

A landscape photograph featuring a bright sun in a blue sky with scattered white clouds. In the foreground, there is a green field with a path made of cobblestones. In the background, several wind turbines are visible on the horizon.

nieuw licht

Inzicht in een duurzame energiehuishouding **Diederik van der Hoeven**

nieuw licht

Productie

Marije Wassenaar-Verschuur (NWO) en
Ymkje de Boer (YM de Boer Advies)

Tekst

Diederik van der Hoeven
Ymkje de Boer (onderzoekersportretten, eindredactie)
Jan Paul van Soest (nabeschouwing, in memoriam
Kees Daey Ouwens)

Fotografie

Hollandse Hoogte: [Cover & p 158: Lex Verspeek.
P 8 & p 140: Joost van den Broek. P 32: Jan Boeve.
P 68: Rob Huibers. P 82: David Rozing. P 96: Patrick
Post. P 116: Werry Crone. P 128: Goos van der Veen]
P 40: Robin Utrecht, ANP Photo
P 12, 106, 182: Shutterstock
P 64, 122 en onderzoekersportretten: Ymkje de Boer
Foto Ineke Meijer: Arne Smedema
Foto Diederik van der Hoeven: Guy van Grinsven

Grafische vormgeving

www.nieuw-eken.nl Heerlen

Drukwerk

Artoos Communicatiegroep BV, Rijswijk

Uitgave

Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk
Onderzoek in samenwerking met SenterNovem

Januari 2009

ISBN/EAN 9789077875346

NWO www.nwo.nl

De Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek financiert en ontwikkelt samen met wetenschappers, (inter)nationale wetenschapsorganisaties en bedrijven onderzoeksprogramma's van topkwaliteit.

SenterNovem www.senternovem.nl

SenterNovem stimuleert duurzame economische groei door een brug te slaan tussen markt en overheid, nationaal en internationaal. Bedrijven, (kennis)instellingen en overheden kunnen bij SenterNovem terecht voor advies, kennis en financiële ondersteuning.



Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek



nieuw licht

Inzicht in een duurzame energiehuishouding

Colofon	2		
Voorwoord	7		
1 Een complex maatschappelijk probleem	8		
1.1 Energie, een verzamelnaam en een multiprobleem	11		
1.2 Drie richtingen voor transitie: <i>all electric, all gas</i> en zelfvoorziening	13		
1.3 Politieke invloeden	19		
<i>Interview Rob Raven</i>	20		
1.4 Infrastructuur als belangrijke factor in transitie	25		
1.5 Dwarsverbindingen tussen technologieën en belangen	27		
2 Wetenschappelijke inspanning	32		
2.1 De analyserende wetenschap	36		
2.2 Wetenschap kan niet alles verklaren, maar wel handreikingen doen	39		
3 Op zoek naar de succesvolle niche	40		
3.1 Innovaties en transities	43		
<i>Interview Ineke Meijer</i>	53		
3.2 Netwerken van de toekomst	55		
3.3 Energiesystemen in transitie, een multi-regime analyse van het energiesysteem 1970-2000	57		
3.4 Sturing van biobrandstoffen	59		
3.5 Socio-technische scenario's: ontwikkeling van een nieuw instrument om de overgang naar een duurzaam elektriciteitssysteem te onderzoeken en stimuleren	60		
3.6 Omgaan met onzekerheden in energie-innovaties en transitieprocessen	65		
3.7 Systeemstudies van mogelijke infrastructuur-ontwikkelingen, gebruik makend van onzekerheidsanalyse vanuit technisch-economisch oogpunt	66		
3.8 Omgaan met onzekerheden in vernieuwing van de energie-infrastructuur gericht op duurzaamheid: geïntegreerde analyse en ontwerp	67		
4 Energiebesparing	68		
4.1 De stand van zaken in energiebesparing	71		
<i>Interview Andrea Ramírez</i>	75		
4.2 Energiebesparingstechnologieën voor bedrijven met laag energiegebruik – trends en vooruitzichten	77		
4.3 Toepassing van energiebesparende technologieën in bedrijven met laag energiegebruik	78		
4.4 Een vergelijkende studie naar belemmeringen voor investeringen in energiebesparende technologieën met aandacht voor de lichte industrie en de dienstverlening	81		
5 Schoon fossiel	82		
5.1 De stand van zaken rond 'schoon fossiel'	85		
<i>Interview Saikat Mazumder</i>	87		
5.2 Systeemanalyse van transitiepaden naar slim gebruik van fossiele brandstoffen met afvang en opslag van CO ₂	89		
5.3 Injectie van kooldioxide in steenkoollagen voor opslag en versterkte methaanwinning	92		
5.4 Onderbouwde opvattingen bij de bevolking als beleidsinstrument bij schoon fossiel	93		

6 Biomassa	96	8.3 Elektrotechnisch ontwerp en levenscyclusanalyse van gebruiksartikelen op zonnecellen	137
6.1 De stand van zaken in biomassa	99	8.4 Selectie en ontwerp van consumentenartikelen op zonne-energie	138
<i>Interview Mark Prins en Wouter van den Hoogen</i>	103		
6.2 Aanvaarding door het publiek van biomassa als duurzame energiebron: gevolgen voor ontwikkeling en invoering	105	9 De stuurbaarheid van de energietransitie	140
6.3 Ontwerp van een kleinschalige vergassingsinstallatie voor biomassa in het licht van technische, economische en psychologische criteria	107	9.1 Stand van zaken in stuurpogingen van de energietransitie	143
6.4 Modellerings van multifunctionele bio-energiesystemen: kosten, energieopbrengst, CO ₂ -uitstoot	109	<i>Interview Roald Suurs</i>	145
6.5 Economische analyse van multifunctionele biomassasystemen	110	9.2 Kwantitatieve analyse van duurzame energieketens in verkeer en vervoer	148
6.6 Multifunctioneel landgebruik en integratie van technische, economische en institutionele kenmerken	111	9.3 Uitvoerbaarheid van transitiepaden bezien vanuit een innovatiesysteembenadering	150
6.7 Strategieën voor invoering van multi-product-systemen	113	9.4 Langetermijnstrategieën voor transitiepaden voortkomend uit backcasting-scenario's	153
		9.5 Vormen van sturing naar een duurzaam energiesysteem	154
7 Windenergie	116	10 Nieuw licht	158
7.1 Stand van zaken in windenergie	119	10.1 De aanloop naar het Stimuleringsprogramma Energieonderzoek	161
<i>Interview Han Slootweg</i>	121	10.2 De doelstellingen van het Stimuleringsprogramma	162
7.2 Duurzame energieproducten en hun marktpotentieel	123	10.3 Energietransitie als maatschappelijk proces	164
7.3 Verspreiding van duurzame energietechnologieën	125	10.4 Kennis en praktijk	166
7.4 Technische aspecten van integratie op grote schaal van duurzame energiebronnen in het Nederlandse elektriciteitsnet: invloed van duurzame bronnen op de dynamica van het elektriciteitssysteem	127	10.5 Naar innovatie van de wetenschap zelf	170
		<i>Interview Simona Negro</i>	174
		10.6 Lessen voor de energietransitie	176
8 Zonne-energie	128	Nabeschuiving	182
8.1 Stand van zaken in zonne-energie	131	Bijlage 1: De uitgevoerde programma's	188
<i>Interview Boelie Elzen</i>	133	Bijlage 2: Bronnen bij hoofdstuk 3	191
8.2 Elektrotechnisch ontwerp van producten met integratie van zonne-energie en energieopslag	135	In memoriam Kees Daey Ouwens	192

‘Hier is een koffer vol waardevolle kennis. Hoe draagt deze kennis volgens jou bij aan de verduurzaming van de energiehuishouding in Nederland?’

voorwoord

Het was begin 2008. Een groot deel van de proefschriften en andere wetenschappelijke publicaties die in het kader van het NWO/SenterNovem Stimuleringsprogramma Energieonderzoek waren opgesteld, had het licht gezien. Als Programmacommissie en Stuurgroep van het Stimuleringsprogramma vroegen we ons af hoe we de kennis konden bundelen en toegankelijk konden maken aan de hand van één boek waar alles in zou staan. En zo stuurden we auteur Diederik van der Hoeven op weg.

Een onmogelijke opdracht? Toch niet, want niet veel later keerde Diederik terug met zijn zeer lezenswaardige manuscript van *Nieuw Licht*. Het is zijn – onafhankelijke – visie op zowel het energievraagstuk als op de kennis die de onderzoekers binnen het Stimuleringsprogramma hebben ontwikkeld. Het is een toegankelijk en waardevol boek geworden voor iedereen die zich professioneel met energievraagstukken – en vooral: de energietransitie – bezighoudt. *En passant* schrijft Diederik over transitie- en innovatietheorie, over het samengaan van bèta- en gammakennis en over de interactie tussen wetenschap en beleid. Zo is het boek ook interessant voor iedereen met belangstelling voor innovatie en de aanpak van complexe problemen waarbij

beleid en wetenschap niet zonder elkaar kunnen.

Het Stimuleringsprogramma bestond uit negen langlopende programma's, voorafgegaan door zes kortlopende explorerende projecten. Dit boek gaat over de langlopende programma's, waarnaast ook aan één van de explorerende onderzoeken aandacht is besteed omdat het zo goed aansloot bij de thematiek van de stuurbaarheid van transities (Hisschemöller en Bode). In bijlage 1 achterin vindt u de feitelijke gegevens van de programma's en projecten die door het Stimuleringsprogramma zijn gefinancierd.

Een klein deel van de proefschriften was op het moment van schrijven nog niet af; toch is de kennis die in deze proefschriften terug te vinden zal zijn, al meegenomen in dit boek.

Diederik van der Hoeven heeft zich bij het schrijven van het boek gebaseerd op de beschikbare literatuur. Een groep kritische 'meelezers' van binnen en buiten het programma heeft zijn manuscripten van commentaar voorzien. Bijzondere vermelding verdient daarbij de ondersteuning door René Kemp (Universiteit Maastricht, lid programmacommissie). Ymkje de Boer en Jan Paul van Soest, beiden nauw betrokken bij het programma, hebben ook aan de teksten bijgedragen.

*Stuurgroep en Programmacommissie NWO/SenterNovem
Stimuleringsprogramma Energieonderzoek*

*Badgasten zonnen op het strand bij Borssele in Zeeland.
Dat de ruimte in Nederland schaars is, is één van de
aspecten die het energievraagstuk complex maken.*



1 een complex maatschappelijk probleem

inleiding

10

Energie is een verzamelnaam voor veel verschillende processen. Energie vertoont zich in de vorm van kracht, van licht, van brandstoffen en van warmte. De éne vorm van energie kan vaak omgezet worden in een andere, maar daarbij treden altijd ‘verliezen’ op – bij de omzetting komt een deel van de energie vrij in een onbruikbare vorm. Het beperken van deze verliezen en het vinden van nuttige toepassingen voor het ‘onbruikbare’ deel van de energieproductie zijn belangrijke drijfveren bij de ontwikkeling van energiesystemen, en zeker bij het streven naar een duurzame energievoorziening.

een complex maatschappelijk probleem

1.1 Energie, een verzamelnaam en een multiprobleem

Energie komt tot ons in vormen als aardgas, elektriciteit, benzine en dieselolie. Eigenlijk zijn wij niet daarin geïnteresseerd, maar in de warmte die wordt geproduceerd door kachel of CV, in het licht of in de beweging van de mixer geproduceerd door elektriciteit, of in de voortbeweging van onze auto. En eigenlijk gaat het ook niet daarom, maar om een aangename temperatuur in huis, om goed bereid voedsel, om een reis van A naar B. De totale keten van het winnen van primaire grondstoffen (zoals aardolie) of de primaire productie van elektriciteit (zoals in een zonnecel) naar ons uiteindelijke welbevinden is vaak lang en gecompliceerd, met vele stappen die op een andere manier kunnen worden uitgevoerd of eenvoudigweg veel efficiënter kunnen worden gedaan. Het bijzondere van de huidige ontwikkelingen (de overgang naar een meer duurzame energiehuishouding) is dat voor veel traditionele omzettingen nieuwe mogelijkheden ter beschikking komen, waardoor ineens nieuwe spelers kunnen opduiken in voorheen tamelijk rustige of zelfs monopolioïde markten.

Deze nieuwe mogelijkheden geven aan het dynamische energieprobleem een extra dimensie. Energie is toch al complex. Problemen in de energievoorziening komen voort uit totaal verschillende dimensies als de beschikbaarheid, winbaarheid en mogelijke uitputting van grondstoffen, de verdeling van grondstoffen in de aardkorst en de daaruit voortvloeiende geopolitieke problemen, lokale luchtvervuiling, het broeikaseffect, de ruimtelijke ordening (in verband met de aanleg van infrastructuur en het gebruik van grond voor de winning van energie), de aard en het tempo van technologische vernieuwing en de vraag in welke richting doorbraken zullen gaan plaats vinden, de publieke opinie die zich verzet tegen technologieën als kernenergie en lokaal ook windturbines, vraagstukken in verband met kernenergie als de mogelijke verspreiding van kernwapens en de verzekerde berging van hoogradioactief afval – en dan hebben we nog wel wat vraagstukken zoals de liberalisatie van energiemarkten en het wereldvoedselprobleem (in verband met de winning van biobrandstoffen) over het

Voor veel traditionele omzettingen komen nieuwe mogelijkheden ter beschikking, waardoor ineens nieuwe spelers kunnen opduiken



Elektriciteit

Voordeel: universeel toepasbaar, zeer flexibel

Nadelen: relatief moeilijk te produceren, naar verhouding duur. Moeilijk op te slaan.

Hoofdtoepassingen:

- licht
- kracht (van scheerapparaten tot zware industriële installaties)
- elektronica (van *gameboys* tot grote servers)

Opwekking voor een belangrijk deel in grote centrales (schaalvoordelen); bij kleinschalige elektriciteitsopwekking is de warmteproductie beter te benutten, daardoor vaak beter voor milieu en klimaat.



Aardgas

In Nederland verreweg de belangrijkste bron van warmte: 96% van alle woningen en gebouwen zijn aangesloten op het aardgasnet.

Daarnaast veel toepassingen in de industrie, als grondstof voor het maken van chemicaliën en als brandstof voor elektriciteits- en warmteproductie.

In totaal draait de Nederlandse energievoorziening voor bijna de helft op aardgas. In het buitenland vindt ruimteverwarming vaak plaats met huisbrandolie, elektriciteit, biomassa of LPG.

Voordelen: groot gebruiksgemak, gemakkelijk en veilig te transporteren

Nadeel: vatbaar voor internationale machtspolitiek.



Motorbrandstoffen

Aardolieproducten dominant: benzine, dieselolie en in mindere mate LPG.

Voordeel: grote energiedichtheid: verder rijden op een volle tank

Nadeel: aardolie is de meest schaarse en meest politiek gevoelige fossiele energiebron

Vooral in de VS gaat veel aandacht en geld uit naar het ontwikkelen van alternatieven voor fossiele vloeibare brandstoffen:

- biodiesel en bio-ethanol
- aardgas: vrij schone verbranding, minder fijn stof en stikstofoxiden
- elektriciteit, uit batterijen of uit brandstofcellen gevoed met waterstof

hoofd gezien. En bij dat toch al complexe vraagstuk komt nu de mogelijkheid dat door nieuwe technologieën ineens nieuwe spelers kunnen opduiken waar de markt tot voor kort overzichtelijk was. Kortom, er is een transitie aan de gang waardoor de energievoorziening er over veertig jaar geheel anders zal uitzien dan nu, met nog onvoorspelbare winners en verliezers.

1.2 Drie richtingen voor transitie: *all electric, all gas en zelfvoorziening*

De EnergieTransitie Er wordt tegenwoordig veel gesproken van een energietransitie. De Nederlandse overheid wil een energietransitie bewerkstelligen, dat wil zeggen: een totale verandering van het energiesysteem. “Het uiteindelijke doel van EnergieTransitie,” aldus de site van SenterNovem, “is een geheel duurzame energievoorziening in 2050 in Nederland. Hernieuwbare energiebronnen leveren dan voor het merendeel onze energie. De uitstoot van afvalstoffen is in evenwicht met wat ‘het systeem aarde’ kan opnemen. Energie is schoon, voor iedereen betaalbaar en wordt continu geleverd.” Om dat te bereiken zijn grote inspanningen nodig: “Nederland moet schoner en zuiniger met energie omgaan en daar moeten we al vandaag mee beginnen! Net als andere landen verbruiken we in ons land steeds meer fossiele brandstoffen, zoals olie, kolen en gas. Dit gaat ten koste van het milieu. Het heeft enorme gevolgen voor ons klimaat zoals we bijna dagelijks in de media kunnen lezen en zien. We worden bovendien te afhankelijk van een klein aantal landen die deze brandstoffen produceren. Wereld-

wijd leidt dit tot spanningen en tot grote onzekerheid over de levering. En bovendien worden deze brandstoffen schaarser en dus duurder.”

De inspanningen die ervoor nodig zijn om dit te veranderen worden uiteraard gecoördineerd. Daarover staat op de site met de typische optimistische ondertoon van grote projecten: “Nederland is ambitieus. (...) In 2020 moet ons land één van de duurzaamste landen van Europa zijn. Om dat te bereiken is EnergieTransitie opgezet. Bedrijfsleven, overheid, kennisinstellingen en maatschappelijke organisaties werken in dit project samen. (...) Op veel plaatsen wordt gewerkt aan de verduurzaming van de energievoorziening. EnergieTransitie ziet het als haar taak die ontwikkeling te versnellen, aan te jagen, te experimenteren en het belang van ‘schoon en zuinig’ te blijven benadrukken. EnergieTransitie wil de hele samenleving betrekken zodat de verduurzaming van ons allemaal wordt. Vanuit alle geledingen zijn initiatieven en ideeën nodig om die grote omslag te maken. (...) Deze inspanningen en de benodigde innovaties leiden ook tot nieuwe economische en sociale mogelijkheden. De verduurzaming van de energievoorziening biedt kansen. Voor ondernemers, voor maatschappelijke groepen, voor de politiek en voor burgers.”

Het bijzondere van de huidige fase in de energievoorziening is echter dat wij al midden in een overgang (transitie) zitten, of die nu bewust wordt nagestreefd of niet. De stabiliteit van de energievoorziening in de vorige eeuw, die heeft geleid tot drie vrijwel onafhankelijk van elkaar opererende sectoren zonder veel dwarsverbindingen, is voorbij. Nieuwe maatschappelijke eisen en nieuwe technologieën (het is altijd moeilijk te bepalen welke van de twee voorop gaat in zo’n proces) hebben geleid tot een baaierd aan

“Het uiteindelijke doel van EnergieTransitie is een geheel duurzame energievoorziening in 2050 in Nederland”

nieuwe mogelijkheden die elkaar verdringen om werkelijkheid te worden. Wij gaan een zeer onrustige (of uit andere optiek: spannende) periode in de energievoorziening in. Om te beginnen kan vanuit elk van de drie sectoren een ‘aanval’ worden gedaan op een andere sector. Diensten die bijvoorbeeld nu door elektriciteit worden geleverd, kunnen worden overgenomen door gas – en omgekeerd. Het resultaat is een zeer complex spel. We kunnen momenteel wel de contouren van het speelveld schetsen, maar nog niets zeggen over de resultaten van het spel. Er zijn drie grote richtingen waarin de energievoorziening zich kan ontwikkelen: naar elektriciteit, naar gas, en naar zelfvoorziening. En hoewel in de toekomst vermoedelijk een beetje van alle drie mogelijkheden zal worden verwezenlijkt, schetsen we deze drie richtingen hier in ‘pure’, extreme vorm, om de baaierd aan keuzemogelijkheden duidelijk te maken.

Elektriciteit dominant Zo kan elektriciteit dominant worden in zowel de warmte- als de transportmarkt. Warmte kan worden geleverd door elektrische warmtepompen, weliswaar duur maar steeds betaalbaarder naarmate huizen beter worden geïsoleerd. Ook een belangrijk deel van het transport kan op elektriciteit overschakelen door toepassing van elektromotoren in auto's. Elektriciteitsbedrijven zien al visioenen van auto's die in de nacht opgeladen worden aan de stekker, zodat zij verlost zijn van de nachtelijke dip in de elektriciteitsvraag. Een stapje verder is dat al deze auto's ook een rol kunnen spelen in de afstemming van vraag en aanbod op het elektriciteitsnet, doordat de accu's ook als buffer gebruikt kunnen worden in een ‘intelligent’ net dat voorziet in levering naar twee kanten. Auto's staan voor meer dan negentig procent van

hun tijd stil en hebben in Nederland samen meer dan twintig maal het vermogen van de elektriciteitsvoorziening.

Dus waarom niet uit al die accu's een klein beetje stroom getrokken op de spaarzame momenten waarop de elektriciteitsvoorziening het wat moeilijk heeft?

Voldoende kandidaten om in zo'n *all electric society* het elektriciteitsnet van stroom te voorzien. Zowel wind- als zonne-energie zijn bezig aan een grote opmars, met over de hele wereld gerekend al tientallen jaren groeipercentages boven de 20% per jaar. Wind ligt een straatlengte voor op zon, maar directe benutting van de zonne-energie is uiteindelijk qua potentieel veel groter. Windenergie dreef tot nu toe op overheidssubsidies, maar begint nu op land het punt te naderen waarop het op eigen benen kan staan. En over wind op zee komen sinds kort geluiden als: laat de overheid windparken op zee nu eens net zo behandelen als andere elektriciteitscentrales, dan zorgen wij wel voor de rest. Zonnecellen zijn nog te duur voor toepassing in de openbare elektriciteitsvoorziening, maar de niches waarin zij rendabel toegepast kunnen worden groeien snel. Er wordt enorm geïnvesteerd in alle onderdelen van de keten, van siliciumproductie tot fabricage van complete installaties. Een serieuze mogelijkheid wordt ook gevormd door zonnecentrales, meestal genoemd CSP (*Central Solar Power*). Deze kunnen bestaan uit spiegels, gericht op een centraal punt waarin water tot kook wordt gebracht waarmee turbines worden aangedreven en elektriciteit wordt geproduceerd. Met CSP kan in zonnige landen bijna betaalbaar elektriciteit worden opgewekt. Als een paar procent van de Sahara voor CSP kan worden benut, kan in principe heel Europa van elektriciteit worden voorzien als er een zeer sterk transportnet wordt aangelegd.

Er zijn voldoende kandidaten om in zo'n all electric society het elektriciteitsnet van stroom te voorzien

Zon en wind vormen een sterk koppel. Want hoewel ze beide afhankelijk zijn van de weersomstandigheden, vullen ze elkaar redelijk aan. Terwijl één boerderij die op een windturbine draait serieuze problemen heeft in windstille periodes, ligt dat op Europese schaal heel anders. Het is bijna nooit windstil in Spanje én in Scandinavië, waardoor met een sterk koppelnet enige verevening kan plaats vinden. En zon en wind vullen elkaar deels aan omdat het 's nachts doorgaans harder waait dan overdag.

En een serieuze kandidaat om in de *all electric society* het net te vullen is kernenergie. De ingenieurs hebben de afgelopen decennia hard gewerkt om een groot probleem van kernenergie, de reactoronveiligheid, te verhelpen. De centrales die nu worden aangeboden, van de zogenoemde derde generatie, zijn veiliger dan tweede generatie centrales zoals in Borssele en Doel. Op allerlei onderdelen van de centrale zijn de veiligheidsvoorzieningen verbeterd zodat de kans op falen veel kleiner is dan in oude centrales. Voor sommigen is dat echter niet voldoende, zij willen wachten op centrales die door hun ontwerp geen zeer groot reactorongeluk met kernsmelting of een uit de hand lopend splijtingsproces kunnen ondergaan – de inherent veilige centrales van de vierde generatie. Maar inherent veilige centrales geven nog geen oplossing voor die andere problemen van kernenergie: verspreiding van kernwapens, opberging van radioactief afval, milieuproblemen bij winning van uranium, en volgens sommige critici ook – bij sterke groei – uitputting van de grondstof. Keuzes rond kernenergie blijven ook in de komende jaren politiek-maatschappelijk gevoelig van aard.

En de laatste mogelijke bron van elektriciteit is steenkool, maar dan wel met afvang en opslag van CO₂ (*Carbon*

Capture and Storage, CCS). Steenkool zonder CCS is de fossiele energiebron met de hoogste CO₂-uitstoot en daarom met het grootste effect op het klimaat – maar met CCS zijn kolen uit klimaattoegpunt heel aanvaardbaar. Bovendien, niet onbelangrijk, zijn de steenkoolvoorraden zeer groot en redelijk goed verspreid in de aardkorst.

Samenvattend over elektriciteit: aan de gebruikskant kunnen door elektriciteit alle energiefuncties worden vervuld. Als ook aan de productiekant geen problemen meer bestaan door goedkope en schone levering, en als door sterke koppelnetten de levering van elektriciteit zo veel mogelijk wordt verzekerd, staat niets een *all electric society* meer in de weg.

Gas dominant Echter: naast technologieën strijden ook en vooral belangen met elkaar. En elektriciteit is niet de *core business* van de dominante spelers op energiegebied, de oliemaatschappijen. Oliemaatschappijen weten al decennia dat hun bron van inkomsten, de fossiele grondstof, eens opdroogt, en zij proberen al die tijd reeds te diversifiëren. Met hun financiële macht hebben zij geïnvesteerd in vele alternatieve routes. En al is hun lijst van mislukkingen behoorlijk lang, ze blijven zoeken naar mogelijkheden voor de dag waarop de olie opraakt – ze hebben geen keus.

Oliemaatschappijen hebben ook aanzienlijke belangen in de gaswereld: door de aard van hun exploratiewerk boren ze naast aardolie ook geregeld aardgas (methaan, CH₄) aan. In Nederland hebben Shell en Esso op dit gebied een dominante positie door hun dochter NAM en hun participatie in Gastera (voorheen Gasunie). Daardoor hebben deze bedrijven belang bij een zo goed en zo blijvend

mogelijke benutting van het uitstekende aardgasnetwerk. Via dit netwerk wordt aardgas in vergelijking met elektriciteit eenvoudig en goedkoop, en nog betrouwbaarder geleverd. Naarmate zich in de eindtoepassingen meer mogelijkheden aandienen voor gas, wordt naast de *all electric society* ook de *all gas society* een reële mogelijkheid. De eerste concrete optie is de omzetting van aardgas in elektriciteit en warmte in micro-warmtekracht-eenheden, die in het spraakgebruik HRe-ketels zullen gaan heten (met HR voor Hoog Rendement en e voor elektriciteit). Vanaf 2008 komt deze apparatuur op de markt, waarmee op kleine schaal (in woningen en gebouwen) elektriciteit én warmte kan worden opgewekt. Gecombineerde opwekking van warmte en elektriciteit, tot nu toe alleen rendabel in grote installaties, krijgt daarmee een enorm extra potentieel. In de *all gas society* vindt het merendeel van de energielevering plaats via het gasnet, en krijgt het elektriciteitsnet meer de rol van verevening van lokale overschotten en tekorten – een concept diametraal tegengesteld aan het vorige.

De tweede reeds bestaande mogelijkheid is het toepassen van aardgas als motorbrandstof – geen utopie maar realiteit. Reeds een aantal jaren worden vele nieuwe automodellen ook in een aardgasuitvoering op de markt gebracht, zij het niet in Nederland, wat vreemd is voor een land met zo'n goed aardgasnetwerk. Aardgas als motorbrandstof heeft het duidelijke en directe voordeel van een veel lagere uitstoot van fijn stof en stikstofoxiden – juist de twee stoffen die verantwoordelijk zijn voor slechte lucht in steden. De luchtkwaliteit zal vooral verbeteren wanneer voertuigen die voornamelijk in de stad blijven op aardgas gaan rijden: bussen, taxi's, vuilnisauto's e.d. Ook in Neder-

land begint nu een marktbeving naar aardgas op gang te komen (automodellen, tankstations).

Het beroep op extra aardgas dat hiermee wordt gedaan, is de eerste decennia nog wel in te passen in de doelstellingen van de energietransitie. Aardgas stoot bij verbruik in vergelijking met aardolie en steenkool het minste CO₂ uit per energie-eenheid. En er zijn naar verhouding grotere reserves van aardgas dan van aardolie. Maar er is één groot nadeel: de voorraden aardgas zijn geconcentreerd in minder landen dan die van aardolie. De eerste stappen naar een wereldomspannend aardgaskartel, met Rusland en Algerije als spil, zijn in 2008 gezet.

Het aardgasnet kan zich aan de productiekant, daar waar het gas in het net wordt gevoerd, diversifiëren. Op korte termijn kan aardgas in de verbruikslanden worden aangevoerd als vloeibaar aardgas (Liquid Natural Gas, LNG) in grote tankers. Gas van aardgaskwaliteit kan ook worden gemaakt uit biomassa – en biomassa is vrijwel niet vatbaar voor internationale machtspolitiek. Op kleine schaal wordt nu al biogas gemaakt in vergistingsinstallaties, kleine reactoren waarin mest en landbouwresten worden afgebroken tot CH₄ en CO₂. Door verwijdering van CO₂ en verdere zuivering kan dit gas geschikt worden gemaakt voor het aardgasnet. Op de langere termijn zal biomassa ook rendabel kunnen worden omgezet in CH₄ door vergassing, een technologie die grootschalig moet worden toegepast en die daarom vooral zal worden gebruikt in grote fabrieken in importhavens. Door vulling van het gasnet met zulk *groen gas* zal ook de *all gas society* steeds beter voldoen aan de vereisten van de energietransitie.

De potentie van de gasvoorziening zal nog aanzienlijk groter kunnen worden als het gasnet niet wordt gevuld met

methaan maar met waterstof (H₂). Waterstof is net als elektriciteit een universele energiedrager: alles wat een mens zou wensen van zijn energievoorziening, kan worden verricht op basis van waterstof. Bovendien: dit gebruik van waterstof is net als dat van elektriciteit schoon (geen schadelijke emissies) en veilig (mits men zich houdt aan de veiligheidsvoorschriften). De problemen van waterstof liggen aan het begin van de keten: hoe maakt men waterstof, wat kost dat, hoe komt het bij de gebruiker, en hoe sla je het op (let op de parallellen met elektriciteit)?

Met waterstof kan men schoon en veilig voorzien in zijn energiebehoeften door dat wonderlijke apparaat, de brandstofcel. Wij zijn gewend geraakt aan apparaten met interne of externe verbranding zoals zuigermotoren en CV-installaties – met als consequentie problemen die wij als alledaags zijn gaan ervaren als slijtage, lawaai en luchtverontreiniging. De brandstofcel toont aan dat de verbrandingsreactie een primitieve manier is om aan onze energie te komen: hij is volkomen stil en schoon en kent geen bewegende delen, doordat de omzettingen erin plaats vinden langs elektrochemische weg.

Brandstofcellen kunnen energie leveren op microschaal, zoals in mobiele telefoons en laptops, maar ze kunnen door stapeling ook grote vermogens leveren. Hun voeding vindt plaats door waterstof, die wordt geleverd door het gasnet, of ter plaatse wordt gemaakt uit een brandstof als aardgas of benzine door een lokale omvormer (bijvoorbeeld in een auto), of in een enkel geval door chemische omzettingen binnen de brandstofcel zelf. Brandstofcellen leveren veel elektriciteit en ook een beetje warmte, heel geschikt voor de meeste toepassingen. De potentie van de waterstofauto bijvoorbeeld is voor een belangrijk deel gebaseerd

op het hoge nuttige (elektrische) rendement van de brandstofcel (boven de 50%), gunstig afstekend tegen het nuttige rendement van de benzine- of dieselmotor (niet boven de 20%).

In de *all hydrogen society*, ook wel populair bekend als de waterstofeconomie, is dus overal waterstof, hetzij door centrale levering, hetzij door een keten van omvormers waarbij waterstof wordt verkregen uit een veelheid aan energiebronnen, zoals aardgas, steenkool, zonne- en wind- elektriciteit, en biomassa. De waterstofeconomie blinkt uit door flexibiliteit, doordat sommige typen brandstofcellen ook reversibel gemaakt kunnen worden – niet alleen geschikt dus om stroom te maken uit waterstof maar ook omgekeerd waterstof uit stroom, waardoor auto's ingeschakeld kunnen worden als energieopslag. In tijden van overschot aan elektriciteit wordt de tank via de kabel naar het huis even bijgeladen (van stroom naar waterstof), en bij een tekort aan elektriciteit springt het wagenpark even bij (van waterstof naar stroom). Zo'n systeem kan het meest onregelmatige aanbod van zonne- of windenergie nog verwerken.

Maar van de hier besproken toekomstbeelden is de waterstofeconomie duidelijk het minst concreet en het meest gebaseerd op mogelijkheden in plaats van realiteiten. Want geen van de schakels in de waterstofeconomie is nog goed ontwikkeld: waterstofproductie is nog te duur, waterstofopslag kampt met een gebrek aan energiedichtheid, waterstoftransport is problematisch vanwege het zeer vluchtige karakter van de stof, en de brandstofcel is nog niet uitontwikkeld. Alleen de staart van de keten is helder: nul emissie – en dat zou op den duur nog wel eens een doorslaggevend voordeel kunnen blijken te zijn.

Van de hier besproken toekomstbeelden is de waterstofeconomie duidelijk het minst concreet

Zelfvoorziening wordt economisch steeds meer mogelijk, doordat dure infrastructuur overbodig wordt gemaakt

Zelfvoorziening In dit hoofdstuk bekijken we de reëel aan de gang zijnde energietransitie. We hebben gezien dat vanuit de elektriciteitswereld functies kunnen worden overgenomen waarin tot nu toe werd voorzien door gas, benzine en dieselolie. En dat vanuit de gaswereld functies kunnen worden overgenomen waarin tot nu toe werd voorzien door elektriciteit. Wat de transitie nu echt gecompliceerd maakt, is dat nog een derde kracht de kop op kan steken: zelfvoorziening. Terwijl bij de *all electric society* en de *all gas society* de goed functionerende centrale infrastructuur de ruggengraat is van de energievoorziening, wordt ook steeds meer een concept denkbaar waarin deze infrastructuur van ondergeschikt belang of zelfs helemaal afwezig is: de zelfvoorziening.

Zelfvoorziening kan op elk schaalniveau zinvol zijn – de grenzen worden vrijwel steeds bepaald door de economie, in enkele gevallen door ideologie of politiek. Op de schaal van woningen vindt momenteel de ontwikkeling van de nul-energiewoning plaats: het huis waarin tijdens het jaar voldoende energie wordt vastgelegd om de winter door te komen. Vergelijkbare concepten zijn de energieleverende kas (van waaruit de omgeving van energie kan worden voorzien) en de klimaatneutrale wijk (waar productie en afvang van CO₂ elkaar in evenwicht houden). Al deze mogelijkheden zijn nog in ontwikkeling – dat wil zeggen dat de technologieën waarvan gebruik gemaakt wordt wel bekend zijn, maar nog te duur voor toepassing op grote schaal. Alleen in niches van de markt, zoals noodstroomvoorziening op afgelegen plaatsen, wordt zelfvoorziening al commercieel toegepast; voor toepassing op grote schaal zijn nog prijsdoorbraken nodig.

Duurzame energiebronnen spelen een centrale rol bij

zelfvoorziening: het gaat erom, ter plaatse of in de directe omgeving voldoende energie te winnen om in de behoefte te voorzien. Zon, wind en biomassa zijn daarvoor alle drie geschikt, en elkaar aanvullend. Zonne-energie kan worden gewonnen in zonnepanelen op daken en aan gevels. Met windturbines kan op veel plaatsen tegen een redelijke prijs elektriciteit worden opgewekt. En met slimme landbouwtechnieken kan regionaal uit overschotten, gecombineerd met speciale teelten, ook energie worden gewonnen.

Energiebesparing is de tweede pijler van de zelfvoorziening. De nul-energiewoning bijvoorbeeld is niet in de eerste plaats energieneutraal door winning van veel energie, maar door zeer laag gebruik als gevolg van uitstekende isolatie en nieuwe technieken als warmteterugwinning uit de gevel. Er is nog steeds een wereld te winnen door efficiënter gebruik van energie. We leven nu vijfendertig jaar na de eerste oliecrisis, toen het woord energiebesparing voor het eerst opgeld deed – en we staan qua resultaten nog maar aan het begin. Er wordt nog steeds veel energie verspild. En naarmate die verspilling afneemt en het ons lukt, hetzelfde te verrichten met minder energie, neemt ook de mogelijkheid toe, die (kleinere) hoeveelheid energie lokaal te winnen. De derde pijler van zelfvoorziening is **energieopslag**. In de energieleverende kas wordt bijvoorbeeld in de zomer overtollige warmte opgeslagen in de ondergrond, zodat deze in de winter kan worden gewonnen en gebruikt voor verwarming van woningen en gebouwen. Er zijn manieren om warmte efficiënter op te slaan dan in de vorm van warm water, maar er is nog heel veel ontwikkelingswerk nodig voordat deze technologieën betaalbaar worden. Daarnaast is opslag van elektriciteit van groot belang. Decennia is hard gezocht naar efficiënte en betaalbare opslag van elek-

tricieit in batterijen, zonder doorslaand succes – maar de laatste tijd gonst het ineens van berichten op dit gebied en lijkt de batterij nu zó ver ontwikkeld dat elektrische auto's echt op de markt gaan komen. Een andere mogelijkheid van opslag is in de vorm van waterstof: met een reversibele brandstofcel wordt in tijden van overschot waterstof gemaakt en opgeslagen, die in tijden van tekort weer kan worden omgezet in elektriciteit.

Zelfvoorziening heeft misschien nog een romantisch waas om zich heen van mensen die de georganiseerde samenleving vaarwel zeggen en geheel onafhankelijk willen worden – maar hij wordt economisch steeds meer mogelijk, niet in de laatste plaats doordat dure infrastructuur waarmee de gebruiker wordt verbonden met een centrale voorziening, overbodig wordt gemaakt. Wellicht zal op vele plaatsen, zoals in het dichtbevolkte Europa, zelfvoorziening vrijwel nooit voor 100% gaan plaats vinden, maar voor plattelandsgemeenschappen biedt zelfvoorziening aanzienlijke voordelen. In Afrika bijvoorbeeld wordt op het platteland naar verhouding erg veel geld uitgegeven aan transport door dure dieselolie; als door de aanplant van oliehoudende gewassen zoals *Jatropha* de gemeenschap kan voorzien in de eigen transportbrandstof, dan kan het daarmee uitgespaarde geld weer in de eigen dorpsgemeenschap worden geïnvesteerd.

1.3 Politieke invloeden

Op dit veld van elkaar beconcurrerende visies, technologieën en belangen werken steeds sterkere politieke factoren, en dit draagt eens te meer bij aan de complexiteit van het energievraagstuk.

Voorzieningszekerheid Om maar ergens te beginnen: de voorzieningszekerheid is sinds het begin van deze eeuw terug op de politieke agenda. Voor het machtigste land ter wereld, de VS, is de zekerheid van de energielevering één van de belangrijkste politieke vraagstukken en misschien wel het allerbelangrijkste probleem – en daarmee is dit vraagstuk een probleem van de hele wereld geworden. Zowel beide Irak-oorlogen als de inval in Afghanistan hebben direct de Amerikaanse oliebelangen gediend: bij de eerste Irak-oorlog het behoud van de beschikking over olie uit Koeweit, bij de inval in Afghanistan het creëren van een toegang tot de voorraden van Turkmenistan, Oezbekistan en Kazakstan, en bij de tweede Irak-oorlog natuurlijk het openen van de Irakese oliekranten.

Op de korte termijn speelt hier het veilig stellen van de olie-toevoer in combinatie met het Amerikaanse onvermogen greep te krijgen op het eigen energieverbruik. Op de langere termijn is aan de orde dat het einde van goedkope aardolie in zicht is. Aardolie zal op steeds exotischer plaatsen moeten worden gewonnen, zoals de diepzee of het Noordpoolgebied, en milieubezwaren komen steeds nadrukkelijker aan de orde, zoals bij oliewinning uit teerzanden. Het draait bij voorzieningszekerheid dus niet alleen om internationale machtspolitiek waarmee voldoende oliestromen naar de gebruikslanden gaan, maar ook om de omschakeling naar een minder oliedorstige energievoorziening.

En hier komt de winning van ethanol uit de Amerikaanse maïsogst aan de orde – in de ogen van Europeanen waanzin omdat de CO₂-winst zeer gering of misschien wel negatief is, maar een beleid dat in de ogen van Amerikanen 'makes perfect sense' doordat de druk op de olie-import wordt verminderd.

Voorzieningszekerheid is terug op de politieke agenda



Rob Raven is van huis uit elektrotechnisch ingenieur en werkt nu als universitair docent aan de Technische Universiteit Eindhoven en als onderzoeker bij ECN. In beide functies houdt hij zich bezig met vraagstukken rond de maatschappelijke introductie en acceptatie van nieuwe energietechnologieën.

Rob Raven

‘Duurzame opties ontstaan vaak via onverwachte verbindingen’

‘Ik heb de geschiedenis onderzocht van de interactie tussen verschillende ‘regimes’ of ‘systemen’. Denk hierbij bijvoorbeeld aan elektriciteit uit afval. Nu lijkt het heel logisch dat de afvalsector en de elektriciteitssector samen voor nieuwe vormen van duurzame energie zorgen, maar het is allemaal niet vanzelf gegaan. Naast de nodige technische problemen, waren er problemen op het terrein van wet- en regelgeving. Een punt was bijvoorbeeld of energie uit afval nu onder de afvalwetgeving of onder de energiewetgeving viel. De overheid heeft daar wel op ingespeeld, maar het duurt heel lang voordat wetten fundamenteel zijn aangepast aan de nieuwe situatie. De maatschappelijke acceptatie van energie uit afval was er ook niet meteen. Er zijn felle discussies gevoerd en er is de nodige strijd geleverd in rechtbanken. Trouwens, ook nu staat er elke dag wel iets in de krant over de vraag hoe duurzaam biobrandstoffen eigenlijk zijn en of biomassateelt niet teveel ten koste gaat van de voedselvoorziening. Opinies daarover komen uit vele lagen van de maatschappij en bepalen voor een groot deel de succesvolle implementatie van nieuwe energieopties.

Ik heb de ‘multiregime-interacties’ van biomassa en warmtekrachtkoppeling bekeken. Daarbij bleek onder andere dat het voor de doorbraak van WKK nodig was dat de aardgas- en elektriciteitsregimes goed op elkaar afgestemd werden en deels zelfs geïntegreerd raakten. Dat is één mogelijke vorm van interactie tussen systemen. Bij integratie gaan verschillende systemen op organisatorisch en soms zelfs technisch niveau samen. Een andere vorm van interactie is concurrentie. Dan vindt de interactie voornamelijk via de markt plaats. Een derde vorm is symbiose, waarvan bijvoorbeeld sprake was in de jaren ‘go toen afval werd mee gestookt in kolencentrales. En tot slot kan er sprake zijn van een zogenoemde ‘spill over’ van kennis van het ene naar het andere regime. Een concreet voorbeeld hiervan is dat de wijze waarop het aardgasregime is georganiseerd – en met name de rol van de overheid daarin – lange tijd een voorbeeld is geweest voor de organisatie van het elektriciteitsregime.

Beleidsmakers moeten volgens mij een brede blik hebben. Duurzame energie raakt tal van andere domeinen en komt tot stand via onverwachte verbindingen en ontwikkelingen. Om die een kans te geven, moet je met veel verschillende partijen in een vroegtijdig stadium praten. Op systeemniveau interveniëren, betekent echter wel dat je te maken krijgt met een enorme complexiteit – heel veel verschillende actoren bijvoorbeeld. De zaak verbreden naar meerdere systemen, maakt het nog ingewikkelder. Maar het is niet onmogelijk, zeker niet op het niveau van concrete projecten. Ik was nauw betrokken bij het project Create Acceptance van ECN, dat laat zien hoe energieopties succesvol maatschappelijk geïmplementeerd kunnen worden. Ook werk ik mee aan de ontwikkeling van een Competentie Kit voor transitie-experimenten in samenwerking met het Competentiecentrum Transities. Zo als wetenschapper met één voet in de praktijk te staan, vind ik heel vruchtbaar. Wat ik nu heel graag verder zou willen onderzoeken is de vraag hoe er maatschappelijke ruimte – en ook weer krimp – ontstaat voor nieuwe energieopties. Daarvoor zou ik het publieke debat over dit soort onderwerpen nader willen analyseren en dan vooral willen kijken naar de verwoording van de weerstand. Die wordt steeds heftiger. Dat kan echt een groot probleem worden.’

‘Ik zou het publieke debat over nieuwe energieopties nader willen analyseren en dan vooral willen kijken naar de verwoording van de weerstand. Die wordt steeds heftiger. Dat kan echt een groot probleem worden.’

Nederland is sterk in het stellen van hoge eisen aan CO₂-reductie, maar heel wat minder sterk in het treffen van adequate maatregelen om aan die hoge eisen te voldoen

Voorzieningszekerheid speelt ook in Europa een belangrijke rol, hoewel niet zo overheersend als in de VS. En de accenten liggen anders. Europa heeft meer reden, zich zorgen te maken over zijn gasaanvoer. De binnenlandse gasvoorraden dalen snel en over een jaar of tien zijn er nog maar twee belangrijke leveranciers over: Rusland en Algerije. Europa heeft al gemerkt tot welke consequenties dit kan leiden, toen Rusland op 1 januari 2006 de leveringen aan de Oekraïne stop zette in een conflict dat zowel economische als politieke motieven had. Het zag er destijds even naar uit dat de gasvoorziening van heel Europa in gevaar zou komen, doordat een belangrijke pijpleiding van Rusland naar Europa door de Oekraïne loopt.

Het positie kiezen in dit krachtenveld is begonnen. De Europese Commissie wil dat alle landen gemeenschappelijk een vuist maken tegen Rusland door het afsluiten van gemeenschappelijke contracten, maar zij vindt hierbij vooral Nederland op haar weg. Het beleid van Nederland is erop gericht Gastera (vroeger: Gasunie) te maken tot speciale bondgenoot van de Russische leverancier Gazprom. Russisch gas zou bij voorkeur via een nieuwe pijpleiding door de Baltische Zee in Nederland moeten aankomen, en van daaruit in een 'gasrotonde' verder worden gedistribueerd over Europa.

Broeikasewerking In Europa is echter niet voorzieningszekerheid maar klimaateffect het belangrijkste trefwoord in het energiebeleid. Het primaire beleidsdoel is de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen terug te dringen – dat is de maatlat waarlangs beleidsmaatregelen worden gelegd. Dat is een eenzijdige focus, want er zijn vele andere doeleinden van energiebeleid, waaronder voorzie-

ningszekerheid, maar ook luchtkwaliteit, technologische en regionaal-economische ontwikkeling, en betaalbaarheid en betrouwbaarheid van de voorziening. Soms wordt ook niet waargemaakt wat wordt beloofd. Nederland is bijvoorbeeld de laatste tijd sterk in het stellen van hoge eisen aan CO₂-reductie, zoals in internationale onderhandelingen en bij de formulering van nationale beleidsdoelen, maar heel wat minder sterk in het treffen van adequate maatregelen om aan die hoge eisen te voldoen. Zo wil Nederland wel een hoog percentage biobrandstoffen in het verkeer, maar E85 (bio-ethanol) is in Zweden en Duitsland wel aan de pomp te verkrijgen en in Nederland niet.

Vermindering van de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen kan op veel verschillende manieren worden aangepakt en dit heeft grote invloed op het transitiepad. Stimulering van biobrandstoffen vindt in Europa bijvoorbeeld plaats door het stellen van quota, maar stimulering van zonne- en windenergie verloopt via subsidies. Daardoor loopt de bouw van windturbineparken achter op de beleidsvoornemens, terwijl bij biobrandstoffen de politieke discussie is losgebarsten over de (te hoge) doelstelling.

Liberalisatie en privatisering Hier dwars doorheen speelt de liberalisatie en privatisering van de elektriciteits- en gassectoren. Het liberalisatiebeleid is ontstaan in de jaren '80 en '90, in de golf van neoliberal denken die de economische wetenschap in die tijd beheerste. Inefficiëntie van overheidsbedrijven vormde een belangrijk onderwerp, en er werd gezocht naar middelen om het vet uit de lui gewonnen organisaties te halen. Het Ministerie van Economische Zaken vormde het hart van het liberalisatiestreven in Nederland, en aangezien energiebeleid onder EZ

valt, mocht de energiesector zeker niet achterblijven in de grote sprong voorwaarts naar meer commercieel denken en handelen.

Liberalisatie heeft onmiskenbare voordelen, zoals verlaging van de prijzen voor burgers en bedrijven door toelating van concurrentie, en betekent daarmee een stimulans voor de economie als geheel. Liberalisatie heeft echter ook effecten buiten deze sfeer, effecten die niet altijd goed kunnen worden voorzien, laat staan van tevoren kunnen worden voorzien. Zo heeft liberalisatie grote invloed op investeringen in de infrastructuur. Commerciële bedrijven hebben belang bij lage kosten en daarmee bij een minimale infrastructuur. Dat staat op gespannen voet met de leveringszekerheid, die juist is gebaat bij een ruime en misschien zelfs overgedimensioneerde infrastructuur. Het gevecht om elektriciteitsbedrijven door goede regulering te dwingen tot goede planning en onderhoud van hun infrastructuur, is nog aan de gang.

Een tweede gevolg is de concentratietendens onder Europese elektriciteitsbedrijven. In Nederland wordt de markt nu verdeeld onder de 'grotten' (dat wil zeggen: op Nederlandse, niet op Europese schaal) Essent, Nuon, Eneco en Electrabel, alle vier nazaten van de vroegere provinciale nutsbedrijven die tevens gemeentelijke distributiebedrijven hebben opgeslokt. Op nationale schaal is de marktconcentratie voltooid, want concurrentiewaakhond NMa stelde zware eisen aan een mogelijke fusie van Essent en Nuon. De markt is in zoverre geliberaliseerd dat het Belgische Electrabel en de Duitse E-on en RWE in Nederland actief kunnen zijn. Maar het Europese speelveld is ongelijk: de Nederlandse 'reuzen' Essent en Nuon zijn een maatje te klein voor expansie in het buitenland, maar daarente-

gen wel een vette prooi voor hun tienmaal zo grote Duitse en Franse concurrenten E.ON, RWE, EDF en Suez. Zelfs de Italiaanse en Spaanse nationale kampioenen zijn in dit gevecht eerder prooi dan roofdier. De verwachting is dat aan het einde van de Europese *shake-out* het aantal elektriciteitsbedrijven nog slechts op de vingers van één hand te tellen zal zijn. Met als vraag in hoeverre er dan nog wél voldoende marktwerking zal zijn....

Maar misschien van nog groter belang is dat de gevolgen van liberalisatie voor duurzaamheid onduidelijk zijn. Liberalisatie en duurzaamheid staan haaks op elkaar: ze zijn niet tegengesteld maar wijzen eenvoudigweg verschillende richtingen uit. De duurzaamheidsbalans van liberalisatie zal het gevolg zijn van twee krachten die voorlopig in tegengestelde richting werken. De één werkt vooralsnog vóór duurzaamheid: de behoefte van grote dienstverlenende bedrijven (zoals elektriciteitsbedrijven) om de waarden te vertegenwoordigen die voor hun publiek belangrijk zijn, in dit geval klimaatvriendelijkheid en het toepassen van duurzame bronnen. Maar dat werkt alleen zo lang de publieke opinie in deze richting trekt. De andere kracht werkt vooralsnog tégen duurzaamheid: de economische behoefte om te investeren in de goedkoopste vorm van energievoorziening – momenteel steenkool, de minst klimaatvriendelijke energiebron. Vandaar het kuddegedrag van vier grote elektriciteitsbedrijven die in 2007 ineens allemaal wilden gaan investeren in nieuwe kolencentrales, en daarmee een ongedekt voorschot namen op de toekomstige beschikbaarheid van CO₂ afvang en opslag. Maar deze economische factor zou te zijner tijd ook in het voordeel van duurzame bronnen kunnen gaan werken, wanneer deze door verdere ontwikkeling voldoende dalen in prijs.

In een ideale wereld leek het zo mooi: bio-brandstoffen zouden de plaats gaan innemen van oprakende fossiele brandstoffen. Boeren over de hele wereld zouden een tweede markt ontwikkelen voor hun producten

Nieuwe politieke problemen Bij deze bespreking van politieke invloeden die inwerken op de energievoorziening mag niet onvermeld blijven dat nieuwe technologieën vaak weer aanleiding geven tot nieuwe politieke krachtenvelden. Zo zijn de voorstellen om grote zonnecentrales te bouwen in de Sahara tot nu toe zuiver economisch-technologisch gemotiveerd – maar het lijkt wel zeker dat deze aanleiding zullen geven tot nieuwe politieke spanningen, zoals tussen productielanden en gebruikslanden, en tussen de productieregio's en de machtscentra in productielanden. De situatie in Nigeria (met al decennia lang bloedige conflicten over de verdeling van de olierijkdom) moge hier dienen als waarschuwing.

Wanneer futuristische mogelijkheden werkelijkheid worden, zoals het winnen van energie uit de teelt van wieren op zee, zal ook dat internationaal geregeld moeten worden. Maar zelfs op nationale schaal kunnen politieke krachten worden losgemaakt door nieuwe technologische mogelijkheden, die alleen met grote moeite overwonnen kunnen worden. Een voorbeeld is de bouw van windparken op de Noordzee. Op het niveau van energiebeleid is het volkomen duidelijk dat het merendeel van de windenergie op zee gewonnen zal moeten worden. De eerste jaren leek het erop dat er na aftrek van alle ruimte voor andere doeleinden (scheepvaart, visserij, defensie, olie- en gaswinning, kabels en pijpen, etc.) voldoende concessiegebieden voor windparken zouden overblijven. Sinds enige tijd stagneert echter het proces van vrijgeven van zulke gebieden, om redenen die in het openbaar volstrekt niet duidelijk worden.

Publiek verzet Er bestaat verzet tegen specifieke technologieën, zoals tegen kernenergie. In Nederland is de publieke opinie al 35 jaar lang voldoende sterk tegen kernenergie geweest om de besluitvorming daarover voortdurend uit te stellen. Iets soortgelijks geldt voor landen als Zweden en Duitsland – maar het is de vraag hoe lang dit nog zal duren. In Frankrijk en de Oost-Europese landen leeft het antikernenergiesentiment veel minder. De laatste jaren komt ook verzet op tegen windturbines en kolencentrales, soms voldoende sterk om plannen voor de bouw van zulke installaties te blokkeren: tegen windturbines vanwege horizonvervuiling, en tegen kolencentrales vanwege hun milieueffect.

Energie en voedsel In 2007 en 2008 is binnen korte tijd een geheel ander politiek invloedsveld actief geworden in de energievoorziening, door conflicten rond biobrandstoffen. In een ideale wereld leek het zo mooi: biobrandstoffen zouden de plaats gaan innemen van oprakende fossiele brandstoffen. Boeren over de hele wereld zouden een tweede markt ontwikkelen voor hun producten: naast voedselvoorziening ook energievoorziening. Marginale, braak gelegde en onbruikbaar geraakte gronden (door erosie en verzilting) zouden weer in cultuur genomen kunnen worden. Verder zouden landbouwresten al een mooie opstap kunnen geven naar energetische bestemmingen van agrarische producten. Brazilië had het voorbeeld gegeven: zonder aantasting van de voedselproductie was sinds de jaren '80 een aanzienlijk deel van de suikeroogst omgezet in bio-ethanol ter vervanging van benzine in auto's. Dit had het land miljarden gescheeld in aardolie-importen, en tegelijkertijd was een sterke nationale industrie ontstaan.

Brazilië is anno 2008 zo ver dat zijn bio-ethanol goedkoop is geworden, en dat het deze nu zelf exporteert voor buitenlandse auto's die dorsten naar biobrandstof ter vervanging van hun dure en klimaatonvriendelijke benzine. Maar reeds de eerste meters op de weg naar de *bio-based economy* bleken geplaveid met conflicten. Nauwelijks had Europa aangekondigd dat het aandeel biobrandstoffen in de voertuigaandrijving moest gaan groeien tot 5,75% in 2012 en tot 10% in 2020, of de prijzen van voedingsmiddelen stegen huizenhoog. Dit suggereerde een verband. De armsten ter wereld kwamen in acute nood omdat zij hun voedsel niet meer konden betalen, en het idee dat biobrandstoffen mensen voedsel uit de mond stootte, was snel geboren. "Het recht op leven gaat voor een volle tank," zei VN-voedselrapporteur Jean Ziegler. En drie linkse Zuid-Amerikaanse presidenten namen afstand van Brazilië door te verklaren dat mensen belangrijker zijn dan auto's. Daarnaast keerde ook een groot deel van de milieubeweging zich tegen de huidige typen biobrandstoffen: voor biobrandstoffen zouden natuurgebieden worden opgeofferd, vooral tropisch regenwoud in Indonesië en Maleisië (voor de teelt van oliepalmen), en in Brazilië. En als klap op de vuurpijl kwamen er wetenschappelijke berichten dat de CO₂ winst bij gebruik van de eerste generatie biobrandstoffen klein zou zijn. Dit spanningsveld ontwikkelde zich razendsnel, in de loop van enkele maanden, en het gevolg was dat het publieke beeld van biobrandstoffen volledig omdraaide: van hoopvolle toekomstmogelijkheid tot nieuwe bedreiging van de mensheid. In het voortdurende debat wordt intussen meer nuance aangebracht, maar nog steeds is het zo dat de voorstanders van biobrandstoffen iets uit te leggen heb-

ben, en dat de vanzelfsprekendheid waarmee biobrandstoffen als oplossing werden gezien, geheel verdwenen is.

1.4 Infrastructuur als belangrijke factor in transitie

Infrastructuur is een belangrijke factor in de energietransitie. De aanleg van een nieuwe infrastructuur is erg kostbaar en nieuwe technologieën breken dan in het algemeen ook alléén door wanneer ze passen in een bestaande infrastructuur. Alleen in uitzonderingsgevallen zijn er zulke sterke economische of politieke motieven voor nieuwe infra, dat deze kan worden aangelegd. Een voorbeeld is het Nederlandse aardgasnet, dat binnen een paar jaar over het hele land is aangelegd na de ontdekking van de aardgasbel in Slochteren. Maar daarvoor stonden dan ook alle signalen op groen: de huishoudens profiteerden van goedkoop en veilig aardgas, de schatkist voer er wél bij, en uiteraard was het in het belang van Gasunie, snel met de verkoop te kunnen beginnen.

Op het gebied van energie bestaat nu een landelijk dekkende infrastructuur van elektriciteit, aardgas en motorbrandstoffen. Regionaal bestaan er warmtenetten, en in sommige industriegebieden zijn er pijpleidingen voor industriële vloeistoffen en gassen.

