

# Prijswontwikkeling hernieuwbare bronnen: zon-PV en off-shore wind

---

Wilfried van Sark, Universiteit Utrecht, Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling

## Inleiding

De onderkenning van het wereldwijde klimaatprobleem in relatie tot de almaar toenemende energievraag en daarmee gepaard gaande emissies van broeikasgassen hebben geleid tot diverse globale en nationale doelstellingen om deze broeikasgas emissies te verminderen. Het voldoen aan deze doelstellingen is slechts mogelijk als een groot aantal technologieën beschikbaar komt voor energiebesparing en duurzame energievoorziening. Anders gezegd, het ontwikkelen en stimuleren van het op de markt brengen van zulke technologieën is het hart van energie- en klimaat beleid in de wereld. Onderzoek en ontwikkeling van nieuwe technologieën wordt ondersteund door (inter)nationale overheden die tevens stimuleringsmaatregelen nemen voor marktintroductie van nieuwe, duurzame en potentieel goedkopere, energie technologieën. De vraag is hierbij op welk moment deze maatregelen voor welke technologie moeten worden genomen om succesvolle marktintroductie te bewerkstelligen. Strategische plannen in de vorm van research agenda's en roadmaps worden daartoe ontwikkeld, zie bijvoorbeeld de recente Global Energy Assessment<sup>1</sup>. De uitdaging daarin is het vaststellen van de ontwikkelingsnelheid van energie technologieën dat in kaart kan worden gebracht door het concept van technologisch leren.

De kostenontwikkeling van een technologie wordt grafisch gerelateerd aan de hoeveelheid geïmplementeerde technologie (of de hoeveelheid geïnstalleerde capaciteit van bijvoorbeeld zonnepanelen), dit wordt leercurve genoemd. Van veel en uiteenlopende technologieën is vastgesteld dat hoe meer een technologie wordt gebruikt hoe goedkoper deze wordt. Veel studies, o.a. samengevat in<sup>2</sup>, hebben laten zien dat bij een verdubbeling van gebruik de kosten van die technologie met een zogenaamde leersnelheid van ongeveer 20% afnemen. Men spreekt ook wel over een *progress ratio* van 80% (één minus leersnelheid). Dit is gebaseerd op het uitgangspunt dat hoe groter de afzetmarkt van een technologie het productieproces door ervaring en schaalgrootte efficiënter en dus goedkoper kan plaatsvinden. Historische leercurve

---

analyses kunnen goed gebruikt worden voor roadmap ontwikkeling en geven tenminste onzekerheidsmarges waarbinnen de *progress ratio* per technologie zou moeten variëren in deze roadmaps. Analyse van een leercurve van een bepaalde technologie moet gebaseerd zijn op een periode van tenminste een decade. Kortdurende (enkele jaren) schommelingen in balans tussen aanbod van en vraag naar een technologie, maar ook fluctuaties in prijzen van belangrijke grondstoffen voor een technologie kunnen afwijkingen van de leercurve veroorzaken. Fotovoltaïsche zonne-energie (zon-PV) en off shore wind zijn voorbeelden van energie technologieën, waar dit heeft plaatsgevonden, en worden daarom in het hiernavolgende besproken.

### Status hernieuwbare bronnen

Prijzen van hernieuwbare bronnen hebben een enorme ontwikkeling doorgemaakt sinds het midden van de zeventiger jaren. Zoals beschreven in<sup>26</sup> blijkt dat over het algemeen progress ratio's voor de belangrijkste duurzame energietechnologieën evenals energie-efficiëntie opties zich bewegen tussen 70% en 95%. REN21 heeft in haar meest recente rapport de status van de huidige prijzen van hernieuwbare technologie gepresenteerd<sup>3</sup>. Een samenvatting is gegeven in Tabel 1, waar turnkey systeem kosten zijn vermeld. Deze tabel laat zien dat veel van deze technologieën (bijna) concurrerend zijn met bestaande, fossiele, energie technologieën (opwekkosten tussen 3-6 ct\$/kWh). Lokale opwekking van elektriciteit met zon-PV is goedkoper dan de consumenten prijs voor elektriciteit in veel landen, de zogenaamde consumenten grid pariteit. Voor zon-PV en wind leidt de variabiliteit tot een lagere capaciteitsfactor; opslag van elektriciteit kan uitkomst bieden. Zo blijkt dat de kosten voor energie voor geconcentreerde zonne-energie (zon-geconcentreerd) lager zijn wanneer 6-15 uur opslag wordt toegepast.

