

De stille revolutie: zonne-energie op weg naar grootschalig gebruik

Het is een bekende uitspraak: 'de aarde ontvangt in één uur een hoeveelheid zonne-energie die gelijk is aan het totale mondiale energiegebruik in een heel jaar'. Iedere aardbewoner staat een gemiddeld zonne-energievermogen ter beschikking van ongeveer 20 megawatt. Dat getal zegt de meeste mensen niets, maar het is ruwweg vergelijkbaar met de energiestroom van benzine door de slang tijdens het kortstondige tanken van een auto. Maar dan 24 uur per dag, 365 dagen per jaar.

Tot zover de ronkende vergelijkingen. Ze zijn heel belangrijk en betekenisloos tegelijk. Belangrijk, omdat ze illustreren dat het mondiale (theoretische) potentieel gigantisch is en het dus alleszins de moeite waard is te proberen een klein deel van die energiestroom af te tappen, om te zetten in een bruikbare vorm en vervolgens beschikbaar te maken op de juiste plaats en de juiste tijd. Betekenisloos, omdat ze nog niets zeggen over het gemak of de moeite van dat aftappen en omzetten, laat staan over de kosten van het eindproduct: zonnewarmte, zonnestroom of zonnebrandstoffen.

Over de enorme mogelijkheden van zonne-energie op de lange termijn bestaat weinig verschil van mening. De inschattingen van de snelheid waarmee het gebruik van zonne-energie kan toenemen, m.a.w. van de rol van zonne-energie in bijvoorbeeld 2030 en 2050, verschillen echter des te meer. Dat hangt samen met verschillen in de verwachtingen ten aanzien van mogelijke kostenreducties en dus van de concurrentiepositie van zonne-energie, maar nog meer met uiteenlopende inschattingen van de noodzaak of zelfs de wenselijkheid om zonne-energie snel en op grote schaal te gaan gebruiken.

Verschillen van inzicht

In tegenstelling tot wat soms wordt gedacht, is het onmogelijk de marktgroei van zonne-energie (of een willekeurig andere energietechnologie) nauwkeurig te voorspellen, zelfs als precies bekend zou zijn hoe de prijs zich gaat ontwikkelen. Er zijn simpelweg te veel andere factoren dan de prijs die bepalen of de technologie doorbreekt en groeit, en met welke snelheid. Er is dus volop ruimte voor zeer uiteenlopende toekomstbeelden en energiescenario's, zoals bijvoorbeeld blijkt uit een vergelijking van publicaties van het International Energy Agency (IEA),¹ de European Renewable Energy Council (EREC)² en Greenpeace

tezamen met de European Photovoltaic Industry Association (EPIA)³. Door de oogdharen bekeken variëren de verwachtingen over wanneer zonne-energie een significante bijdrage aan het totale elektriciteitsgebruik of zelfs energiegebruik kan leveren, van 2020-2030 tot 2040-2050 of zelfs later.

In dit verband is het interessant te constateren dat het IEA in zijn recente *Energy Technology Perspectives 2010* een duurzame-energie-intensief-scenario heeft opgenomen, dat een veel grotere bijdrage van zonne-energie voorziet dan andere en eerdere (IEA-) scenario's, te weten ongeveer 25% van het totale mondiale elektriciteitsverbruik in 2050. Deze hogere inschatting is een direct gevolg van intensieve consultaties van specialisten uit alle delen van de wereld. Zij illustreert de verschuivende inzichten in de mogelijkheden van zonne-energie en is ook een uitdrukking van het sterke gevoel van urgentie om de transitie naar een (meer) duurzame energiehuishouding te versnellen – om klimaatverandering te verminderen, energievoorzieningszekerheid te verhogen, toegang tot betaalbare energie voor iedereen mogelijk te maken en uitputting van voorraden te voorkomen. Het bekende, maar daarom niet minder belangrijke rijtje.