Bestaande infrastructuur klaarmaken voor nieuwe technologieën In veel transitieplannen wordt gebruik gemaakt van bestaande infrastructuur, zoals bij de vulling van het aardgasnet met groen gas. Maar er zijn belangrijke uitzonderingen op deze regel, met belangenconflicten

Bestaande infrastructuren hebben hun eigen dynamiek en belang en kunnen daardoor voldoende investeringsgelden losmaken voor uitbreidingen

Infrastructuur wordt in de loop van de jaren geoptimaliseerd voor een dominante technologie – en wanneer zich nieuwe veelbelovende technologieën in dezelfde sector aandienen, kampen deze in eerste instantie met een achterstand

in het vooruitzicht. Er liggen ook spanningsvelden wanneer bij toekomstmogelijkheden wordt voortgebouwd op bestaande infra, want vaak moet deze toch worden aangepast en dat gaat vaak niet zonder pijn en moeite. Het meest ingrijpend is het plan om een regionaal, landelijk of misschien wel Europees dekkende waterstofinfrastructuur aan te leggen. Het is niet duidelijk of waterstof getransporteerd kan worden met het aardgasnet, al dan niet vermengd met aardgas (het hangt er vooral van af hoe poreus plastics en metalen zullen blijken te zijn voor het zeer vluchtige waterstof); bij een transitie naar waterstof moet dan ook misschien een geheel nieuw transportnet worden aangelegd. Er moeten wel erg overtuigende argumenten op tafel komen om dat voor elkaar te krijgen, vooral gezien de alternatieven die veel goedkoper lijken. Bestaande infrastructures hebben hun eigen dynamiek en belang en kunnen daardoor voldoende investeringsgeld losmaken voor uitbreidingen (zoals het internationale aardgasnet). Maar dit ligt al heel wat minder duidelijk bij plannen om in Europa een superhoogspanningsnet aan te leggen (om uitbreiding mogelijk te maken van zonne- en windparken, en van kernenergie). Als de betreffende sector niet zelf de investeringen voor een nieuw niveau van infrastructuur kan opbrengen, is betrokkenheid van de overheid onvermijdelijk. Dan moet zo'n nieuwe infrastructuur op politieke gronden worden gemotiveerd, bijvoorbeeld voorzieningszekerheid, en worden afgewogen tegen andere mogelijkheden die hetzelfde bewerkstelligen. De belangenstrijd die hiermee gepaard gaat, maakt in zulke gevallen het transitieproces extra gecompliceerd.

Strijd tussen de grote en de kleine schaal Zoals gezegd kunnen ook aanpassingen binnen een bestaande infrastructuur invloed uitoefenen op het transitieproces. Infrastructuur wordt in de loop van de jaren geoptimaliseerd voor een dominante technologie – en wanneer zich nieuwe veelbelovende technologieën in dezelfde sector aandienen, kampen deze in eerste instantie met een achterstand. Het meest duidelijk is dit in de strijd tussen groot- en kleinschalige elektriciteitsvoorziening. Zoals we al hebben gezien, heeft de elektriciteitsvoorziening bijna de gehele vorige eeuw in het teken gestaan van schaalvergroting. Grotere centrales hadden lagere kapitaalkosten en waren efficiënter met brandstof dan kleinere centrales. Daardoor zijn tot aan de jaren '80 steeds nieuwe stappen gedaan naar een grotere schaal, met steeds grotere en zwaardere transport- en koppelnetten: van gemeentelijk naar provinciaal niveau, naar landelijk en naar Europees niveau. Maar vanaf de jaren '80 wordt de warmteverspilling van grote elektriciteitscentrales een economisch en milieu-probleem. Een moderne grote gasgestookte centrale haalt een rendement van zo'n 55% - en hoewel dit een hele stap voorwaarts betekent bij vroeger, houdt dit toch verspilling van bijna de helft van de brandstof in. Gecombineerde opwekking van elektriciteit en warmte (warmtekrachtkoppeling) is de economisch én ecologisch verantwoorde oplossing. Maar warmtekrachtkoppeling is om economische redenen kleinschalig. Warmtedistributie is kostbaar door de hoge kosten van de aanleg van een warmwaternet. De milieu- en klimaatvriendelijke, vaak ook economisch verantwoorde warmtekrachtkoppeling, leidt daardoor tot een groot aan-

tal kleine opwekeenheden van elektriciteit. De inpassing van die kleine eenheden in het elektriciteitsnet geeft een infraprobleem waarbij we even stil willen staan. Inrichting en beheer van het elektriciteitsnet (midden- en laagspanningsnet) zijn momenteel gericht op eenrichtingverkeer: van centrale naar verbruiker. In een elektriciteitsnet gebaseerd op veel kleine eenheden is er tweerichtingsverkeer: van opwekker/verbruiker 1 naar opwekker/verbruiker 2 en omgekeerd, of van en naar een elektriciteitsopslag. Daarvoor is een andere opbouw- en beheerfilosofie vereist, een andere handelwijze bij storingen, etc. Met nadruk gebruiken we het woord 'filosofie', omdat het probleem tussen de oren zit en niet zozeer in de technische mogelijkheden.

Zeker nu de HRe-ketel op de markt komt, wordt het vraagstuk van inrichting en beheer van midden- en laagspanningsnetten acuut. In de zogenaamde intelligente elektriciteitsnetten, waarvan de principes momenteel worden ontwikkeld, past elke opwekker/verbruiker van elektriciteit zijn 'gedrag' voortdurend aan bij de anderen, om een optimaal resultaat te bereiken. Deze intelligente netten moeten echter niet alleen worden ontworpen, maar ook worden gebouwd.

We komen hier voor de eerste keer een conflict tegen dat een belangrijke rol speelt in de energietransitie: de tegenstelling tussen groot- en kleinschaligheid. Wij noemen deze verhouding een 'conflict' omdat groot- en kleinschaligheid elkaar kunnen bijten: in technologie, in infrastructuur, in planning en in organisatie. Directies van elektriciteitsbedrijven hebben jaren lang al hun aandacht gegeven aan de grote projecten, de miljoeneninvesteringen. De pogingen van rijksoverheid en parlement, sturing te geven aan de

electriciteitssector waren ook daarop gericht. Nu komen we in een tijd waarin juist de kleine investeringsbeslissingen doorslaggevend zullen zijn voor de toekomstige duurzaamheid van het systeem – maar de besluitvorming is nog niet daarop ingericht.

In een systeem met zowel groot- als kleinschalige elementen moet hun verhouding bewust worden geregeld. Als deze mix van groot- en kleinschaligheid optreedt in een systeem met zo'n grote maatschappelijke betekenis als de energievoorziening, houdt deze sturing ook een element in van politieke keuze. Met andere woorden: zelfs al is micro-warmtekracht economisch en ecologisch de beste mogelijkheid voor de elektriciteitsvoorziening, dan nog moeten op het niveau van infrastructuur bewuste maatregelen worden genomen om de doorbraak van deze technologie mogelijk te maken.

1.5 Dwarsverbindingen tussen technologieën en belangen

Het wezen van de ingewikkelde en unieke constellatie van de energievoorziening, die we de aan de gang zijnde transitie hebben genoemd, is dat er zich steeds meer technologieën aandienen die dwarsverbindingen mogelijk maken tussen voorheen gescheiden sectoren. We zagen al dat (aard)gas een grotere rol kan gaan spelen in de elektriciteitssector door microwarmtekrachtkoppeling. Omgekeerd wordt elektrische verwarming steeds meer een optie naarmate de warmtevraag van woningen en gebouwen afneemt: elektrische verwarming neemt minder infrastructuur- en omzettingskosten met zich mee dan gasverwar-

Het wezen van de ingewikkelde en unieke constellatie van de energievoorziening, is dat er zich steeds meer technologieën aandienen die dwarsverbindingen mogelijk maken tussen voorheen gescheiden sectoren

Er is een verwarrend grote hoeveelheid transitiepaden mogelijk naar een duurzame energievoorziening. Met elk van die paden zijn grote belangen gemoeid

ming, en elektrische warmtepompen zijn in opmars. Een andere activiteit die steeds meer dwarsverbindingen gaat krijgen met energievoorziening is afvalverwerking. Afval blijkt op vele manieren een rol te kunnen spelen als energiebron: van sloophout tot slachtafval en van bermgras tot afvalwater. Er zijn veel technologieën die strijden om nuttige verwerking van afval, maar het is vaak niet zo eenvoudig afval nuttig in te zetten: de afvalwetgeving, gericht op bescherming van de gezondheid, werpt vaak barrières op.

Een andere toekomstige verknoping in de energievoorziening is mogelijk in zowel de *all electric society* als in *all gas society* door het leggen van een kabeltje van het huis naar de auto, waar de batterij of de brandstofcel opgeladen wordt; de batterij doet tevens dienst als *back-up* in de elektriciteitsvoorziening. Hiermee worden de tot nu toe gescheiden werelden van gebouwen en transport aan elkaar gekoppeld.

Een koppeling die grote invloed zal gaan hebben op de energievoorziening is die met de landbouw, door het gebruik van biomassa als energiebron. Zo lang er honger is op de wereld zal de discussie niet verstommen over de vraag of door gebruik van biomassa voor energie de armen ter wereld het eten uit de mond wordt gestoten. Bij die vraag wordt wel voorbij gegaan aan het gegeven dat heel veel landbouwgrond in beslag wordt genomen voor timmerhout, katoen, snijbloemen, geurstoffen, of gewoon voor vestiging van bedrijven – maar energie is kennelijk in de publieke opinie een platter soort bestemming voor biomassa, een doel dat in tegenstelling tot snijbloemen te allen tijde moet wijken voor honger. Bij die vraag wordt er ook aan voorbij gegaan dat bij nader inzien de prijsstijgin-

gen en voedselschaarste van 2007/2008 in de eerste plaats te wijten waren aan heel andere oorzaken, waaronder speculatie, transportproblemen en jarenlange onderinvestering in de landbouw. De prijzen van landbouwproducten zijn berucht om hun instabiliteit (najaar 2008 zijn de prijzen alweer aanzienlijk gedaald terwijl de productie van biobrandstoffen is toegenomen), en de koppeling van energievoorziening met landbouw betekent verder dus ook een veel grotere onzekerheid in de prijs aan de pomp.

Schuivende sectoren, schuivende belangen, nieuwe spelers op het veld

Door technologieën die elkaar beconcurreren en verknoppingen die tot stand kunnen komen is er een verwarrend grote hoeveelheid transitiepaden mogelijk naar een duurzame energievoorziening. Met elk van die paden zijn grote belangen gemoeid. Transitiepaden brengen vaak landjepik met zich mee, waarbij bedrijven die geworteld zijn in één domein de energievoorziening in een ander domein voor hun rekening gaan nemen. Voor het welslagen van zo'n 'oversteek' naar een andere sector is vaak de succesvolle ontwikkeling van nieuwe, nu nog niet commercieel beschikbare technologieën noodzakelijk.

Een *all electric* maatschappij zou in theorie op kernenergie gebaseerd kunnen worden, maar is in de praktijk toch afhankelijk van de doorbraak van zowel zonnecellen als een goede elektriciteitsopslag. De prijs van zonnecellen daalt voortdurend en in een bemoedigend tempo, maar een concurrerende kostprijs van zonnestroom voor de openbare voorziening wordt toch niet verwacht vóór 2030 à 2040. Doorbraken in de elektriciteitsopslag zijn veel moeilijker te voorspellen, alles is afhankelijk van een

geniale vinding of een reeks perfect op elkaar aansluitende vernieuwingen. De komst van een *all electric* energievoorziening zou ook kunnen profiteren van windenergie en van de acceptatie van CSP of kernenergie.

Een waterstofeconomie is nog aanzienlijk verder weg.

Alle essentiële technologieën moeten nog beter worden ontwikkeld, hetzij technologisch, hetzij economisch.

We hebben het dan over *reforming* (omzetting van fossiele brandstoffen of biomassa in waterstof), transport, opslag, en de uiteindelijke nuttige omzetting van brandstof in elektriciteit in een brandstofcel.

Biomassa kan pas echt doorbreken bij het economisch beschikbaar komen van tenminste een aantal van de volgende sleuteltechnologieën: vergassing, pyrolyse, torrefactie, bioraffinage, en witte biotechnologie ofwel fermentatietechnologie. Vergassing, pyrolyse en torrefactie zijn technologieën waarmee ruwe biomassa kan worden omgezet in een commercieel handelbare energiedrager: respectievelijk een gas, een vloeistof of een vaste stof. Het heeft bijvoorbeeld niet zo veel zin houtsnippers over de oceaan te transporteren, omdat de energiedichtheid laag is (en het transport dus duur). Voor toepassing op grote schaal is nodig dat de snippers worden omgezet in een handelbaar product met welomschreven eigenschappen. Bij pyrolyse en torrefactie wordt biomassa (bijvoorbeeld hout) verhit onder nauw omschreven condities, tot het gewenste product is verkregen: bij pyrolyse een olie en bij torrefactie een droge en waterafstotende zwarte massa. Bioraffinage en fermentatietechnologie zijn voorts nodig om biomassa om te zetten in waardevolle chemicaliën. Als wij toepassing van biomassa zouden beperken tot energielevering, bijvoorbeeld door verbranding, zou bio-

massa vrijwel niet kunnen concurreren met aardgas of steenkool. De doorbraak van biomassa in wat men de *bio-based economy* is gaan noemen, is afhankelijk van de mate waarin technologen erin slagen, meer waardevolle producten uit biomassa te verkrijgen. Bioraffinage is erop gericht de ruwe biomassa (bijvoorbeeld gras) te scheiden in waardevolle producten die elk apart kunnen op de markt worden gebracht: eiwitten, suikers en polysacchariden, vezels (lignocellulose) e.d. En witte biotechnologie of fermentatietechnologie is nuttig om deze plantaardige grondstoffen verder om te zetten in waardevolle chemicaliën, waarmee op den duur biomassa de aardolie zou kunnen vervangen als grondstof voor de chemische industrie. Maar al deze technologieën zijn nog in ontwikkeling en de echte doorbraak van biomassa zal nog wel even op zich laten wachten.

De doorbraak van biomassa kan ook worden bespoedigd wanneer genetisch gemodificeerde planten (*genetically modified organisms*, GMO's) zouden worden geaccepteerd. Bij de GMO-technologie wordt, zoals bekend, een stukje DNA in een organisme vervangen door een stukje DNA uit een ander organisme, waardoor de opbrengst van een nuttige stof sterk wordt verhoogd. Een voorbeeld. Van alle granen bevat haver in zijn korrels van nature de meeste plantaardige olie. Er zijn wilde haversoorten bekend waarvan de korrel even veel olie bevat als de zaden van koolzaad. Door het inbrengen van een stukje van het DNA van die wilde haver in een cultuursoort met hoge opbrengst kan een variëteit worden gekweekt met een dubbele opbrengst: van zetmeel én van olie. Zetmeel kan worden verwerkt in voedingsmiddelen en olie in biodiesel. GMO-technologie is het middelpunt van een controverse:

De doorbraak van biomassa in wat men de bio-based economy is gaan noemen, is afhankelijk van de mate waarin technologen erin slagen meer waardevolle producten uit biomassa te verkrijgen

Al vanaf de eerste oliecrisis van 1973 komt energiebesparing in studies naar voren als de meest betaalbare manier om het gebruik van fossiele brandstoffen te verminderen...

30

En toch is ook na 1973 het merendeel van publieke aandacht én beleidsinspanningen gegaan naar manieren om het aanbod uit te breiden.

voorstanders zien vooral voordelen van kostprijs en productiviteit (bijvoorbeeld voor oplossing van het wereldvoedselprobleem), tegenstanders vrezen dat gemodificeerde soorten kunnen uitbreken en zich verspreiden in de natuur, met onvoorspelbare gevolgen voor natuurlijke evenwichten. Verder bestaat de vrees dat menselijke consumptie van genetisch gemodificeerd voedsel onverwachte effecten heeft op de gezondheid. In het algemeen is toepassing van GMO-technologie niet essentieel voor een doorbraak van biomassa, doordat dezelfde verrijking van gewassen ook met traditionele methoden kan plaats vinden; die route is vaak echter veel meer tijdrovend en kostbaar.

Bekende spelers met bekende belangen De energietransitie kan dus zijn beslag krijgen door het doorbreken van technologieën waarmee nieuwe spelers op het veld van de energievoorziening verschijnen, wat gepaard zal gaan met belangenstrijd tussen de oude en nieuwe belanghebbenden. Maar er zijn ook technologieën waarvan de doorbraak juist een bestendiging van de bestaande verhoudingen zal betekenen. Bestaande gasmaatschappijen hebben bijvoorbeeld belang bij de ontwikkeling van groen gas, want daarmee wordt hun infrastructuur nuttig gebruikt: zij kunnen hun positie, opgebouwd rond de levering van aardgas, bestendigen met de levering van groen gas. Op dezelfde manier hebben oliemaatschappijen belang bij de betrouwbare en betaalbare beschikbaarheid van biodiesel en bio-ethanol, want deze kunnen worden gedistribueerd langs de al bestaande kanalen – terwijl de energielevering van auto's op accu's of brandstofcel-

len langs totaal andere wegen zal gaan plaats vinden. En elektriciteitsbedrijven hebben belang bij het welslagen van afvang en opslag van CO₂, omdat hierdoor de bestaande grootschalige structuur van het elektriciteitsnet kan worden bestendigd.

De tragiek van energiebesparing Maar er is ook een categorie technologieën die globaal gesproken door geen enkele machtige partij in de energievoorziening wordt gesteund. Ironisch genoeg gaat het hier om de meest effectieve aanpak van energievervalsing en CO₂ uitstoot: we hebben het over energiebesparing. Alle machtige partijen in de energievoorziening leveren energie. Zij hebben er geen direct belang bij wanneer hun afnemers die energie efficiënter gaan benutten, want dat gaat ten koste van hun omzet. Hun belang is hoogstens indirect: ter voorbereiding op een toekomst waarin het gebruik van fossiele brandstoffen aan banden is gelegd, hetzij door fysieke tekorten, hetzij door overheidsingrijpen.

Al vanaf de eerste oliecrisis van 1973 komt energiebesparing in studies naar voren als de meest betaalbare, we kunnen ook zeggen meest effectieve manier om het gebruik van fossiele brandstoffen te verminderen en de uitstoot van CO₂ terug te dringen. De euro die besteed wordt aan vermindering van het verbruik heeft met andere woorden meer effect dan de euro die wordt besteed aan uitbreiding van de voorziening, of dat nu is met zonne- of windenergie, biomassa of kernenergie, laat staan kernfusie. Betere huisisolatie blijft, ook na alle al getroffen maatregelen, goedkoper dan het kopen van een grotere CV-ketel of het aanbrengen van meer radiatoren. Dit geldt nog steeds in brede zin, dus zowel in woningen en gebouwen als in

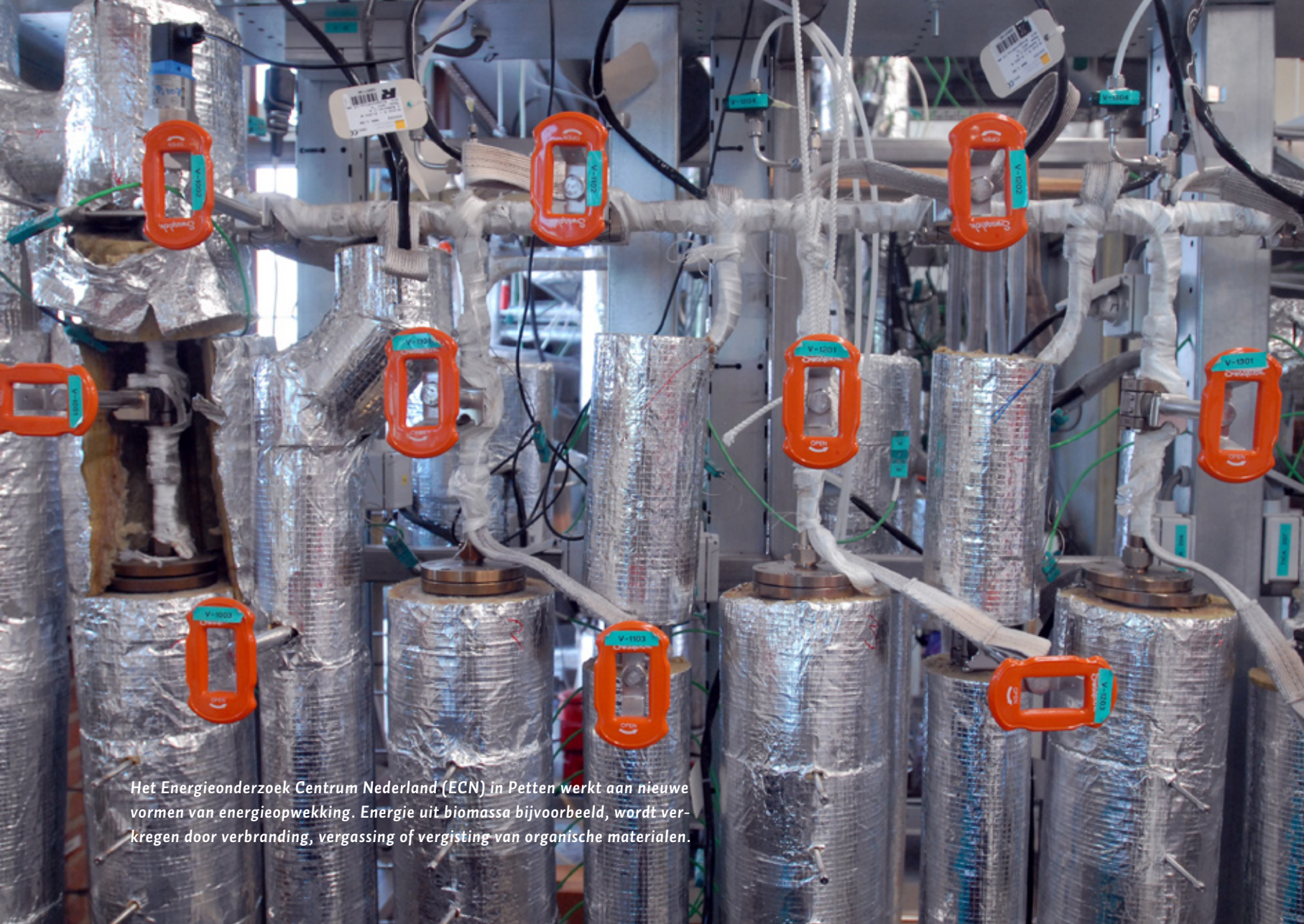
de industrie. En toch is ook na 1973 het merendeel van publieke aandacht én beleidsinspanningen gegaan naar manieren om het aanbod uit te breiden. Energiebesparing is niet sexy, zo heet het – maar in werkelijkheid zijn er te weinig kampioenen van energiebesparing. Alleen de leveranciers van (zuinige) apparatuur hebben er belang bij, maar de apparatenbouwers hebben nooit veel potten kunnen breken in de energiewereld.

De tragiek van energiebesparing, als wij daarvan kunnen spreken, is dat iedereen daar belang bij heeft, maar dat dat belang geen machtige woordvoerders vindt. Als energiebesparing een belang is van iedereen, zo kan men denken, dan is de overheid bij uitstek de partij die zich daarvoor moet hard maken. De overheid is echter niet alleen de boven de particuliere belangen staande partij die het algemeen belang in het oog houdt, maar ook en vooral de resultante van het spel van de maatschappelijke krachten. Ook de overheid ervaart dat er weinig belangenbehartigers zijn voor energiebesparing, en zij reageert dienovereenkomstig: door energiebesparing een lage prioriteit te geven, in weerwil van de goede bedoelingen die óók door politiek en overheid worden gekoesterd. Bovendien mag niet worden vergeten dat de overheid ook een financieel belang heeft bij energiegebruik, door accijnzen en aardgasbaten. Net als bij het bestrijden van rookverslaving en alcoholmisbruik kan men zich bij de strijd tegen energie-honger afvragen: hoe gemotiveerd is de overheid? Een eenvoudig voorbeeld. De nationale overheid is een grote marktpartij in vele sectoren van de economie; een overheid die duurzaamheid onderschrijft kan dat overtuigend aantonen in zijn inkoopbeleid, zo zou Jan met de pet kunnen denken. Maar het heeft geduurd tot het regeer-

akkoord van 2007 voordat ‘duurzaam inkopen’ een doel van het beleid van de rijksoverheid werd, en de uitvoering van dat beleidsvoornemen is geplaveid met praktische obstakels.

Waarom is het energievraagstuk zo ingewikkeld?

- > *Er komen zeer veel problemen tegelijkertijd samen in dat ene ‘energievraagstuk’*
- > *Er is een veelheid van wegen naar de toekomstige duurzame energievoorziening*
- > *Elke weg is gebaseerd op een eigen infrastructuur met daarmee overeenkomende belangen*
- > *Technologische ontwikkeling speelt een sleutelrol in het verkrijgen van een voorsprong door één of meer van deze belangen; wetenschap speelt daarin een belangrijke rol*



Het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) in Petten werkt aan nieuwe vormen van energieopwekking. Energie uit biomassa bijvoorbeeld, wordt verkregen door verbranding, vergassing of vergisting van organische materialen.

2 wetenschappelijke inspanning

inleiding

Het Stimuleringsprogramma Energieonderzoek van NWO en SenterNovem', waarvan wij in dit boek de lotgevallen beschrijven, stelde zich tot doel een bijdrage te leveren aan een duurzame energievoorziening. Wij nemen in dit boek een ruime omweg naar het Stimuleringsprogramma en zijn eerst begonnen met het energieprobleem. Nu werken we toe naar de vraag hoe de wetenschap kan bijdragen aan de versnelde ontwikkeling naar zo'n duurzame energievoorziening (de energietransitie). We hebben de complexiteit van het energieprobleem geschetst en contrasteren die nu met de analytische aanpak van de wetenschap.

Doelstelling van het Stimuleringsprogramma

Energieonderzoek: Het ontwikkelen van vernieuwende integrale kennis die nodig is om het transitieproces van de huidige naar een toekomstige duurzame energievoorziening structureel te vergemakkelijken. Die duurzame energievoorziening zal worden gekenmerkt door aandacht voor:

- **milieu:** de energievoorziening heeft geen effecten op het milieu die de ecologische veerkracht overschrijden
- **grondstoffen:** de snelheid van uitputting is niet groter dan het tempo waarin vervangende alternatieven worden ontwikkeld
- **economie:** de energievoorziening bevordert een dynamische economische ontwikkeling
- **sociale verhoudingen:** milieugebruik en inkomen worden mondiaal rechtvaardig verdeeld, en de gebruikte technologieën kunnen rekenen op draagvlak uit de samenleving.

wetenschappelijke inspanning

De vraag die wij ons hier stellen is: hoe kan de wetenschap, die geheel afhankelijk is van een heldere vraagstelling en daardoor van reductie van complexiteit, greep krijgen op het complexe energieprobleem? Dat dilemma aan het begin van het onderzoek (een heldere en tegelijkertijd praktische vraagstelling) vertaalt zich aan het eind van het onderzoek in de vraag hoe zowel geldige als praktisch toepasbare conclusies geformuleerd kunnen worden, in het spanningsveld van kennisverwerving en macht. Want de doelstelling van het programma is niet alleen “inzicht bieden in onderliggende mechanismen en trends”, maar ook “aangrijpingspunten bieden om die mechanismen en trends effectief en blijvend te beïnvloeden”. In de opzet van het Stimuleringsprogramma zelf is ingebouwd dat het de ‘wereld van de wetenschap’ zal overschrijden en effecten zal sorteren in de ‘wereld van de macht’. Het onderzoek naar het spanningsveld tussen kennisverwerving en macht aan de hand van het Stimuleringsprogramma zal in dit boek vele malen terugkomen. Om de verkenning van dat spanningsveld te vergemakkelijken zullen we zo veel mogelijk afzien van verhullend taalgebruik,

waarin zowel wetenschap als beleid soms excelleren. We zullen het dus niet hebben over stakeholders maar over belanghebbenden of betrokkenen, niet over socio-technologische transformaties maar over fundamentele veranderingen, en niet over implementatie maar over toepassing. We bezien verder de wetmatigheden die de overgang van één energiesysteem naar een ander systeem bepalen (hoofdstuk 3). In hoofdstukken 4 t/m 8 kijken we naar specifieke problemen bij sleuteltechnologieën voor een duurzame energievoorziening: energiebesparing, schoon fossiel, windenergie, zonne-energie en biomassa. In hoofdstuk 9 staat de vraag centraal in hoeverre transities gestuurd kunnen worden. En in hoofdstuk 10 tenslotte proberen we conclusies uit het voorafgaande te trekken. Elk hoofdstuk geeft de gelegenheid, uiteen te zetten wat de bijdrage van het Stimuleringsprogramma is geweest aan het aanpakken van de beschreven problematiek. Het zal blijken dat vooral drie soorten kennis zijn ontwikkeld: achtergrondinformatie, nodig om beleid te kunnen voeren (door bedrijven en overheden) en beslissingen te nemen, inzicht in opinievorming en inzicht in de werking van de

¹ NWO: Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek. Novem: Nederlandse Onderneming voor Energie en Milieu, later samengevoegd met Senter tot SenterNovem. Deze laatste organisatie is een agentschap van het Ministerie van Economische Zaken, dat ook werk verricht voor andere departementen.

Kennis waaraan men in de energietransitie behoefte heeft, betreft bijvoorbeeld de vraag onder welke prikkels burgers en bedrijven overgaan tot investeringen in energiebesparing

energietransitie. Het eerste soort kennis gaat over technologieën, markten, de snelheid waarmee vernieuwingen kunnen worden toegepast e.d. Het tweede soort kennis gaat over het mechanisme van maatschappelijke vernieuwingen, in het bijzonder rond de verduurzaming van de energievoorziening. Maar niet op alle terreinen is die bijdrage dekkend geweest voor problemen. Het Stimuleringsprogramma heeft de specifieke invalshoek van een duurzame energievoorziening, waardoor niet alle aspecten van het energieprobleem worden gedekt – nog afgezien van budgettaire beperkingen waardoor keuzes gemaakt moesten worden in de bestudeerde thema's.

2.1 De analyserende wetenschap

Nodig was vernieuwende, integrale kennis Lang, heel lang heeft 'de wetenschap' vrijwel uitsluitend als natuurwetenschap een bijdrage geleverd aan de oplossing van het energieprobleem, in de bekende reeks zuivere wetenschap – toegepaste wetenschap – technologie-ontwikkeling – toepassing. Wetenschappelijke vindingen bleken technisch nut te kunnen hebben, deze werden verder ontwikkeld, en op basis van deze kennis werden apparaten gebouwd en geschikt gemaakt voor commerciële productie. Een andere discipline die zich bezig hield met energie was de economie, want energie wordt gewonnen, gekocht en verkocht en is dus vatbaar voor bestudering van de daarbij geldende economische wetten. Maar wetenschappelijke bestudering van het energieprobleem in den brede, zoals in het voorgaande uiteengezet, was er eigenlijk niet. Daardoor droeg de wetenschap ook

weinig bij aan de gewenste energietransitie. Natuurlijk, met wetenschappelijke kennis werden nieuwe technologieën ontwikkeld, en economen probeerden beter zicht te krijgen op het ongrijpbare fenomeen van de olieprijs – maar hoe je dat nu eigenlijk aanpakt, een energietransitie, daar zei de wetenschap niets over.

Nu is wetenschappelijke bestudering van de werkelijkheid alleen mogelijk door een groot hek te zetten om het object van studie. Een probleem dat naar alle kanten uitdijt, zoals het brede energievraagstuk, is ongrijpbaar voor wetenschappelijke bestudering. Wat wetenschappers wel kunnen, is een klein deel van die werkelijkheid isoleren, de wetten ontdekken die dat stukje werkelijkheid regeren, en vervolgens proberen door extrapolatie de ontdekte kennis toe te passen op bredere vraagstukken.

Kennis waaraan men in de energietransitie behoefte heeft, betreft bijvoorbeeld de vraag onder welke prikkels burgers en bedrijven overgaan tot investeringen in energiebesparing; de vraag onder welke omstandigheden de spelers in de keten van biobrandstoffen, van boer tot automobilist, bereid zijn op deze route over te stappen; de vraag welke maatregelen ter stimulering van windenergie succesvol zijn geweest en welke tot niets hebben geleid, en de redenen daarvan; de vraag of zich tegen duurzame energietechnologieën net zulke weerstanden kunnen ontwikkelen als tegen kernenergie, en of hieruit richtlijnen voor technologieontwikkeling kunnen worden afgeleid; de vraag onder welke omstandigheden besluitvormers geneigd zullen zijn om te investeren in energiebesparende technologie. Al deze vragen en nog vele andere zijn in het Stimuleringsprogramma Energieonderzoek aan de orde geweest. Het is onderzoek over deze onderwerpen, dat de Programma-

commissie voor ogen had toen zij in 1996 schreef “vernieuwende integrale kennis te (willen) ontwikkelen die nodig is om het transitieproces van de huidige naar een toekomstige duurzame energievoorziening structureel te vergemakkelijken.”

Bèta- en gammakennis combineren De reflectie op de vraag, wat voor kennis daarvoor precies wordt vereist, loopt parallel aan de uitvoering van het programma. In eerste instantie stelt de Programmacommissie vooral de eis dat bèta- en gammadisciplines in deelprogramma's moeten samenwerken. Dit is op dat moment een zinvol criterium, omdat gammawetenschappers daarvoor weinig betrokken zijn geweest bij energieonderzoek. Maar een goede samenwerking tussen bèta en gamma blijkt al doende te moeten worden ontwikkeld. In een tussentijdse evaluatie uit 2004 van Ackers & De Vries scoort juist de integratie van bèta- en gammaonderzoek minder goed, hoewel de wetenschappelijke kwaliteit van het programma hoog wordt genoemd.

Integratie van bèta- en gammaonderzoek blijkt niet vanzelfsprekend. Rapporteur Ackers ziet een tekort aan ‘integrale vraagstelling’ in de eerste tranche van het programma. Van de 95 wetenschappelijke artikelen die het programma tot dat moment heeft opgeleverd, zijn er volgens hem slechts vier te karakteriseren als interdisciplinair. Daarentegen zijn alle deelprogramma's wel multidisciplinair (meerdere vakgebieden betrokken), en dit wordt door de onderzoekers ervaren als een verrijking, ook als zij de kennis uit het andere vakgebied nauwelijks in hun eigen onderzoek gebruiken.

Voorzitter van de Programmacommissie Jan Paul van Soest meent dat de opgave die de commissie zichzelf gesteld heeft, inherent moeilijk is geweest. Want wat komt er kijken bij integratie van disciplines? De wetenschap is monodisciplinair georganiseerd. Er zijn bijna alleen monodisciplinaire vaktijdschriften, zeker in de categorie waarin onderzoekers graag publiceren, de tijdschriften met een hoge citatie-index. Er is bovendien publicatiedwang. Onderzoekers worden alleen al hierdoor gedwongen te blijven denken binnen hun eigen vakgebied. Wanneer onderzoekers zich aan deze krachten willen onttrekken, dan komen ze terecht in het niemandsland tussen tweede-rangtijdschriften en de Nobelprijswinnaars. Er is gewoon weinig keus. Verder wordt het meeste onderzoek in het Stimuleringsprogramma uitgevoerd door promovendi – waardoor het aangeven van het integrale kader neerkomt op de schouders van de begeleiders, die zelf doorgaans ook weinig ervaring hebben met integratie van vakgebieden. Aldus Jan Paul van Soest. Halverwege de looptijd van het Stimuleringsprogramma realiseert de Stuurgroep zich deze problematiek, reden waarom bij de tweede tranche in het bijzonder wordt gekeken naar de integratie van disciplines en niet meer simpelweg ‘samenwerking’ tussen bèta en gamma wordt gevraagd. Deze tweede tranche, zo constateert ook Ackers in 2004, wordt daardoor gekenmerkt door een hoger niveau van integratie. Het begrippenkader van de energietransitie, dan inmiddels in zwang geraakt, biedt hiervoor een goed aangrijpingspunt. En dit geldt nog sterker voor de innovatiewetenschap, die in zichzelf bèta- en gammaonderzoek verenigt, en die in de tweede tranche amper aan bod komt.

Behalve het gegeven dat de werkelijkheid complex is en de wetenschap alleen nauw omschreven vraagstukken kan aanpakken, speelt dus nog een probleem: de kloof tussen de werelden van beleidsmakers en wetenschappers

38

Toepassingsgericht onderzoek Maar ook integratie van disciplines is niet het einddoel van het Stimuleringsprogramma. Het doel is om kennis te ontwikkelen die nodig is om het transitieproces van de huidige naar een toekomstige duurzame energievoorziening structureel te vergemakkelijken. In de toepassing van het onderzoek ligt daarom de uiteindelijke maatstaf voor succes. Dat is inherent lastig, doordat het succes afhankelijk wordt gemaakt van externe factoren. Overheid en bedrijfsleven nemen vaak een afwachtende houding aan bij wetenschappelijk onderzoek. Ze laten de wetenschappers hun gang gaan, wel beseffend dat zij degenen zullen zijn die de vruchten zullen plukken van succesvol onderzoek – maar er is zo véél wetenschappelijk onderzoek, en het is tot nu toe niet mogelijk gebleken de winnaars er bij voorbaat uit te pikken. Dus blijven de uiteindelijke gebruikers van het onderzoek vaak op de achterhand, in kaarttermen. Of ze sluipen wel mee met de ontsnapping, maar doen geen trap te veel, in welertermen. Peter Aubert, die namens het Ministerie van Economische Zaken zijdelings betrokken is geweest bij het Stimuleringsprogramma, zegt daarover: “Gamma-onderzoek heeft twee doelgroepen of ‘geadresseerden’: de wetenschappelijke wereld en de beleidsmakers. De beleidsmakers willen graag weten wat ze met de resultaten van zulk onderzoek aan moeten. Dat betekent dat ‘bruikbaarheid’ of ‘handelingsperspectief’ een kwaliteitseis is die je moet stellen aan de resultaten van dit soort onderzoek. Voor de eerste doelgroep, de wetenschappelijke wereld, is ‘duiding’ een voldoende kwaliteitseis. Maar als dat je doel was moet je ook niet verwachten dat beleidsmakers wat met je onderzoekresultaten doen.”

“Kritiek op overheidsbeleid is goed. Maar zou wel moeten leiden tot het geven van richting. De conclusies uit het onderzoek, waar de wetenschapper aan het woord is, geven die richting vaak onvoldoende. Bij de aanbevelingen naar aanleiding van het onderzoek, waar de geïnteresseerde professional aan het woord is, is niet altijd duidelijk in welke mate deze aanbevelingen rechtstreeks voortkwamen uit het onderzoek.”

Behalve het gegeven dat de werkelijkheid complex is en de wetenschap alleen nauw omschreven vraagstukken kan aanpakken, speelt dus nog een probleem: de kloof tussen de werelden van beleidsmakers en wetenschappers. Toepassing van wetenschappelijke resultaten vereist dat wetenschappelijke inzichten worden vertaald in richtlijnen op beleidsniveau.

Voorzitter van de Programmacommissie Jan Paul van Soest zegt over dit probleem: “Wetenschap kan nooit beleidsdilemma’s oplossen, wetenschap kan wel analyseren, maar wetenschappers hebben vaak moeite te begrijpen wat op beleidsniveau speelt. Beleidsmakers vanuit hun perspectief gebruiken wetenschap vaak te gemakkelijk om keuzes te maken.”

We kunnen het probleem van bèta-gammawetenschappers die graag willen dat hun resultaten worden toegepast, aan de hand hiervan nog eens als volgt omschrijven. Na een succesvol verlopen onderzoek formuleren wetenschappelijke onderzoekers hun conclusies, die betrekking hebben op het geïsoleerde stukje werkelijkheid dat zij hebben bestudeerd. Uit de aard van de zaak hebben deze conclusies betrekking op het verleden. Hoe deze te vertalen op beleidsniveau, waar het gaat om het toekomstperspectief? Meestal zijn wetenschappers niet vertrouwd met de krachten die in

een beleidsomgeving spelen, met name niet met de rol die daarin wordt gespeeld door platte krachten van macht en belang. Ook als zij politiek geïnteresseerd zijn, hebben zij daarmee doorgaans geen rechtstreekse ervaring. Ze moeten bij de vertaling een beroep doen op een vermogen dat tijdens het onderzoek niet is aangesproken: zich in te leven in een wereld die niet de hunne is. Zij zijn, in de woorden van Aubert, niet meer en niet minder dan “geïnteresseerde professionals”: professionals, wetenschappers, geïnteresseerd maar niet geïntegreerd in de wereld van beleid. Eén van de methoden om boven dit dilemma uit te stijgen is, zo signaleert Van Soest, “het opstellen van esoterische modellen, die weinig verhelderen.” Zulke wetenschappers proberen de gehele complexiteit van de wereld te vangen in hun model, wat doorgaans ten koste gaat van de verstaanbaarheid en toepasbaarheid. Het model vangt wel alles (nu ja, veel), maar de relatie met de menselijke intuïtie wordt te zwak, waardoor het model in de praktijk geen richting meer geeft. Beleidsmakers, van hun kant, hebben meer behoefte aan enkele vuistregels (lange halen, snel thuis, in roeitermen), die in de ogen van wetenschappers de werkelijkheid simplificeren. Vaak pikken beleidsmakers uit wetenschappelijk onderzoek slechts enkele conclusies op, die het meeste handelingsperspectief bieden. Misschien bestaan er uitwegen uit deze problematiek, die we geregeld zullen tegenkomen in dit boek. Het dilemma dat we daarbij onderzoeken is tamelijk universeel van aard, want essentieel voor het raakvlak van kennisverwerving en macht. De problematiek heeft dan ook niet alléén betrekking op het energieprobleem, maar staat centraal in de vraagstelling van CPB en alle andere planbureaus, zowel bij de overheid als in het bedrijfsleven: hoe kan beleid door

wetenschappelijk onderzoek worden ondersteund – en misschien wel geleid? In ons slothoofdstuk zullen we proberen conclusies te trekken uit de verschijnselen die we onderweg zijn tegengekomen.

2.2 Wetenschap kan niet alles verklaren, maar wel handreikingen doen

Het energieprobleem ontleent zijn breedte en urgentie aan het samenkomen van veel maatschappelijke krachten. De complexiteit van dit probleem wordt nog eens verhevigd door het ter beschikking (gaan) komen van een ongekende hoeveelheid nieuwe technologieën, die de uiteindelijke zwaartepunten van de energievoorziening in geheel verschillende richting kunnen trekken.

Wetenschappelijk verklaren van dit proces is haast onmogelijk; wetenschap bestudeert alleen deelproblemen en de synthese dient zich uit te spannen over vele vakgebieden. Toepassing van wetenschappelijke inzichten in de beleidspraktijk is nog een slag moeilijker. Dit proces wordt gekenmerkt door vallen en opstaan. De conclusies van wetenschappelijke artikelen blijken voor beleidsmakers vaak iets willekeurig te hebben, in contrast met de strengheid van het wetenschappelijke proces zelf. Het roept voor hen de vraag op in hoeverre de wetenschap voor hen bruikbare resultaten oplevert.

Dat neemt niet weg dat uit elk onderzoek wel nuttige handreikingen voor beleid kunnen worden gehaald en dat er zich, zoals wij zullen zien, pareltjes onder de projecten bevinden die – afhankelijk van de koers van het beleid – zeer veel nuttige kennis opleveren.

De conclusies van wetenschappelijke artikelen blijken voor beleidsmakers vaak iets willekeurig te hebben, in contrast met de strengheid van het wetenschappelijke proces zelf

Club WATT in Rotterdam is de eerste Sustainable Dance Club ter wereld. De zaal is uitgerust met een energieopwekkende vloer, die de bewegingen van de dansende bezoekers omzet in elektrische energie die vervolgens gebruikt wordt om de vloer te verlichten.



3 op zoek naar de succesvolle niche

inleiding

Letterlijk betekent innovatie vernieuwing, maar dat is voor velerlei uitleg vatbaar. We spreken over innovatie als ‘nieuwe technologie’ maar ook als ‘nieuwe dienst’ en bovendien als het proces naar de ontwikkeling van dat nieuws.

Innovatie kan de ontwikkeling van een nieuw product zijn (digitale fotografie) maar ook het gebruik maken van dat product (inbouwen in camera’s met een bijpassende methode voor het afdrukken van digitale foto’s), en tenslotte de brede verspreiding ervan (gewenning van consumenten aan het gebruik). Innovatie kan ook plaats vinden in de publieke sector, bijvoorbeeld het via internet aanbieden van overheidsdiensten.

Transities, ook wel maatschappelijke innovaties of systeeminnovaties genoemd, zijn brede maatschappelijke veranderingen die vele, voor een belangrijk deel niet-technologische innovaties omvatten. Dit hoofdstuk gaat over de theorievorming rond innovaties en transities.

op zoek naar de succesvolle niche

3.1 Innovaties en transitie¹

Innovaties Innovatie kan radicaal zijn (toepassing van fundamenteel nieuwe technologieën, ontwerpen of inzichten), of het karakter dragen van stapsgewijze verandering (aanpassing aan bestaande technologieën en werkwijzen). Maar soms hebben kleine stapjes, zoals de combinatie van twee bestaande technologieën, toch grote gevolgen zoals toen informatie- en communicatietechnologieën werden gecombineerd in internet.

Van alle projecten die het label ‘innovatie’ krijgen, is slechts een klein deel een radicale innovatie. Zo’n radicale innovatie is vrijwel steeds het resultaat van weloverwogen onderzoek en ontwikkeling bij bedrijven, op universiteiten of in overheidslaboratoria. En ook bij radicale innovaties komt het maar sporadisch voor dat zij het leven van mensen diepgaand veranderen, zoals bij de uitvinding van

de stoommachine of ‘de pil’. Kenmerkend voor radicale innovaties is dat hun looptijd langer is en de onzekerheid groter.

Een andere indeling van innovaties is die tussen ontwrichtende en ondersteunende innovaties. Deze tweedeling heeft te maken met markten en niet met technologieën. Ontwrichtende innovaties breken in bestaande markten in en ‘ontwrichten’ daarbij de bestaande verhoudingen. Ze ontwikkelen zich in ‘niches’, in een speciale toepassing of in een door wetgeving beschermd deel van de markt, van waaruit ze kunnen doorbreken. Zo was de uitvinding van de telefoon een ontwrichtende technologie voor de destijds dominante telegraaf. Ondersteunende technologieën daarentegen worden vaak ontwikkeld om bestaande producten te versterken – of gekocht door grote bedrijven om hun dominante positie te handhaven. Een voorbeeld is de driewegkatalysator waardoor de interne verbrandingsmotor de standaard bleef in auto’s (maar die kenmerkend genoeg buiten de automobiellindustrie werd ontwikkeld).

¹ Deze paragraaf is mede gebaseerd op een notitie van René Kemp, lid van de begeleidingscommissie bij het schrijven van dit boek. Voor een lijst van hierbij geraadpleegde literatuur zie bijlage 2.

We kunnen deze onderscheidingen als volgt samenvatten:

	Stapsgewijze verandering van technologie	Radicale verandering van technologie
Ontwrichting van bestaande markten	Scheppen van een niche	Transitie
Ondersteuning van bestaande markten	Stapsgewijze innovatie	Radicale verbetering aan bestaand product

Transities Bij een transitie vinden zó veel veranderingen plaats in combinatie met elkaar dat het hele maatschappelijke subsysteem op een nieuwe logica wordt geschoeid met nieuwe standaarden. Als voorbeeld noemen we *high precision farming*, waarbij zowel de technologie als de werkwijze van de boer ingrijpend worden veranderd. Bij transities ondergaan vaak niet alleen technologie en economie, maar ook cultuur en maatschappelijke organisatie duidelijke veranderingen.

Transities zijn structurele veranderingen die lange tijd vergen, tenminste één generatie (25–50 jaar). Op deze termijn beschouwd lijken transitities zich geleidelijk te voltrekken, maar op de korte termijn zien we een schoksgewijs verlopend proces, waarin kleine schokjes en grote golven elkaar afwisselen. Dit komt doordat transities periodes omvatten van snelle en langzame verandering. Transities vergen zeer veel tijd omdat bestaande grenzen, barrières, verhoudingen, kortom de bestaande ordening en structuur, moeten worden doorbroken.

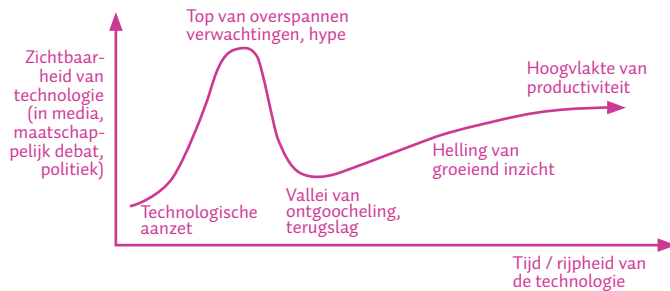
Hoe komen innovaties tot stand? Aanvankelijk zag men innovaties als rechtlijnig proces, met onderzoek en

ontwikkeling als input en nieuwe producten en processen als output. Meer recent is er aandacht gekomen voor het feit dat er velerlei terugkoppelingen zijn. Zo worden tijdens het toetsen, ontwikkelen en toepassen van innovaties bijvoorbeeld lessen getrokken voor aanpassing en differentiatie. Of de ontwikkelaars krijgen in het toepassingsproces inspiratie voor nieuwe vondsten.

Het rommelige karakter van de meeste innovaties is uitgebreid belicht door Andrew Van de Ven c.s. Zij laten zien dat we deze wanorde in alle fasen van het innovatieproces kunnen tegenkomen. Zo hebben innovatiewetenschappers vaak stilzwijgend aangenomen dat innovaties gebaseerd worden op één idee; in de praktijk vindt herontdekking van oude ideeën plaats, herverwerping, aanpassing en stopzetting. Innovatie is anders dan men dacht vaak niet het werk van één initiatiefnemer, maar van vele, die soms wel en dan weer niet bij de innovatie betrokken zijn. Er is doorgaans niet een vast netwerk, maar een uitbreidend en inkrimpend innovatiesysteem. In de eenvoudige voorstelling van zaken verloopt het proces in een eenvoudige opeenvolging van fasen; in werkelijkheid verloopt dit met horten en stoten, er vinden afsplitsingen plaats en de verschillende lijnen komen weer bij elkaar of niet. En men zou kunnen denken dat het innovatieproces wordt afgesloten wanneer het doel is bereikt; maar het doel wordt soms nooit bereikt, doordat al doende het doel verschuift, *spin-offs* plaats vinden die een eigen leven gaan leiden, of de ontwikkeling van het nieuwe wordt geïntegreerd met oude technologieën of werkwijzen.

Een kenmerk van innovaties is dat tegenslagen regelmatig voorkomen doordat de oorspronkelijke plannen niet uitkomen of doordat er in de buitenwereld onvoorziene gebeur-

tenissen plaatsvinden. Vaak worden innovaties dan ook gekenmerkt door wat Geels en Raven hebben beschreven als de cyclus van hypes en teleurstellingen.



Figuur 1. Technologische hypes: de cyclus van overspannen verwachtingen

Van de Ven c.s. schetsen ook hoe ontwikkelaars met het rommelige karakter van hun werk omgaan. Als zij tegenslagen ondervinden, proberen ze hun geloofwaardigheid te behouden door aan te geven dat de problemen zijn opgelost, dat technische mijlpalen zijn bereikt of dat deadlines en budgets zijn gehaald. Tijdens vergaderingen proberen de ontwikkelaars negatieve informatie op een positieve manier te presenteren. Objectievere informatie is pas beschikbaar na een aantal jaren, wanneer pilot tests en consumentenonderzoeken worden uitgevoerd en de innovatie in productie wordt genomen en op de markt komt. In de loop van het ontwikkelingsproces worden nieuwe vaardigheden vereist. Het radicale denken van de vernieuwers moet toegroeien naar denken in kleine stappen. Het blikveld moet niet langer gericht zijn op het nieuwe, maar op het concrete. Als innovaties de toepassing naderen,

worden ze gestructureerder en stabiel, en minder verschillend van de rest van de organisatie.

Een innovatie op de markt brengen is een buitengewoon complex en risicovol proces, des te meer naarmate de innovatie meer radicaal is. Want hoe radicaler een innovatie, des te groter de onzekerheden: hebben de gebruikers wel behoefte aan deze technologie, kunnen zij hun gedrag er voldoende op aanpassen, welke aansprakelijkheidsrisico's zijn er bij introductie op de markt? Om de risico's te beheersen is vaak een complexe organisatie nodig, waarbij in vele gevallen ook overheden betrokken moeten worden. Maar overheden hebben heel andere prioriteiten, en samenwerking tussen bedrijven en overheden kan weer aanleiding geven tot nieuwe risico's.

Ook de weg van techniek naar gebruiker is vaak grillig. Het uiteindelijke gebruik kan sterk verschillen van het bedoelde gebruik. In de afgelopen eeuw komen productie en gebruik steeds verder uit elkaar te liggen. Hierdoor wordt de eindgebruiker een witte vlek die moet worden ingevuld en ontdekt, waarvoor zich een omvangrijk middenveld opwerpt. In dat middenveld wordt onderhandeld over vragen als kenmerken van de gebruiker, eisen die deze zou kunnen stellen, en maatschappelijke randvoorwaarden nodig om het betreffende product acceptabel te maken.

Innovatie als nieuwe combinaties De beroemdste van de innovatie-economen, Joseph A. Schumpeter, kenmerkte innovatie als 'creatieve destructie', waarbij oude producten, (productie)methoden en productiemiddelen worden vervangen door 'nieuwe combinaties'. Bij die nieuwe combinaties zijn vele mensen in verschillende rollen betrokken. Innovaties kunnen worden gezien als een

systeem van velerlei betrokkenen in uiteenlopende rollen. De samenhang van die rollen maakt dat we kunnen spreken van een innovatiesysteem waarvan wetenschap en technologie een onderdeel vormen, niet minder maar ook niet méér dan dat. Beter inzicht in de werking van het innovatiesysteem kan instrumenten opleveren om het innovatieproces te verbeteren.

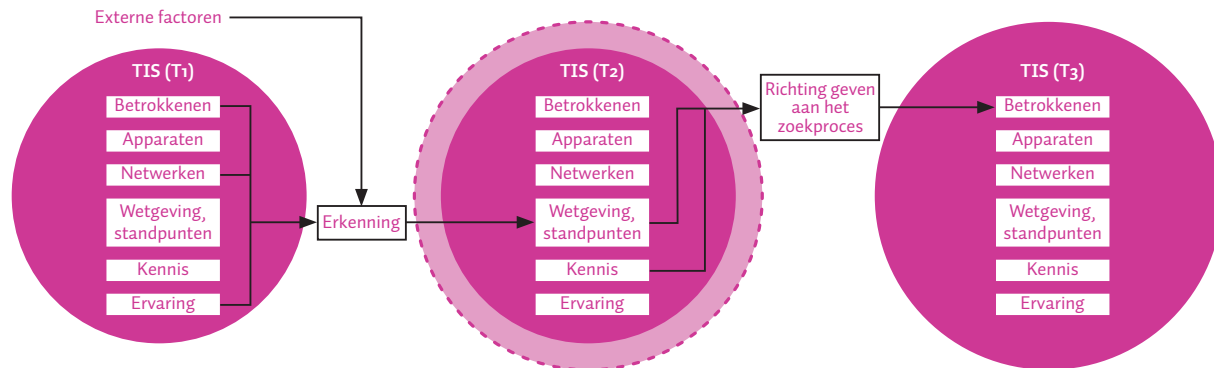
In één van de mogelijke visies op dit proces wordt een parallel getrokken met de evolutie. De evolutie wordt gekenmerkt door variatie en selectie. Variatie vergroot diversiteit, selectie verkleint diversiteit. De variatie in het innovatieproces kan betrekking hebben op technisch ontwerp, gebruikswijzen, financierings- en samenwerkingsvormen etc. Selectie kan plaats vinden door externe factoren: de markt of de maatschappelijke omgeving. Of door de organisatie zelf: door de strijd om schaarse middelen binnen het bedrijf. Er is dus het bestaande én het nieuwe, naast elkaar (co-existentie). Het nieuwe moet opboksen tegen het oude,

omdat de maatschappij daarop is ingesteld. En in zekere zin heeft het nieuwe ook belang heeft bij het voortbestaan daarvan. Het nieuwe komt niet vanzelf, maar vaak pas via een lange omweg van experimenten buiten de bestaande orde; pas daarna kan het bestaande worden omvergeworpen en vervangen.

Innovaties komen vaak in golven. Perioden van radicale onzekerheid waarbij meerdere technologieën naast elkaar staan worden gevolgd door stabilisatie met geleidelijke veranderingen. Stabilisatie kan met zich meebrengen dat een technologie tot standaard wordt verheven die in latere fasen knellend wordt. In de innovatiewetenschap heet dat een *lock-in*. De heersende technologie voldoet eigenlijk niet meer, maar de kosten om deze te veranderen zijn te hoog. Maar men kan hier ook positief tegenaan kijken: zo'n *lock-in* geeft het systeem een zekere taaierheid, immuniteit voor druk van buitenaf, kortom zekerheid. Uiteindelijk zal meestal toch de knellende standaard omver worden geworpen door een reeks radicale innovaties.

Figuur 2. Het technologische innovatiesysteem met zijn componenten

Bron: Bergek et al (2006)



De benadering van het technologische innovatiesysteem

De laatste jaren is een benadering opgekomen die innovatie beschrijft als relaties binnen een ‘technologiespecifiek innovatiesysteem’ ofwel TIS (Bergek c.s., Markard en Truffer). Zo’n systeem bestaat uit mensen (‘actoren’) met hun houdingen, kennis, ervaring en netwerken, verder de technologie in kwestie (‘artefacts’) en wet- en regelgeving. Zie figuur 2.

Binnen deze systemen worden acties ondernomen die ‘functies’ binnen het systeem vervullen. Dit model is door onderzoekers van de Universiteit Utrecht toegepast op transities. Suurs en Hekkert (2005) onderscheiden zeven functies:

Functie 1: Experimenteren door entrepreneurs

Functie 2: Kennisontwikkeling

Functie 3: Kennisdiffusie in netwerken

Functie 4: Richting geven aan het zoekproces

Functie 5: Creëren van markten

Functie 6: Mobiliseren van middelen

Functie 7: Creëren van legitimiteit

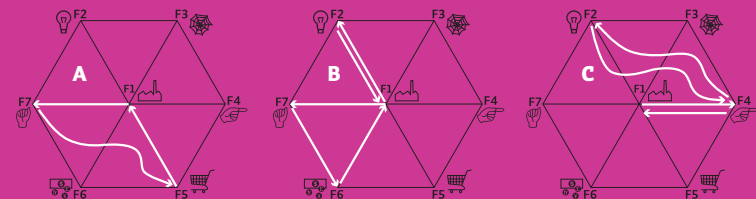
Motoren van innovatie (bron: Suurs en Hekkert, 2005)

Als verschillende activiteiten in het innovatiesysteem elkaar positief beïnvloeden, kan een zogenaamde zelfversterkende dynamiek ontstaan. Zo’n zelfversterkend proces noemen de auteurs een ‘innovatiemotor’. Hieronder zijn drie van zulke innovatiemotoren weergegeven:

Motor A is de lobby-markt-motor. Entrepreneurs [F1] lobbyen voor regels die de nieuwe technologie beter ondersteunen [F7]; dit leidt tot initiatieven van de overheid om de marktpositie van de technologie (tijdelijk) te versterken [F5], wat vervolgens opnieuw leidt tot toeneemende activiteiten door (nieuwe) entrepreneurs [F1].

