een meer cyclische ketenorganisatie en gedeelde ketenverantwoordelijkheid.
Consumentengedrag	Consumenten hebben geen invloed op energiebeleid. Door energieproductie op afstand is impact op consumptiegedrag beperkt. Bedrijfsleven en overheid worden als verantwoordelijken gezien.	De consument wordt producent, wordt zich meer bewust van de eigen rol in de energieketen en gaat hierdoor bewuster met energie om.
Technologie		
Uitrol van incrementele technologie	Sluit aan bij bestaande infrastructuur van industrie en maakt daardoor veel kans. Sterke voorkeur voor op CO ₂ -recycling gebaseerde technologie en CO ₂ -opslag (CSS). Cascadering is cruciaal voor rendabele business cases.	Is direct toepasbaar (zon, wind, biogas) mits aan voorwaarde van gelijk speelveld is voldaan. Combinatie met smart grids en blijvende afhankelijkheid van klassieke energie-infrastructuur.
Doorontwikkeling radicale technologie	Het MKB vervult een sleutelrol, mits voldoende ondersteund door overheid en grote bedrijven. Naast CO ₂ -recycling in korte koolwaterstoffen (solar fuels) en CO ₂ -opslag (CCS) ook inzet van CO ₂ -loze waterstoftechnologie.	Sterke voorkeur voor CO ₂ -loze waterstoftechnologie, richting naar een autonome energie-infrastructuur en smart grids. Weinig ruimte voor experimenten met nieuwe technologie vanwege neiging om financiële risico's te beperken.
Vensters met drivers	Nederland als Energie Haven	Nederland als Energie Boerderij

Beide toekomstbeelden Nederland als *Energie Haven* en als *Energie Boerderij* maken de toepassingen uit het BSC programma breder bespreekbaar onder onderzoekers en stakeholders. Tegelijkertijd zijn ze ook een hulpmiddel voor het managementteam om meer helderheid te krijgen over de eigen strategie en over de keuzes die andere actoren maken en waardeoriëntaties die zij daarbij belangrijk vinden. In 2020 moet de impact zichtbaar zijn van de huidige generatie incrementele technologieën voor hernieuwbare energie. In de periode daarna is er ruimte voor de toepassing van nieuwe doorbraaktechnologieën en radicale innovaties die pas op langere termijn van betekenis zullen worden. Als we kijken naar de mogelijke rol van kennis en technologie uit het BSC-programma in de transitietrajecten dan focussen we in eerste instantie op toekomstverwachtingen op het gebied van algenteelt als een voorbeeld van een incrementele innovatie en naar kunstmatige bladeren als een voorbeeld van een meer radicale innovatie.

5.3 Rol en positie van BioSolar Cells in de energietransitie¹⁵

Het BioSolar Cells programma maakt gebruik van kennis en technologie uit verschillende disciplines zoals nanotechnologie, genomics of plantenfysiologie. Voor het onderzoek naar teelt- en proces-systemen van algen wordt gebruik gemaakt van het AlgaeParc in Wageningen. Onderzoek naar kunstmatige fotosynthese wordt uitgevoerd aan de universiteiten van Leiden, Delft, Eindhoven en Amsterdam. Het (blauw)algenonderzoek vindt plaats in Wageningen, Amsterdam en Leiden. Onder de private partners van BSC bevinden zich multinationals als ExxonMobil en DSM, gespecialiseerde MKB bedrijven als Synthetic Genomics en Paques, en start-ups als Photanol en Plant-E.¹⁶ Het onderzoek naar (blauw)algen en kunstmatige fotosynthese betreft radicale inventies op het gebied van de productie van biobrandstoffen of waterstof, als van interessante bijproducten en grondstoffen voor de chemie in de vorm van korte koolwaterstofverbindingen zoals lactaat en ethanol. Het algen- en cyanobacteriënonderzoek dienen in 2016 te resulteren in een productiesysteem waarin uiteindelijk vijf tot tien procent van de energie uit zonlicht wordt omgezet in een biobrandstof. In datzelfde jaar moet er ook een proof-of-concept zijn van twee verschillende ontwerpen voor een kunstmatig fotosynthesesysteem. Dit moet uiteindelijk leiden tot de productie van zogenaamde *solar fuels*, zoals waterstof en methanol. Het gaat hier om de ontwikkeling van geavanceerde katalysatoren en nagebootste fotosynthese in de zogenaamde kunstmatige bladeren (Klein Lankhorst et al. 2013).