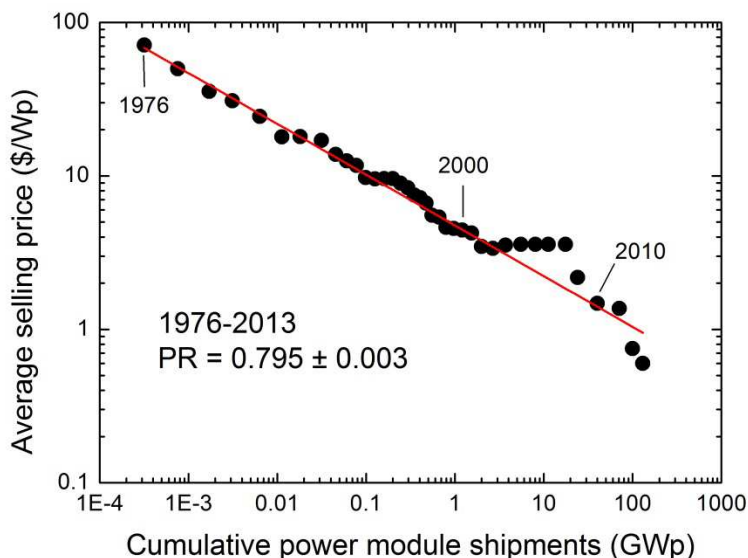
Tabel 1. Overzicht van hernieuwbare energie technologieën, status 2012, gebaseerd op<sup>3</sup>.

Technologie	Typische karakteristieken	Investeringskosten (\$/kW)	Kosten energie (ct\$/kWh)
Bioenergie verbranding (stoomturbine, bijstook, organisch afval)	Grootte: 25-200 MW Conversie efficiency: 25-35% Capaciteitsfactor: 50-90%	800 - 4500 (bijstook: 200-800)	5.5 -20 (bijstook: 4-12)
Bioenergie vergassing	Grootte: 1-10 MW Conversie efficiency: 30-40% Capaciteitsfactor: 40-80%	2050 -5500	6-24
Bioenergie vergisting	Grootte: 1-20 MW Conversie efficiency: 25-40% Capaciteitsfactor: 50-90%	500-6500	6-19
Geothermie	Grootte: 1-100 MW Capaciteitsfactor: 60-90%	2470-6100	6-14
Waterkracht	Grootte: 1-18000+ MW Capaciteitsfactor: 30-60%	<2000-4000	2-12
Getijden	Grootte: <1 - >250 MW Capaciteitsfactor: 23-29%	5290-5870	21-28
Zon-PV (dak)	Grootte: 3-5 kWp (residentieel), 100 kWp (commercieel), 500 kWp (industrieel) Capaciteitsfactor: 10-25%	2275 (Duitsland) 4300-5000 (VS) 3700-4300 (Japan) 1500-2600 (industrieel)	16-38 (Europa) 20-46 (OECD) 28-55 (niet OECD)
Zon-PV (veld)	Grootte: 2.5-250 MWp Capaciteitsfactor: 10-25%	1300-1950	14-34 (Europa) 12-38 (OECD) 9-40 (niet OECD)
Zon-geconcentreerd	Grootte: 50-250 MW (trog, toren), 10-100 MW (Fresnel) Capaciteitsfactor: 20-40% (geen opslag) Capaciteitsfactor: 35-75% (met opslag)	Trog, geen opslag: 3100-7300 Trog, 6 uur opslag: 7100-9800 Toren, 6-15 uur opslag: 6300-10500	Trog, Fresnel: 19-38 (geen opslag) 17-37 (6 uur opslag) Toren: 20-29 (6-7 uur opslag), 12-15 (12-15 uur opslag)
Wind (land)	Turbine grootte: 1.5-3.5 MW Capaciteitsfactor: 25-40%	1750-1770 925-1470 (China, India)	5-16 (OECD) 4-16 (non-OECD)
Wind (off-shore)	Turbine grootte: 1.5-7.5 MW Capaciteitsfactor: 35-45%	3000-4500	15-23

## Zon-PV

De ontwikkeling van prijzen van zonnepanelen is weergegeven in de vorm van een leercurve in Figuur 1. Kosten zonnepanelen in 1976 nog 70 \$/Wp, in een periode van bijna 40 jaar zijn de kosten gedaald met een factor 100, terwijl de hoeveelheid opgesteld vermogen is gestegen van 0.3 MWp tot 130 GWp nu. Dit was mogelijk dankzij jaarlijkse groeipercentages van tientallen procenten, vooral vanwege diverse subsidieregelingen zoals de terugleververgoeding regeling in Duitsland sinds het jaar 2000. Ook in Nederland leidde de Energie Premie Regeling (EPR) uit 2003 en de SDE(+) vanaf 2008 tot een sterke toename van zon-PV installaties. De fluctuaties rond de rechte lijn (in deze dubbel logaritmische grafiek) wordt veroorzaakt door onbalans in markt aanbod en vraag (2012), hogere silicium kostprijs (2005-2008), economische crisis (2010), en variaties in prijzen van grondstoffen zoals zilver.