Zonne-energie in soorten en maten

Om de discussie wat concreter te maken, is het nuttig onderscheid te maken tussen de vormen van zonne-energie: zonnewarmte, zonnestroom en zonnebrandstoffen (ook vaak 'solar fuels' genoemd).

Zonnewarmte is deels volwassen technologie en wordt in een aantal landen op grote schaal commercieel toegepast. Denk daarbij bijvoorbeeld aan de bekende zonneboilers voor tapwaterverwarming. Dakvullende systemen met seizoensopslag voor ruimteverwarming in huizen en kantoren, daarentegen, zijn nog niet zover ontwikkeld. Allerlei andere toepassingsvormen verkeren in verschillende stadia van ontwikkeling.

Zonnestroom kan direct worden gemaakt met behulp van zonnecellen en -panelen (fotovoltaïsche omzetting, PV) en indirect via 'Concentrating Solar Power' (CSP), waarbij eerst hoge-temperatuurwarmte wordt gemaakt met geconcentreerd zonlicht en vervolgens stroom wordt geproduceerd in een proces dat vergelijkbaar is met dat in conventionele elektriciteitscentrales. PV-technologie is *technisch* volwassen, in de zin dat betrouwbare systemen al tientallen jaren

commercieel beschikbaar zijn. PV is *economisch* echter nog niet volwassen: de kosten en prijzen kunnen en moeten nog aanzienlijk dalen om breed te kunnen concurreren met andere vormen van elektriciteitsopwekking. Uiteraard spelen bij die kostendaling verdere verbetering en vernieuwing van de technologie een belangrijke rol. De situatie rondom CSP is in zekere opzichten vergelijkbaar, zij het dat van commerciële beschikbaarheid nog niet zo lang sprake is als bij PV.

In een totaal ander stadium van ontwikkeling bevinden zich de 'technologieën' (een betere term is wellicht 'wetenschappelijke en technische concepten') voor het produceren van *zonnebrandstoffen*. Zulke brandstoffen zouden het zeer welkome alternatief kunnen vormen voor biomassa. Met behulp van zonlicht kan water worden gesplitst in waterstof en zuurstof, en kan het zo verguisde CO₂ samen met water worden gebruikt als grondstof voor het maken van vloeibare brandstoffen, zoals methanol. Helaas is dat veel gemakkelijker gezegd dan gedaan; de ontwikkelingen staan nog in de kinderschoenen. Gelukkig hebben over de hele wereld inmiddels vele honderden wetenschapslieden zich op deze uitdaging gestort. Ook Nederland is op dit gebied heel actief. De Amerikaanse minister van

ding voor opgewekte zonnestroom. Die stimulering is nodig zolang de opwekkosten van zonnestroom nog hoger zijn dan de prijzen van elektriciteit uit het stopcontact. Meer landen hebben zo'n stimulering, maar Duitsland onderscheidt zich door het ontbreken van een plafond dat het volume aan geplaatste systemen limiteert, door lage administratieve barrières en door een in al zijn geledingen zeer goed ontwikkelde PV-sector. Kwaliteit en service staan voorop.

Zoals vrijwel alle technologieën ontwikkelt de prijs van PV-componenten en -systemen zich volgens een zog. prijs-ervaringscurve (leercurve). Eenvoudig samengevat komt het erop neer dat de prijs van componenten en systemen daalt met een vast percentage voor elke verdubbeling van het cumulatief geproduceerde en geïnstalleerde volume. Die daling is het gevolg van schaalvoordelen, ervaring én continue technologische innovaties. De prijs van zonnepanelen (het hart van elk systeem) daalt al meer dan 30 jaar met ongeveer 20% voor elke verdubbeling van de mondiale productie. Voor complete systemen is het beeld wat diffuser (variërend van land tot land), maar ook daar dalen de prijzen gestaag op een vergelijkbare manier. Het is dan ook niet voor niets dat de goedkoopste systemen

Bij combinatie van Duitse prijzen met Italiaanse zon zou zonnestroom nu al concurreren zijn

Energie, Nobelprijswinnaar Steven Chu, heeft zich als onderzoeker en als beleidsmaker sterk gemaakt voor deze optie en het onderwerp verder op de kaart gezet. Het is moeilijk te zeggen wanneer het onderzoek tot commercieel bruikbare resultaten zal leiden, maar de belofte is enorm: een minstens 10 x hogere opbrengst per hectare dan biomassa, geen problemen met monoculturen van gewassen of concurrentie met voedselproductie, toepasbaar overal waar zonlicht is, en nog meer.