Motor B is de lobby-middelen-motor. Deze motor is gebaseerd op de rol van geld. Entrepreneurs [F1] lobbyen om financiële ondersteuning [F6]; hiermee worden projecten gefinancierd [F1] waardoor nieuwe kennis ontwikkeld wordt [F2]; dit leidt vervolgens weer tot een toename van activiteiten onder de entrepreneurs [F1]; als vooruitgang wordt geboekt komt weer meer geld vrij [F6].

Motor C is de verwachtingenmotor. Maatschappelijke wensen worden door entrepreneurs [F1] vertaald in concrete mogelijke oplossingen [F4]. Dit zwengelt onderzoek en ontwikkeling aan met betrekking tot de nieuwe technologie [F2]. Positieve resultaten hebben tot gevolg dat verwachtingen worden gewekt [F4] waardoor entrepreneurs mogelijkheden zien om technologische kansen te benutten [F1]. Succes bij entrepreneurs bepaalt de richting voor verdere kennisontwikkeling [F4]. De verwachtingenmotor kan tot stilstand komen, en zelfs in omgekeerde richting gaan lopen bij tegenvallende resultaten. Het proces als geheel is echter niet onomkeerbaar.



Deze TIS-benadering is geen recept voor succes maar een diagnostisch hulpmiddel, waarmee processen in het innovatiesysteem kunnen worden geanalyseerd. Door zulke analyses wordt inzicht verkregen in de innerlijke kracht van een innovatiesysteem – en waar die kracht tekort schiet, kunnen maatregelen worden bedacht om de motor beter te laten werken.

Zulke analyses van technologische innovatiesystemen spitsen zich telkens toe op één technologie. Daarmee kunnen verbanden worden gelegd tussen slagen of mislukken van innovaties en het goed functioneren of haperen van functies binnen het systeem. De methodiek leent zich echter niet voor het maken van keuzes tussen verschillende technologieën binnen een transitie. Dat is beter mogelijk binnen het zogenaamde *multilevel*-perspectief dat in de transitietheorie wordt gebruikt.

Multilevel-perspectief en strategisch niche-management Volgens de transitietheorie wordt een vernieuwing ontwikkeld in een niche, van waaruit deze zich een plaats moet zien te veroveren binnen de heersende belangen (het regime). De transitietheorie gaat niet over de doorbraak van enkelvoudige technologieën (de zuinige lamp), maar over de overgang naar een andere maatschappij of ander maatschappelijk deelsysteem (overstappen van hout naar steenkool rond de 18e eeuw, overgang van zeilschepen naar stoomschepen in de 19e eeuw). Deze processen spelen zich af tegen de achtergrond van gevestigde werkwijzen en heersende normen en waarden (het landschap). Terwijl regimes nog wel gewijzigd kunnen worden bij voldoende druk van buiten af of uitholling van binnen uit, treden veranderingen in het landschap alleen geleidelijk op, en grotendeels buiten de greep van strategisch handelende besluitvormers. De transitietheorie gaat dus vooral over de verhouding tussen niche en regime, tegen de achtergrond van het zich zeer geleidelijk ontwikkelende landschap.

Voor een transitie is het nodig dat allerlei ontwikkelingen samenkomen en elkaar versterken. Bij stoomschepen was de ontwikkeling van een nieuw type stoommachine met hoger rendement erg belangrijk, maar het ging om meer dan dat: schepen moesten opnieuw ontworpen worden. Zo moest er een oplossing worden gevonden voor het probleem van trilling (wat werd gevonden in het gebruik van ijzer in plaats van hout), en er kwam een nieuw type roer en anker. De overgang ging gepaard met aanpassingen in het regime (bijvoorbeeld de opkomst van reders ten koste van handelsfirma's) tegen de achtergrond van veranderingen in het landschap (zoals massale emigratie in de 19e eeuw).

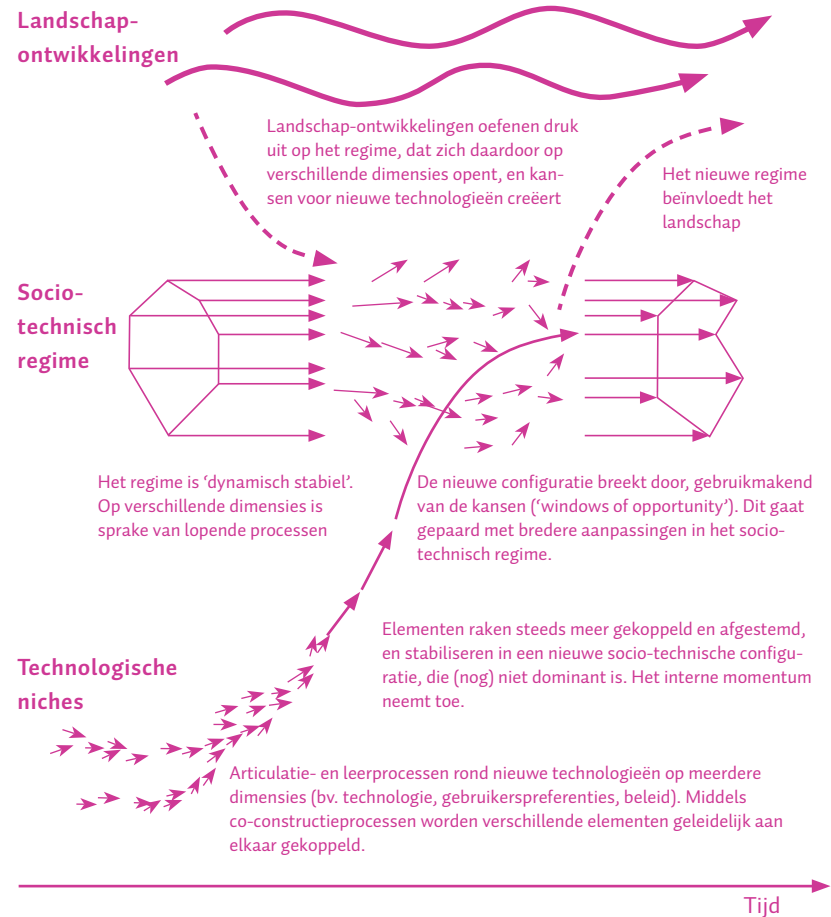
Transities zijn gelaagde, meervoudige processen. Zij kunnen alleen doorzetten doordat zich op meerdere niveaus onderling versterkende veranderingen voltrekken. Dat samenspel is altijd anders. Dit betekent dat elke transitie anders is. Schematisch kan de evolutie van een nieuwe technologie als in figuur 4 worden voorgesteld.

Transities zijn gelaagde, meervoudige processen. Zij kunnen alleen doorzetten doordat zich op meerdere niveaus onderling versterkende veranderingen voltrekken. Dat samenspel is altijd anders. Dit betekent dat elke transitie anders is. Schematisch kan de evolutie van een nieuwe technologie als in figuur 4 worden voorgesteld.

In dit schema worden nieuwe technologieën ontwikkeld in niches. Deze niches zijn niet helemaal afgeschermd van de omgeving, zij worden beïnvloed door ontwikkelingen in regime en landschap, bijvoorbeeld door wetgeving. Een voorbeeld is het *zero-emission vehicle*-mandaat dat de staat California in 1990 afkondigde. Volgens dit mandaat moest een steeds hoger percentage van de verkopen van auto-

fabrikanten nulemissie zijn: 2% in 1998, 5% in 2003 en 10% in 2010. Dit mandaat had een sterk effect op de verwachtingen rond elektrische voertuigen (Hoogma, 2000). Het belangrijkste punt van figuur 4 is dat innovaties pas uit niches breken als ze kunnen aanhaken bij lopende processen in regime en landschap. Dit gaat gepaard met aanpassingen en leerprocessen. Dat wordt weergegeven met de grotere dichtheid van pijltjes rond het moment van uitbreken. Geels en Kemp geven als voorbeeld de veranderingen in de luchtvaart door de doorbraak van straalvliegtuigen. De komst van straalvliegtuigen betekent dat landingsbanen moeten worden verlengd, dat start- en landingsprocedures worden aangepast (zodat de veel duurdere straalvliegtuigen zo kort mogelijk aan de grond blijven staan), dat nieuwe radarinstallaties worden geïnstalleerd om de navigatie vanuit de verkeerstoren te verbeteren (straalvliegtuigen vliegen sneller en moeten vanaf grotere afstand opgemerkt worden). Verder kunnen straalvliegtuigen meer passagiers tegen een lager tarief vervoeren waardoor vanaf 1960 het wereldwijde vliegtoerisme als nieuwe gebruikscategorie opkomt. Er ontstaat kortom een nieuw 'regime' in de luchtvaart, niet alleen gekenmerkt door een nieuwe technologie maar ook door nieuwe netwerken, nieuwe kennis, nieuwe praktijken en instituties, en nieuwe richtinggevende principes die ook doorwerken in de bedrijfsvoering. Kortom, er breekt een nieuw regime door in de burgerluchtvaart.

Lang niet alle technologieën breken vanuit hun niches door naar het regime. Voor zo'n doorbraak is vaak nodig dat het regime onder druk komt te staan: door uitputting van grondstoffen, veranderingen in productie- en consumptiepatroon, nieuwe internationale verhoudingen etc.



Figuur 4. Dynamisch multilevel-perspectief op transities (Geels en Kemp, 2000)

Het type doorbraak wordt ten eerste bepaald door de vraag of er goed ontwikkelde niches zijn op het moment dat een regime onder druk komt te staan, ten tweede door de vraag of het regime mee- of tegenwerkt, en ten derde door trends en speciale gebeurtenissen op het niveau van het landschap.

Deze inzichten worden toegepast in strategisch niche-management (SNM), bijvoorbeeld door Hoogma c.s. SNM is gericht op het managen van het proces van scheppen en ontwikkelen van niches voor nieuwe technologieën om daarmee verschuivingen in het regime te bewerkstelligen. Uit de literatuur en uit de bestudering van innovatieprojecten wordt duidelijk dat het blikveld bij praktijkproeven met nieuwe technologieën vaak beperkt is tot het testen van de nieuwe technologie. Dat zo'n nieuwe technologie, bijvoorbeeld in het verkeer en vervoer, ook kan leiden tot een andere blik op mobiliteit bij weggebruikers en tot verandering van het mobiliteitspatroon, blijft buiten het zicht. Ook noodzakelijke aanpassingen in organisatiestructuren als wegbeheer en klantrelatiebeheer komen vaak niet in beeld. De auteurs houden een pleidooi voor een breder soort proefprojecten die zij transitie-experimenten noemen; deze zijn niet alleen gericht op technologisch maar ook op sociaal leren. In transitie-experimenten komen bijvoorbeeld gebruikers beter aan bod; het experiment wordt flexibel opgezet zodat tijdens de proefperiode aanpassingen kunnen worden aangebracht waaruit ook nog lessen kunnen worden getrokken ('leren van de tweede orde'); er worden bewust pogingen gedaan om de buitenwereld bij het experiment te betrekken zodat het zich bij succes beter kan verspreiden.

Niet alle nieuwe technologieën lenen zich voor SNM. Zij moeten bijvoorbeeld voldoende ontwikkelingspotentieel hebben in termen van kostenreductie en volumegroei. SNM is geen recept voor succes maar een middel om potentiële mogelijke winnaars te identificeren en testen. De auteurs wijzen er vooral op dat nieuwe technologieën het beste in de praktijk getest kunnen worden met betrokkenheid van van toekomstige gebruikers en andere belanghebbenden. Weloverwogen proefprojecten, gericht op sociaal leren, vormen daarom een nuttig hulpmiddel bij het zoeken en selecteren van wegen in het transitieproces.

Verwevenheid van wetenschap, technologie en samenleving In de hele discussie is er een sterke focus op technologie. Dat is enerzijds terecht omdat technologische verandering een wezenlijk onderdeel vormt van transities. Maar technologie is ook mensenwerk, en zijn toepassing en ontwikkeling gebeurt in een economische en maatschappelijke omgeving. Veranderingen in olieprijs en isolatienormen hebben invloed op onderzoek, onderwijs en investeringen, en daarmee invloed op technologische ontwikkeling die op haar beurt weer invloed heeft op olieprijs en energiebeleid. Er is sprake van een veelheid aan onderlinge beïnvloedingen, kortom van onderlinge verwevenheid van wetenschap, technologie en samenleving, waarin het *multilevel*-perspectief inzicht probeert te verschaffen. Deze onderlinge verwevenheid of co-evolutie probeert men steeds dieper te doorgronden. De effecten van technologische ontwikkeling worden onderzocht ten dienste van volgende stappen in de ontwikkeling, zoals het idee van een kennismaatschappij al aangeeft. Waar mogelijk probeert de maatschappij bijvoorbeeld met wetgeving tenminste

Vijf manieren waarop nichetechnologieën invloed kunnen hebben op het regime

(bron: Geels en Schot, 2007)

Reproductie Het regime is te sterk of de niche is te zwak – de nichetechnologie breekt niet door en het regime handhaaft zich. Een voorbeeld is het regime van automobilititeit dat zich weet te handhaven ondanks congestieproblemen en de vraag naar schonere en veiliger vormen van vervoer. Mensen zijn eigenaar van een auto, of leasen hem, ze laten zich niet vervoeren, en delen hem ook niet met anderen (dat hoeft ook niet want iedereen heeft een auto). Mobiliteitsdiensten, die het alternatief zouden vormen, breken niet door.

Transformatie Bij dit patroon worden de partijen van het regime niet verslagen, ze nemen de vernieuwing over. Een voorbeeld hiervan is dat de destijds al bestaande gemeentelijke publieke werken de aanleg van riolering op zich namen. Drijvende krachten waren nieuwe medische kennis over het belang van hygiëne, reinheid als nieuwe culturele waarde en de opkomst van kunstmest (geproduceerd uit stikstof en fosfaten) waardoor de behoefte aan natuurlijke mest afnam.

Verval en wederopbouw Het oude regime stort ineen en geeft ruimte aan de opbouw van een geheel nieuw regime. Dit trad op bij het regime van paardentram en koetsen. De ontlasting van paarden en de behoefte aan beter en betaalbaar vervoer creëerden ruimte voor alternatieven zoals de elektrische tram, de

fiets en auto's. Auto's wonnen het van de elektrische tram, de koets en later (vanaf de jaren '60) ook van de fiets en de bus.

Substitutie De nieuwe technologie blijkt zó succesvol in een aantal deelmarkten, dat deze tenslotte de heersende technologie verdringt. Een voorbeeld van substitutie is de overgang van zeilschepen naar stoomboten. Deze verliep via allerlei deelmarkten: van militaire en andere speciale toepassingen (waaronder het slepen van zeilboten in havens), naar passagiersvaart tot goederenvervoer. Er was strijd (competitie) tussen de nichetechnologie en de regimetehnologie. Deze werd uiteindelijk beslecht in het voordeel van de nichetechnologie doordat deze grote verbeteringen in het product (scheepvaart) mogelijk maakte en tegelijkertijd werd ondersteund door veranderingen in het landschap.

Reconfiguratie De niche-innovaties versterken het regime. Nicheontwikkelingen worden geabsorbeerd in het regime en worden daar dominant. Een voorbeeld van reconfiguratie is de overgang van traditionele handwerkproductie naar industriële massaproductie met als belangrijke elementen: gestandaardiseerde componenten, continue productie, elektrische aandrijving en ver doorgevoerde arbeidsdeling. Bij reconfiguratie neemt het regime de nieuwe technologie niet alleen over, maar transformeert het zichzelf ook in dit proces.

gelijke tred te houden met de wetenschappelijke ontwikkeling, en tegelijkertijd proberen wetenschapsmensen en technologen zo goed mogelijk te doordenken wat de gevolgen van nieuwe technologieën zullen zijn. Deze *Technology Assessment* (TA) is al vijftig jaar oud en nog steeds springlevend. De laatste tijd wordt bijvoorbeeld de noodzaak gevoeld, beter te kijken naar de gevolgen van nanotechnologie. Maar ook de meer op economische ontwikkeling gerichte *roadmaps* vormen een duidelijk teken van het bewustzijn van co-evolutie van wetenschap, technologie en samenleving.

Gewapend met enige kennis van transitietheorie en innovatiewetenschap kijken we nu naar de bijdrage van het Stimuleringsprogramma Energieonderzoek aan duiding en hanteerbaar maken van het maatschappelijke energieprobleem.



Ineke Meijer promoveerde op 13 juni 2008. Haar promotieonderzoek was een samenwerking tussen de Universiteit Utrecht en de Technische Universiteit Delft. Ze werkte daarna tijdelijk als post-doc aan de Technische Universiteit Delft en is sinds 1 oktober 2008 als adviseur Infrastructuur, Gebiedsontwikkeling en Milieu in dienst bij AT Osborne te Utrecht.

Ineke Meijer

Onzekerheid rond nieuwe energietechnologie: barrière én motor

53

‘Als ondernemers iets nieuws op de markt introduceren, brengt dat voor hen altijd onzekerheid met zich mee. Dit geldt zeker ook voor de ontwikkeling en implementatie van nieuwe energietechnologieën. Voor mijn proefschrift heb ik verschillende bronnen van onzekerheid in beeld gebracht: technologische en politieke onzekerheid, onzekerheid rond het gedrag van concurrenten, consumenten en toeleveranciers en onzekerheid rond ‘resources’. Bij dat laatste kun je denken aan grondstoffen, zoals biomassa, maar ook aan kennis en geld. Ook heb ik onderzocht hoe verschillende actoren met die onzekerheden omgaan. Dit heb ik gedaan voor vier innovatieve energietechnologieën die zich in verschillende stadia van ontwikkeling bevinden.

De eerste twee waren micro-WKK en biobrandstoffen voor auto's. Dit zijn twee nieuwe energietechnologieën die nog niet echt zijn doorgedrongen in de markt. Hier bleken vooral technologische en de politieke onzekerheid de ondernemers parten te spelen. Deze onzekerheden kunnen tot vertraging leiden, doordat marktpartijen doorgaans pas actie willen ondernemen als de politieke onzekerheid is afgenomen.

‘Overheden wachten het liefst totdat de technologische onzekerheid is verminderd, voordat zij bereid zijn overheidssteun te bieden voor een bepaalde technologie.’

Maar overheden wachten het liefst totdat de technologische onzekerheid is verminderd, voordat zij bereid zijn overheidssteun te bieden voor een bepaalde technologie. Bij innovaties in deze fase moet daarom voorkomen worden dat overheid en marktpartijen op elkaar gaan zitten wachten. Dat kan door al vroeg met alle partijen om de tafel te gaan zitten en te bespreken onder welke voorwaarden ondernemers bijvoorbeeld willen gaan investeren in nieuwe technologie.

Bij de derde case – biomassavergassing – was sprake van een opeenstapeling van onzekerheden. Verschillende onzekerheidsbronnen versterkten elkaar, waardoor zogenoemde ‘negatieve interactiepatronen’ ontstonden. Zo leidden technologische en politieke onzekerheden regelmatig tot vertraging en een gebrek aan kennis en geld. De onzekerheden werden zo groot, dat ondernemers er niet in slaagden deze het hoofd te bieden en hun motivatie om hun activiteiten voort te zetten afnam. Hierdoor zijn veel projecten gestopt. Om een technologie door deze lastige fase te helpen, is het nodig om een nichemarkt te creëren, waarin de nieuwe technologie zich kan ontwikkelen. De overheid kan hieraan bijdragen door een selecte groep koplopers te steunen bij hun pogingen om de nieuwe technologie te implementeren. Denk hierbij bijvoorbeeld aan soepel beleid ten aanzien van vergunningen en emissie-eisen, het beschikbaar stellen van extra durfkapitaal of het creëren van een gunstig investeringsklimaat voor private investeerders.

De vierde casus die ik heb bestudeerd is biomassaverbranding. Deze technologie heeft zich inmiddels al bewezen op de buitenlandse markt. Hier is sprake van positieve interactiepatronen en werken de onzekerheden niet verlamdend. In mijn onderzoek geef ik aan hoe de overheid nieuwe technologieën kan stimuleren. Een paradox die ik zie, is dat overheidsbeleid zekerheid moet bieden, maar niet de prikkels tot ondernemerschap dient weg te nemen. Daarom moet overheidssteun ook altijd tijdelijk zijn. En verder lijkt het mij leerzaam om nog eens goed uit te zoeken welke barrières private investeerders ervaren. Je hoort regelmatig dat er in Nederland minder durfkapitaal beschikbaar is voor duurzame energietechnologieën dan in het buitenland. Ik vraag mij af waarom. Zoveel slechter kan het hier toch niet zijn?’

Transities en transitiepaden, op weg naar een duurzaam energiesysteem

In dit deelprogramma onder leiding van Geert Verbong (TU Eindhoven) werken onderzoekers van de technische universiteiten uit Eindhoven en Twente samen. Hoofdvragen zijn wat kansen en belemmeringen zijn in de transitie naar een duurzame energievoorziening, hoe kennis hierover kan worden gebruikt voor het construeren van socio-technische scenario's en wat de gevolgen voor beleid hiervan zijn. Het deelprogramma richt zich vooral op elektriciteitssystemen en biobrandstoffen en wordt in 2009 afgerond.

3.2 Netwerken van de toekomst

"Iedereen die aangesloten is op een elektriciteitsnetwerk, kan in de toekomst pakketjes stroom gaan up- en downloaden naar of van dat net. Althans, dat is één van de mogelijke vormen waarin het elektriciteitsnet zich zal transformeren." Met deze uitdagende zin begint het verslag van de werkzaamheden van Jos Meeuwsen (TUE, afgerond in 2007) op de site van NWO. Meeuwsen ontwikkelde drie scenario's voor de Nederlandse elektriciteitsvoorziening in 2050 en laat zien dat er grote verschillen tussen zitten, vooral op het gebied van de infrastructuur.

In alle drie scenario's van Meeuwsen is in 2050 50% van de elektriciteitsvoorziening gebaseerd op duurzame bronnen: zon, wind en biomassa. De scenario's verschillen in de mate van centralisatie en zelfvoorziening.

Scenario 1 heet: Naar supernetten. Uitgangspunt is dat de gemiddelde opwekkenheid veel groter wordt dan nu. Deze centrales worden verbonden door een Europees koppelnet op zeer hoge spanning. Om 50% van de elektriciteit duurzaam te maken, dient het zwaar- teput te liggen op grootschalige importen van biomassa, die 70% van duurzaam in dit scenario voor hun rekening nemen. Ook grote windparken op de Noordzee leveren een aanzienlijke bijdrage.

In scenario 2, 'Naar gemengde netten', blijven er wel grote elektriciteitscentrales die verbonden zijn door een hoogspanningsnet, maar er zijn ook veel kleinere eenheden die

- > *Er zijn globaal drie uiteenlopende scenario's richting nieuwe elektriciteitsnetten denkbaar: supernetten, gemengde netwerken en lokale netwerken*
- > *Elektriciteitsnetwerken blijven altijd noodzakelijk, maar zullen er hoe dan ook anders uitzien dan nu*
- > *De nieuwe netten vereisen vernieuwing op drie niveaus: netwerkintegratie, systeemintegratie en nieuwe technologieën*
- > *Als het mogelijk wordt om elektriciteit in grote hoeveelheden centraal en/of decentraal op te slaan, worden een intelligent netwerk à la internet denkbaar (het up- en downloaden van pakketjes elektriciteit)*

elektriciteit leveren aan het net bij lagere spanning. Hier komt 42% van duurzaam uit windparken op de Noordzee en 32% uit grote biomassacentrales. Zonnepanelen en lokale biomassa leveren aandelen van elk ca. 10%.

In scenario 3 'Naar lokale netten' wordt bijna de helft van de duurzame elektriciteit geleverd door zonnepanelen, kleine biomassacentrales en windturbines op land. Toch wordt nog meer dan de helft van duurzaam geleverd door windparken op de Noordzee.

Eén van de resultaten van deze studie is dat elektriciteitsnetwerken noodzakelijk blijven, niet alleen vanwege de voordelen van hoge betrouwbaarheid en kleinere reservecapaciteit, maar ook vanwege betere mogelijkheden van afstemming van vraag en aanbod en de voordelen van één grote Europese elektriciteitsmarkt.

Maar de netten van de toekomst zullen anders zijn dan die van nu, aldus Meeuwssen. Vooral de midden- en laagspanningsnetten zullen sterk gaan veranderen en steeds meer mogelijkheden toebedeeld krijgen die nu zijn voorbehouden aan de hoogspanningsnetten. Een steeds groter deel van handhaving van de stabiliteit van het net en afstemming van vraag en aanbod zal waarschijnlijk gaan plaats vinden bij lagere spanning, des te meer nodig naarmate meer kleine opwekeenheden aan het net verbonden zijn. De nieuwe netten vereisen vernieuwing op drie niveaus: netwerkindegratie, systeemintegratie en nieuwe technologieën.

Netwerkindegratie vereist zwaardere netten, die meer dan vroeger hun zwaartepunt zullen hebben bij midden- en laagspanning. Voor betere systeemintegratie is het nodig dat er meer mogelijkheden en mechanismen tot handhaving van de stabiliteit van het net en voor afstemming van vraag en aanbod worden geschapen. In het uiterste geval is een omkering nodig van de manier waarop nu deze afstemming plaats vindt: nu volgt de opwekking de elektriciteitsvraag, in de toekomst zal de elektriciteitsvraag zich wellicht moeten richten naar de beschikbare capaciteit. En om dit alles mogelijk te maken zijn nieuwe technologieën nodig. Opwekking en gebruik van elektriciteit, ICT en vermogenslektronica zullen steeds meer geïntegreerd raken, met als resultaat een "efficiënt, flexibel, dynamisch, intelligent en zichzelf controlerend netwerk". Het is dit toekomstige intelligente netwerk, waarin iedereen met aansluiting op het net pakketjes elektriciteit kan gaan up- en downloaden van het net. Elektriciteitsvoorziening die werkt als inter-net. Een belangrijke voorwaarde is wel dat het technisch mogelijk wordt om elektriciteit

in grote hoeveelheden centraal en/of decentraal op te slaan.

Door ordening en systematisering van verspreide kennis laat Meeuwsen zien dat een nieuw soort elektriciteitsnet mogelijk is, wat daarvan de voordelen (en beperkingen) zijn, en onder welke voorwaarden dat net werkelijkheid kan worden.

3.3 Energiesystemen in transitie, een multi-regime analyse van het energiesysteem 1970-2000

Rob Raven (TUE, afgerond in 2007) bestudeerde in dit project veranderingen in en om de Nederlandse elektriciteitsvoorziening. Eén deelstudie gaat over de redenen waarom, en de manier waarop elektriciteitsbedrijven zijn begonnen met het gebruik van biomassa voor de productie van stroom. Er was een tijd dat ‘secundaire biomassaastromen’ gewoon afval heetten, en het centrale probleem niet was hoe deze stromen zo nuttig mogelijk in te zetten, maar hoe ze zo goed mogelijk kwijt te raken. Pas in de jaren '80 werden ze herbenoemd tot biomassa, en dit opende de mogelijkheid afval tot op zekere hoogte te herdefiniëren tot grondstof voor ‘groene’ elektriciteit. In termen van het jargon van de transitiewetenschap: het heersende regime van de elektriciteitsproductie ontfermde zich over de inzet van biomassa als veelbelovende technologie.

Maar intussen werd geknaagd aan de stabiliteit van dit heersende regime. De succesvolle liberalisatie van de telecommarkten deed smaken naar méér en de elektriciteitsbedrijven, tot op dat moment een toonbeeld van geslotenheid, moesten eraan geloven en commercieel worden. De sector werd bovendien onder druk gezet om te gaan voldoen aan doelstellingen voor het terugdringen van de CO₂-uitstoot. Terwijl de commerciële druk wees in de richting van meer gebruik van steenkool, moest vanwege politieke druk het steenkoolgebruik worden beperkt; vervanging van steenkool door biomassa (technisch goed uitvoerbaar) was hiervoor een interessant middel. Bovendien kwamen er ook commerciële kansen voor biomassa door groeiende belangstelling voor groene stroom. Raven analyseert dat de afnemende stabiliteit van het heersende regime de kansen voor biomassa vergrootte, omdat deze nu werd gezien als probleemoplosser.

Maar niet alleen binnen het ‘regime’ elektriciteitsproductie nam de stabiliteit af – ook

> *Beleidsmakers die een nieuwe ontwikkeling willen stimuleren, kunnen kiezen of ze dit willen doen door destabilisatie van het heersende regime, of door ondersteuning en stabilisering van de veelbelovende niche*

> *Veranderingen in verschillende regimes kunnen op elkaar betrokken zijn en zo een belangrijke drijvende kracht achter veranderingen vormen*

binnen de ‘niche’ biomassa. Ten eerste bleek de technologie niet zo rechttoe rechtaan toepasbaar als eerst leek. Hoewel *co-firing* (verbranding samen met steenkool) succes had, bleken bij vergassing van biomassa veel problemen op te treden, waardoor deze technologie werd terugverwezen naar het ontwikkelingsstadium. En bovendien keerde de milieubeweging zich na enige tijd tegen het gebruik van afval voor groene stroom, vooral doordat de emissienormen voor elektriciteitsproductie ruimer waren dan de zeer strikte normen voor afvalverbranding (wat in het begin juist het gebruik van biomassa had bevorderd). Raven ziet in zijn onderscheid van regime- en nichestabiliteit een potentieel beleidsinstrument: beleidsmakers die een nieuwe ontwikkeling willen stimuleren, kunnen gaan kiezen of ze dit willen doen door destabilisatie van het heersende regime, of door ondersteuning en stabilisering van de veelbelovende niche. Maar hij geeft toe dat deze gedachte verder moet worden uitgewerkt.

In een tweede deelonderzoek kijkt Raven naar de interactie tussen de afval- en elektriciteitsregimes in de periode 1970-2000: van totaal gescheiden naar sterk geïntegreerd. Dit als reactie op maatschappelijke veranderingen (veranderingen in het landschap, in de terminologie van de energietransitie) zoals oliecrisis, groeiend milieubewustzijn en Europese integratie, ‘vertaald’ door overheidsingrijpen bijvoorbeeld in de vorm van emissienormen. De veranderingen in beide regimes gaan samen op, zeker naarmate de dwarsverbindingen steeds sterker worden, en hebben betrekking op alle aspecten van de regimes: technisch, institutioneel en sociaal. De ministeries van EZ en VROM spelen een belangrijke rol door het scheppen van dwarsverbanden: gemeenschappelijke onderzoekprogramma’s, definities, regelgeving en emissienormen.

Raven concludeert dat veranderingen in verschillende regimes op elkaar betrokken kunnen zijn en dat dit een belangrijke drijvende kracht achter veranderingen kan vormen. Dit is zowel interessant voor de wetenschappelijke onderzoeker (die deze veranderingen wil begrijpen) als voor de beleidsmaker (die deze wil beïnvloeden). Raven trekt de pessimistische conclusie dat zulk spelen op meerdere borden tegelijk wel eens een te grote opgave voor het beleid zou kunnen zijn. Maar dat pessimisme is ongegrond: beleidsmakers doen niet anders. Het aloude beleidsspel van geven en nemen kan zelfs veel betrokkenen omvatten en meerdere ‘regimes’. Daarom zal de conclusie dat veranderingen in regime X kunnen worden teweeggebracht door verandering van krachten in regime Y, beleidsmakers waarschijnlijk eerder uitdagen dan ontmoedigen!

3.4 Sturing van biobrandstoffen

In dit project doet Johanna Ulmanen (TUE, bijna afgerond) onderzoek naar beleidsmiddelen om de invoering van biobrandstoffen te bespoedigen. Aanleiding voor het onderzoek is de paradox dat enerzijds binnen de EU biobrandstoffen bij de start van het onderzoek worden gezien als het meest veelbelovende duurzame alternatief, maar dat de invoering daarvan, althans in Nederland, moeizaam verloopt.

In dit onderzoek wordt de technologie van biobrandstoffen beschouwd als een niche. De technologie probeert van daaruit door te dringen in het regime, gedomineerd door fossiele brandstoffen. Om zich te ontwikkelen heeft de technologie een beschermde omgeving (nichemarkt) nodig. Over de rol en invloed van deze bescherming op de ontwikkeling van een technologie als biobrandstoffen is nog onvoldoende bekend. De centrale vraagstelling binnen dit onderzoek is dan ook: wat is bescherming (protectie) en welke rol speelt protectie in dit geval? Deze vraag wordt bestudeerd door de ervaringen in Nederland te vergelijken met die in Zweden, waar biobrandstoffen veel succesvoller zijn.

Bescherming kan inhouden dat overheid of industrie tijdelijk financiële prikkels geven om investeerders aan te trekken (zoals subsidies, R&D-fondsen en belastingvrijstellingen).

In het onderzoek wordt echter vooral gekeken naar twee andere vormen van protectie.

De eerste heeft te maken met verwachtingen: de steun die voortkomt uit hoge verwachtingen van biobrandstoffen, en die uiteindelijk vorm krijgt in nieuwe regels en structuren.

De tweede vorm is geografische protectie, die regionaal bepaald is en voortkomt uit een overvloed aan grondstoffen, kennis en/of infrastructuur in de betreffende regio.

Bestudering van de Zweedse en Nederlandse ontwikkeling van biobrandstoffen toont aan dat alle drie de vormen van protectie nodig zijn voor een succesvolle nieuwe technologische ontwikkeling. Bovendien blijkt dat hoge verwachtingen aan het begin staan van succesvolle protectie (de verwachtingenmotor van Suurs en Hekkert). Pas als er een ondersteunende coalitie is gevormd en het onderwerp ruim wordt bediscussieerd, worden financiële middelen en lokale bronnen belangrijk. Tot slot blijkt uit het onderzoek dat succesvolle protectie niet tijdelijk is maar een continu proces dat wordt onderhouden door ontwikkeling en toepassing van nieuwe technologieën. De protectie verandert daarbij geleidelijk van karakter: van (steeds waar te maken) verwachtingen en financiële hulp naar ondersteuning door wetten en regels.

> *De biobrandstoffentechnologie heeft een beschermde omgeving (nichemarkt) nodig*

> *Bescherming kan bestaan uit tijdelijke financiële prikkels om investeerders aan te trekken*

> *Bescherming kan ook bestaan uit de steun die voortkomt uit hoge verwachtingen van biobrandstoffen en die uiteindelijk vorm krijgt in nieuwe regels en structuren*

> *Nog een beschermingsvorm is geografische protectie, die regionaal bepaald is en voortkomt uit een overvloed aan grondstoffen, kennis en/of infrastructuur in de betreffende regio*

> *Alle drie de beschermingsvormen zijn nodig, hangen met elkaar samen en volgen elkaar in zekere zin op in de tijd*

Eisen aan socio-technische scenario's:

- 1 Ze moeten de technologie laten zien in zijn inbedding in maatschappelijke structuren: de betrokken partijen, hun doelen, strategieën en hulpmiddelen etc. Wanneer een technologie wordt aanvaard moet uit het scenario duidelijk worden hoe dit voortkomt uit de zich ontwikkelende relatie van betrokken partijen.
- 2 De lotgevallen van innovaties in hun niches moeten duidelijk worden. Wat zijn de kansen, wat de problemen? Op welke manier proberen betrokkenen de problemen te overwinnen? Onder welke voorwaarden breken technologieën door vanuit de niche naar het regime?
- 3 Het moet duidelijk worden (omdat transitie doorgaans geen lineair proces is) hoe niches elkaar versterken of verzwakken, of zelfs samenkomen in nieuwe 'hybride' technologieën.
- 4 Wanneer technologieën zich ontwikkelen in achtereenvolgende niches voordat ze uiteindelijk doorbreken, moet dit worden belicht.

Johanna Ulmanen beveelt beleidsmakers aan, zich niet alleen te richten op financiële bescherming. De bescherming die voortkomt uit het scheppen van positieve verwachtingen en legitimiteit, en uit het benutten van lokale hulpbronnen, is ook van belang.

3.5 Socio-technische scenario's: ontwikkeling van een nieuw instrument om de overgang naar een duurzaam elektriciteitssysteem te onderzoeken en stimuleren

Peter Hofman en Boelie Elzen (UT, afgerond in 2007) keken in dit postdoconderzoek naar de elektriciteitsvoorziening met het middel van 'socio-technische scenario's' en sluiten daarbij deels aan op de drie toekomstmogelijkheden van Jos Meeuwssen. Kunnen transities worden uitgelokt of gestimuleerd, zo vragen de onderzoekers zich af. In de strikte zin is het antwoord neen, gegeven de complexe aard van transities. Het is echter wel mogelijk te trachten de ontwikkelingen gedurende langere tijd in meer duurzame richtingen te stimuleren. Dit vereist een visie op die richtingen. Hofman en Elzen ontwikkelen om die reden scenario's (uitgewerkte toekomstbeelden die richtinggevend kunnen zijn), en wel in het bijzonder socio-technische scenario's: toekomstbeelden waarin maatschappelijke en technologische veranderingen op elkaar betrokken zijn en in samenhang worden beschouwd.

Hofman en Elzen geven een overzicht van bestaande scenario's en scenariomethoden, en concluderen dat slechts een aantal van de vele energiescenario's recht doet aan de complexiteit van technologische verandering, met belichting van de strategieën van betrokkenen, hun onderlinge beïnvloeding, en optredende leerprocessen. De meeste voorspellingen en verwachtingen gaan te veel uit van een verrassingvrije toekomst, of besteden te weinig aandacht aan de rol van sociale processen in de ontwikkeling, zoals het optreden van institutionele veranderingen en het trekken van lessen uit ervaringen.

De richtinggevende scenario's die kunnen helpen bij het sturen in de transitie vinden de onderzoekers niet in de literatuur, en ze maken daarom eigen scenario's. Deze moeten meer recht doen aan het 'haasje over'-spel tussen technologische vernieuwing en maat-

schappelijke verandering (in termen van structuren en gedrag). Het doorbreken van een nieuwe technologie houdt niet alleen een kwantitatief proces in (veroveren van marktaandeel), maar ook een kwalitatief proces (aanpassing van de technologie aan de maatschappelijke omgeving en omgekeerd). De eigen socio-technische scenario's moeten deze processen, speciaal voor de toekomstige elektriciteitsvoorziening, beter duidelijk maken. De methodologie van socio-technische scenario's is gebaseerd op het volgen van de gebeurtenissen op de drie niveaus van de transitietheorie: landschap, regime en niche, en het onderzoeken van de wisselwerking tussen deze. In tegenstelling tot veel andere scenario's zijn er hier géén drijvende krachten, en het staat de onderzoeker vrij om 'in te zoomen' op de niche of 'uit te zoomen' naar het landschap, al naar gelang de vereisten van de beschreven situatie.

Hofman en Elzen beschrijven hun scenariomethodiek in zeven stappen, waarvan de laatste ons hier in het bijzonder interesseert: het trekken van lessen voor het beleid (van overheid en bedrijven). Elke scenariostudie levert tenminste twee contrasterende verhalen op van mogelijke ontwikkelingsrichtingen. Stap 7 van de scenariomethodiek vereist nu dat de scenariobouwers afstand nemen van hun product en dat zij zich vragen stellen zoals:

- Hoe ziet het regime er voor elk scenario uit aan het eind van de ontwikkeling?
- Wat waren de belangrijkste paden om daar te geraken?
- Wat waren de belangrijkste krachten die deze ontwikkeling stuurden?

Door dit type reflectie kunnen veelbelovende combinaties van technologische en maatschappelijke veranderingen worden ontdekt. Het formuleren van beleidsaanbevelingen is daarop weer een vervolg. De onderzoekers waarschuwen dat wetenschapsmensen zich van de valkuil van tautologische redeneringen bewust moeten zijn: wanneer uiteindelijk de vooronderstellingen van het scenario de uitkomst en de beleidsaanbevelingen bepalen. De meest waardevolle resultaten van scenariostudies bestaan uit het verhogen van de gevoeligheid voor veelbelovende mogelijke ontwikkelingen.

In hun uitwerking voor de elektriciteitssector verbinden Hofman en Elzen de drie scenario's voor de elektriciteitsvoorziening van Meeuwsen met drie transitiepaden uit de typologie van Geels en Schot:

- Reconfiguratie: Naar een Europees elektriciteitssysteem; de toekomstige elektriciteitsvoorziening is top-down georganiseerd op basis van grote centrales en met een sterke rol voor Europese regelgeving

> Om ontwikkelingen gedurende langere tijd in meer duurzame richtingen te stimuleren, hebben we visies op die richtingen nodig op basis van socio-technische scenario's

> Socio-technische scenario's zijn toekomstbeelden waarin maatschappelijke en technologische veranderingen op elkaar betrokken zijn en in samenhang worden beschouwd

> In zeven stappen zijn deze scenario's te maken, bijvoorbeeld voor de elektriciteitsvoorziening waarbij een relatie gelegd kan worden met de drie scenario's over netwerken van Meeuwsen

> De toekomstige richting zal in belangrijke mate worden bepaald door spelregels rond de infrastructuur en de ruimte die nieuwe spelers krijgen om hun oplossingen te ontwikkelen voor de beheerproblemen van het elektriciteitsnet

> Uit socio-technische scenario's wordt duidelijk welke maatschappelijke krachten vereist zijn om mogelijke ontwikkelingen van de grond te laten komen

- Transformatie: Naar een hybride systeem; de toekomstige elektriciteitsvoorziening heeft zowel centrale als decentrale elementen en wordt bepaald door commerciële bedrijven met hun strategieën
- Verval en wederopbouw: Naar lokale voorziening; de kern van de toekomstige elektriciteitsvoorziening wordt gevormd door een veelheid aan lokale voorzieningen (klimaat-neutrale woonwijken, benutting van lokale biomassa etc.)

Rond elk van deze scenario's bouwen de onderzoekers een verhaallijn, waarmee zij aan de technische benadering van Meeuwsen een voor elk van de drie scenario's verschillende maatschappelijke ontwikkeling verbinden. Alle drie scenario's zijn voorstelbaar vanuit de huidige voorziening, omdat momenteel alle benodigde technologieën beschikbaar of in ontwikkeling zijn, en de voor hun succes benodigde maatschappelijke krachten kunnen worden aangewezen. Het eerste scenario veronderstelt dat voorzieningszekerheid en klimaatbeleid zó belangrijk worden in het Europese energiebeleid dat de lidstaten daarvoor een belangrijk deel van hun zeggingsmacht over de elektriciteitsvoorziening aan het Europese niveau overdragen. In het tweede scenario blijven commerciële bedrijven aan de touwtjes trekken, echter geleid door krachtige regelgeving over de uitstoot van broeikasgassen (leunend op afvang en opslag van CO₂), en over biomassa. Het derde scenario houdt de opkomst in van nieuwe spelers op het terrein van de elektriciteitsvoorziening, zoals de ICT sector, woningcorporaties en energieservicebedrijven, die kampioenen worden van innovaties als de HRe-ketel.

In alle drie scenario's moeten centrale vragen bij de elektriciteitsvoorziening worden opgelost: stabiliteit van het net, verevening van overschotten en tekorten, benuttingsgraad van opwekeenheden en infrastructuur, controlemechanismen. Technische oplossingen hiervoor kunnen sterk verschillen tussen de scenario's. Overheidsbeleid heeft een belangrijke invloed op de ontwikkelingsrichting, door factoren als capaciteit van grensoverschrijdende koppelnetten, kosten van netaansluiting en van transport van elektriciteit, beheerregimes van het koppelnet, normen voor gebruik van biomassa en afvang en opslag van CO₂, voorrangsregels voor soorten elektriciteit, en beleidsinstrumenten voor het halen van klimaatdoelstellingen.

Een centrale rol is weggelegd voor de opbouw en beheersregels van de infrastructuur, zoals ook Meeuwsen liet zien. De meest veelbelovende nieuwe technologieën passen niet

goed binnen een gecentraliseerd elektriciteitssysteem. De toekomstige richting zal dus in belangrijke mate worden bepaald door spelregels rond de infrastructuur en de ruimte die nieuwe spelers krijgen om hun oplossingen te ontwikkelen voor de beheerproblemen van het elektriciteitsnet.

Nog meer dan Meeuwse laten Hofman en Elzen met de socio-technische scenario's zien dat onze huidige keuzes de toekomst bepalen. Zij werken de mogelijke ontwikkelingsrichtingen uit, laten zien welke maatschappelijke krachten vereist zijn om elk van de mogelijke ontwikkelingen van de grond te laten komen, en doen daarmee al het voorwerk dat nodig is om tot verantwoorde besluiten te komen. Het is natuurlijk heel goed mogelijk dat besluitvormers niet een in vele opzichten aantrekkelijk pad op willen gaan, of dat zij niet de moeite willen nemen daarvoor de strijd aan te gaan, of dat zij denken machteloos te staan tegen overweldigende krachten die een andere richting op sturen. Maar na de voorbeeldige studies van Meeuwse, Hofman en Elzen kunnen zij niet meer zeggen dat de keuzes onhelder waren.

Omgaan met onzekerheden

Dit deelprogramma onder leiding van Wil Thissen (TU Delft) draagt de volledige naam 'Omgaan met onzekerheden in de transitie naar een duurzame energie-infrastructuur: een integrale benadering'. Uitgangspunt van dit programma is het gegeven dat beslissingen altijd met onzekerheden omgeven zijn, terwijl sommige beslissingen, met name over infrastructuur, de toekomst voor lange tijd kunnen vastleggen. De transitietheorie leert ons dat ongelukkige beslissingen over infrastructuur kunnen leiden tot langdurige *lock-ins*. De kunst van het transitie management is, zulke *lock-ins* te vermijden. Het deelprogramma bestaat uit drie onderdelen: een studie naar de manier waarop actoren onzekerheden zien en hoe ze er mee omgaan, een technisch-economische modelstudie en een integratieproject waarin de resultaten worden samengevoegd en praktische lessen worden getrokken. Onderzoekers van de Universiteit Utrecht en de TU Delft werken samen en het programma wordt in de loop van 2009 afgerond.

Bij de grens tussen Nederland en Duitsland wordt de locomotief van een trein omgewisseld vanwege het voltageverschil op beide spoorwegnetten.



Hoe lock-ins werken

Een *lock-in* is een situatie waarin een suboptimale technologie zozeer de overhand heeft dat concurrerende, betere technologieën geen kans krijgen vanwege de kosten van omschakeling. Een mooi voorbeeld van een *lock-in* is de bovenleidingsspanning van de Nederlandse Spoorwegen op 1500 V gelijkstroom. De beslissing om deze spanning op 1500 V te bepalen is genomen in de jaren '20 van de vorige eeuw. In Frankrijk was toen ook al gekozen voor 1500 V, België had de keus bepaald op 3000 V. In Duitsland werd een geheel ander systeem gebruikt: 15.000 V wisselspanning, echter niet op de gebruikelijke 50 Hz maar op 16 2/3 Hz, de noodzaak van grote mechanische omvormers met zich meebrengend. Tachtig jaar na dato bestaat deze situatie nog steeds. Alleen de Fransen hebben naast hun 1500 V net nog een tweede net aangelegd, op 25.000 V wisselstroom (50 Hz), wat onder meer de TGV mogelijk heeft gemaakt. In Nederland is keer op keer gestudeerd op de vraag of de bovenleidingsspanning niet veranderd kon worden, en keer op keer werd

de vraag negatief beantwoord omdat de omschakeling te veel problemen en kosten met zich mee zou brengen. En zo zit NS nog altijd opgescheept met een elektriciteitssysteem dat veel te veel verliezen kent (met als gevolg onder meer oververhitting en draadbreuk), waar continu onderstations bijgebouwd moeten worden omdat anders het benodigde vermogen niet kan worden geleverd, en dat geen aansluiting kent op het omringende buitenland. Bij de ontwikkeling van energie-infrastructuur is het ontstaan van *lock-ins* een reëel gevaar. Dit omdat, zoals de onderzoekers in hun voorstel uiteenzetten, de ontwikkelingen momenteel vele kanten uit kunnen gaan en infrastructuur een traag element van het energiesysteem is, dat heel gemakkelijk door technologische of marktontwikkelingen ingehaald zou kunnen worden. Tegelijkertijd is het beleid er wél op gericht, een stabiele duurzame infrastructuur te ontwikkelen: stabiliteit is een nadeel wanneer de infrastructuur suboptimaal is, maar een groot voordeel wanneer deze optimaal is.

3.6 Omgaan met onzekerheden in energie-innovaties en transitieprocessen

Ineke Meijer (gepromoveerd in 2008) nam bij haar onderzoek als uitgangspunt dat beslissingen in de energietransitie worden genomen in onzekere situaties, en dat de uitkomst van de beslissing wordt bepaald door de aard van de onzekerheden en de manier waarop de beslisser daar mee omgaat. Doel van haar onderzoek was de werking van deze factoren te verhelderen, zodat daaruit lessen kunnen worden getrokken voor het managen van het transitieproces. Ze was vooral geïnteresseerd in fundamentele veranderingen in de technologie op de lange termijn (systeeminnovaties) en de krachten die daarop inspelen.

Onzekerheden in zulke transitieprocessen komen voort uit vele bronnen. Er is om te beginnen onzekerheid over de technologische ontwikkeling: over de levensvatbaarheid van de in ontwikkeling zijnde technologie zelf, over de manier waarop deze in de infrastructuur zal passen, en over het opkomen van concurrerende technologieën. Er is onzekerheid over de beschikbaarheid van geld en menskracht en soms ook van grondstoffen. De concurrentie kan roet in het eten gooien. Leveranciers kunnen tekort schieten. De potentiële klanten hebben misschien geen belangstelling voor de nieuwe technologie – misschien is wel niet eens duidelijk wie de potentiële klanten zijn. En tenslotte is het overheidsbeleid vaak onduidelijk, met de kans dat dit in de toekomst zal gaan veranderen.

Niet op alle betrokkenen hebben deze onzekerheden invloed: dat hangt af van hun rol in het transitieproces. De invloed van de onzekerheid hangt ook af van de fase van de transitie. Zo lang de technologie nog niet is uitontwikkeld, overheerst de onzekerheid over het welslagen van de technologie; bovendien bestaat in deze fase onduidelijkheid over het beleid van de overheid. Dit laatste blijft het geval bij marktintroductie (de *take-off* fase). Marktintroductie is het stadium met de meeste onzekerheden: met betrekking tot financiën, klantenwensen, betrouwbaarheid van leveranciers, en de prestaties van de concurrentie. Ineke Meijer concludeert onder meer dat het bij het managen van zulke transitieprocessen van groot belang is adequate coalities te ontwikkelen van belanghebbenden met verschillende rollen in het proces.

Ineke Meijer onderzoekt vervolgens de rol van onzekerheden bij een technologie die op dat moment nog in de ontwikkelingsfase verkeert: microwarmtekracht. Gewapend met haar typologie van onzekerheden interviewt zij betrokkenen bij dit proces: technologieontwikkelaars, en vertegenwoordigers van potentiële grote klanten, een maatschappelijke organisatie, en de overheid. Welke onzekerheden staan voorop in de beleving van deze

> *In transitieprocessen hebben actoren in verschillende fases te maken met verschillende bronnen van onzekerheid*

> *Bij het managen van transitieprocessen is het van groot belang adequate coalities te ontwikkelen van belanghebbenden met verschillende rollen in het proces*

> *De overheid doet er goed aan geen onzekerheden in het beleid meer te laten bestaan (met name over het subsidieniveau) wanneer de technologie klaar is om op de markt te komen*

betrokkenen en welke rol spelen deze in hun beslissingen? Zoals verwacht mocht worden, oordelen de meesten in deze fase dat technologie en overheidsbeleid de belangrijkste onzekere factoren vormen. Maar de overheid blijkt daar heel anders over te denken. Geen onduidelijkheid in het overheidsbeleid – de grootste onzekerheid betreft de vraag of de klanten wel met deze nieuwe technologie in zee willen gaan! Ineke Meijer concludeert dat de overheid er goed aan doet geen onzekerheden in het beleid meer te laten bestaan (met name over het subsidieniveau) wanneer de technologie klaar is om op de markt te komen.

3.7 Systeemstudies van mogelijke infrastructuurontwikkelingen, gebruik makend van onzekerheidsanalyse vanuit technisch-economisch oogpunt

66

- > Voor de gebouwde omgeving zijn de grootste bronnen van onzekerheid in beeld gebracht
- > Er is een aantal mogelijkheden om de uitstoot van CO₂ voldoende terug te dringen
- > Een eenmaal ingeslagen weg kan moeilijk worden verlaten

In zijn promotieonderzoek (te completeren in 2010) probeert Lars Dittmar (Universiteit Utrecht, thans Technische Universiteit Berlijn) de rol van onzekerheden in de ontwikkeling van de Nederlandse energievoorziening op de lange termijn kwantitatief te benaderen, met nadruk op de wisselwerking tussen deze onzekerheden. In deze studie concentreert hij zich op de elektriciteitsvoorziening en het energiegebruik in woningen en gebouwen. Onzekerheden worden vaak benaderd met behulp van scenariostudies. Deze geven echter slechts beperkt inzicht in de manier waarop de onzekerheden in de loop van de tijd op elkaar inwerken. Daarvoor zijn meer kwantitatieve methoden als Monte Carlo-analyse, *design of experiments*, en stochastische optimalisatie beter geschikt. Daarom kunnen zulke analyses leiden tot het formuleren van robuuste strategieën (onder uiteenlopende omstandigheden succesvol), die tegelijkertijd voldoende flexibel zijn, en waarbij kritieke punten in de ontwikkeling (zoals het ontstaan van *lock-ins*) kunnen worden vastgesteld. In het eerste deel van zijn studie kijkt Dittmar naar het energiegebruik in woningen en gebouwen. Uit zijn berekeningen blijkt dat de grootste bronnen van onzekerheden bestaan uit het tempo van sloop en nieuwbouw, de mate van technologisch leren, energieprijzen, energiebeleid (subsidies, bouwnormen), en klimaatverandering. Hij concludeert dat een voldoende resultaat (in termen van CO₂-reductie) langs verschillende wegen kan worden bereikt. Maar hij ontdekt ook dat eenmaal ingeslagen wegen moeilijk kunnen worden verlaten: als een essentiële stap wordt overgeslagen, kan het effect daarvan nog lange tijd voelbaar zijn.

3.8 Omgaan met onzekerheden in vernieuwing van de energie-infrastructuur gericht op duurzaamheid: geïntegreerde analyse en ontwerp

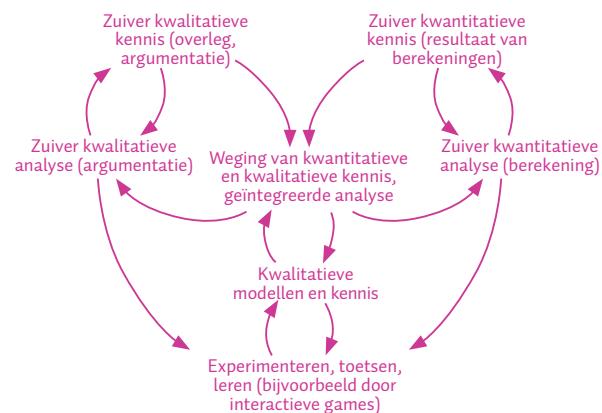
Erik Pruyt tracht in zijn werk de kwalitatieve en kwantitatieve benadering van onzekerheden te integreren (eindresultaat verwacht in 2010). Zijn doel is, te komen tot een geïntegreerd raamwerk voor interdisciplinaire onzekerheidsanalyse. Met dat raamwerk wil hij complexe thema's analyseren, in het bijzonder terreinen van besluitvorming met vele deelnemers en uiteenlopende perspectieven, waar een langetermijnplanning moet worden gemaakt te midden van vele onzekerheden. Voorbeeld: een duurzame energievoorziening. Hij heeft de ambitie dat besluitvormers met zo'n instrument bewust en systematisch met onzekerheden zullen kunnen omgaan, en die onzekerheden niet langer zullen negeren of er op zijn best kennis van nemen.

De basis voor zo'n raamwerk wordt gevormd door een concept (figuur 5) waarbij kwalitatieve en kwantitatieve onzekerheidsanalyse voortdurend op elkaar worden betrokken. Dit schema geeft ook de mogelijkheid, het thema 'leren van onzekerheden' uit te diepen, bijvoorbeeld door de ontwikkeling van interactieve games.

Veel werk is in de afgelopen decennia verricht aan het karakteriseren van onzekerheden, en Pruyt probeert daarmee zijn voordeel te doen. Zo is het van belang onzekerheden te karakteriseren naar de vraag of om het politieke of technologische onzekerheden gaat, en of er sprake is van statistische variatie, een onzeker resultaat van een maatschappelijk proces, of gebrek aan kennis. Al deze vormen van onzekerheid komen voor en zij kunnen besluitvorming in de weg staan, of leiden tot verrassingen. Maar terwijl sommige onzekerheden een effectieve besluitvorming in de weg kunnen staan, kunnen andere juist kansen scheppen en veranderingen stimuleren. Om goede beleidsstrategieën te ontwikkelen probeert Pruyt de belangrijkste onzekerheden op weg naar een duurzame energievoorziening in kaart te brengen, hun aard te benoemen, en methoden te ontwikkelen om ermee om te gaan. Hij gebruikt daartoe vele in de afgelopen decennia ontwikkelde hulpmiddelen: scenario's, geïntegreerde systeemodynamische modellen waarbij ook gebruik wordt gemaakt van *exploratory modeling*, en de ontwikkeling van interactieve games waarmee modellen kunnen worden getoetst en nieuwe strategieën worden geleerd.

> **Onzekerheden kunnen naar gelang hun aard een effectieve besluitvorming in de weg staan of juist kansen scheppen en veranderingen stimuleren**

> **Het is van belang te weten welke onzekerheden van belang zijn in de energiecrisis en verschillende strategieën te ontwikkelen om ermee om te gaan**



Figuur 5. Conceptueel raamwerk voor geïntegreerde onzekerheidsanalyse

De kas met tomaten van een kwekerij bij Brielle is voorzien van een experimentele verlichting met energiezuinige LED-lampen. De lampen geven roze en blauw licht.