Algenteelt

Om aan te kunnen geven hoe het onderzoek in het BSC programma vordert, wordt het *Technology Readiness Level* (TRL) systeem gebruikt dat op een schaal van 1 tot 9 aangeeft in welk stadium het onderzoek c.q. de technologie zich bevindt: van 'het bewijs voor het bestaan van fundamentele principes' tot 'het gereed zijn voor een brede implementatie'.¹⁷ Het onderzoeken van optimale teeltomstandigheden in samenwerking met AlgaeParc zit nu op een TRL 6-7. Maar om die algen voldoende productief te krijgen, moet er nog veel gebeuren op het gebied van algenveredeling. Dat kan alleen met genetische modificatie of *directed evolution*; bij algen staat dit onderzoek nog in de kinderschoenen (Jones & Mayfield 2012). Algen zijn een goede manier om bijvoorbeeld CO₂ afkomstig van fossiele brandstoffen te verwerken in korte koolwaterstofverbindingen. CO₂-recyclen kan door CO₂ uit de lucht te halen of door afstemming met elektriciteitscentrales en chemische productie-installaties met een voldoende en gegarandeerd aanbod van geconcentreerd CO₂. BSC denkt daarnaast aan een slimme cascadering, waarbij co-producten worden gemaakt met een hoge toegevoegde waarde voor de *food & feed* markt. Dus eerst de energie uit de algen oogsten in de vorm van biobrandstof tot tien maal hun eigen gewicht, en daarna de algenresten met hoogwaardige eiwitten en vetzuren gebruiken in bijvoorbeeld viskweek. Het probleem is echter dat met de huidige prijzen binnen het Europese ETS dat geen rendabele *business case* op kan leveren.¹⁸

¹⁵ Over de stand van zaken in het BSC onderzoeksprogramma is op 7 mei 2013 gesproken met prof.dr Huub de Groot wetenschappelijk directeur BSC en hoogleraar Biofysische organische chemie aan de Universiteit Leiden.

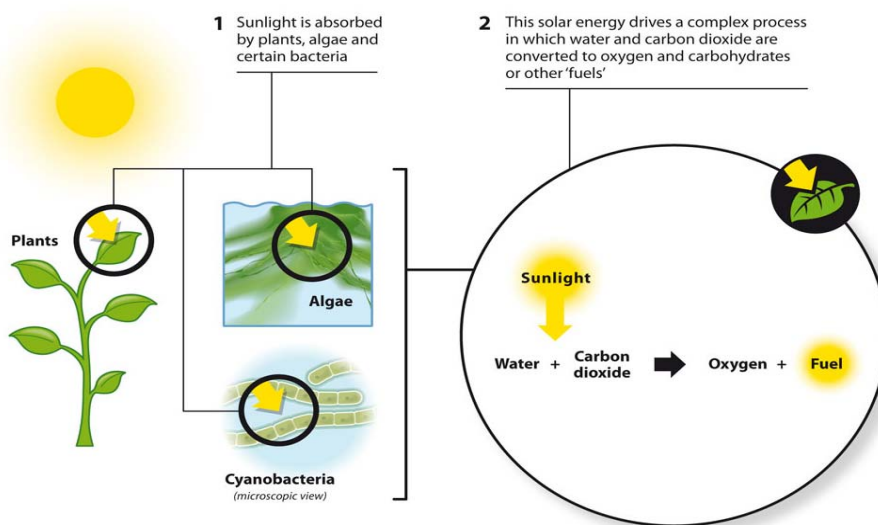
¹⁶ Zie ook: www.biosolarcells.nl

¹⁷ Er zijn meerdere TRL-systemen. BSC gebruikt het systeem dat is ontwikkeld door NASA.