De leider in zonnestroom

Laten we in het volgende verder inzoomen op zonnestroom, en in het bijzonder op PV. De ogen van de wereld zijn in dit verband al jaren gericht op Duitsland; met afstand de grootste markt voor PV-systemen. Alleen al in 2010 werd daar ongeveer 100 vierkante kilometer aan systemen bijgeplaatst, de meeste op grote en kleine daken. PV levert in Duitsland inmiddels ongeveer 2% van de totale stroombehoefte. Dat lijkt bescheiden en dat is het natuurlijk ook in relatieve termen, maar het is wel heel veel meer dan in welk ander land ook. Bovendien groeit de bijdrage van PV snel verder, dankzij de bijzonder effectieve marktstimulering in de vorm van een gegarandeerde vergoe-

te vinden zijn op de Duitse markt; verreweg de grootste ter wereld. Konden we de Duitse systeemprijzen combineren met de Italiaanse zon, dan kon zonnestroom vandaag al concurreren met grijze stroom.

Geldverspilling of leerproces?

Helaas begint het Duitse systeem barstjes te vertonen. Niet zozeer omdat het systeem zelf niet zou deugen, maar omdat Duitsland wel erg ver voor de troepen uitloopt. Het is niet zo moeilijk uit te rekenen wat het de wereld als geheel kost om zonnestroom rendabel te maken. De totale 'onrendabele top' van PV kan worden geschat met behulp van de genoemde leercurve. Het oppervlak onder de curve tot het systeemprijsniveau dat overeenkomt met 'concurrerend', is een paar honderd miljard euro. Dat is het bedrag dat de mensheid moet *investeren* om een duurzame energiebron te krijgen met een vrijwel onbeperkt potentieel. Veel te veel voor één land (i.c. Duitsland), maar *peanuts* voor de wereld als geheel. Op macroniveau bezien worden de investeringen van dit moment op de langere termijn ruimschoots terugverdiend, omdat de kosten van opwekking dan naar verwachting lager zullen worden dan die van acceptabele alternatieven. Bovendien kan door de grootschalige inzet van zonnestroom worden



Foto: Wim Sinke

bespaard op kosten die samenhangen met klimaatverandering. De lange-termijnbaten en -besparingen komen echter niet noodzakelijk op dezelfde plaats terecht als de huidige kosten en bovendien vergt zo'n kosten-batenanalyse een verre tijdshorizon en een mondiaal perspectief.

Dat laatste gaat – begrijpelijk – zelfs de meeste overheden te ver. De Duitse marktstimulering kost inmiddels vele miljarden, die via de elektriciteitsrekening worden ingezameld. Per huishouden gaat het nog steeds om een overzichtelijk bedrag per jaar, maar in tijden van crisis en bezuinigingen worden alle kostenposten kritisch bezien. Daar komt bij dat Duitsland door zijn marktstimulering (en ambitieus beleid op het gebied van onderzoek en ontwikkeling) een sterke PV-maakindustrie hoopte op te bouwen, met alle bijbehorende groene banen. Tot een paar jaar geleden heeft dat model prima gewerkt, met meer dan 60.000 banen in de PV-sector, maar de laatste tijd doen China en Taiwan Duitsland en de rest van de wereld geweldige concurrentie aan. Massaproductie verschuift naar Azië en het Oosten van Duitsland zit wederom met werkloosheid. Geen wonder dat er kritische vragen gesteld worden over 'het Duitse model'.

