

ENERGIE IN TRANSITIE

PERSPECTIEVEN EN UITDAGINGEN VOOR EEN DUURZAME
ENERGIEVOORZIENING

Dr. ir. Robert van den Hoed



CREATING TOMORROW

Energie in transitie

Energie in transitie

*Perspectieven en uitdagingen voor een duurzame
energievoorziening*

Lectorale Rede

uitgesproken op dinsdag 19 maart 2013

door

dr. ir. Robert van den Hoed

lector Energie en Innovatie
aan de Hogeschool van Amsterdam



Hogeschool van Amsterdam

Omslagillustratie: foto en collage van Bert Zuiderveen.nl

Vormgeving omslag: Kok Korpershoek, Amsterdam

Opmaak binnenwerk: JAPES, Amsterdam

ISBN 978 90 5629 734 3

e-ISBN 978 90 4851 957 6 (pdf)

e-ISBN 978 90 4851 958 3 (ePub)

© R. van den Hoed / HvA Publicaties, Amsterdam 2013

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, Stb. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorrecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

1. Inleiding

Ons energiesysteem bevindt zich in transitie. Het fossiele energiesysteem zoals we dat kennen, staat onder druk. De wereldwijde vraag naar energie groeit sterk en het blijkt steeds moeilijker om deze (goedkoop) in te vullen met de huidige fossiele energievoorziening, die bovendien gepaard gaat met negatieve milieueffecten. Er is internationaal consensus dat een omslag naar een duurzamer energievoorziening noodzakelijk is, en hierbij zijn innovaties onontbeerlijk.

De afgelopen decennia zijn grote stappen gezet bij de ontwikkeling en commercialisering van duurzame energietechnologieën en energiebesparingsopaties. De progressie die hierbij is geboekt is indrukwekkend en kostprijzen van onder andere zonneceltechnologie en windenergie zijn sterk gedaald. Hoewel duurzame energietechnologie nog niet kan concurreren met conventionele centrales, naderen we het kantelpunt waar het aantrekkelijker is te investeren in duurzame dan in fossiele energie – ook zonder subsidie. De vraag is welke technologieën als eerste dit kantelpunt bereiken, en op welke termijn.

De huidige marktdynamiek biedt volop kansen voor bedrijven en ondernemers om duurzame energie-innovaties te ontwikkelen en zo bij te dragen aan de ontwikkeling van een duurzame energievoorziening. In deze lectorale rede zal ik een schets geven van de perspectieven van duurzame energie en van de uitdagingen waar we voor staan om een duurzame energievoorziening te realiseren. Vanuit die brede context zal ik inzoomen op de twee onderzoeksthema's binnen dit lectoraat: de vergroening van datacenters (GreenIT) en de ontwikkeling van elektrische mobiliteit (E-Mobility). Maar eerst ga ik in op de achtergronden van de vraag waarom de huidige energietransitie van groot belang is.

2. Energie en duurzaamheid

Het huidige fossiele energiesysteem staat onder druk. Klimaatverandering, afhankelijkheid van fossiele brandstoffen, stijgende olieprijs en luchtkwaliteit zijn thema's die al decennialang spelen en inherent verbonden zijn aan het huidige, fossiele energiesysteem. We zijn wereldwijd voor ongeveer 80% van onze totale energievoorziening afhankelijk van fossiele bronnen. Sinds 1970 is de wereldwijde vraag naar energie met meer dan 70% gestegen. Met een jaarlijkse groei van 1,5 tot 2%, vooral door groei in China en India, zal deze vraag in 2050 naar verwachting bijna verdubbelen (IEA 2012).

Hoewel fossiele voorraden als gas en steenkool deze groei in theorie kunnen opvangen, zal dit naar verwachting tegen een steeds hogere prijs gebeuren. We

lijken terechtgekomen in een periode waar we ‘the end of cheap oil’ hebben bereikt (Campbell en Laherrère 1998). Daar waar de olieprijs decennialang onder de \$50/barrel lag, lijkt er na wat schommelingen sinds 2006-2007 (met een piek van \$147/barrel in 2008) een nieuw evenwicht te zijn bereikt rond \$80/barrel. De olievelden waar we de komende decennia van afhankelijk zijn (o.a. in Canada en Brazilië) om tanende voorraden te vervangen vereisen dusdanige investeringen voor exploitatie, dat lagere olieprijsen uit deze velden niet te verwachten zijn. Hogere olieprijsen hebben negatieve effecten op de wereld-economie, terwijl het voor landen van steeds groter strategisch belang wordt zich te verzekeren van ‘goedkope’ bronnen. Conflicten over energievoorraden liggen hiermee in toenemende mate op de loer.

Het andere grote pijnpunt van ons fossiele energiesysteem is klimaatverandering. Wereldwijd zijn de broeikasgasemissies de afgelopen veertig jaar bijna verdubbeld. Hier is de energiesector voor meer dan twee derde voor verantwoordelijk (IEA 2012). Met de groeiende vraag naar energie zullen broeikasgasemissies meestijgen, tenzij andere dan fossiele bronnen worden toegepast. De laatste jaren is veel discussie geweest over de invloed van de mens op klimaatverandering en de mogelijke effecten daarvan. Toch lijkt de bewijsvoering steeds omvangrijker dat de aarde als gevolg van klimaatgassen opwarmt, en dat dit desastreuze effecten kan hebben, zoals smeltende ijskappen, extremere weersomstandigheden, stijgende waterspiegel en tanende biodiversiteit (IPCC 2007). Illustratief voor de groeiende overeenstemming tussen overheden, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties over het klimaatprobleem, is de uitspraak van het invloedrijke en doorgaans behoudende International Energy Agency (IEA):

‘If we don’t change direction soon, we’ll end up where we’re heading. (...) We cannot afford to delay further action to tackle climate change. (...) Renewables are pushed towards centre stage.’ (IEA, World Energy Outlook 2012)

Er is dan ook een groeiende internationale consensus dat we ons energiesysteem opnieuw moeten uitvinden. Het International Panel for Climate Change (IPCC) gaat ervan uit dat we een reductie van 80% van de huidige broeikasgasemissies moeten bereiken om het klimaatprobleem in bedwang te houden (IPCC 2007). Dit vormt een formidabele uitdaging, waarbij geen makkelijke oplossingen beschikbaar zijn. Een eerste stap hiertoe is het inzetten van technologie die significante *energiebesparing* kan bereiken. Een tweede stap is om *decarbonisatie* van ons energiesysteem te bereiken door energie te winnen uit hernieuwbare bronnen als zon, wind en biomassa. De laatste jaren is de markt

voor deze technologieën aanzienlijk gegroeid. Desondanks blijft het beeld doorgaans hangen dat duurzame energie een marginale rol speelt in onze huidige en toekomstige energievoorziening. Recente cijfers zijn echter hoopgevend voor een meer dan marginale rol.

3. Perspectieven voor duurzame energie en energiebesparing

Duurzame energie maakt de laatste jaren een onstuimige groei door. De belangrijkste *driver* hiervoor is zonder meer wetgeving. Als onderdeel van het klimaatbeleid heeft de Europese Unie (EU) de zogenaamde 20/20/20 doelstelling opgesteld: in 2020 dient 20% van de energie in Europa duurzaam te zijn opgewekt, is de energie-efficiëntie in de belangrijkste sectoren met 20% vergroot (ten opzichte van 1990), en worden 20% minder broeikasgasemissies geproduceerd (ook ten opzichte van 1990)¹. Voor de lange termijn heeft de EU de ambitie om in 2050 een 80 tot 95% reductie in broeikasgassen te bereiken.

Met name die laatste doelstelling levert een formidabele uitdaging op: het reduceren van broeikasgasemissies met een factor 5 tot 20, verdere groei in energievraag niet meegerekend, vereist een omslag in denken en een transitie naar een compleet andere energievoorziening. Een belangrijke rol wordt hierbij toegedicht aan bronnen als zon- en windenergie die duurzaam opgewekte elektriciteit genereren. Gezien de groei hiervan in recente jaren zal ik vooral aandacht besteden aan de perspectieven van deze technologieën. Echter, om een duurzame energiehuishouding te bereiken zullen we ook onze brandstoffen en warmtevoorziening moeten verduurzamen, en aanzienlijke energiebesparing moeten bereiken. Hier ga ik later op in.

3.1 Duurzame energie

Duurzame energie speelt momenteel een relatief kleine rol in onze huidige energievoorziening. In Nederland is 4,3% van de energie duurzaam opgewekt, verdeeld over onder meer biomassa (2,6%; bijstook), biobrandstoffen (0,5%) en windenergie (0,8%) (CBS 2012). Zonnecellen dragen voor minder dan 0,4% bij aan de Nederlandse energievoorziening. Sinds 2004 is in Nederland per jaar een stijging van het aandeel duurzame energie van ongeveer 0,4% bereikt. Met deze stijging zouden we de Europese doelstelling voor hernieuwbare energie in 2020 niet bereiken.

