

Waarom wij wel zonnepanelen maar nog geen kernfusiestroom hebben

De introductie en opschaling van nieuwe energietechnologieën wordt beperkt door economische wetten en vraagt grote investeringen in geld en energie. Een vergelijking van zonnepanelen (PV) en kernfusie laat zien dat deze niet zozeer verschillen in de grootte van deze investeringen maar in de aard daarvan [1]. Niek Lopes Cardozo, Guido Lange en Gert Jan Kramer

350

Iedereen een nieuwe tandenborstel, hoe snel zou dat kunnen? Antwoord: in ongeveer drie maanden. Want dat is de levensduur van een tandenborstel en de tandenborstelindustrie is precies op die vervangingsmarkt afgestemd. Wil je sneller, dan moet je eerst extra tandenborstelfabrieken bouwen. Een nieuw huis voor iedereen kost natuurlijk meer tijd, zeg vijftig jaar. Want de totale bouwsector is simpelweg niet groot genoeg om het

veel sneller te doen. Wat voor tandenborstels en huizen vanzelfsprekend is, geldt ook voor de energiemarkt en dus de energietransitie.

Energie is met een omzet van circa tien biljoen dollar per jaar de grootste markt ter wereld. Het kapitaal ervan ligt vast in installaties waarvan de economische levensduur twintig tot zestig jaar is. Huisachtig, niet tandenborstelachtig. Zullen zonnepanelen (PV), zodra deze elektriciteit produceren tegen de kostprijs van het elektriciteitsnet, de wereldenergiemarkt stormenderwijs veroveren, zoals smartphones hebben gedaan? Veel mensen verwachten dat. Maar een smartphone, met een levensduur van twee jaar, is tandenborstelachtig. Zonnepanelen zijn huisachtig. En hoe ziet kernfusie er uit tegen deze achtergrond?

In dit artikel analyseren wij hoe de levensduur van de energie-infrastructuur de snelheid van de transitie naar hernieuwbare energie bepaalt. Figuur 1 toont de introductie van kernenergie, wind en zon-PV:

het geïnstalleerde totale jaargemiddelde [2] vermogen als functie van tijd, op een logaritmische schaal. De auteurs van [3], waarop dit figuur is geïnspireerd, observeren dat de introductie van een nieuwe energiebron twee fases kent. Eerst is er exponentiële groei, waarin het geïnstalleerde vermogen typisch elke drie jaar verdubbelt. Deze fase duurt tientallen jaren, waarin wordt opgeschaald van een nichemarkt naar een omvang die zichtbaar is in de energiemix, zeg 1% van de wereldenergievraag. Maar, betoogt [3], daarna verandert het karakter van de groei. Niet langer is deze exponentieel, maar lineair. De lineaire groeifase duurt ook weer enkele decennia, tot ten slotte een verzadigingsniveau wordt bereikt. Op dat moment is de ontwikkeling van onderzoek via opschaling en uitrol naar marktverzadiging voltooid.

Wij presenteren hier een eenvoudig model dat de fases van deze ontwikkeling verklaart [4,5]. Ga uit van het verzadigingsniveau en stel de vraag wat de snelste manier is om daar te

Niek Lopes Cardozo studeerde natuurkunde in Utrecht, promoveerde in 1985 in de kernfusie op onderzoek gedaan op het FOM-Instituut Rijnhuizen, waar hij later groepsleider en hoofd fusieonderzoek werd. Sinds 2009 is hij hoogleraar Science and Technology of Nuclear Fusion aan de TU Eindhoven. Hij was voorzitter van FOM van 2010 tot 2017 en is oud-hoofredacteur van het NTvN.