Figuur 1. Ontwikkeling van prijs van zonnepanelen (\$/Wp) als functie van het cumulatief geïnstalleerd vermogen in de wereld<sup>4</sup>, aangevuld met data van<sup>3</sup> en<sup>5</sup>.



---

Het realiseren van deze kostenreducties is mogelijk geweest door zowel het stimuleren van onderzoek en ontwikkeling gericht op technologie ontwikkeling ('technologie push') als het stimuleren van marktpenetratie ('demand pull'). Het is echter lastig gebleken daarin een juiste balans te vinden<sup>2</sup>. Beleid zoals het Japanse subsidie programma in de jaren 1990, de eerdergenoemde Duitse terugleververgoeding regeling zijn effectief gebleken omdat zij een duidelijk verwachtingspatroon schetsen met een tijdshorizon van 10 jaar of meer. Prijsontwikkelingen in de markt worden nu meer een meer verwerkt in deze regelingen, zodat een realistische vergoeding wordt gegeven in relatie tot de almaar dalende prijs van zon-PV.

De markt voor PV modules is wereldwijd en dynamisch, met marktspelers vanuit alle werelddelen. Tot voor kort domineerden vooral fabrikanten uit Duitsland en Japan deze markt, maar Chinese fabrikanten hebben recent deze positie overgenomen. Dit heeft medio 2012 geleid tot protectionistische maatregelen in de EU en VS.

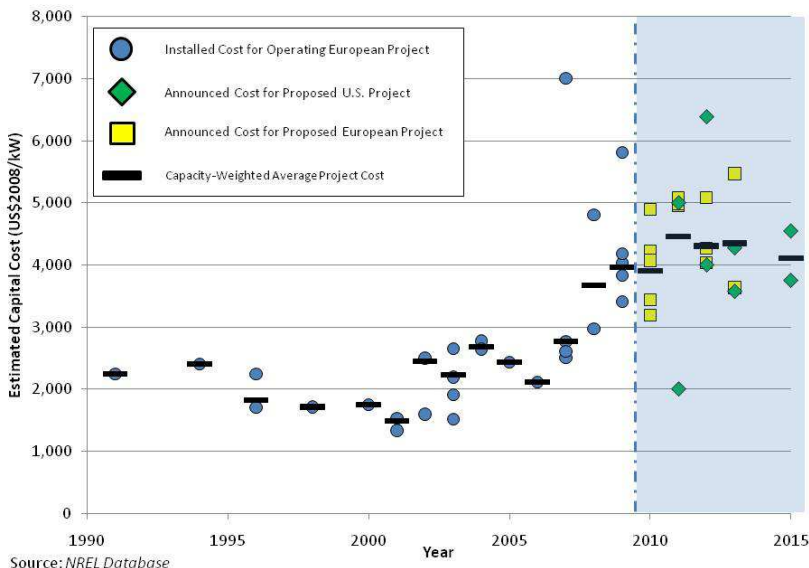
Diverse scenario's zijn opgesteld voor toekomstige technologische ontwikkelingen en groei van geïnstalleerde zon-PV vermogen. Focus ligt op reductie van materiaalconsumptie per silicium zonnecel en per Wp door het realiseren van hogere conversie efficiëntie, dunnere silicium plakken, en hogere opbrengsten in de volledige productieketen. Daarnaast zullen dunne-film zonnecel technologieën worden geïntroduceerd, zullen silicium feedstock faciliteiten voor zonnecellen sterk groeien zodat grootschalige productiefaciliteiten van meer dan 1 GWp jaarlijkse productie gerealiseerd kunnen worden. R&D naar een nieuwe generatie PV cellen en materialen zal plaatsvinden om >50% efficiëntie te halen op een kostenniveau dat lager ligt dan 0.5 €/Wp.