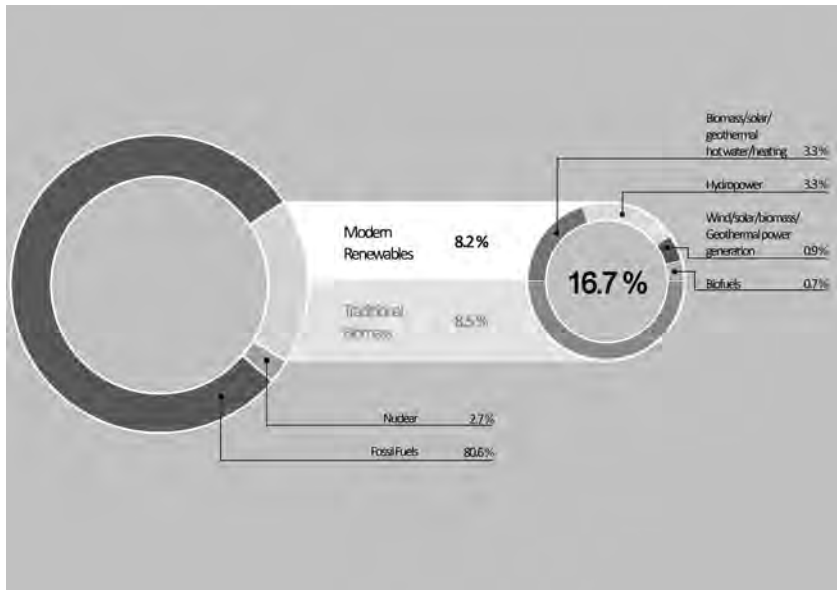
Kijken we internationaal, dan zien we dat Nederland in de achterhoede terecht is gekomen op het gebied van duurzame energie. Landen als Duitsland,

Denemarken en Spanje hebben percentages duurzame energie gerealiseerd van 10-20%. Landen als Noorwegen (95% duurzame elektriciteit uit waterkracht) en IJsland (groot aandeel duurzame energie door geothermie/geisers) laat ik dan nog buiten beschouwing.

Duurzame energie in cijfers

‘Moderne’ hernieuwbare bronnen hebben een aandeel van 8,2% van de wereldwijde energievoorziening – ‘traditionele’ hernieuwbare bronnen als hout voor verwarming niet meegerekend. Ze zijn verdeeld over duurzame warmtevoorziening (3,3%; o.a. door zonneboilers, biomassa, geothermie), duurzame brandstoffen (0,7%; inzet van biobrandstoffen voor transport) en duurzame elektriciteit opgewekt door waterkracht (3,3%) en andere duurzame energietechnologieën (0,9%; vooral wind, zon, biomassa, geothermie).

Het aandeel van duurzame energie in de wereldwijde *elektriciteits*voorziening ligt op 20,3% (2010; REN21 2012), voornamelijk bestaande uit waterkracht (15,3%).



Figuur 1 Aandeel hernieuwbare energie in het wereldwijde primaire energieverbruik (2010; REN21 2012)

Een totaal van 390 GW aan geïnstalleerd vermogen van duurzame elektriciteit is wereldwijd opgesteld (exclusief waterkracht). Deze komt voor rekening van windmolens (235 GW), biomassa (80 GW) en zonnecellen (of fotovoltaïsche cellen, hierna zon-PV genoemd) (70 GW). Nieuwe systemen als *concentrated solar power* (CSP) en getijde-energie hebben relatief kleine installaties (1-2 GW) en spelen een bescheiden rol.

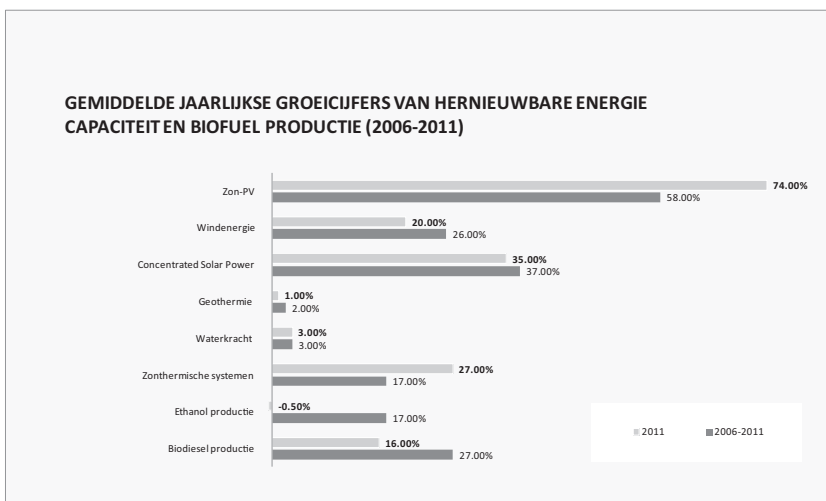
Voor een conventionele kolen- of gasgestookte centrale is een vermogen van 1 GW een bruikbaar gemiddelde. Dat betekent dat het wereldwijd geïnstalleerd vermogen van windmolens overeenkomt met 235 kolencentrales. Rekening houdend met 2000 vollast-uren voor windmolens genereren deze windcentrales wereldwijd derhalve dezelfde hoeveelheid elektriciteit op als 50 kolencentrales. In absolute termen niet onaanzienlijk.

Wereldwijd is Europa voorloper op het gebied van zon-PV installaties, met meer dan twee derde van de totaal geïnstalleerde capaciteit (vooral Duitsland, Italië en Spanje). China is koploper in windenergie (bijna een kwart van het geïnstalleerd windvermogen wereldwijd staat in China) gevolgd door de Verenigde Staten en Duitsland. Samen met Spanje, Italië en Denemarken zijn dit enkele van de landen die vooroplopen in het grootschalig ontwikkelen van duurzame energiesystemen.

Groecijfers

Indrukwekkender dan het huidige aandeel duurzame energie zijn de groecijfers van met name windenergie en zon-PV. Figuur 2 vergelijkt de groecijfers van enkele duurzame energietechnologieën voor het jaar 2011 met die over de periode 2006-2011 (gemiddeld). De geïnstalleerde capaciteit van zon-PV groeit jaarlijks met 58%; in 2011 zelfs met 74%. In 5 jaar tijd is het geïnstalleerd vermogen van zon-PV installaties vertienvoudigd van 7 naar 70 GW.

Iets minder spectaculaire maar nog steeds indrukwekkende groecijfers zijn er voor windenergie, met een groei van 26% tussen 2006 en 2011. Hier is het geïnstalleerde vermogen in 5 jaar tijd meer dan verdrievoudigd van 74 GW (2006) naar 238 GW (2011). Een andere snelle groeier is CSP, met een jaarlijkse groei van 50% in de afgelopen 5 jaar, met daarbij de aantekening dat CSP met 1,7 GW in absolute termen nog een zeer kleine rol speelt. Minder groei is er in waterkracht (3% per jaar), waar de laagdrempelige toepassingen inmiddels lijken te zijn gerealiseerd. Ook groecijfers voor zonneboilers en biodiesel zijn aanzienlijk, met respectievelijk 17% en 27% groei over de laatste 5 jaar.



Figuur 2 Jaarlijkse groeicijfers van duurzame energietechnologieën voor 2011 en (gemiddeld) voor de periode 2006-2011 (REN21 2012)

Een andere opvallende indicator is het aandeel duurzame energie in het ‘nieuw geïnstalleerd vermogen’ van elektriciteitscentrales, dus inclusief fossiele energie. In 2011 is wereldwijd 208 GW aan nieuw vermogen geïnstalleerd. Hiervan is 37% duurzaam, onder andere door nieuw geplaatst vermogen van zon-PV (30 GW), windmolens (40 GW) en waterkracht (25 GW). In Europa ligt dit percentage nog hoger met 71%. In termen van nieuw geïnstalleerd vermogen zijn er in 2011 in Europa dus meer zonnecentrales en windmolens geplaatst dan conventionele, fossiele energiecentrales. Hoewel hier diverse factoren een rol in spelen (wetgeving, subsidies, cyclische effecten), kunnen we concluderen dat duurzame energie bij de ontwikkeling van nieuwe projecten momenteel geen marginale rol meer speelt.

China is een belangrijke speler bij de ontwikkeling in duurzame energie: in absolute termen is het land koploper in het plaatsen van duurzame energiecapaciteit, met name in windmolens en waterkracht (en in mindere mate zon-PV). Tevens heeft het wereldwijd met 282 GW het grootste geïnstalleerde vermogen op basis van duurzame energie wereldwijd, en heeft het in 2011 in totaal 90 GW aan nieuwe productiecapaciteit toegevoegd (inclusief waterkracht). In absolute termen is China hiermee een van de grote *drivers* achter de volwassenwording van de duurzame energie-industrie.

Dalende kostprijzen

In lijn met de trend van de afgelopen jaren is de verwachting in de industrie dat de kostprijs van duurzame energie sterk zal blijven dalen, onder meer als gevolg van opschaling in productiecapaciteit. De 'progress ratio' is een maat voor de kostenreductie die voor een technologie wordt bereikt bij een verdubbeling van de productiecapaciteit. Voor zon-PV wordt vaak een progress ratio in de ordegrootte van 0,8 aangehouden (Plomp et al 2011): bij elke verdubbeling van het (cumulatief) geïnstalleerd vermogen van zon-PV daalt de kostprijs met 20% als gevolg van leereffecten. Voor CSP en windenergie gelden progress ratio's van respectievelijk 0,85 en 0,9 – indicatief voor de snelle technologische ontwikkeling van de technieken (Junginger et al 2008). Ter vergelijking: de progress ratio van conventionele technologieën (bijvoorbeeld gasturbines) zit rond 0,98-0,99: de rek is eruit bij deze fossiele technologieën.