4 energiebesparing

inleiding

70

We hebben eerst het energieprobleem bekeken en ons daarna verdiept in transitie- en innovatietheorie. De komende hoofdstukken richten we ons op verschillende wegen waarlangs de overgang naar een duurzame(re) energiehuishouding vorm kan krijgen, voor zover deze bestudeerd zijn door de onderzoekers uit het Stimuleringsprogramma. De eerste weg is die van de energiebesparing. Welke lessen komen we dan tegen?

energiebesparing

4.1 De stand van zaken in energiebesparing

Grote potenties Energiebesparing is het moeilijkste en meest verwaarloosde deel van de energietransitie. In hoofdstuk 1 zagen we al dat er weinig kampioenen van energiebesparing zijn in het energielandschap. Daardoor is beleidsaandacht voor dit onderdeel moeilijk. Weliswaar worden er vaak mooie woorden aan gewijd en soms zelfs hele nota's, maar het omzetten van intenties in concrete maatregelen en vooral het behalen van succes met die maatregelen is vaak een moeizame kwestie. De potentie van energiebesparing is groot, want energie wordt in grote hoeveelheden verspild. Onze beste elektriciteitscentrales maken stroom uit aardgas met een rendement van circa 55%, en de elektriciteitsbedrijven zijn er trots op want vijftig jaar geleden lag het rendement nog op 30% - maar nog altijd wordt bijna de helft van de energie nutteloos weggegooid. Auto's op benzine benutten ten hoogste 20% van de energie-inhoud van de brandstof (bij diesel ligt het iets gunstiger). Als we de efficiëntie in de hele keten bekijken, *well to wheel*, dan komen we dicht

in de buurt van de 10%. Om ons te verplaatsen moeten we dus veel energie verspillen. Dat wordt nog eens geaccentueerd als we in rekening brengen dat in het verkeer veel nutteloze massa wordt verplaatst. Bij een gemiddelde rit met een personenauto met 1,3 inzittenden moet 800 kg metaal en plastic in beweging worden gebracht om 100 kg mens van A naar B te brengen. Zo beschouwd, komt de efficiëntie in het verkeer en vervoer niet ver uit boven de 1%. Ook bij elektriciteit moeten we niet alleen kijken naar de efficiëntie van de centrale, maar ook naar die bij de gebruiker. Gloeilampen hebben een efficiëntie van 5-10%, waardoor het totaalrendement over de keten ook niet boven een paar procent uitkomt. Gelukkig hebben de meeste toepassingen van elektriciteit, zoals de TL-buis en de daarop gebaseerde spaarlamp, nog sterker de LED-verlichting, en de elektromotor een veel hoger rendement. Bij woningen en gebouwen is het berekenen van het rendement lastiger; maar we kunnen het best geïsoleerde gebouw als maatstaf nemen en ook dan komt het percen-

tage nutteloos verloren energie in de tientallen procenten. In de industrie zijn er veel belangrijke processen die óf veel warmte vragen, óf waarbij veel warmte vrijkomt. In beide gevallen gaat veel energie verloren, hoewel de industrie zo veel mogelijk beide processen in elkaars nabijheid laat plaats vinden om warmte over te kunnen dragen. Maar een energiezuinige industrie zal pas ontstaan bij een grondige herziening van de fundamentele processen in wat tegenwoordig heet *process redesign*.

Relatief weinig aandacht bij gebrek aan economische noodzaak

Energiebesparing is een zaak van energiegebruikers, en er zijn maar weinig energiegebruikers voor wie de energiekosten meer dan 5% van het totale budget vormen. Dat geldt zowel voor huishoudens als voor bedrijven. Daardoor krijgt energiebesparing naar verhouding weinig aandacht bij het bewaken van de uitgaven. Daarbij komt dat bedrijven de natuurlijke neiging hebben, zich te concentreren op hun *core business*, en energiebeheer valt daar vrijwel altijd buiten. Alleen in de energie-intensieve industrie (basismetaal, petrochemie, elektriciteitsproductie) vormt energie één van de belangrijkste productiefactoren, waardoor energiebesparing belangrijk genoeg is om op het netvlies te staan van Raden van Bestuur.

In tijden waarin energie in het centrum staat van de maatschappelijke belangstelling, zoals op het moment van schrijven, vormt de publiciteit rond dit thema wel een goede aanleiding om meer dan evenredig aandacht te besteden aan het energiegebruik – precies de voorwaarde die nodig is om maatregelen te nemen die de energietransitie verder helpen. Misschien is er voor de meeste

burgers en bedrijven nog steeds geen harde economische noodzaak om prioriteit te geven aan energiebesparing – maar energie wordt breed als een probleem gezien en dat helpt bij het richten van de neuzen. In dit kader zien we bijvoorbeeld dat de zeer actieve Nederlandse tuinbouwsector energie tot één van zijn speerpunten heeft gemaakt en met concepten als de energieleverende kas behoorlijk aan de weg timmert. Dit werkt zowel naar buiten als naar binnen: tegenover het grote publiek wordt het imago versterkt door duidelijk te maken dat de sector zijn verantwoordelijkheid neemt voor het hoge energiegebruik, en naar de tuinders toe wordt energiebesparing gemaakt tot één van de factoren waaraan succes wordt afgemeten.

Problemen van het energiebesparingsbeleid Sinds energiebesparing tot thema is gemaakt van het overheidsbeleid (en dat gaat in Nederland terug tot de Energienota van toenmalig Minister van Economische Zaken Ruud Lubbers uit 1974) is al bekend dat dit beleid kampt met een aantal problemen.

Het eerste is een **gebrek aan technologische ontwikkeling**. Er zijn eenvoudigweg te weinig adequate energiebesparende technologieën beschikbaar of in ontwikkeling. Waar zijn de technologieën die de 20% auto veranderen in een 80% technologisch wonder? Hoeveel technologische instituten houden zich bezig met fundamentele verbetering van dat rendement? Ja, auto's met brandstofcellen halen 50% of meer – maar als we naar de keten gaan kijken en in het rendement betrekken hoe de benodigde waterstof gemaakt wordt, dan daalt dit cijfer aanzienlijk, al blijft het totaalrendement hoger dan bij de benzineauto. (En dan nog: hoe technologisch slim is een auto waarvan bijna de

helft van de energie nutteloos wordt weggegooid?)
Volgende punt: als er al goede energiebesparende technologieën beschikbaar zijn, dan kost het vaak veel moeite de **benodigde investeringen** voor de betreffende apparaten vrij te maken. Bedrijven zien investeringen in energiebesparing vaak als branchevreemd en eisen daarvoor om die reden een extra hoog rendement (korte terugverdientijd); of ze laten bij kapitaalschaarste investeringen in hun core business voorgaan. Zelfs normaal gesproken rendabele investeringen komen zodoende vaak niet van de grond. En tenslotte is er vaak **asymmetrie van belangen**: degene die de investering moet doen is niet degene die daarvan de vruchten plukt. De huisbaas die het huurhuis laat isoleren is niet degene die een lagere energierekening krijgt. Om huisbazen in Nederland zo ver te krijgen dat ze zijn gaan investeren in woningisolatie heeft men veel regelingen (bijvoorbeeld over doorberekenen van de investering in de huur) moeten herzien.

Zweep en stroop hebben wisselend succes Om in dit veld succesvol te opereren heeft de overheid naast voorlichting globaal gesproken twee middelen tot zijn beschikking: stroop en de zweep. Beide zijn, in wisselende verhouding en met wisselend succes, de afgelopen decennia toegepast. Met stroop worden burgers en bedrijven verleid om in de gewenste richting te bewegen: voorbeelden zijn subsidies, belastingverlichting, verkorting van afschrijvingstermijnen voor bedrijfsinvesteringen, en beschikbaar stellen van leningen tegen lage rente en/of met lange terugbetalingstermijnen. Voor dit laatste is vaak met succes een beroep gedaan op de nutsbedrijven (maar dat was vóór de liberalisering).

Met de zweep worden burgers en bedrijven gedwongen om passende maatregelen te nemen. Voorbeelden daarvan zijn het stellen van rendementseisen aan apparaten, afspraken met bedrijfstakken over terugdringen van het energiegebruik (met als stok achter de deur wetgeving), en het stellen van regels over energieprestaties van woningen en gebouwen. Accijnsverhoging kan ook onder deze maatregelen worden geschaard, maar critici vragen zich af of het milieuvriendelijke doel voorop stond bij het kwartje van Kok en de recente ecotax op vliegreizen, of eerder de stand van 's lands schatkist.

Al deze maatregelen moeten worden begeleid met goede voorlichting, want zowel het zoet als het zuur moet algemeen bekend raken voordat het zijn gewenste werking kan hebben. En zo kunnen wij tegenwoordig bij aanschaf van een lamp, koelkast, auto of zelfs huis zien hoe energiezuinig deze scoort ten opzichte van de concurrentie. In de hoop dat de koper voldoende is gemotiveerd om zich door energieprestaties te laten leiden.... Ook al heel lang houdt de overheid zich bezig met branchegerichte voorlichting over energiebesparende maatregelen voor het bedrijfsleven.

Twee sectoren hebben vanaf het begin centraal gestaan in het besparingsbeleid van de overheid: de energie-intensieve industrie en de bouw. Niet toevallig twee grote happen uit het nationale energiegebruik. De energie-intensieve industrie heeft grote stappen gemaakt in reductie van het energiegebruik, gemotiveerd in de eerste plaats door hoge energiekosten, maar daarbij ook geholpen door subsidies, belastingverlichting en hier en daar enige druk van de overheid in de vorm van meerjarenafspraken. Bij de bouw heeft de overheid duidelijk de leiding genomen,

en met succes, want de huidige Nederlandse nieuwbouw scoort zeer goed op het gebied van energiezuinigheid. Al is het nog niet helemaal zo ver, Nederland lijkt op weg naar de nulenergiewoning – en dat met ons klimaat.

Energiebesparing is cruciaal De betekenis van energiebesparing voor de energietransitie kan nauwelijks worden overschat. De reden is deels economisch, zoals reeds gezegd in hoofdstuk 1: met een euro gestoken in energiebesparing reduceren we in het algemeen beter de uitstoot van CO₂ dan met een euro gestoken in uitbreiding van de voorziening, of dat nu betreft zon, wind, biomassa of welke milieuvriendelijke energiebron ook. De reden is ook strategisch. Een structureel (te) hoog energiegebruik betekent een zwaarder gebruik van infrastructuur. De verhouding tussen de verschillende toekomstmogelijkheden wordt daardoor beïnvloed; een (te) hoog energiegebruik is vooral ten nadele van de zelfvoorziening. Naarmate de efficiëntie van het energiegebruik hoger is en de vraag naar energielevering dus lager, zullen burgers en bedrijven beter toe kunnen met energiebronnen uit de directe omgeving. De energietransitie krijgt daardoor meer kans.



Andrea Ramírez

‘Aandacht voor energiebesparing in niet-energie-intensieve sector schiet tekort’

Andrea Ramírez promoveerde op 22 september 2005 aan de Universiteit Utrecht en werkt als post-doc aan dezelfde universiteit bij het programma CATO, dat draait om afvang, transport en opslag van CO₂ in Nederland.

‘Ik heb de energie-efficiëntie van de voedingsmiddelenindustrie onderzocht. Een groot probleem was dat er weinig gegevens beschikbaar waren over die sector. Dat komt doordat van oudsher de niet-energie-intensieve sectoren, zoals de voedingsindustrie, relatief weinig aandacht gekregen heeft van beleidsmakers en wetenschappers. De aandacht is echter langzaam toegenomen omdat men tegenwoordig inziet dat deze sectoren gezamenlijk verantwoordelijk zijn voor een omvangrijk deel van de energieconsumptie en omdat de mogelijkheden voor energiebesparing aanzienlijk zijn. Voor de ambitieuze doelstellingen van het Nederlandse en Europese energie- en klimaatbeleid zul je alle bedrijfssectoren uiteindelijk nodig hebben! En als je dan nauwelijks beleid en nauwelijks monitoringgegevens hebt over die sectoren, dan wordt het erg moeilijk. Wat ik in dit verband zorgwekkend vindt, is dat het CBS gestopt is met het bijhouden van allerlei gegevens over de omvang van de dienstensector. Zo weten we nu niet eens hoeveel vierkante meters kantoor we in Nederland hebben.

‘We moeten nog meer te weten komen over de manier waarop gedragsverandering rond energiebesparing plaatsvindt’

In mijn promotieonderzoek heb ik de verhouding van energiegebruik versus ‘nuttige output’ bepaald en gekeken welke veranderingen hierin zijn opgetreden. De output van een sector kan worden gemeten in economische termen, bijvoorbeeld toegevoegde waarde, of in fysieke termen, bijvoorbeeld in tonnen product. In het eerste geval wordt de indicator de economische energie-intensiteit genoemd, in het tweede geval de fysieke energie-intensiteit.

Het bleek heel goed mogelijk om veranderingen in energie-efficiëntie te monitoren op basis van fysieke productiegegevens. Ik heb ontdekt dat productiegroei de energiebehoefte van de sector heeft verhoogd met gemiddeld 1,8 procent over de afgelopen dertig jaar. Besparingen in de hoeveelheid energie die je nodig hebt om een eenheid van een product te maken, heeft in diezelfde periode echter maar 0,2 procent energiewinst opgeleverd. De netto balans is dus negatief.

De methode biedt een eerlijke en redelijk uitvoerbare manier om de ontwikkelingen van de energie-efficiëntie tussen verschillende landen te vergelijken. Mijn onderzoek is een van de weinige onderzoeken in zijn soort. Ik heb dan ook uit verschillende delen van de wereld verzoeken gekregen voor meer informatie, tot en met Australië en Nieuw Zeeland aan toe. De resultaten worden vooral gebruikt door onderzoekers die energie-efficiëntie modelleren. Een andere gebruiker is ECN in het kader van het Protocol Monitoring Energysavings. En het onderzoek dat ik deed rond leercurves in energie-efficiëntie voor de kunstmestindustrie wordt nu voortgezet in een ander onderzoeksproject hier aan de Universiteit Utrecht, gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken.

Wat mij nu belangrijk lijkt, is dat we ook nog meer te weten komen over de manier waarop gedragsverandering rond energiebesparing plaatsvindt. Dat is zeker niet alleen een economische kwestie. Hier is nog weinig toegepast onderzoek naar gedaan.’

Deelprogramma Stimulering van energiebesparende technologieën

Eén van de deelprogramma's binnen het Stimuleringsprogramma was het programma 'Stimulering van energiebesparende technologieën' onder leiding van Raymond Florax (Vrije Universiteit). Onderzoekers van de VU werkten samen met onderzoekers bij ECN, de Universiteit van Tilburg en de Universiteit Utrecht. Het deelprogramma draaide om de vraag hoe het is gesteld met de investeringsbereidheid van ondernemingen met een relatief laag energieverbruik om meer aan energiebesparing en de vraag hoe die investeringsbereidheid verder kan worden gestimuleerd.

4.2 Energiebesparingstechnologieën voor bedrijven met laag energiegebruik – trends en vooruitzichten

Industrieën met een laag energiegebruik zijn een lang verwaarloosde sector in het energiebeleid. Zij vormen het object van studie van Andrea Ramírez (Universiteit Utrecht, gepromoveerd in 2005). De economische impuls in deze sector om zuinig te zijn met energie is klein. Dat wil niet zeggen dat het energiegebruik van deze sector laag is, want er zijn heel véél industrieën met laag energiegebruik, en vele kleintjes maken een grote. Ramírez schaaft industrieën met minder dan 3% energiekosten onder de lage energiegebruikers. Samen gebruiken deze in Nederland 200 PJ, wat gelijk staat aan 28% van het industrieel energiegebruik.

Industrieën met een laag energiegebruik vormen een grote groeisector: hun bijdrage aan de economie is groot en hun groeicijfer hoog. Maar aan energiebesparing doen ze niet, zoals blijkt uit analyse van cijfers op bedrijfstakniveau. In de periode 1988-1999 is hun gezamenlijke energiegebruik gegroeid met 30%, en hun energiegebruik per euro productie met 2%. Er is vrijwel geen bedrijfstak die productiegroei combineert met lager energiegebruik. De trend is daarom dat het energiegebruik van deze sector zal blijven groeien. Ramírez leidt uit de cijfers af dat het energiebeleid de bedrijven in deze sector niet heeft bereikt – het is nodig, instrumenten te ontwikkelen die in deze sector wel zoden aan de dijk zetten. Ramírez concentreert zich vervolgens op de voedselverwerkende industrie, te beginnen

> *Het energiebesparingsbeleid heeft de voedingsmiddelensector onvoldoende bereikt*

> *Voor een goed begrip en de aanpak van de gevolgen van fysieke processen is het nodig om deze niet alleen in economische termen maar ook in fysieke termen te behandelen; duurzaamheid kan lastig door beleidsmakers aan de orde worden gesteld als informatie ontbreekt over de ontwikkeling van energie- en materiaalstromen binnen de diverse deelsectoren van de economie.*

> *Er zijn nu kencijfers ontwikkeld op basis waarvan de overheid goed controleerbare afspraken kan gaan maken met het bedrijfsleven*

met de zuivelsector. Deze sector heeft de afgelopen jaren qua energie-efficiënte goed gepresteerd, niet alleen in Nederland, maar ook in Duitsland en het Verenigd Koninkrijk (echter niet in Frankrijk). Deze goede prestaties gelden echter niet voor de vleessector, want hier is in deze landen het energiegebruik per ton product aanzienlijk gestegen. Ongeveer de helft van deze stijging lijkt het gevolg te zijn van strengere regels voor hygiëne, die zich vertalen in meer behoefte aan koeling.

In de voedselketen als geheel vormt de productie van kunstmest een zeer belangrijke schakel in het energiegebruik. Ramírez' analyse laat zien dat de hoeveelheid energie om een ton kunstmest te maken de afgelopen decennia weliswaar sterk is gedaald, maar dat de vraag naar kunstmest zó sterk is gestegen dat het wereldenergiegebruik door kunstmestproductie tussen 1961 en 2001 toch is gestegen met 3,8% per jaar.

De Europese voedingsmiddelensector is in 1970-2002 aanzienlijk meer energie gaan gebruiken, een groei van 1,6% per jaar. Dit is het gevolg van een groeiende vraag naar producten (1,8% per jaar), die slechts voor een klein deel wordt gecompenseerd door een afname van het energiegebruik per ton product (0,2% per jaar). Tot de toename van het energiegebruik draagt vooral bij dat mensen méér zijn gaan eten, en dat het transport een steeds groter beslag legt op energie.

4.3 Toepassing van energiebesparende technologieën in bedrijven met laag energiegebruik

In dit onderdeel van het deelprogramma wordt uitdrukkelijk gezocht naar instrumenten om energiebesparing een plaats te geven in bedrijven met laag energiegebruik. Het onderzoek werd verricht door twee teams, één aan de Universiteit van Tilburg en de Erasmus Universiteit Rotterdam, en één bij ECN.

Al in een vroeg stadium bleek dat de grootte van bedrijven van invloed is op beslissingen rond energiebesparing. Bij kleine bedrijven gaat men meer uit van vuistregels, terwijl onzekerheden een grotere negatieve rol spelen – niet ver van wat de geïnteresseerde burger ook zou hebben gedacht.

Bij verdere analyse blijkt dat het favoriete instrument van economen om energiebesparing

te bevorderen (energiebelasting) niet werkt bij bedrijven met laag energiegebruik, vooral niet als zij klein zijn. Zelfs met hoge energieprijzen wordt het onderwerp niet belangrijk genoeg, terwijl hogere prijzen niets doen aan onzekerheden, zoals rond de vraag welke technologie het beste kan worden toegepast. Overduidelijk komt naar voren dat de beste kansen voor energiebesparing zich voordoen in tijden van economische voorspoed, omdat er alleen dan voldoende middelen zijn om te investeren in iets waarvan de ondernemer normaal gesproken niet wakker ligt. Overigens gelden deze conclusies net zo hard voor de non-profit sector.

Zowel uit interviews in het bedrijfsleven als uit investeringsgames komt vervolgens naar voren dat subsidies, belastingverlichting en verkorting van afschrijvingstermijnen één belangrijk voordeel hebben boven energiebelasting: ze brengen een positieve boodschap en trekken daardoor de aandacht. Bovendien, ook interessant in dit verband: wanneer deze mogelijkheden worden gecombineerd met een lijst van technologieën waarvoor de regeling geldt, dan wordt de onzekerheid voor ondernemers teruggebracht tot een aanvaardbaar peil. Zij weten dan immers dat een investering in zo'n technologie verantwoord is. Zo'n lijst van technologieën hoeft daarom niet lang te zijn, misschien zelfs beter van niet. Zelfs als zo'n gesubsidieerde technologie bij een bedrijfseconomische berekening ongunstig uit de bus zou komen, dan nog is de kans aanzienlijk dat de investeringsbeslissing positief uitvalt.

Subsidies, belastingverlichting en verkorting van afschrijvingstermijnen hebben echter een belangrijk nadeel: ze maken liftersgedrag mogelijk. 'Lifters' maken gebruik van een subsidieregeling zelfs als zij die niet nodig hebben om de betreffende technologie toe te passen. Of, anders uitgedrukt, ze kunnen de subsidie mooi bijschrijven bij de winst ('overwinst'). Het team van de Universiteit van Tilburg heeft dit probleem geanalyseerd en daarbij geconcludeerd dat het oplosbaar is, zij het dat daarvoor veel rekenwerk moet worden verricht. De basis van hun oplossing is een systeem met zowel een subsidie als een belastingmaatregel. Bedrijven zouden kunnen kiezen uit een lage subsidie in combinatie met een laag belastingtarief, of een hoge subsidie met een hoog belastingtarief. Bedrijven met laag energiegebruik zouden de voorkeur geven aan een hoge subsidie met hoog belastingtarief. Maar zoals gezegd: het ontwikkelen van een adequate regeling waarin liftersgedrag wordt voorkómen is maatwerk, en er is veel rekenwerk nodig.

> **Subsidies lijken beter te werken dan een vorm van 'energiebelasting'**

> **Subsidies, belastingverlichting en verkorting van afschrijvingstermijnen brengen een 'positieve' boodschap en brengen in combinatie met een beperkte lijst van technologieën waarvoor deze maatregelen gelden onzekerheid voor ondernemers tot een aanvaardbaar peil terug**

> **Om 'liftersgedrag' te voorkomen is een combinatie van subsidie met daaraan gekoppelde belasting denkbaar, maar dat is wel ingewikkeld**

> **Onderzoeksresultaten zijn verwerkt in energiemodellen voor de Nederlandse economie en dragen bij tot een betere onderbouwing van geplande beleidsmaatregelen**

- > **Verskillende modellen geven elk een verschillende uitkomst voor beleidsmaatregelen**
- > **Het CPB concludeert dat prijsmaatregelen goed werken, samenhangend met het feit dat hun model die goed kan verwerken**
- > **ECN geeft juist minder grote effecten van stijgende prijzen maar vooral goede resultaten voor stimulansen bij toepassing van nieuwe technologieën (iets waarop hun model goed zicht geeft)**
- > **RIVM komt tot de slotsom dat voorschriften en vrijwillige afspraken (zoals het Convenant Benchmarking) het meeste resultaat geven (daarin is hun model gespecialiseerd)**
- > **De workshop vormt daarmee een fase in de discussie over de modellering van beleidsinstrumenten. Herman Vollebergh en Aart de Zeeuw in het slotartikel van het nummer van het Kwartaaltijdschrift Economie: "De verschillende modellen ondersteunen verschillende instrumenten, en de beleidsdiscussie wordt daarmee vooruit geholpen."**

In het kader van deze studies is ook gekeken naar nut en noodzaak van modellen die de invloed van beleid op energiebesparing berekenen, onderwerp van een in 2003 gehouden workshop. Nederland is ten tijde van het houden van deze workshop gezegend met drie modellen die elk hierop betrekking hebben: van CPB, ECN en RIVM.

Input van de workshop is de doorrekening van een pakket beleidsmaatregelen in vier sectoren: voeding, overig metaal, textiel en commerciële dienstverlening. De modellen blijken tot heel verschillende resultaten te leiden. Hoe kan dat, en wat zegt het over nut en noodzaak van elk van deze modellen? De aan dit onderwerp gewijde artikelen zijn gepubliceerd in een speciaal nummer van het Kwartaaltijdschrift Economie (*Jaargang 1, 2004, p.123 e.v.*). Elk van de modellen heeft zijn eigen sterke en zwakke punten. Het NEMO-model van het CPB laat als macro-economisch model het beste de onderlinge beïnvloeding van economische sectoren zien, maar het kan slechts in beperkte mate informatie over technologische ontwikkelingen als input meenemen. Daardoor geeft het uiteindelijk ook beperkt inzicht in de werking van specifieke beleidsinstrumenten gericht op technologische ontwikkeling. Het SAVE-model van ECN werkt precies omgekeerd. Hierin kan gedetailleerd per technologie de werking van beleidsinstrumenten worden bepaald, maar de doorwerking naar de economische ontwikkeling is minder goed uitgewerkt. Het MEI-model van RIVM ten slotte is juist ontwikkeld om inzicht te geven in factoren die bij zowel NEMO als SAVE niet goed aan bod komen, namelijk 'zachte' gegevens zoals handhaving van wetten en regels, maatschappelijke druk, rechtvaardigheid van de gebruikte instrumenten, en de breedte waarover beleidsinstrumenten toepasbaar zijn. Het MEI-model werkt daardoor meer als expertondersteunend systeem dan als modellering van de technisch-economische werkelijkheid.

4.4 Een vergelijkende studie naar belemmeringen voor investeringen in energiebesparende technologieën met aandacht voor de lichte industrie en de dienstverlening

Onder deze titel heeft Mark Koetse (VU Amsterdam, gepromoveerd in 2006) een promotieproject uitgevoerd waarin hij meta-analyse toepast op investeringen in energiebesparing. Bij meta-analyse worden niet de investeringsbeslissingen zelf geanalyseerd, maar de onderzoeken die op dit fenomeen betrekking hebben. De bedoeling is om door samenvoeging van deze onderzoeken samen tot een betrouwbaarder resultaat te komen. Parallel aan de toepassingen heeft Koetse ook gewerkt aan het verder onderzoeken van de mogelijkheden van het toepassen van meta-analyse op economische vraagstukken. Bij zijn project stuitte Koetse echter op problemen van de meta-analyse zelf, die vervolgens het hoofdonderwerp van zijn studie werden.

Eén van de onderwerpen van analyse betrof de invloed van onzekerheid op het investeringsgedrag van ondernemers. Relatief weinig studies lieten een statistisch significant verband zien. Koetse boog zich vervolgens over de vraag waaruit dat voortvloeit. Wat betreft investeringen in energiebesparing bleek overduidelijk dat vooral in kleine bedrijven onzekerheid een grote invloed heeft – vooral wanneer deze onzekerheid betrekking heeft op zaken die voor de ondernemer vóór op het netvlies staan, zoals de loonontwikkeling. Verder onderzocht Koetse met zijn instrumentarium de vraag in hoeverre veranderingen in energieprijzen invloed hebben op kapitaalinvesteringen. Deze invloed blijkt op korte termijn klein te zijn, maar groeit met de tijd. Dat houdt in dat de bulk van de energiebesparende investeringen pas gaat plaats vinden wanneer de energieprijzen enige tijd aanhoudend hoog zijn geweest.

> Onzekerheid is een belemmerende factor voor investeringen in energiebesparing bij vooral kleine bedrijven

> Ondernemingen investeren pas in energiebesparing als de energieprijzen enige tijd aanhoudend hoog zijn geweest



Op het terrein van NAM in Barendrecht staat een gaswinning-installatie, waarmee het gas dat zich eronder bevindt naar boven wordt gehaald. Zodra de twee gasvelden leeg zijn, is het plan dat deze gebruikt gaan worden voor de ondergrondse opslag van CO₂ in een gezamenlijk demonstratieproject met Shell.

5 **schoon** fossiel

inleiding

84

‘Schoon fossiel’ is de naam die doorgaans gegeven wordt aan het ‘schone’ gebruik van fossiele brandstoffen, dat wil zeggen: met weinig of geen uitstoot van CO₂. Omdat fossiele brandstoffen per definitie koolstof bevatten, houdt ‘schoon fossiel’ daardoor in dat koolstof wordt afgevangen en opgeslagen, meestal aangeduid met het Engelse acronym CCS (*Carbon Capture and Storage*). Schoon fossiel houdt niet alleen permanente (dus ondergrondse) opslag van CO₂ in, maar ook het afvangen en transporteren van CO₂ (met alle technieken die daarbij horen), én het selecteren van technieken van fossiel brandstofgebruik die de afvang zo goed en goedkoop mogelijk toelaten.

schoon fossiel

5.1 De stand van zaken rond 'schoon fossiel'

Een 'overgangsooplossing' Schoon fossiel wordt door- gaans beschouwd als een mogelijkheid voor een over- gangperiode. De ondergrondse opslagcapaciteit van CO₂ is eindig – de meeste studies wijzen op een technisch en economisch uitvoerbare wereldwijde opslagcapaciteit tot maximaal het eind van deze eeuw. Maar dat is precies de tijd, nodig om een volledig duurzame energievoorziening op te bouwen op basis van betaalbare zonne- en windener- gie, biomassa, waterkracht en aardwarmte – en daarom kan in die tijd schoon fossiel onderdeel vormen van een overgangsstrategie.

Verschillende manieren van opslag Ondergrondse opslag van CO₂ is geen onbekende technologie. In de **olie- winning** wordt al heel lang de techniek van de geforceerde winning uit oude velden toegepast, beter bekend als *Enhanced Oil Recovery* (EOR). Wanneer de productie van een olieveld omlaag gaat, kan deze worden gestimuleerd door injectie van water of een gas (waaronder CO₂); de geïnjec-

teerde stof bouwt druk op en maakt de olie minder stro- perig, waardoor de put meer gaat leveren. Sinds enige tijd wordt injectie van CO₂ ook onderzocht om de productie van methaan uit oude aardgasvelden op te peppen (EGR). Deze ervaringen met EOR en EGR kunnen nuttig worden gebruikt wanneer het primaire doel niet meer winning maar opslag is. CO₂ kan met name worden opgeslagen in verlaten aardgasvelden.

Andere mogelijkheden om CO₂ permanent op te slaan in de ondergrond zijn in **aquifers** of **steenkoollagen**. Aquifers zijn waterhoudende aardlagen. Deze moeten zijn afgedekt met een ondoorlaatbare laag, anders zou het water (en ook CO₂) naar de oppervlakte komen. CO₂ lost, zeker onder druk, enigszins op in water en kan boven- dien chemisch worden gebonden aan de mineralen van de waterhoudende laag. Bij de grootste in werking zijnde CO₂-opslag ter wereld, onder het Sleipner West gasveld in het Noorse deel van de Noordzee, wordt gebruik gemaakt van zo'n aquifer. Geologen zijn van mening dat áls zo'n

aquifer al CO_2 zal lekken, het waarschijnlijk duizenden tot honderdduizenden jaren gaat duren voordat het gas aan de oppervlakte komt, waardoor toch voor vele eeuwen een belangrijke bijdrage wordt geleverd aan de bestrijding van het broeikas effect als gevolg van CO_2 -uitstoot. Bij opslag van CO_2 in steenkoollagen wordt het gas geabsorbeerd aan de oppervlakte van de steenkool. CO_2 kan daarbij geabsorbeerd methaangas verdrijven en dit methaan kan worden gewonnen. Dat levert het opwindende vooruitzicht dat met opslag van afgewerkte fossiele brandstof (CO_2) meteen weer nieuwe fossiele brandstof (CH_4) vrijkomt. Deze techniek staat bekend als CO_2 Enhanced Coal Bed Methane Recovery (ECBM). Maar deze spannende mogelijkheid is meteen ook omgeven door onzekerheden. Zoals deze. De vervanging van CH_4 door CO_2 in steenkool verloopt prima in het laboratorium, maar hoe gaat dat in de ondergrond waar de omstandigheden niet gecontroleerd kunnen worden? En: welke risico's lopen omwonenden door het mogelijk ontsnappen van flinke hoeveelheden CO_2 of andere producten door de scheuren die altijd in ondergrondse steenkoollagen aanwezig zijn?

Technologie en beleid nog in ontwikkeling Schoon fossiel vormt een aantrekkelijk opstapje naar een duurzame energievoorziening. Maar schoon fossiel is nog geen uitgewerkte en van de plank leverbare technologie. Om ons te beperken tot Nederland: er is nog maar één geologische formatie goedgekeurd voor ondergrondse CO_2 -opslag: in het K12-B gasveld op de Noordzee wordt door Gaz de France aardgas gewonnen met vrij veel CO_2 . Deze wordt gescheiden van CH_4 en sinds kort terug gepompt in het gasveld. Technici en economen zijn nog

aan het rekenen aan de goedkoopste en meest effectieve manieren om CO_2 af te vangen, afhankelijk van de gebruikte brandstof (steenkool of aardgas) en de gebruikte verwerkingsmethode (bijvoorbeeld verbranding of vergassing van steenkool). Reeds bij de eerste stappen op de weg naar schoon fossiel moet worden doorgerekend wat de mogelijkheden voor de toekomst zijn, zowel qua opslagmogelijkheden als qua prijs. Er moet kortom zowel beleid als technologie worden ontwikkeld, en deze zijn deels afhankelijk van elkaar.

Maar intussen wordt er al wel gebouwd aan nieuwe steenkoolcentrales voor Nederland, waarbij CCS als 'mogelijkheid' wordt open gehouden: dit zou later toegevoegd kunnen worden. Wat dus alsnog kan betekenen dat deze centrales bij hun start zullen gaan werken zonder afvang en opslag van CO_2 . Geen geruststellende situatie voor wie duurzaamheid hoog in het vaandel heeft.



Saikat Mazumder is petroleum-ingenieur en gepromoveerd aan de TU Delft in 2007. Hij werkt als Senior Reservoir Engineer gespecialiseerd in het Enhanced Coal Bed Methane Process bij Shell Exploration & Production International Centre in Rijswijk.

Saikat Mazumder

‘Technisch kan CO₂-opslag – het is nu een kwestie van politiek’

87

‘In 2007 promoveerde ik op de opslag van CO₂ in steenkoollagen, gecombineerd met de winning van methaan. Het Enhanced Coal Bed Methane Process slaat dus twee vliegen in één klap: kooldioxide wordt opgeslagen in steenkoollagen in de bodem en tegelijkertijd wordt er methaan uit gewonnen. Om dit proces goed te kunnen uitvoeren, is het van belang precies te weten hoe steenkool diverse gassen en vloeistoffen doorlaat, vasthoudt en opslaat. Het netwerk van scheuren, waarvan ik bepaalde aspecten heb onderzocht, is hiervoor essentieel. Ik doe nog steeds heel veel met die wetenschappelijke kennis. Dat doe ik hier vanuit het internationale ‘brainpower-centrum’ van Shell in Rijswijk, maar eigenlijk pas ik de kennis vooral in het buitenland toe. Denk aan landen als China, Australië en Indonesië. Ik reis enorm veel. Echt laboratoriumonderzoek doe ik momenteel niet.

Toen ik bij Shell kwam, deed Shell nog niets met het gecombineerde methaanwinning- en CO₂-opslag-proces. Sinds ik er ben wel en nu werken we met een team van

‘Nu kunnen bedrijven de kosten van CO₂-uitstoot nog afwentelen op hun klanten, maar die ontsnappingsroute moet nodig worden afgesloten. Bedrijven komen er te makkelijk mee weg en nemen CO₂-reductie niet serieus.’

wel tien mensen. We doen dat vooral in landen waar een groot probleem met CO₂-uitstoot is, zoals in Indonesië met al die vulkanische eilanden. Bij olie- en gaswinning komt door verbranding enorm veel CO₂ in de lucht. Het is niet zo makkelijk om in deze landen te werken. Je krijgt te maken met veel bureaucratie, overheden voor wie het allemaal nieuw is. Het emissiehandelssysteem is ingewikkeld. Wat we vooral doen, is kennis overdragen, onder andere via workshops.

Binnen het energieonderzoekprogramma werkte ik ook samen met sociaalwetenschappers die de publieke perceptie van CO₂-opslag hebben onderzocht. Nu kom ik problemen op dat vlak ook steeds weer tegen; dat hoort echt bij mijn werk. Ik adviseer bijvoorbeeld de *health and safety manager* in mijn team over problemen met veiligheid, milieu en volksgezondheid. Dit zijn belangrijke issues in een dichtbevolkt land als Indonesië. Je moet hierover heel goed communiceren met de lokale mensen, ander is er snel onbegrip. Ik had eigenlijk niet verwacht dat ik met dit soort onderwerpen te maken zou krijgen, maar ik ben er wel blij om. Het is bijna een soort ontwikkelingswerk! Ik hoop ook in India, waar ik vandaan kom, te kunnen werken. Ik zou de interactie met de mensen wel missen als ik alleen maar een onderzoeksbaan in de Westerse wereld zou hebben. Maar ik denk wel dat ik over vijf tot tien jaar weer het onderzoekspad zal inslaan. Voordat ik aan mijn promotieonderzoek begon, had ik ook enkele jaren als ‘field engineer’ gewerkt en die afwisseling werkt heel goed voor mij.

Het grootste probleem van mijn vakgebied is dat er nog steeds geen echte commerciële toepassingen zijn. Er zijn verschillende pilotprojecten, maar het is momenteel gewoon te duur om grootschalig te implementeren. Het is echt alleen maar een politiek en economisch probleem, want technisch weten we dat het kan. Maar ja, de overheden zijn te soft voor bedrijven die CO₂ uitstoten. Dat zou allemaal veel strikter moeten. Nu kunnen bedrijven de kosten van CO₂-uitstoot nog afwentelen op hun klanten, maar die ontsnappingsroute moet nodig worden afgesloten. Bedrijven komen er te makkelijk mee weg en nemen CO₂-reductie niet serieus.’

Transitie naar duurzaam gebruik van fossiele brandstoffen

Het deelprogramma ‘Transitie naar duurzaam gebruik van fossiele brandstoffen’ werd geleid wordt door Wim Turkenburg en André Faaij (beiden Universiteit Utrecht). Het onderzoek binnen dit deelprogramma draaide allemaal om de technologie van CO₂-afvang, transport en opslag. Onderzoekers uit Utrecht werkten samen met onderzoekers in Leiden en Delft.

5.2 Systeemanalyse van transitiepaden naar slim gebruik van fossiele brandstoffen met afvang en opslag van CO₂

Kay Damen (Universiteit Utrecht, gepromoveerd in 2007) onderzocht de ‘verdiensten, kosten en risico’s van afvang en opslag van kooldioxide’. Hij keek eerst naar de technisch-economische vraag: wat zijn de technische mogelijkheden voor CCS, en hoe zit het met de kosten van opslag in termen van energie en van geld, in de hele keten van bron tot reservoir?

Technisch-economische studies waarin huidige en toekomstige mogelijkheden worden vergeleken, staan bekend om de mogelijkheid daarin voorkeuren en vooroordelen te verstoppen. Het procedé werkt als volgt: de onderzoeker vergelijkt de mogelijke toekomstige prestaties van een nieuwe technologie met de huidige prestaties van een bestaande technologie. De nieuwe technologie komt er zeer geflatteerd uit, want de mogelijkheid dat in de bestaande technologie nog verbeteringen worden aangebracht (juist door de opkomende concurrentie) wordt niet in de beschouwingen betrokken. Kay Damen probeert niet in deze valkuil te trappen, door daar een aantal keren uitdrukkelijk aandacht aan te besteden.

Toch komt hij er niet onderuit dat ook in dit geval toekomstige (en dus onzekere) prestaties van energietechnologieën met elkaar moeten worden vergeleken. Bij CCS gaat het hierom. Afvang en opslag van CO₂ is beter en goedkoper mogelijk naarmate de productie van CO₂ in zuiverder vorm gebeurt – anders moet veel ballast worden meegenomen. Bij elektri-

- > **Tegen 2050 kan wel 60-80 megaton CO₂ per jaar worden opgeslagen in Nederland (ca. 30% van de dan te verwachten binnenlandse productie)**
- > **Dan moet wel snel begonnen worden met leren, onder andere om de kosten te kunnen verminderen**
- > **De overheid moet besluiten over de bestemming van oude aardgasvelden en de benodigde infrastructuur**

citeitsproductie in een poederkool- of aardgascentrale ontstaat CO₂ te midden van veel ballast: door verbranding met lucht bestaan de afgassen voor 80% uit stikstof. Afvang en opslag van CO₂ uit deze afgassen kost veel energie en is niet handig.

Maar er zijn alternatieven. We hebben het dan over verbranding van steenkool in zuivere zuurstof (geen stikstofballast meer), of misschien de meest elegante oplossing: vergassing van steenkool, aardgas of biomassa met directe afvang van CO₂. Bij de eerste technologie heb je zuivere zuurstof nodig, en de productie daarvan is momenteel duur en ongunstig qua energiegebruik; betere technieken zijn nog in ontwikkeling. Steenkoolvergassing is een zeer flexibele technologie maar nog niet bedrijfszeker genoeg, zodat de meeste elektriciteitsbedrijven op dit moment kiezen voor de poederkoolcentrale. Een *lock-in*? Of vormen nieuwe ontwikkelingen in poederkooltechnologie als superkritische verbranding nog een echte stap voorwaarts?

Bij steenkoolvergassing reageren de kolen onder hoge druk en temperatuur met waterdamp, waarbij een gasmengsel ontstaat van voornamelijk CH₄, CO (koolmonoxide) en H₂ (waterstof). CO kan direct worden omgezet in CO₂ door de reactie $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$. Deze CO₂ kan mooi worden afgevangen. Het overblijvende gasmengsel kan voor allerlei nuttige doeleinden worden gebruikt, zoals productie van elektriciteit, waterstof of synthetische diesel. De output is daardoor heel flexibel – en bovendien ook de input, want behalve kolen kunnen ook olieresiduen, biomassa en aardgas als voeding voor de vergassingseenheid worden gebruikt. Ook Damen heeft een duidelijke voorkeur voor deze technologie, maar erkent dat er meer ervaring mee moet worden opgedaan. Hij berekent minimumprijzen voor brandstoffen en CO₂-rechten, nodig voor een voldoende rentabiliteit van deze oplossing.

Vervolgens vraagt Damen zich af of de productiecentra van CO₂ wel voldoende dicht bij potentiële reservoirs in de ondergrond liggen. Zo niet, gaan de kosten van CO₂-pijpleidingen dan geen obstakel vormen? In Nederland liggen de productiecentra voornamelijk in het Westen, en de opslagmogelijkheden vooral in het Noorden en op de Noordzee. Maar gezien de betrekkelijk kleine afstanden binnen Nederland lijkt dit probleem niet al te groot. Het meest interessant is, te beginnen met de vrij kleine productie van zuivere CO₂ in de industrie (vooral raffinaderijen) en deze op te slaan in oude gasvelden op korte afstand. Een belangrijke vraag is, hoe zeker de opslag is. Zullen reservoirs niet gaan lekken – misschien niet morgen maar dan toch over 1000 jaar? In hoeverre beïnvloedt dit de capaciteit

en bovendien de acceptatie van deze technologie door het grote publiek? Internationaal geven geologen aan dat de kansen op lekkage klein zijn, mits de reservoirs zorgvuldig zijn geselecteerd. Damen concludeert dat deze lekkages dan beter moeten worden onderzocht, onder meer om duidelijk te maken wat de selectiecriteria voor reservoirs zijn. Wat zijn de mechanismen waarmee lekkage kan worden beheerst en hoe zijn deze toepasbaar op Nederlandse velden?

Daarbij komt een strategisch probleem. Nederland (lees: vooral Gastera) heeft de ambitie de 'gasrotonde' van Noordwest-Europa te worden. Leveranciers zouden hun gas hier kunnen stallen en gebruikers zouden het hier kunnen ophalen. Die ambitie vereist opslagcapaciteit van aardgas in oude aardgasvelden – precies de geologische structuren die ook goed geschikt lijken voor CO₂-opslag. Het probleem wordt nog eens aangescherpt door de wetenschap dat er óók plannen bestaan om Nederland tot CO₂-rotonde van West-Europa te maken. Bovendien hebben België en Duitsland een gebrek aan opslagcapaciteit, en deze zouden misschien ook een beroep willen doen op de Nederlandse ondergrond. Damen roept op, nog eens goed te berekenen of al deze ambities wel met elkaar gecombineerd kunnen worden.

De beleidsvraag is tenslotte wat de mogelijkheden zijn voor CCS in Nederland en wat ervoor gedaan moet worden om deze te verzilveren. Damen meent dat tegen 2050 betaalbaar méér CO₂ kan worden opgeslagen dan tot nu toe verondersteld, namelijk 60-80 megaton per jaar, dat is ca. 30% van de dan te verwachten binnenlandse productie. Maar daarvoor dient een aantal voorwaarden te worden vervuld. Ten eerste moet al op korte termijn begonnen worden – om ervaring op te doen en daarmee 'technologisch leren' in gang te zetten waarmee de kosten van deze technologie kunnen worden verminderd. Er is een industriële productie van ca. 1 megaton per jaar zuivere CO₂, waarmee proefprojecten kunnen worden gedaan. En verder moeten vooral strategische kwesties worden opgelost, zoals de toewijzing van oude aardgasvelden en de timing van de aanleg van pijpleidingen en infrastructuur om de CO₂-stroom te verzamelen.

Uitgaande van technisch-economische gegevens dekt Kay Damen in zijn proefschrift het hele veld, waarmee een belangrijke handreiking wordt gegeven aan de ontwikkeling van beleid.

5.3 Injectie van kooldioxide in steenkoollagen voor opslag en versterkte methaanwinning

- > **Opslag van CO₂ in steenkoollagen gecombineerd met methaanwinning werkt**
- > **Steenkoollagen kunnen ook fungeren als CO₂-filter**
- > **De mate van absorptie is wel erg afhankelijk van de omstandigheden**
- > **Er zijn grote problemen met de zwelling van steenkool waardoor het absorptievermogen achteruit gaat**
- > **Er is nog veel technisch ontwikkelwerk nodig voor het echt goed kan werken**

Een tweede promotieproject over CCS is dat van Saikat Mazumder (TU Delft, gepromoveerd in 2007). Steenkoollagen kunnen CO₂ vasthouden in poriën aan hun oppervlakte. Doordat steenkool CO₂ sterker absorbeert dan gassen als methaan, worden deze verdreven wanneer de steenkoollaag onder druk met CO₂ wordt geïnjecteerd. Maagdelijke steenkoollagen bevatten tot 25 m³ methaan per ton steenkool. Bij injectie van CO₂ onder druk komt waarschijnlijk voor elke twee gebonden CO₂ moleculen één methaanmolecuul vrij. Met dit proces, meestal aangegeven met de afkorting ECBM zoals eerder vermeld, kan dus zowel CO₂ worden verwijderd als CH₄ worden gewonnen. De binding van gassen aan het oppervlak van steenkoollagen is geologisch stabiel, zodat de kans op vrijkomen van gebonden CO₂ als erg klein moet worden beoordeeld. Dit zijn aantrekkelijke uitgangspunten voor nader onderzoek naar de mogelijkheden om ECBM in de praktijk toe te passen. Mazumder verricht experimenten met brokstukken van een steenkoollaag in het laboratorium, en maakte daarover berekeningen.

Omdat absorptie van gassen plaats vindt aan het oppervlak van steenkool, dat wil zeggen in breuken en scheuren, maakt Mazumder in de eerste plaats een model van deze breuken en scheuren in steenkool zoals in de natuur aangetroffen. Vervolgens doet hij experimenten met de absorptie van gassen, waaronder zuivere CO₂ en rookgas van een kolencentrale. CO₂ blijkt inderdaad goed geabsorbeerd te worden, maar de mate van absorptie verschilt sterk met de omstandigheden. Als de steenkoollaag erg nat is, verhindert het aanwezige water het contact van gassen en steenkooloppervlak, waardoor de absorptie sterk daalt. Als een mengsel van gassen (in dit geval: rookgas) in de steenkoollaag wordt geperst, wordt CO₂ veel sterker gebonden dan andere gassen, met name stikstof. Steenkoollagen kunnen daarom worden gebruikt als een CO₂-filter. Daarentegen wordt onder deze omstandigheden vrijwel geen methaan gewonnen.

Een belangrijk deel van Mazumders proefschrift wordt vervolgens gewijd aan het probleem van zwelling van steenkoollagen. Weliswaar absorbeert steenkool heel goed CO₂, maar hierbij neemt tegelijkertijd het volume toe (zwelling), waardoor breuken en scheuren dichtten en de doorlaatbaarheid en het absorptievermogen van de steenkoollaag sterk achter-

uit gaan. Dit verschijnsel is zó uitgesproken dat het de toepassing van ECBM in de praktijk zou kunnen blokkeren. Daarom probeert Mazumder dit verschijnsel zowel met praktijkproeven als met berekeningen beter te karakteriseren.

5.4 Onderbouwde opvattingen bij de bevolking als beleidsinstrument bij schoon fossiel

Gevoelens van onveiligheid onder de bevolking kunnen een enorme invloed hebben op het energiebeleid, zoals blijkt uit het dossier kernenergie. Zou dit ook een rol kunnen gaan spelen bij ondergrondse opslag van CO₂? Ook hier hebben we immers te maken met een technologie waarvan de details niet goed bekend zijn bij de bevolking. En ook hier zijn er kleine kansen op grote gevolgen. Hoe klein de kans op een grote CO₂-eruptie (aannemend dat kleine lekken niet als ernstig zullen worden beoordeeld door een bevolking die voortdurend met uitlaat en CV-ketel CO₂ produceert)? Hoe groot de gevolgen hiervan? Hoe gewogen door het publiek?

Marjolein de Best-Waldhober en Dancker Daamen (Universiteit Leiden, publicatie in 2006) onderzochten in het derde CCS-project hoe de mening van het publiek verandert onder invloed van het geven van specifieke informatie. Door de voorkeuren van het publiek te vergelijken met en zonder aangeleverde informatie kregen de onderzoekers een idee van oplossingen rond fossiele brandstoffen die het publiek aanvaardbaar of juist onaanvaardbaar vindt. Met hun methode probeerden ze te ontdekken waaruit een eventuele afwijzing van technologieën voortkomt. De bedoeling is dat technologen en beleidsmakers daardoor worden aangespoord met nog slimmere oplossingen te komen waarin deze bezwaren zijn ondervangen.

De mening van het publiek kan doorslaggevend zijn voor het welslagen van CCS, zo schrijven de onderzoekers. Maar het is vrijwel niet bekend hoe het publiek hierover denkt. Hoe kan worden voorkomen dat de publieke opinie zich pas vormt als er al grote hoeveelheden geld in projecten zijn gestoken? Dat kan alleen wanneer de publieke opinie wordt bestudeerd in een vroeg stadium van de ontwikkeling van de technologie. Maar dat roept weer de vraag op hoe mensen een mening kunnen hebben over zo'n

> *Baseer beleid niet op 'pseudomeningen' die voortkomen uit traditioneel opinieonderzoek zonder erbij geleverde achtergrondinformatie*

> *Meningen gebaseerd op adequate informatielevering zijn betrouwbaarder en geven een betere voorspelling van maatschappelijke acceptatie van CCS*

> *Na adequate informatie over CCS, vindt een grote meerderheid van het publiek CCS aanvaardbaar*

> *CCS is in dit onderzoek niet naast andere energieopties geplaatst, zoals kernenergie, zonne- en windenergie*

Veilig of niet?

Van ondergrondse opslag van CO₂ kan niet gesteld worden dat deze absoluut veilig is, eenvoudig omdat er nog maar weinig ervaring mee is opgedaan. Laten we bijvoorbeeld kijken naar opslag in oude aardgasvelden. Vóór veiligheid spreekt dat aardgas miljoenen jaren lang in deze geologische formaties opgeslagen heeft gezeten, zodat de structuur van de ondergrond wel stabiel genoeg lijkt te zijn. Het risico komt vooral voort uit alle gaten die voor aardgaswinning in de aardbodem zijn geprikt en de mogelijkheid dat langs één van deze boorgaten, ook al worden ze afgedicht, opgeslagen CO₂ naar boven zal komen. CO₂ is een gas zwaarder dan lucht; in de meeste atmosferische omstandigheden zal vrijkomend CO₂ zich langs de grond verplaatsen. Als het in grote hoeveelheden is vrijgekomen zou het kunnen leiden tot ademhalingsproblemen en in het uiterste geval verstikking. En ook al wordt een deel van het opgeslagen CO₂ in de ondergrond gebonden, zo'n situatie kan zich misschien nog eeuwen na de opslag voordoen, zelfs als er bij het vullen en uiteindelijk afsluiten van de opslag alles aan wordt gedaan om dat risico uit te schakelen.

technologie als zij er waarschijnlijk nog niets van weten.

Al bij het begin van het onderzoek lopen de onderzoekers aan tegen het verschijnsel van de pseudomeningen. Pseudomeningen zijn opvattingen die men wel geeft, bijvoorbeeld bij opinieonderzoek, maar die niet zijn gefundeerd in feitelijke informatie. Beleid gebaseerd op pseudomeningen is erg riskant, omdat deze snel kunnen omslaan. Over CCS blijken veel pseudomeningen voor te komen. Bij het eerste onderzoek geeft de helft van de mensen die net hadden ingevuld, niets van een bepaalde technologie af te weten, daarover wel een mening. Wanneer korte tijd later opnieuw naar deze meningen wordt gevraagd (na een afleidende taak), blijken deze meningen vaak alweer veranderd. Wanneer de afleidende taak expres een beetje vervelend werd gemaakt, blijkt de tweede set oordelen al snel negatiever uit te pakken.

Om te onderzoeken of goede informatie leidt tot beter onderbouwde meningen, stellen de onderzoekers daarna over zes ketens met afvang en opslag van CO₂ goed onderbouwde informatie op. Deze is in begrijpelijke taal geschreven en bevat niet te veel details en nuances, die voor een lekenpubliek vaak verwarrend werken – maar het resultaat is door een panel van deskundigen als evenwichtig beoordeeld. Bij elk van de zes ketens wordt in 2020 de CO₂-uitstoot met 20% verminderd. De vragenlijst op basis van deze informatie wordt voorgelegd aan een representatieve steekproef van bijna 1000 mensen uit de Nederlandse bevolking.

De noodzaak om iets aan de uitstoot van CO₂ te doen wordt – aan de hand van informatie over het broeikas-effect – zeer ruim onderschreven. Afvang en opslag van CO₂ krijgen vervolgens een tamelijk positief cijfer (6,22 tot 6,50 op een schaal van 10), hoewel twee van de vijf effecten als bezwaarlijk worden beschouwd. Dat zijn de mogelijkheid van ontsnappend CO₂-gas en de kans op een kleine aardbeving. De grote meerderheid van de bevolking, zo blijkt uit dit onderzoek, aanvaardt grootschalige invoering van afvang en opslag van CO₂. Dit geldt voor alle zes CCS-ketens. Een klein percentage (1-6%) zegt invoering hiervan tegen te willen werken.

De onderzoekers proberen verder te ontdekken welke factoren nu vooral bepalend zijn voor de positieve afweging. Hiertoe wordt meervoudige regressieanalyse op de cijfers losgelaten, maar er kunnen geen harde conclusies worden getrokken. Want hoewel de door de experts aangegeven 'meest belangrijke' factoren het eindoordeel van het publiek in het algemeen goed verklaren, is de overeenkomst toch ook weer niet overweldigend. Dat bete-

kent dat het publiek zich bij zijn oordeel ook laat leiden door argumenten en gevoelens die door de experts als minder belangrijk worden gezien. Het betekent ook dat verandering van slechts één gevolg of aspect van een technologie waarschijnlijk niet veel effect zal hebben op het eindoordeel van het publiek.

Tenslotte kijken de onderzoekers naar het gevolg van het verstrekken van informatie in stukjes in plaats van als afgewogen geheel. Het publiek moet hierbij elk stukje informatie apart waarderen, en niet zoals bij de eerdere vraagstelling een waardering geven van een afgewogen totaalbeeld. Zoals verwacht kon worden, is het effect van deze opsplitsing van informatie sterk: de oordelen worden meer uitgesproken (positief of negatief) – zowel wanneer de informatie eenvoudig en toegankelijk is, als bij gedetailleerde beschrijvingen. De onderzoekers concluderen dat meningen zonder de noodzakelijke achtergrondinformatie in feite ‘pseudomeningen’ zijn, en onbruikbaar bij het voorspellen van de publieke houding tegenover technieken met CO₂-opslag. Beleidsmakers kunnen resultaten van ‘on geïnformeerd’ opinieonderzoek beter helemaal links laten liggen. Op basis van dit onderzoek mag worden verwacht dat goed geïnformeerde burgers akkoord zouden kunnen gaan met grootschalige invoering van CCS. De onderzoekers tekenen wel aan dat de vragenlijsten alleen betrekking hadden op afvang en opslag van CO₂, en dat bijvoorbeeld mogelijkheden en risico’s van wind-, zonne- en kernenergie in dit onderzoek niet ter sprake kwamen.

Hier in Lelystad wordt elektriciteit uit
biomassa geproduceerd door Nuon.