¹⁸ Op dit moment is er een overschot aan CO₂-rechten waardoor de prijs van een ton CO₂ zeer laag is: nog geen vier Euro per ton (prijs niveau april 2013). De prijs is daardoor veel lager dan die aanvankelijk werd verwacht van

Niettemin de teelt van algen en cyanobacteriën lijkt om meerdere redenen goed aan te sluiten bij het Energie Havenmodel. Met het oog op de energievoorziening bij algenteelt moeten we eerder denken aan grootschalige dan aan kleinschalige projecten en installaties. Om een wezenlijke bijdrage te leveren aan de energievoorziening zijn grote volumes noodzakelijk. Daarnaast is een renderende teelt van algen en fotosynthetiserende cyanobacteriën afhankelijk van de beschikbaarheid van geconcentreerd CO₂ en nutriënten tegen zo laag mogelijke prijzen. Renderende toepassingen kunnen we dan ook verwachten bij hoge CO₂-belastingtarieven en/of hoge ETS prijzen en op plaatsen waar grote hoeveelheden CO₂ moeten worden afgezet en nutriënten beschikbaar zijn in de vorm van bijvoorbeeld afval. Dat kan in de nabijheid van industrie en energiecentrales die vaak gevestigd zijn in de havengebieden. Daarnaast zijn kleinschalige vormen van algenteelt denkbaar, bijvoorbeeld in kassen, maar die zullen zich vooral richten op de productie van *specialties* met een hoge toegevoegde waarde. Energie kan hier worden gezien als een bijproduct, maar in kleine volumes, waarbij de vraag is of dat rendabel is. In figuur 3 is het principe van het BioSolar Cells algen- en cyanobacteriënonderzoek weergegeven (De Vriend & Purchase 2013).

Figuur 3: Fotosynthese als natuurlijke manier om brandstoffen te maken



© Royal Society of Chemistry

www.rsc.org/solar-fuels

Een belangrijke bottleneck voor een grootschalige en rendabele teelt van algen is de beschikbaarheid van efficiënte teelt- en processystemen en van algen die in staat zijn om grote hoeveelheden brandstof te produceren. Dat kan worden gerealiseerd met behulp van genetische modificatie. Het is vrijwel zeker dat grootschalige teelt van genetisch gemodificeerde algen op verzet van de milieubeweging zal stuiten vanwege het risico van ontsnapping, zeker wanneer dat in een natuurlijke omgeving plaatsvindt. Bovendien betekent dit een enorme administratieve en financiële last in verband met de milieuregelgeving voor genetisch gemodificeerde organismen die hierop van toepassing is (Enzing et al. 2012). Fysieke inperking (ingeperkt gebruik) en biologische inperking (bijvoorbeeld gebruik van zoetwateralgen in een marine omgeving) kunnen deze lasten enigszins beperken, maar stellen wel extra eisen aan de installaties en telers. Verder moet er rekening mee worden gehouden dat met verbranding van op koolstof gebaseerde algenbrandstoffen weer CO₂ vrijkomt, waarmee deze brandstoffen in principe aan dezelfde voorwaarden zijn gebonden als fossiele brandstoffen.

Kunstmatige bladeren

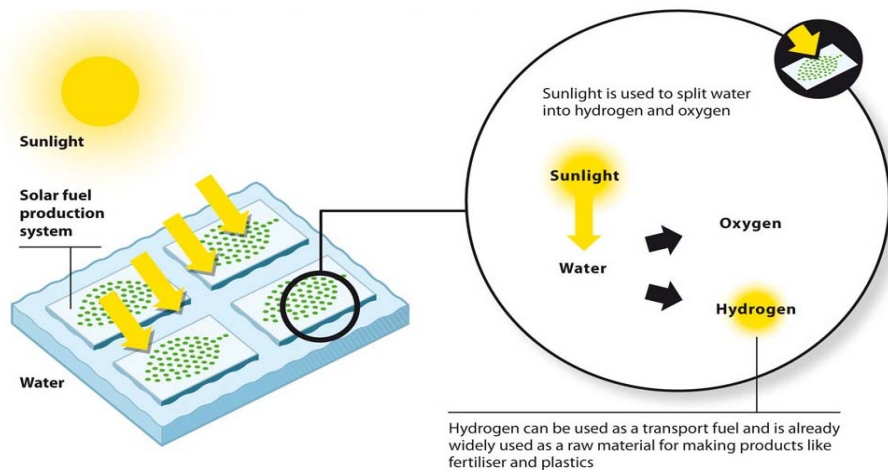
Met de komst van chemici in de ontwikkeling van photovoltaische (PV) cellen zijn in deze branche de mogelijkheden en rendementen enorm toegenomen. De fysici werkten vooral met silicium; chemici gebruiken nieuwe elementen en verbindingen op basis van inzichten uit het periodieke systeem. Er