De meeste duurzame energietechnologieën produceren momenteel nog elektriciteit tegen hogere kosten dan conventionele centrales. Subsidies blijven vooralsnog noodzakelijk. Maar met dalende kosten wordt duurzame energie wel steeds concurrerder met fossiele energie, waarbij duurzame energie in steeds meer regio's en toepassingen zogenaamde 'grid parity' zal bereiken: het punt dat duurzaam opgewekte energie – zonder subsidie – evenveel zal kosten als conventionele stroom uit het stopcontact. Dit punt zal als eerste worden bereikt in regio's met relatief hoge energieopbrengsten (bijvoorbeeld zonnige gebieden) en met relatief hoge prijzen voor conventionele energie. Ter illustratie: de opwekkosten voor zon-PV in Nederland liggen momenteel (zonder subsidie) op het niveau van wat consumenten betalen (0,20-0,25 euro/kWh). Hiermee verdient zon-PV zich in veel gevallen (op lange termijn) al terug. Kostprijzdalingen naar 0,10-0,15 euro/kWh worden voorzien voor 2020 en op lange termijn wordt zelfs 0,05 euro/kWh als haalbaar ingeschat (Sinke en Hasper 2012). Bij deze kostprijzen komt ook toepassing van zon-PV voor grootverbruikers in beeld.

Daar waar waterkracht al decennia kostenconcurrerend is met fossiele energie, maken zon-PV en windenergie dusdanige stappen in kostenreducties dat deze in een toenemend aantal regio's zonder subsidie kunnen gaan concurreren met fossiele installaties. Door dalende kostprijzen zal zich dit als een 'olievlek' naar andere regio's gaan uitbreiden; een duurzame olievlek in dit geval.

Investerings

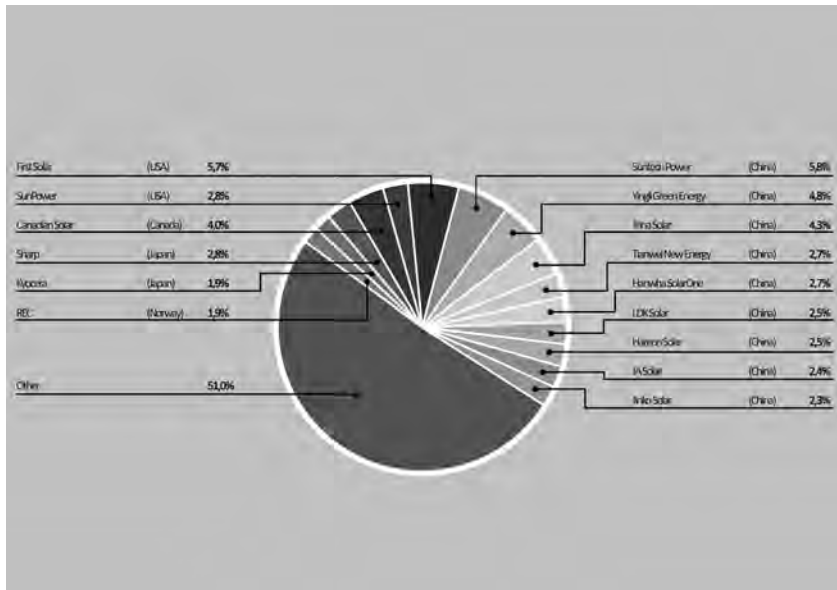
De groeipercentages van duurzame energie zijn ook doorgedrongen tot investeerders. De laatste jaren zijn de jaarlijkse investeringen in duurzame energie

gestegen van 97 miljard (2006) naar 257 miljard dollar (2011) (REN21 2012), waarvan het gros voor zon-PV en windenergie. Duurzame energie is waarschijnlijk een van de weinige industrieën waar gedurende de recente crisisjaren dergelijke groeicijfers in investeringen kunnen worden overlegd. Het geeft een indicatie van de groei en het geloof van investeerders in deze nieuwe industrie – overigens is dit niet noodzakelijk de beste indicator van de perspectieven van duurzame energie.

Werkgelegenheid

Duurzame energie is een sterke groeisector. Naar schatting vijf miljoen mensen zijn wereldwijd actief in de duurzame energiesector, waarvan het grootste gedeelte op het gebied van biobrandstoffen, zon-PV, zonthermische systemen (zonneboilers), windenergie en biomassa (REN21 2012). In Nederland wordt uitgegaan van een werkgelegenheid van ongeveer 13.000 banen² (CBS 2012).

Ook hier is China een bijzondere speler. Het heeft in de afgelopen jaren een sterke industrie opgebouwd rond duurzame energie. Figuur 3 toont de top



Figuur 3 Top vijftien van leveranciers van zonnecelssystemen wereldwijd in 2011 (REN21 2012)

vijftien van zonnecelbedrijven in 2011, waarvan er negen uit China komen. Denemarken is een ander voorbeeld van een land dat een sterke industrie heeft opgebouwd rond duurzame energie, in dit geval wind (met marktleaders Vestas en Wind Power). Er is een groeiend besef dat duurzame energie landen de kans biedt om een sterk economisch cluster te bouwen. Ook in Nederland loopt deze discussie, die leidend is voor het vaststellen van het topsectorbeleid voor de energiesector (Boersma et al 2012). Als meest kansrijke economische clusters in duurzame energie wordt voor Nederland vooral gekeken naar biomassa (onder andere verwerking en logistiek), wind (met het oog op de sterke offshoresector) en energiebesparing (warmtekrachtkoppeling) en zonneceltechnologie (productieapparatuur) (Rademakers et al 2010, Van der Slot en Althoff 2009).

Concluderend kan worden gezegd dat de duurzame energiesector een onstuimige groei doormaakt, vooral in zon- en windenergie, en dat technologische ontwikkeling, marktgroei en investeringen perspectieven bieden om op lange termijn een significant deel van de elektriciteitsproductie te kunnen invullen; eerder in termen van tientallen procenten dan enkele procenten.

In bovenstaande is vooral gekeken naar zon- en windenergie, met name omdat deze op dit moment de grootste groei doormaken en de meeste impact lijken te hebben op onze toekomstige energievoorziening. Er zijn echter ook spannende ontwikkelingen bij technieken die gebruikmaken van onder andere getijde-energie en osmosetechnologie (energie uit verschillen in zoutconcentratie van twee watermassa's). Deze, maar ook andere technologieën zijn nog in ontwikkeling en zullen zich in eerste instantie in nichemarkten moeten bewijzen. Met de huidige stimulerende omgeving voor duurzame energie, ben ik ervan overtuigd dat er de komende jaren nog meer innovatieve ideeën om op duurzame wijze energie op te wekken ontstaan. Het blijft goed hier de vinger aan de pols te houden.

3.2 Duurzame energie is meer dan duurzame elektriciteit

Een duurzame energievoorziening wordt al snel geassocieerd met zonnepanelen en windmolens, maar deze technologieën dekken voornamelijk het pad van duurzaam opgewekte *elektriciteit* af. Elektriciteit is echter in het eindverbruik slechts verantwoordelijk voor ongeveer 20% van de totale energievraag wereldwijd. De overige 80% komt voor rekening van *warmte* (o.a. voor ruimteverwarming en koken in huishoudens en proceswarmte in industrie) en *brandstoffen* (onder andere voor automobiteit, vliegverkeer en scheepvaart)

(IEA 2012). Hier liggen derhalve ook grote, of wellicht zelfs grotere uitdagingen.

Duurzame brandstoffen en warmte

De maatschappelijke vraag naar warmte en brandstoffen zal duurzaam moeten worden ingevuld. Hier zijn geen makkelijke oplossingen voor. Weliswaar is de markt voor ethanol en biodiesel de afgelopen jaren flink gegroeid, maar er is veel discussie over de wenselijkheid om biomassa als brandstof in te zetten. Biobrandstoffen concurreren met de voedselketen, leiden tot ruimtegebruik en leveren mogelijk maar een beperkte reductie van broeikasgassen op. De meer gewenste tweedegeneratie-biobrandstoffen zijn momenteel nog duur, waarmee het biobrandstoffenpad vooralsnog problematisch is.

Maar de alternatieven zijn beperkt. *Waterstof* heeft nadelen als hoge kosten (infrastructuur, opslag, brandstofcellen) en een relatief inefficiënte keten. *Elektrisch rijden* heeft vergelijkbare nadelen, waarbij gebrek aan actieradius en oplaadtijd nog aanvullende uitdagingen zijn. Toch zal met de combinatie elektrische energie, waterstof en biobrandstoffen een duurzamer mobiliteitssysteem moeten worden ontwikkeld. We zijn er kortom nog niet over uit; en we zullen innovatieve manieren moeten blijven ontwikkelen (bijvoorbeeld biodiesel uit algen) om onze brandstoffen duurzaam te maken.

Met betrekking tot *duurzame warmte* liggen de alternatieven wat meer voor de hand. Naast de grote efficiëntieslagen die hier kunnen worden gemaakt (warmtekrachtkoppeling – WKK, warmtenetten) zijn er bestaande technologieën beschikbaar als zonthermische systemen (zonneboilers), geothermie en (tweedegeneratie)biomassa om op kosteneffectieve wijze duurzame warmte te produceren. Verdere technische ontwikkeling en kostenbesparingen zijn hier bovendien van belang om grootschalige toepassing mogelijk te maken. Opschaling naar systemen die een significante bijdrage leveren aan de energievoorziening blijft echter een probleem.