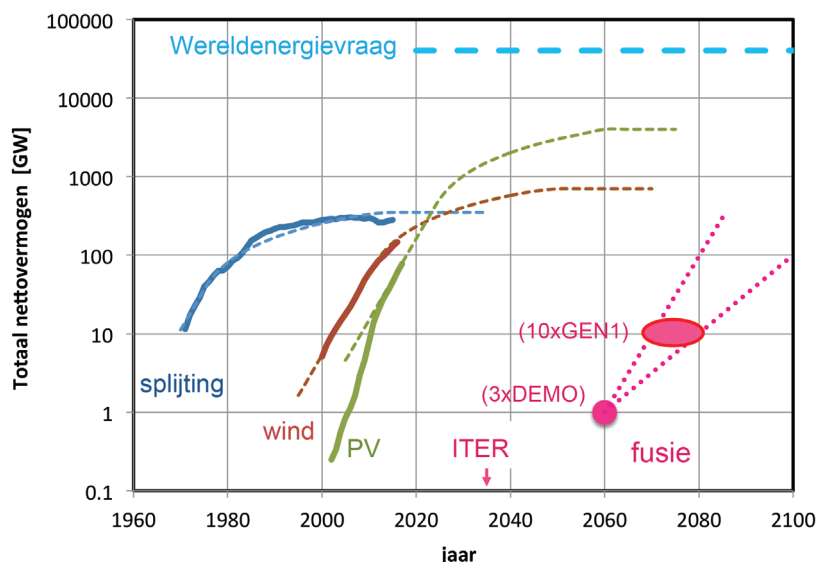
n.j.lopes.cardozo@tue.nl

komen. Antwoord: lineaire groei. Immers, groei die versnelt verliest tijd aan het begin, groei die vertraagt had aan het eind sneller gekund [6]. De enige relevante vraag is dus wat de maximale lineaire groeisnelheid is. Die groeisnelheid, bijvoorbeeld het aantal zonnepanelen dat per jaar wordt gefabriceerd, is begrensd door de totale productiecapaciteit: de fabrieken die de panelen maken, de toeleveringsindustrie, het distributiesysteem et cetera. Nu is die productiecapaciteit een continue functie van tijd. Immers, een instantane stap naar boven is niet mogelijk omdat het tijd kost fabrieken te bouwen. En een afname – zeker een stap naar beneden – is kapitaalvernietiging: productiecapaciteit blijft ongebruikt.

De productiecapaciteit zal daarom niet groter worden dan de vervangingsmarkt in de verzadigingsfase [7]. En daarmee is duidelijk dat de duur van de lineaire groeifase gelijk is aan de levensduur van de installaties. Voor tandenborstels drie maanden, voor smartphones twee jaar, voor zonnepanelen, windmolens en kerncentrales meer dan dertig jaar.

Deze lineaire groei kan pas van start als de benodigde productiecapaciteit aanwezig is. Die moet worden opgebouwd in een investeringsfase die voorafgaat aan de lineaire groei. Zoals de historische data laten zien verloopt dit bij benadering als een exponentiële groei met een verdubbelingstijd van enkele jaren. De overgang van exponentiële naar lineaire groei vindt plaats als de vereiste productiecapaciteit is bereikt: de capaciteit – de afgeleide van de groeicurve – moet immers continu zijn. Uit deze eis volgt direct dat die overgang plaatsvindt op een fractie van het verzadigingsniveau, gegeven door de verhouding van de verdubbelingstijd (tijdens exponentiële groei) tot de lineaire groeitijd alias de levensduur. Voor een installatie met een levensduur van dertig tot zestig jaar en een verdubbelingstijd van drie jaar, begint de lineaire groei dus op 5-10% van het verzadigingsniveau.

Dit resultaat, volgend uit de aanname dat de groeisnelheid continu is en nooit groter wordt dan de vervangingsmarkt, is volledig in overeenstemming met de observaties in [3]. Nu blijkt het verschil met de markt voor smartphones: daarvan is de levensduur zo kort dat de exponentiële



Figuur 1 Historische data (bron: IEA) laat zien dat splijting, wind en PV zich aanvankelijk exponentieel hebben ontwikkeld met een verdubbelingstijd van 2-4 jaar. Het hier gepresenteerde economische model voorspelt dat de ontwikkeling overgaat in een lineaire groei als 5-10% van het verzadigingsniveau is bereikt. Het model (stippellijnen) is ingetekend waarbij steeds dezelfde tijdsconstanten voor exponentiële groei (verdubbeling in drie jaar) en levensduur (veertig jaar) zijn genomen. (De verzadigingsniveaus voor wind en zon zijn enigszins willekeurig gekozen). Als de road map voor kernfusie worden gerealiseerd loopt fusie bij introductie zestig tot zeventig jaar achter op PV en wind. Ook andere nieuwe technologieën voor energieopwekking of omzetting die nu nog slechts op laboratoriumschaal bestaan moeten de hele ontwikkelingscurve nog afleggen en zullen voor 2050 niet bijdragen aan de energietransitie.

groei vrijwel direct aansluit op het verzadigingsniveau [8].