Toch dient de Duitse ervaring zeer belangrijke doelen. In de eerste plaats zijn we waar we zijn met PV

dankzij Duitsland. Zonder de Duitse markt en visie waren we vijf, of misschien wel tien jaar terug in de tijd. Andere landen profiteren bovendien in hoge mate van de ervaring die bij onze Oosterburen wordt opgedaan, alsmede van de kwaliteitsstandaarden die zijn gezet. Duitsland betaalt letterlijk en figuurlijk het leergeld voor de rest van de wereld. Het wrange is dat sommige landen dat niet op waarde weten te schatten. Nederland stelt zich in dit verband soms op als een enigszins betweterige en arrogante *free rider*. Het is gemakkelijk, goedkoop zelfs, kritiek te hebben als je zelf niets bijdraagt aan de ontwikkeling van de mondiale markt op dit gebied. De beste stuurlui staan aan wal.

China: smaakmaker of spelbederver?

Maar genoeg over Duitsland. De groep landen met actief beleid op het gebied van PV wordt steeds groter. Europa en Japan leiden daarbij als pioniers de weg, maar ook de Verenigde Staten en andere Aziatische landen maken zich op. De vraag die velen bezighoudt, is wanneer China zijn thuismarkt zal gaan ontwikkelen. Dat land is *in no time* de grootste producent en exporteur van zonnecellen en -panelen geworden, maar het heeft een verwaarloosbare thuismarkt voor systemen. Dat zet kwaad bloed bij de landen die wél hun markt ontwikkelen en met lede

ogen moeten aanzien dat die wordt overspoeld met Chinese producten. Deze situatie gaat mogelijk leiden tot nieuwe vormen van protectionisme of ander ingrijpen en dat zal de verdere ontwikkeling van PV geen goed doen. Het zou echter kunnen dat China door interne ontwikkelingen wordt aangespoord zijn eigen markt te stimuleren. De productiecapaciteit van Chinese bedrijven is de afgelopen paar jaar zó snel gegroeid, dat zij inmiddels aanzienlijk vooruitloopt op de toch al snel groeiende mondiale afzetmarkt. De enige reële manier om vraag en aanbod in evenwicht te brengen en faillissement van veel bedrijven te voorkomen (aannemende dat dat de bedoeling is), is wellicht het creëren van een substantiële thuismarkt.

Geen gebrek aan mogelijkheden

Wat zijn nu de verwachtingen over de verdere technologische en economische ontwikkeling van PV? Het technologieportfolio is goed gevuld: vier verschillende categorieën zonnepanelen zijn commercieel verkrijg-

baar. Voor de liefhebbers: kristallijn silicium; dunnefilm silicium; koper-indium/gallium-diselenide en verwante materialen; en cadmiumtelluride. Deze vier kunnen zonder problemen de beoogde kostendaling voor de komende 10 jaar dragen (met ongeveer een factor 2 ten opzichte van vandaag). Daarnaast zijn er in het laboratorium en in proefproductie nog zeer veel nieuwe technologieën en concepten, die ófwel zeer lage productiekosten óf zeer hoge omzettingsrendementen tot doel hebben.⁴ Het liefst wil men natuurlijk beide bereiken, maar voor de lage-kostenopties is nog onduidelijk of ze een heel hoog rendement zullen kunnen halen, terwijl wat de hoog-rendementsopties betreft veelal nog geen zinnig woord over de kosten kan worden gezegd. De veelheid aan opties geeft de totale ontwikkeling van PV echter wel een robuust karakter. Mochten er verscheidene mislukken, dan zijn er altijd nog voldoende over die wél succesvol kunnen worden. Het is dan ook niet zozeer de vraag óf PV een succes wordt, maar meer in welke vorm(en) precies.