De uitdagingen voor duurzame warmte en brandstoffen lijken groter dan voor duurzame elektriciteit (hoe groot deze uitdaging al is). Het is een van de redenen waarom het aandeel elektriciteit in onze toekomstige energievoorziening waarschijnlijk zal groeien mochten zon-PV en windenergie verder doorbreken, waarbij de duurzaam opgewekte elektriciteit in toenemende mate wordt gebruikt voor warmtevoorziening (o.a. warmtepompen) en transport (elektrisch rijden, rijden op waterstof). Zo zou het aandeel elektriciteit in ons energiesysteem kunnen groeien van de huidige 20% naar 50% in 2050 (Deng et al 2010).

Energiebesparing

Belangrijkste eerste stap is echter om energie te besparen: zuinige technologie dus. Ons huidige energiesysteem is nog steeds in grote mate inefficiënt. Afvalwarmte van grote industrieën wordt nog steeds maar beperkt gebruikt; huizen en gebouwen zijn over het algemeen slecht geïsoleerd; de verbrandingsmotor in auto's zet maar een fractie van de energie uit benzine om in beweging. Met andere woorden: de mogelijkheden om efficiëntie te vergroten zijn eindeloos. Maar dan moeten alternatieven wel beschikbaar zijn, en moet het lonend zijn deze te implementeren.

In Nederland is de energiebesparing per jaar ongeveer 1% (Gerdes en Boonekamp 2010). Er zijn in meerjarenafspraken energiebesparingsprogramma's opgezet met de industrie. Wereldwijd wordt energie-efficiëntie per geleverd product (bijvoorbeeld autokilometers) met vergelijkbare percentages (1-2%) hoger, maar deze besparing wordt tenietgedaan door groei van de vraag. Zo zijn auto's de afgelopen decennia efficiënter geworden, maar wordt er meer auto gereden. Zodoende is de CO₂-uitstoot van voertuigen per saldo gestegen.

In een scenario hoe een duurzame energievoorziening er in 2050 uit zou kunnen zien, zal een jaarlijkse energiebesparing van meer dan 3% moeten worden bereikt om een halvering van ons wereldwijde energieverbruik in 2050 ten opzichte van 1990 te realiseren (Deng et al 2010). Dit zou betekenen dat we op termijn voor al onze activiteiten (bijvoorbeeld vervoer, wonen, koeling) slechts een fractie van de energie die we nu nodig hebben zouden mogen gebruiken. Zo zou de auto van de toekomst niet 1 op 20, maar bijvoorbeeld 1 op 100 (of meer) moeten rijden om hieraan te voldoen. We hebben nieuwe technologie nodig die in staat is om radicaal zuiniger te voorzien in onze basisbehoeften. LED-verlichting is maar een van de voorbeelden waar een dergelijke radicale reductie in energieverbruik is bereikt; we hebben meer van dergelijke zuinige technologieën nodig, en ik heb goede hoop dat met de huidige urgentie nog veel efficiënte technologieën het licht zullen zien.

Conclusie

Om een duurzame energievoorziening te realiseren is een groot aantal innovaties noodzakelijk, niet alleen voor het opwekken van duurzame elektriciteit, maar ook voor duurzame warmte, groene brandstoffen en het bereiken van radicale energiebesparing. Met name op het gebied van energiebesparing en mobiliteit is de groei beperkt, en dit verdient veel aandacht bij verder onderzoek en ontwikkeling.

4. Een duurzame energiehuishouding

Hoe zou een duurzame energievoorziening eruit kunnen zien? In het vorige hoofdstuk zagen we dat grootschalige groei van met name zon- en windenergie steeds realistischer wordt. Maar dit zijn ook twee vormen van fluctuerende energiebronnen; dit heeft gevolgen voor ons hele energiesysteem. Hoe ziet de transitie naar een duurzaam energiesysteem eruit?

4.1 Elementen van een duurzaam energiesysteem

Er is geen eensluidend beeld hoe een duurzame energiehuishouding eruit gaat zien, maar er zijn wel enkele elementen die telkens terugkomen in toekomstbeelden over een duurzame energievoorziening.

- Duurzame energiecentrales: van megawatt naar gigawatt

Windprojecten en zonnecelprojecten zijn de afgelopen decennia gegroeid van kilowattschaal naar megawattschaal. Deze schaalvergroting zal alleen maar doorzetten. Waar windmolens in 1990 50 kW aan vermogen opleverden, hebben de huidige generatie windmolens een capaciteit van 5 tot 10 MW – een factor honderd tot tweehonderd groter. Zonnecelprojecten in landen als Spanje en Italië groeien ook in formaat naar tientallen megawatt, terwijl er enkele CSP-installaties van dezelfde schaal in ontwikkeling zijn. Hiermee benaderen ze de schaal van conventionele centrales. Dit laat onverlet dat door de fluctuaties in opbrengsten van duurzame energie traditionele energiecentrales een belangrijke rol blijven spelen voor het leveren van flexibele capaciteit.

- Supergrid: Europa-wijde energienetwerken

Grootschalige zonnecentrales in Zuid-Europa, windcentrales in Noord-Europa, CSP-installaties in Spanje en Noord-Afrika, waterkrachtcentrales in Scandinavië en getijde-installaties rond de Noordzee: de fluctuaties in energieopwekking die deze centrales opleveren, kunnen op termijn niet worden opgevangen op nationaal niveau. Nu al is de energiesector meer internationaal georiënteerd en zijn netwerken aan elkaar geschakeld. Met de groei van duurzame energie zal ook de vraag naar een gelijkspanningsnet met hoog vermogen (HVDC – high voltage direct current) groeien, dat duurzaam opgewekte elektriciteit zonder transformatorverliezen via gelijkspanning over Europa verdeelt. Deze supergrids spelen een belangrijke rol om fluctuerende energieopbrengsten en de energievraag met elkaar te matchen.

– Opslag

Grootschalige opslag van ‘overschotten’ duurzame energie (waarbij de energievraag lager is dan de op dat moment duurzame opgewekte elektriciteit) zal naar verwachting pas een thema worden als meer dan 30% van onze elektriciteit duurzaam wordt opgewekt (REN21 2012). Het is echter niet uitgesloten dat we hier al in de komende tien jaar mee te maken krijgen. Grootschalige opslag van energie is momenteel alleen goed realiseerbaar met het oppompen van water, bijvoorbeeld in waterbassins van waterkrachtcentrales in Noorwegen. Met de groei van duurzame energie zal de vraag naar opslagsystemen groeien, bijvoorbeeld in de vorm van batterijsystemen op huishoudniveau, opslag in waterstof (te gebruiken als brandstof in brandstofcelvoertuigen) of in batterijen van elektrische auto’s. Momenteel ligt er nog een grote uitdaging in het ontwikkelen van kosteneffectieve, grootschalige opslagsystemen.

– Van centraal naar decentraal

Naast de opschaling van duurzame energie naar grootschalige, meer gecentraliseerde duurzame energiecentrales, zal ook de trend naar decentralisatie van opwekkingseenheden doorzetten. Toepassing van zonnepanelen op huizen en gebouwen, van kleinschalige windmolens en van biomassa-WKK-installaties voor lokaal gebruik zal de komende jaren blijven stijgen. In plaats van de tientallen energiecentrales die Nederland momenteel telt, verandert onze energievoorziening naar een complex van tien- tot honderdduizenden kleine, middelgrote en grote energiecentrales, variërend van kilowattsystemen tot megawattsystemen.

– Smart grids

Deze decentralisatie van energiesystemen stelt veel hogere eisen aan de intelligentie van het huidige (fysieke) net. Het traditionele eenrichtingsverkeer van energie (van energiebedrijf naar eindklant) wordt tweerichtingsverkeer: eindgebruikers gaan zelf hun energie opwekken. De fluctuaties in de opgewekte energiestromen moeten worden beheerst op huishoudniveau. De behoefte aan intelligentie in het net wordt verder vergroot door de mogelijke vervlechting van elektrische auto’s en het elektriciteitssysteem, waarbij slimme laadstrategieën een rol gaan spelen bij het opslaan van overschotten duurzame opgewekte energie.

- Vraagsturing van energie

Met een groeiend aandeel duurzame energie wordt het in toenemende mate interessant om de vraag naar energie flexibeler te maken, zodanig dat grote energieslurpers (wasmachine, koelkast, elektrische auto) pas aangaan als er overschotten duurzame energie te verwachten zijn. ICT speelt een belangrijke rol als *enabling technology*, die het mogelijk maakt intelligente keuzes te maken wanneer de elektrische auto afhankelijk van verwachte wind- of zonopbrengsten en gelieerde energieprijzen zou moeten worden opgeladen.

- Naar verzwaring van energienetten

Ons huidige energienet zal door de energietransitie veel zwaarder worden belast. 'Passieve' of klimaatneutrale huizen zullen meer gebruikmaken van elektriciteit dan van gas door bijvoorbeeld elektrisch koken en warmtepompen voor warmwatervoorziening. Mochten elektrische auto's doorbreken, dan zal ook een deel van de autobrandstoffen voor elektriciteit worden ingewisseld. Al met al levert dit een aanzienlijke verzwaring van het elektriciteitsnet, dat de komende decennia dan ook zal moeten worden aangepast.

- (Clusters van) eindgebruikers

Ten slotte speelt zich op een heel ander vlak ook een transitie af, namelijk in de rol van consument en van energiebedrijf. Duurzame energie (en vooral zonnecellen) biedt consumenten de mogelijkheid hun eigen energie op te wekken. Hoewel ik verwacht dat initiatieven van individuele consumenten van slechts beperkte schaal blijven, ontstaat er wel ruimte voor nieuwe spelers die duurzame energie mogelijk maken voor consumenten. Illustratief zijn de initiatieven van milieuorganisatie Urgenda, die tegen een veel lagere prijs tienduizend zonnepanelen inkocht voor duizenden consumenten. Daarnaast zijn er veel initiatieven die via crowdsourcing en bundeling van klanten nieuwe duurzame energieprojecten hebben opgezet, onder andere Windcentrale. Dergelijke initiatieven hebben slechts een klein marktaandeel, maar illustreren hoe duurzame energie op kleine schaal, en dus door consumenten zelf, kan worden ontwikkeld en kan bijdragen aan een *bottom-up* stimulering van de energietransitie.