Bovenstaand model wordt samengevat door de vergelijkingen in kader *Het groeimodel*. Merk op dat in dit model de vorm van de hele ontwikkeling door slechts twee parameters wordt bepaald: verdubbelingstijd en levensduur.

Uit de historische data blijkt dat de verdubbelingstijd voor verschillende bronnen vergelijkbaar is: circa drie jaar. Hetzelfde geldt voor de levensduur: zonnepanelen, windparken, kerncentrales hebben allemaal een levensduur van tientallen jaren. Daarmee is de vorm van de ontwikkelingscurve dus bij benadering gelijk voor verschillende bronnen. Ter illustratie zijn in figuur 1 gelijkvormige modellijnen ingetekend, die uitsluitend verschillen in verzadigingsniveau en translatie langs de tijdas. De verzadigingsniveaus voor zon en wind – die in de toekomst liggen – zijn hier enigszins willekeurig gekozen. Ook al is deze schatting ruw, het maakt toch duidelijk dat deze bronnen inmiddels de overgang van exponentiële naar lineaire groei naderen [9].

Met behulp van dit universele model kunnen we ook afbeelden hoe de ontwikkeling van een nieuwe bron er uit

zou kunnen zien. Dit maakt duidelijk dat we van een nieuwe techniek – hoe slim, goedkoop en aantrekkelijk ook – die vandaag nog onder de 10 MW energie per jaar produceert, de komende veertig jaar geen bijdrage aan de energietransitie mogen verwachten. Een incrementele verbetering van het huidige zonnepaneel kan bouwen op de aanwezige infrastructuur, maar een radicaal nieuwe technologie moet de vier decennia exponentiële groei van onderaf doorlopen. Voor nieuwkomers dringt de tijd – zij zullen pas op de markt komen als de transitie voor het grootste deel voltooid is! Dat geldt ook voor nieuwe batterijconcepten of conversietechnologieën.

Deze redenering kan ook worden toegepast op kernfusie. We gaan daarvoor uit van de zogenoemde DEMO-reactor: een conceptuele reactor met typisch een piekvermogen van 1 GWe, waarvan we er volgens de road maps van de Europese Unie [10] en andere landen enkele mogen verwachten rond 2050-2060 [11]. Met een geschatte beschikbaarheidsfactor van 30%, zou dit effectief een punt opleveren bij 1 GW rond 2060. Daarmee loopt kernfusie dus sowieso zestig tot zeventig jaar achter op zon en wind: kernfusie is laat, te laat om bij de dra-

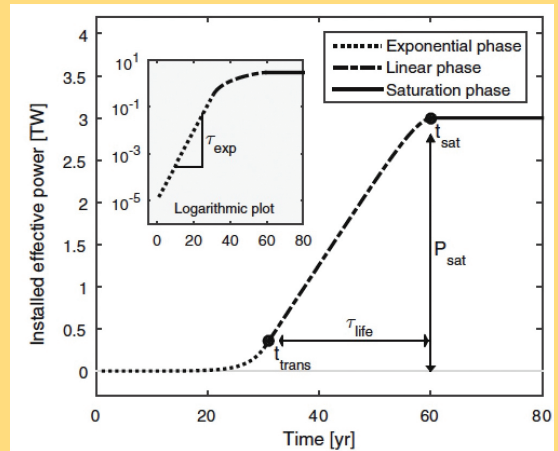
Het groeimodel

Het in de tekst gepresenteerde model bestaat uit een paar simpele elementen: de groei begint exponentieel en eindigt als een eindniveau is bereikt, is continu en differentieerbaar, en de afgeleide is gemaximeerd op de vervangingswaarde in de eindsituatie. Deze aannamen leiden tot de volgende vergelijkingen:

$$P = P_{\text{sat}} \frac{\tau_{\text{exp}}}{\tau_{\text{life}}} \left\{ \exp \left[\frac{t - t_{\text{trans}}}{\tau_{\text{exp}}} \right] - \exp \left[\frac{t - t_{\text{trans}} - \tau_{\text{life}}}{\tau_{\text{exp}}} \right] \right\} \quad \text{for } t < t_{\text{trans}}$$

$$P = P_{\text{sat}} \frac{\tau_{\text{exp}}}{\tau_{\text{life}}} \left\{ 1 + \frac{t - t_{\text{trans}}}{\tau_{\text{exp}}} - \exp \left[\frac{t - t_{\text{trans}} - \tau_{\text{life}}}{\tau_{\text{exp}}} \right] \right\} \quad \text{for } t_{\text{trans}} \leq t \leq t_{\text{sat}}$$

$$P = P_{\text{sat}} \quad \text{for } t > t_{\text{sat}}$$



Hierin is P het totaal (wereldwijd) opgestelde effectieve vermogen (*name plate power* maal capaciteitsfactor), P_{sat} het gedefinieerde eindniveau, t_{trans} de tijd waarop de transitie van exponentiële naar lineaire groei optreedt, τ_{exp} de karakteristieke tijd van de exponentiële groei, τ_{life} de levensduur van de installaties.

De inzet maakt duidelijk dat terwijl in een semi-logrepresentatie de exponentiële groeifase het beeld domineert, het in feite de lineaire groeifase is waarin de energieproductie pas echt op gang komt. De exponentiële groei is niet meer dan een bijna onzichtbaar aanloopje daar naartoe. Dit betekent tevens dat de opkomst van een nieuwe bron als een wig zichtbaar wordt in de energiemix: dit is een onderbouwing van de bekende *wedges* die door Pacala en Socolow werden geïntroduceerd in [6].

352

gen aan de beoogde energietransitie. Maar is kernfusie ook traag?

De exponentiële groeifase levert geen noemenswaardige energie op

In de pers is het de spectaculaire exponentiële groei die de aandacht krijgt. Het is echter evident dat de bijdrage aan de wereldenergieproductie in deze fase verwaarloosbaar is. Het is immers een e-macht: in de laatste paar jaar ervan gebeurt net zo veel als in de veertig jaar ervoor. Het is zelfs zo – triviaal maar voor velen tegenintuïtief – dat als de verdubbelingstijd korter is dan de energierugverdientijd, de netto energieproductie gedurende de exponentiële groeifase negatief [12] is. Dat is bijvoorbeeld voor PV het geval. De reductie van CO_2 -uitstoot die Duitsland bereikt door de installatie van zonnepanelen wordt meer dan gecompenseerd door uitstootverhoging in China, waar de panelen worden gefabriceerd. Let wel, ieder zonnepaneel zal gedurende zijn levensduur veel meer energie opleveren dan de productie gekost heeft [13]. De pro-

ductie ervan is dus zonder meer verantwoord. Maar de energieopbrengst op systeemchaal gaat pas tellen in de lineaire fase.

De exponentiële groeifase is dus niets meer dan de noodzakelijke investering in de toekomstige energievoorziening. Wel een zeer grote investering. Het is eenvoudig te schatten hoe groot, omdat de kosten tijdens de exponentiële groei worden gedomineerd door de *overnight capital investment* (OCI). Dat is de totale investering om een nieuwe centrale te bouwen, uitgedrukt in \$/W. Deze OCI is goed gedocumenteerd door onder andere de International Energy Agency [14], en ligt in de range 2-8\$/W effectief vermogen [15] voor een bron waarvan enkele honderden GW effectief vermogen is geïnstalleerd. Als aan het eind van de exponentiële groei 1% van de wereld-energievraag is bereikt, circa 200GW, en het grootste deel hiervan is gerealiseerd tegen de OCI van circa 5\$/W, dan is de totale investering voor die bron inmiddels zo'n duizend miljard dollar: een grote investering die pas rendeert in de decennia die

volgen. En, heel belangrijk, hetzelfde geldt voor de reductie van CO_2 -emissie. Ook die begint pas als de lineaire groeifase is aangebroken.