ongeveer 30 Euro per ton CO₂. Hierdoor prikkelt het ETS niet tot extra vermindering van de CO₂-uitstoot of investeringen in meer duurzame technologieën.

was feitelijk sprake van een lock-in situatie in de zonnecel industrie. Inmiddels zijn er *multilayer* systemen gekomen, waarmee een groter deel van het spectrum van het zonlicht wordt benut. In de ruimtevaart zijn *triple junction cells* standaard aan het worden. Voor kunstmatige bladeren worden in het BSC programma *two junction cells* gebruikt met een rendement in de energieconversie richting twintig procent. Het voordeel ten opzichte van PV cellen is dat de kunstmatige bladeren het geabsorbeerde zonlicht rechtstreeks via katalyse omzetten in een brandstof die je kunt opslaan: waterstof. PV cellen produceren alleen stroom. Het kunstmatige bladeren project zit thans op een TRL 2-3, wat betekent dat een *proof of principle* er ligt. Over drie jaar moeten prototypes gereed zijn die in de praktijk zijn te gebruiken: *proof of concept*. Daarna is er nog een lange weg te gaan voordat commerciële toepassingen op de markt zullen verschijnen.

Kunstmatige bladeren zijn in principe toepasbaar op plaatsen waar water en zonlicht beschikbaar is. Dat maakt deze toepassing geschikter voor het Energie Boerderijmodel. Afgezien van hun productieproces zijn deze systemen CO₂-neutraal, zodat CO₂-prijzen geen rol spelen in de kosten – batenanalyse van deze toepassing. In figuur 4 is het principe van het BioSolar Cells kunstmatig fotosynthesesysteem weergegeven (De Vriend & Purchase 2013).

Figuur 4: Zonlicht wordt gebruikt voor het splitsen van water in zuurstof en waterstof



© Royal Society of Chemistry

www.rsc.org/solar-fuels

Een belangrijke bottleneck voor het uitrollen van kunstmatige bladeren op grote schaal is de ontwikkeling van betaalbare materialen voor de gebruikte katalysatoren. Willen ze enige kans maken, dan moeten systemen gebaseerd op kunstmatige bladeren kunnen concurreren met een business model gebaseerd op elektriciteit geproduceerd met klassieke PV zonnecellen, al dan niet gecombineerd met elektrolyse voor de productie van waterstof of andere vormen van energieopslag. Tenzij er een betaalbaar en efficiënt alternatief wordt gevonden voor de kostbare katalysatoren, zullen kunstmatige bladeren een significant hoger energetisch rendement moeten halen in vergelijking met het PV-elektrolyse alternatief. Voor een efficiënt gebruik en de distributie van waterstof als brandstof in verbrandingsmotoren of brandstofcellen is het van belang dat de verdere ontwikkeling van kunstmatige bladeren ook gepaard gaat met innovaties op deze terreinen.

De toekomst ligt open

Wordt één van de hier geschetste toekomstbeelden realiteit, of wordt het een mengvorm? Het antwoord op die vraag kan hier en nu niet worden gegeven. Hoe de toekomst er uit zal zien is niet alleen afhankelijk van de technologie die in het BioSolar Cells programma wordt gegenereerd, maar wordt in belangrijke mate bepaald door drijvende krachten en keuzes in het beleid, de economie en de samenleving. Als er wordt besloten om BioSolar Cells technologie in de komende jaren verder door te ontwikkelen en uit te rollen, dan kan dit het beste gebeuren in de vorm van een gefaseerde business case waaraan een pilot is vooraf gegaan. Hiermee kan optimaal rekening worden gehouden met *alle* actoren en drijvende krachten op het gebied van duurzame energie die zijn geschetst in de vier vensters.