Verschillen traditioneel-duurzaam

Tabel 1 vat de verschillen tussen onze huidige en een duurzame energievoorziening samen.

Traditionele energievoorziening	Duurzame energievoorziening
Fossiele bronnen (olie, gas, kolen)	Hernieuwbare bronnen (zon, wind, biomassa, geothermie)
Centrale opwekking	Decentrale opwekking
Beperkte opslagbehoefte	Grote opslagbehoefte en flexibele back-up capaciteit
Eenrichtingsverkeer	Tweerichtingsverkeer
Weinig intelligentie	Smart grids
Nationale oriëntatie	Europese oriëntatie / supergrids
Passieve consument	Consument als energieleverancier
Beperkte vraagsturing	Actieve energievraagsturing
Scheiding met mobiliteit	Vervlechting met mobiliteit (elektrisch rijden, waterstof)

Tabel 1 Verschillen tussen het traditionele en het duurzame energiesysteem

4.2 Uitdagingen van een duurzaam energiesysteem

Een duurzame energiehuishouding vraagt derhalve meer dan het toepassen van energiebesparing en duurzame energietechnologieën. Het vereist dat het energiesysteem zoals we dat nu kennen opnieuw wordt uitgevonden, zodanig dat inpassing van duurzame energietechnologieën wordt mogelijk gemaakt. Zo faciliteert 'intelligentie' van smart grids op huishoudniveau toepassing van duurzame energie en maakt het slimme vraagsturing mogelijk. Europese supergrids maken het mogelijk grootschalige duurzame energiecentrales dáár te ontwikkelen waar de hoogste opbrengsten zijn, en deze te transporteren naar plekken waar de energievraag het grootst is. Flexibele productiecapaciteit draagt bij aan het opvangen en balanceren van fluctuerende energieopbreng-

sten uit zon- en windenergie. En daarmee is het ontwikkelen van een aangepaste, duurzame energie-infrastructuur zelf ook een van de grote uitdagingen voor een duurzame energiehuishouding.

Samengevat liggen de uitdagingen om een duurzame energiehuishouding te realiseren grofweg op drie gebieden:

1. Energiebesparing: toepassing van zuinige technologie, slimmer matchen van vraag en aanbod, aftappen van afvalstromen en stimuleren van zuiniger gedrag.
2. Duurzame energie: ontwikkeling en realisatie van a) duurzame elektriciteit (o.a. zon, wind), b) duurzame warmte (o.a. zonthermische installaties, geothermie) en c) duurzame brandstoffen (o.a. elektriciteit, waterstof en duurzame biobrandstoffen).
3. Verduurzamen van de energie-infrastructuur: inpassing van fluctuerende energiebronnen, het faciliteren van decentrale opwekking van energie, het ontwikkelen van supergrids, de vergroting van de intelligentie van het energienet, en vervlechting met (elektrische) mobiliteit.

Deze uitdagingen vormen vruchtbare grond voor nieuw onderzoek, innovatieve technologieën, nieuwe bedrijvigheid en ondernemerschap. Er ligt een schone taak voor techneuten met interesse voor duurzaamheid en energietechniek om innovaties te ontwikkelen op al deze thema's. Zonder innovaties zal de transitie naar een duurzaam energiesysteem worden bemoeilijkt en blijft onze afhankelijkheid van fossiel in stand. Ongetwijfeld zal fossiel dominant blijven in de komende decennia; maar voor een duurzame transitie zullen we nu moeten starten; immers, de innovaties die nu worden ontwikkeld, kunnen over twintig of dertig jaar een beslissende rol spelen.

5. Innovatie en praktijkgericht onderzoek in de energiebranche

5.1 Ruimte voor innovatie

Innovaties zijn hard nodig op het gebied van besparing, duurzame energietoepassing, smart grids, maar ook in de manier waarop nieuwe technologieën vermarkt worden. Er is dan ook een groot en groeiend aantal bedrijven actief in duurzame energie.

Het ontwikkelen van duurzame energie-innovaties beperkt zich niet alleen tot de koplopers in duurzame energie zoals Duitsland, de Verenigde Staten, China, Spanje of Denemarken. Ook in Nederland is er een groot aantal bedrij-

ven succesvol bij de ontwikkeling van innovaties die bijdragen aan de energietransitie. De Nederlandse offshoresector heeft een sterke positie bij de ontwikkeling en bouw van offshore windparken. Het bedrijf OTB Solar heeft een sterke internationale positie in machinebouw als leverancier voor de zonnecelbranche; OTB is inmiddels overgenomen door het Duitse Roth & Rau. BioMCN is het eerste bedrijf ter wereld dat grootschalig duurzame biomethanol produceert voor de autobrandstoffenmarkt. Diverse partijen in de Rotterdamse haven hebben een sterke positie opgebouwd in de keten van biobrandstoffen (logistiek, verwerking, opslag). En diverse partijen in de energiebranche zijn betrokken bij het uitrollen van toepassingen van smart grids.

Maar ook veel MKB-bedrijven zijn actief op het gebied van duurzame energie-innovaties. Epyon ontwikkelt snellaadtechnologie voor elektrische auto's, en is in 2011 na een periode van snelle groei overgenomen door het Zweedse ABB. FemtoGrid ontwikkelt slimme elektronica voor zonnecelmodules om de opbrengsten aanzienlijk te verhogen. Plugwise is ontwikkelaar van slimme stekkers die bedrijven in staat stellen nauwkeurig hun energieverbruik te monitoren en onderbouwd energiebesparingsmaatregelen te nemen. Diverse bedrijven hebben oplossingen bedacht om de kassenbouw energie-efficiënt te maken door gebruik te maken van warmte-koudeopslag in de grond (en daarmee kassen gesloten en beter geïsoleerd te houden). QWIC is een ontwikkelaar en producent van elektrische scooters en hiermee een van de marktleiders in Nederland. Tocado is een bedrijf dat technologie ontwikkelt om energie uit getijdenbeweging te winnen.

Deze en andere bedrijven hebben een grote behoefte aan technisch geschoold personeel, waaronder werktuigbouwkundigen, elektrotechnici, bouwkundigen, technische bedrijfskundigen en productontwerpers. Ook is er behoefte aan een sterke kennisbasis als voorwaarde om innovaties te ontwikkelen en te testen. Niet alleen fundamenteel onderzoek is hierbij van belang, maar in toenemende mate ook praktijkgericht onderzoek om de stap van laboratorium naar de markt te kunnen maken. Hogescholen kunnen een belangrijke rol spelen, zowel in de levering van technisch geschoold personeel als bij het uitvoeren van praktijkgericht onderzoek, waarbij in nauwe samenwerking met het beroepenveld innovaties worden ontwikkeld.

5.2 Praktijkgericht onderzoek

Praktijkgericht onderzoek is juist nu van groot belang bij de ontwikkeling van duurzame energie-innovaties. Decennialang zijn duurzame energietechnieken als zonnecellen, windmolens, getijde-energie en brandstofcellen ontwikkeld in meer academische laboratoria. Pas de afgelopen tien jaar hebben deze techno-

logieën de stap richting markt gezet, variërend van het ontwikkelen van prototypes, het testen van demonstratiemodellen tot allerlei kleinschalige projecten. Praktijkgericht onderzoek speelt een belangrijke rol om de stap van lab naar markt te overbruggen.

Technologieën als zon-PV, windmolens, warmtepompen of warmtekrachtkoppeling-systemen bevinden zich niet in dezelfde fase van ontwikkeling. Toch zijn er overeenkomsten in de barrières waar deze technologieën tegenaan lopen, en waar ontwikkelaars van deze technologieën mee geconfronteerd worden bij de vermarkting ervan. Het slechten van de barrières voor de ontwikkeling van zuinige en duurzame technologie is vaak minder fundamenteel van aard, maar vraagt om praktijkgericht onderzoek. Hieronder ga ik in op enkele van deze barrières; deze geven richting aan (praktijkgericht) onderzoek, en aan de mogelijke bijdragen die ingenieurs in de toekomst kunnen leveren aan de grootschalige toepassing van duurzame energietechnologie.

- Vertaling van lab naar markt

Valorisatie (het te gelde maken) van nieuwe technologische kennis is bij duurzame energie een grote uitdaging, net als bij veel andere technologieën. Praktijkgericht onderzoek in nauwe samenwerking met bedrijven kan bijdragen aan succesvolle marktintroducties door een brug te slaan tussen kennisinstellingen en de praktijk. Een specifieke kwaliteit bij (technische) hogescholen ligt bijvoorbeeld in het bouwen en testen van prototypes, waarbij onder andere kennis van fabricagetechnieken en *rapid prototyping* een grote meerwaarde is.

- Technologische ontwikkeling

Veel duurzame energie- en besparingstechnologieën zijn doorgaans nog te duur om commercieel of zonder subsidie in te zetten. Dit komt mede door het gebrek aan schaalgrootte in productie en leereffecten. Er is nog veel ruimte voor product- en procesinnovaties, zodat technologieën als zonnecellen, windmolens, getijdestroom en brandstofcellen kosteneffectiever worden, een langere levensduur krijgen of een hogere efficiëntie bereiken. Hier ligt nog een enorme ontwikkelingsuitdaging waarbij praktijkgericht onderzoek bij hogescholen lokale duurzame energiebedrijven kan ondersteunen bij die ontwikkeling.