Verschillen en overeenkomsten tussen fusie en PV: incrementele versus sprongsgewijze ontwikkeling, investering en risico

Als we de lijn van kernfusie intekenen zien we dat deze bron van elektriciteit rond de eeuwwisseling een paar procent van de energievoorziening voor zijn rekening zou kunnen nemen. Dat is laat, maar een schone, onuitputtelijke bron van energie zal ook dan vast nog welkom zijn, mits deze concurrerend is – op prijs dan wel enige andere kwaliteit.

Er zijn echter belangrijke verschillen tussen bijvoorbeeld PV en kernfusie, die zouden kunnen maken dat de een wel tot grootschalige toepassing komt en de ander niet. Die verschillen betreffen met name de afmeting van de kleinste eenheid. De fysica dicteert een minimale afmeting van de fusiereactor. Die komt voort uit de

benodigde opsluiting van warmte, van energetische alfadeeltjes (het product van de deuterium-tritiumreactie) en de dikte van de blanket die de neutronen moet stoppen. Dit leidt tot een reactor die minimaal zo'n 1 GW_e levert [16]. Daardoor wordt de ontwikkeling van kernfusie gekenmerkt door grote stappen. Stappen die navenant grote technologische risico's inhouden. De DEMO-centrale die elektriciteit aan het net levert zal echt een demonstratieproject zijn, een zeer dure centrale die nog op vele fronten verbetering behoeft en waarvan de beschikbaarheid en efficiëntie veel te laag zullen zijn voor commerciële uitbating. Niettemin, om op de drie-jaar groeicurve te blijven, moeten tien jaar later tien eerste-generatiecentrales (Gen1) in bedrijf worden genomen [17]. Die moeten dus al in aanbouw zijn op het moment dat DEMO wordt aangezet [18]. Een zeer riskante manier van ontwikkelen en bovendien een die tot *technology lock-in* leidt: op deze manier is het niet goed mogelijk nieuwe technologie te incorporeren in de nieuwe reactoren. Als DEMO klassieke supergeleiders gebruikt voor de magneten, dan zal de Gen1-reactor dat ook doen. Realistischer is daarom te verwachten dat er meer tijd tussen de generaties van fusiereactoren zal zitten, zoals geschetst in figuur 1. Een significante bijdrage, zeg 1 TW, van kernfusie moet volgens deze *road maps* dus niet voor het eind van de eeuw worden verwacht.

Voor zonnepanelen ligt dit anders. Hier was het werkende prototype al tientallen jaren beschikbaar en er was een nichemarkt voor [19]. De verbeteringen zijn, gedurende de opschaling,

in incrementele stapjes gegaan, een proces dat zowel technisch als economisch veel minder risico inhoudt. Hoewel de vereiste investeringen – op een vergelijkbaar punt in de ontwikkeling – voor PV en kernfusie elkaar helemaal niet veel ontlopen, verschilt het risico dat met deze investering is geassocieerd enorm.

Kan de transitie echt niet sneller?

De grafiek in figuur 1 laat zien dat er niet veel mogelijkheden zijn om de transitie te versnellen. Exponentiële groei sneller dan die van PV is moeilijk voorstelbaar, en hoewel er wel wat af te dingen is op de duur van de lineaire groeifase, lijkt het argument dat het duur en riskant is om veel meer productiecapaciteit te bouwen dan later nodig is op zijn minst een flinke rem op die ontwikkelingssnelheid te zetten. No *quick switch to low-carbon energy* luidt om precies deze reden de titel van [3]. Slimme nieuwe energiebronnen – blauwe energie, perovskieten, golfenergie... – zullen tijd nodig hebben voor hun exponentiële groei. Hetzelfde geldt voor opslag- en conversietechnieken.