6 **biomassa**

inleiding

Biomassa is een onmisbaar onderdeel van het palet waaruit een duurzame energievoorziening is opgebouwd. Biomassa is een verzamelnaam voor groene grondstoffen, vooral wanneer deze worden gebruikt voor andere doeleinden dan de traditionele: voeding, kleding, bouwmaterialen, papier, geur- en smaakstoffen, en decoratie (bloemen, tuin- en potplanten). Met name spreekt men over biomassa wanneer het gaat om winning van energie en materialen uit producten van plantaardige en dierlijke oorsprong. Biomassa is in 2007 en 2008 in snel tempo tot onderwerp geworden van een verhit maatschappelijk debat. Voorafgaand aan dit debat werd echter de 'case' voor biomassa opgebouwd. Biomassa, tien jaar geleden nog onbekend bij het grote publiek, werd verkend door wetenschapsmensen en zijn potentieel werd ontrafeld. De valkuilen waarin de mensheid kan geraken door biomassa te gebruiken werden blootgelegd en de voorwaarden voor dit gebruik werden in kaart gebracht. Aan het opbouwen van deze 'case' heeft ook het Stimuleringsprogramma Energieonderzoek een bijdrage geleverd. Wat niet wil zeggen dat de onderzoekers van het Stimuleringsprogramma zich daardoor verbinden met één van de partijen in het actuele biomassadebat: zoals gezegd werden deze studies verricht vóórdat biomassa tot onderwerp werd van maatschappelijke discussie. Wel is het zo dat de gegevens waarop deze discussie wordt gebaseerd, mede voortkomen uit de studies die in de voorafgaande jaren in het Stimuleringsprogramma werden verricht.

biomassa

6.1 De stand van zaken in biomassa

Aanleiding voor het recent losgebroken maatschappelijke debat was de wereldvoedselcrisis door sterk oplopende voedselprijzen en ongewenste ontwikkelingen in met name de ontwikkelingslanden zoals ontbossing, oneerlijke handel, het verdwijnen van natuurgebieden enzovoort. Hierdoor werd een al lang sluimerende controverse acuut: onenigheid over de vraag of de wereld wel voldoende ruimte biedt aan zowel de traditionele bestemmingen van landbouw (vooral voedselvoorziening), als aan energie- en materiaalproductie uit biomassa, onder behoud van voldoende natuur van voldoende kwaliteit. Hongeroproeren in vele landen en de kap van tropisch regenwoud leken ineens in dezelfde richting te wijzen: “gebruik van biomassa is onverantwoord...”. Waaraan door partijen met kennis van zaken meestal werd toegevoegd: “...zo lang de tweede generatie biobrandstoffen nog niet ontwikkeld is”. Want als het puntje bij paaltje komt, oordelen vele deskundigen toch positief over biomassa als nieuwe kans voor de agrarische sector en als mogelijke extra inkomstenbron van

boeren, ook in de derde wereld, bijvoorbeeld in de vorm van gemengde teelten waarbij een deel van de oogst wordt gebruikt voor de voedselvoorziening en een deel voor energieproductie. Zij verschillen vooral van mening over de strengheid van voorwaarden waaraan de bestemming van landbouwgrond voor biomassa zal moeten voldoen, en de termijn waarop de mensheid dat voor elkaar zal krijgen. Zowel de EU als de VS stimuleren sterk het gebruik van biomassa. Brazilië is daar al 30 jaar mee bezig. De motieven zijn sterk verschillend, maar de tendens is dezelfde: landbouwproducten moeten meer worden ingezet voor de energievoorziening als alternatief voor fossiele brandstof. Maar alleen in Brazilië kan biomassa op eigen benen staan, na jaren lang te zijn gestimuleerd en gesubsidieerd. In Europa en de VS heeft biomassa een krachtige steun in de rug van de overheid nodig in de vorm van subsidies en/of verplichte quota. De jarenlange discussie over het biomassapotentieel lijkt langzamerhand naar een algemeen aanvaarde band-

breedte te evolueren. De enthousiastelingen voor biomassa erkennen dat gebruik van agrarische producten voor energieopwekking de boer vaak niet voldoende oplevert, en dat dit gebruik ook wordt beperkt door praktische belemmeringen ter bescherming van voedselvoorziening en natuurbewoud. De sceptici erkennen dat tenminste het gebruik van afvalproducten van de landbouw, en biomassateelt op braakliggende en marginale gronden en dergelijke zinvol is, en dat zulk landgebruik zelfs een oplossing kan geven voor problemen als luchtvervuiling (door ongecontroleerde verbranding van bijvoorbeeld stro) en erosie.

De duurzaamheidsdiscussie Verder komt er wat lijn in de discussie over de samenhang van biobrandstoffen en de kap van tropisch regenwoud. Vooral in Indonesië en Maleisië zijn enorme hoeveelheden regenwoud gekapt, voornamelijk voor de winning van tropisch hardhout. Op de braakgelegde gronden worden vaak oliepalmen neer gezet. Palmolie is een veel gevraagde grondstof in de Oosterse keuken, maar ook zeer geschikt voor bijstook in elektriciteitscentrales of voor de productie van biodiesel. In hoeverre is de (door overheidsmaatregelen verplichte) opkomst van biodiesel verantwoordelijk te stellen voor verlies van oerwoud?

Een soortgelijke discussie speelt zich af rond het Amazonegebied. Het areaal suikerriet in Brazilië is sterk gegroeid sinds de overheid de productie van bio-ethanol uit ruwe rietsuiker ging stimuleren. Tegelijkertijd is er veel oerwoud gekapt. Is hier een verband? De uitkomst van deze discussies is niet alleen van belang voor natuurbeschermers, maar ook voor het klimaat effect van biomassa. Want bij de kap van bossen komt veel CO₂ vrij uit oxidatie van humus

– en als dit in rekening moet worden gebracht is toepassing van deze biobrandstoffen helemaal niet goed voor het klimaat!

De lijn in deze discussies wordt gebracht door de ontwikkeling van vrijwillige en verplichte voorschriften rond het gebruik van biomassa. De Europese Commissie heeft bijvoorbeeld een Richtlijn hernieuwbare energie gepubliceerd, die bepaalt dat biobrandstoffen duurzaam moeten worden geteeld. Nederland en het Verenigd Koninkrijk hadden al eerder richtlijnen gepubliceerd (en deels ook vastgesteld) waaraan biobrandstoffen moeten voldoen. Verder buigen de zogenaamde Ronde Tafels van producenten van voedings- en biomassaproducten zich over de problematiek van duurzaamheid in brede zin. Ronde Tafels bestaan onder meer rond soja, palmolie en rietsuiker. Zij stellen duurzaamheidsrichtlijnen op, waaraan een certificaat wordt verbonden. De bedoeling is dat gebruikerslanden deze certificaten verplicht stellen voor toepassing van de betreffende biomassa in hun land. Door zo'n certificaat gaat duurzaam geproduceerde biomassa meer opbrengen: het marktmechanisme in stelling gebracht voor duurzaamheid. Regels, voorschriften en richtlijnen gaan bijvoorbeeld over (geen) kap van maagdelijk oerwoud, invloed op grondwater en biodiversiteit van de teelt, en soms ook over sociale omstandigheden zoals kinderarbeid. Het systeem heeft zich intussen al zo ver bewezen dat de vraag niet meer is of palmolie moet worden gestookt, maar wélke palmolie, en in welke hoeveelheden. Intussen is wel duidelijk geworden dat in ons deel van de wereld biomassateelt uitsluitend voor energieproductie niet rendabel zal zijn met de bestaande technologie. Er zijn nieuwe technologieën nodig om méér uit de plant te halen.

Een sleutelrol is weggelegd voor scheidingsmethoden om producten met hoge waarde als eiwitten uit planten te isoleren en afzonderlijk op de markt te brengen. Andere routes lopen via vergassing of fermentatie naar tweede generatie biobrandstoffen. Dit zijn brandstoffen als bio-ethanol en biodiesel die niet worden gemaakt uit voedingsmiddelen (zoals de 'eerste generatie'), maar uit hout en ander cellulosehoudend materiaal (tarweresten, stro e.d.). Deze technologieën zijn nog volop in ontwikkeling, en het duurt misschien nog wel tien jaar voordat producten uit deze routes in de markt verkrijgbaar zullen zijn.

Naar een groene grondstoffeneconomie Biomassa geeft niet alleen aanleiding tot kritiek maar ook tot hoop. Het lonkend perspectief wordt aangeduid met de woorden *bio-based economy*, of in het Nederlands groene grondstoffeneconomie. In zo'n economie gaan groene grondstoffen geleidelijk de plaats innemen van aardolie als basis voor een belangrijk deel van de energie- en materialenvoorziening. Groene grondstoffen zijn bijvoorbeeld lokale reststromen van landbouw en veeteelt, maar ook producten van teelten voor multigebruik (voeding én energie) en geïmporteerde biomassa. Als belangrijk voordeel van de groene grondstoffeneconomie wordt gezien dat biomassa veel beter over de wereld is verspreid dan aardolie, zodat machtspolitiek op basis van bodemschatten een veel kleinere rol zal gaan spelen in de wereld. De groene grondstoffeneconomie is ook een economische kans en uitdaging, zeker voor Nederland. In zo'n economie komt een grote wereldhandelsstroom van *biocommodities* op gang, die zich aan importzijde zal concentreren rond enkele grote havens; Rotterdam is al een aantal jaren bezig

zich daarop voor te bereiden. Er zullen nieuwe industrieën ontstaan en elke regio zal worden uitgedaagd zijn eigen sterktes opnieuw vast te stellen en uit te buiten. Een belangrijke rol in de groene grondstoffeneconomie zal zijn weggelegd voor de fermentatietechnologie of 'witte biotechnologie': technieken waarmee, gebruik makend van enzymen en gemodificeerde micro-organismen omzettingen kunnen worden gedaan op industriële schaal. De witte biotechnologie heeft zich ontwikkeld in niches als de productie van medicijnen en fijnchemicaliën en staat op het punt van doorbraak naar de bulkchemicaliën. Met die technologie kunnen in de nabije toekomst de basisproducten van onze chemische industrie worden voortgebracht. De eerste fabrieken op deze basis zijn al in werking met producten als polymelkzuur, propaandiol, 'groen' polyethyleen, epichloorhydrine, biomethanol en barnsteenzuur. Witte biotechnologie kan in het algemeen worden gekarakteriseerd als aanmerkelijk milieuvriendelijker dan de traditionele chemische technologie: lager energiegebruik, veel minder gebruik van giftige hulpstoffen zoals oplosmiddelen, kleinere *footprint*, en lagere productie van bovendien minder schadelijke afvalstoffen – wel groter landbeslag voor biomassateelt. Toepassing van witte biotechnologie heeft mogelijk een vérgaand effect op de industriële structuur van industrielanden, met interessante consequenties voor de energietransitie. De productie van materialen is momenteel geconcentreerd rond de petrochemie: omzettingen uitgaand van ruwe aardolie. De petrochemie is een groot-schalige industriesector, en onlangs heeft J.-P. Lange van Shell uit de doeken gedaan hoe dat verband houdt met het soort omzettingen in deze industrietak. Hij ontdekte een

verband tussen het warmte-effect van de basisreacties van een industrie en de schaal waarop deze economisch kan opereren. Naarmate de basisreacties meer warmte-overdracht vragen is de economische schaal groter. Nu vragen de basisreacties in de petrochemie en aanverwante industrietakken als kunstmestproductie een grote warmteoverdracht (reacties bij hoge temperaturen, sterk exotherm of endotherm), wat overeenkomt met een groot-schalige industriële structuur. Als de industriële structuur geschikt zou worden op reacties bij lage temperatuur met geringe warmteoverdracht zoals in de witte biotechnologie, dan ontstaat wellicht een basis voor een geheel andere industriële logica. Industrieën zouden niet meer groot hoeven te zijn om rendabel te kunnen opereren; ze zouden misschien niet meer bij voorkeur worden gevestigd in de buurt van andere industrieën maar in de nabijheid van hun grondstoffen, dus op het platteland. Vanwege hun milieuvriendelijke karakter zouden ze ook niet van de rest van de wereld gescheiden hoeven te worden door bufferzones. De ontwikkeling in die richting zou zich kunnen voltrekken zonder enige ruimtelijke ordening, gewoon gedreven door de wetten van de economie. De samenhang met een infrastructuur-arme, vooral op zelfvoorziening gebaseerde energiestructuur moge duidelijk zijn.

Gebruik van biomassa als zodanig houdt trouwens geen verband met schaal. We roepen in herinnering dat in het grootschalige elektriciteitsscenario van Jos Meeuwssen onder de naam 'Naar supernetten' het merendeel van de duurzaam opgewekte elektriciteit afkomstig is van grote biomassacentrales. Want biomassa kan, in tegenstelling tot zon en wind die elektriciteit produceren, heel goed worden opgeslagen en dan bijvoorbeeld in grote hoeveelheden

worden aangeland in een importhaven. Maar biomassa kan ook direct aan de bron worden omgezet – zoals gezegd is biomassa neutraal ten opzichte van schaalgrootte. Vooralsnog is de *bio-based economy* toekomstmuziek. Groene grondstoffen staan nog pas aan het begin van hun doorbraak. De verbinding tussen voedsel- en energievoorziening die zij vertegenwoordigen, kan hun ontwikkeling ernstig in gevaar brengen. De verhoging van de wereldlandbouwproductie, door vriend en vijand beschouwd als de absolute voorwaarde voor een toekomst van groene grondstoffen, is een precare zaak. Jaren lang hebben beleidsmakers niet kunnen bewerkstelligen dat de productiviteit van de landbouw steeg in grote delen van de wereld, met name Afrika – en toch is dat nodig om een aanzienlijk deel van de opbrengsten te kunnen bestemmen voor *nonfood*. Overheidsbeleid in vele sectoren en op vele niveaus moet opnieuw worden geformuleerd om toepassing van groene grondstoffen te bevorderen. De groene grondstoffeneconomie vormt een opwindend perspectief en een interessante uitdaging. Eén ding is zeker: hij komt er niet vanzelf.



Mark Prins (rechts) werkt als onderzoeker bij de afdeling Gasification & Hydrogen Manufacturing bij Shell in Amsterdam. Wouter van den Hoogen (links) is als post-doc verbonden aan de TUE en doet onderzoek naar de meetbaarheid van ervaring tijdens 'gaming' (computerspellen).

Mark Prins en Wouter van den Hoogen **‘Alleen technologische innovatie én gedragsverandering tegelijk leiden tot verduurzaming’**

103

Chemisch technoloog Mark Prins promoveerde in 2005 aan de Technische Universiteit Eindhoven TUE) op de invloed van de voedingssamenstelling (van steenkool tot biomassa) op de efficiëntie van vergassing. Ook onderzocht hij of het mogelijk is door thermische voorbehandeling van biomassa (torrefactie – het als het ware roosteren van hout) de efficiëntie te verhogen. Dit bleek het geval te zijn. Wouter van den Hoogen, die is afgestudeerd bij de vakgroep Mens-Techniek Interactie aan de faculteit Technologie Management van de TUE, promoveerde in 2007 op een psychologisch onderzoek naar de oordeelsvorming over nieuwe energietechnologieën. Een van de bevindingen was dat de oordelen van mensen over diverse energiebronnen aan elkaar gerelateerd zijn. Daarom is het belangrijk om een integrale communicatiestrategie te hanteren bij de introductie van verschillende duurzame energieopties.

Hoe energiebedrijven momenteel technisch omgaan met bijvoorbeeld het vergassen van hout, vormt een bevestiging van de onderzoeksresultaten van Mark Prins, vertelt



Vergassingsreactor in de proefopstelling in het Eindhovense laboratorium.

hij. 'Maar de maatschappelijke acceptatie van hout als bron van bio-energie is nog steeds een probleem.' Van den Hoogen voegt daaraan toe dat er te weinig wordt uitgelegd door beleidsmakers en energiebedrijven. Dan gaan consumenten hun eigen beelden vormen en die kunnen negatief uitpakken. 'Ik merk wat dat betreft nog niet veel aanwijsbaar effect van mijn bevindingen. Energiebedrijven communiceren niet helder en open over biomassa. Ik kan me uit concurrentieoverwegingen wel voorstellen dat bedrijven niet openlijk over biomassa communiceren, maar het is zeer de vraag of dit de implementatie van duurzame energie op termijn ten goede komt.'

Beide onderzoekers maken zich zorgen over de verduurzaming van de energiehuishouding. Ze zien ook niet hoe het anders zou kunnen dan door een combinatie van technologische innovatie én gedragsverandering. Prins: 'Ik zou willen weten hoe snel we het gebruik van duurzame energie kunnen laten toenemen. Het zal altijd een combinatie moeten zijn van energiebesparing en nieuwe technologie. Ik ben bang dat het allemaal te traag gaat en we dus nog een tijdje zullen zitten met kolen centrales en kernenergie.' Van den Hoogen: 'De vraag is dus ook wat er gedragsmatig haalbaar is in relatief korte tijd. Mensen veranderen pas iets aan hun gedrag als de 'crisis' hen echt raakt. Ik denk dat we ook moeten kijken naar de rol van producenten en de overheid. Als duurzame brandstoffen goedkoper worden aangeboden, zullen ze toch wel sneller gebruikt worden door consumenten.'

Hoewel het schrijven van een proefschrift een monodisciplinaire aangelegenheid is, was er binnen het Eindhovense deelprogramma waarin de promovendi werkten, veel aandacht voor bèta-gamma-interactie. Prins: 'Ik heb een veel bredere kijk gekregen door kennis te nemen van de vraagstukken rond maatschappelijke acceptatie van biomassa, waarmee mijn collega's zich bezighielden. Die problematiek speelt nu ook bij mijn werk bij Shell.' Van den Hoogen: 'Doordat ik mij kon verdiepen in de technische aspecten van biomassa, heb ik de vragenlijsten voor respondenten kunnen aanscherpen en is het onderzoek evenwichtiger uitgevoerd.' Beide onderzoekers ervaren dat multidisciplinaire samenwerking met collega's in hun huidige werkkring veel gemakkelijker gaat dan tijdens het promotieonderzoek. Het resultaat wordt nu immers volgens andere maatstaven beoordeeld.

Deelprogramma Biomassa als duurzame energiebron

Het deelprogramma 'Biomassa als duurzame energiebron: milieueffect, betaalbaarheid en aanvaarding door het publiek' dat geleid werd door Cees Midden, werd in zijn geheel uitgevoerd aan de TU Eindhoven. Het onderzoek in dit deelprogramma had tot doel, "obstakels te helpen overwinnen op de weg naar invoering van biomassa als duurzame energiebron." Dat gebeurde met enerzijds een sociaalwetenschappelijk en anderzijds een natuurwetenschappelijk onderzoek. Beide projecten zijn naast elkaar uitgevoerd, wel met veel onderling contact, maar zonder geïntegreerde vraagstelling of aanpak. Interessant is dat juist dit deelprogramma tot aanwijsbare resultaten heeft geleid, zoals we zullen zien.

6.2 Aanvaarding door het publiek van biomassa als duurzame energiebron: gevolgen voor ontwikkeling en invoering

In zijn proefschrift (2007) onderzocht Wouter van den Hoogen de houding van het publiek tegenover biomassa als duurzame energiebron. Hij enquêteerde elektriciteitsgebruikers en omwonenden van een mogelijke toekomstige biomassacentrale (Cuijk), en noteerde van welke factoren de meningen afhankelijk zijn. De bijdrage aan de wetenschappelijke theorievorming van dit onderzoek gaat over assimilatie en contrast. Bij onderzoek naar opinies die geen stevige basis hebben in kennis van zaken (zoals in het algemeen het geval over biomassa als energiebron, zeker in 2003, het jaar waarin het onderzoek werd gehouden) is de context waarin gegevens worden verstrekt van belang. Wanneer informatie over biomassa bijvoorbeeld wordt gegeven in een verband waarin zonne-energie terloops wordt genoemd, dan valt de beoordeling positiever uit dan na het noemen van steenkool. Biomassa wordt geassimileerd met de positief gewaardeerde zonne-energie. Wanneer echter zonne-energie uitdrukkelijk (dus niet terloops) wordt behandeld voordat biomassa ter sprake komt, is het oordeel over biomassa negatiever dan wanneer eerst steenkool wordt genoemd. Nu wordt het oordeel over biomassa juist gecontrasteerd met dat over zonne-energie. Opinievormers, let dus op hoe u zich uitdrukt!

In een deelonderzoek keken Anneloes Meijnders en Gundula Hübner van de TU Eindhoven naar opinies over biomassa als energiebron rond vijf biomassacentrales verspreid

> *Meningen van het publiek over een bepaalde technologie worden beïnvloed door de context waarin de informatie over die technologie wordt gegeven*

> *Oordelen over diverse energiebronnen zijn met elkaar verbonden.*

Voorbeeld: biomassa combineren met steenkool geeft een positiever oordeel over biomassa dan biomassa combineren met zonne-energie

> *De promotie van één specifieke energiebron kan ten koste gaan van de acceptatie van een andere nieuwe energiebron; in het geval van introductie van verschillende energieopties, is een geïntegreerde communicatiestrategie van belang*

Liever afval dan houtsnippers in de oven

De onderzoeksresultaten van Wouter van den Hoogen waren destijds een *eye opener* voor Essent, dat betrokken was bij de begeleiding van dit onderzoek. Alexandra van Huffelen van Essent zegt daarover: “In het geval van de biomassacentrale van Cuijk hebben wij geleerd dat het publiek vooral de verwerking van afval positief waardeert, terwijl ingenieurs bij biomassa eerder denken aan schone houtsnippers. We zijn daarom meer gaan nadenken over afval, en dat heeft ons bijvoorbeeld op het spoor gezet van koffieschillen. Zonder de duidelijke resultaten van het publieksonderzoek rond Cuijk hadden we het koffieschillenproject misschien niet ontwikkeld.” Van den Hoogen's onderzoek heeft dus een duidelijk effect gehad op het beleid (in dit geval van Essent).



over het land. De meningen bleken in het algemeen positief, met als belangrijke aspecten milieuvriendelijkheid, nut van recycling van afval, vermindering van de afvalstroom, kostenvoordelen, en vermindering van het gebruik van fossiele brandstoffen. Als negatieve aspecten worden genoemd overlast (bijvoorbeeld van vrachtverkeer naar en van een biomassacentrale), uitstoot van schadelijke stoffen bij verbranding en andere milieuschade, hoge kosten, en mogelijke aantasting van de gezondheid. In tegenstelling tot wat verwacht mocht worden volgens het bekende NIMBY-syndroom (*Not In My BackYard*), bleek er in deze opinies geen duidelijk verschil te bestaan tussen mensen die dichtbij de centrale wonen (binnen 1 km) en hen die verder weg wonen. En toch is er is een opmerkelijk verschil tussen beide groepen: terwijl de cognitieve (verstandelijke) oordelen gelijk zijn, bestaan er bij mensen die dicht bij de centrale wonen duidelijk meer negatieve emoties, die bovendien sterker zijn dan bij de verder weg wonenden. Ze hebben dus ambivalente gevoelens en gedachten, wat grote consequenties kan hebben voor de stabiliteit van hun houding. De onderzoekers bevelen dan ook aan, niet alleen rekening te houden met de opinies van omwonenden van biomassacentrales, maar ook met hun emoties.

Wanneer biomassa wordt uitgesplitst, blijken er grote verschillen te bestaan in de waardering van biomassoorten. Op de vraag aan wat voor soort biomassa men de voorkeur zou geven als bron van elektriciteitsproductie, scoren mest en GFT-afval hoog. De reden lijkt te zijn dat het gebruik van deze soorten biomassa tegelijkertijd de oplossing betekent van het praktische probleem, hoe mest en GFT-afval kwijt te raken. Schoon hout en landbouwproducten komen onderaan de ladder, omdat mensen vinden dat deze beter kunnen worden gebruikt als bouw materiaal of voor voeding.

Wanneer we nog wat dieper nadenken over dit resultaat, dan kunnen we ons verbazen over de lotgevallen van het begrip ‘biomassa’. Vroeger was er geen biomassa: er was mest, of hout, of stro, of slib van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Maar de menselijke geest categoriseert. Of misschien is het meer de bureaucratie die categoriseert en daarbij gebruik maakt van het abstractievermogen van de menselijke geest. Zo werd keukenafval met tuinafval gecombineerd tot GFT. En GFT werd weer met stro etc. gecombineerd tot biomassa. De kracht van het begrip biomassa is dat hiermee een richting wordt aangeduid voor oplossing van het klimaatprobleem: het gebruik van energiebronnen van plantaardige oorsprong.

En dan komen de ingenieurs, bijvoorbeeld van Essent, die het verzamelbegrip biomassa geheel nieuw oppakken en van daaruit gaan nadenken over de vraag hoe zij biomassa het beste kunnen gaan gebruiken. Welke soorten biomassa zijn er, hoe zit het met hun verkrijgbaarheid, wat is hun kostenplaatje? Ingenieurs komen dan uit op schone en handeldbare vormen van biomassa: houtsnippers, palmolie. Maar gelukkig is er dan nog opinieonderzoek dat in dit geval de ingenieurs terugroept naar de oorsprong van problemen. Het publiek is niet vatbaar voor de valkuilen van bureaucratische terminologieën waar professionals in kunnen trappen en hanteert een heel praktische invalshoek: gebruik biomassa waarmee problemen worden opgelost, geen schone en probleemloze grondstoffen! Verwerking van natte biomassa, voor ingenieurs altijd moeilijker te hanteren dan droge, heeft in de waardering van het publiek een streepje vóór.

6.3 Ontwerp van een kleinschalige vergassingsinstallatie voor biomassa in het licht van technische, economische en psychologische criteria

Het proefschrift van Mark Prins (2005) is chemisch-technisch van aard. Hij boog zich over de vraag hoe biomassa het meest efficiënt kan worden verwerkt. Vergassing is beter dan verbranding: het gas kan efficiënt worden omgezet in moderne apparatuur als gasturbines, brandstofcellen of katalytische reactoren. Maar bij vergassing van biomassa treedt energieverlies op, meer specifiek: exergieverlies. Exergie is de vorm van energie waarmee arbeid wordt verricht. Exergieverlies treedt bijvoorbeeld ook op in de CV-ketel wanneer de afgassen alleen worden gebruikt voor verwarming, en het potentieel van expanderende gassen voor elektriciteitsproductie niet wordt benut – het is juist om dit exergieverlies te voorkomen dat de HRe-ketel werd ontworpen.

Mark Prins onderzoekt dit exergieverlies bij vergassing van biomassa eerst theoretisch en definieert onder welke omstandigheden dit verlies minimaal is. Deze omstandigheden blijken echter in de praktijk van de biomassavergassing niet haalbaar doordat biomassa van zichzelf meestal te veel gebonden zuurstof bevat en daarnaast ook water. Daarom stelt

> Het publiek wil liever energie uit mest en GFT dan uit hout en landbouw, dus biomassa waarmee problemen worden opgelost

> Behalve opinies zijn ook emoties van omwonenden een factor om rekening mee te houden bij de vestiging van biomassacentrales

> Integratie van torrefactie en vergassing leidt tot een efficiëntere procesvoering bij energie uit biomassa

> Door een goed ontwerp van de installatie met intensieve warmtewisseling kunnen verliezen worden geminimaliseerd

> Dit concept kan in de praktijk worden getoetst

hij voor, aan de vergassing van biomassa een stap voor te schakelen in de vorm van torrefactie. Bij torrefactie wordt biomassa verhit tot 230 à 300° C in afwezigheid van zuurstof. Hierbij ontleedt de hemicellulosefractie van het hout (20-35% van het gewicht), waarbij naast water en azijnzuur brandbare gassen ontstaan, en er een half verkoolde en goed werkbare massa achterblijft. Deze getorreficeerde biomassa vormt een betere grondstof voor het vergassingsproces.

BioPUSH: geïntegreerde strategieën voor optimale biomassaketens

Het deelprogramma BioPUSH werd geleid door Wim Turkenburg en André Faaij (beiden Universiteit Utrecht). “Het idee dat aan BioPUSH ten grondslag ligt is dat door een combinatie van ideeën zoals teelten voor voeding én energie, cascadering van biomassagebruik, en gebruik van grond voor meerdere doeleinden, doeltreffender systemen kunnen ontstaan voor productie en gebruik van biomassa,” zo lezen we in de verantwoording van dit programma. Maatstaven voor deze effectiviteit zijn energieproductiviteit, CO₂-uitstoot en kosten in de keten. In BioPUSH werd gekeken naar een verscheidenheid aan teelten, aan voortgebrachte materialen en aan energiedragers. Verder keken de onderzoekers (afkomstig uit Utrecht en Wageningen) naar combinatie van landbouw met andere bestemmingen van de bodem als middel om de spanning van biomassaproductie met voedselproductie en natuurbewoud te verminderen. BioPUSH richtte zich deels uitdrukkelijk op landgebruik in de nieuwe Europese lidstaten en de bijdrage die de agrarische sector daar kan leveren aan de betaalbare en verantwoorde productie van biomassa.

6.4 Modellering van multifunctionele bio-energiesystemen: kosten, energieopbrengst, CO₂-uitstoot

In haar proefschrift (2004) probeerde Veronika Dornburg (Universiteit Utrecht) multifunctioneel gebruik van biomassa kwantitatief in kaart te brengen, vanuit de gedachte dat hierdoor bio-energie goedkoper geproduceerd kan worden. Er is, zo schrijft zij, veel aandacht voor multifunctioneel gebruik van biomassa, maar die kennis is voor een belangrijk deel niet gekwantificeerd.

Multifunctioneel gebruik van biomassa omvat teelten voor multigebruik (diverse delen van de plant worden ingezet voor uiteenlopende doeleinden) en cascadering (het afval van gebruik nummer één is grondstof voor gebruik nummer twee). Deze twee kunnen worden gecombineerd tot ketens met een aantal stappen. Dornburg onderzoekt in haar proefschrift een groot aantal van dergelijke ketens. Als gewassen neemt zij bijvoorbeeld in beschouwing tarwe, hennep en populier, en ze onderzoekt de toepassing van verschillende componenten van de oogst. Ze kijkt naar producten als polymelkzuur (PLA), vezelplaat (MDF), methanol en elektriciteit. Tussen deze gewassen en deze producten kan een veelheid aan ketens voorkomen, afhankelijk bijvoorbeeld van de mate van recycling. Tussen deze ketens blijken grote verschillen te bestaan in termen van kosten, energieopbrengst en vermindering van CO₂-uitstoot. De beste ketens presteren zeer goed, met een kostenverlaging tot een factor vijf en eveneens een verlaging van de CO₂-uitstoot per hectare gebruikte landbouwgrond met een factor vijf, maar er zijn ook ketens die leiden tot kostenverhoging en/of verhoging van de CO₂-uitstoot. De keuze voor een gewas en een keten zal daarom moeten gebeuren op grond van een analyse per geval. Deze analyses worden extra gecompliceerd wanneer in de beschouwing wordt betrokken dat de vraag naar biomassa invloed zal hebben op landgebruik en agrarische grondprijzen. Voor een realistische waardering van de consequenties van biomassagebruik moeten deze effecten natuurlijk worden meegenomen. Het probleem is echter dat zulke invloeden erg onzeker zijn. Verder kan als effect van massaproductie van biomaterialen worden verwacht dat de prijzen daarvan zullen gaan dalen, omdat de markt voor elk van deze materialen beperkt is. Hierdoor wordt de opbrengst weer gedrukt. Maar ook zulke effecten zijn met grote onzekerheden omgeven. Wat dat betreft biedt de productie van energie uit biomassa voordelen, omdat de energiemarkt erg groot is en marktverstoringen daar veel minder makkelijk zullen voorkomen.

- > *Van afzonderlijke biomassaketens is nu bekend wat de kosten en opbrengsten zijn in economisch en milieuperspectief; de verdere ontwikkeling van een standaardmethode voor multifunctionele biomassasystemen is aan te raden*
- > *Er zijn vele invloeden die het economische en milieuresultaat bepalen*
- > *De wederzijdse invloeden tussen grootschalig biomassagebruik en de markten van landbouwgrond, materialen en energie moeten beter begrepen worden*
- > *De berekeningen zijn uitgevoerd voor Europa met case studies in Polen vanwege de daar beschikbare (goedkopere) grond; de resultaten met betrekking tot doelmatig energiegebruik en de emissie van broeikasgassen gelden ook in Nederland, maar de kosten zullen in Nederland waarschijnlijk hoger uitvallen*

6.5 Economische analyse van multifunctionele biomassasystemen

- > *Multi-gebruik van biomassa is bevorderlijk voor het halen van de beleidsdoelstellingen van de overheid (in dit geval die van Polen)*
- > *Door multi-gebruik van biomassa worden de kosten van dit beleid verminderd terwijl de milieuvoordelen ervan worden vergroot*
- > *Wanneer vermindering van fossiel brandstofgebruik het hoofddoel is, dan zijn bio-raffinage en cascadering de meest effectieve middelen*
- > *Multi-productgewassen kunnen fossiele brandstoffen vervangen bij de productie van elektriciteit*
- > *Door het benutten van vervuilde grond stijgt het aanbod van biomassa*
- > *In al deze gevallen zullen specifieke biomassaplantages nodig zijn om de doelstellingen van het Poolse energiebeleid te halen*

Het proefschrift uit 2006 van Ada Ignaciuk (Wageningen Universiteit en Research Centrum) heeft een vergelijkbaar onderwerp: de toepassing van multifunctionele systemen van biomassa ook met nadruk op Oost-Europa en met name Polen, maar zij probeert de invloed te berekenen van beleidsinstrumenten ter stimulering van biomassa op de landbouw en de rest van de economie.

In de eerste modelberekening verkent Ignaciuk de gevolgen van stimulering van biomassa op de uitstoot van broeikasgassen en landgebruik. Zij toont aan dat de doelstellingen van het Poolse beleid, in 2010 7,5% van de elektriciteit te laten opwekken door biomassa, kan worden behaald door de combinatie van een emissieheffing of heffing op elektriciteit, in combinatie met een subsidie op biomassa of op bio-electriciteit.

In een uitbreiding van deze berekening beziet Ignaciuk de invloed van verstrakking van het beleid rond verhandelbare emissierechten (dat wil zeggen vermindering van de uitgegeven rechten). In deze berekeningen worden ook effecten op de rest van de economie zichtbaar. Vermindering van emissierechten stimuleert ook het gebruik van biomassa. Door toenemende inzet van biomassa stijgen de prijzen van landbouwproducten, maar veel minder dan verwacht (maximaal 2%), doordat geïnvesteerd wordt in landbouw en de productiviteit ervan toeneemt.

Wanneer deze berekeningen verder worden uitgebreid naar teelten voor zowel voeding als energieproductie, dan blijkt dit multi-gebruik van landbouwgewassen opnieuw een stimulerende werking te hebben op de inzet van biomassa. Of anders uitgedrukt: bij multi-gebruik van landbouwgewassen is minder stringent beleid nodig om eenzelfde aandeel van biomassa in de elektriciteitsproductie te halen. Maar ondanks de inzet van bijproducten uit de landbouw blijft het nodig specifieke biomassaplantages aan te leggen om de doelstellingen voor bio-electriciteit te halen.

Een ander multifunctioneel systeem voor biomassa is teelt van energiegewassen op vervuilde grond die niet meer geschikt is voor voedselproductie. Hierdoor wordt het halen van doelstellingen voor bio-electriciteit vergemakkelijkt, en bovendien kan zo'n energieteelt zelfs bijdragen aan het weer schoon maken van de vervuilde grond. De kosten van het maken van bio-electriciteit dalen bij gebruik van zulke gronden en er zal minder land vereist zijn voor biomassaplantages.

Een verdere stimulans voor biomassagebruik zal worden gevormd door het winnen van chemicaliën uit planten door bioraffinage, zoals blijkt uit verdere berekeningen. Bio- raffinage wordt vooral gestimuleerd door stringent milieubeleid – en door zo'n beleid wordt ook hergebruik van de biomassaproducten in een cascade bevorderd. Hiermee wordt productie van bio-elektriciteit bevorderd, maar een nog belangrijker effect is dat het gebruik van fossiele brandstoffen vermindert.

6.6 Multifunctioneel landgebruik en integratie van technische, economische en institutionele kenmerken

In het postdoconderzoek (2007) van Iris Lewandowski (Universiteit Utrecht) ging het om het berekenen van de economische waarde van multifunctioneel landgebruik (zoals schoonmaken van vervuilde grond door daarop energiegewassen aan te planten); aan de hand daarvan onderzocht zij welk potentieel er voor biomassa ligt in de Oosteuropese landen van de EU.

Lewandowski maakt eerst een classificatie van mogelijkheden van multifunctioneel landgebruik. Gewassen kunnen bijvoorbeeld worden aangeplant om het lokale milieu te verbeteren (voorkomen van erosie of het uitlekken van stikstof en dergelijke); of voor het klimaateffect (vermindering van uitstoot van CO₂ en N₂O); of ter bescherming van drinkwater; of om vervuilde grond of vervuild water schoon te maken; of om bufferzones aan te leggen; of voor recreatie; of voor de productie van vezels; of ter verbetering van de infrastructuur. Lewandowski inventariseert daarna welke gewassen voor deze functies in aanmerking komen en hoe door zulke aanplant functies met elkaar gecombineerd kunnen worden.

Om multifunctioneel landgebruik van de grond te krijgen is het natuurlijk vooral van belang of daarmee voldoende economische waarde wordt geschapen: of voldoende goederen worden geproduceerd waarvoor afnemers bereid zijn te betalen. Ze kwantificeert de mogelijkheden voor het schoonmaken van vervuilde grond door aanplant van wilg. De inkomsten bij dit multifunctionele landgebruik bestaan uit de netto opbrengst van de oogst, de kosten die de vervuiler anders had moeten maken voor de schoonmaak, en het

> *Multifunctioneel landgebruik kan boeren inkomsten opleveren, afhankelijk van tijd en kosten van reiniging van de grond*

> *Van de grassen geeft miscanthus goede resultaten; in koelere streken wilg en op vruchtbare grond ook suikerbiet en koolzaad, echter wel met gebruik van kunstmest en pesticiden*

> *Het biomassapotentieel voor Oost-Europa is theoretisch dekkend voor binnenlandse energieproductie en export, maar in de praktijk afhankelijk van de mate waarin de voedselvoorziening is veiliggesteld*

> *Veel is afhankelijk van efficiënte landbouwmethoden*

> *Onder gunstige omstandigheden is biomassa concurrerend met aardolie*

maatschappelijke nut van het opleveren van schoongemaakte gronden; daar staan extra kosten tegenover van de verwerking van verontreinigd wilgenhout. Het resultaat van de berekening is dat dit multifunctionele landgebruik inderdaad inkomsten oplevert voor de boer, maar dat deze sterk afhankelijk zijn van het inkomen dat van de grond kan worden behaald als deze eenmaal gereinigd is, én de tijd benodigd voor die reiniging.

Lewandowski onderzoekt verder welke gewassen de hoogste energieopbrengst geven, vooral als functie van de hoeveelheid toegediende kunstmest. Zij kijkt naar grassen met hoge opbrengst: miscanthus, rietgras en triticale. Hiervan leveren de laatste twee alleen voldoende opbrengst bij hoge stikstofgiften, wat ongunstig is voor het milieu. Daarom beveelt zij aan, de aandacht te richten op miscanthus. Maar in koelere streken wordt het beste resultaat in termen van energieopbrengst, en efficiency van stikstof- en landgebruik bereikt met de aanplant van meerjarige gewassen zoals wilg. Op vruchtbare grond scoren ook suikerbiet en koolzaad goed, echter op basis van hoge giften van kunstmest en pesticiden.

Samen met andere onderzoekers kijkt Lewandowski tenslotte naar het biomassapotentieel van Oost-Europa. Dit biedt goede vooruitzichten voor dekking van een groot deel van de binnenlandse energieproductie en de export naar de rest van Europa; maar de ontplooiing van dit potentieel is sterk afhankelijk van efficiencyverbetering in de landbouw als geheel. Want het leeuwendeel (ca. 85%) van de biomassa zal moeten komen van speciale aanplant – en hiervoor is alleen voldoende grond beschikbaar als de voedselvoorziening is veilig gesteld. Het potentieel voor multifunctioneel landgebruik blijkt nog beperkt. Nog een gegeven: naarmate land van betere kwaliteit kan worden gebruikt voor teelt van biomassa dalen de productiekosten – en ook dit geeft aan dat veel afhangt van efficiënte landbouwmethoden, want alleen onder deze voorwaarde komt vruchtbaar land vrij voor biomassateelt. Maar onder gunstige omstandigheden zal biomassa kunnen concurreren met energie uit aardolie.

6.7 Strategieën voor invoering van multi-product-systemen

Ook het proefschrift uit 2007 van Simona Negro (Universiteit Utrecht) gaat over biomassa, maar haar invalshoek is de innovatieleer. Zij probeerde de dynamiek van technologische innovatiesystemen te ontrafelen, aan de hand van voorbeelden van biomassatechnologieën.

Negro maakt gebruik van de benadering van Technological Innovation Systems (zie hoofdstuk 3) om succes en falen van biomassatechnologieën te verklaren.

Negro probeert te ontdekken welke 'innovatiemotoren' hebben gewerkt en welke niet, en welke lessen daaruit getrokken kunnen worden voor de toekomst. Daartoe catalogiseert zij gebeurtenissen, zowel uit interviews als uit berichtgeving, om te onderzoeken in hoeverre en in welke zin deze deel hebben uitgemaakt van een stimulerende of juist afremmende keten. Dit onderzoek verricht Negro voor vergassing en verbranding van biomassa in Nederland, en vergisting van biomassa in Nederland en Duitsland. Bij dit laatste onderwerp probeert ze te verklaren waarom vanuit een vrijwel gelijk uitgangspunt rond 1980 het resultaat zo verschillend is in 2005: duizenden biomassavergisters in werking in Duitsland, en slechts enkele tientallen in Nederland.

Rond vergassing van biomassa ontstaat in 1992 veel activiteit. Entrepreneurs (in de algemene zin van: initiatiefnemers) zien veel in deze technologie, ze krijgen geldverstrekkers mee en er ontstaat een circuit van kennisontwikkeling en informatieverstrekking. Maar deze elkaar versterkende factoren blijken in 1998 niet bestand tegen de remmende werking van de liberalisatie van de elektriciteitsmarkt (waardoor de elektriciteitsbedrijven niet meer willen investeren in risicovolle technologieën) en een verscherping van emissienormen waarvoor de technologie nog niet rijp blijkt te zijn. Eén groot project wordt afgeblazen, een ander groot project moet worden herzien en komt pas jaren later gereed. In het optimisme van de voorgaande jaren zijn veel partijen ervan uitgegaan dat de technologie al voldoende ontwikkeld is en daarom blootgesteld kan worden aan een traject van commerciële introductie, terwijl op één cruciaal aspect (zuivering van emissies) nog veel werk gedaan moet worden.

Negro schrijft: "Wil een opkomende technologie enig effect hebben, dan moet deze normaal gesproken een langdurig, onzeker en pijnlijk proces van *trial and error* ondergaan. In dit geval onderging slechts één project dit proces, alle andere projecten werden

- > **Voor een succesvolle implementatie van biomassatechnologieën moeten de verschillende functies van het technisch innovatiesysteem goed op elkaar in werken**
- > **Twee van de functies zijn extra van belang omdat hun afwezigheid de grootste barrière vormt voor een succesvolle brede toepassing van biomassatechnologieën; dit zijn (a) richting geven aan het zoekproces naar de nieuwe technologie door overheden en ondernemers en (b) het creëren van een markt (entrepreneurs)**
- > **De overheid moet langetermijnbeleid voeren**
- > **Het huidige energiebeleid richt zich te veel op financiële instrumenten, die uiteindelijk niet doorslaggevend zijn**
- > **Ondernemers moeten zich goed organiseren en verantwoordelijkheid nemen voor het geven van richting in het zoekproces, het delen en verspreiden van kennis, en samenwerking in het lobbywerk**

al beëindigd voor de eerste testperiode.” Er was dus een structurele frictie tussen de nog niet geheel rijpe fase van de technologie en de commerciële omgeving waaraan deze werd blootgesteld. Dit had kunnen worden voorkomen als de overheid een nichemarkt voor deze technologie had geschapen.

Ook bij verbranding van biomassa blijken obstakels op te treden. Tot 1998 zijn er veel initiatieven, aangedreven door het overheidsbeleid om uitstoot van CO₂ terug te dringen en de vraag naar groene stroom. Maar bij liberalisatie van de elektriciteitsmarkt kiezen de elektriciteitsbedrijven voor import van groene stroom, goedkoper dan verbranding van binnenlandse biomassa. Het kolenconvenant tussen overheid en elektriciteitssector én de instelling van de MEP-subsidie op productie van groene stroom zorgt daarna wel voor een opleving; maar deze richting gevende activiteit van de overheid blijkt wisselvallig, want de MEP-subsidie wordt eerst verminderd en daarna afgeschaft, waardoor lopende projecten op een laag pitje komen te staan en er geen nieuwe initiatieven meer worden ondernomen. (N.B. Negro beschrijft de situatie tot 2005; de invoering van de nieuwe subsidieregeling SDE – Stimulering Duurzame Energieproductie – valt later).

Bij biomassavergisting zijn de gebeurtenissen in Nederland nog dramatischer. Van alle zeven systeemfuncties die Negro onderscheidt (zie hoofdstuk 3), is er niet één die vanaf 1980 een voortdurende opbouw laat zien. Er zijn steeds terugkerende korte periodes waarin initiatieven worden genomen door entrepreneurs, maar hierdoor ontstaat geen positieve wisselwerking met andere systeemfuncties zoals uitwisseling van kennis of vorming van sterke belangenverenigingen. “Het systeem ontwikkelt nooit een kritische massa waarmee de technologische problemen kunnen worden overwonnen.” Op beslissende momenten wordt vergisting van biomassa niet gezien als methode van energieproductie, maar als oplossing voor het mestprobleem. Dat leidt bijvoorbeeld tot obstakels voor covergisting, waarbij mest en landbouwresten gezamenlijk worden vergist. Deze technologie is in het buitenland succesvol, maar wordt in Nederland tot 2004 tegengewerkt omdat er angst bestaat dat door toevoeging van landbouwresten aan mest het al grote mestprobleem nog zal worden vergroot.

In Duitsland daarentegen blijkt er een voortdurende positieve wisselwerking tussen systeemfuncties te hebben bestaan. Verschillen bestaan vooral in initiatieven ter verbetering van de technologie en in de opbouw van sterke organisaties die lobbyen voor vergisting van biomassa; deze twee factoren samen hebben tot gevolg dat er een gunstige en

stabiele subsidieregeling wordt ontworpen, waardoor weer een markt wordt geschapen en investeerders worden aangetrokken.

Critici kunnen tegenwerpen dat het succes van vergisting van biomassa in Duitsland dus alleen een kwestie is van geld. Maar Negro antwoordt dat een stabiele subsidiestroom alleen tot stand komt wanneer andere systeemfuncties goed worden vervuld, met name de ontwikkeling van een betrouwbare technologie en van sterke belangenorganisaties. Economische factoren geven niet de doorslag, wel het opbouwen van een goed functionerend innovatiesysteem.

Zo zou men ook kunnen wijzen op inconsistent overheidsbeleid waardoor in Nederland steeds weer veelbelovende initiatieven werden opgegeven. De tegenkant is dat Nederlandse entrepreneurs er niet in zijn geslaagd de technologische obstakels te overwinnen, in wezen omdat ze allemaal op een eilandje zaten. Er zijn géén tekenen van intensieve contacten tussen initiatiefnemers, die zo belangrijk zijn in de pionierfasen van een technologie en die bij succes uiteindelijk kunnen leiden tot de opbouw van een lobby.

Negro heeft tot slot een boodschap voor zowel de overheid als voor ondernemers. De overheid kan aan de lotgevallen van biomassatechnologieën en vooral van biomassavergisting zien dat zwalkend overheidsbeleid funest is voor de opbouw van een innovatiesysteem.

De overheid zou een langetermijnbeleid moeten ontwikkelen met ruimte voor experimenteren en leren. De wetenschap dat innovaties pas doorbreken als er een goed functionerend innovatiesysteem is ontwikkeld, zou kunnen betekenen dat de overheid actie onderneemt als bepaalde functies van dat systeem niet goed worden vervuld. "Dat vraagt dus om een systeemperspectief ten aanzien van technologieontwikkeling bij beleidsmakers in plaats van het lineaire innovatiemodel dat nu nog vaak de boventoon voert." Maar Negro spreekt ook de ondernemers aan. Goed georganiseerde ondernemers zijn succesvoller bij de overheid dan hun slecht georganiseerde collega's. Ondernemers dienen daarom ook verantwoordelijkheid te nemen voor het geven van richting in het zoekproces, het delen en verspreiden van kennis, en samenwerking in het lobbywerk.

*Voor de kust van IJmuiden ligt het Amaliapark met zestig wind-
turbines van Eneco met links het verzamel- en verdeelstation.*



7 windenergie

inleiding

Tijdens de looptijd van het Stimuleringsprogramma Energieonderzoek is er veel veranderd in de wereld van windenergie, een proces dat wij het beste kunnen omschrijven als volwassenwording. Tot het begin van deze eeuw wordt windenergie gezien als alternatieve energiebron: nodig voor reductie van de CO₂-uitstoot maar anders niet de vorm van energie waarvoor investeerders zouden kiezen. Maar halverwege dit decennium slaat de stemming om en in 2007 verklaart topman Ad van Wijk van succesbedrijf Econcern zelfbewust, in reactie op een in zijn ogen wéér krakkemikkige subsidieregeling (SDE): als de overheid nu eens niets bijzonders zou doen en alleen maar onze windparken op de Noordzee zou koppelen aan het elektriciteitsnet zoals ze dat ook doen met andere centrales, dan bouwen en exploiteren wij die turbines wel. Van Wijk weet een beetje waarover hij het heeft, hij is zelf gepromoveerd op windenergie.

windenergie

7.1 Stand van zaken in windenergie

Technische ontwikkeling De technologie van windturbines groeit in zo'n dertig jaar tijd tot wasdom en maakt zich helemaal los van zijn wortels in de vliegtuigbouw. De eerste oliecrisis van 1973 geeft de stoot tot het opnieuw ontwikkelen van methoden om energie te winnen uit wind. De beginjaren worden gekenmerkt door een chaotisch proces van vallen en opstaan. Geheel volgens de inzichten van de innovatietheorie wordt een veelheid aan technologieën uitgetest, niet alleen voor de rotor maar voor alle andere elementen: tandwielkast, generator, regeling van het toerental, mast etc. Interessante nieuwigheden als de molen met één wijk worden ontwikkeld en verdwijnen weer. Enige tijd spelen goede ideeën en intuïtie een grote rol bij de ontwikkeling. Wetenschap is nog niet van groot belang, het selectiemechanisme is *trial and error*.

Daarna komen de rekenprogramma's waarmee processen als lift en overtrek aan het rotorblad worden gesimuleerd, waarmee de invloed van vervorming van het blad en de variabiliteit van de wind kunnen worden berekend etc.

Er blijven slechts enkele technologieën over voor regeling van het toerental. Nieuwe materialen als epoxyhars maken een enorme schaalvergroting van de rotorbladen mogelijk. De vermogens van windturbines nemen daardoor meer dan evenredig toe, want de hoeveelheid geoogste windenergie is evenredig met het bestreken oppervlak en dus met het kwadraat van de rotorlengte. Bovendien maken langere masten hogere opbrengsten mogelijk als gevolg van de hardere wind op grotere hoogten. In de loop van de jaren verschuift het fabricageproces van ambachtelijk handwerk naar industriële productie. De windsector maakt zich eind vorige eeuw op om de sprong te wagen naar windparken op zee, waar meer ruimte is en waar meer energie kan worden geoogst.

Wisselvallig beleid In deze hele periode haalt de windsector groeicijfers van ruim 20% per jaar – wel op basis van subsidies. Elektriciteit uit wind kan nog niet concurreren met die uit conventionele elektriciteitscentrales. Maar de

kosten van windstroom dalen snel en er is een reëel vooruitzicht op het bereiken van een *break-even point* in 2010 à 2015 op plaatsen met veel wind – op land wat eerder dan op zee. Het vooruitzicht dat subsidies eindig zijn en dat aan het eind van die periode een klimaatvriendelijke energiebron is ontwikkeld en hopelijk ook een sterke industrie, is krachtig genoeg als motivator om de subsidiestroom (met horten en stoten) op gang te houden.

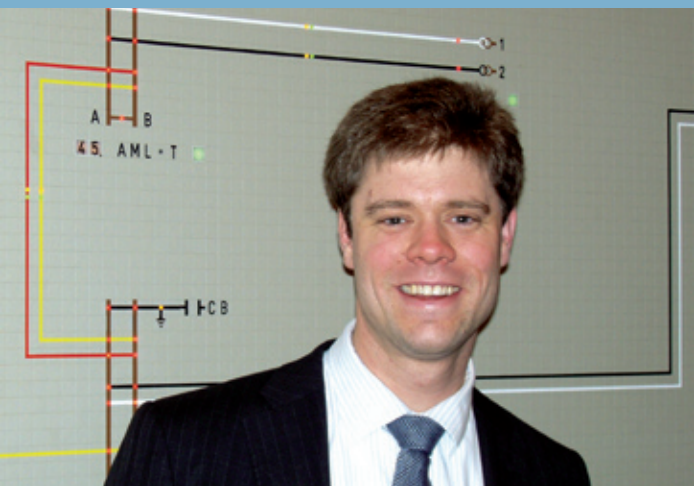
In Nederland ontkomt echter ook windenergie niet aan de wisselvalligheden van het beleid. Begin jaren '90 ligt het moment waarop de investeringen in Nederland achterblijven bij het peil benodigd om de nationale windindustrie te laten groeien. Overheid en grote investeerders als elektriciteitsbedrijven zijn er dan niet klaar voor om als motor te gaan fungeren. Nederlandse bedrijven verzwakken en gaan failliet of worden overgenomen door concurrenten. Het momentum verschuift naar Denemarken en later ook Duitsland en Spanje. Daar bevinden zich de grote vermogens en ook de sterke industrieën. Nederland wil ook wel windturbines neerzetten en ontwikkelt daarom een subsidieregeling (MEP), maar deze blijkt zó ruimhartig dat in 2005 minister Brinkhorst van de éne dag op de andere de subsidieregeling voor windparken op zee stopzet, een kunststukje dat anderhalf jaar later nog eens wordt herhaald door minister Wijn voor duurzame energie in het algemeen.

Volwassenwording bedrijfstak Bij gebrek aan een eigen windindustrie legt Nederland zich tot het begin van deze eeuw toe op kennisontwikkeling en dienstverlening. Vanuit deze sterkten wordt in 2005 wel Darwind opgericht, een bedrijf waarin Econcern in 2006 een controlerend aan-

deel neemt en dat zich uitsluitend richt op bouw en onderhoud van windturbines op zee.

Uiteraard kampt windenergie met de beperking dat er alleen stroom wordt geproduceerd wanneer het waait. Maar in de loop van de jaren is dit nadeel hanteerbaar gebleken. Om te beginnen zijn ook conventionele centrales niet 100% betrouwbaar of 100% van de tijd in werking, en om dit te ondervangen heeft men overcapaciteit gebouwd en een systeem ontwikkeld ter verzekering van de stroomlevering. Windenergie profiteert mede van deze maatregelen. Bovendien blijkt windenergie minder variabel te zijn dan men dacht (zeker als de productie over een groot gebied plaats vindt); en men kan de opbrengst van een windpark steeds beter voorspellen. Met die gegevens als uitgangspunt is het tegenwoordig veel beter dan vroeger mogelijk de bijdrage van windenergie aan de elektriciteitsvoorziening in te passen in het net en op geld te waarderen.

Op het moment van schrijven heeft windenergie zich in Europa ontwikkeld tot een volwaardige industrietak. In 2007 werd in Europa € 11,3 miljard geïnvesteerd in windturbines. In deze eeuw heeft de windindustrie 40% van het nieuw geïnstalleerde vermogen in de elektriciteitssector van de EU voor zijn rekening genomen (het totaal geïnstalleerde windvermogen in de EU eind 2007 was 56.000 MW), waardoor het aandeel van windenergie in de Europese elektriciteitsvoorziening nu 4% bedraagt.



Han Slootweg is sinds begin 2008 Manager Innovatie bij Essent Netwerk in Den Bosch. Hij ontving in 2007 de Hidde Nijland-prijs voor zijn onderzoek naar de netinpassing van windturbines. De Hidde Nijland-stichting reikt deze vierjaarlijkse prijs uit aan mensen jonger dan veertig jaar die een waardevolle bijdrage aan het vakgebied elektrotechniek hebben geleverd.

Han Slootweg

‘Inpassing windenergie hoeft geen probleem (meer) te zijn’

121

‘Vlak voor mijn promotie in het najaar van 2003 kwam ik in dienst van Essent Netwerk, waar ik me bezig hield met het beheer van elektriciteits- en gasnetten. Aanvankelijk speelde mijn promotieonderzoek daarin slechts een beperkte rol en viel ik vooral terug op mijn studie Elektrotechniek aan de TU Delft. Ik was veel bezig met klassiek ingenieurswerk rond de uitbreiding, vervanging en onderhoud van het regionale elektriciteitsnetwerk.

De elektriciteitswereld is enorm in beweging, onder andere vanwege de overdracht van het beheer over de regionale hoogspanningsnetten aan Tennet. De rol van energiebedrijven verandert. Sinds begin 2008 mag ik een nieuwe afdeling leiden – Innovatie – die over dit soort zaken nadenkt. Ik ga daarmee eigenlijk weer een beetje terug naar het onderzoek. De conclusie van mijn promotieonderzoek was dat windmolens met een variabel toerental beter geschikt zijn voor aansluiting op het net dan die met een vast toerental. Die laatste veroorzaken instabiliteit, bijvoorbeeld bij kortsluiting of bij het uitvallen van een nabije generator, omdat ze dan een grote hoeveelheid blindvermogen aan het net onttrekken. Met deze en vergelijkbare thema’s zal ik mij in de komende jaren weer volop bezighouden,



Het AIRE-team: v.l.n.r. Han Slootweg, Susanne Agterbosch, Martin Junginger en Erik Lysen

samen met mijn medewerkers. Ik werk daarbij ook samen met kennisinstituten en universiteiten. Voor het geven van cursussen aan mijn collega's hier bij Essent Netwerk, werk ik bijvoorbeeld weer samen met mijn vroegere collega Martin Junginger die destijds ook promoveerde binnen het deelprogramma AIRE. Ik acteer graag op dat grensvlak van kennisontwikkeling en praktijk, omdat beide samen op moeten gaan om succesvol te innoveren.

Het onderwerp van mijn proefschrift was eigenlijk voor de Nederlandse situatie destijds nog niet zo relevant. Het probleem speelt immers pas als je aanzienlijk veel windmolens hebt staan, zoals bijvoorbeeld in Duitsland, Denemarken en Spanje. Met de tijd zou dit probleem echter, ook gezien het regeringsbeleid, in Nederland ook ontstaan. Kort door de bocht zou je kunnen zeggen dat onderzoek als het mijne problemen met de inpassing van windenergie, zoals die met name in Denemarken ontstonden, in de Nederlandse situatie heeft voorkomen. Het mooie is dat ik nu in de documentatie over windturbines mijn eigen onderzoeksresultaten terug zie. Het ondankbare is natuurlijk dat het oplossen van een probleem meer waardering oogst dan het voorkomen ervan. Mijn onderzoeksresultaten hebben daarom in landen als Spanje, Duitsland en Denemarken meer aandacht getrokken dan in Nederland zelf.

Ik vind het enorm waardevol dat AIRE een interdisciplinair programma was. Op zijn minst hebben we als verschillende AIO's begrip gekregen voor elkaars onderzoeksgebied en benaderingswijze. Het is voor een promovendus heel vormend om niet alleen maar in je eigen kamertje te blijven zitten, maar te leren communiceren en samenwerken met anderen. Dit bevordert ook de toegankelijkheid van je eigen werk en uiteindelijk de disseminatie van de kennis die je hebt ontwikkeld. En daar heeft uiteindelijk de hele BV Nederland iets aan!

Wat betreft de energietransitie in Nederland zou ik willen dat de overheid wat consistentter was in haar prikkels en dat de subsidiëring van duurzame energie anders was geregeld. Geen MEP- of SDE-systeem, maar net als in Duitsland de steunbijdrage verdisconteren in het elektriciteitsstarief.'

Versnelde invoering van een duurzame elektriciteitsvoorziening in Nederland

Dit deelprogramma onder leiding van Erik Lysen (Universiteit Utrecht) had tot doel, toepassing van duurzame energiebronnen in hun samenhang te bezien, vooral in de elektriciteitsvoorziening. Daarbij werden institutionele, economische en maatschappelijke aspecten in de beschouwing betrokken. Verwacht werd dat met dit onderzoek het ingezette beleid zou worden ondersteund en mogelijk versneld. De deelnemende onderzoekers waren werkzaam bij de Universiteit Utrecht en de Technische Universiteit Delft, waarbij ‘supervisors’ afkomstig waren van ECN en de Universiteit Maastricht.