- Niche-applicaties

Veel duurzame energietechnieken zijn schaalbaar: zonnecellen kun je op watt-schaal gebruiken (zakrekenmachines), kilowattschaal (huizen) of megawatt-

schaal (zonnecelcentrales). Op vergelijkbare wijze zijn brandstofcellen toe te passen in huizen (ca. 1 kW), auto's (25-75 kW) en in industriële installaties (megawattschaal). Voor bedrijven is het complex om de juiste *killer application* vast te stellen, zonder in (arbeidsintensieve en kostbare) demonstratieprojecten te evalueren wat de meest geschikte toepassing is. Het matchen van de gedetailleerde eisen van een bepaalde toepassing met de specifieke kenmerken van duurzame energie vereist van toekomstige ingenieurs zowel meer technisch als meer bedrijfskundig inzicht.

- Slimme productintegratie

Duurzame technologie wordt regelmatig op weinig subtiele wijze geïntegreerd in producten, onder meer bij de integratie van zonnecellen op daken. Succesvolle toepassing van met name zonnecellen vereist dat er meer aandacht is voor het esthetische aspect. Om die reden wordt momenteel hard gewerkt aan de ontwikkeling van zon-geïntegreerde bouwelementen (denk aan gevels en dakmodules), zodat zonnecellen op een smaakvolle manier worden geïntegreerd in de gebouwde omgeving. Hier ligt een belangrijke rol voor productontwikkelaars en bouwkundigen.

- Nieuwe productconcepten

Ontwerpers spelen ook een rol bij het vormgeven van compleet nieuwe producten waarin energiebesparing en duurzame energie hand in hand gaan. Op het gebied van mobiliteit ontstaan de laatste jaren veel nieuwe, elektrisch aangedreven tweewiel- en driewielvoertuigen die als vervanging van conventionele auto's kunnen gelden, bijvoorbeeld de Segway, de JAC< (een elektrische step ontwikkeld door het Amsterdamse LEEV Mobility), en de Renault Twizy. Energiebesparing vraagt om volledig nieuwe concepten en producten die huidige conventies overboord gooien en verleiden tot duurzaam gedrag van consumenten.

- Slimme financieringsconstructies en businessmodellen

Voor duurzame energie geldt vaak dat de kost voor de baat uit gaat: zonnecellen en windmolens zijn duur, maar betalen zich op lange termijn terug. Consumenten en bedrijven zien vaak op tegen deze hoge investering. Slimme financieringsconstructies zijn in ontwikkeling om dit probleem tegen te gaan. Zo heeft het Amerikaanse bedrijf Better Place een abonnementsvorm ontwikkeld voor de verkoop/lease van elektrische voertuigen en gecombineerde toe-

gang tot oplaadpunten. Het idee hierbij is dat hoge investeringen in de batterij zich op termijn deels laten terugverdienen door de lage kosten van de elektriciteit. Technisch bedrijfskundigen spelen een belangrijke rol om duurzame energie-innovaties met passende verdienmodellen en financieringsconstructies aantrekkelijker te maken voor de markt.

- Bewustzijn consumenten

Consumenten hebben doorgaans beperkt zicht op de kosten die zij aan energie kwijt zijn, en met name welke producten veel bijdragen aan hun energierekening. Stimulering van energiezuiniger gedrag begint met inzicht in je energierekening. De afgelopen jaren zijn er producten op de markt gekomen die op slimme wijze dat inzicht verschaffen, waaronder de Eneco Toon, ontwikkeld door het Amsterdamse bedrijf Quby, en de energiemonitor Wattcher. In beide producten is elektrotechnische kennis (metingen en sensoren) en productontwikkeling gecombineerd om een aantrekkelijk en effectief product te ontwikkelen.

Samenvattend, de dynamiek rond de energietransitie levert een groot aantal kansen op voor innovaties, en levert tegelijk een groot aantal onderzoeksvragen op voor de industrie en MKB-bedrijven die actief zijn in de energiesector. Er is nog een wereld te winnen om slimme, zuinige en schone energietechnologie te ontwikkelen en deze succesvol te vermarkten. Juist in deze overbrugging van lab naar markt spelen hogescholen een steeds belangrijker rol. Niet alleen kunnen (MKB)bedrijven uit de beroepspraktijk worden ondersteund met praktijkgericht onderzoek; maar hogescholen leveren ook de ingenieur van de toekomst af: met gedegen kennis van energiesystemen en een innovatieve en kritische houding kan deze een belangrijke bijdrage leveren aan de ontwikkeling van succesvolle duurzame energie-innovaties.

6. CleanTech onderzoeksprogramma: GreenIT & E-Mobility

Het lectoraat Energie en Innovatie is onderdeel van het CleanTech onderzoeksprogramma binnen het domein Techniek van de Hogeschool van Amsterdam. Het doel van het onderzoeksprogramma is om met praktijkgericht onderzoek een bijdrage te leveren aan de ontwikkeling en vermarkting van duurzame (energie)technologieën. Hierbij wordt zowel technisch (engineering) onderzoek uitgevoerd als meer bedrijfskundig, omdat het ontwikkelen

van duurzame energie vaak beide nodig heeft om succesvol te worden. Om hieraan invulling te geven, werkt het lectoraat Energie en Innovatie samen met het lectoraat Technisch Innoveren en Ondernemen van collega-lector Inge Oskam. Bij het onderzoeksprogramma zijn de opleidingen Engineering, Design & Innovation (EDI), E-Technology en Technische Bedrijfskunde betrokken.

Binnen het onderzoeksprogramma zijn vier inhoudelijke thema's gekozen: Urban Farming, Sustainable Materials, GreenIT en E-Mobility. Het lectoraat Energie en Innovatie richt zich met name op de laatste twee: de vergroening van datacenters (GreenIT) en het ontwikkelen van elektrische mobiliteit (E-Mobility). Hierbij is met name gekeken naar onderzoeksvragen die in de regio spelen, met als voorwaarde dat een cluster van regionaal opererende bedrijven beschikbaar is en belang heeft om mede richting te geven aan het onderzoeksprogramma. Bij beide thema's is dit het geval.

Op het gebied van GreenIT is de regio Amsterdam een van de grootste Europese knooppunten voor internetverkeer, wat zich uit in een groot aantal datacenters in de regio. Er ligt een enorme uitdaging om hier energiebesparing te realiseren. Ten aanzien van elektrische mobiliteit is de gemeente Amsterdam een van de koplopers in Europa met het uitrollen en stimuleren van elektrische mobiliteit. Hier spelen allerlei vragen over infrastructuurontwikkeling en het ontwikkelen van nieuwe diensten. In het volgende ga ik dieper in op het concrete onderzoek dat in het kader van het CleanTech onderzoeksprogramma op deze twee thema's wordt uitgevoerd.

6.1 GreenIT

De ICT-sector is een van de snelst groeiende energieverbruikers wereldwijd. De groeiende rol van internet, mobiele datanetwerken, informatietechnologie en verregaande digitalisering maken dat de ICT-sector verantwoordelijk is voor bijna 2% van het wereldwijde energieverbruik (volgens onderzoeksbureau Gartner³). Dit is vergelijkbaar met het energieverbruik van de luchtvaartindustrie, en wordt alleen maar groter. De term 'Big Data' verwijst naar de explosieve groei van het wereldwijde datavolume, als gevolg van het groeiende multimediegebruik, digitalisering en automatisering, en de verregaande toepassing van sensoriek in allerlei producten en processen. Denk bijvoorbeeld nu al aan de groeiende capaciteit voor het opslaan van e-mails, versturen en posten van foto's (Facebook) en downloaden van filmpjes. We staan pas aan het begin van een enorme data-explosie: steeds meer data zullen worden opgeslagen in uitdijende datacenters.

Tussen 2005 en 2008 is het vloeroppervlak van datacenters in Nederland verviervoudigd en het energiegebruik ervan met 50% gestegen (Clevers et al 2009). Relatief onbekend is dat meer dan de helft van het trans-Atlantische internetverkeer via de regio Amsterdam gaat en wordt verwerkt in een van de veertig grote datacenters die deze regio herbergt. Deze vertegenwoordigen ongeveer een derde van het totale datacenteroppervlak in Europa. Stuk voor stuk gebruiken datacenters grote hoeveelheden energie – bij de grootste vergelijkbaar met het energieverbruik van een middelgrote gemeente. In totaal zijn datacenters in de regio Amsterdam verantwoordelijk voor circa 10% van het totale industriële energieverbruik (Teunissen en Lambregts 2012), reden voor zowel de gemeente als de ICT-sector zelf om te onderzoeken hoe datacenters energiezuiniger kunnen worden gemaakt. Voor de sector betekent energiebesparing niet alleen vooral een aanzienlijke kostenverlaging, maar het verhoogt ook hun *licence to operate*, de legitimiteit om in de regio te kunnen opereren. Los daarvan vertegenwoordigt het ontwikkelen van producten of diensten rond ‘groene datacenters’ ook exportpotentieel.