Conclusie

De snelste manier om een nieuwe energiebron tot grootschalige inzet te brengen is via lineaire groei, maar de groeisnelheid daarvan is beperkt tot de industriële capaciteit die nodig is in de verzadigingsfase. Daardoor duurt de lineaire groei zo'n dertig tot zestig jaar. Hij wordt voorafgegaan door een exponentiële groeifase, die ook tientallen jaren duurt. De overgang vindt plaats op typisch 5-10% van het verzadigingsniveau. De exponentiële fase is een investering: de opbouw van de industriële capaciteit die nodig is voor de lineaire groei. In de exponentiële fase wordt nog geen noemenswaardige bijdrage aan de energieproductie geleverd, maar wel 1000-2000 miljard dollar per bron geïnvesteerd. Deze investering is vergelijkbaar voor verschillende bronnen, maar technologische en financiële risico's verschillen sterk per bron. De grote stappen die kernfusie moet maken dragen bijvoorbeeld veel meer risico dan de incrementele verbeteringen die PV-panelen ge-

leidelijk beter en goedkoper maken. Ook nieuwe technieken – met name ook de zogenaamde *disruptive innovations* waar hoopvol naar wordt uitgekeken – zijn aan deze economische wetten onderworpen.

Referenties en noten

- 1 Dit artikel is in belangrijke mate gebaseerd op twee artikelen van dezelfde auteurs: [4] en [5].
- 2 Jaargemiddeld geleverd vermogen – dus niet de zogenaamde *name plate power* of geïnstalleerd vermogen, die afhankelijk van de bron, veel hoger zijn dan het daadwerkelijk geleverde jaargemiddelde vermogen.
- 3 G.J. Kramer en M. Haigh, *No quick switch to low-carbon energy*, *Nature* 462, 568 (2009).
- 4 N.J. Lopes Cardozo, A.G.G. Lange en G.J. Kramer, *The cradle of new energy technologies; Why we have solar cells but not yet nuclear fusion*. Dit essay is gepubliceerd in: Gert Jan Kramer en Bram Vermeer (redactie), *The colours of energy: Essays on the future of our energy system*, gepubliceerd ter gelegenheid van het honderdjarig bestaan van het Shell Technology Centre Amsterdam, op 2 juli 2014.
- 5 N.J. Lopes Cardozo, A.G.G. Lange en G.J. Kramer, *Fusion, Expensive and Taking Forever?* *J. Fusion Energy* (2016).
- 6 S. Pacala en R. Socolow, *Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies*, *Science* 305 968 (2004).
- 7 Er is een nuancering mogelijk van dit uitgangspunt: de economische levensduur van de productie-infrastructuur zal in het algemeen korter zijn dan die van de installaties, in welk geval enige overschot in productiecapaciteit wel acceptabel is.
- 8 Daarnaast bleek bij de introductie van smartphones dat er geen duidelijke bovengrens aan de marktvraag was, het aantal smartphones is een orde van grootte groter dan dat van vaste aansluitingen.
- 9 Merk ook op dat die overgang zich typisch rond de 1% van de totale energiemarkt bevindt. Dit is ruwweg

Guido Lange (1987) is natuurkundige, ontwikkelaar en schrijver. Na een bouwkunde-prope-deuse aan de TU/e, studeerde hij technische natuurkunde aan dezelfde universiteit. Tijdens en na zijn masteronderzoek werkte hij aan de analysecode van de MSE-diagnostiek op de KSTAR tokamak in Daejeon, Korea, alwaar hij vijf maanden intern verbleef. Mede-oprichter Team Energy, nu actief in software-ontwikkeling. Wil een duurzame economie.



Gert Jan Kramer (1961) studeerde experimentele natuurkunde in Leiden, waar hij in 1988 promoveerde op een onderwerp uit de vastestoffysica.



Van 1988 tot 2016 was hij onderzoeker bij het Shell Research and Technology Centre in Amsterdam, eerst op het gebied van katalyse en reactortechnologie, en sinds 2000 op het gebied van alternatieve energie. Sinds 2016 is hij hoogleraar duurzame energievoorziening aan de Universiteit Utrecht.

waar de nieuwkomer overgaat van een nichebewoner naar een verdringer – de groei wordt hier ook beperkt door de vervangingsmarkt van de bestaande infrastructuur – die ook een levensduur van tientallen jaren heeft.