### Off-shore wind

Hoewel voor on-shore wind leercurves gebruikt kunnen worden om reductie in kosten te beschrijven, met progress ratio van 81-82%<sup>6</sup>, is dat voor off-shore wind (nog) niet goed mogelijk gebleken vanwege juist stijgende kosten. Figuur 2<sup>7</sup> geeft deze ontwikkeling weer voor de afgelopen 20 jaar. Na 2001 zijn de kosten toegenomen met zo'n factor 2-3. Dit kan worden verklaard<sup>26</sup> door o.a. stijging

van staalprijzen, hoge technische en financiële risico's van off-shore projecten, beperkte concurrentie tussen (off-shore) turbine fabrikanten, onzekerheden over overheidsbeleid en subsidies, moeilijke toegang tot financiering, beperkt potentieel voor kostenreducties door leereffecten en een tekort aan zowel installatievaartuigen als competente aannemers. Echter, vanaf 2010 lijken de kosten weer te dalen, juist vanwege toegenomen concurrentie, verbeterde turbine performance en een zich sterk ontwikkelende off-shore industrie. De variatie in prijs is groot, hetgeen vooral wordt veroorzaakt door toegenomen complexiteit in ontwerp van off-shore windparken vanwege locaties in dieper gelegen kustzones. Hoewel eind 2012 al 5.4 GW off-shore vermogen was geïnstalleerd, waarvan 90% in Noord-Europa, met name rond het Verenigd Koninkrijk<sup>3</sup>, is off-shore wind feitelijk net de demonstratiefase ontgroeid. Naar verwachting zal de progress ratio in de komende jaren 90-95% zijn, dit betekent dat een bescheiden reductie in kosten zal plaatsvinden.

Figuur 2. Ontwikkeling van off-shore wind kosten (\$/kW) sinds 1990<sup>7</sup>.



---

## De toekomst

Met name door de almaar doorgaande daling van kosten en technologische verbeteringen alsmede grid pariteit voor consumenten zal zon-PV de komende jaren zo hard groeien dat de huidige centrale wijze van elektriciteitsvoorziening niet meer houdbaar is. In Nederland zullen de ontwikkelingen in zon-PV leiden tot een elektriciteitsprijs van 10 Eurocent rond 2020, het zal niet veel langer duren totdat deze prijs onder die van de opwekkosten van kolen en gas ligt. Bestaande kolen- en gascentrales zullen niet meer rendabel kunnen produceren en zullen mogelijk worden uitgefaseerd. Energiebedrijven en netbeheerders moeten zich hierop voorbereiden en hun bedrijfsmodellen zullen moeten worden aangepast. Zon-PV zal de traditionele maatschappij ontwrichten<sup>8</sup>. “Zonne-energie heeft geen doorbraak nodig, zonne-energie is de doorbraak. Gewoon de trend doorzetten van de afgelopen decennia en de wereld ligt open. Revolutie door evolutie”, aldus Wim Sinke<sup>9</sup>.

## Eindnoten

---

<sup>1</sup> N. Nakicenovic (Ed.), *Global Energy Assessment, Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, VK, 2012.

<sup>2</sup> A. Faaij, M. Junginger, W. van Sark (Eds.), *Technological Learning in the Energy Sector, Lessons for Policy, Industry and Science*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, VK, 2010.

<sup>3</sup> REN21, *Renewables 2013 Global Status Report*, REN21, Parijs, 2013.

<sup>4</sup> W.G.J.H.M. van Sark, E.A. Alsema, H.M. Junginger, H.H.C. de Moor, G.J. Schaeffer, *Accuracy of progress ratios determined from experience curves: the case of photovoltaic technology development*, *Progress in Photovoltaics* 16 (2008) 441-453.

<sup>5</sup> P. Mints, *The Solar Pricing Struggle*, *Renewable Energy World*, Augustus 2013.

<sup>6</sup> M. Junginger, A. Faaij, W.C. Turkenburg, *Global experience curves for wind farms*, *Energy Policy* 33 (2005) 133-150.

<sup>7</sup> W. Musial, B. Ram, *Large-Scale Offshore Wind Power in the United States - Assessment of Opportunities and Barriers*. National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA, 2010, NREL/TP-500-40745.

<sup>8</sup> J. Leggett, *The Energy of Nations: Risk Blindness and the Road to Renaissance*, Routledge, New York, 2013.

<sup>9</sup> W.C. Sinke, <http://www.thesolarfuture.nl/nieuws/2014/5/20/zonne-energie-verdrijft-kolen-en-gas-van-de-markt> (25 mei 2014).