7.2 Duurzame energieproducten en hun marktpotentieel

In zijn proefschrift uit 2005 onderzocht Martin Junginger (Universiteit Utrecht) de vraag of de verwachte kostenontwikkeling van diverse technologieën, waaronder windenergie op land en op zee, het halen van de Nederlandse beleidsdoelstellingen voor duurzame elektriciteit mogelijk zal maken. In 2005 heeft Nederland als beleidsdoel dat in 2010 9% van de elektriciteitsvoorziening duurzaam zal zijn en in 2020 20%.

Jungingers analyse-instrument is de leercurve. Deze curve geeft aan hoe snel de kosten van een technologie dalen bij verdubbeling van de cumulatieve omzet. Vergroting van de omzet geeft de mogelijkheid tot ‘technologisch leren’ en dit vertaalt zich weer in vermindering van de kostprijs. Vaak wordt de steilheid van deze curve uitgedrukt in een percentage. Voor veel technologieën ligt deze waarde op ca. 90%, wat wil zeggen dat bij omzetverdubbeling de kostprijs daalt tot 90% van de uitgangswaarde. Door extrapolatie van de leercurve naar de toekomst kan worden geschat wanneer – afhankelijk van de toekomstige omzetgroei – de nieuwe technologie concurrerend wordt met conventionele technologieën. Dit veronderstelt wel dat er betrouwbare data zijn en dat de extrapolatie naar de toekomst verantwoord is – twee vragen waarmee Junginger zich ook bezig houdt maar die we hier niet zullen bespreken. Junginger past de leercurvebenadering toe op wind op land, wind op zee en biomassa (teelt/oogst en omzetting).

- > *Leercurve-berekeningen leren dat wind-energie op land, windenergie op zee en biomassa aanzienlijk kunnen bijdragen tot de duurzame energiedoelstelling voor 2020*
- > *Bij wind op land blijkt een aanzienlijke kostenvermindering te hebben plaats gevonden, wat voordelig kan uitpakken wanneer deze daling zich voortzet*
- > *Bij wind op zee ligt de zaak gecompliceerder, maar ook hier kan tot 2020 aanzienlijke winst worden behaald.*

- > *Technologisch leren (met kostenvermindering tot gevolg) – en dus ook de toekomst van de duurzame elektriciteitsvoorziening – is sterk afhankelijk van de mate waarin kennis wordt uitgewisseld tussen technologische projecten*
- > *Economische optimalisatie van duurzame elektriciteitswinning is ook afhankelijk van het toestaan van uitwisseling van groene stroom tussen de lidstaten van de EU*

Uit een eerste analyse blijkt dat windenergie op land, windenergie op zee en biomassa alle drie aanzienlijk kunnen bijdragen tot de doelstelling voor 2020. Bij wind op land blijkt een aanzienlijke kostenvermindering te hebben plaats gevonden, wat voordelig kan uitpakken wanneer deze daling zich voortzet. Bij wind op zee ligt de zaak gecompliceerder, aangezien alleen een beperkt deel van de kostenreducties het gevolg zal zijn van betere windturbines en windparken. Een groot deel (tot 80%) zal te danken zijn aan ontwikkelingen in andere technologieën zoals de verdere groei van wind op land, de ontwikkeling en het gebruik van specifiek ontworpen installatieschepen, het leggen van onderzeese kabels en de vermogenselektronica. Niettemin kan ook hier tot 2020 aanzienlijke winst worden behaald. Aan de hand van een analyse van winning van bosbouwresiduen voor energieproductie in Zweden toont Junginger vervolgens aan dat ook hierop de leercurveanalyse kan worden losgelaten. Het meeste moeite ondervindt hij met zijn methodiek bij het bestuderen van verwerkingmethoden van biomassa door verbranding in warmtekrachtinstallaties of wervelbedketels, en door kleinschalige vergisting tot biogas. Hij komt uiteindelijk tot de conclusie dat technologisch leren (met kostenvermindering tot gevolg) sterk afhankelijk is van de mate waarin kennis wordt uitgewisseld tussen technologische projecten. Is er geen uitwisseling, dan wordt ook nauwelijks voortgang geboekt.

Precies om deze reden is de toekomst van de duurzame elektriciteitsvoorziening sterk afhankelijk van de mate waarin binnen Europa wordt geprofiteerd van elkaars kennis door open uitwisseling. Op een periode van 15 jaar (2005-2020) kan dat volgens Junginger 1 €ct/kWh schelen (op 7 ct) met uiteraard grote gevolgen voor de mate waarin duurzame technologieën zullen doorbreken. Verder is het voor het doorbreken van duurzame elektriciteit van belang of deze vrij mag worden uitgewisseld tussen de lidstaten: zullen Nederlandse consumenten groene stroom van Poolse oorsprong mogen kopen? Het toestaan van zo'n uitwisseling betekent een economische optimalisatie van duurzame elektriciteitsopwekking en daarmee extra groei.

7.3 Verspreiding van duurzame energietechnologieën

Het proefschrift (2006) van Susanne Agterbosch (Universiteit Utrecht) concentreert zich op de positie van initiatiefnemers voor windenergieprojecten op land, en de omstandigheden die vanaf 1989 investeringsbeslissingen en het succes van projecten hebben bepaald. De centrale vraag was: “hoe en in welke mate hebben sociale en institutionele condities de opkomst en prestaties van ondernemers op de markt voor windenergie beïnvloed en welke lessen kunnen daaruit getrokken worden voor toekomstig windenergiebeleid?”

Agterbosch onderscheidt vier soorten initiatiefnemers bij windenergieprojecten in Nederland: kleine private investeerders (voornamelijk boeren), de elektriciteitssector (vooral de distributiebestedingen), windcoöperaties met een doorgaans idealistische inslag, en project-ontwikkelaars. Zij let vooral op de institutionele en sociale omgeving waarin deze partijen moeten werken. De institutionele omgeving wordt gevormd door (inter)nationale wetgeving, nota's, planprocedures en vergunningprocedures op het gebied van energie, ruimtelijke ordening en milieu. De sociale omgeving wordt bepaald door de manier waarop de procedures worden uitgevoerd, de belangen en visies van betrokkenen, en de sociale relaties tussen hen: samenwerking of concurrentie tussen investeerders, ontwikkelaars, nutsbedrijven, de netbeheerder, omwonenden, natuur- en milieuorganisaties, branche-organisaties en diverse overheden.

De bijdrage van elk van de vier groepen aan het succes (of falen) van de windenergie analyseert Agterbosch in drie perioden, duidelijk verschillend in de focus van het nationale energiebeleid en het kader dat hierdoor wordt geschapen voor windprojecten:

- energiemonopolisten (1989-1995): de wetgeving verplicht windbedrijven, hun elektriciteit te leveren aan het distributiebestedrijf dat daardoor een monopoliepositie inneemt
- ‘interbellum’ (1996-1997): in het nationale beleid worden voorbereidingen getroffen voor liberalisatie van de elektriciteitsmarkt; windenergie wordt niet meer gestimuleerd door subsidies maar door belastingaftrek
- vrije markt (1998-2004): producenten van windelectriciteit hoeven deze niet meer te verkopen aan het regionale distributiebestedrijf; vanaf 2001 is de markt voor groene elektriciteit geheel vrij.

De samenwerking tussen institutionele en sociale omgeving van windprojecten is vooral van belang op lokaal niveau. Door de manier waarop besluitvorming over windprojecten

> *De overheid richtte zich tot eind jaren '90 op investeringen in windenergie van de energiedistributiebestedingen en verkeek zich daarbij op het gebrek aan motivatie bij hen en op de problemen in de lokale politiek*

> *Het beleid zou succesvoller zijn geweest als de overheid zich had gericht op kleine investeerders en hun goede lokale contacten*

> *Dus: segmenteer de markt in verschillende ondernemerscategorieën en maak deze expliciet uitgangspunt in de beleidstheorie met betrekking tot duurzame energie*

> *Test de beleidstheorie met betrekking tot windenergie expliciet op lacunes of spanningen in sturing op verschillende overheidsniveaus*

> *Potentieelstudies van duurzame energie moeten niet alleen gaan over goede technische economische voorwaarden, maar ook over goede institutionele en sociale voorwaarden*

> *Er is een stabiel investeringsklimaat nodig, gebaseerd op deze sociale potentieelstudies*

> **Zorg voor een breed gedragen en goed gecommuniceerde verbintenis van betrokkenen aan de bouw van meer windturbines en windparken op nationaal niveau**

tot op heden is georganiseerd, heeft de gemeenteraad met zijn bevoegdheid tot het vaststellen van bestemmingsplannen veel invloed. Deze invloed is vaak remmend geweest voor projecten. Een gemeenteraad, zo schrijft Agterbosch, hoeft zich formeel niet te verantwoorden voor de beslissingen die ze neemt, waardoor 'emotionele' argumenten doorslaggevend kunnen zijn. Vaak vallen deze uit ten nadele van windprojecten, gedreven door bewoners die zich verzetten tegen horizonvervuiling. Maar soms vallen ze ook uit ten gunste van windenergie, bijvoorbeeld in agrarische gemeenten waar boeren in windturbines een extra bron van inkomsten zien.

De strategie van het ministerie van Economische Zaken is in de periode 1989-2004 steeds gebaseerd geweest op een uitgesproken, maar niet altijd correct beeld van de werkelijkheid, aldus Agterbosch. Tot eind jaren '90 meende EZ dat de sterkste partij om te investeren in windenergie werd gevormd door de distributiebedrijven. Deze brachten in opwekkingscapaciteit (MW) gemeten inderdaad tot en met 1997 de helft van de windprojecten tot stand. Maar het aantal projecten van kleine investeerders was toen al veel groter. Vanaf 1998 zakt de bijdrage van distributiebedrijven weg. EZ heeft zich, aldus Agterbosch, verkeken op het gebrek aan motivatie bij distributiebedrijven bij een activiteit die niet tot hun *core business* behoorde, en op de problemen waar deze als buitenstaanders tegenop liepen in de lokale politiek. Ze stelt daar de gedrevenheid van kleine investeerders en hun goede lokale contacten tegenover. Het beleid had met andere woorden méér kunnen bereiken als de landelijke overheid oog had gehad voor het grotere vermogen van de private sector om projecten tot een goed einde te brengen. Vanaf 1998 zijn de omstandigheden voor de private sector verbeterd en komt het merendeel van de projecten uit deze hoek, voornamelijk van de opkomende projectontwikkelaars.

Agterbosch beveelt aan dat het beleid geworteld wordt in een analyse van het vermogen van groepen initiatiefnemers om projecten voor elkaar te krijgen. Tegenstrijdigheden tussen nationaal beleid en plaatselijke sociale verhoudingen zouden meer aandacht moeten krijgen. Deze visie van de overheid zou in brede kring ontwikkeld en uitgedragen moeten worden. Potentieelstudies zouden in de toekomst niet alleen meer moeten letten op goede technisch-economische voorwaarden voor projecten maar ook op goede institutionele en sociale voorwaarden. En tenslotte zou het beleid moeten zorgen voor een stabiel investeringsklimaat, gebaseerd op deze sociale potentieelstudies.

7.4 Technische aspecten van integratie op grote schaal van duurzame energiebronnen in het Nederlandse elektriciteitsnet: invloed van duurzame bronnen op de dynamica van het elektriciteitssysteem

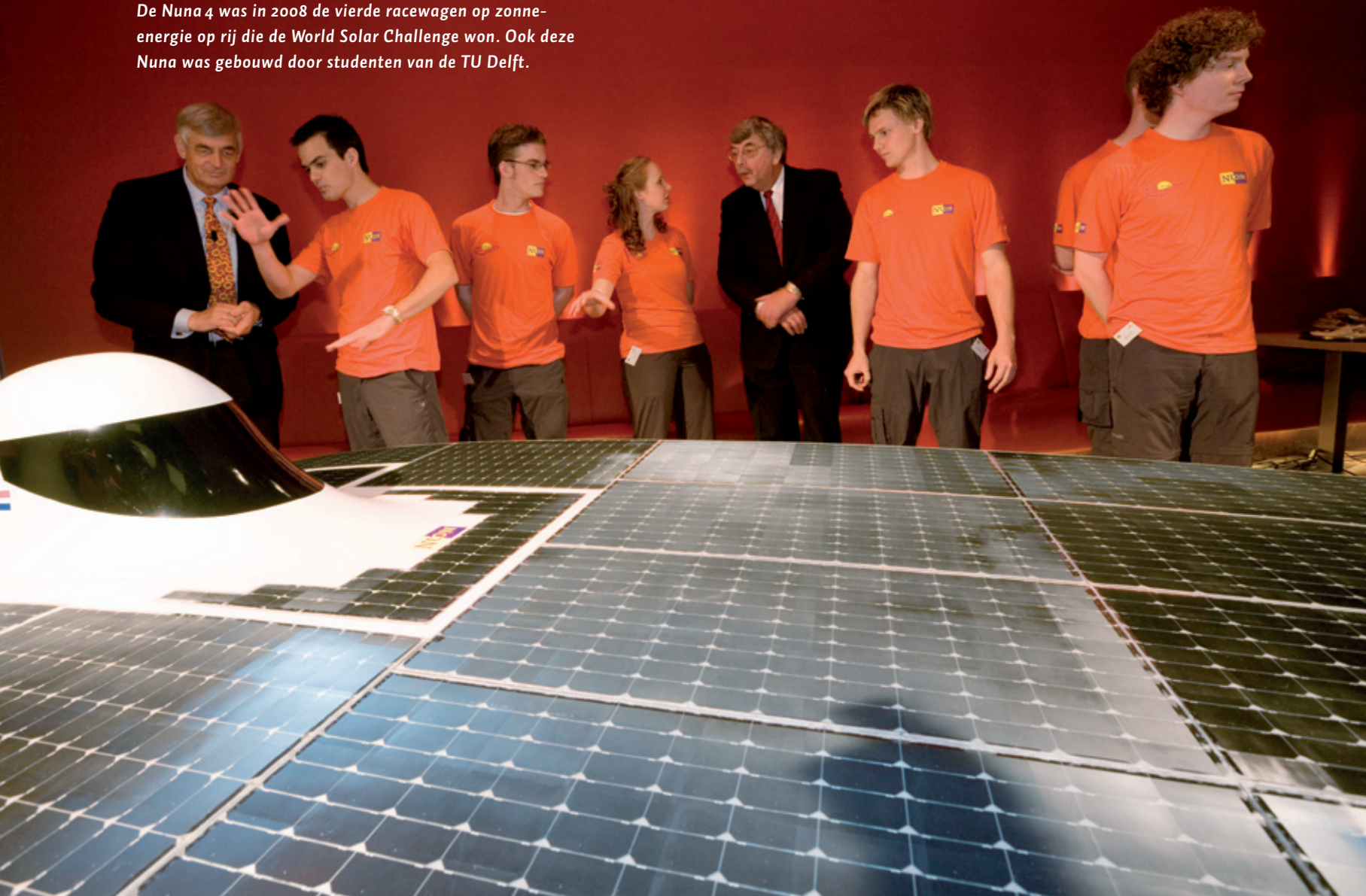
Het proefschrift uit 2003 van Han Slootweg (TU Delft) behandelt een technisch aspect van de inpassing van windenergie in het elektriciteitsnet, namelijk de invloed van windturbines op de kortetermijnstabiliteit van het net.

De kortetermijnstabiliteit van het net is de mate waarin het net na een verstoring weer een stabiele toestand kan bereiken. Zulke verstoringen kunnen bijvoorbeeld kortsluiting betreffen, afschakeling van verbindingen, veranderingen in de opwekking door afschakeling van generatoren, en verandering van belastingen. Ook verandering van het toerental van generatoren is zo'n verstoring. Elektriciteitsnetten zijn zó ingericht dat zij na een verstoring in principe binnen zeer korte tijd terugkeren naar een stabiele situatie, maar bij extreme verstoringen bestaat de kans dat zo'n stabiele situatie niet meer wordt bereikt en dat (een deel van) het net afgeschakeld wordt.

Windturbines gebruiken andere typen generatoren dan de direct aan het net gekoppelde synchrone generatoren van vrijwel alle conventionele centrales en kunnen daarmee onverwachte effecten hebben op de stabiliteit van het net. Slootweg vindt bij windturbines met een variabel toerental vrijwel geen risico's voor deze stabiliteit, maar wel bij turbines met een vast toerental. De oorzaak hiervan is dat deze windturbines in verstoorde situaties blindvermogen uit het net opnemen waardoor herstel van de netspanning wordt bemoeilijkt. Slootweg onderzoekt ook een ander soort stabiliteit van het net: de zogenaamde klein-sigitaal stabiliteit, die juist door direct aan het net gekoppelde synchrone generatoren kan worden bedreigd. Zoals verwacht kon worden, vindt hij geen negatieve effecten van windturbines op deze grootheid.

- > *Opname van windparken in een grootschalig elektriciteitsnet heeft technisch geen probleem meer te zijn*
- > *Er zijn oplossingen voor handen daar waar windturbines tot problemen aanleiding kunnen geven*
- > *Grootschalige toepassing van windenergie komt een stapje dichterbij*

De Nuna 4 was in 2008 de vierde racewagen op zonne-energie op rij die de World Solar Challenge won. Ook deze Nuna was gebouwd door studenten van de TU Delft.



8 **zonne-**energie

inleiding

130

Van alle duurzame energiebronnen heeft zonne-energie verreweg de grootste potentie. De winbare hoeveelheid energie is vele malen groter dan die van wind, biomassa en waterkracht tezamen. Zonne-energie is wereldwijd beschikbaar, natuurlijk meer in zonnige streken dan daar buiten, maar de jaaropbrengst verschilt tussen verschillende plaatsen ter wereld niet meer dan een factor drie. Het product is warmte of elektriciteit, en daardoor geschikt voor vele toepassingen.

De belangrijkste manier om zonne-elektriciteit te winnen is met zonnecellen, die zonlicht direct omzetten in stroom. In vakkringen heet dit fofovoltaïsche zonne-energie, afgekort als PV, van PhotoVoltaic. De hoge verwachtingen over zonne-elektriciteit verduisteren soms het zicht op de prestaties die nu al worden geleverd door apparaten voor zonnewarmte. In energieopbrengst gemeten, produceren zonnecollectoren wereldwijd tienmaal zo veel warmte als elektriciteit.

zonne-energie

8.1 Stand van zaken in zonne-energie

Zonnestroom (PV) Zonnecellen hebben als groot voordeel dat ze zowel kleinschalig als grootschalig stroom kunnen leveren. Deze eigenschap, in combinatie met het gegeven dat zonnestroom overal ter wereld winbaar is, maakt PV heel geschikt voor ontwikkeling van afgelegen landelijke gebieden. Er zijn verder geen bewegende delen en opwekking van zonnestroom is geluidloos; daarom zijn zonnecellen ook geschikt voor toepassing in de stad. Het ruimtebeslag is beperkt, doordat zonnestroom kan worden geïntegreerd in gebouwen en in infrastructuur zoals dijken, geluidswallen en weglichamen. Dit zijn allemaal grote voordelen. En misschien niet onbelangrijk: zonnestroom heeft een breed maatschappelijk draagvlak. Tegenover al deze voordelen staat eigenlijk maar één nadeel: zonnestroom, in combinatie met opslag voor stroomlevering 's nachts, kan nog niet financieel concurreren met elektriciteit uit het net. Maar de kostprijs van zonne-energie daalt, door groei van de omzet in combinatie met technologische ontwikkeling, en er is een redelijke verwachting dat over ca. 10 jaar (2015 à 2020) een kWh zonnestroom net zo duur zal zijn als een kWh voor huishoudens uit het elektriciteitsnet – met verdere daling van de kostprijs daarna. Die verwachtingen zijn gebaseerd op ervaring bij de ontwikkeling van andere technologieën én met de prijsontwikkeling van zonnestroom tot nu toe.

Vanaf 1976 daalt de prijs van zonnepanelen met 20% bij elke verdubbeling van de cumulatieve omzet. Prijsdalingen vinden niet alleen plaats bij zonnepanelen zelf, maar ook bij andere systeemcomponenten en bij installatie. In de wetenschap dat de technologische research nog vele beloften inhoudt, is de verwachting gerechtvaardigd dat de prijsdaling voorlopig zal doorzetten.

Zonne-energie groeit voorlopig dus met behulp van subsidies – maar in niches zijn er ook rendabele toepassingen, vooral op plaatsen waar het aanleggen van een elektriciteitsnet te duur zou worden: boeien, verkeerssignalering, wegverlichting op afgelegen plaatsen etc. Volgens opgave van de industrie is momenteel al ca. 30% van de omzet commercieel. Met het bereiken van het *break-even point* met huishoudelijke elektriciteitsvoorziening worden natuurlijk weer nieuwe markten open gelegd, met nieuwe omzetgroei en verdere prijsdalingen als verwacht gevolg.

Ook zonnestroom heeft te lijden gehad onder wisselvallig Nederlands subsidiebeleid. De royale EPR (energiepremieregeling) werd in 2003 buiten werking gesteld. Daarna heeft het tot 2008 geduurd voor er weer stimuleringsmaatregelen voor zonnestroom van kracht werden. Vanzelfsprekend was de industrie zeer ongelukkig met de wisselende perspectieven, die in 2003 zorgden voor een ware hausse en daarna een enorme terugval. Gelukkig was het beleid in het buiten-

land stabiel, zodat de bedrijfstak is blijven groeien. PV boekt wereldwijd jaarlijkse groeicijfers van zeker 20%; tussen 2000 en 2007 bedroeg de jaarlijkse groei zelfs 40%. Eind 2007 was er over de hele wereld voor 10.600 MW aan zonnecellen in werking, waarvan ruim 4.000 MW in Duitsland dat daarmee de vruchten plukt van een stabiel en geneus beleid. Nederland herbergt enkele sterke industrieën, en het Nederlandse onderzoek op het gebied van zonnecellen en complete systemen wordt gerekend tot de wereldtop.

Warmtecollectoren en CSP De wereldproductie van energie in de vorm van zonnewarmte ligt in de buurt van die van windenergie. China en Taiwan zijn wereldleiders (64% van de markt), op respectabele afstand gevolgd door Turkije, Duitsland, Japan en Israël. Per hoofd van de bevolking is het gebruik van zonnewarmte het hoogst in Cyprus en Israël. Het merendeel van de zonnewarmte wordt gebruikt voor het maken van warm water in huishoudens, industrieën en de land- en tuinbouw. Daarnaast is er een flinke markt voor verwarming van woningen, gebouwen en zwembaden (het laatste vooral in de VS). Met zonnewarmte kan weer elektriciteit worden gemaakt; deze technologie wordt vaak aangeduid als *Central Solar Power* of CSP. Hierbij wordt de zonnestraling geconcentreerd door een vloeistof (water of een olie) te verhitten tot hoge temperatuur, waarmee elektriciteit wordt geproduceerd. De meest eenvoudige technologie is die waarbij water wordt verhit, waarna de stoom door een turbine wordt gevoerd. Dit systeem wordt toegepast in de tot nu toe enige Europese centrale bij Sevilla: spiegels concentreren het zonlicht in een watervat boven in een toren. De centrale heeft momenteel een vermogen van 11 MW en

wordt verder uitgebreid. Maar de meest toegepaste technologie is die waarbij zonlicht wordt geconcentreerd in trogvormige parabolische spiegels. In het brandpunt van de trog loopt een buis met een vloeistof die wordt verhit tot ca. 4000 C, waaruit elektriciteit wordt gewonnen. Deze technologie wordt gebruikt in de oudste grootschalige centrale SEGS in de Mojave woestijn in Californië (354 MW) en in de meer recente Nevada Solar One (64 MW). Op het moment van schrijven wordt gebouwd aan een extra 437 MW aan CSP-centrales in Spanje (inclusief uitbreiding van Sevilla), en 40 MW in Algerije en Marokko. In de VS zijn verder plannen aangekondigd voor 3.500 MW aan CSP-centrales, en in Spanje nog eens voor 1.300 MW. Hoewel de omvang van de CSP-industrie nog lang niet vergelijkbaar is met die van PV, is de belangstelling voor deze vorm van elektriciteitsopwekking duidelijk groeiend. In tegenstelling tot zonnecellen vereisen zonnewarmtecentrales echter een vrijwel onbewolkte hemel met hoge instraling van de zon. In het Zuidwesten van de VS heeft CSP het voordeel dat elektriciteit vooral wordt geproduceerd op momenten van de piekvraag, namelijk overdag wanneer de airconditioning op vol staat. Vraag en aanbod liggen dicht bij elkaar, zowel in ruimte als in tijd. Om Europa echter van stroom uit CSP te voorzien, zoals enthousiaste plannenmakers voorstellen, moeten kabels met een enorme capaciteit worden gelegd uit de zonnigste streken van het Middellandse Zee-gebied en uit de Sahara naar de bevolkingscentra in Midden- en West-Europa. Of dat zal gebeuren, hangt af van de prijsontwikkeling van CSP in vergelijking met zijn concurrenten, en van de mate waarin grote elektriciteitsbedrijven of zelfs overheden de risico's van zulke grootschalige projecten aandurven.



Boelie Elzen is van huis uit elektrotechnisch ingenieur en werkt sinds 2008 als onderzoeker bij de Animal Science Group van Wageningen Universiteit en Research Centrum. Net als eerder houdt hij zich hier bezig met de socio-technische aspecten van systeeminnovaties.

Boelie Elzen

Zoeken naar nieuwe verbindingen tussen verschillende werelden

133

‘De twee projecten die ik voor het Energieonderzoekprogramma heb uitgevoerd, vertegenwoordigen twee uitersten. Aan de ene kant heb ik me – op macroniveau – beziggehouden met de methode van de socio-technische scenario’s. Dit blijkt een productief instrument te zijn om inzicht te krijgen in maatschappelijke veranderingen rond de implementatie van duurzame energieopties. Hoofdpunt is dat technologische vernieuwing ook institutionele veranderingen en een andere manier van omgaan met energie door gebruikers meebrengt. We hebben hierin geleerd van het verleden. In andere scenariomethoden bestaat weinig oog daarvoor.

Het andere project was het ontwikkelen van een draadloze computermuis op zonne-energie. Dat speelt zich juist af op microniveau: het gaat om één klein apparaatje. Het mooie is dat ik hierdoor feeling heb gekregen voor dat wat ik anderzijds op macroniveau bestudeer: het samengaan van technologie en gedrag. Onze gebruikers met de zonnemuis laten zien dat je mensen kunt verleiden om duurzaam



De Sole Mio, prototype van de draadloze muis op zonne-energie.

te handelen, zeker als je dit duurzame gedrag als het ware al in het ontwerp 'meebakt'. Dat noemen we in de innovatiewetenschap 'scripts': het apparaat 'dwingt' de gebruiker als het ware om het gewenste gedrag te vertonen.

De lol van beide projecten zit voor mij in de leerlessen voor zowel de wetenschap zelf als voor het beleid en de innovatiepraktijk. Wat je nog steeds overal ziet, is een te eenzijdige focus op technologie. Onderzoek waarin bèta- en gammaken-nis samengaan, levert inzichten op die je anders niet verkregen zou hebben. Wat je ervan leert, is dat je er nooit bent met alleen maar een mooi technologisch plaatje, maar dat er hele werelden overheop raken. Je zou alle duurzame energieopties op deze manier moeten doorlichten: wat gebeurt er maatschappelijk allemaal bij invoering ervan? Maar zowel in de onderzoekswereld als in Den Haag is het moeilijk om ertussen te komen. Veel tijd en geld gaat nog altijd naar bètaonderzoek. Bovendien ontbreekt het aan lef. Wat me wel hoop geeft, is dat ik steeds meer domeinen naar elkaar toe zie groeien. Ik heb bijvoorbeeld ook onderzoek gedaan naar de 'Kas als Energiebron', waar voedselvoorziening en energie elkaar overlappen. Mijn huidige werk betreft vooral de veehouderij. Daar wordt geëxploreerd hoe verduurzaming in de stal gepaard kan gaan met nieuwe energieopties, zoals vergisting en vergassing van mest. Vanuit dierenwelzijnsoptiek is de weidegang van koeien een belangrijk thema, dat leidt tot radicale concepten als een wei met een dak erboven. Wellicht biedt zo'n concept ongekende mogelijkheden voor toepassing van PV! Dat levert dan wel weer problemen op met ruimtelijke ordening, maar het centrale punt is dat je door verschillende zaken aan elkaar te knopen tot wezenlijke andere oplossingsrichtingen kunt komen. Het uitdagende van de domeinen die elkaar gaan overlappen, is dat je met veel verschillende belanghebbenden te maken hebt, die allemaal hun eigen taal spreken. Je hebt dan mensen nodig die de verbinding kunnen maken. Ik zou er groot voorstander van zijn als er meer van dit soort praktijkexperimenten zouden worden georganiseerd. En dan liefst ook nog met een goede monitoring en evaluatie, want daar is tot nu toe te weinig aandacht voor geweest. Volgens mij vergeten mensen wel eens dat pilots er vooral zijn om van te leren.'

SYN-energy: toepassing van combinaties van zonnecellen en energieopslag in consumentenproducten

De bijdrage van het Stimuleringsprogramma Energieonderzoek aan de bevordering van zonne-energie gaat over een heel specifiek probleem. In het deelprogramma SYN-energy, dat geleid wordt door Han Brezet (TU Delft) draait het allemaal om het optimale ontwerp van gebruiksvoorwerpen op zonnecellen. Zonder een goed ontwerp zullen deze producten niet kunnen doorbreken. Aan de speurtocht naar de voorwaarden voor goede ontwerpen, zowel voor de gebruiker als voor de industriële vormgever en de elektrotechnicus, was dit deelprogramma gewijd. De deelnemende onderzoekers zijn afkomstig van ECN en van de universiteiten in Delft, Utrecht en Twente. Het programma wordt in 2009 afgerond.

8.2 Elektrotechnisch ontwerp van producten met integratie van zonne-energie en energieopslag

Het proefschrift (2006) van Sioe Yao Kan, een man met een ruime ervaring in industrieel ontwerp, behandelt het optimale ontwerp van gebruiksartikelen op zonne-energie, vooral vanuit een elektrische optimalisatie. Hij schreef voor dat doel een speciaal programma PowerQuest en ontwikkelde ook een maat om aan te geven in hoeverre de elektrische onderdelen van het apparaat op elkaar aansluiten, de *Figure of Matching*.

Tijdens zijn research ontdekt Kan dat standaardspecificaties van bijvoorbeeld zonnecellen niet voldoende informatie geven om voor gebruiksvoorwerpen een *Figure of Matching* aan te geven, onder meer door de andere omstandigheden van belichting binnenshuis. Om goede berekeningen voor consumentenproducten mogelijk te maken, moeten de standaardspecificaties worden uitgebreid. Het idee van de onderzoeker om zonnecel en batterij met elkaar te integreren door de anode van een lithium-ion batterij van silicium te maken en deze te gebruiken als één kant van de zonnecel, wordt al in de looptijd van het onderzoek in vele onderzoekscentra toegepast.

- > *Ontwerpers die draadloze consumentenproducten met zonnecellen willen maken, kunnen met het programma PowerQuest leren hoe ze de verschillende onderdelen van de energieketen op elkaar kunnen afstemmen voor het beste resultaat*
- > *PowerQuest berekent het benodigde PV-vermogen voor het gebruik van een specifiek apparaat; ook kan het, in de omgekeerde richting, als de energievraag bekend is, de benodigde PV-oppervlakte berekenen*
- > *PowerQuest wordt geschikt gemaakt voor gebruik door ontwerpers die hiermee ontwerpverbeteringen kunnen doorvoeren*
- > *Consumenten profiteren doordat ze efficiënter werkende producten krijgen, die beter op hun gebruik zijn afgestemd*

Haken en ogen aan consumenten-producten op zonne-energie

Met zonnecellen kunnen in principe veel consumenten-producten worden uitgerust, van zakrekenmachines (waar zonnecellen al standaard zijn) tot mobiele telefoons en laptops. Maar de combinatie van energielevering door de zonnecel en energievraag bij het gebruik levert een probleem op van onderlinge optimalisatie. Bij de zakrekenmachine op zonnecellen is dit probleem vrijwel afwezig, want om het apparaat te laten werken heeft de gebruiker licht nodig, welk licht tegelijkertijd nodig is om het schermje te kunnen aflezen. De voorwaarden voor toepassing door de gebruiker en levering van energie zijn dezelfde, waardoor geen energieopslag nodig is als tussenschakel. Maar zodra de tijdstippen van opladen en gebruik gaan verschillen, moet er een vorm van energieopslag worden tussengeschateld en dit veroorzaakt een afstemmingsprobleem.

Aan de kant van de zonnecel moet ermee rekening worden gehouden dat het opladen van een mobiele telefoon of laptop vaak binnenshuis zal gebeuren – en binnenshuis is niet alleen minder licht, het licht heeft ook een ander spectrum dan buitenshuis, iets waarmee bij de specificatie van de zonnecel moet worden rekening gehouden. Aan de kant van de energieopslag moet in rekening worden gebracht dat ontlading door het gebruik in pieken plaats vindt. En ten derde is er een probleem van

industriële vormgeving. Het is bekend dat het succes van consumentenproducten kan staan of vallen met een aantrekkelijke vormgeving. Hoe ligt dit bij gebruiksproducten op zonne-energie? Moet voor een aantrekkelijke vormgeving de zonnecel bijvoorbeeld op een gekromd oppervlak kunnen worden aangebracht (terwijl bij de huidige productiemethoden alleen vlakke cellen kunnen worden gemaakt)? Dan moet in de ontwikkelingslijn van zonnecellen deze eis als specificatie worden meegegeven. In principe zijn gebruiksartikelen op zonne-energie erg aantrekkelijk. Ze verbreken immers de afhankelijkheid van het elektriciteitsnet bij de gebruiker. Mobiele telefoons op zonne-energie kunnen daardoor blijven werken op reis of bij stroomstoringen. Veel gebruikers van mobiele telefoons en laptops ergeren zich eraan dat de batterij steeds moet worden opgeladen, en een apparaat dat zich voortdurend herlaadt met zonlicht lijkt daardoor op voorhand goede kansen te hebben. Wanneer voeding met zonne-energie het gebruik van batterijen vervangt (bijvoorbeeld bij *discmans* of draadloze computermuizen), is het door de hoge prijs van stroom uit batterijen ook mogelijk dat deze producten gewoon commercieel in de markt kunnen worden gezet, zonder enige subsidie. Als laatste voordeel kunnen we noemen dat bij goede integratie van onderdelen energie wordt bespaard.

8.3 Elektrotechnisch ontwerp en levenscyclusanalyse van gebruiksartikelen op zonnecellen

Het promotieonderzoek van Nils Reich (op het moment van schrijven bijna afgerond) richt zich specifiek op rekenmodellen voor de opbrengst van zonnecellen die zijn geïntegreerd in een product. Deze modellen zouden onder andere bruikbaar zijn voor productontwerpers. Reich ontwikkelde een methode waarmee ontwerpers met behulp van *Computer Aided Design-software* (CAD) ook de energieopbrengst kunnen bepalen van zonnecellen die op een bepaald oppervlak van het product zijn bevestigd. Het voordeel hiervan is dat de ontwerpers hun vertrouwde software kunnen gebruiken en daarmee direct inzicht krijgen in de haalbaarheid van een voeding met zonnecellen.

Om deze modellering mogelijk te maken, is ook gemeten aan de opbrengst van commercieel beschikbare zonnecellen bij de lage lichtniveaus waaronder productgeïntegreerde zonnecellen vaak moeten functioneren. Hierbij is samengewerkt met ECN en de zonnecelgroep aan de Universiteit Utrecht. De industrie bleek grote belangstelling te hebben voor deze benadering, zodat bij de metingen uiteindelijk 120 verschillende typen cellen van 18 fabrikanten konden worden betrokken. Uit vergelijking van de metingen met modellen is gebleken dat op basis van een beperkt aantal metingen het rendement van een zonnecel over een heel breed gebied van instalingsintensiteiten kan worden voorspeld. Verdere onderdelen van het onderzoek van Reich en zijn begeleiders Erik Alsema en Wilfried van Sark hebben betrekking op de kosten en baten van toepassingsgeïntegreerde zonnecellen in termen van geld, energiegebruik en milieubelasting. Een uitbreiding hiervan is een levenscyclusanalyse van gebruiksvoorwerpen, energiebronnen en batterijen.

Dit alles leidt tot de ontwikkeling van een rekenmodel waarmee energievraag en -aanbod goed op elkaar afgestemd kunnen worden. Vele omstandigheden kunnen in dit model worden betrokken zoals gebruikersintensiteit, belichting, type zonnecel, type batterij etc. Dit vergemakkelijkt de berekening voor de industriële ontwerper enorm zonder de natuurkundige aspecten te verwaarlozen.

- > **Productontwerpers kunnen met hun eigen ontwerpsoftware ook bepalen of een voeding met zonnecellen voor hun product haalbaar is**
- > **Van verschillende typen zonnecellen is berekend wat het rendement is over een breed gebied van instalingsintensiteiten (ook lage lichtniveaus)**
- > **Bekend is wat de kosten en baten zijn van geïntegreerde zonnecellen in geld, energiegebruik en milieubelasting; een uitbreiding hiervan is een levenscyclusanalyse van gebruiksvoorwerpen, energiebronnen en batterijen**
- > **Er is een rekenmodel beschikbaar voor het afstemmen van energievraag en -aanbod, dat ook aspecten als gebruikersintensiteit, belichting, type zonnecel, type batterij en dergelijke verwerkt**

8.4 Selectie en ontwerp van consumentenartikelen op zonne-energie'

- > **Gebruikersonderzoek met een prototype van een draadloze PC-muis op zonne-energie leert dat zo'n product alleen een marktsucces kan worden als het gemakkelijk in het gebruik, mooi en niet veel duurder is dan een gemiddelde draadloze muis**
- > **De PC-muis is niet voor iedereen interessant, maar kan bij gebruik door 'pioniers' wel een grotere groep gebruikers aantrekken**
- > **Fabrikanten zullen wellicht meer interesse krijgen in consumentenproducten op zonne-energie**

In het post-doc project onder leiding van Boelie Elzen (Universiteit Twente, vrijwel afgerond) is de kennis uit beide voorgaande projecten gebruikt bij ontwerp en ontwikkeling van een gebruiksvoorwerp dat zijn energie betreft uit zonnecellen.

In de eerste fase van dit project wordt de keuze gemaakt voor het apparaat dat ontwikkeld gaat worden. In principe kan zonne-energie worden gebruikt bij een grote hoeveelheid apparaten in het huishouden en op kantoor, dus waar te beginnen? In de literatuur zijn methodes te vinden voor zulke keuzeprocessen, maar deze blijken bij nader inzien niet goed toepasbaar op dit project. Daarom ontwikkelen de onderzoekers een eigen methode. Via een sterkte/zwakte-analyse komen ze tot de conclusie dat het te ontwikkelen apparaat goed moet scoren op drie gebieden: onafhankelijkheid van het elektriciteitsnet, betrouwbaarheid en kosten. Uit een lijst van dertien mogelijk interessante producten resulteert tenslotte een verrassende keuze: de computermuis op zonne-energie.

De onderzoekers schrijven op de website van NWO: "Toen we voor de eerste keer deze keuze bespraken met de leden van klankbordgroep waren deze wat teleurgesteld; ze hadden liever gezien dat we met meer 'verrassende' kandidaten waren gekomen. Hoewel we moeten toegeven dat we geen 'trefzekere' toepassing konden vinden, vonden we toch dat onze keuze interessante mogelijkheden bood binnen ons project. Dit werd bevestigd door onze gesprekken met potentiële gebruikers. Hoewel een computermuis op het eerste gezicht een beetje saai is, kwamen onze gesprekspartners met allerlei voor toekomstige gebruikers interessante aspecten."

Bij het ontwerp van een radicaal nieuw product als een 'zonnemuis' worden gebruikers in een vroeg stadium bij het ontwerpproces betrokken. Hierdoor kunnen ontwerpers zo veel mogelijk rekening houden met gebruikerswensen. Aan de andere kant kunnen zij onderzoeken of de gebruikersvoorschriften, de zogenaamde scripts die bij deze producten horen, wel werken in de praktijk. De boodschap aan de gebruiker is: 'u heeft een muis die het altijd doet mits u hem goed behandelt'. Die goede behandeling kan bijvoorbeeld betekenen dat de gebruiker de muis soms in de vensterbank moet leggen om hem te laten 'zonnebaden'. Door de samenwerking van gebruikers en ontwerpers kunnen de laatste zien of het script in de praktijk werkt.

Deze samenwerking heeft de gestalte gekregen van interviews met potentiële en echte gebruikers, van ‘observaties’ van muisgebruik, en verder van groepsgesprekken over de zonnemuis, de integratie van zonnecellen in gebruiksvoorwerpen in het algemeen, en de randvoorwaarden die daarbij zullen gelden.

Uit het onderzoek komt dat de meeste proefpersonen de zonnemuis een interessant product vinden, dat ze zouden kunnen kopen als hij makkelijk is in het gebruik en er goed uitziet. De prijs zou niet meer dan 10% boven die van vergelijkbare muizen moeten liggen, milieuvordelen komen op de tweede plaats. Sommige deelnemers zijn sceptisch omdat ze denken dat het voor veel gebruikers te veel gevraagd is, hun muis van tijd tot tijd een zonnebad te geven. Aan de andere kant zijn deelnemers de vele adapters voor elektrische apparaten beu.

In de discussies werd wel gesteld dat een zonnemuis iets is voor een kleine groep gebruikers en daardoor geen wezenlijke bijdrage levert aan de energietransitie. Maar de ontwikkelaars van het apparaat hopen enerzijds dat de gebruikspioniers een grote groep gebruikers zullen meetrokken vanwege het succes van het product, en dat dit op zijn beurt zal leiden tot grotere belangstelling van fabrikanten voor consumentenproducten op zonne-energie in het algemeen. Alle grote veranderingen zijn per slot van rekening klein begonnen, nietwaar?

² Deze titel omschrijft het project beter dan de officiële benaming ‘Marktpotentiëlen van producten, toepassing en acceptatie van producten’.

Langzaam rijdend verkeer in de vroege ochtend op snelweg A2 bij Abcoude tussen Amsterdam en Utrecht. De ANWB had voor deze ochtend een filealarm afgegeven vanwege het slechte weer, maar de verwachte 500 km file en verkeerschaos bleven uit.



9 de stuurbaarheid van de energietransitie

inleiding

142

Voor het eerst wordt de transitietheorie in het beleid van de Nederlandse overheid toegepast in ‘Een wereld en een wil, werken aan duurzaamheid’ uit 2001, beter bekend als het NMP-4 (Nationaal Milieubeleidsplan 4). Transitiedenken is dan nieuw: de overheid ziet de samenleving niet meer als voorwerp van beleid, maar wil de samenleving nadrukkelijk betrekken bij de vormgeving van de toekomst. Op p. 74 lezen we: “Het realiseren van transities, waaraan in deze nota een start wordt gegeven, is een weg van lange adem. Bij de noodzakelijke systeeminnovatie zullen nieuwe partijen en innovatieve technologie een belangrijke rol moeten spelen. Dit is zeker geen zaak van de overheid alleen, maar van de hele samenleving. Het verder invullen van de gewenste transities en de feitelijke uitvoering daarin zal samen met alle betrokken maatschappelijke actoren ter hand genomen moeten worden. Alle betrokkenen zullen verantwoordelijkheid moeten nemen.” Maar ondanks deze mooie tekst lezen we verder op dezelfde pagina dat transities vereisen: “een uitdrukkelijke overheidsrol: een overheid die schakelt, stimuleert, de juiste omstandigheden creëert en stuurt en handhaaft.” Het is dit spanningsveld, dat we in dit hoofdstuk willen bespreken: kunnen transities worden gestuurd – en zo ja, zit dan de overheid aan het stuur?

de stuurbaarheid van de energietransitie

9.1 Stand van zaken in stuurpogingen van de energietransitie

Een programmadirectie, zeven platforms en een Regieorgaan Vanuit bestuurlijk oogpunt heeft de transitieaanpak geleid tot een geheel nieuw soort orgaan: de interdepartementale programmadirectie energietransitie (IPE), getrokken door het ministerie van EZ. Daarmee krijgt de energietransitie een streepje vóór op de andere drie transitieplatforms die in het NMP noodzakelijk worden geacht, namelijk die naar duurzaam gebruik van biodiversiteit en natuurlijke hulpbronnen, naar duurzame landbouw en naar duurzame mobiliteit.

Transities vereisen samenwerking van alle betrokkenen en daarom zijn ten behoeve van de energietransitie ‘transitieplatforms’ opgericht, netwerken van bedrijven, experts en belangenorganisaties. De overheid stimuleert, betaalt en ondersteunt initiatieven van de platforms. Er zijn zeven transitieplatforms met vertegenwoordigers van overheid, bedrijven, maatschappelijke organisaties en onderzoeksinstellingen: zie hiernaast.

Maar in de Nederlandse polder moeten de activiteiten

van deze platforms worden gecoördineerd, en daarom is er naast (of boven, dat is in de polder niet altijd goed te onderscheiden) de platforms een Regieorgaan EnergieTransitie in het leven geroepen, waarvan de zeven platformvoorzitters lid zijn, alsmede een voorzitter, een secretaris en drie onafhankelijke leden.

Op de site van SenterNovem/Energietransitie lezen we als taak van het Regieorgaan: het “regisseert de markt (bedrijfsleven), kennisinstellingen en maatschappelijke organisaties en helpt vanuit een onafhankelijke positie om de transitie mogelijk te maken naar een duurzame energievoorziening (schoon, betrouwbaar en betaalbaar).” Dit betekent in de praktijk vooral dat het Regieorgaan publiciteit verzorgt over de energietransitie (‘draagvlak creëert’), de overheid adviseert, de mogelijkheden van internationale samenwerking bekijkt, samenwerking tussen bedrijven bevordert, de samenhang bewaakt binnen de energietransitie, en aangeeft welke projecten de meeste kans bieden op succes en prioriteit hebben. De vraag waarin

De zeven transitieplatforms:

- Nieuw gas
- Duurzame mobiliteit
- Groene grondstoffen
- Ketenefficiency
- Duurzame elektriciteit
- Gebouwde omgeving
- En sinds kort:
Kas als energiebron

wij geïnteresseerd zijn, luidt: in hoeverre ‘regisseert’ het Regieorgaan?

Regie zou inhouden dat de deelnemende partijen de leiding van het regieorgaan aanvaarden, vooral bij het maken van keuzen. In de praktijk blijkt hier een spanningsveld te liggen tussen het regieorgaan en de platforms, zoals in een polder verwacht mag worden. En ook binnen de platforms spelen belangentegenstellingen soms hoog op. Misschien kan het werk binnen de energietransitie het beste worden omschreven als de voortzetting van oude belangenconflicten met andere middelen, maar wel met een nieuw oogmerk. Het maken van heldere keuzen is moeilijk wanneer alle betrokkenen, soms met sterk tegengestelde belangen, aan tafel zitten. En besluiten van het regieorgaan of de platforms binden niet de achterbannen. Ja, bij de verdeling van overheidsgeld kunnen de organen van de energietransitie invloed uitoefenen. En misschien ook op de uitvoering van andere overheidstaken, zoals vergunningverlening. De aan transities gewijde pagina van de site van VROM meldt hoopvol: “De overheid stimuleert vernieuwingen door experimenten te steunen, zoals bijvoorbeeld Duurzaam Rijnmond. Duurzaam Rijnmond experimenteert met energiebesparing en schoon fossiel (minder vervuilende fossiele brandstoffen). De overheid bepaalt de voorwaarden voor projecten en helpt bijvoorbeeld met het verlenen van vergunningen. Ook past de overheid haar eigen beleid aan om transities mogelijk te maken.”

Sturing is lastig De weinig gestelde vraag bij sturing is: hebben wij allen, als burgers in een democratische rechtsstaat, behoefte aan sturing? Ja, wanneer het gaat om het doorzetten van democratisch genomen besluiten – dan

wel. Maar de energietransitie is een zoekproces, met een veelheid aan onbekenden (nieuwe technologieën, nieuwe internationale machtsverhoudingen etc.) en met meerdere criteria voor beoordeling van de uitkomst (‘schoon, betrouwbaar en betaalbaar’). De burger heeft, zo lijkt het, meer baat bij openheid in het zoekproces dan bij sturing daarvan. Openheid in het zoekproces, dan gaat het over het vermogen om veelbelovende technologieën en producten een eerlijke kans te geven, ook als deze niet worden ondersteund door grote belangen. Dan gaat het over de inschakeling van voldoende fantasie in het proces om niet overvallen te worden door kantelende verhoudingen in de financiële wereld of de internationale politiek. En het gaat over het treffen van de juiste balans tussen eigenbelang en algemeen belang. Misschien is het juist deze openheid in het zoekproces, die het Regieorgaan en de platforms willen ‘regisseren’. Maar wellicht moet de burger zich anno 2009 meer zorgen maken om afkalving van de coalitie voor duurzaamheid dan om een te veel aan sturing. Elektriciteitsbedrijven ontwikkelen plannen voor poederkoolcentrales waaraan later weliswaar afvang en opslag van CO₂ kan worden gekoppeld, maar waarbij die koppeling zeer onzeker is – en in elk geval duurder dan bij steenkoolvergassing. Dit past niet in een duurzaamheidsbeleid, maar de overheid is onmachtig geweest deze plannen te stoppen, en het Regieorgaan heeft er al helemaal geen bemoeienis mee gehad. Het is een broze coalitie, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties samen voor duurzaamheid in de energietransitie onder auspiciën van de overheid. Duurzaamheid komt niet vanzelf. De vraag of ontwikkelingen richting duurzaamheid beïnvloed kunnen worden (om nog maar niet te spreken van het meer ambitieuze ‘sturen’) is zeker relevant.



Roald Suurs is AIO aan het Copernicus Instituut van de Universiteit Utrecht. Hij hoopt in 2009 te promoveren op zijn onderzoek naar de dynamiek van innovatiesystemen rond alternatieve brandstoffen in de transportsector.

Roald Suurs

Motoren van innovatie opsporen voor verduurzaming

‘Ik kijk met een historische blik naar de ontwikkeling en implementatie van alternatieve brandstoftechnologieën in Nederland. Eén van de concepten die ik daarbij gebruik is de zogenoemde ‘virtueuze cirkel’. Dat is het tegenovergestelde van de wel bekende ‘viciuze cirkel’. Het werkt als volgt. Stel dat een wetenschapper subsidie aanvraagt voor een bepaald onderzoek. Hij krijgt de subsidie, doet het onderzoek en de resultaten ervan scheppen positieve verwachtingen over vervolgonderzoek. Nu is het voor deze wetenschapper, maar mogelijk ook voor andere wetenschappers, gemakkelijker geworden om subsidie aan te vragen en te krijgen. Dit soort circulaire processen ontstaat doordat verschillende type activiteiten, of systeemfuncties zoals wij ze noemen, elkaar versterken. Denk hierbij aan functies als kennisontwikkeling en kennisdiffusie. Afhankelijk van de systeemfuncties die betrokken zijn bij ‘virtueuze cirkels’ spreken we over verschillende ‘motoren van innovatie’. Ik hoop een typologie te kunnen opstellen en verklaringen te kunnen geven voor wanneer dergelijke processen wel en niet optreden. Hoe meer motoren van innovatie er in een innovatieproces rond een bepaalde technologie te identificeren zijn, hoe beter het is.

‘Het overheidsbeleid rond energieopties is tot nu toe te veel gefocust op tijdelijke subsidiestromen. Daardoor wordt de lange-termijnhorizon die zo belangrijk is voor goed innovatiebeleid niet onderkend.’

Dat wil zeggen dat de kans dan groter wordt dat een technologie goed geïmplementeerd raakt. Ook is het mogelijk om barrières te identificeren die het ontstaan van motoren, en daarmee innovatie, verhinderen. Hier liggen belangrijke aanknopingspunten voor innovatie- en energiebeleid.

De case studies die ik doe, gaan allemaal over ‘emergente’ technologieën. Dat wil zeggen dat ze nog niet ‘gevestigd’ zijn, zoals waterstoftechnologie, biobrandstof-fen en rijden op aardgas. Doordat ik verschillende emergente technologieën naast elkaar zet, kan ik vergelijkingen maken. Je ziet dan sommige motoren bij meerdere technologieën terug. Dit geldt ook voor de belangrijkste barrières, zoals de afwezigheid van fiscale maatregelen om een markt te ontwikkelen of de afwezigheid van politieke organisaties van ondernemers.

De rol die ondernemers spelen, kan bepalend zijn voor het type motor dat ontstaat. Je hebt bijvoorbeeld ondernemers die vooral voor zichzelf aan het lobbyen zijn. Ze hebben geld nodig voor hun projecten. Als dat al tot een ‘motor’ leidt, dan zal de invloed waarschijnlijk beperkt blijven. Maar er zijn ook ondernemers die zich verenigen en zich gezamenlijk sterk maken voor het hele veld, het innovatiesysteem. In dat geval wordt dit innovatiesysteem in zijn geheel ondersteund en is er sneller sprake van marktvorming.

Mijn wetenschappelijke bijdrage ligt erin dat ik een dynamisch perspectief bied op de evaluatie van emergente technologieën. Ik hoop dat ik met dit onderzoek bijdraag aan beleidsontwikkeling. Dat heb ik trouwens ook al gedaan via studies voor SenterNovem en het Milieu- en Natuurplanbureau. Ik merk dat veel beleidsmakers behoefte hebben aan een systematisch kader waarbinnen een breed scala aan processen kan worden geanalyseerd in onderlinge verhouding. Ik vind het belangrijk dat er technologiespecifiek beleid komt. Het overheidsbeleid rond energieopties is tot nu toe te generiek van aard geweest en te veel toegespitst op tijdelijke subsidiestromen. Daardoor gaat men voorbij aan veel barrières en wordt de langetermijnhorizon die zo belangrijk is voor goed innovatiebeleid niet onderkend.’

Kwantitatieve backcasting: methodisch ontwerp van transitiestrategieën voor duurzame energieketens in verkeer en vervoer

In dit deelprogramma onder leiding van Ruud Smits en Marko Hekkert (beiden Universiteit Utrecht) werken onderzoekers uit verschillende hoeken van de Universiteit Utrecht samen. Terwijl forecasting (voorspellen) een methode is om de toekomst te onderzoeken vanuit bestaande trends, werkt backcasting (terugwerken) andersom. Backcasting is als methode van recente datum en, zo schrijven de trekkers van dit programma, grotendeels kwalitatief toegepast. Ze willen de methode verder ontwikkelen in kwantitatieve richting door de invloed van sleuteltechnologieën kwantitatief in rekening te brengen en door toepassing van inzichten uit de innovatiewetenschap. Als onderwerp kiezen zij de ontwikkeling van klimaatvriendelijke motorbrandstoffen. Enerzijds omdat dit een ingewikkeld veld is met vele elkaar beconcurrerende technologieën en vele belanghebbenden waardoor het vinden van een doeltreffend pad ingewikkeld is, anderzijds omdat het klimaatvriendelijk maken van de transportsector van groot maatschappelijk belang lijkt te zijn. Het programma omvat drie onderdelen: een gedetailleerde technisch-economische analyse van sleuteltechnologieën, een onderzoek naar innovatiesystemen om sterke en zwakke punten in de innovatie op het terrein van motorbrandstoffen vast te stellen, en tenslotte de ontwikkeling van beleidsstrategieën. Het programma wordt in 2009 afgerond.

Backcasting

Bij backcasting wordt eerst een gewenste toekomstige situatie omschreven. Daarna wordt onderzocht hoe die situatie kan worden bereikt uitgaande van het heden. Vaak worden bij backcasting verschillende toekomstbeelden ontwikkeld, waarna door berekening wordt gereconstrueerd hoe deze zouden kunnen ontstaan vanuit het nu. Het resultaat van deze methode is vergroot inzicht in de manier waarop maatregelen in het hier en nu door gaan werken in de toekomst.

9.2 Kwantitatieve analyse van duurzame energieketens in verkeer en vervoer

148

- > *Synthetische diesel uit aardgas (GTL) kan concurreren met ‘gewone’ diesel uit aardolie, terwijl hun klimaatteffect vergelijkbaar is*
- > *Synthetische diesel uit steenkool (CTL) geeft over de keten twee keer zo veel broeikasgassen*
- > *Omzetting van biomassa in synthetische diesel (BTL) is nog duur maar heeft een aanzienlijk economisch ontwikkelpotentieel en biedt het perspectief dat in combinatie met CCS meer CO₂ uit de atmosfeer wordt gehaald dan uitgestoten*
- > *De prijs is voor de consument de belangrijkste motiverende factor bij de brandstofkeuze*
- > *Schone brandstoffen kunnen al bij een vergelijkbare prijs een grote swing veroorzaken ten opzichte van traditionele benzine en diesel*
- > *Met name E85 (85% ethanol) is kansrijk, zeker als automobilisten vertrouwd raken met het gebruik ervan*

Benzine en diesel uit aardolie worden problematisch, vanwege onzekerheden over kosten, leveringszekerheid, klimaatteffect en luchtverontreiniging. Dit schrijft Oscar van Vliet die in 2009 aan de Universiteit Utrecht hoopt te promoveren. Maar vele alternatieven voor die benzine en diesel zijn alleen rendabel bij olieprijsen boven de \$ 75 per vat, met ethanol uit suikerriet als enige uitzondering. Gebruik van biobrandstoffen brengt risico's met zich mee, want deze kunnen niet-duurzaam blijken te zijn. Alternatieven als synthetische diesel uit steenkool of benzine uit teerzanden zijn meestal te duur én te vervuilend. Hoe zal de wereld van transportbrandstoffen zich dan gaan ontwikkelen?

Het oorspronkelijke plan van Van Vliet is, door technisch-economische analyse zicht te krijgen op toekomstige kosten en milieuprestaties van energieketens in het verkeer en vervoer. Door analyse van het ontwikkelpotentieel van nieuwe technologieën en het duurzaamheidsperspectief van groene grondstoffen hoopt hij kaf van koren te kunnen scheiden, en duidelijk te kunnen maken welke ketens van transportbrandstoffen (inclusief elektriciteit) als winnaar uit de bus zouden kunnen komen in de race naar marktleiderschap in pakweg 2050.

Maar het loopt anders, want de onzekerheden in de gegevens blijken té groot. Alleen al over bestaande technologieën lopen de cijfers tientallen procenten uiteen. Zodra het gaat over biomassa en emissies van broeikasgassen worden de cijfers sterk afhankelijk van teeltwijze en lokale omstandigheden, zoals ook Veronika Dornburg in haar proefschrift ontdekte. Zal in 2050 de biomassa komen van een stuk oude cultuurgrond, een drooggelegd moeras of een stuk gekapt tropisch regenwoud – met zeer verschillende waarden voor hun klimaatteffect? Bij onzekerheden die kunnen oplopen tot 100% kan de backcasting-methode eenvoudig niet worden toegepast omdat de marges in de cijfers te groot zijn, en ook het samenstellen van een leercurve zoals Martin Junginger dat voor andere technologieën heeft gedaan, is dan onmogelijk.