- 10 De Europese Fusion Roadmap is beschreven in het EFDA-rapport *Fusion Electricity; A roadmap to the realisation of fusion energy* (2012).
- 11 Een artikel van de BBC van 11 juli 2017 dat is gebaseerd op interne rapporten van EUROfusion en gesprekken met de programmamanager van EUROfusion Tony Donné, bevestigt dat de Europese DEMO pas na 2054 in bedrijf zal komen. <http://www.bbc.com/news/science-environment-40558758>.
- 12 De vraag dringt zich op hoe zo'n enorme markt – PV zet ruim 100 miljard euro per jaar om – kan bestaan als er geen elektriciteit wordt verkocht? Wie betaalt de rekening dan? De eigenaar van een zonnepaneel heeft een investering gedaan die minstens zo goed rendeert als spaargeld. De PV-industrie bedrijft ook geen liefdadigheid, evenmin als de tussenhandel en installatiebedrijven. Het geheim: de eindgebruiker krijgt 23 cent per kWh voor zonnestroom, door vermindering van elektriciteitsafname dan wel teruglevering. Maar die 23 cent – de prijs van een kWh voor de particuliere gebruiker – bestaat voor het grootste deel uit belasting en netwerktoeslag. Op diffuse wijze betaalt iedereen zo

mee aan de zonnestroom. Voor de investeerder – privaat of industrieel – is de economische terugverdientijd zo alteszins acceptabel, ook al is de kWh-prijs op zichzelf nog beduidend hoger dan die van kolenstroom.

- 13 Zie ook de recente gedetailleerde berekening in Louwen et al., *Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development*, *Nature Comm* 6 dec (2016).
- 14 IEA, *Projected Cost of Generating Electricity*, 2015 edition.
- 15 Het effectieve vermogen brengt de capaciteitsfactor in rekening. Als de prijs van PV inmiddels rond de 1 \$/W geïnstalleerd vermogen ligt, correspondeert dat met een effectieve OCI van 5-10 \$/W, afhankelijk van waar het paneel is geplaatst.
- 16 Er zijn wel initiatieven die proberen kleinere eenheden mogelijk te maken, maar vooralsnog is er geen bewijs dat dat kan. Om de technische en financiële risico's tijdens opschaling beheersbaar te maken zou het wel een groot voordeel hebben.
- 17 In een recente publicatie [18] over de mogelijke marktpenetratie van fusie wordt een *deployment* geschetst die eigenlijk vanaf de eerste Gen1-centrale uitgaat van de bouw van honderd centrales per jaar. Bij een bouwtijd van tien jaar betekent dat dat duizend centrales worden besteld (en betaald – een investering van zo'n 20 biljoen euro!) nog voordat de eerste van de serie in gebruik

is genomen. Het lijkt uitgesloten dat dat pad gevolgd gaat worden.

- 18 Cabal et al., *Analysing the role of fusion power in the future global energy system*, *European Physical Journal – Web of Conferences* (2012).
- 19 De eerste markt voor zonnepanelen waren satellieten, die geen andere stroomvoorziening hebben. Kosten waren niet het probleem. Zonder zonnecellen was de hele communicatie via satellieten niet tot stand gekomen.

Flame Blazes a New Path in Modular Spectroscopy

With interchangeable slits, high thermal stability and low unit to unit variation, Flame model spectrometers have forged a new standard in modular spectroscopy. Flame can be configured for UV, Vis and Shortwave NIR measurements, and offers several key advantages:

- Great thermal stability maintains measurement consistency in changing environments
- A flexible design allows users to optimize setups for each application
- Simple integration into subassemblies and turnkey systems enables OEM applications

Use Flame from lab to line to reduce costs and ensure consistent quality in all of your products.



Compact.
Affordable.
Flexible.

www.oceanoptics.com | info@oceanoptics.com

EUROPE +31 26-3190500 US +1 727-733-2447 ASIA +86 21-6295-6600