Het wereldrecord zonnecelrendement lag eind 2010 op 42% en werd behaald voor een kleine meerlaagscel, ontworpen voor gebruik onder geconcentreerd zonlicht. Commerciële zonnepanelen voor gebruik onder natuurlijk (niet geconcentreerd) zonlicht halen thans ruwweg 10 tot 20%, concentratorpanelen (al-

Concurrentiepositie

leen geschikt voor zonnige landen) 25 tot 30%. De verwachting is dat die getallen op de lange termijn nog aanzienlijk zullen stijgen en misschien wel zullen verdubbelen.

De prijzen van *turn-key* PV-systemen en daarmee de opwekkosten van zonnestroom dalen gestaag.⁵ Het is de breed gedragen verwachting dat PV de komende tien jaar in grote delen van de wereld 'grid parity' zal bereiken op het niveau van consumentenprijzen,⁶ d.w.z. dat de opwekkosten van zonnestroom gelijk worden aan de consumentenprijzen van reguliere elektriciteit. Daarna dalen de kosten verder en in de periode 2020-2030 zal PV geleidelijk kunnen concurreren op het niveau van groothandelsprijzen. Op de lange termijn, ten slotte, zullen de opwekkosten in zonnige gebieden naar verwachting tot ongeveer 0,05 € of \$ kunnen dalen. Daarmee zal PV concurrerend zijn met vrijwel alle andere vormen van elektriciteits-

Duitsland betaalt leergeld voor de rest van de wereld

opwekking, zeker als de kosten van CO₂-opslag worden meegerekend.

Mogelijke showstoppers

Zijn er dan geen problemen te verwachten bij de verdere ontwikkeling en groei van PV? Helaas wel. Het *eerste* en ongetwijfeld meest urgente betreft het *elektriciteitsnet*. PV en windenergie zijn aanbodvolgende technologieën. Hun ontwikkeling staat of valt met de mogelijkheid ze te integreren in het elektriciteitsnet. Grootschalige inpassing kán, maar alleen als de elektriciteitsinfrastructuur voldoende 'flexibel' is. Het variabele aanbod van zon en wind, tezamen met het aanbod van andere bronnen, moet immers passen op de vraag. Dat vereist portfoliomanagement en lange-termijnplanning, want het gaat absoluut niet vanzelf goed en veranderingen aan de infrastructuur zijn langdurige, complexe processen. Hoewel grootschalige inpassing op diverse manieren kan worden gefaciliteerd, is duidelijk dat de mogelijke komst van een fors aantal nieuwe (kolen- en kern-)centrales die niet-regelbaar, zogenaamd basislastvermogen leveren, haaks staat op de noodzaak van een flexibele infrastructuur. Die centrales moeten 40 jaar of meer draaien, en dat is juist de periode waarin PV en windenergie heel groot kunnen en volgens velen móeten

worden. Wat we nu ook doen, het zou de toekomstige mogelijkheden voor verduurzaming toch minimaal niet mogen blokkeren.

Opvallend is dat bij de discussies over *netinpassing* vaak een beschuldigende vinger gaat naar de *trouble makers* PV en windenergie. Die veroorzaken een probleem en moeten maar opdraaien voor de gevolgen en de kosten. Daarbij verliest men echter uit het oog dat de transitie naar een duurzame energiehuishouding een voor de samenleving noodzakelijk proces is en bovendien volstrekt onmogelijk zonder duurzame

de ultieme technologie, die uitsluitend gebruik maakt van ruim beschikbare grondstoffen, niet al morgen beschikbaar te zijn. Bovendien zijn er nu al technologieën die dicht in de buurt van dat ideaal komen.