Groene datacenters

De energieverliesketen van een datacenter is indrukwekkend en tegelijkertijd droevigmakend. Van de 100 Watt vermogen wordt slechts een fractie gebruikt voor het uitvoeren van de daadwerkelijke dataprocessing. Naast verliesposten in de opwekking en transmissie van de elektriciteit, zijn er grote verliezen binnen het datacenter zelf voor koeling, verlichting, noodstroomvoorziening, klimaatbeheer en in de transformator (wisselstroom naar gelijkstroom). Het gebruik van de server is eveneens inefficiënt als gevolg van de lage benuttingsgraad van deze servers: veel servers staan ‘werkeloos’ te wachten tot de schaarse momenten dat er een piek is in de vraag naar servercapaciteit, met grote inefficiënties als gevolg. Dit heeft alles te maken met de business van datacenters, waarin bedrijfszekerheid wordt beloond en niet energiezuinigheid (Glanz 2012).

In nauwe samenwerking met het industrieplatform GreenIT Region Amsterdam en partijen uit de hele ICT-keten voert het CleanTech onderzoeksprogramma onderzoek uit naar de mogelijkheden om datacenters energiezuiniger te maken (*greening of IT*⁴). Onder andere wordt gekeken welke innovatieve koeltechnieken en noodstroomvoorzieningen kunnen worden toegepast. Ook meer innovatieve technologieën (LED-verlichting, faseveranderingsmaterialen voor koeling) worden onderzocht op haalbaarheid, evenals meer infrastructuurle oplossingen (toepassing van warmte- of koudnetten, gelijkstroomnetten of duurzame energie). Binnen het programma streven we naar het ontwikke-

len van een meer generiek model dat bedrijven in de sector in staat stelt betere keuzes in de energievoorziening te maken.

Groene software: Software Energy Footprint Lab

Een tweede onderzoekslijn richt zich op het vergroenen van software. Het is immers software die componenten in servers aanstuurt en daarmee dus aan het begin van de ICT-keten staat. Alle energie die bij de processor kan worden bespaard met zuinige software heeft een aanzienlijk hefboomeffect op het energieverbruik van het hele datacenter. Binnen het zogenaamde SEFLab (zie kadertekst) wil het onderzoeksprogramma bijdragen aan het ontwikkelen van energiezuinige software, onder andere in samenwerking met de academische instellingen als de Vrije Universiteit en de Universiteit van Amsterdam, enkele bedrijven (Software Improvement Group, Schuberg Philis, EvoSwitch) en intermediaire organisaties (GreenIT Region Amsterdam, SURF Foundation).

Software Energy Footprint Lab (SEFLab)

Het SEFLab is een labfaciliteit waar zeer nauwkeurig (100.000 *samples* per seconde) het energieverbruik (*energy footprint*) van software kan worden vastgesteld. Het is ontwikkeld door studenten elektrotechniek en vormt een gecontroleerde omgeving waarin de stroomkabels binnen de computer worden bemeten terwijl een softwareapplicatie draait. Zodoende wordt het mogelijk om van concurrerende softwarepakketten vast te stellen welk pakket het zuinigst is in energiegebruik (bijvoorbeeld de browser Explorer versus Firefox). Op termijn kan dit de kennis opleveren om een energielabel voor software te ontwikkelen, zodat consumenten of bedrijven energieverbruik als aankoopcriterium kunnen meewegen bij de aanschaf van nieuwe software. Ook kan het SEFLab bijdragen aan het ontwikkelen van ontwerpregels voor groene software. Het SEFLab is uniek in zijn soort, en is opgezet in samenwerking met de Software Improvement Group in Amsterdam.

6.2 E-Mobility

Een tweede onderzoeksgebied voor dit lectoraat ligt op het gebied van elektrische mobiliteit (E-Mobility). Het sluit aan bij de groeiende aandacht die elektrische auto's de afgelopen jaren hebben gekregen, en past bij de grote ambities van de gemeente Amsterdam op dit gebied. Elektrische mobiliteit draagt bij

aan de luchtkwaliteit en aan de klimaatambities van de gemeente. Met meer dan vijfhonderd oplaadpunten en internationaal aansprekende demonstratie-programma's van de Nissan Leaf en de elektrische Smarts van Car2Go is Amsterdam met recht een internationale koploper.

Elektrische auto's gaan al weer wat decennia terug. Vooral begin jaren negentig was er grote aandacht van de auto-industrie voor de batterij-elektrische auto, maar deze raakte in de vergetelheid toen halverwege de jaren negentig de brandstofcelauto zijn entree maakte. Deze kon op zijn beurt de verwachtingen niet inlossen, en is de afgelopen jaren naar de achtergrond geraakt door de ontwikkeling van hybride voertuigen en de nieuwe generatie batterij-aangedreven auto's.

De nieuwe generatie batterij-elektrische auto's is er sterk op vooruitgegaan sinds de jaren negentig, met name door verbeterde batterijtechnologie. Nu al liggen de verkoopaantallen van batterij-elektrische auto's een factor 4 hoger dan die in de jaren negentig (in totaal 50.000⁵ elektrische auto's in 2012 versus 12.000 in de jaren negentig). Ook het aantal oplaadpalen is aanzienlijk uitgebreider dan destijds; Europa telt momenteel meer dan 10.000 oplaadpunten, waarvan 3.500 in Nederland. Een mogelijke *game changer* is verder de ontwikkeling van een snellaadnetwerk, die een belangrijke rol kan spelen om het fenomeen *range anxiety* bij elektrische auto's te voorkomen.

Al met al zijn dit indrukwekkende cijfers voor een technologie die nog moeilijk kan concurreren met de verbrandingsmotor. Zonder subsidie is de business case van elektrische voertuigen moeizaam, met name door de hoge batterijkosten en de beperkte range. Ook de kosten voor het ontwikkelen van een fijnmazige infrastructuur van oplaadpunten zijn aanzienlijk.

Wat is dan het perspectief voor elektrische mobiliteit? Die is er wat mij betreft wel degelijk. Binnen de auto-industrie lijkt er consensus dat de batterij-aangedreven auto vooral voor stadsverkeertoepassingen met korte ritten interessant is (ook met het oog op luchtkwaliteit). Voor langere ritten zal een *range extender* noodzakelijk zijn. Plug-in hybrides lijken momenteel dominant te worden (zoals de Opel Ampera en de Toyota Prius Plug-in). Opvallend is de ontwikkeling van nieuwe mobiliteitsdiensten rond elektrische auto's, waaronder deelautoconcepten als Car2Go en Greenwheels (inmiddels ook met een elektrische variant).

Naast elektrische auto's is de markt voor elektrische fietsen en scooters een snelle groeier. Met name in China worden miljoenen elektrische fietsen en scooters verkocht, en dit overstijgt de verkoop van scooters met verbrandingsmotoren. E-fietsen, e-scooters, maar ook vernieuwende autoconcepten (zoals de Renault Twizy) vormen kansrijke startmarkten voor elektrische mobiliteit.

In nauwe samenwerking met het gemeentelijke projectbureau Amsterdam Elektrisch doet het CleanTech onderzoeksprogramma onderzoek naar elektrische mobiliteit. De gemeente heeft de ambitie om een faciliterende rol te spelen bij de verdere ontwikkeling van elektrische mobiliteit in de stad, en tegelijkertijd het aantrekken van bedrijvigheid rond dit thema. Het ontbreekt echter nog aan kennis hoe een efficiënte en slimme oplaadinfrastructuur kan worden opgebouwd, wat de gebruikservaringen zijn van snellaad- en accuwisseltechnologie, wat interessante business cases zijn rond elektrische mobiliteit en hoe consumenten kunnen worden bereikt om elektrisch te gaan rijden. Deze vragen vormen het startpunt voor de onderzoeksactiviteiten van het CleanTech onderzoeksprogramma.

Laadpunt van de toekomst

Het onderzoeksprogramma richt zich op het ontwikkelen van kennis rond oplaadpunten en het gebruik van de elektrische oplaadinfrastructuur. Bestaande oplaadpunten bieden ruimte voor innovatie als het gaat om kostenreductie, flexibel gebruik (met het oog op schaarse parkeerplekken), intelligentie (afreksystemen), gebruiksvriendelijkheid en integratie in de publieke ruimte. Zo wordt in het onderzoeksprogramma technisch maar ook gebruiksonderzoek gedaan naar oplaadtechnologieën als inductief en snelladen, en ontwerpgericht onderzoek naar nieuwe oplaadconcepten. Momenteel wordt een analyse gemaakt van gebruikspatronen van de bestaande vijfhonderd oplaadpunten, op basis waarvan nieuwe ontwerpcriteria en aanbevelingen kunnen worden gedaan voor gebruik in stadsdelen, *best practices* en verdere opschaling. De koploperspositie van de gemeente met elektrisch rijden biedt het onderzoeksprogramma een unieke positie om kennis over effectieve infrastructuur te ontwikkelen.

Laagvermogen elektrische voertuigen / CleanMobility

De regio herbergt enkele partijen die elektrische tweewiel- en driewielvoertuigen ontwikkelen, onder andere LEEV Mobility (nieuwe *mobility*-concepten), TukTuk Company (elektrische tuktuks) en QWIC (e-scooters). Binnen het Innovatielab van de Hogeschool van Amsterdam wordt door deelname aan studentencompetities veel kennis opgebouwd over elektrische aandrijflijnen (zie kadertekst). Het onderzoeksprogramma is nauw betrokken bij deze ontwikkeling en bouwt via de projecten veel kennis op over laagvermogen-aandrijflijnen (elektrisch). Zo wordt binnen het programma de haalbaarheid onderzocht van innovatieve technieken die op termijn een rol bij de wedstrijden kunnen

spelen, waaronder een ontwerpstudie van een zeer efficiënte (96-98%) elektrische motor (gebruikmakend van het Halbach-principe) en een haalbaarheidsstudie naar een methanol-gevoede brandstofcel. Binnen deze onderzoekslijn is het de ambitie om samen met bedrijven in de regio bij te dragen aan de succesvolle ontwikkeling van elektrische voertuigen in de laagvermogensrange.