6. Literatuur

BP (2013). *BP World Energy Outlook 2030*. London: BP p.l.c.

Briene, M. (2013). *Banen en economische waarde van 16% duurzame energie in Nederland in 2020*. Rotterdam: Ecorys.

CPB/PBL (2012). *Keuzes in Kaart 2013-2017. Een analyse van tien verkiezingsprogramma's*. Den Haag: Centraal Planbureau (CPB) / Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

CBS StatLine (2013). <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=7516>. (geraadpleegd op 7 mei 2013)

De Hond (2012). *Jaarlijks Energieonderzoek. Onderzoek in opdracht van Netbeheer Nederland*. Monnickendam: No Ties BV.

De Vriend, H. & R. Purchase (2013). *Solar Fuels and Artificial Photosynthesis. Science and innovation to change our future energy options*. Wageningen: BioSolar Cells.

De Vriend, H. & P. Schenkelaars (2008). *Oogst uit het Lab. Biotechnologie en Voedselproductie*. Utrecht: Jan van Arkel.

Enzing, C., Nooijen, A., Eggink, G., Springer, J. & R. Wijffels (2012). *Algae and Genetic Modification. Research, production and risks*. Bilthoven: Commissie Genetische Modificatie (COGEM).

European Commission (2007). *Energy Technologies: Knowledge, Perception, Measures. Special Eurobarometer 262/Wave 65.3*.

European Commission (2011). *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*. Communication from the Commission. Brussels: European Commission.

Galiana, I. & C. Green (2009). Let the global technology race begin. *Nature* 462, pp. 570-571.

Ganzevles, J. & R. Van Est (red.) (2011). *Energie in 2030. Maatschappelijke keuzes van nu*. Boxtel: Aeneas.

GEA (2012). *Global Energy Assessment. Toward a Sustainable Future*. Cambridge / New York: Cambridge University Press; Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis.

Greenpeace (2012). *Energy(R)Evolution. A Sustainable World Energy Outlook*. Amsterdam / Brussels: Greenpeace International / European Renewable Energy Council (EREC) / Global Wind Energy Council (GWEC).

Hanemaaijer, A., Manders, T., Kruitwagen, S. & F. Dietz (2012). *Voorwaarden voor de vergroening van de economie in Nederland*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

Hanssen, L. (2007). *Governance van Biotechnologie. De veranderende rol van wetenschappelijke adviescolleges*. Bilthoven: Commissie Genetische Modificatie (COGEM).

Hanssen, L. (2009). *Design requirements for successful public participation in communication and governance of science and technology*. PhD Thesis. Enschede: University of Twente.

Hanssen, L. & H. De Vriend (2011). *De komst van sociale media: Een nieuwe dynamiek in het debat over biotechnologie?* Bilthoven: Commissie Genetische Modificatie (COGEM).