Tot slot

De conclusie kan kort zijn: zonnestroom is bezig aan een onstuitbare opmars. De ontwikkeling van een technologie voor *niche*-toepassingen naar een technologie voor grootschalig gebruik verloopt met vallen en opstaan, maar rennend. Het komende decennium

Als we niet oppassen, komen we van de aardolieregen in de materialendrup

bronnen als PV. Het gaat dus niet aan te spreken over 'problemen veroorzaken'. De uitdaging en de noodzaak is het energievoorzieningssysteem geheel te herontwerpen, waarbij PV een van de nieuwe bouwstenen is. Het is wederom Duitsland dat hier de kastanjes uit het vuur gaat halen, want naar verwachting loopt men daar al in 2011 of 2012 tegen de limieten van netintegratie van PV en windenergie zonder aanvullende maatregelen aan. Hopelijk leidt dat tot creativiteit en innovaties die we ook elders kunnen toepassen. Gelukkig zijn er ook in Nederland partijen die zich proactief bezighouden met intelligente netten en verwante onderwerpen. Het is heel nuttig nieuwe ontwikkelingen en mogelijkheden in de praktijk te testen voordat ze op grote schaal worden toegepast.

Het *tweede* potentiële probleem is de beschikbaarheid van voldoende en goedkope *grondstoffen* voor de zeer grootschalige productie en installatie van PV. Als we niet oppassen, komen we van de aardolieregen in de materialendrup. Er is veel discussie over het gebruik van relatief schaarse elementen als indium en tellurium in specifieke PV-technologieën, maar ook over de behoefte aan zilver en koper, om een paar voorbeelden te noemen. China heeft voor een keiharde *wake-up call* gezorgd door de export van een aantal voor de *high tech*-industrie essentiële elementen te beperken. Dat geeft de rest van de wereld de gelegenheid tijdig te beseffen dat 'voorzieningszekerheid' niet alleen over olie en gas gaat. Voor sommige elementen bestaan duidelijke alternatieven, maar die kunnen zeker niet 'even' worden ingezet. De elementen die ze moeten vervangen worden namelijk niet voor niets gebruikt. Het is duidelijk dat 'integrale duurzaamheid' op hetzelfde verlanglijstje als 'kostenreductie' en 'rendementsverhoging' thuishoort. Gelukkig hoeft

wordt gekenmerkt door de overgang van een vrijwel volledig subsidiegedreven sector naar de eerste grote zelfdragende markten. De vraag is niet óf, maar uitsluitend hoe snel en in welke vormen zonnestroom zal bijdragen aan de transitie naar een duurzame energiehuishouding.

Prof. dr Wim Sinke is stafmedewerker Zonne-energie bij het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) in Petten, deeltijdhoogleraar Duurzame Energiesystemen aan de Universiteit Utrecht en voorzitter van het *European Photovoltaic Technology Platform*.

Noten

- 1 *Technology Roadmap – Solar Photovoltaic Technology* (http://www.iea.org/papers/2010/pv_roadmap.pdf) en *Technology Roadmap – Concentrating Solar Power* (http://www.iea.org/papers/2010/csp_roadmap.pdf).
- 2 *RE-thinking 2050* (http://www.rethinking2050.eu/fileadmin/documents/ReThinking2050_full_version_final.pdf).
- 3 *Solar Generation 6* (http://www.epia.org/fileadmin/EPIA_docs/public/Solar_Generation_6_Executive_Summary2.pdf) en *SET for 2020* (<http://www.setfor2020.eu/en/executive-summary>).
- 4 Het rendement van een zonnecel, zonnepaneel of PV-systeem is gedefinieerd als de verhouding tussen het geleverde elektrische vermogen en het opvallende vermogen in de vorm van zonlicht. Het theoretisch maximum (voor ideale zonnecellen) ligt tussen 75 en 85%.
- 5 Voor de omrekening van systeemprijzen naar opwekkosten wordt meestal de *Levelized Cost of Energy*-methode gebruikt. Daarin wordt rekening gehouden met de energieopbrengst, de kapitaalkosten (bijv. afschrijving en rentelasten), de kosten van onderhoud en beheer, alsmede eventuele andere eenmalige of periodieke kostenposten. Hoewel recht-toe-recht-aan is de omrekening niet eenduidig, want de opwekkosten variëren met het businessmodel. Zo levert snellere afschrijving hogere opwekkosten op.
- 6 Zie bijv. de IEA *Technology Roadmap – Solar Photovoltaic Technology*, a.w. noot 1.