CleanMobility programma en Shell Eco-marathon auto

Binnen het Innovatielab, waar tweedejaarsstudenten engineering innovatieve opdrachten voor het bedrijfsleven uitvoeren, worden studententeams geformeerd die deelnemen aan studentencompetities als de Shell Eco-marathon (zuinigheidsrace), de Nuon Solar Challenge (zonnebootrace in Friesland) en de Racing Aeolus (race voor tegenwindauto's). Deze projecten vormen samen het CleanMobility programma⁶, dat gelieerd is aan het CleanTech onderzoeksprogramma.

Bij de Shell Eco-marathon van 2012 heeft de inzending van de Hogeschool van Amsterdam het Nederlands record voor het rijden op waterstof gevestigd, met een verbruik van 1 op 2,321 kilometer. Binnen het project hebben twaalf studenten één jaar (parttime) gewerkt aan het ontwikkelen van de aandrijflijn, het werkend krijgen van de brandstofcel, het ontwerpen en bouwen van de ophanging en het remsysteem, en het maken van een lichtgewicht carrosserie. De projecten blijken zeer motiverend voor studenten, en leiden mede door het multidisciplinair samenwerken tot een grote leercurve en talentontwikkeling bij de deelnemers.

7. Afsluiting

Het energiesysteem zoals we dat kennen bevindt zich in transitie. Momenteel worden de eerste, voorzichtige stappen gezet om fossiele bronnen te vervangen door hernieuwbare: van olie, gas en steenkool naar zon, wind en biomassa. En dat is van groot belang, gezien de sterk groeiende energievraag wereldwijd, de toenemende moeite om met fossiele bronnen hier (goedkoop) aan te voldoen en de negatieve effecten die het huidige energiesysteem heeft op het milieu. De internationale ambities en afspraken over klimaatverandering, energie-efficiëntie en toepassing van hernieuwbare bronnen, leveren aanzienlijke uitdagingen op voor de energiesector. Er is een groot aantal innovaties in het hele energiesysteem nodig om deze ambities waar te maken.

Het goede nieuws is de positieve dynamiek als het gaat om duurzame energietechnologieën als zonneceltechnologie en windenergie. De snelle markt-groei, aanzienlijke kostenreducties, investeringsgroei en het hoge aandeel in nieuwe productiecapaciteit, bieden tegenwicht aan het beeld dat duurzaam een marginale rol blijft spelen in de energievoorziening. Sterker nog, de ontwikkelingen bieden ruimte voor enige opwinding: met de doorgemaakte progressie lijken enkele duurzame energietechnologieën een kantelpunt te naderen waar het slimmer wordt te investeren in duurzame energiecentrales dan in gasgestookte of kolencentrales – ook zonder subsidie. Dit kantelpunt zal per regio en per technologie op een ander tijdstip worden bereikt, maar kan een enorme versnelling teweegbrengen in de verduurzaming van de energiesector.

De uitdagingen voor het realiseren van een duurzame energiehuishouding worden er echter niet direct minder op. Naast duurzaam opgewekte elektriciteit (met zon- en windenergie) moeten ook onze energiebehoeften aan warmte en brandstoffen verduurzaamd worden. Hiervoor zijn nog geen gemakkelijke vervangingstechnologieën beschikbaar, en er worden geen of beperkte groei-cijfers bij bereikt die zon- en windenergie nu wel doormaken. Daarnaast liggen er uitdagingen op het gebied van energiebesparing en de ontwikkeling van een energie-infrastructuur die grootschalige toepassing van duurzame energie moet gaan faciliteren.

De huidige marktdynamiek biedt vruchtbare grond voor slimme engineers, ontwerpers en ondernemers om nieuwe, duurzame oplossingen te bedenken en te ontwikkelen. Er ligt een wereld open voor innovatieve ideeën die bijdragen aan de duurzame energievoorziening. Er ligt een taak voor de Hogeschool van Amsterdam om de ingenieur van de toekomst voldoende bagage mee te geven zowel in energietechniek en energieanalyse, als in kritisch, ondernemend en onderzoekend vermogen. Evenzeer ligt er een taak voor het lectoraat Energie en Innovatie om met bedrijven uit de praktijk urgente en inspirerende onderzoeksvragen te verzamelen en via praktijkgericht onderzoek bij te dragen aan de vergroening van de IT-sector en aan de succesvolle ontwikkeling van elektrische mobiliteit.

Van harte nodig ik hierbij bedrijven, docenten én studenten uit om aan te sluiten en samen te werken met het CleanTech onderzoeksprogramma, om inspirerende duurzame energie-innovaties te ontwikkelen en zo een bijdrage te leveren aan de transitie naar een duurzame energievoorziening.

Noten

1. http://www.europa-nu.nl/id/vicyffri83lm/eu_2020_strategie
2. Hierbij dient te worden aangetekend dat cijfers over werkgelegenheid zich niet makkelijk laten vergelijken vanwege afwijkende rekenmethodieken.
3. <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=503867>
4. Naast greening of IT kan IT ook een rol spelen bij het vergroenen door industriële of logistieke processen efficiënter te maken, of door minder mobiliteit te bewerkstelligen door het mogelijk maken van telewerken (greening by IT).
5. http://www.avery.org/www/Images/files/Data%20Collection_07_09_2012%20SL%20update.pdf
6. <http://hvacleanmobility.nl/345/cleanmobility-programma-2/>

Literatuurlijst

- Boersma, M., F. Pentinga, T. van der Hagen en M. Dierikx, *Rapportage Topsector Energie bij de Innovatiecontracten Energie*, Den Haag, april 2012.
- Campbell, C.J. en J.H. Laherrère, 'The End of Cheap Oil', In: *Scientific American*, p.78-83, 1998.
- Clevers, S., P. Popma & M. Elderman, *Energiemonitor ICT 2008*, Tebodin, in opdracht van: Ministerie van Economische zaken, 2009.
- CBS, *Hernieuwbare energie in NL 2011*, Den Haag, 2012.
- Deng, Y., S. Cornelissen, S. Klaus, K. Blok & K. van der Leun, 'The Ecofys Energy Scenario'. In: Stephan Singer (Ed.), *The Energy Report*, p. 89-253, Gland, Zwitserland, december 2010.
- Gerdes, J. en P.G.M. Boonekamp, *Energiebesparing in Nederland 2000-2008*. ECN, Petten, 2010.
- Glanz, J., 'Power Pollution and the Internet'. In: *New York Times*, 22 september 2012.
- International Energy Agency, *World Energy Outlook 2012*. Parijs, november 2012.
- IPCC, Core Writing Team; R.K. Pachauri, A. Reisinger, et al, 'Climate Change 2007: Synthesis Report', in: *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, 2007.
- Junginger, M., P. Lako, S.M. Lensink, W.G.J.H.M. van Sark, M. Weiss: *Climate change – Scientific assessment and policy analysis. Technological learning in the energy sector*. ECN, Petten, 2008.
- Plomp A.J., S.L. Luxembourg, A.J. Seebregts, S.M. Lensink, *Roadmap VNMI, Inzet van hernieuwbare energie*, Petten, 2011.
- Rademakers, K., J. Daey Ouwens, L. Meinders, et al, *Versterking van de Nederlandse Duurzame Energiesector*, in opdracht van: Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Ecorys, Rotterdam, 2010.
- REN21, *Renewables 2012*, Global Status Report, Parijs, 2012.
- Slot, A. van der, J. Althoff, W. van den Berg, *Stimulering van de economische potentie van duurzame energie voor Nederland*, Roland Berger, Amsterdam, 2009.
- Sinke, W. en A. Hasper (2012), *Innovation Contract Solar Energy: Towards Green Jobs, Building our Solar Future*. Innovatietafel Zonne-energie, 15 februari 2012.
- Teunissen, P. en E.G.M. Lambregts, *Energiebesparing bij datacenters – Wet milieubeheer en overige instrumenten*, DMB Gemeente Amsterdam, 2012.

Curriculum vitae

Robert van den Hoed is opgeleid als industrieel ontwerper aan de Technische Universiteit Delft, gevolgd door een promotieonderzoek aan dezelfde faculteit. Centrale vraagstelling in dat onderzoek was hoe gevestigde industrieën reageren op radicaal nieuwe en duurzame technologieën, met brandstofceltechnologie in de auto-industrie als case. Na zijn promotie was Van den Hoed tussen 2004 en 2010 adviseur bij Ecofys, adviesbureau voor energiebesparing en duurzame energie. Binnen Ecofys was hij verantwoordelijk voor aan waterstof- en brandstofcellen gerelateerde projecten, variërend van haalbaarheidsonderzoek en scenariostudies tot concrete demonstratieprojecten. Daarnaast is hij betrokken geweest bij diverse projecten op het gebied van duurzame mobiliteit, elektrisch rijden en energie-innovaties. Sinds januari 2011 is Van den Hoed als lector Energie en Innovatie verbonden aan de Hogeschool van Amsterdam, domein Techniek. Binnen het CleanTech onderzoeksprogramma is hij betrokken bij twee onderzoekslijnen: vergroening van datacenters (GreenIT) en ontwikkeling van elektrische mobiliteit (E-Mobility).