Op basis van dit onderzoek kan wel worden uitgesproken dat synthetische diesel uit aardgas (GTL) kan concurreren met ‘gewone’ diesel uit aardolie en dat hun klimaatteffect vergelijkbaar is; synthetische diesel uit steenkool (CTL) geeft echter over de keten twee keer zo veel broeikasgassen. Omzetting van biomassa in synthetische diesel (BTL) is nog duur

maar heeft een aanzienlijk economisch ontwikkelpotentieel. Wanneer de bij deze omzetting geproduceerde CO_2 wordt afgevangen en opgeslagen, ontstaat de interessante figuur van een negatieve uitstoot van CO_2 : in de keten wordt CO_2 uit de atmosfeer gehaald. Maar voorlopig is dat toekomstmuziek.

In het tweede deel van het onderzoek gooit Van Vliet het roer om. Hij koppelt consumentenwensen aan data over energieketens in het transport, ervan uitgaande dat de bestaande voertuigtechnologie en de bestaande distributieketens voorlopig worden gehandhaafd. Hij gebruikt hierbij gegevens over leefstijl van de Nederlandse bevolking en hun visie op mobiliteit. Hoe denken zulke consumenten van uiteenlopende pluimage over de brandstof in hun tank? Wat heeft hun voorkeur bij verschillende toekomstige ontwikkelingen (prijs, klimaateffect en dergelijke)? Welke gevolgen zal dit hebben voor de vraag naar, en beschikbaarheid van motorbrandstoffen, gegeven de reële beperkingen in het systeem (vaste benzine/diesel verhouding bij een eenmaal gebouwde raffinaderij, planings- en bouwtermijnen en dergelijke)?

Zoals uit het dagelijks leven bekend, is de prijs de belangrijkste motiverende factor bij de brandstofkeuze. Maar Van Vliet ontdekt dat schone brandstoffen al bij een vergelijkbare prijs een grote swing kunnen veroorzaken ten opzichte van traditionele benzine en diesel. Met name E85 (85% ethanol) is kansrijk, zeker als automobilisten vertrouwd raken met het gebruik ervan.

Betekent dit dan het einde van de aspiraties van de brandstofcelauto? Neen, want afstudeerder Thomas Kruithof schetst een weg van de huidige dieselauto naar de auto op brandstofcellen, die loopt via auto's met dieselgenerator. In een auto met een dieselgenerator wordt de energie uit dieselolie niet gebruikt om de auto voort te bewegen, maar om elektriciteit te maken. Als deze elektriciteit wordt gevoed aan elektromotoren binnen elke wielkap, dan worden de aanzienlijke energieverliezen in de aandrijving vermeden. Auto's zouden met deze technologie tweemaal zo zuinig kunnen worden. En wellicht nog belangrijker: wanneer deze technologie in massaproductie wordt genomen, zouden auto's niet duurder worden dan nu. Eenmaal elektrisch aangedreven voertuigen op de weg, zou de mogelijkheid open liggen om ook geheel andere soorten elektrische voertuigen, bijvoorbeeld op batterijen of brandstofcellen, te ontwikkelen. Het aantal keuzemogelijkheden is nog steeds verwarrend groot!

9.3 Uitvoerbaarheid van transitiepaden gezien vanuit een innovatiesysteembenadering

- > *Er is nu een methode waarmee bedrijven en overheden kunnen vaststellen welke innovatiemotor werkzaam is in een technologieontwikkeling, zodat gerichte maatregelen kunnen worden genomen om de motor beter te laten werken of, indien mogelijk, de volgende motor op te starten*
- > *Dit leidt (hopelijk) tot een beter onderbouwde en daarmee effectievere aanpak van transitietrajecten*

“Overheden moeten niet in een vroeg stadium winnende technologieën eruit kiezen, maar de opbouw van technologische innovatiesystemen bevorderen.” Deze zin uit een artikel van Roald Suurs (Universiteit Utrecht, promotie verwacht in 2009) samen met zijn promotor Marko Hekkert en anderen kunnen we de kernboodschap noemen van de stroming in de innovatiewetenschap waartoe hij behoort. Dat bevorderen kan alleen als de overheid een aantal systeemfuncties tegelijkertijd aanpakt. En ook ondernemers (entrepreneurs) dienen een aantal systeemfuncties te vervullen.

De hier bedoelde ‘systeemfuncties’ zijn dezelfde die in hoofdstuk 3 over het voetlicht kwamen:

- Experimenteren door entrepreneurs
- Kennisontwikkeling
- Verspreiden van kennis in netwerken
- Richting geven aan het zoekproces
- Creëren van markten
- Mobiliseren van middelen
- Creëren van legitimiteit

Deze school in de innovatiewetenschap onderzoekt hoe innovaties die zich eerst in niches bevinden zich bij succes gaan nestelen in het regime. Voor een groot aantal duurzame energietechnologieën gaat Suurs na in hoeverre zo’n doorbraak naar het regime heeft plaats gevonden, met andere woorden of de ‘innovatiemotoren’ (hoofdstuk 3) hebben gewerkt of gehaperd. En bij haperende innovatiemotoren probeert hij te analyseren of dit het gevolg is geweest van tekort schietende systeemfuncties (zoals de theorie veronderstelt) en zo ja, van welke functies. Daartoe stelt hij een uitgebreide database samen van gebeurtenissen waarbij de toepassing van de betreffende technologie een stapje dichterbij is gekomen of juist niet.

Gebruik van biobrandstoffen in de transportsector analyseert Suurs vanaf de jaren ’90. Deze periode wordt gekenmerkt door een ‘strijd’ tussen twee technologietypen, namelijk een eenvoudige en commercieel beschikbare eerste generatie, en een complexe, meer milieuvriendelijke, maar vooralsnog te dure tweede generatie brandstoffen. Aan het begin

van de jaren '90 komt de eerste generatie biobrandstoffen op, gedreven door agrarische belangen en lokale milieunormen. Maar de rijksoverheid neemt ten aanzien van deze biobrandstoffen nooit een standpunt in, totdat de Europese richtlijn uit 2005 daartoe dwingt en veel commerciële projecten worden opgestart.

Eind jaren '90 stellen grote bedrijven zich achter biobrandstoffen van de tweede generatie, en nu neemt de nationale overheid wél actief deel aan het technologisch innovatiesysteem door sterke stimulering van R&D. De projecten zijn succesvol maar ook nu wordt geen markt opgebouwd. Zoals wel vaker blijkt het creëren van markten het zwakke punt in het Nederlandse innovatiesysteem.

Bij een vergelijking tussen het succes van biobrandstoffen in Zweden en Nederland signaleren Suurs en Hekkert dat zich in Nederland eigenlijk tot de Europese biobrandstoffenrichtlijn nooit een stabiel technologisch innovatiesysteem heeft gevormd – vergelijkbaar met de conclusie die Simona Negro trekt over biomassavergisting.

Biobrandstoffen van de eerste generatie liggen vanaf het begin onder vuur vanwege hun vaak lage effect op de CO₂-uitstoot in de keten, en door de mogelijke concurrentie met voedselvoorziening. Tweede generatie biobrandstoffen hebben deze nadelen veel minder. Wat te doen? De eerste generatie stimuleren in de hoop dat hierdoor een markt wordt ontwikkeld die later door de tweede generatie kan worden ingevuld? Of wachten tot de tweede generatie beschikbaar is en dan pas de markt gaan stimuleren, met het risico dat tweede generatie technologieën hun beloften nooit zullen waarmaken? Of alle kaarten zetten op technologieontwikkeling in de hoop dat de rest vervolgens vanzelf komt? Die laatste strategie is lange tijd gevolgd door de Nederlandse overheid, maar met weinig succes. Suurs ziet daarin een bevestiging van de stelling dat het technologisch innovatiesysteem als geheel moet worden gestimuleerd.

Suurs buigt zich bij zijn analyses over nog twee opkomende technologieën: de auto op aardgas en de brandstofcel. Bij beide onderwerpen probeert hij te achterhalen welke innovatiemotoren hebben gewerkt of gehaperd, en wat daarvan de achtergronden waren.

Vier mogelijke innovatiemotoren voor duurzaamheid

Wetenschaps- en technologiemotor Hoge verwachtingen van technologische ontwikkelingen veroorzaken toekennen van onderzoeksgeld voor ontwikkelingsprojecten. Initiatief nemen door entrepreneurs en marktontwikkeling zijn zwakke kanten van deze motor, waardoor ook de functie 'richting geven' zwak is ontwikkeld. Succes is afhankelijk van de vervulling van technologische beloften; wanneer deze niet worden waar gemaakt, dan valt de motor uit elkaar en blijft weinig structuur meer over.

Ondernemingsmotor Drijvende krachten achter deze motor zijn ondernemers (in het Engels entrepreneurs, initiatiefnemers) in (nuts)bedrijven of lokale overheden. Zij adopteren projecten en lobbyen ervoor. In vergelijking met de wetenschaps- en technologiemotor wordt bij de ondernemingsmotor meer geleerd uit de praktijk. Bij positieve resultaten worden nieuwe deelnemers aangetrokken, de kracht van deze motor ligt in een mogelijk zwaan-kleef-aan effect. Er is echter geen duidelijke markt, en de voortgang van projecten blijft afhankelijk van toekenning van subsidies.

Systeembouwmotor De drijvende kracht achter deze motor blijft de toewijding van ondernemers, maar de inspanningen worden nu meer gericht op samenwerking en de vorming van een gemeenschappelijke lobby. Daardoor wordt de functie 'richting geven' versterkt (mits deze functie niet wordt ondergraven door maatschap-

pelijke controverses), evenals het vermogen om fondsen te werven. Bedrijven van buiten de oorspronkelijke (energie-)markt treden toe, evenals 'regimespelers' als gevestigde industriële belangen en overheidsorganen. Deze vertegenwoordigen echter meer belangen, en kunnen de ontwikkeling mogelijk ombuigen.

Marktmotor Hier is de drijvende kracht de vraag uit de markt, al dan niet teweeg gebracht door nieuwe wetten of regels. De lobbyfunctie wordt overbodig, hoewel de doorbraak van een nieuwe technologie ook nieuwe weerstanden kan oproepen door gebruikersproblemen of door het uitdijen van een politieke discussie naar een groot publiek (zoals bij de eerste generatie biobrandstoffen).

De motoren 'rijpen' in deze volgorde. Ze bouwen voort op de sterktes van de vorige fase, terwijl de zwaktes van de vorige fase worden gerepareerd. Ze worden in deze volgorde ook sterker, dat wil zeggen: meer effectief. Er is echter geen noodzakelijke opeenvolging, want motoren kunnen behalve werken ook falen, in de eerste plaats wanneer de betreffende technologie niet aan de verwachtingen voldoet, maar ook wanneer deze wegens nadelige effecten onderwerp wordt van een maatschappelijke discussie, zodat de vorming van lobby's en markten wordt bemoeilijkt. Niettemin kan de ontwikkeling dan later weer worden opgepakt.

9.4 Langetermijnstrategieën voor transitiepaden voortkomend uit backcasting-scenari'o's

Dit onderdeel van het programma, uitgevoerd door Sylvia Breukers (Universiteit Utrecht, afgerond in 2008) is gebaseerd op een interactieve dialoog: een confrontatie van meningen van betrokkenen bij de ontwikkeling van biobrandstoffen. In elke stap van deze 'biomassa-dialoog' is getracht de consensus iets groter te maken en het aantal begaanbare wegen te verkleinen, totdat een aantal goed verdedigbare strategieën overbleef.

Meningen zijn verzameld in interviews. Deze zijn vervolgens verwerkt in drie workshops, opgezet volgens de backcasting-methode, waarbij vanuit een aantal gewenste toekomst-beelden is teruggewerkt naar acties die nu moeten worden ondernomen. De confrontatie van de visies gebeurde in een beleidslab, gericht op steeds verder gaande concretisering van de conclusies met inachtname van de meningsverschillen.

Uiteindelijk bleven zes visies over. De meest behoudende is 'pas op de plaats': stoppen zo lang de duurzaamheid van biomassa onduidelijk is. Daar tegenover staat de visie dat innovatieve initiatieven van ondernemers gesteund moeten worden. Voorzichtiger zijn zij die vinden dat biomassa pas in grote hoeveelheden gebruikt moet gaan worden wanneer er een gecertificeerde tweede generatie biobrandstoffen op de markt komt. Er zijn mensen die doelmatig energiegebruik het belangrijkste vinden, en die biomassa toejuichen zo lang het gebruik ervan in dit kader past. En dan zijn er degenen die vinden dat alle opties open gehouden moeten worden (kennisontwikkeling centraal) of die pragmatisch stapje voor stapje willen doen.

De deelnemers bleken grotendeels dezelfde duurzaamheidscriteria aan te leggen, maar verschilden van mening over de beoordeling van biomassaketens aan de hand van deze criteria. De één vergeleek biomassa bijvoorbeeld met fossiel en de ander met wind en zon. De dialoog heeft verder aangetoond dat er diepgaande zorg bestaat over de weerslag van het gebruik van biomassa. Maar er zijn ook punten waarop men het eens is geworden. Ten eerste staat iedereen achter een prioriteit voor gebruik van reststromen (wat vroeger afval heette), met cascadering en bioraffinage als meer subtiele uitwerkingen van dit concept. Verder is 'smartsizen' het devies: pas de techniek en de schaal aan lokale biomassa-bronnen en de omgeving aan, en niet andersom. En zorg voor transparantie van de ketens. Tot slot: in plaats van een vlucht voorwaarts naar nieuwe generaties en technologieën zouden

- > *Het instrument 'dialoog van betrokkenen' kan een maatschappelijke discussie over een complex probleem structureren*
- > *Er bestaat consensus onder de betrokkenen bij biomassa over het geven van prioriteit aan gebruik van reststromen, het op maat maken van de techniek voor lokale bronnen en het transparant maken van ketens*
- > *Ook is er consensus over het verbeteren van huidige technologieën in plaats van het wachten op nieuwe*

we moeten proberen de huidige toepassingen te verbeteren en negatieve effecten zoveel mogelijk weg te nemen. “Immers, wanneer we ons blijven richten op toekomstige technologieën, doen we nu niets en dat kunnen we ons niet veroorloven,” aldus Sylvia Breukers in een publicatie in het blad Milieu.

9.5 Vormen van sturing naar een duurzaam energiesysteem

154

- > *Keuzes over de toekomst van de energievoorziening kunnen niet alleen worden gemaakt op basis van techniek en economie; ook institutionele factoren met de bijbehorende politieke keuzes zijn van belang*
- > *Er zijn verschillende sturingsmodellen denkbaar bij complexe problemen zoals de energietransitie; het Nederlandse energiebeleid is gebaat bij een fundamenteel debat over de vraag naar politieke sturing om patstellingen te doorbreken*
- > *Een betere doordenking en nadere uitwerking van ‘Sturing door uitdaging’ is nodig om initiatieven van onderop te ondersteunen zonder te vervallen in ‘Staatssturing’*

Onderzoekers Matthijs Hisschemöller en Ries Bode (VU Amsterdam) probeerden in hun project (afgerond in 2004) met een bijdrage van Harm Jeeninga (ECN Beleidsstudies) op een geheel andere manier, het raakvlak van politieke besluitvorming en technologische ontwikkeling in de energietransitie te verkennen. Hun referentiekader is de politieke theorie, dat wil zeggen de wetenschap omtrent de relatie tussen overheid en burgers. Hun uitgangspunt is dat er weinig consistentie lijkt te zitten in de beleidskeuzen rond de energietransitie. Met de mond belijden beleidsmakers vaak dat er geen keuzen voor specifieke technologieën worden gemaakt. Maar dat is een illusie, zo zeggen de onderzoekers. Met de vormgeving van het beleid worden altijd keuzes gemaakt, zo bevordert het huidige beleid biobrandstoffen boven andere schone brandstoffen. Het creëren van een gelijk speelveld heeft zijn grenzen, het maken van keuzes in de energietransitie is onvermijdelijk. De wetenschappers onderzoeken de manier waarop die keuzes worden gemaakt, de ‘sturing’ van het proces, en zien op dat gebied vier modellen: staatssturing, netwerksturing, sturing door het internationale bedrijfsleven, en sturing door uitdaging. Deze sturingsprincipes zijn niet neutraal ten opzichte van technologieën – ze lijken technologische toekomstmogelijkheden juist sterk te bevoordelen of benadelen. De studie onderzoekt verder vijf kansrijke mogelijkheden voor een duurzame energievoorziening. Drie daarvan hebben betrekking op infrastructuur, één op de vraagzijde van het energiegebruik en één op de transportsector:

- **Elektriciteit dominant.** Elektriciteit wordt grootschalig geproduceerd uit aardgas in combinatie met CO₂ opslag aangevuld met kleinschalig geproduceerde stroom uit duurzame bronnen. Elektriciteit voorziet ook in de vraag naar warmte. Er is geen ruimte voor een aardgasinfrastructuur.

- **Centrale waterstofinfrastructuur** (als opvolger van de aardgasinfrastructuur). Elektriciteit wordt gemaakt uit decentrale microwarmtekrachtkoppeling. Er is geen ruimte voor een elektriciteitsinfrastructuur.
- **Grootschalige inzet van synthetisch gas** (syngas) uit biomassa met gebruikmaking van de bestaande aardgasinfrastructuur.
- **Vraagsturing**. Investerings in vraagbeperking concurreren in de praktijk met aanbod-technologie. Door de individuele keuzemogelijkheden is vraagsturing lastig beheersbaar.
- **Waterstof in de transportsector**, al dan niet in combinatie met de brandstofcel. Levering geschiedt via de pomp of eventueel via home fueling: vullen van de tank met thuis uit elektriciteit gemaakte waterstof (waarbij de elektriciteit centraal of decentraal met zonnecellen gemaakt kan zijn).

Wat zijn de kansen van deze vijf toekomstmogelijkheden? Dat hangt sterk af, zo stellen de onderzoekers, van hun relatie tot bestaande belangen. De huidige situatie wordt gedomineerd door een centrale infrastructuur en het streven naar zekerheid in de energievoorziening. Toekomstmogelijkheden waarin deze kenmerken minder goed worden bediend krijgen het heel moeilijk. Dit geldt voor ‘centrale waterstofinfrastructuur’ en ‘vraagsturing’. De behoefte aan sturing bij overheden en energiebedrijven, met de suggestie dat problemen beheersbaar zijn, heeft verder tot gevolg dat toekomstmogelijkheden waarvan het welslagen vooral afhangt van initiatief bij de bevolking minder hoog scoren. Het is nu eenmaal niet van boven af te bepalen hoeveel mensen hun woning zullen isoleren of een HRe-ketel zullen aanschaffen. Daarom behoren ‘Vraagsturing’ en een vooral op basis van kleinschalige opwekking gebaseerde variant van ‘Elektriciteit dominant’ niet tot de bestuurlijke favorieten.

De auteurs concluderen dat keuzes over de toekomst van de energievoorziening niet alleen worden gemaakt op basis van techniek en economie, maar ook op grond van ‘institutionele factoren’ en de ‘bijbehorende politieke keuzes’. Het beeld van de overheid als regisseur die via generieke maatregelen innovaties stimuleert, zo zeggen zij, miskent de politieke dimensie van het energiebeleid.

Vier manieren van sturing bij complexe problemen

Staatssturing Sturing door de staat bij maatschappelijke problemen wordt uitgeoefend (en aanvaard) op basis van twee cruciale veronderstellingen: de overheid dient het algemeen belang (waaronder een efficiënte energievoorziening en een schoon milieu), en: bestuurders laten zich in hun beleidskeuzen leiden door ‘objectieve’ wetenschappelijke kennis. Er is dus een dominante overheid die zich positioneert als neutraal en boven de partijen staand, die technologische innovaties stuurt en concurrentie tussen ondernemingen aan banden legt. Een veel aangehaald historisch voorbeeld van dit sturingsmechanisme in de praktijk betreft de Amerikaanse ruimtevaart- en bewapeningsprogramma's in de jaren 1945-1965. Deze vorm van sturing is echter in diskrediet geraakt.

Netwerksturing Netwerksturing is het hedendaagse alternatief voor het staatssturingsmodel. In het concept netwerksturing is er oog voor de toenemende onderlinge afhankelijkheid van verschillende bestuurslagen en van overheid en bedrijfsleven. De deelname van ‘stakeholders’ bij de besluitvorming wordt beschouwd als voorwaarde voor stabiele besluiten, waarbij hun praktijkkennis positief wordt gewaardeerd. In de beleidswetenschappelijke theorie maken begrippen als ‘belangen’ en ‘macht’ plaats voor begrippen als ‘discourse’ en ‘beleidsgericht leren’.

Sturing door het internationale bedrijfsleven

Bij dit sturingsmechanisme vervullen grote internationaal opererende bedrijven (vooral oliemaatschappijen)

een trekkersrol in de energietransitie. Zij kunnen als geen ander inspelen op internationale ontwikkelingen. Bovendien is het voor hen van levensbelang, de voorkeuren en waarden van hun afnemers goed te kennen en hen daarin te bedienen. Technologische vernieuwingen worden in dit concept doorgevoerd onder druk van de onderlinge concurrentie. Overheden kunnen een (bescheiden) bijdrage aan dit proces leveren maar mogen het niet verstoren.

Sturing door uitdaging Overheid en bedrijfsleven raken steeds meer verweven in een groot maatschappelijk middenveld, waarop gevestigde belangen een streepje vóór hebben op nieuwkomers. En dat terwijl steeds meer politieke en sociologische theorieën laten zien dat ingrijpende veranderingen in beleid of technologie alléén plaats vinden als tegelijkertijd de machtsverhoudingen kantelen. Uitgangspunt bij het principe van ‘sturing door uitdaging’ is dat bestaande beleidszekerheden moeten worden omgestoten, een proces vergelijkbaar met de door Thomas Kuhn beschreven dynamiek van wetenschappelijke innovaties. De grootste moeilijkheid hierbij is misschien niet zozeer de te verwachten tegenwerking door gevestigde machten, maar het feit dat nieuwe mogelijkheden over het hoofd worden gezien. Elke status quo brengt namelijk een zekere beroepsblindheid met zich mee. De uitdaging voor de politiek is het geven van tegenvuur tegen gemakkelijke waarheden, en het bieden van ruimte aan nieuwe ideeën.

In hun slotbeschouwing opperen Hisschemöller en Bode dat voor het tot stand brengen van de kostbare centrale waterstofinfrastructuur, waarbij het elektriciteitsnet overbodig wordt, vermoedelijk zal moeten worden teruggekeerd naar 'Staatssturing'. Wanneer 'Netwerksturing', 'Sturing door het internationale bedrijfsleven' en 'Staatssturing' alle drie invloedrijk blijven, ligt het voor de hand dat een compromis wordt gevonden rond syngas, waarbij zowel een elektriciteits- als een gasnetwerk worden gehandhaafd.

Wanneer 'Sturing door Uitdaging' goed wordt ontwikkeld, denken de auteurs dat het resultaat een infrastructuur zal zijn waarin centrale en decentrale energievoorziening met elkaar worden gecombineerd. Klimaatneutrale transportbrandstoffen lijken kansrijk onder elk sturingsprincipe. Brandstofcellen in het vervoer lijken op den duur kansen te krijgen bij 'Sturing door het internationale bedrijfsleven'. Er is immers nu al een trend binnen de oliemaatschappijen gaande waarin het zwaartepunt wordt verlegd van olie naar gas.

Hisschemöller en Bode menen dat het Nederlandse energiebeleid gebaat is bij een fundamenteel debat over de vraag naar politieke sturing. Ze signaleren dat in het bedrijfsleven de opvatting leeft dat de Nederlandse overheid bij de energietransitie op twee gedachten hinkt: enerzijds probeert de overheid de regie te houden, anderzijds schrikt zij terug voor het doorhakken van politieke knopen. Op langere termijn zet dat geen zoden aan de dijk. Daarom vinden de auteurs het als resultaat van hun onderzoek van belang dat bij andere sturingsprincipes andere oplossingen kansrijk worden. Ook al is hun aanpak misschien theoretisch, zo schrijven zij, hij kan helpen een patstelling te doorbreken waarin overheid en bedrijfsleven op elkaar wachten. Zij bepleiten een betere doordenking en nadere uitwerking van 'Sturing door uitdaging', want bij dat sturingsprincipe kunnen initiatieven van onderop worden ondersteund zonder te vervallen in 'Staatssturing', waarbij de overheid bepaalt hoe de energievoorziening er in Nederland uit moet gaan zien.

Op voormalig eiland Marken in Noord-Holland wordt duurzame energie opgewekt met windmolens.



10 nieuw licht

inleiding

160

Wij schrijven 1996 wanneer de Verkenningscommissie Energieonderzoek (VCE) verslag uitbrengt van de stand van het onderzoek naar energie op universiteiten. De VCE is een dochtercommissie van de Overleg Commissie Verkenningen, ingesteld door het ministerie van (toen) Onderwijs en Wetenschappen om antwoord te geven op strategische en fundamentele vragen rond het wetenschappelijk onderzoek. Tot die vragen behoren die naar de financiering van het onderzoek, het aanpakken van maatschappelijke vraagstukken, en het versterken van de Nederlandse concurrentiepositie. Eén van de aandachtsgebieden is energie, en om dat in kaart te brengen wordt de VCE¹ in het leven geroepen. Deze Verkenningscommissie doet de aanbeveling dat het universitaire energieonderzoek gericht op een duurzame energievoorziening zal worden versterkt door het instellen van een stimuleringsprogramma.

¹ Geert Verbong schrijft in zijn boek 'Een kwestie van lange adem, De geschiedenis van duurzame energie in Nederland' over de VCE: "Deze commissie, onder leiding van Kivi-president Van Engelshoven en waarvan verder ook naast de oudgedienden Turkenburg en Daey Ouwens onder anderen Van de Kroonenberg (ECN), Weijnen (TUD) en PNEM (nu Essent) directeur Wiechers deel uitmaakten, kreeg een zeer uitgebreide taakstelling." Turkenburg, Daey Ouwens en Weijnen hebben daarna alle korte of langere tijd in de Programma-commissie van het Stimuleringsprogramma Energieonderzoek gezeten.

nieuw licht

10.1 De aanloop naar het Stimuleringsprogramma Energieonderzoek

Energie niet hoog op de agenda Halverwege de jaren 90 is er betrekkelijk geringe belangstelling voor energie. Twee oliecrises hadden twintig jaar eerder, 1973 en 1979, nog een schok teweeg gebracht. Energie bleek in de jaren '70 ineens niet meer onuitputtelijk en goedkoop. De olieprijs waren omhoog geschoten en minister-president Den Uyl had in 1973 het volk voorgehouden dat 'vanaf nu alles anders zou worden'. Energie stond een tijd lang in het middelpunt van de maatschappelijke discussie; er werden vele nota's aan gewijd en geleidelijk werd er ook veel geld voor uitgetrokken. Maar in 1985/86 daalden de olieprijs weer, en dat luidde een periode in met tanende belangstelling voor energie. Investerings in energiebesparing en duurzame bronnen waren ineens een stuk minder rendabel en daardoor bekoelde het enthousiasme voor maatregelen aanzienlijk. In de jaren '90 straalt ook de hernieuwde belangstelling voor het milieu voorlopig niet af op energie. Toch is er ook dan al een belangrijke reden om wél aandacht te schenken aan energie en dat is het klimaatvraag-

stuk. Sinds 1988 functioneert het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) als onderdeel van de Verenigde Naties, om "besluitvormers en andere geïnteresseerden in klimaatverandering te voorzien van een objectieve bron van informatie over dit onderwerp." Vanaf het begin signaleert IPCC, geleidelijk in steeds sterkere bewoordingen, dat de wereldtemperatuur steeds meer stijgt met grote gevolgen voor voedselvoorziening en milieu, en dat dit waarschijnlijk voor een groot deel komt door de uitstoot van broeikasgassen door de mens. Het belangrijkste broeikasgas CO₂ wordt gevormd bij het gebruik van fossiele brandstoffen – kortom de toename van CO₂ in de atmosfeer hangt onverbrekkelijk samen met menselijk energieverbruik.

Transitiedenken avant la lettre Maar midden jaren '90 heeft het klimaatvraagstuk zich nog niet vertaald in hernieuwde belangstelling voor energie. De Verkenningcommissie Energieonderzoek, ingesteld juist om de kloof te dichten tussen maatschappelijke noodzaak en univer-

In 1985/86 daalden de olieprijs, en dat luidde een periode in met tanende belangstelling voor energie

“In de komende 50 jaar moet de omschakeling plaats vinden van de mondiale energie-systemen naar energie-systemen die passen in een duurzame ontwikkeling van de samenleving”

sitaire praktijk, constateert dat de aandacht voor energieonderzoek laag is, blijkend onder meer uit daling van het aantal leerstoelen. En dat terwijl “in de komende 50 jaar de omschakeling moet plaats vinden van de mondiale energiesystemen naar energiesystemen die passen in een duurzame ontwikkeling van de samenleving.” Hoewel het woord energietransitie dan nog niet in zwang is, wordt precies zo’n transitie door de Verkenningcommissie bedoeld. De Verkenningcommissie doet de aanbeveling dat het universitaire energieonderzoek gericht op zo’n duurzame energievoorziening wordt versterkt door het instellen van een stimuleringsprogramma.

Opbouw van een interdisciplinair stimuleringsprogramma

Het door NWO en Novem ingestelde Stimuleringsprogramma Energieonderzoek wordt vervolgens uitgewerkt door een Programmacommissie. Deze stelt zich met het programma ten doel, “vernieuwende integrale kennis te ontwikkelen die nodig is om het transitieproces van de huidige naar een toekomstige duurzame energievoorziening structureel te vergemakkelijken. Daarbij staat de ontwikkeling van theorieën en methodologieën voorop.” Dit is een ambitieuze doelstelling, vooral door de invulling die wordt gegeven aan de woorden ‘integraal’ en ‘structureel’. Bij integraal wordt gedacht aan:

- de hele energieketen
- de hele ontwikkelingscyclus onderzoek – ontwikkeling – demonstratie – introductie
- de bèta-wereld, de gamma-wereld en de interacties daartussen
- alle componenten van duurzame ontwikkeling, zoals boven omschreven.

En onder ‘structureel’ wordt verstaan “dat de te ontwikkelen kennis inzicht biedt in de onderliggende mechanismen en trends die bepalend zijn voor de ontwikkeling van de energievoorziening, en aangrijpingspunten biedt die mechanismen en trends effectief en blijvend te beïnvloeden.” De kennis die in het programma ontwikkeld wordt, moet met andere woorden breed toegepast kunnen worden, ook al kan deze kennis heel goed worden verworven aan de hand van case studies. Dat betekent ook de ontwikkeling van theorieën en methodologieën waarmee bestaande inzichten kunnen worden toegepast op nieuwe problemen.

Binnen dit kader kiest de Programmacommissie niet voor een strakke richtlijn, maar voor een losse invulling van het programma. Universitaire instellingen worden uitgenodigd samenwerking te zoeken, waarbij zij elk vanuit hun eigen invalshoek verschillende aspecten van deze problematiek kunnen belichten. Dat moet leiden tot voorstellen van projecten waarin bèta- en gamma-aspecten beide aan de orde komen. In de hierop volgende jaren is een negental deelprogramma’s binnen het Stimuleringsprogramma goedgekeurd en uitgevoerd.

10.2 De doelstellingen van het Stimuleringsprogramma

Het Stimuleringsprogramma Energieonderzoek, zo leren we uit de stukken van de *founding fathers* van 1996, had in wezen twee doelstellingen: stimulering van het universitaire energieonderzoek, en ontwikkeling van kennis ter ondersteuning van de energietransitie – OCW en EZ broe-

derlijk verenigd. Wat kunnen we, zonder een grondige evaluatie te hebben uitgevoerd, zeggen over de verwezenlijking van deze doelstellingen? En hoe beantwoorden we nu de vraag welke bijdrage de verschillende onderzoeken hebben geleverd aan de vraagstukken die er rond energie spelen?

Een beperkte omvang In de eerste plaats past een relativering van de omvang van het Stimuleringsprogramma. Het budget van de rijksoverheid voor energieonderzoek bedroeg in 2007 ongeveer € 200 miljoen. Het totale Stimuleringsprogramma met een looptijd van 9 jaar heeft een bedrag geveerd van € 5,4 miljoen. Per jaar is dat € 0,6 miljoen, per saldo dus ca. 0,3 % van het totale budget voor energieonderzoek van de rijksoverheid.

Bèta-gamma-interactie in ontwikkeling In de al aangehaalde tussentijdse evaluatie van het Stimuleringsprogramma door Ackers & De Vries uit 2004 wordt de opbrengst van het programma gemeten aan vier thema's die van deze doelstellingen zijn afgeleid: wetenschappelijke kwaliteit, integratie van bèta- en gammawetenschappen, toepasbaarheid, en het ontwikkelen van theorieën en methodologieën. Bij drie van deze thema's is het oordeel van rapporteur Ackers positief, alleen de integratie van bèta- en gammawetenschappen laat zijns inziens te wensen over. Maar juist aan dit laatste punt is sinds 2004 het nodige reparatiewerk verricht, waardoor de programma's van de tweede tranche op dit punt bij een evaluatie beter zullen scoren (terwijl op de overige thema's de scores naar verwachting hoog zullen blijven). Het onderzoek van de tweede tranche laat immers de uitwerking zien van een

tak van innovatiewetenschap waaraan bèta- en gamma-aspecten steeds moeilijker te onderscheiden zijn. Natuurwetenschappelijk onderzoek en opinieonderzoek staan niet langer naast elkaar, maar in een systeembenadering van innovatieprocessen vloeien bèta en gamma steeds verder ineen.

Universitair onderzoek is gestimuleerd Het universitaire energieonderzoek heeft, gemeten aan het aantal en veelal ook de kwaliteit van de proefschriften, een sterke stimulans ondervonden. Zonder het Stimuleringsprogramma zou veel minder kennis zijn verzameld over zowel innovatieve technologieën als de maatschappelijke inbedding van technologische vernieuwing. Het programma heeft veel bijgedragen aan de kennisontwikkeling aan de TU's in Delft, Eindhoven en Twente, en aan de universiteiten van Tilburg, Leiden, Wageningen, de VU en vooral Utrecht. Zonder de anderen tekort te willen doen, kan worden gesignaleerd dat de bijdrage van het Copernicus Instituut van deze universiteit groot is geweest. Dat was waarschijnlijk te danken aan de integratie van energie-, innovatie- en beleidsonderzoek binnen dit instituut, en het scheppen van de juiste structuren voor het managen van grote programma's met vele betrokkenen. Maar of het Stimuleringsprogramma een duurzame invloed zal hebben (*what's in a name*), valt nog te bezien. Als het Stimuleringsprogramma ophoudt en de ondersteuning uit de tweede geldstroom van dit soort onderzoek wegvalt, verdwijnt ook een groot deel van de stimulans. Want zulk onderzoek wordt al in hoge mate gefinancierd door zakelijke belanghebbenden (derde geldstroom), een financieringsvorm die arbeidsintensief is en sterk afhankelijk

In een systeembenadering van innovatieprocessen vloeien bèta en gamma steeds verder ineen

De toekomst van de energievoorziening is niet alleen vanuit maatschappelijk oogpunt onzeker, maar ook vanuit economisch oogpunt risicovol, gezien de grote belangen die gemoeid zijn met investeringen in infrastructuur

164

van een continue opbouw, en daarom niet naar believen te vergroten. En financiering uit de eigen gelden van de universiteit (eerste geldstroom) is voorlopig voor nieuwe wetenschappen als het energieonderzoek een illusie. Er kan daarom een pleidooi worden gevoerd voor inrichting van een nieuw programma waarin de lessen van het Stimuleringsprogramma zijn verwerkt, mits het maatschappelijke belang van het energiethema nog altijd als voldoende hoog wordt beoordeeld.

Welke lessen zijn er te trekken? Deze opmerkingen moeten vanzelfsprekend in een evaluatie van het programma nader worden getoetst. Wij zullen in het vervolg van dit hoofdstuk enkele aspecten uitwerken die voor deze evaluatie van belang zijn, zoals de opbrengst van het Stimuleringsprogramma voor de energietransitie, de vraag hoe kennisontwikkeling nog nuttiger kan zijn voor beleidsvorming, en de lessen die voor de energietransitie zelf te trekken zijn.

10.3 Energietransitie als maatschappelijk proces

In hoofdstuk 1 hebben we gekeken naar de aan de gang zijnde energietransitie: het proces waarbij de bestaande infrastructuren worden vervangen door nieuwe, die meer voldoen aan de drie criteria schoon, betaalbaar en betrouwbaar. De toekomst zal in elk geval anders zijn dan nu omdat de huidige voorziening niet voldoet aan de criteria schoon en betrouwbaar – maar we staan op een kruispunt van wegen en kunnen nog niet beoordelen welke krachten de doorslag zullen geven bij het kiezen van de

toekomstige richting. Zelfs bij het vernauwen van de keuze tot duurzame vormen van energievoorziening zijn er nog vele mogelijkheden, die onderling vooral verschillen in infrastructuur: met het zwaartepunt bij elektriciteit, bij gas (methaan of waterstof), of bij zelfvoorziening. En binnen die grote categorieën zijn weer verdere keuzemogelijkheden, zoals bijvoorbeeld Jos Meeuwsen laat zien voor de elektriciteitsvoorziening: centraal, gemengd, of decentraal. En uiteraard zijn er vele mengvormen en overgangssituaties tussen deze uitersten mogelijk. De toekomst van de energievoorziening is niet alleen vanuit maatschappelijk oogpunt onzeker, maar ook vanuit economisch oogpunt risicovol, gezien de grote belangen die gemoeid zijn met investeringen in infrastructuur. De kans op een *lock-in* door investeringen in grootschalige infra die later ingehaald wordt door nieuwe ontwikkelingen, is niet denkbeeldig. Het is inmiddels duidelijk geworden dat niet alle keuzemogelijkheden naar duurzaamheid voeren. In Nederland wordt vrijwel gelijktijdig gewerkt aan vier nieuwe kolen-centrales, onduurzaam want voorlopig zonder afvang en opslag van CO₂. Internationaal blijkt duurzaamheid nog altijd een kasplantje te zijn, gezien het onvermogen zelfs maar de bescheiden Kyoto-doelstellingen te halen. Dat maakt de vraag dringend, hoe duurzame energievoorziening bevorderd kan worden. Met het Stimuleringsprogramma hadden de initiatiefnemers de ambitie, zonder een keuze tussen de diverse belangen te maken, met wetenschappelijk onderzoek inzicht te verschaffen in de krachten die de transitie bepalen, en instrumenten aan te reiken om deze transitie te versnellen en zo mogelijk te leiden. In hoeverre zijn ze daarin geslaagd? Op deze vraag komen we nog eens aan het eind van dit hoofdstuk terug.

Nieuwe technologie en beleid daarover In de energietransitie komen de werelden van beleid en van technologie bij elkaar. Zowel vanuit de éne als vanuit de andere kant kan de transitie verder worden geholpen. Het Stimuleringsprogramma heeft dan ook kennis opgeleverd over nieuwe technologieën en over beleidsprocessen, vaak met elkaar verbonden. Zo heeft onderzoek van het Stimuleringsprogramma uitgewezen dat biomassavergassing in Nederland niet van de grond is gekomen omdat er veel initiatieven werden ondernomen toen de technologie nog onrijp was, terwijl bij windenergie juist het omgekeerde het geval was: deze is in de jaren '90 te weinig van de grond gekomen omdat er te weinig initiatief werd genomen terwijl de technologie er rijp voor was. Kennisverzameling die vooruit helpt bij de energietransitie, conform de ambitie van het Stimuleringsprogramma, laat beleidsmakers signaleren hoe rijp een technologie is en welke steunmaatregelen daar, gegeven de doeleinden van het beleid, bij horen. Want de Nederlandse beleidspraktijk verdient dringend een upgrade. Het is niet noodzakelijk dat de BV Nederland telkens uitblinkt in *picking winners*, maar wanneer zich een praktijk opbouwt van gemiste kansen (inmiddels goed gedocumenteerd in de wetenschappelijke literatuur) wordt het tijd voor zelfreflectie. Zonder een beschuldigende vinger uit te steken, moet toch worden gesignaleerd dat het Nederlandse energiebeleid, vooral waar het betreft stimulering van kansrijke technologieën, gekenmerkt wordt door terugkerende *stop-go* processen. Daarvan zijn wij er in dit boek een aantal tegengekomen: afvang en opslag van koolstofdioxide (CCS), windenergie op land, windenergie op zee, biomassavergisting, biomassavergassing, auto's op aardgas, brandstofcellen, en zonnecellen. We kunnen er uit de

oude doos voor kenners en fijnproevers aan toevoegen de Stirlingmotor, de Heron gasturbine, de stadsverwarming, de suspensiereactor. Het lijkt wel alsof elk ingezet beleid ook ergens weer onderbroken wordt, meestal met nare gevolgen. Zit er iets in de poldercultuur waardoor zo veel processen eindigen in het niets? In de polder wordt een strijd bijvoorbeeld nooit beslecht. Elk bereikt compromis is slechts de tijdelijke stopzetting van de vijandelijkheden, en bij de eerstvolgende gelegenheid gaan alle partijen weer vanuit hun oude stellingen met de strijd verder. Dat kan hebben bijgedragen aan de tamelijk rampzalige directe stopzetting van subsidiestromen, tot drie keer toe. Vaak wordt gewezen op de 'vallei des doods' waarin eenmaal ontwikkelde technologieën in Nederland terecht komen wanneer het erop aan komt: toepassing in de praktijk. Is dat ingebakken in de poldercultuur of zou de polder wel degelijk betere keuzes toelaten en dient de energietransitie meer te worden ingericht naar principes die in het Stimuleringsprogramma (en in verwant onderzoek) zijn geformuleerd? In het Stimuleringsprogramma is geleidelijk een benadering toonaangevend geworden waarbij innovatie wordt gezien als maatschappelijk proces met meekoppelingen en tegenkoppelingen, en niet als lineaire ontwikkeling van technologisch idee naar toepassing in een apparaat. Binnen het Stimuleringsprogramma zijn daarmee vooral verbonden de namen van Marko Hekkert, Roald Suurs, Simona Negro, Ineke Meijer en Susanne Agterbosch van de Universiteit Utrecht, Geert Verbong, Rob Raven en Johanna Ulmanen van de TU Eindhoven, en Peter Hofman en Boelie Elzen van de Universiteit Twente. Zij reiken instrumenten aan waarmee de lotgevallen van nieuwe technologieën

Het beschikken over achtergrondkennis is een noodzakelijke voorwaarde voor het voeren van beleid

kunnen worden verklaard ('duiding'), en misschien ook wel voor maatschappelijk handelen waarmee de invoering van nieuwe technologieën wordt gestimuleerd ('handelings-perspectief'). Meer op macroschaal geven ook politicologen Matthijs Hisschemöller en Ries Bode een beschouwing over de manier waarop de energietransitie het beste gestuurd kan worden, afhankelijk van de uitkomst die men daarbij voor ogen heeft.

10.4 Kennis en praktijk

Het Stimuleringsprogramma heeft een praktisch doel trachten te dienen: de energietransitie vooruit helpen. Als we het programma nog eens overzien en op een nieuwe manier de resultaten proberen te rubriceren, dan heeft het drie soorten voor beleid nuttige kennis opgeleverd.

Achtergrondkennis voor beleidsontwikkeling De eerste soort bestaat uit achtergrondkennis, noodzakelijk voor beleidsontwikkeling, zowel bij de overheid als in het bedrijfsleven. Beleid moet worden gebaseerd op inzicht in de werkelijkheid: prijzen en prijsontwikkeling, markten, beschikbaarheid van voorraden, redelijke verwachtingen over de snelheid waarmee nieuwe technologieën kunnen worden toegepast etc. Zulke achtergrondkennis is bijvoorbeeld geleverd door Martin Junginger met zijn studie naar de prijsontwikkeling van een aantal duurzame technologieën, door Han Slootweg met zijn analyse van de invloed van windenergie op de stabiliteit van het elektriciteitsnet, door Oscar van Vliet met zijn onderzoek naar marktkansen van biobrandstoffen, door Andrea Ramírez

met haar analyse van energiebesparing in de lichte industrie, door Saikat Mazumder met zijn onderzoek naar opslag van CO₂ in steenkoollagen, door Mark Prins met zijn studie naar houtvergassing, door Veronika Dornburg, Ada Ignaciuk en Iris Lewandowski met hun ketenanalyses aan biomassa en hun onderzoek naar het potentieel in Oost-Europa, door Sioe Yao Kan, Nils Reich en Boelie Elzen met hun werk aan het ontwerp van gebruiksvoorwerpen op zonne-energie, door Herman Vollebergh en Ton van Dril en hun teams met hun onderzoek naar het investeringsgedrag in energiebesparing van kleine bedrijven, en door Jos Meeuwssen met zijn analyse van de toekomstige ontwikkeling van de elektriciteitsvoorziening. Ook de studie van Marco Koetse naar investeringsbeslissingen, die zich sterk op metaniveau beweegt zodat de praktische toepasbaarheid niet direct zichtbaar is, kunnen we hieronder rekenen.

Het beschikken over achtergrondkennis is een noodzakelijke voorwaarde voor het voeren van beleid. Niet op alle gebieden is de in het Stimuleringsprogramma ontwikkelde kennis van strategisch belang geweest – zo is in het programma wél gekeken naar de kortetermijnstabiliteit van het elektriciteitsnet onder invloed van windenergie en niet naar de netbalans die juist in deze periode in Europa tenminste één keer door de grote hoeveelheid windvermogen ernstig werd bedreigd; en zo heeft het onderzoek rond zonnecellen zich toegespitst op een heel specifiek vraagstuk dat niet direct doorslaggevend lijkt voor de toekomst van zonne-energie. Maar de geleverde bijdragen hebben stuk voor stuk praktisch nut bij de verdere doorvoering van een duurzame energievoorziening.

Inzicht in opinievorming De tweede soort kennis gaat over oordeelsvorming over nieuwe technologieën. Dit was het thema van de sociaalwetenschappelijke onderzoeken rond biomassa van Wouter van den Hoogen, Anneloes Meijnders en Gundula Hübner, en rond CO₂ opslag van Dancker Daamen en Marjolein de Best-Waldhober. Uit beide onderzoeken blijkt dat oordeelsvorming een precair proces is, en dat het oordeel van mensen niet altijd is wat het lijkt. Opinies over CCS blijken vaak instabiel, doordat de ondervraagden de benodigde achtergrondkennis missen en als gevolg daarvan hun mening sterk laten beïnvloeden door de context. De onderzoekers noemen dit pseudo-opinies. Beleid gebaseerd op pseudo-opinies is gebouwd op drijfzand, want als de omstandigheden veranderen kunnen de meningen zó maar omslaan (zoals al wordt bevestigd in de weerstand die het eerste CCS-project op het Nederlandse vasteland ontmoet). En bij het onderzoek naar de houding over biomassacentrales blijkt als mogelijke valkuil dat beleidsmakers zouden kunnen afgaan op alleen de (verstandelijke) oordelen van het publiek; bij dieper doorvragen blijkt dat emoties ook belangrijk zijn voor de vorming van opinies, en wel des te sterker naarmate men meer negatieve gevolgen ondervindt (zoals de directe omwonenden van biomassacentrales). Hier is het niet zozeer onwetendheid als wel ambivalentie die instabiliteit in houding en oordeel kan veroorzaken.

Inzicht in innovatie- en transitieprocessen Het derde soort inzicht dat het Stimuleringsprogramma heeft gebracht heeft betrekking op de dynamiek van innovaties en transities. Hoe ontwikkelen zich nieuwe, meer duurzame vormen van energievoorziening, gegeven de

bestaande infrastructuur en de bestaande cultuur en structuur van besluitvorming? Wat zijn de factoren die het dóórbreken van meer duurzame technologieën bepalen? Het is dit soort onderzoek dat Peter Aubert waarschijnlijk heeft verleid tot de boutade dat als resultaat van deze studies het ‘handelingsperspectief’ vaak minder helder is dan de ‘duiding’. Met andere woorden: de studie voldoet aan wetenschapsinterne maatstaven (de werkelijkheid wordt beter begrepen), maar niet aan de criteria van de beleidsontwikkelaar (het wordt duidelijk hoe te handelen). Voorbeelden van verheldering van deze dynamiek zijn de studie van Susanne Agterbosch naar het beleid rond wind-energie op land, de analyse van de rol van protectie in niches van een opkomende technologie door Johanna Ulmanen, het onderzoek van Rob Raven naar transitieprocessen rond de elektriciteitsvoorziening vanaf 1970, de sociotechnische scenario's van Peter Hofman en Boelie Elzen, de analyse van transitiepaden met afvang en opslag van CO₂ door Kay Damen, de analyse van succes en falen bij biomassavergisting door Simona Negro, de studie naar de invloed van onzekerheden op de besluitvorming rond duurzame energie door Ineke Meijer, en het onderzoek naar de werking van ‘innovatiemotoren’ door Roald Suurs. De nog niet afgeronde studies van Lars Dittmar en Erik Pruyt naar de rol van onzekerheden op de weg naar een duurzame energievoorziening moeten op meer kwantitatief niveau zicht geven op de dynamiek van transities en innovaties.

Beleidsrelevantie De potentie voor het beleid van de studies naar de dynamiek van innovaties en transities moeten we nader bekijken. We nemen als voorbeeld het onderzoek van Susanne Agterbosch. Deze laat

Onwetendheid en ambivalentie veroorzaken instabiliteit in houding en oordeel over nieuwe technologieën

De overheid is in onze tijd wat ongeduldig en houdt niet goed rekening met de tijd die mensen nodig hebben om zich nieuwe inzichten eigen te maken

168

duidelijk zien dat bij de promotie van nog niet marktrijpe technologieën (en doorgaans zijn de nieuwe schone en leuke technologieën nog niet marktrijp) de overheid een doorslaggevende rol speelt.¹

De overheid wordt in deze positie gedwongen keuzes te maken en die pakken niet altijd gunstig uit. Susanne Agterbosch toont in haar studie aan dat de Nederlandse overheid bij de stimulering van windenergie te lang heeft ingezet op de energiedistributiebedrijven als motor achter investeringen in windturbines. Dat was niet handig, want de ‘maatschappelijke verantwoordelijkheid’ zoals die door EZ werd voorgestaan was nog niet tot in de haarvaten van de bedrijven doorgedrongen (het waren van oorsprong

¹ Gedurende vrij korte tijd (jaren '80 tot begin jaren '90 van de vorige eeuw) zijn ook de nutsbedrijven actief geweest op dit gebied, eerst de toen bestaande distributiebedrijven en later ook de landelijke SEP (Samenwerkende Elektriciteitsproductiebedrijven). De overheid stimuleerde deze activiteiten ook bewust, door concurrentie in het leven te roepen tussen distributie- en productiebedrijven van elektriciteit, door het bevorderen van ‘horizontale integratie’ door fusie van de plaatselijke gas-, elektriciteits- en warmtebedrijven, en door een beroep te doen op de ‘maatschappelijke verantwoordelijkheid’ van de nutssector. Maar toen kwam de golf van neoliberalisme en daarin bleek deze maatschappelijke verantwoordelijkheid toch meer te bestaan uit het aangaan van onderlinge concurrentie, waardoor deelname aan ‘risicovolle projecten’ binnen korte tijd opdroogde. Dat liet de overheid achter als enige stimulator van nog-niet-marktrijpe technologieën. Sinds kort werpen enkele nutsbedrijven zich weer op als hypotheekverstrekker voor consumenten die willen investeren in bijvoorbeeld zonnecellen, waarbij de hypotheeklasten worden verrekend met de energierekening. Dit hangt samen met de duurzame strategie die de grote nutsbedrijven in Nederland momenteel volgen.

immers gewoon bedrijven die energie leverden en niets moesten hebben van activiteiten ‘achter de meter’ zoals energiebesparing), en tegen de tijd dat zulks wel het geval was, verlegde de overheid de koers weer naar commercialisering. De overheid is in onze tijd wat ongeduldig en houdt niet goed rekening met de tijd die mensen nodig hebben om zich nieuwe inzichten eigen te maken, zelfs wanneer deze in het licht van de veranderende realiteit volkomen rationeel of zelfs dringend gewenst zijn. EZ ging voorbij aan de wél bestaande motivatie bij energiecollectieven en boeren, en hielp daarmee zijn eigen ook gekoesterde ambitie om zeep, namelijk de opbouw van een eigen Nederlandse windturbine-industrie.

Wat kunnen beleidsmakers nu voor handelingsperspectief aan deze inzichten ontnemen? Op het eerste gezicht niet veel, want ‘resultaten behaald in het verleden bieden geen garantie voor de toekomst’, omgekeerd dus ook: ‘mislukkingen uit het verleden geven geen richtsnoer voor het heden’. De energiebedrijven, in de jaren '90 geen goede trekkers voor nieuwe technologieën, zouden dat in de huidige constellatie zomaar wél kunnen zijn, en er zouden nieuwe spelers kunnen opkomen die deze rol nog beter kunnen vervullen, zoals projectontwikkelaars. Als het doel is de ontwikkeling van nieuwe industriële groeisectoren, dan is windenergie misschien niet meer de goede kandidaat en moet eerder worden gekeken naar nanotechnologie of chemische katalyse. Richtlijnen voor zulke beleidsconclusies kunnen we niet goed afleiden uit het door Agterbosch geanalyseerde materiaal.

Maar deze relativeringen van het belang van kennis voor beleid moeten we direct weer ter discussie stellen. Er lijken bij nader inzien twee mechanismen te bestaan waar-

door het beleid van bedrijven en overheden toch profiteert van kennisontwikkeling – en bij één daarvan komen we opnieuw de aanpak van Susanne Agterbosch tegen.

Kennisverspreiding ‘via het circuit’ Het eerste mechanisme is de verspreiding van kennis doordat wetenschappelijke onderzoekers deel uitmaken van het beleids-circuit, deels door adviesfuncties en deels door hun baan. Van de promovendi uit het Stimuleringsprogramma zijn er bijvoorbeeld enkele direct doorgestroomd naar posities waarin zij mede beleidsbepalend zijn geworden: Saikat Mazumder en Mark Prins zijn na hun promotie gaan werken bij Shell, Kay Damen bij Nuon, Han Slootweg bij Essent, Susanne Agterbosch bij de Stichting Landschapsbeheer Gelderland, allen op hun vakgebied. Wellicht nog invloedrijker is de adviespositie die sleutelpersonen uit de wetenschappelijke instituten innemen. Bij projecten als die van het Stimuleringsprogramma zijn altijd senior wetenschappelijke onderzoekers betrokken, vaak als promotor. Van het Copernicus Instituut van de Universiteit Utrecht bijvoorbeeld, dat vele deelprogramma’s huisvestte, bekleeden de hoogleraren Wim Turkenburg en Kornelis Blok adviesfuncties voor de overheid. Kennis vanuit de instituten stroomt daardoor voortdurend beleidsorganen binnen. Als kenmerkend voorbeeld kan genoemd worden de beleidsontwikkeling rond ‘schoon fossiel’, met als sleuteltechnologie afvang en opslag van CO₂. Wim Turkenburg, directeur van het Copernicus Instituut en tevens lid van de Programmacommissie: “Begin jaren ’90 stonden wij aan de wieg van de eerste golf van belangstelling voor schoon fossiel. Later, toen het op praktijkexperimenten aankwam, verflauwde de belangstelling van de Nederlandse over-

heid, waardoor het initiatief in het buitenland kwam te liggen. Maar door steun van het Stimuleringsprogramma konden wij de kennisontwikkeling rond schoon fossiel in Utrecht op gang houden. Dat bood de basis voor het veel grotere CATO-programma, dat wij van de grond konden krijgen toen afvang en opslag van CO₂ rond 2000 weer in de belangstelling kwamen. Zo heeft het Stimuleringsprogramma de revival van schoon fossiel mede mogelijk gemaakt.”

“Een ander voorbeeld is de ondersteuning van onderzoek naar biomassa in het Stimuleringsprogramma. Dat was vernieuwend, het heeft bijgedragen aan verkenning van de potentie en beperkingen van deze vorm van energievoorziening. Door ontwikkeling van technologie én bewustwording heeft dit onderzoek biomassa in brede kring op de kaart gezet.”

Turkenburg ontleent hieraan een argument voor het in stand houden van zulke studies. “Vijftien jaar geleden hebben wij met de voorganger van het Copernicus Instituut een onderzoeksprogramma ontworpen voor kennis gericht op het winnen van windenergie op zee: metingen van windsnelheden en dergelijke. Het ministerie van EZ wees het voorstel echter af omdat het ‘niet relevant’ was voor het energiebeleid. Vijf jaar later was wind op zee ineens het speerpunt van het energiebeleid. Ons onderzoeksprogramma had onder dat beleid een uitstekende basis kunnen leggen. We hebben daarom de ontwikkeling van achtergrondkennis nodig, los van de favoriete beleidskeuzen van het moment.”

Er moet dus ruimte zijn voor onderzoek dat enigszins los staat van wat nu de aandacht heeft. Wie had in 1998 kunnen denken dat EZ zou kiezen voor een transitie-

Het Stimuleringsprogramma heeft de revival van schoon fossiel mede mogelijk gemaakt

benadering? De basis voor kennis over transitie is onder andere gelegd in het Milieu en Economie-onderzoek-programma, waarin onderzoekers uit Twente en Maas-tricht participeerden (Frank Geels, Johan Schot, Arie Rip, en René Kemp). Binnen het programma vormden zij een buitenbeentje omdat niet gewerkt werd vanuit de economische theorie.