- Hanssen, L. & B. Gremmen (2013). Influencing governance of a public-private partnership in plant genomics: The societal interface group as a new instrument for public involvement. *Public Understanding of Science* 22 (6). pp.718-729.
- Hanssen, L. & H. De Vriend (2013). *Toekomstbeelden voor een duurzame energievoorziening in Nederland. Deelanalyses: actorgroepen en drijvende krachten*. Nijmegen / Driebergen: Deining Maatschappelijke Communicatie / LIS Consult.
- Hanssen, L., Vos, T., Langeslag, M. & B. Walhout (2013). Kleine deeltjes, grote kwesties. Een issueanalyse van de Maatschappelijke Dialoog Nanotechnologie. *Tijdschrift voor Communicatiewetenschap* (41) 2, p.121-134.
- Hieminga, G & S. Van Woelderen (2011). *Hernieuwbare energie in Nederland tot 2020. Investeringskosten voor de energietransitie naar een koolstofarme economie*. Amsterdam: ING Economisch Bureau.
- IEA (2013). *Tracking Clean Energy Progress 2013. IEA Input to the Clean Energy Ministerial*. Paris: IEA Publications (International Energy Agency).
- Jones, C. & S. Mayfield (2012). Algae biofuels: versatility for the future of bioenergy. *Current Opinion in Biotechnology* 23, pp. 346-351.
- Klein Lankhorst, R., Heuveling, E. & T. Kierkels (2013). Plant gaat slordig om met zonne-energie. Efficiency van de fotosynthese kan met een factor tien omhoog. *Onder Glas* (4), pp. 43-44.
- Kramer, G..J. & M. Haig (2009). No quick switch to low-carbon energy. *Nature* 462, pp. 568-569.
- Lampert, M. & H. Wijffels (2012). *Netwerksamenleving biedt route uit de crisis: Verkenning van veranderingen onder de oppervlakte*. Amsterdam: Motivaction.
- Loorbach, D. & J. Rotmans (2012). *Transities en transitie management. Oorsprong, status en toekomst*. Rotterdam: DRIFT.
- Ministerie EL&I (2011). *Energierapport 2011*. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken, Landbouw & Innovatie.
- Ministerie EZ (2013). *Groene Groei: voor een sterke, duurzame economie*. Kamerbrief. DGBI-PDBBE 13054928. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.
- Nederland krijgt nieuwe energie (2012). *Nederland krijgt nieuwe energie voor welvaart en welzijn in de 21^e eeuw. Een partijoverstijgend voorstel voor een Deltaplan Nieuwe Energie*. Den Haag: CDA Duurzaamheidsberaad, ChristenUnie TPC Duurzaamheid, D66 Platform Duurzame Ontwikkeling, GroenLinks Milieunetwerk, PvdA Landelijke Werkgroep Milieu & Energie, VVD Commissie Milieu & Duurzaamheid, SGP WI Werkgroep Energie.
- Rotmans, J. (2011). *Staat van de energietransitie in Nederland*. Rotterdam: DRIFT.
- Rotmans, J. (2012). *In het Oog van de Vulkaan. Nederland in Transitie*. Boxtel: Aeneas.
- Shell Scenario Team (2013). *New Lens Scenarios. A Shift in Perspective for a World in Transition*. The Hague: Shell International BV.
- Van Asselt, M., Faas, A., Van der Molen, F. & S. Veenman (red.) *Uit Zicht. Toekomstverkennen met beleid*. Den Haag: Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR).

Van der Slot, A. & W. Van den Berg (2012). *Clean Economy, Living Planet: The Race to the Top of Global Clean Energy Technology Manufacturing*. Amsterdam: Roland Berger Strategy Consultants.

Van den Berg, N., Hulshof, M. & M. Van der Veen (2013). *My 2030s: Burgers over de Biobased Economy*. Amsterdam: Tertium.

Van Dril, T., Gerdes, J., Marbus, S. & M. Boelhouwer (2012). *Energie Trends 2012*. Amsterdam / Den Haag: ECN / Energie-Nederland / Netbeheer Nederland.

Vringer, K., Vollebergh, H., Van Soest, D., Van der Heijden, E. & F. Dietz (2013). *Dilemma's rond duurzame consumptie. Een onderzoek naar het draagvlak voor verduurzaming van consumptie*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

VNG (2013). *Lokaal energiek: decentrale duurzame elektriciteit. Business case en maatschappelijke kosten-batenanalyse*. Den Haag: Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG).

Weterings, R., Roelofs, E., Suurs, R. & F. Van der Zee (2011). *Tussen Gouden Bergen en Groene Business. Systemverkenning van een Biobased Economy*. Delft / Den Haag: TNO / Den Haag Centrum voor Strategische Studies.

Weterings, R., Van Harmelen, T., Gjaltema, J., Jongeneel, S., Manshanen, W., Poliakov, E., Faaij, A., Van den Broek, M., Dengerik, J., Londo, M. & K. Schoots (2013). *Naar een toekomstbestendig energiesysteem voor Nederland*. Delft / Utrecht / Amsterdam: TNO / Universiteit Utrecht / ECN

WEC (2012). *World Energy Issues Monitor*. London: World Energy Council (WEC).