10.5 Naar innovatie van de wetenschap zelf

Kennisverspreiding door samen leren De tweede manier waarop kennis van belang is voor beleid is deels nog een belofte: het vooruitzicht dat innovatiewetenschap en transitietheorie methoden ontwikkelen om de zwakke punten van vernieuwingsprocessen sneller op te sporen en eerder te herstellen. Precies dit vooruitzicht leidde het ministerie van VROM er in 2001 toe, de transitie als begrip-kader te gebruiken voor de ingrijpende veranderingen die het NMP-4 noodzakelijk achtte. De overheid plaatste de maatschappelijke dynamiek van vernieuwingen centraal en niet langer de technologie die tot wasdom moest komen. Qua beleidsvernieuwing was deze stap een groot succes: het transitiedenken staat sindsdien centraal in al het duurzaamheidsbeleid. De aandacht voor de vormgeving van vernieuwingsprocessen is sterk gegroeid, vooral aandacht voor de coalitievorming die in de transitietheorie centraal staat. De overheid beschouwt zich meer als medespeler in een maatschappelijk krachtenveld en minder als vormgever van de samenleving. We kunnen het voorbeeld van de windenergie in de jaren '90 weer als uitgangspunt nemen. Promovenda Agterbosch

maakt deel uit van een richting in de innovatiewetenschap die de maatschappelijke dynamiek als uitgangspunt neemt en probeert patronen in innovatiesystemen te analyseren. Dat is een tijdrovend werk, want aan de basis van deze analyses staat een documentatie van relevante voorvallen rond het betreffende technologische innovatiesysteem: toetreders, afvallers, overheidsmaatregelen en hun impact, coalitievorming of onderlinge concurrentie etc. Als ambitie van deze lijn van onderzoek kunnen we formuleren de ontwikkeling van een beleidsmethodiek waarin patroonherkenning een belangrijke rol speelt, zodat bij analyse van het betreffende innovatiesysteem ook de mogelijke vruchtbare ingrepen in dat systeem naar boven komen. Als metafoor wordt hierbij de innovatiemotor gebruikt. Bij onderzoek aan deze motoren kan hun werking worden vastgesteld, zodat de beleidsmonteur bij haperende motoren kan vaststellen aan welke knoppen moet gedraaid worden om deze weer op gang te krijgen. Dit is een tamelijk mechanistische voorstelling van zaken, en het ligt voor de hand dat de werkelijkheid wel niet zó eenvoudig in elkaar zal zitten dat degene die de innovatiemotor 'bestuurt' in het vervolg slechts naar de innovatiegarage hoeft te gaan om de boel te kunnen repareren. Daarom is het idee van 'sociaal leren' dat door de concurrerende theorie van het strategisch nichemanagement is ontwikkeld, een waardevolle aanvulling. De onderzoekers van deze school gaan uit van het ervaringsgegeven dat beleid ten aanzien van technologische ontwikkeling vaak te veel gericht is op deze ontwikkeling zelf, met voorbijgaan aan de sociale werkelijkheid waarin technologieën worden toegepast. Toepassing van nieuwe vindingen heeft vaak invloed op de sociale werkelijkheid, waardoor

weer nieuwe vindingen worden uitgelokt. Overschakeling van vliegtuigen op straalmotoren betekende bijvoorbeeld niet alleen dat startbanen moesten worden verlengd, radarinstallaties verbeterd en landingsprocedures aangepast, maar deze verandering markeerde ook het begin van massatoerisme per vliegtuig, met alle gevolgen van dien voor de economie van zonnige kusten en het vakantiegedrag van hordes bleke zonzonbidders. Nieuwe technologieën vereisen vaak nieuwe organisatiestructuren en anders omgaan met klanten. Het aantal innovaties dat is mislukt omdat geen aandacht werd geschonken aan hun sociale omgeving is legio.

Het concept van transitie-experimenten dat deze auteurs (Kemp e.a.) vervolgens ontwikkelen, is uitdagend en verdient het, in de praktijk te worden toegepast. Transitie-experimenten zijn geen tests of demonstraties onder gecontroleerde omstandigheden, maar strategisch gekozen praktijkexperimenten die lessen opleveren over de manier waarop innovaties worden gebruikt, de wensen van gebruikers en de maatschappelijke acceptatie (of juist verwerping) van technologieën. Zulke experimenten worden flexibel opgezet zodat nog tijdens de proefperiode aanpassingen kunnen worden aangebracht waaruit ook weer lessen kunnen worden getrokken ('leren van de tweede orde'); en er worden bewust pogingen gedaan om de buitenwereld bij het experiment te betrekken zodat het zich bij succes beter kan verspreiden.

Meer interactie tussen beleid en wetenschap Met deze ontwikkeling van hun wetenschap in praktische richting naderen beide disciplines de beleidsadvisering door adviesbureaus. Innovatiewetenschap en transitietheorie

enerzijds, en beleidsadvisering anderzijds, zo kunnen we stellen, verhouden zich tot elkaar als wetenschap en technologie: de fundamentele principes die in de wetenschap worden ontdekt, worden toegepast in de technologie. En de ervaringen in de technologie kunnen weer bevruchtend zijn voor de wetenschap – tenminste als er enige samenwerking tot stand komt.

De innovatie- en transitiewetenschappen kunnen voor vergroting van hun effect op beleidsprocessen de voeling met de adviespraktijk goed gebruiken. Dit punt kan worden geïllustreerd met de conclusies van het proefschrift van Ineke Meijer. Haar analyse van de rol van onzekerheden in innovatieprocessen leidt tot aanbevelingen die grotendeels al in de praktijk worden toegepast. Ze beveelt bijvoorbeeld meer 'interactie' (contact, overleg) aan tussen beleidsmakers en ondernemers om te voorkomen dat ieder op de ander wacht bij beslissingen – een aanbeveling die de betrokkenen al in de energietransitie in de praktijk proberen te brengen. Toch heeft ze een punt: betere interactie tussen beleidsmakers (en hun adviseurs) en innovatiewetenschappers kan het functioneren van beide verbeteren. Want, met alle waardering die men kan hebben voor de praktijk van de beleidsadvisering tegen een steeds veranderend decor, de resultaten van het duurzaamheidsbeleid in termen van het nemen van de juiste beslissingen voor de BV Nederland overtuigen niet. Wat kritische wetenschappelijke zin zou de beleidsontwikkeling goed kunnen gebruiken. Bijvoorbeeld om de waan van de dag (liberalisering) en de voortgaande onderstroom (duurzaamheid) beter van elkaar te kunnen onderscheiden, ook wanneer de economie morgen in slecht weer komt. Of om beter te onderscheiden tussen technologieën die ontwikkeld moeten worden van-

Wat kritische wetenschappelijke zin zou de beleidsontwikkeling goed kunnen gebruiken. Bijvoorbeeld om beleidsmislukkingen beter te analyseren, een onderwerp dat politici liever vermijden

**Samenwerking tussen
beleidswetenschap en
adviesbureaus is een
must**

wege hun potentieel voor duurzaamheid of juist vanwege hun belofte voor de BV Nederland (met verschillende criteria voor hun latere evaluatie). Of om beleidsmislukkingen beter te analyseren, een onderwerp dat politici liever vermijden. Of toch om de toolkit van de innovatiegarage wat preciezer vorm te geven en te bepalen aan welke bout het beste gedraaid kan worden bij welke hapering van de innovatiemotor.

Adviesbureaus betrekken Voorzitter van de Programmacommissie Jan Paul van Soest meent dat het betrekken van adviesbureaus bij een eventuele opvolger van het Stimuleringsprogramma het rendement in beleidstermen zal vergroten. Misschien was dit nog niet concreet mogelijk bij de opzet van het huidige programma omdat de wetenschap toen nog niet zo ver was. Maar voor een eventueel vervolgprogramma lijkt zulke samenwerking een *must* – niet alleen om het rendement van de wetenschap te vergroten, maar ook om de wetenschap een fikse dosis adrenaline van de praktijk te bezorgen. Beide polen lijken alleen maar bij zo'n samenwerking te kunnen winnen. Zo'n samenwerking betekent onder meer dat belanghebbenden daadwerkelijk betrokken raken bij onderzoek: onderzoeksvragen worden dan mede geformuleerd door 'marktpartijen', waaronder overigens ook de overheid en zijn adviesorganen. Een innovatie- en transitiewetenschap waarin ook de 'technologie' van de beleidsadvisering een rol speelt, kampt tenslotte niet meer met de vraag naar bèta-gamma-interactie – die *is* die interactie. Onderzoekers in deze discipline moeten enerzijds de technologie die wacht op een doorbraak goed begrijpen, anderzijds ook

voldoende voeling hebben met de veelkantige menselijke verhoudingen in besluitvormingsprocessen. Zo'n discipline zal de scheiding tussen bèta- en gammawetenschap te boven zijn gekomen.

In dezelfde richting denkt lid van de Programmacommissie Kees van der Klein (ECN): "Als er een nieuwe ronde komt in maatschappelijk georiënteerd energieonderzoek, dan moet het programma worden gelinkt met de maatschappelijke ontwikkeling. Er is heel veel gebeurd in de sector, zoals privatisering en splitsing van nutsbedrijven, en de energietransitie. Toen het Stimuleringsprogramma werd bedacht, was er nog de MAP van distributiebedrijven en misschien ook nog de SEP. Er zijn sindsdien ook sterke bureaus opgekomen die beleidsgerichte studies doen, zoals ECN Beleidsstudies, CE, Ecofys en BuildDesk. Een NWO-programma zou zich nu meer moeten definiëren als onderdeel van de maatschappelijke ontwikkeling."

Leren van mislukkingen Een speciale rol voor de wetenschap kan, een suggestie van Van Soest volgend, ook gelegen zijn in het over het voetlicht brengen van beleidsmislukkingen. Hier ligt een belangrijke eigen taak voor de wetenschap, want ministers noch beleidsambtenaren noch adviseurs zijn bijzonder in dit onderwerp geïnteresseerd. En daarmee ontzeggen zij zich een belangrijke bron van leren. Door heilloze paden niet langer te bewandelen zou veel beleidsenergie gespaard kunnen worden. Patronen als het weglekken van productie en het opkomen van ontmoedigd milieuschadelijk gedrag in een ander jasje moeten kunnen worden herkend zodat op voorhand maatregelen daartegen kunnen worden getroffen.

Het fenomeen macht In de nieuwe beleidswetenschap zou, aldus Van Soest, het fenomeen macht een nadrukkelijker plaats verdienen. Gevestigde belangen hebben vaak een aanzienlijke invloed op de gang van zaken, en dat geldt zeker ook voor duurzaamheid. In de Nederlandse cultuur gebeurt dat doorgaans achter de schermen, wat het proces moeilijker te achterhalen maakt dan in macho-culturen waar machthebbers openlijk kunnen uitkomen voor hun rol. Macht heet in Nederland doorgaans ook eufemistisch invloed. Speciaal in Nederland ligt er voor de wetenschap daarom de taak, 'invloedsstructuren' bloot te leggen zodat besluitvorming effectiever kan plaats vinden en eenmaal genomen besluiten niet achter de schermen worden getraind. Als er één vaardigheid is waarbij de protagonisten van duurzaamheid in Nederland baat zouden hebben, dan is het de kunst van het omgaan met gevestigde belangen. Hoe om te gaan met weerstanden? Wanneer moet worden toegewerkt naar win-winsituaties, en wanneer moet de confrontatie worden aangegaan met als instrument handhaving door de overheid?

***Speciaal in Nederland
ligt er voor de wetenschap
de taak 'invloeds-
structuren' bloot te
leggen***



Simona Negro is innovatiewetenschapper en heeft enige tijd als post-doc gewerkt aan het Copernicus Instituut van de Universiteit Utrecht. Sinds 1 april 2008 is zij daar universitair docent.

Simona Negro

‘Out of the box-denken helpt het bedrijfsleven verder’

‘Na mijn promotie over verschillende aspecten van technologische innovatiesystemen in 2007 stond de telefoon roodgloeiend! Mijn onderzoek spitste zich toe op vier vormen van energie uit biomassa. Wat ik daarover te melden had, paste heel erg goed in de politieke en maatschappelijke ontwikkelingen van dat moment. Zo trad het nieuwe kabinet aan met allerlei milieuplannen en deed Al Gore zijn intrede. Mijn proefschrift heeft daardoor veel media-aandacht gekregen. Ook was er direct interesse vanuit de beleidswereld. Toch duurde het enige tijd voordat beleidsmakers ook echt iets gingen doen met mijn onderzoek. Het was de eerste keer dat onze onderzoeksgroep het ‘framework’ – nog niet een echte voldragen theorie – over de zeven sleutelactiviteiten naar buiten bracht. Die activiteiten worden ook wel systeemfuncties genoemd en zijn noodzakelijk voor een goed functionerend technologisch innovatiesysteem. De functies zijn ‘experimenteren door entrepreneurs’, ‘kennisontwikkeling’, ‘kennisdiffusie’, ‘richting geven aan het zoekproces’, ‘het creëren van markten’, ‘het mobiliseren van hulpbronnen’ en ‘het creëren van legitimiteit’. Het

allermooiste resultaat tot nu toe is dat we van de beleidsmakers rond Energietransitie van EZ en SenterNovem de opdracht hebben gekregen om alle beoogde transitiepaden te analyseren op deze zeven functies. Ikzelf heb daarbij vooral de bio-paden voor mijn rekening genomen. Ik heb onder andere gesprekken gevoerd met verschillende belanghebbenden. Wat me daarbij verraste, is dat er een opvatting heerst dat energie halen uit biomassa het laatste is wat je daarmee moet doen. Liever gebruikt men biomassa voor bijvoorbeeld groene chemie.

Ik ben nu meer toekomstgericht bezig, terwijl mijn promotieonderzoek een historische benadering had. Toen keek ik naar hoe het rond die vier biomassatechnologieën daadwerkelijk is gelopen. Nu moet ik vooral kijken naar welke barrières je zou kunnen vermijden om het goed te laten gaan. Zo hebben we in de Innovatieagenda Energie van EZ al grote delen van onze bevindingen teruggezien! We merken trouwens dat andere onderzoeksinstellingen, zoals TNO en ECN, ook belangstelling hebben voor ons *framework*. Soms wordt er door opdrachtgevers gevraagd of we studenten kunnen leveren die een onderzoek kunnen doen.

Wat me verder bezig houdt, is of die zeven systeemfuncties ook gelden voor innovaties in andere domeinen dan alleen duurzame energie. Je kunt hierbij denken aan de medische wetenschap, nanotechnologie, genomics, transport, ICT enzovoort. Ik begeleid nu een student die zich richt op membraanprocessen in de chemische industrie. Interessant is dat je daar een beperkt aantal grote, machtige spelers op de markt hebt, wat de casus wel complex maakt. Een andere vraag is of onze zeven systeemfuncties ook in het buitenland aan de orde zijn. In mijn proefschrift heb ik vooral naar de Nederlandse situatie gekeken.

Ik heb nu veel met het bedrijfsleven en bijvoorbeeld een intermediaire organisatie als SenterNovem te maken. De toekomst zit in het kennis overdragen en koppelen van verschillende werelden, heb ik gemerkt. Als je als bedrijf in de voedingsmiddelenindustrie zit, weet je niets van energie en omgekeerd. Dat moet veranderen. Ik zie wel dat de opkomst van het concept 'cradle to cradle' daaraan kan bijdragen. Nodig is dat het bedrijfsleven meer 'out of the box' gaat denken.'

'Als je als bedrijf in de voedingsmiddelenindustrie zit, weet je niets van energie en omgekeerd. Dat moet veranderen.

De toekomst zit in het kennis overdragen en koppelen van verschillende werelden.'

10.6 Lessen voor de energietransitie

We kijken nogmaals door de ooghalen naar het Stimuleringsprogramma Energieonderzoek en proberen te formuleren wat zijn resultaten zijn. Ten eerste moeten we dan de beperking signaleren dat het gaat om onderzoek naar een duurzame energievoorziening. De mogelijke rol van bijvoorbeeld kernenergie is daardoor in het geheel niet belicht – noch zijn potentie, noch zijn beperkingen. Ook vraagstukken van macht en belangenconflicten zijn nauwelijks aan de orde gesteld, al helemaal niet in internationaal verband.

Binnen die beperkingen ligt de grootste bijdrage van het Stimuleringsprogramma aan de energietransitie in de verheldering van de dynamiek van innovaties en transitie. Er zijn grote bijdragen geleverd aan de analyse van deze processen, zowel in het algemeen ('hoe gaat het proces van vernieuwing'), als meer specifiek toegespitst op Nederland. De resultaten van dit onderzoek kunnen we als volgt samenvatten, waarbij we vooral teruggrijpen op het werk van de groepen van Marko Hekkert aan de Universiteit Utrecht en van Geert Verbong aan de TU Eindhoven. Sinds het uitbreken van de oliecrises in de jaren '70 is er in Nederland veel aandacht geweest voor wat wij tegenwoordig een duurzame energievoorziening noemen. Die aandacht heeft alleen niet geleid tot veel resultaat. In 2005 stond het aandeel duurzame energie in de energievoorziening van Nederland op de helft van dat van Duitsland en op 40% van het Europese gemiddelde. Dit is zó zeer in strijd met de beleidsdoelstellingen in deze periode, dat we van een tekortschietend proces kunnen spreken. Naar de innovatiegarage ermee!

Nederlanders zijn goed in het hebben en verder ontwikkelen van nieuwe ideeën. Ze komen alleen zo moeilijk tot overeenstemming wanneer de nieuwe ontdekkingen in praktijk moeten worden gebracht!

Specifiek voor Nederland schijnt te zijn dat mensen (politici voorop) eerst enthousiast worden maar in de loop van de jaren niet bestand zijn tegen tegenslagen. In vasthoudendheid blinken Nederlanders niet uit. In de energietransitie volgen opgeklepte verwachtingen en teleurstellingen elkaar op; de mislukking van de éne technologie voedt de verwachtingen omtrent de volgende. En dan begint de cyclus weer van voren af aan.

Ook een observatie: Nederlanders zijn goed in het hebben en verder ontwikkelen van nieuwe ideeën. Het peil van wetenschappelijk onderzoek en technologische ontwikkeling in Nederland is internationaal altijd als hoog beoordeeld. Nederlanders zijn nieuwsgierig en ondogmatisch waardoor ze ongebaande paden durven opgaan. Ze komen alleen zo moeilijk tot overeenstemming wanneer de nieuwe ontdekkingen in praktijk moeten worden gebracht! Daardoor is het aantal veelbelovende technologieën dat voortijdig sneuvelt, hoog. Niets nieuws overigens aan deze inzichten, die tien jaar geleden al werden gelanceerd onder de naam 'innovatieparadox'.

Ook een observatie: Nederlanders waarden durf onvolgende. En toch is durf een essentieel onderdeel van het innovatieproces, juist in de fase waarin technologische vindingen op de markt moeten worden gebracht, en doorzettingsvermogen en lef worden gevraagd om de eerste onvermijdelijke tegenslagen te boven te komen. Kleine ondernemers die voor 100% achter hun vinding staan worden bekeken met een mengeling van bewondering en meewarigheid. Liever dan met hen in zee te gaan kiezen de meeste besluitvormers op het beslissende moment voor de gemakkelijke paraplu van de gevestigde belangen, waaronder men zich tenminste geen buil kan vallen. Jaren lang,

zo lang de risico's te overzien zijn, kan een technologie ondersteund worden met de relatief kleine bedragen noodzakelijk voor onderzoek en ontwikkeling. Op het moment dat doorgepakt moet worden, aan het begin van introductie op de markt, zijn de risico's het grootst – en juist op dat moment ligt het in de Nederlandse cultuur, terug te schrikken.² In deze fase is het voor de ondernemers niet alleen moeilijk overheidssteun te krijgen, maar ook om kapitaal aan te trekken. Het risicomijdend gedrag van de meeste landgenoten brengt met zich mee dat Nederland qua techniek en infrastructuur, in tegenstelling tot het zelfbeeld, behoorlijk conservatief is.

De belofte van de huidige ontwikkeling in de innovatie- en transitiewetenschappen is dat zij deze 'vallei des doods' waarin menige veelbelovende technologie in Nederland terecht komt, zullen doorgronden. De vallei kan doorgetrokken worden en aan het eind gaat de weg weer omhoog. Is er een mooier argumentatie denkbaar voor een vervolg op het Stimuleringsprogramma? Verder zou ook de vraag of bestrijding van de innovatieparadox in Nederland enigszins succesvol is geweest, een leerzaam studieonderwerp zijn. Daarbij kan worden bedacht dat altijd slechts een klein deel van technologische innovaties en daaropvolgende demonstratieprojecten succesvol kan zijn. En Nederland is niet geheel onsuccesvol bij toepassingen van nieuwe energietechnologie, denk aan de HR-ketel. De grote hoeveelheid in Nederland ontwikkelde perspectiefrijke technologieën en de opkomst van innovatieve energiebedrijven geeft zicht op mogelijke doorbraken in de toekomst.

² Recent onderzoek wijst uit dat de innovatieparadox in meer landen van Europa een probleem is, maar wij concentreren ons hier op Nederland.

Naast deze verheldering van de dynamiek van de energietransitie blijft overigens ook de ontwikkeling van wat wij achtergrondkennis hebben genoemd van groot belang.

Organisatie van samenwerking Twee kwesties zullen zonder twijfel veel aandacht krijgen bij de verdere ontwikkeling van innovatie- en transitiewetenschap: de organisatie van de samenwerking in een technologisch innovatiesysteem, en het verkrijgen van correcte gegevens over de stand van ontwikkeling van de betreffende technologie.

Het onderwerp 'samenwerking' zijn we in deze kroniek van het Stimuleringsprogramma een aantal malen tegengekomen. Simona Negro signaleerde dat de achterstand die biomassavergisting in Nederland opliep ten opzichte van Duitsland mede terug te voeren was tot een gebrek aan organisatie bij gebruikers van deze technologie. Iedereen zat op een eilandje en er was geen onderlinge bevruchting, laat staan gemeenschappelijke belangenbehartiging; in Duitsland ontstond al in een vroeg stadium een georganiseerde vorm van belangenbehartiging, die mede heeft bijgedragen tot de stabiele overheidssteun voor deze technologie. Ook uit ander werk, bijvoorbeeld dat van Johanna Ulmanen, blijkt het belang van de vorming van een 'ondersteunende coalitie' voor het succes van een innovatie. Gebrek aan samenwerking veroorzaakt niet alleen gebrek aan steun uit de samenleving, maar ook gebrek aan uitwisseling van kennis en daardoor langzamer 'technologisch leren'. Martin Junginger heeft in zijn dissertatie beargumenteerd dat prijsdalingen van technologieën, noodzakelijk voor hun doorbraak op de markt, bij gebrek aan samenwerking aanzienlijk langzamer gaan omdat de één

De 'vallei des doods' waarin menige veelbelovende technologie in Nederland terecht komt, kan doorgetrokken worden en aan het eind gaat de weg weer omhoog

Technologen zijn sterk geneigd de moeilijkheden op hun pad te onderschatten

niet kan leren van de fouten van de ander.

Samenwerking is ook het centrale thema dat door Alexandra van Huffelen van Essent is aangegeven in een gesprek over het Stimuleringsprogramma: “In Nederland zijn wij helaas niet heel succesvol in het wegnemen van hobbels.

Deels door zwakke overheidsbeleid, deels doordat lagere overheden de slag van duurzame energie nog niet te pakken hebben – niet alleen op het gebied van biomassa maar ook op dat van wind en van zon. Deels ook doordat het nog niet goed is doorgedrongen tot het publiek wat duurzame energie kan doen. Onderzoek kan misschien helpen bij het slechten van hobbels door het smeden van goede coalities. De duurzame energie in Nederland heeft coalities nodig, van bedrijven, overheden en wetenschappers. Neem Finland, daar is de coalitievorming goed gelukt tussen bedrijven, overheid en universiteiten waardoor Finland in de vaart der volkeren is opgestoten.”

Het vormen van een energiegemeenschap is geen eenvoudige zaak. Er gaapt een kloof tussen bedrijven en onderzoeksinstellingen. Ondernemerschap en wetenschap zijn gescheiden circuits. Er is een wereld te winnen wanneer onderzoekers hun vraagstelling meer gaan baseren op problemen in bedrijven, en wanneer deze laatste de weg naar de wetenschap wat vaker zouden inslaan. Een tweede probleem is dat voor vernieuwingen pioniers nodig zijn – en pioniers zijn eigennuttige mensen, vaak primair gemotiveerd door die prachtige technologie waarvoor zij staan en moeilijk te overtuigen van de voordelen van de concurrent. Concurrentie tussen technologieën is een gegeven dat in dit boek uitvoerig is toegelicht. Maar juist om deze redenen is het een grote uitdaging, in de komende tijd gemeenschapsvorming beter van de grond te krijgen. Bij een meer

praktische samenwerking tussen innovatiewetenschappers en beleidsvormers in bedrijven en bij de overheid moeten op dit gebied stappen voorwaarts gemaakt kunnen worden.

Inzicht in stand van de ontwikkeling van een technologie

Bij de verdere ontwikkeling van de innovatie- en transitiewetenschap is een tweede belangrijk punt de vorming van adequate instrumenten om de stand van de ontwikkeling van een technologie te beoordelen. Technologen zijn sterk geneigd de moeilijkheden op hun pad te onderschatten, in de eerste plaats door het optimisme dat zij moeten hebben om hun werk goed te kunnen doen, en verder omdat zij bij zo’n onderschatting belang hebben. Voor het aantrekken van onderzoeks- en ontwikkelingsgeld moeten zij hun zaak zo sterk mogelijk voorstellen. Dat kan het zicht van de buitenwereld op de nog te overwinnen problemen belemmeren. Van kwade trouw hoeft geen sprake te zijn, het systeem werkt nu eenmaal zo. Een goed voorbeeld is dat in Nederland tussen 1983 en 1998 bijna € 100 miljoen is uitgegeven aan een bepaalde brandstofcel-technologie (MCFC), terwijl in deze hele periode nooit concreet zicht heeft bestaan op de (grote) inspanningen die ná de ontwikkeling van de technologie nog nodig waren voor het op de markt brengen van de betreffende apparaten. Nog sterker: in een vroeg stadium had één betrokken partij (Hoogovens) dat wél laten uitzoeken, maar deze had de harde commerciële conclusies van dit onderzoek voor zich gehouden; Hoogovens had zijn terugtrekking uit de samenwerking voorgesteld als zijnde om ‘strategische’ redenen. Juist omdat het systeem zo werkt dat technologen te optimistisch zijn moet hieraan tegenwicht worden gegeven.

De cyclus van verwachtingen en teleurstellingen begint met het hebben van te hoge verwachtingen. Daarom moet de review van veelbelovende technologieën worden versterkt. Het is een mooie taak voor beleidsvormers en wetenschapsmensen, daar samen aan te gaan werken. Nog een les voor de energietransitie is gelegen in de noodzakelijke aandacht voor schaalkwesties. Kwesties van groot- en kleinschaligheid zijn in vele projecten van het Stimuleringsprogramma aan de orde gekomen. Jos Meeuwsen heeft in zijn voorbeeldige studie laten zien dat de elektriciteitsinfrastructuur zich kan ontwikkelen in de richting van verdere grootschaligheid, van kleinschaligheid of van een gemengde vorm, elk binnen de grenzen van duurzaamheid. Peter Hofman en Boelie Elzen hebben dat uitgewerkt in sociotechnische scenario's waarin vormen van maatschappelijke sturing zijn aangewezen die één van deze richtingen bevorderen. Matthijs Hisschemöller en Ries Bode hebben eveneens deze 'sturingsparadigma's' in kaart gebracht. Sylvia Breukers komt in de conclusies van de 'biomassadialoog' tot de aanbeveling, de toepassing van biomassa te 'smartsizen': pas de techniek en de schaal aan lokale biomassa-bronnen en de omgeving aan, en niet andersom.

Aan de basis van deze vraagstukken staat een technologisch gegeven, namelijk dat er zo veel technologieën in de pijplijn zitten die óf gebruik maken van lokale bronnen zodat hun toepassing al decentralisatie inhoudt, óf geen schaalvoordelen kennen in tegenstelling tot veel bestaande installaties. Tot de eerste soort behoren wind-energie en fotovoltaische zonne-energie (PV), deels ook biomassa; tot de laatste soort behoort de fermentatietechnologie of witte biotechnologie, die heel goed geba-

seerd kan worden op lokaal gewonnen biomassa. Eén van de centrale vraagstukken van de komende decennia zal daarom zijn in hoeverre een nieuwe gedecentraliseerde industriële logica ontwikkeld zal worden. Dit is een vraagstuk dat veel verder reikt dan de energievoorziening, maar waartoe deze laatste wel de sleutel bezit: voor een decentrale industriële structuur is een decentrale energievoorziening de eerste vereiste.

Regionalisatie is een term die geregeld valt in discussies over decentrale duurzame energievoorziening, en die in projecten als Energy Valley in het Noorden des lands ook handen en voeten krijgt. Dat is opmerkelijk, want regionalisatie, evenals decentralisatie en kleinschaligheid, staat haaks op de ontwikkeling van de afgelopen pakweg 200 jaar. Een eventuele nieuwe regionalisatie zal in elk geval geen algehele decentralisatie inhouden, want de *global village* met wereldwijde communicatie zal waarschijnlijk niet meer verdwijnen. Zo'n nieuwe regionalisatie zal dan ook in de eerste plaats economisch zijn, en zijn kracht vinden in de optimalisatie van lokale hulpbronnen zonder de banden met de rest van de wereld door te snijden. Maar het is heel goed mogelijk dat op basis van die economische kracht ook her en der een nieuw regionaal zelfbewustzijn zal opkomen, niet op basis van maar wel gebruik makend van decentrale energietechnologie. Tegelijkertijd is uit de studies in het Stimuleringsprogramma ook duidelijk geworden dat grootschaligheid evenzeer tot de mogelijkheden behoort, evenals alle mengvormen die men zou kunnen bedenken.

Een laatste opmerking over de energietransitie betreft het maken van keuzes. Er is momenteel een overstelpende hoeveelheid keuzemogelijkheden, een terugkerend thema

Eén van de centrale vraagstukken van de komende decennia zal zijn in hoeverre een nieuwe gedecentraliseerde industriële logica ontwikkeld zal worden

De inrichting van een maatschappelijk keuzeproces rond technologie, in het bijzonder energietechnologie, is onontkoombaar

180

bij de projecten binnen het Stimuleringsprogramma. Alleen al op het gebied van motorbrandstoffen kan de ontwikkeling vele kanten op, afhankelijk onder meer van de vraag welke biobrandstoffen op welk moment betaalbaar zullen zijn en in voldoende hoeveelheden geleverd kunnen worden. Terwijl het éne product (eerste generatie biobrandstoffen) al op de markt wordt gebracht en er grote investeringen worden gedaan in nieuwe fabrieken en haveninfrastructuur, wordt hard gewerkt aan een vervolgprioduct (tweede generatie) dat deze inspanningen voor een deel kan ondergraven; en tegelijkertijd komen uit de laboratoria al berichten over een derde generatie die nog veel beter zal zijn. De toekomst is in hoge mate vloeibaar geworden. En dan is in het Stimuleringsprogramma alleen nog maar gekeken naar mogelijkheden op de korte termijn waarbij de bestaande infrastructuur niet verandert. Elektrische aandrijving en waterstof maken het aantal potentiële keuzes nog groter.

Keuzeproblematiek In het uitgevoerde Stimuleringsprogramma heeft de vraag hoe keuzes gemaakt worden, weinig aandacht gehad; er kan dus ook niet uit afgeleid worden, hoe keuzes beter gemaakt kunnen worden. De studie van Hisschemöller en Bode is het enige project dat daar enig licht op werpt. In het programma is geen onderzoek gedaan naar instrumentkeuzen, de keuze tussen generiek en (technologie)specifiek beleid en de wenselijkheid van brede stimulering van innovaties. In zijn oratie uit 2006 constateert Jos Bruggink dat het participatieve poldermodel geleid heeft tot een waaier van transitithema's en -paden, die vrijwel het hele veld van kennis en belangen in de energiesector dekt. Meer focus is wellicht wenselijk

maar hoe moet die worden aangebracht? Door te kiezen voor radicaal nieuwe oplossingen van uitdagers, of voor minder radicale oplossingen van regime-bedrijven die passen bij de infrastructuur?

De inrichting van een maatschappelijk keuzeprioduct rond technologie, in het bijzonder energietechnologie is onontkoombaar. Het gaat niet alleen om de toekenning van geld, maar ook (misschien nog belangrijker) om het scheppen en beschermen van markten. Elke nieuwe technologie is een kasplantje dat verzorgd en beschermd moet worden. Het is onjuist voor deze taak alleen naar de overheid te kijken. De overheid is in de systeembenadering één van de medespelers in het maatschappelijk proces en moet als zodanig daarbij betrokken worden, in de rol die haar past: de organisatie van het proces en het doorvoeren en handhaven van de resultaten. In een goed georganiseerd maatschappelijk keuzeprioduct herkennen de deelnemende partijen zich, waardoor ze bereid zijn de uitkomsten ervan te accepteren. In de Nederlandse polder is de ontwikkeling van zo'n keuzeprioduct, waarvan de opbrengst door de kwaliteit van de procedure in brede kring wordt aanvaard, één van de moeilijkste opgaven. Maar juist daarom dienen innovatiewetenschappers en beleidsmakers in overheid en bedrijfsleven zich deze taak gezamenlijk aan te trekken – een mooie taak voor een volgende uitgave van het Stimuleringsprogramma.

Conclusies Terugkijkend op de bijdrage van het uitgevoerde onderzoek aan de overgang naar een meer duurzame energievoorziening, kunnen we de volgende conclusies trekken:

- In het Stimuleringsprogramma is geleidelijk een benadering toonaangevend geworden waarbij innovatie wordt gezien als maatschappelijk proces met meekoppelingen en tegenkoppelingen, en niet als lineaire ontwikkeling van technologisch idee naar toepassing in een apparaat
- Het programma heeft ‘duidingsinstrumenten’ voor de lotgevallen van nieuwe technologieën geboden en voor een deel ook beleidsaanbevelingen
- De dynamiek van transitie en innovatie is verhelderd
- Vraagstukken rond keuzeproblematiek en macht zijn nog enigszins blijven liggen
- Een nieuw programma zou nog meer met de ‘poten in de modder kunnen staan’ als de interactie tussen beleid, advieswereld, bedrijfsleven en wetenschap beter gestalte kan worden gegeven.



nabeschouwing

183

door Jan-Paul van Soest, Voorzitter Programmacommissie Energieonderzoek

Het millennium is al weer bijna tien jaar oud. Nog voor de eeuwwisseling werd het programma Energieonderzoek in de steigers gezet. En het wordt nu, begin 2009, afgerond. Een cruciaal jaar voor energie en klimaat. De VS hebben een nieuwe president, Barack Obama, die menigeen hoop geeft en inspireert, en die de VS weer in een leidende rol wil brengen. In Kopenhagen worden, eind 2009, zaken gedaan over de opvolger van het Kyoto-protocol. Het Verdrag van Lissabon is in werking getreden, waardoor de Europese Unie anders gaat functioneren. Darwin werd 200 jaar geleden geboren en publiceerde 150 jaar geleden zijn *The Origin of Species*, de evolutietheorie.

Revolutionair moet het worden vanuit klimaatoogpunt – zonder ingrijpende maatregelen waaraan zo goed als alle landen zullen moeten meedoen, dreigen we af te stevenen op zeker 6-8 graden temperatuurstijging eind deze eeuw. Zo'n gigantische klimaatverandering is in de afgelopen miljoen jaar niet eerder opgetreden. Evolutionair zal het vermoedelijk worden: tot nu toe heeft de wereldgemeenschap niet anders dan via schoorvoetende stapjes op het voetpad van het klimaatbeleid voortbewogen. Meer een processie van Echternach dan een stevige wandeling: drie stappen voorwaarts en twee terug.... Het is zoeken en puzzelen in het energie- en klimaatbeleid.

Niets lijkt moeilijker dan een transitie in gang zetten. Ook dit boek, Nieuw Licht, geeft hiervan blijk. De resultaten van negen jaar energieonderzoek laten gebaande paden zien naast doolhoven, snelwegen naast illegale doorsteekjes, wegwijzers naast doodlopende wegen. Wat weten we dat we in 2000 bij de officiële start van het onderzoeksprogramma niet wisten? En vooral ook: wat kunnen en willen we nu wat we in 2000 niet konden?

Die vragen zijn niet zo eenvoudig te beantwoorden. Overal en nergens wordt onderzoek gedaan, niet alleen in Nederland, en zeker niet alleen via het energieonderzoeksprogramma NWO/SenterNovem. Zelden vanuit een gecombineerd bèta-gammaperspectief, trouwens. Wat we in elk geval nu beter weten dan bij de start van het programma is hoe moeilijk het is geïntegreerd bèta-gamma-onderzoek vorm te geven. De academische infrastructuur is sterk gericht op monodisciplinariteit: belangrijke tijdschriften, de organisatie van onderzoek en onderwijs, promotiekansen en zo meer zijn, uitzonderingen daargelaten, niet zeer ingesteld op combinaties van perspectieven. Het is pionieren geblazen. Er is niets mis met monodisciplinaire kennis. Alleen, wie kennis in de dagelijkse praktijk als beleidsmaker, manager, adviseur, projectontwikkelaar, marketeer of welk vak ook wil toepassen, ontkomt niet aan de noodzaak van een breder perspectief. Begrip vanuit verschillende domeinen is nodig om goede beslissingen te nemen; kennis van natuur en techniek hoort daar al evenzeer bij als inzicht in economie, gedragspsychologie, sociologie en andere gammavakken. Zo moeilijk als het kennelijk is multidisciplinaire kennis

te produceren, zeker zo moeilijk is het die kennis bij de beleidsmakers over te brengen. Dat lukt vrijwel niet rechtstreeks, hoezeer eenieder daarvoor ook zijn best doet: de kloof tussen wetenschap en beleid is niet makkelijk te overbruggen.

Dat ligt aan beide zijden. Aan de aanbodzijde van de kennis is het de wetenschappelijke interesse en de wetenschappelijke kwaliteitseisen die dominant zijn. De vraag naar wat beleidsmakers met het onderzoek kunnen, geraakt dan gemakkelijk op de achtergrond. Bovendien: voor een stevig onderzoek, leidend tot een proefschrift of andere wetenschappelijke publicatie moet men de diepte in tot een niveau waarbij de gemiddelde beleidsmaker verzuipt. Die zit meer te wachten op overzicht en – liefst eenduidige – conclusies.

Althans, als het goed is. Maar het is lang niet altijd goed. Want aan de vraagzijde valt op dat de beleidsmakers in de afgelopen tien jaar hoe langer hoe verder van de kennisbronnen zijn weggezwefd. Onderzoek en advies zijn op grote afstand van het beleid komen te staan, bijna alles wordt via SenterNovem uitbesteed. Daarnaast is bij de overheid het paradigma in zwang gekomen dat iedereen elke paar jaar maar eens wat anders moet gaan doen, met als resultaat dat het aantal ambtenaren met diepgaande kennis sterk is geslonken. Bij het bedrijfsleven zijn ze al lang weer teruggekomen van het idee dat iedereen permanent moet rouleren.

Overheid en politiek lijken amper geïnteresseerd in wetenschappelijke analyses en evaluaties. Een paar voorbeelden. Verschillende studies, ook enkele uit ons eigen energieonderzoeksprogramma, laten zien dat van innovaties weinig

terecht komt als het innovatiesysteem als geheel gebrekkig is. Toch volhardt de politiek in incidentensturing: hier een subsidietje, daar een regeling, nu eens op zon, dan weer op wind, in plaats van een structurele regeling die aangetoond superieur is. Gaswinning in de Waddenzee is eindeloos tegengehouden met een rondzingend beeld van risico's voor de natuur, zonder dat de verantwoordelijke politici ook maar een idee hadden hoe het werkelijk zat. Liberalisering van de energiemarkten is op ideologische gronden doorgezet, waarschuwend en nuancerende teksten vanuit de wetenschap werden als onwelkome boodschappen ('misplaatst Oranjegevoel') beschouwd. Evaluaties van windenergiebeleid maken glashelder dat *technology push* zonder duidelijke *market-pull*-strategie tot mislukken gedoemd zijn, maar de markt voor duurzame energie is nog steeds niet aantrekkelijk en consistent. Analyses van het draagvlak voor nieuwe technieken geven duidelijke aanwijzingen voor de wijze waarop de communicatie moet worden aangepakt, maar beleidsmakers pushen CO₂-opslag bij kolenstook op een bijna vergelijkbare manier als die waarmee kernenergie zijn Waterloo vond. En zo kunnen we nog wel even doorgaan. Dennis Meadows van MIT, hoofdauteur van het eerste rapport aan de Club van Rome formuleerde het ooit aldus: politiek is de edele kunst van het debatteren over welke van de door de wetenschap als onmogelijk bestempelde opties men het liefste wil. Kennis bereikt de beleidsmakers uiteindelijk wel, zelden direct, maar via adviesbureaus die als intermediair optreden, en opmerkelijk genoeg via de wetenschappers die na afronding van hun onderzoek op bepalende posities komen: de advieswereld, ambtenarij, bedrijfsleven en milieuorganisaties. Alleen al de leerervaringen die een

groot aantal onderzoekers heeft kunnen doorlopen dankzij het energieonderzoeksprogramma heeft het programma bestaansrecht gegeven.

We weten nu dus meer over de moeilijkheid om bèta-gamma-kennis te integreren, en over de moeizame wisselwerking tussen beleidsmakers en kennisproducenten. Er zijn natuurlijk ook inhoudelijke lessen, maar die zijn in wezen graduëel: we begrijpen transitieprocessen iets beter, snappen beter wat innovaties belemmert, de rol van infrastructuur is helderder en het is in de afgelopen jaren duidelijk geworden dat via de infrastructuur meer te studeren valt dan eerst werd gedacht. In dit boek worden enkele saillante inzichten beschreven.

Er is ook een opvallende blinde vlek: de factor macht blijft in bijna alle onderzoeken buiten beschouwing, evenals de moeizaamheid van politieke besluitvorming. De meeste studies gaan van een tamelijk vredelievend en vriendelijk wereldbeeld uit: iedereen wil de transitie naar een duurzame energievoorziening wel, het zoeken is alleen naar het hoe. De harde werkelijkheid is anders. Het wemelt van de bestaande belangen en machten die geen enkel belang hebben bij zo'n transitie, ook al zeggen ze politiek correct dat ze er vierkant achter staan. Maar achter de schermen is de invloed groot, denk aan de invloed van de grootverbruikers van energie op het Nederlandse energie- en klimaatbeleid. Het is buitengewoon behulpzaam te weten hoe groot, en hoe de beïnvloeding precies werkt. Werk aan de winkel voor politicologen en andere gammawetenschappers in volgende rondes. Want de werkelijke wereld van de energietransitie is heel wat grimmiger dan de theorie: gevestigde belangen kunnen ingrijpende instrumenten

lange tijd succesvol dwarsbomen. Bij kabinetsformaties worden *package deals* afgesproken: partij A krijgt zijn zin op een dossier: Schiphol hoeft niet te worden geprivatiseerd, maar dan krijgt partij B zijn zin op een ander dossier, verhoging van de energiehelling blijft achterwege. Milieuorganisaties vallen bewindspersonen op het beleidsterrein van milieu aan waardoor deze bewindspersonen in het kabinet invloed kwijtraken. Knuffeltechnologieën zijn een tijdlang in de mode in Den Haag, om even snel weer uit beeld te verdwijnen als er ergens even iets niet volgens verwachting verloopt. Het integratiedebat, of de kredietcrisis, overschaduwde een tijdlang de klimaat- en energieurgentie, zonder dat iemand weet hoe het tij te keren is. In de internationale onderhandelingen zijn er soms doorbraken, maar het is onduidelijk wat de drijvende kracht was. Wanneer vinden beslissers de moed om wezenlijke stappen te zetten?

Dit soort kwesties zijn sterk bepalend voor het welslagen van de transitie, maar inzichten in de achterliggende mechanismen en theorievorming erover zijn beperkt. Die zijn wel bepalend voor het antwoord op de eerdere vraag: wat *kunnen* we nu meer dan we bij de start van het programma energieonderzoek konden? Het antwoord lijkt een tegeltjeswijsheid: het is niet zo dat we de transitie niet voluit inzetten omdat deze moeilijk is, maar transitie lijkt moeilijk omdat we niet durven. Het verschil is dat we dit nu nog weer scherper zien dan in 2000.

Het is niet zo dat we de transitie niet voluit inzetten omdat deze moeilijk is, maar transitie lijkt moeilijk omdat we niet durven.

bijlage 1

De uitgevoerde programma's

Voor meer informatie en de precieze publicatielijsten:
<http://www.nwo.nl/energieonderzoek>

Explorerend Onderzoek (1999-2004)

Het milieu weer bij de mensen gebracht: leiden energievoorziening, afvalverwerking en watervoorziening op wijkniveau tot een duurzamer samenleving?

Betrokken organisatie: Vrije Universiteit Amsterdam
Onderzoekers: J. de Boer, M.A. van Drunen, P.E.M. Lammers en A.A. Olsthoorn

Modelleren van energiestromen op landbouwbedrijven in een bepaalde regio: mogelijkheden en moeilijkheden

Betrokken organisaties: Wageningen Universiteit en Research Centrum
Onderzoeker: I.J.M. de Boer

Sociotechnical Scenarios (STSc)

Development and evaluation of a new methodology to explore transitions towards a sustainable energy supply

Betrokken organisaties: Universiteit Twente en Technische Universiteit Eindhoven
Onderzoekers: B. Elzen, F.W. Geels en P.S. Hofman

Paradigms of governance for a sustainable energy system
Betrokken organisaties: Vrije Universiteit Amsterdam en ECN
Onderzoekers: M. Hisschemöller en R. Bode met bijdragen van H. Jeeninga

SYN-energy in solar cell use for consumer products and indoor applications

Betrokken organisatie: Technische Universiteit Delft
Onderzoeker: S.Y. Kan

An actor oriented approach for assessing transition trajectories towards a sustainable energy system

Betrokken organisatie: Universiteit Utrecht
Onderzoekers: R. Suurs, M.P. Hekkert, M. Meeus, E. Nieuwlaar

Langlopende programma's eerste tranche (2000-2007)

Maatschappelijke acceptatie van biomassa als duurzame energiebron: consequenties voor ontwikkeling en implementatie

Betrokken organisatie: Technische Universiteit Eindhoven
Coördinator: C.J.H. Midden
Subprojecten:

- Design of a biomass gasifier in view of technical, environmental and psychological parameters, M.J. Prins
- Public acceptance of biomass as a sustainable energy source: consequences for development and implementation, W.M. van den Hoogen

BioPush: Energie uit biomassa: multifunctioneel land-gebruik en cascadoetoeppassing gericht op kostenreductie en optimaal landgebruik

Betrokken organisaties: Universiteit Utrecht, Wageningen Universiteit en Research Centrum en Technische Universiteit Delft

Coördinator: W.C. Turkenburg en A.P.C. Faaij

Subprojecten:

- Modelling of multi-product and cascading bio-energy systems, costs, energy yield and CO₂ emissions, V. Dornburg
- Economic analysis of multi-product bio-energy systems for land use in North Western and Eastern Europe, competition with conventional agricultural production, land use changes, A. Ignaciuk
- Generating potentially successful network and process strategies for innovation and implementation in multi-product systems via interactive policy-analytical methods, S. Negro
- Multifunctional land use and integration of technical, economic and institutional aspects, I.M. Lewandowski

Stimulering van energie-efficiëntie: vergelijkend meta-analytisch case-studie-onderzoek

Betrokken organisaties: Vrije Universiteit Amsterdam, Universiteit van Tilburg, Universiteit Utrecht en ECN

Coördinator: R.J.G.M. Florax

Subprojecten:

- A comparative and case study analysis of barriers to invest in energy-efficient technologies with an application to the light industry and service sector, M. Koetse
- Energy-efficiency technology for energy-extensive firms: past trends – future prospects, A.M. Ramírez

- The adoption of energy-saving technologies in energy-extensive firms, H.R.J. Vollebergh and (b) The adoption of energy-saving technologies in energy-extensive firms, A.W.N. van Dril e.a.

AIRE: Versnelde invoering van een duurzame elektriciteitsvoorziening in Nederland

Betrokken organisaties: Universiteit Utrecht, Technische Universiteit Delft, Universiteit Maastricht en ECN

Coördinator: E.H. Lysen

Subprojecten:

- Research on the economical-technological performance and future perspectives of several renewable electricity technologies, H.M. Junginger
- Research on social and institutional setting of implementation of renewable energy sources, S. Agterbosch
- Research on impact of renewable generation, particularly wind power, on grid system dynamics, J.G. Slootweg

Introductie van geavanceerde fossiele brandstofopties met CO₂-opslag in de energiehuishouding

Betrokken organisaties: Universiteit Utrecht, Technische Universiteit Delft en Rijksuniversiteit Leiden

Coördinator: W.C. Turkenburg en A.P.C. Faaij

Subprojecten:

- System analyses of transition routes to advanced fossil fuel utilisation with CO₂ removal and sequestration, K. Damen
- Carbondioxide injection in coal seems for sequestration and enhanced methane production, S. Mazumder
- Informed opinions of the general public as a tool for policy measures regarding advanced fossil fuel options, M. de Best-Waldhoer en D.D.L. Daamen

– **Langlopende programma's tweede tranche (2003-2009)**

Dealing with Uncertainties in the Transition to a Sustainable Energy System: An integrative Approach

Betrokken organisaties: Technische Universiteit Delft en Universiteit Utrecht

Coördinator: W.A.H. Thissen

Subprojecten:

- Dealing with uncertainties in sustainability-led energy infrastructure transitions: Integrated Analysis and Design, E. Pruyt
- System studies of energy infrastructure options and development trajectories over time; methodology development and strategy design with inclusion of uncertainty analyses from techno-economic perspective, L. Dittmar
- Managing uncertainties in energy innovations and transition processes, I.S.M. Meijer

Transitions and transition paths: the road to a sustainable energy system

Betrokken organisaties: Technische Universiteit Eindhoven en Universiteit Twente

Coördinator: G.P.J. Verbong

Subprojecten:

- Energy systems in transition: a multi-regime analysis of the energy system 1970-2000, R.P.J.M. Raven
- Managing bio-fuels, J.H. Ulmanen
- Networks of the future, J.J. Meeuwssen

Quantified back casting: methodological design of transition strategies in the area of sustainable transportation chains

Betrokken organisaties: Universiteit Utrecht

Coördinator: R.E.H.M Smits en M.P. Hekkert

Subprojecten:

- Quantitative analysis of the development of techno-economic performance of sustainable well-to-wheel systems over time, O.P.R. van Vliet
- Determining the feasibility of transition trajectories using technology specific innovation systems approach, R.A.A. Suurs
- Long term strategies for realising transition trajectories resulting from back casting scenarios, S. Breukers

SYN-Energy: The application of photovoltaic (PV) cell-energy storage combinations as power sources in consumer and professional products at both outdoor and indoor utilization

Betrokken organisaties: Technische Universiteit Delft, Universiteit Utrecht, Universiteit Twente en ECN

Coördinator: Prof. dr. ir. J.C. Brezet

Subprojecten:

- Electro-technical design of products and Design and Development of integrated PV-Energy storage Media, S.Y. Kan
- Electro-technical design of products and Environmental and Life Cycle Cost Assessment of products, N.H.Reich
- Market potentials of products, human applications and acceptance of products, B. Elzen

bijlage 2

Bronnen bij hoofdstuk 3

- Bergek, A., Jacobsson, S. & Sandén, B. (2006): Which are the key processes and policy challenges in the formation and growth of a technology-specific innovation system? Paper presented at the workshop *Understanding processes in sustainable innovation journeys*, Utrecht, October 2-3 2006 (invited paper).
- Energieraad en VROM-raad, Energietransitie: klimaat voor nieuwe kansen. Den Haag 2004.
- Foxon, Tim, and René Kemp (2007), Innovation impacts of environmental policies, in *International Handbook on Environment and Technology Management (ETM)*, edited by Dora Marinova, David Annandale and John Phillimore, Edward Elgar, Cheltenham, 119-139.
- Geels, F.W., en Kemp, R. (2000). Transitie vanuit socio-technisch perspectief, achtergrondrapport voor de studie "Transities en Transitie management" van ICIS en MERIT ten behoeve van NMP-4, November 2000, UT, Enschede en MERIT, Maastricht.
- Geels, F.W., 2002, *Understanding the Dynamics of Technological Transitions: A co-evolutionary and sociotechnical analysis*, proefschrift, Enschede, Universiteit Twente, Twente University Press
- Geels, Frank, en René Kemp (2004) Technologische transitie voor duurzaamheid, in Herman Vollebergh, Willem van Groenendaal, Marjan Hofkes, en René Kemp (red.) *Milieubeleid en technologische ontwikkeling in de Nederlandse Economie*, SDU Uitgevers, Den Haag, 17-44.
- Geels, F.W., en Schot, J.W. (2007) Typology of sociotechnical transition pathways, *Research Policy*, 36(3), 399-417.
- Hoogma, Remco, René Kemp, Johan Schot, Bernhard Truffer. *Experimenting for Sustainable Transport, The Approach of Strategic Niche Management*. London/ New York 2002. ISBN 0-415-27117-7.
- Kemp, R. (2008) Sustainable technologies do not exist! paper for DIME conference in Bordeaux.
- Kemp, René, en Suzanne van den Bosch. Transitie-experimenten, Praktijkexperimenten met de potentie om bij te dragen aan transitie. KCT, Delft/Rotterdam mei 2006.
- Markard, J., Truffer, B., 2008. Technological innovation systems and the multi-level perspective: towards an integrated framework, *Research Policy*, 37(4), 596-615
- Nooteboom, B. (2004) Innovatie: theorie en beleid. Oratie UVT.
- Phillips, P.W.B. (2007) *Governing transformative technological innovation: Who's in charge?* Edward Elgar, Cheltenham.
- Rotmans, J., R. Kemp, M. van Asselt, F. Geels, G. Verbong en K. Molendijk (2000) Transitie & Transitie management. De casus van een emissiearme energievoorziening. Eindrapport van studie "Transities en Transitie management" ten behoeve van NMP-4, Oktober 2000, ICIS & MERIT, Maastricht.
- Rotmans, J. (2003) Transitie management: Sleutel voor een Duurzame Samenleving, Van Gorcum, Assen.
- Rotmans, J. (2005) Maatschappelijke innovatie. Tussen droom en werkelijkheid staat complexiteit, oratie EUR.
- Rip, A. (2005) Verschuivingen in het sociale contract: wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen in nieuwe maatschappelijke kaders, in , B. Elzen en W. De Ridder (red.), *Innovatie en Maatschappelijke ontwikkeling*. Omgaan met een haat-liefde verhouding, SMO, Den Haag.
- Schot, Johan, Wybren Verstegen, Ernst Homburg, Harry Lintsen en Arie Rip (1997) 'Naar een Techniekhistorisch overzichtswerk voor de Twintigste Eeuw. Een contextu-alistische geschiedenis van de techniek voor Nederland internationaal vergeleken', *NEHA Jaarboek voor economische, bedrijfs- en techniekgeschiedenis*, 60 (Amsterdam: NEHA) 339-377.
- Suurs, R.A.A. and M.P. Hekkert (2005) *Naar een Methode voor het Evalueren van Transitietrajecten: Functies van innovatiesystemen toegepast op biobrandstoffen in Nederland*. Copernicus Institute - Department of Innovation Studies - Utrecht University, The Netherlands.
- Tidd, J., J. Bessant, K. Pavitt (2005) *Managing Innovation*, Integrating technological, market and organizational change, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester
- Tushman, Michael L., Rosenkopf, Lori (1992) *Organizational Determinants of Technological Change: Toward a Sociology of Technological Evolution; Research in Organization Behavior* 14: 311-347.
- Van de Ven, A.H., E.P. Polley, R. Garud & S. Venkataraman (1999) *The Innovation Journey*, Oxford University Press, Oxford
- WRR (2008) *Innovatie Vernieuwd*, Amsterdam University Press, Den Haag / Amsterdam 2008

in memoriam Kees Daey Ouwens onbaatzuchtig energiepionier



Vanaf het begin, al bij de voorbereiding, bij het Energieonderzoeksprogramma betrokken. Betrokken in alle betekenissen van het woord: erbij zijn, maar vooral geïnvolveerd zijn, met zijn hele ziel en zaligheid. Kees Daey Ouwens, energiepionier, hoogleraar in Eindhoven, wereldverbeteraar, onderzoeker, visionair. Lid van de programmacommissie Energieonderzoek tot zijn overlijden op 10 september 2007.

Kees heeft een enorme bijdrage geleverd aan de verduurzaming van de energiehuishouding en ons denken daarover. Door de inhoud van zijn werk, en vooral ook door zijn altijd onbaatzuchtige opstelling. Hij geloofde heilig dat de kracht van de argumenten uiteindelijk wel tot de noodzakelijke veranderingen zou leiden. Voor hem was het simpel: zó zou het kunnen, en voor de rest is het een kwestie van willen.

De techniek is niet de limiterende factor op weg naar een duurzame energiehuishouding. Misschien kost het een paar centen meer, maar we zijn hier al zo rijk. Waar een wil is, is een weg. Kees Daey Ouwens heeft steeds begaanbare wegen aangegeven.

De wereld heeft onversneden vergezichten nodig zoals hij die maakte: beelden van hoe het zou kunnen als we maar over onze kortetermijnbelangen durven heenstappen. Emotioneel werd hij niet gauw, maar hij kon

zich wel opwinden over organisaties en personen die op oneigenlijke gronden een ontwikkeling naar duurzaamheid blokkeren. De argumenten zijn er immers? Altijd zuiver, altijd recht door zee, nooit spelletjes, nooit verborgen agenda's, nooit streken, maar altijd betrokkenheid, altijd deskundigheid. Dat maakt de kracht van Kees' boodschap zo sterk. Wie zijn ideeën hoorde of las wist: deze analyses en visies komen voort uit puur onafhankelijkheid van geest.

Aan Kees Daey Ouwens dragen wij dit boek *Nieuw Licht* op. Over alle onderdelen die erin aan bod komen had hij wel ideeën en onderbouwde opvattingen. Hij zou het boek met grote instemming gelezen hebben, en kunnen zien dat zijn ideeën en inzichten niet verwaagd zijn, maar springlevend zijn en doorwerken in onderwerpkeuze, benaderingswijze en kwaliteit van de onderzoeken. Zijn bijdrage aan de duurzame energiehuishouding blijft levend.

Als de huidige generatie onderzoekers nog weer wat verder kan kijken dan de vorige, komt dat doordat ze op de schouders van reuzen als hij mogen staan.

Jan Paul van Soest

Voorzitter Programmacommissie Energieonderzoek

Nieuw Licht schetst en evalueert de bijdrage van wetenschappers aan verheldering en oplossing van het energievraagstuk, aan de hand van het NWO/SenterNovem Stimuleringsprogramma Energieonderzoek. *Nieuw Licht* richt zich daarmee tot iedereen die zich professioneel met energievraagstukken – en vooral: de energietransitie – bezighoudt. Transitie- en innovatietheorie, het samengaan van bèta- en gammakennis én de interactie tussen wetenschap en beleid zijn thema's die het boek bovendien interessant maken voor iedereen met belangstelling voor innovatie en het aanpakken van complexe maatschappelijke vraagstukken, waarbij beleid niet zonder de input van wetenschappers kan.

Diederik van der Hoeven (1945) studeerde scheikunde en filosofie. Hij publiceerde vele boeken over energie, milieu en innovatie, waaronder: **De wet van de stimulerende achterstand** (Bert Bakker, 1980), een vroeg pleidooi om milieuzorg en innovatie meer op elkaar te betrekken; **Een gedurfd bod** (Betatext, 2001), over Nederlandse inspanningen bij de ontwikkeling van de brandstofcel; en **Groenboek** (SenterNovem, 2007) over de potentie van groene grondstoffen.




SenterNovem


NWO

Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek