

Zonne-energie van niche naar impact

Kansen en uitdagingen van grootschalige zonnestroom

Wim Sinke

ECN Solar Energy, UvA, TKI Solar Energy &
European Photovoltaic Technology Platform

Solar PV 2050 Power Lab - 1

Utrecht

17 maart 2014



over impact gesprochen:

<http://www.sma.de/en/company/pv-electricity-produced-in-germany.html>

Inhoud

- **Bouwstenen en ingrediënten**
 - veel keus en meer onderweg
- **Hoge ambities; kansen en uitdagingen**
 - van niche naar impact: wat betekent dat en wat is ervoor nodig?
 - drievoudige integratie
 - kansen voor de industrie
- **En dit is nog maar het begin...**
 - de toekomst in vogelvlucht

Inhoud

- **Bouwstenen en ingrediënten**
 - veel keus en meer onderweg
- **Hoge ambities; kansen en uitdagingen**
 - van niche naar impact: wat betekent dat en wat is ervoor nodig?
 - drievoudige integratie
 - kansen voor de industrie
- **En dit is nog maar het begin...**
 - de toekomst in vogelvlucht

Zonnecellen en -panelen

Commercieel



Wafer-silicium (marktaandeel $\approx 90\%$)

- monokristallijn
- multikristallijn + quasi mono

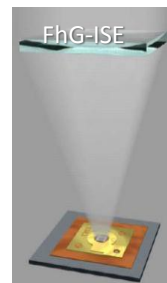
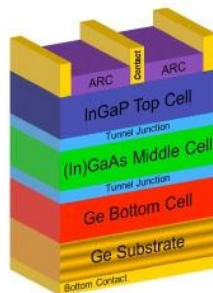
Paneelrendementen 14 ~ 22%



Dunne films (marktaandeel $\approx 10\%$)

- cadmiumtelluride (CdTe)
- koper-indium/gallium-diselenide/sulfide (CIGS)
- silicium

Paneelrendementen 7 ~ 14%



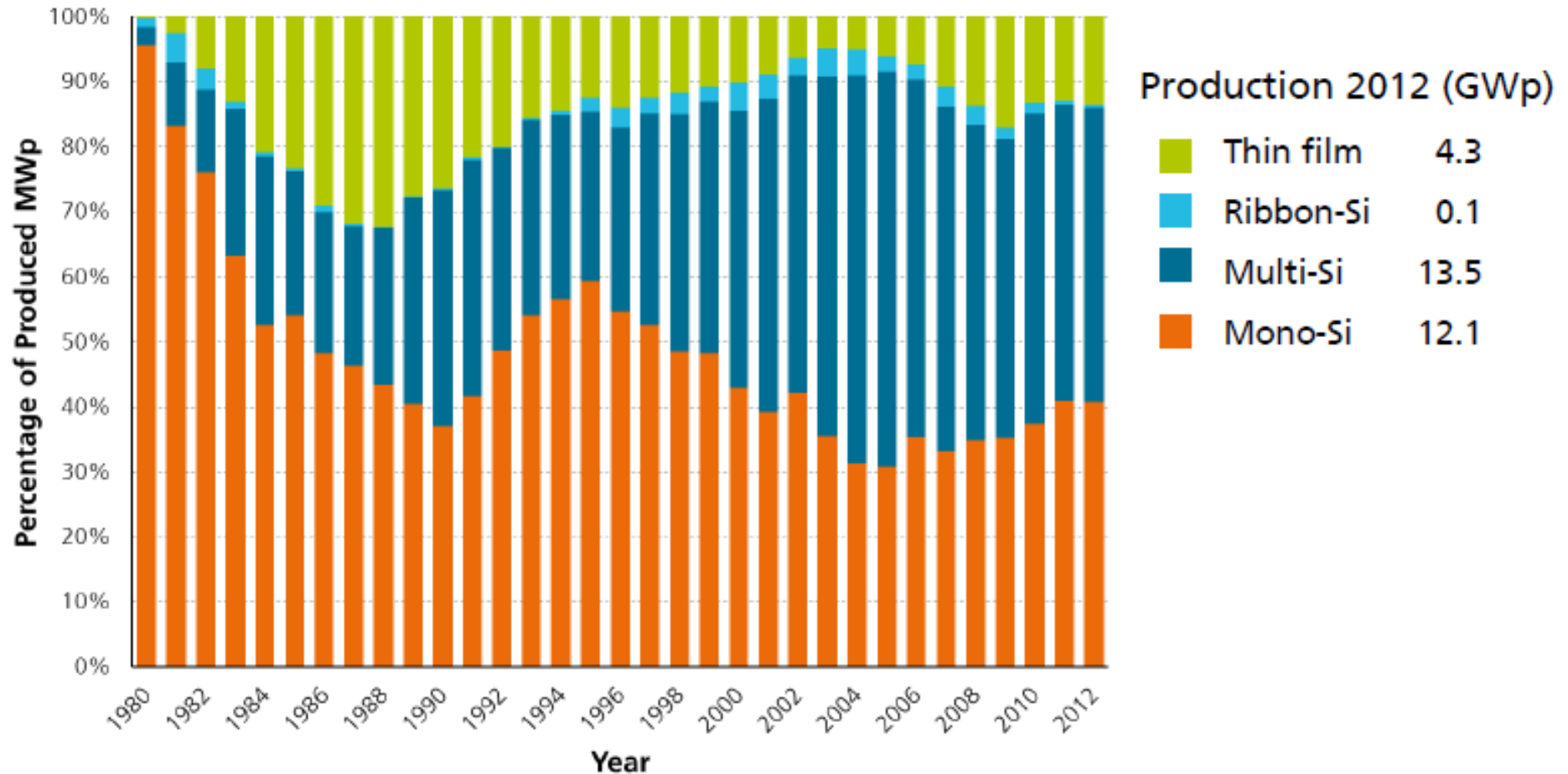
Concentrator (marktaandeel $< 1\%$)

- gestapelde "III-V" cellen
- wafer-silicium

Paneelrendementen 25 ~ 33%

Zonnecellen en -panelen

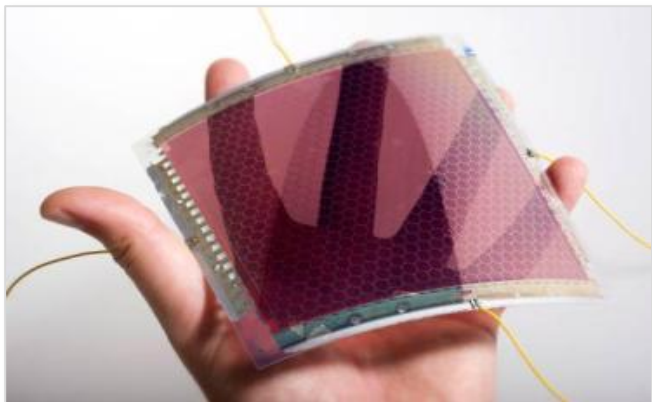
Marktaandelen commerciële technologieën



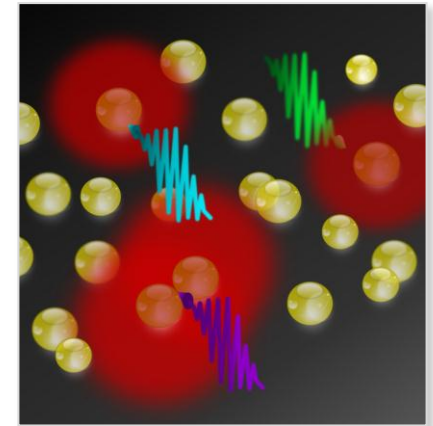
Nieuwe ontwikkelingen

Laboratorium en proefproductie

- **super-hoog-rendement concepten**
(nanotechnologie aan de km^2)
 - volledig gebruik van alle kleuren licht (*optimaliseer cel of pas licht spectrum aan*)
 - geavanceerd lichtmanagement & concentratie van licht
- **super-lage-kosten concepten**
& technologieën voor nieuwe toepassingen
 - zeer snelle en niet-vacuüm fabricageprocessen
 - goedkope materialen & laag materiaalgebruik



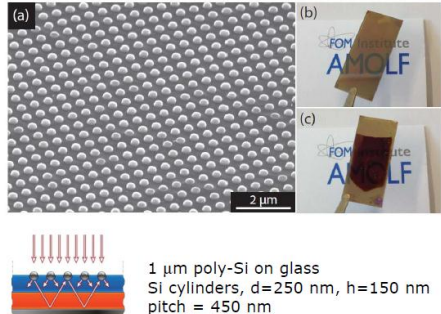
Voorbeeld:
organische zonnecel
(Solliance)



Voorbeeld:
spectrumconversie met
quantum dots (UvA)

Voorbeeld:
lichtmanagement
met nanopatroon
(AMOLF)

Light trapping in 1 μm crystalline Si slab



(a) (b) (c)

2 μm

1 μm poly-Si on glass
Si cylinders, $d=250$ nm, $h=150$ nm
pitch = 450 nm

FOM Institute AMOLF NREL

Piero Spinelli



WikiWorld by Gary Williams

DISRUPTIVE TECHNOLOGY

is a technological innovation, product or service that eventually overturns the existing dominant technology or status quo product in the market. For example, automobiles displaced horses for transport. Early roads were designed for horses, not cars. Nevertheless, the potential for greater convenience, reliability and speed offered by the motor car meant that the road system was eventually redesigned in its favor.

The Eight Track displaced the Record Player.

The Eight Track gave the ability to have music travel with you in the car.

The Compact Disc displaced the Cassette Tapes, giving higher quality and cheaper production costs.

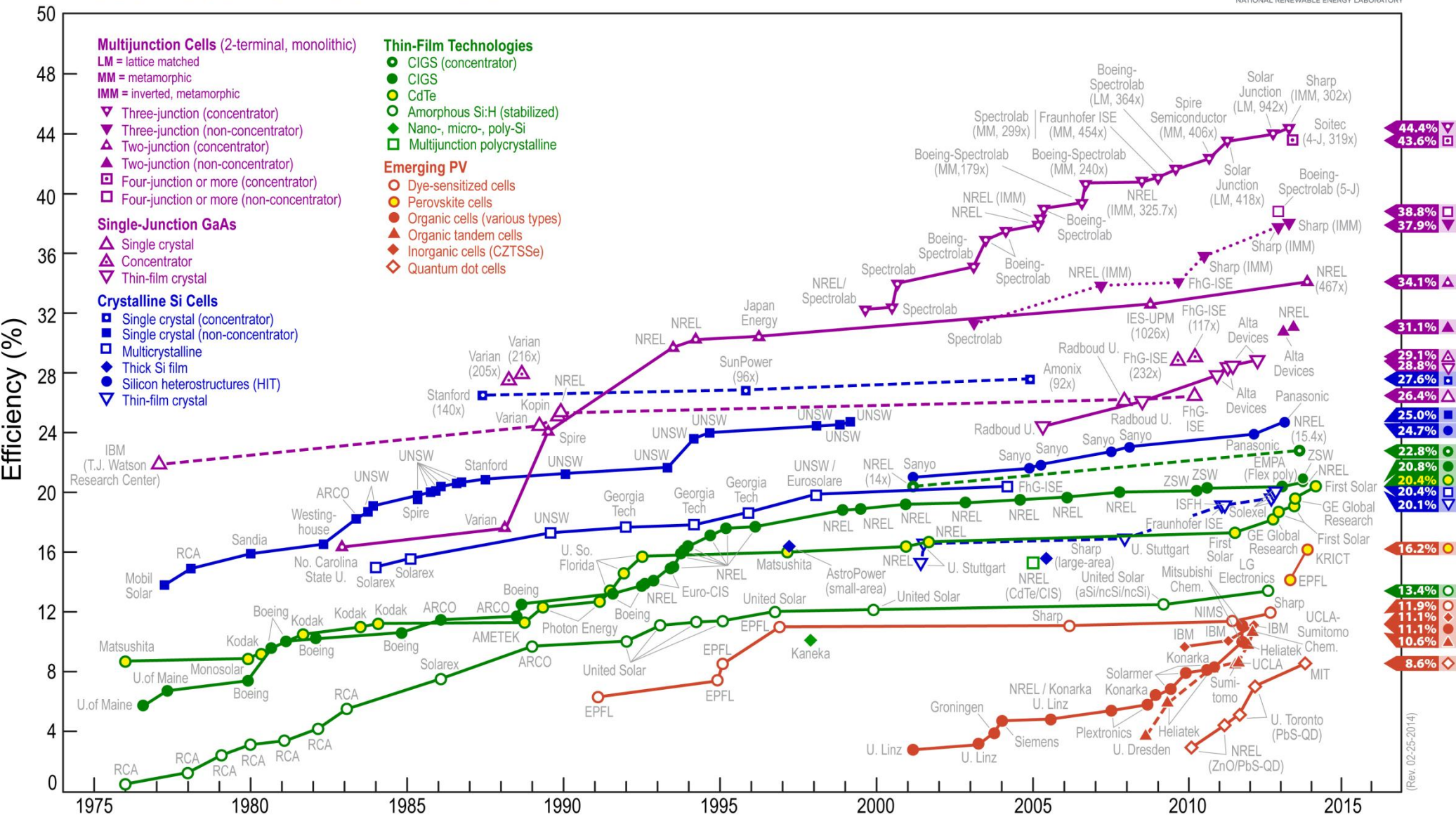
The Casette Tape displaced the Eight Track, giving longer play times, a smaller size of player and media, and more functionality.

The Digital Audio Player is displacing the Compact Disc. From 15-20 songs per CD to hundreds and per CD to thousands in a smaller form factor, with content that can be transferred effortlessly through the Internet.

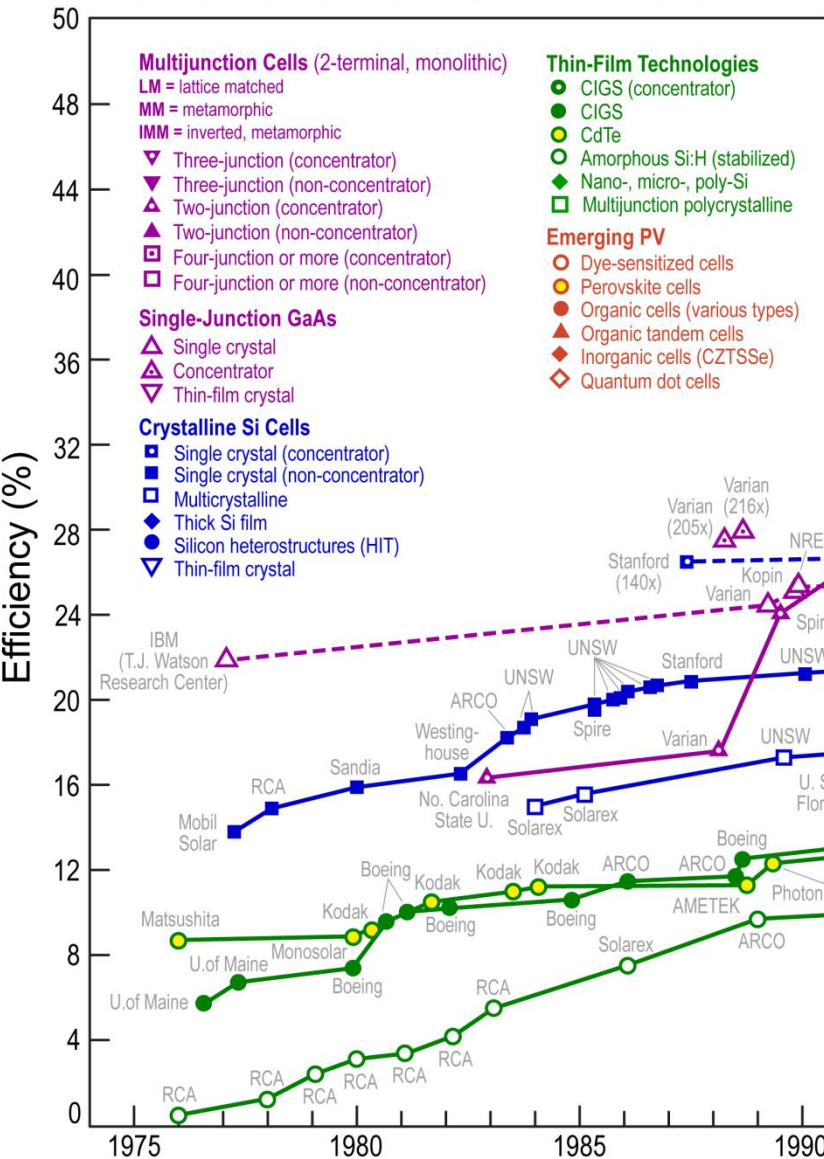
Text excerpted from the Wikipedia article Disruptive Technology. 21 May 2007



Best Research-Cell Efficiencies



Best Research-Cell Efficiencies



Door Marcel van de Brugh

Binnen drie weken had ik al een goed werkende zonnecel. Dat is engkend", zegt Bert Conings. Conings doet al jaren onderzoek aan allerlei typen zonnecellen aan de Universiteit van Hasselt. Hij zegt dat hij zich niet kan herinneren dat hij eerder zo enthousiast is geweest als in het afgelopen jaar. Want sinds mei werkt hij aan een nieuwe type zonnecel, op basis van het materiaal perovskiet.

Natuurkundig ingenieur Conings staat niet alleen. Het tijdschrift *Science* betitelde perovskiet zonnecellen vorig jaar als een van de tien belangrijkste wetenschappelijke doorbraken. "Terecht", zegt chemicus Henk Bolink die aan de Universiteit van Valencia werkt. Hij is er met zijn groep juist in geslaagd een flinterdunne, perovskiet zonnecel te maken op een ondergrond van PET, de kunststof waarvan ook frisdrankflessen worden gemaakt. Daar mee kunnen buigbare zonnecellen in het verschiet, zegt Bolink. Ze worden 400 keer zo dun als de standaard silicium zonnecellen, zoals die bij de meeste mensen op het dak liggen. Bolink is in overleg met een Duits bedrijf om een productie lijn op te zetten waarbij de flexibele zonnecellen op rol geproduceerd gaan worden.

Perovskieten zijn een klasse van materialen die dezelfde kristalstructuur hebben als calcium-titanium-oxide (CaTiO₃), dat begin 19de eeuw werd ontdekt door mineraloog Lev Perovski. De verbindingen zijn lang bekend, maar werden pas in 2009 voor het eerst toegepast in een zonnecel. Het tot nog toe meest gebruikte perovskiet is een verbinding met onder meer ammoniak, lood en jood (CH_{3NH₃PbI₃}).

Wat dit perovskiet zo bijzonder maakt, beschrijven Henry Snaith en collega's deze week in het tijdschrift *Advanced Materials*. Snaith is verbonden aan de universiteit van Oxford en een van de toonaangevende onderzoekers in dit veld. Het perovskiet kenmerkt zich door een combinatie van drie eigenschappen, schrijven ze.

Het materiaal absorbeert allereerst veel zonlicht. De ingangsvan energie rijke lichtdeeltjes (fotonen) schieten in het perovskiet vervolgens elektronen los, en die worden door het materiaal opvallend goed geleid. De derde eigenschap heeft eveneens met de elektronen te maken. Als een elektron wordt gescogeloten laat dat een zogeheten 'gat' achter. Elektronen hebben de neiging dat gat weer op te vullen, maar hoe snel ze dat doen, verschilt per materiaal. In het perovskiet blijkt die neiging overpeelrijk laag. Elektronen hebben dus veel bewegingsvrijheid.

En er is nog een gunstige eigenschap, zegt Conings op zijn lab. Hij haalt uit een kastje wat plastic potten en flessen. op die flessen staan namen als jodnatrium, loodchloride, methyleenamine. "Allesmaal spogtoegoopte stoffen", zegt Conings. Een perovskiet zonnecel is niet alleen eenvoudig te maken, maar ook heel goedkoop.

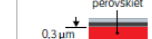
Breed spectrum
Conings geeft aan hoe snel de ontwikkelingen gaan. Gewoonlijk, zegt hij, zit er al gauw tien jaar tussen het moment waarop een materiaal voor het eerst in een zonnecel wordt toegepast, tot aan de productie van een redelijk werkende zonnecel. Met perovskiet kostte dat minder dan vier jaar.

Japane onderzoekers hadden in 2009 de primieur. Ze gebruikten de verbinding als lichtvang, maar nog niet als halfgeleider. Het viel de Japanners op dat perovskiet een breed spectrum van golflengten absorbeert, tussen de 400 en 800 nm. Dat is iets meer dan het spectrum van zichtbaar licht.

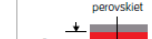
Efficiënte zonnecel is dun als dubbele bacterie

Steeds dunner dikte op dezelfde schaal

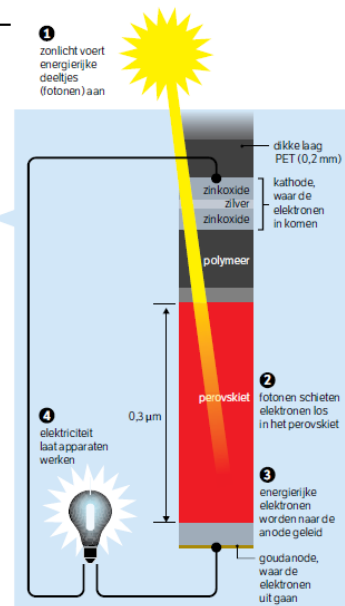
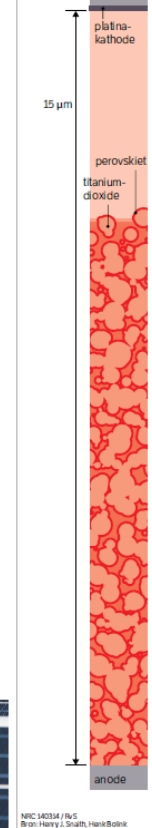
2014: **Bulgare cel** (met PET)



2013: **Britse sandwich** (met glas)



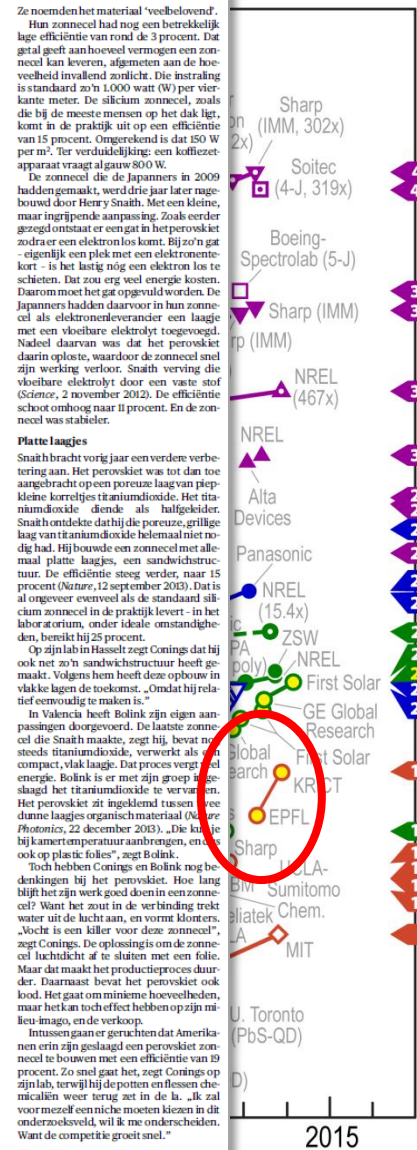
2009: **Japane primieur** (met glas)



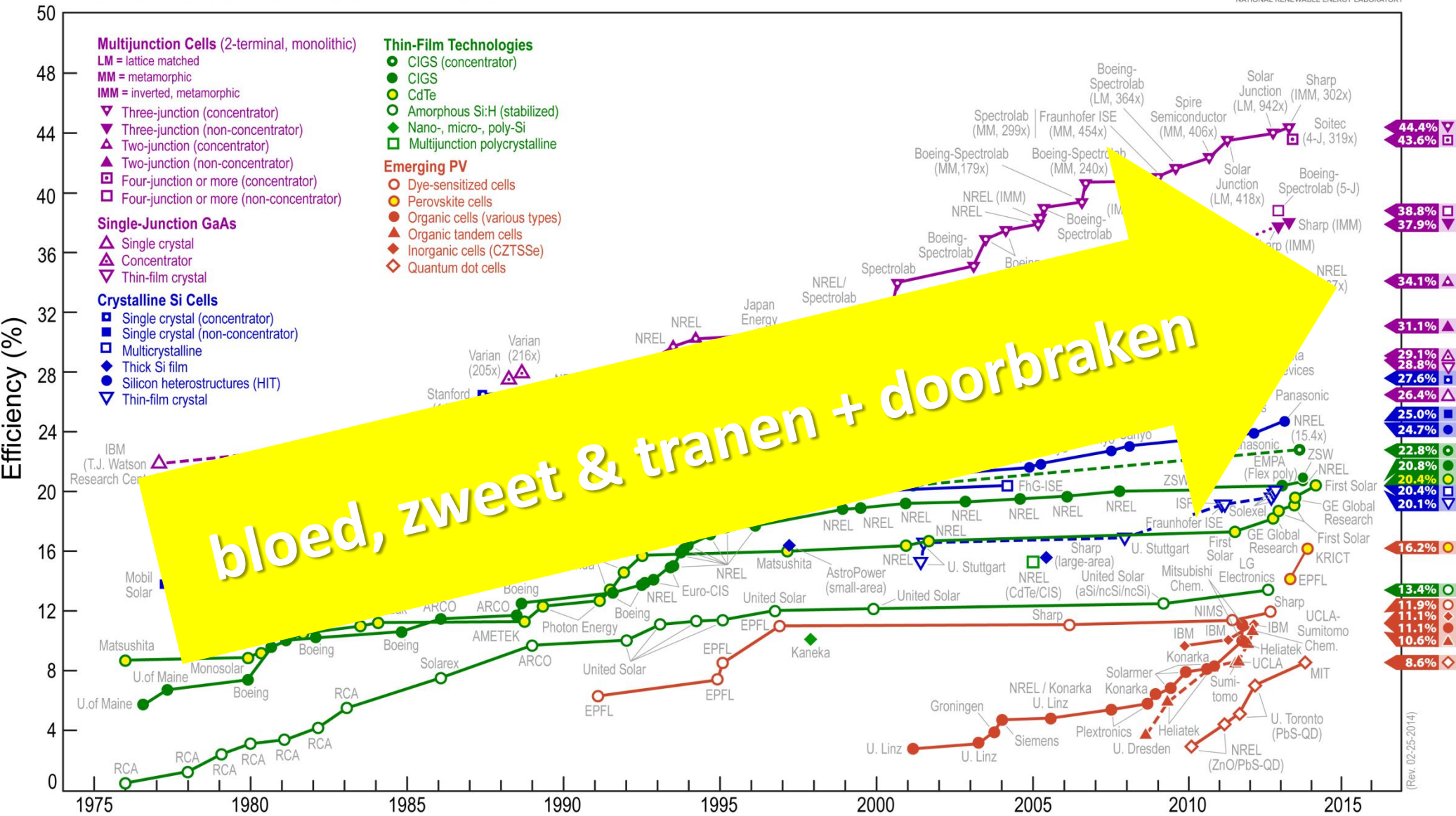
Perovskiet zet het klassieke zonnepaneel in de schaduw

Technologie

Experimentele zonnecellen van het voordeelige materiaal perovskiet zijn door *Science* betiteld als doorbraak van het jaar. Hun opbrengst is nu al zo hoog als van de zonnepanelen op het dak.



Best Research-Cell Efficiencies

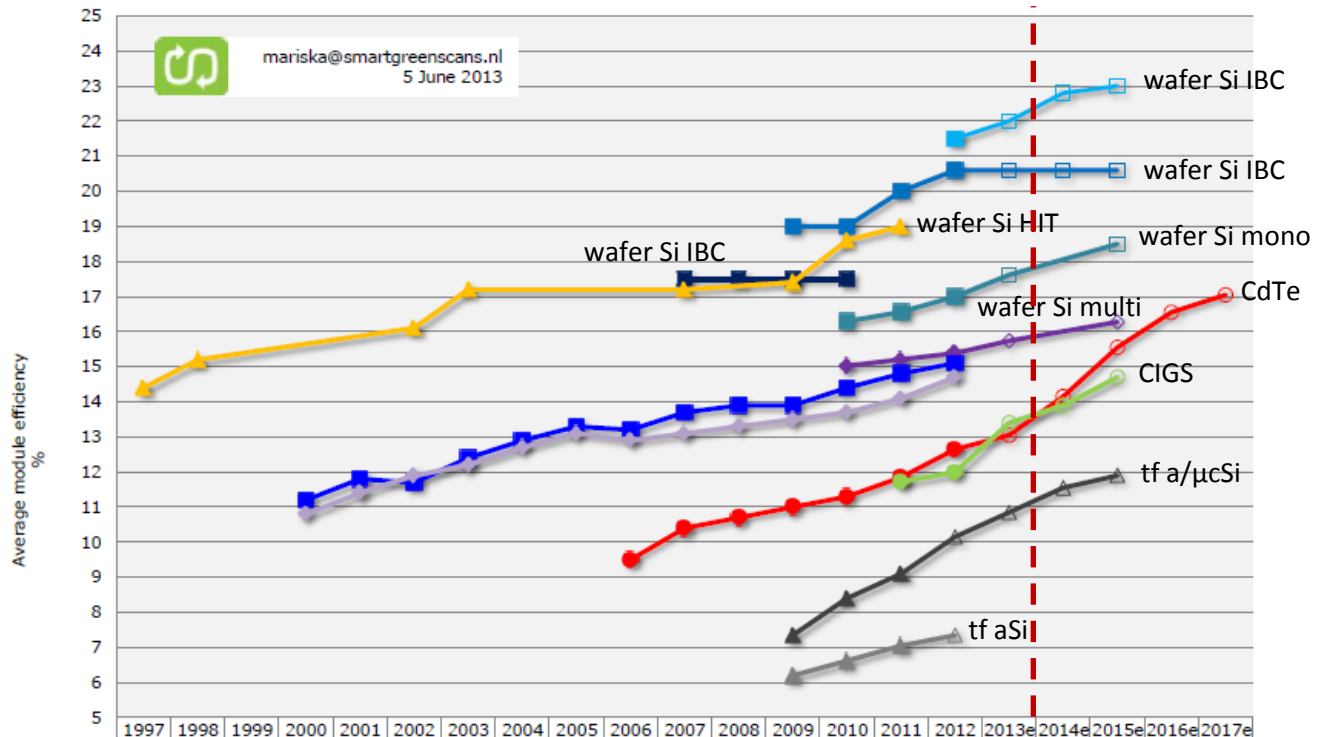


Rendement commerciële panelen



Selectie; verleden + korte-termijn toekomst

M.J. de Wild-Scholten
SmartGreenScans

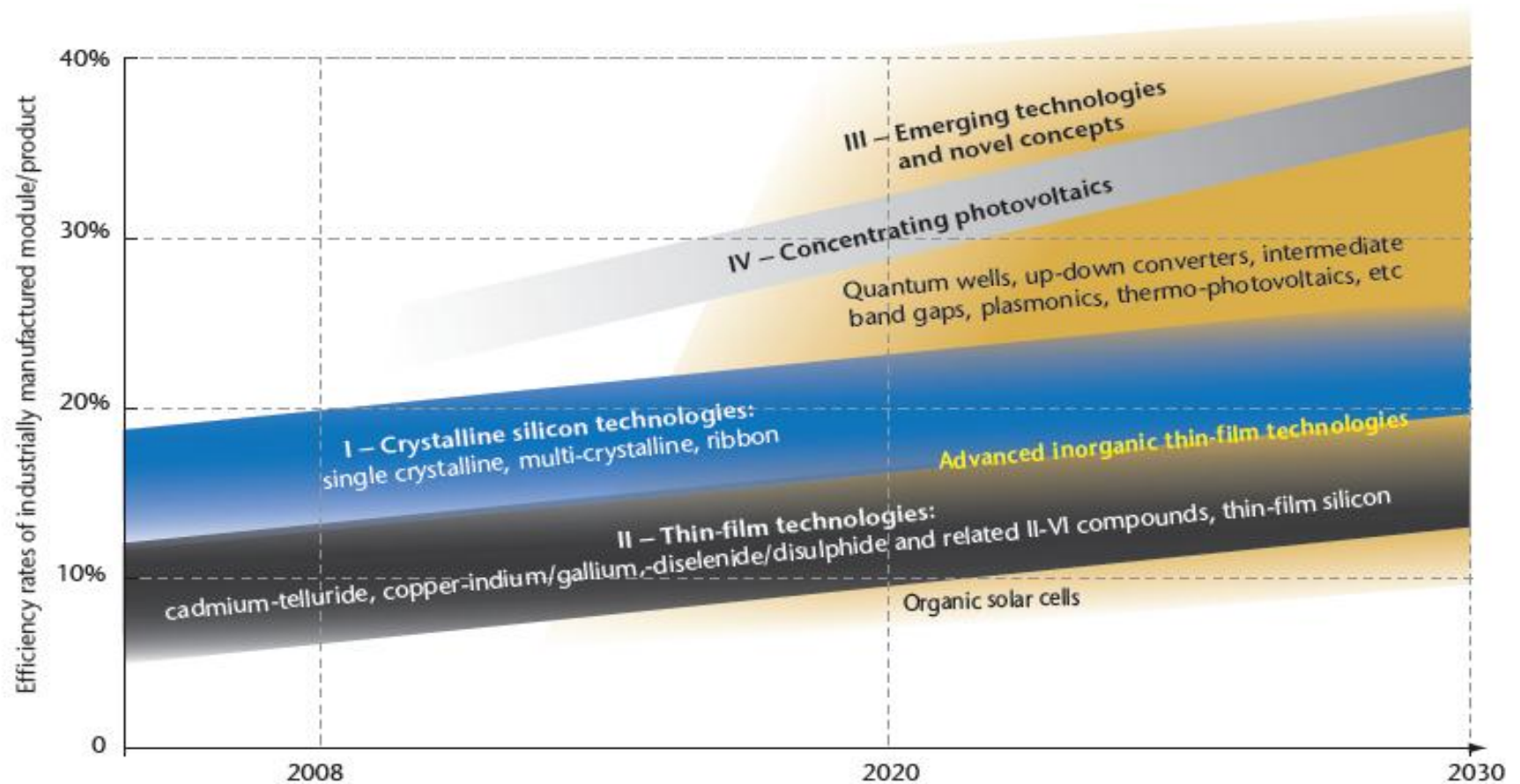


	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013e	2014e	2015e	2016e	2017e
Sunpower, X-series																21.5	22.0	22.8	23.0		
Sunpower, E-series													19.0	19.0	20.0	20.6	20.6	20.6	20.6		
Sunpower, 1st generation											17.5	17.5	17.5	17.5							
HIT, Sanyo/Panasonic	14.4	15.2				16.1	17.2				17.2		17.4	18.6	19.0						
Mono-Si n-type PANDA, Yingli, CN														16.3	16.6	17.0	17.6		18.5		
Multi-Si, Yingli, CN														15.0	15.2	15.4	15.7		16.3		
Mono-Si (Photon Int Feb 2013)				11.2	11.8	11.7	12.4	12.9	13.3	13.2	13.7	13.9	13.9	14.4	14.8	15.1					
Multi-Si (Photon Int Feb 2013)				10.8	11.4	11.9	12.2	12.7	13.1	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	14.1	14.7					
CdTe, First Solar										9.5	10.4	10.7	11.0	11.3	11.9	12.7	13.1	14.2	15.6	16.6	17.1
CIGS, Solar Frontier, JP															11.7	12.0	13.4	13.9	14.7		
μc/a-Si, Oerlikon Solar Fabs													7.4	8.4	9.1	10.2	10.9	11.6	11.9		
a-Si, TSolar, ES													6.20	6.63	7.05	7.35					

Rendementen commerciële panelen



Verwachte ontwikkeling op langere termijn



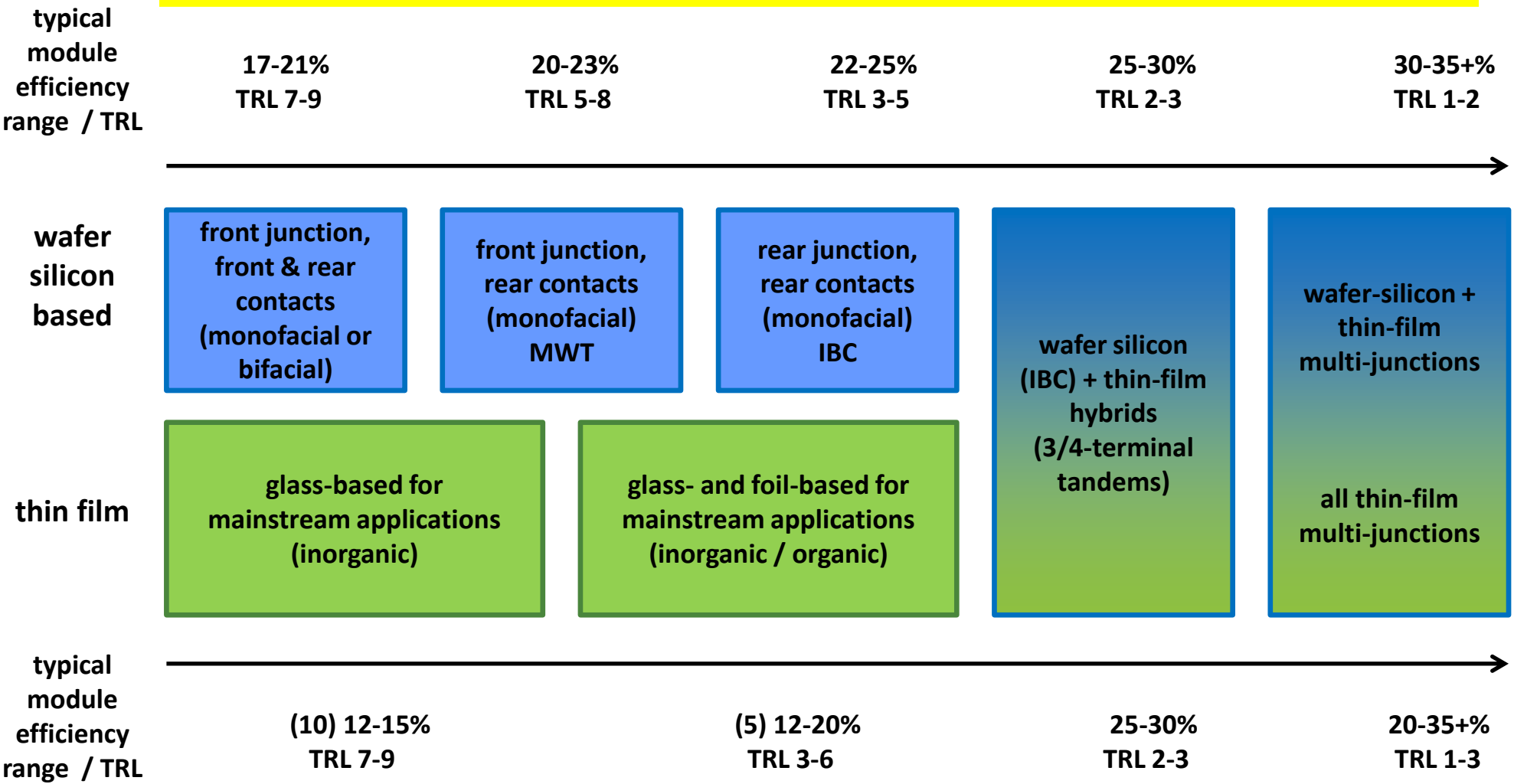
Source: IEA PVPS.

Towards and beyond 25% 1-sun module efficiency at competitive cost

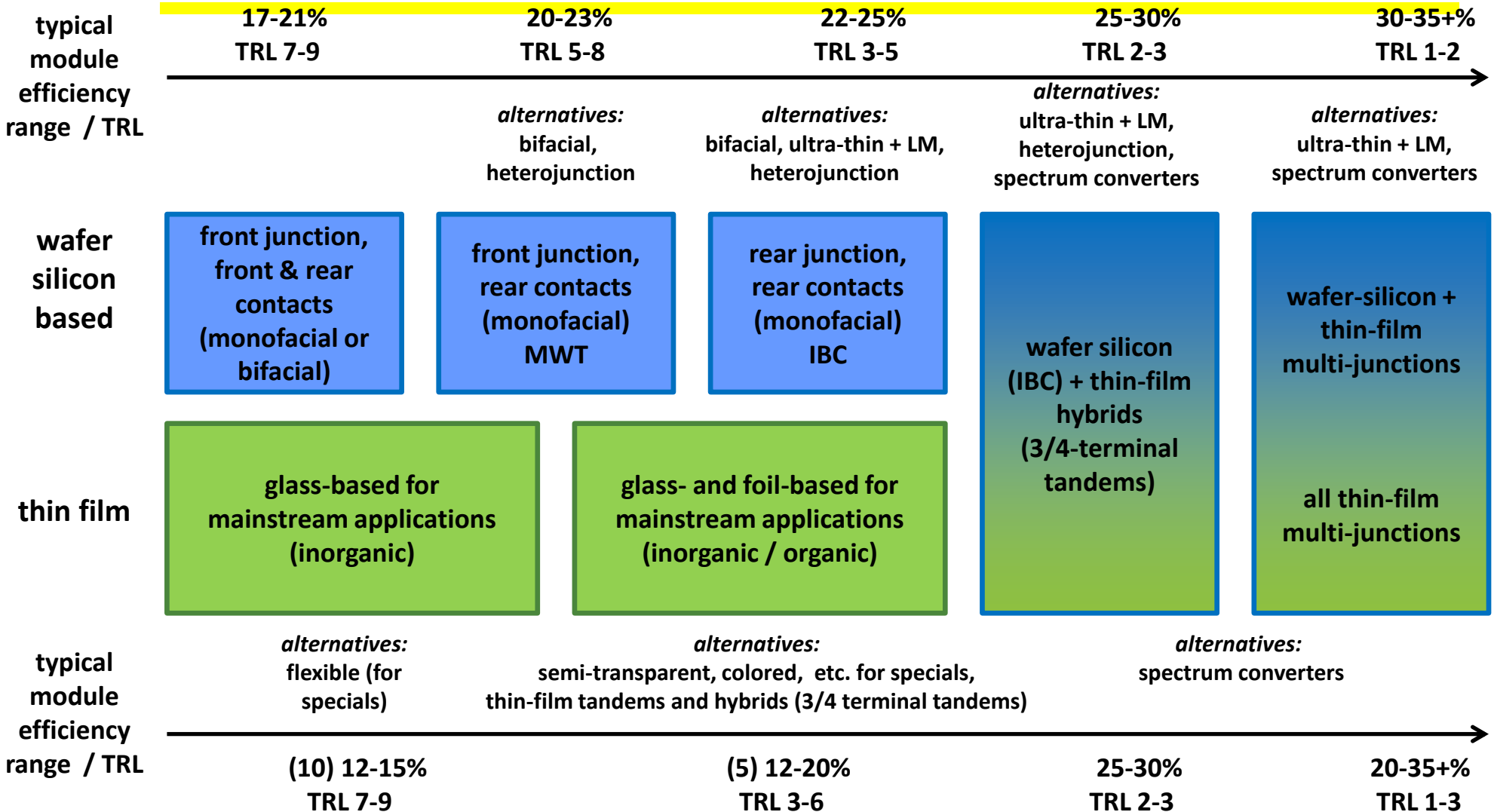


- Bring wafer-silicon technology to perfection (to 25%) – ST/MT
 - reduce process complexity and cost of current high-end technologies
 - combine key features of current high-end technologies (e.g. rear hetero-junction, rear contact)
 - use ultra-thin wafers + advanced light management
- Combine the best of two worlds (beyond 25%) - MT
 - high-efficiency wafer-silicon + wide-gap (or low-gap) thin-film technology (one-sun tandems)
- Novel routes (to and beyond 25%) - MT/LT
 - high-efficiency wafer-silicon + spectrum converters
 - other multi-gap approaches (bulk thin films, quantum dots, nanowires, etc.)
 - other high-efficiency approaches (multi carrier, hot carrier, intermediate band, etc.)

Technology evolution in (1 sun) wafer-based and thin-film PV



Technology evolution in (1 sun) wafer-based and thin-film PV



Silicon wafer based tandems

28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition

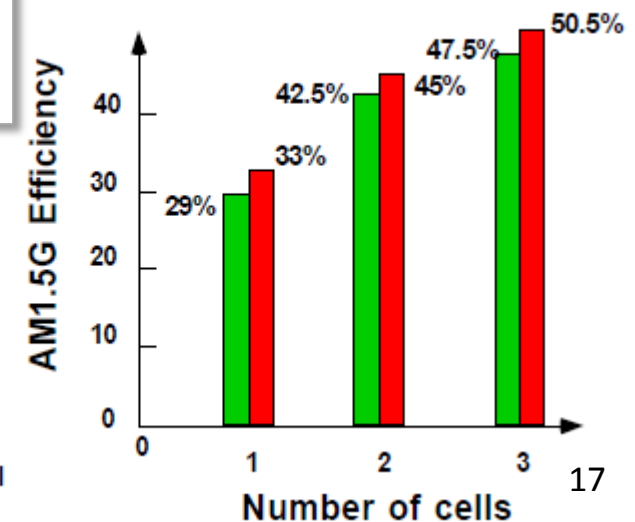
SILICON WAFER-BASED TANDEM CELLS: THE ULTIMATE PHOTOVOLTAIC SOLUTION?

Martin A. Green¹ (Phone: +(61-2) 9385-4018; Fax: +(61-2) 9662-4240; Email: m.green@unsw.edu.au)
 Xiaojing Hao¹; Stephen Bremner¹; Gavin Conibeer¹; Ibraheem Al Mansouri¹; Ning Song¹; Ziheng Liu¹;
 Steven A. Ringel²; J.A. Carlin²; T.J. Grassman²; B. Galiana²; A.M. Carlin²; C. Ratcliff²; D. Chmielewski²;
 L. Yang²; M.J. Mills²; Glenn Teeter³; Matthew Young³

¹Australian Centre for Advanced Photovoltaics, University of New South Wales, Sydney, Australia, 2052

²Ohio State University, 2015 Neil Avenue, Columbus, OH 43210-1272, USA

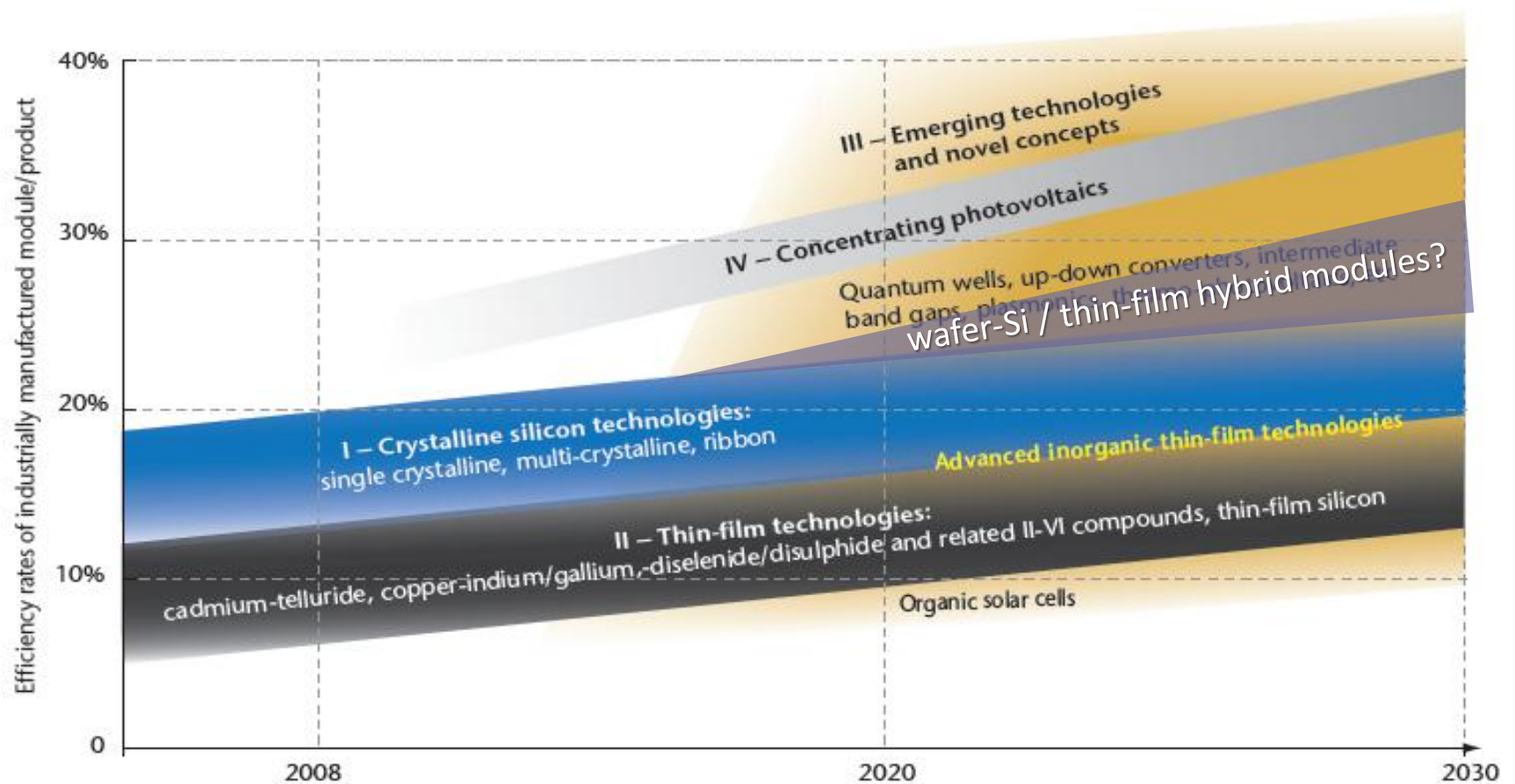
³National Renewable Energy Laboratory, 15013 Denver West, Parkway, Golden, CO 80401, USA



Commercial module efficiencies

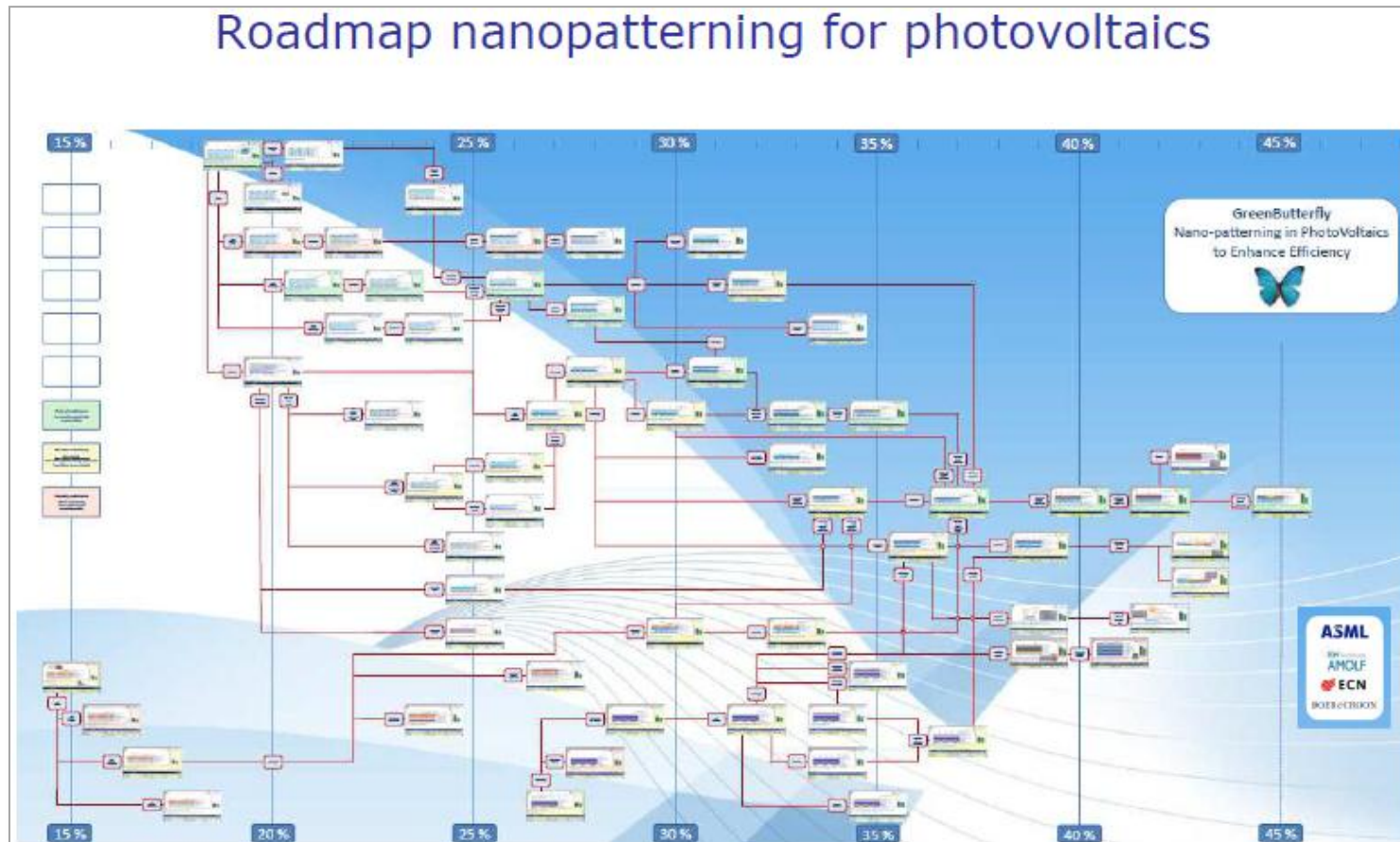


History + long-term projections (simplified estimates)



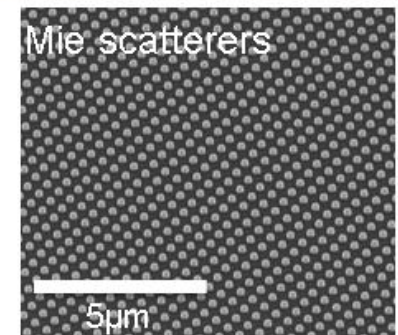
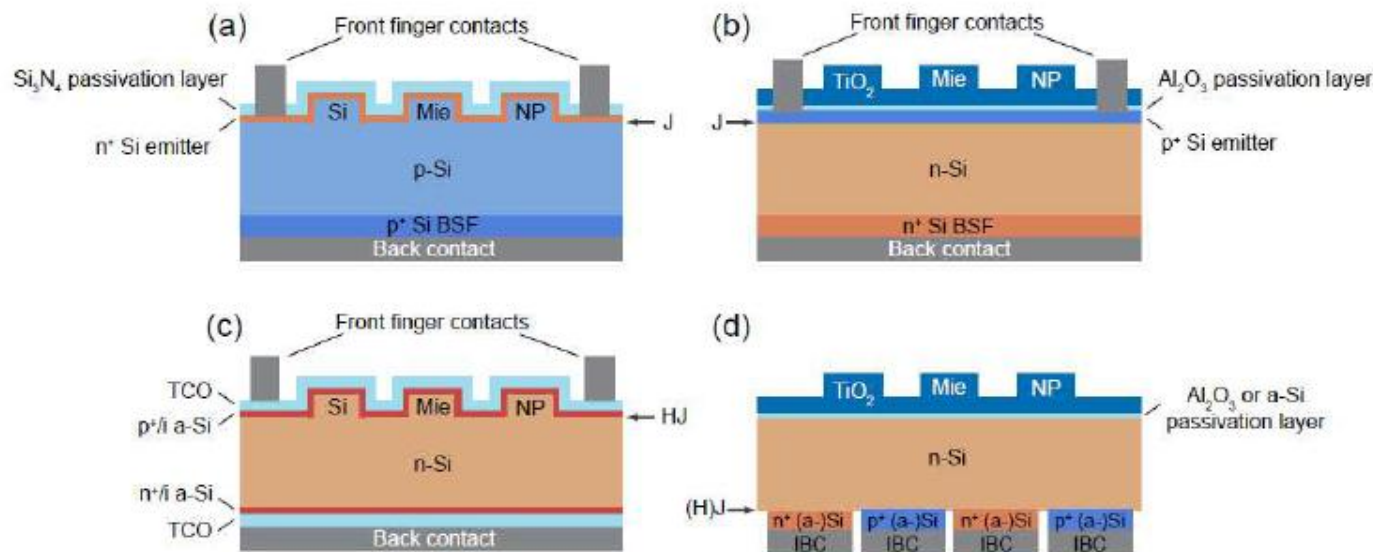
Source: IEA PVPS.

Nanotechnology for high-efficiency PV: ECN *finding the way in a jungle of options*



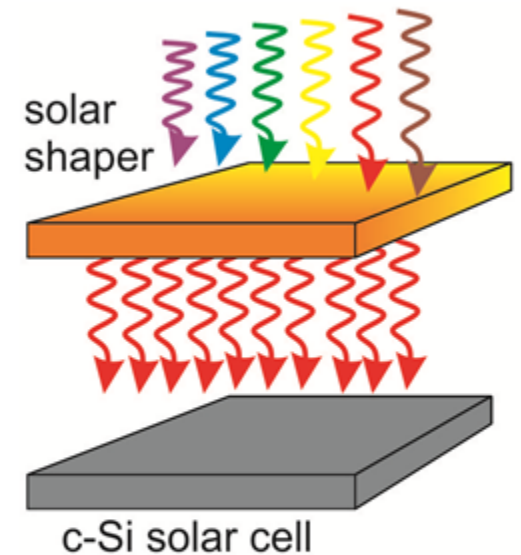
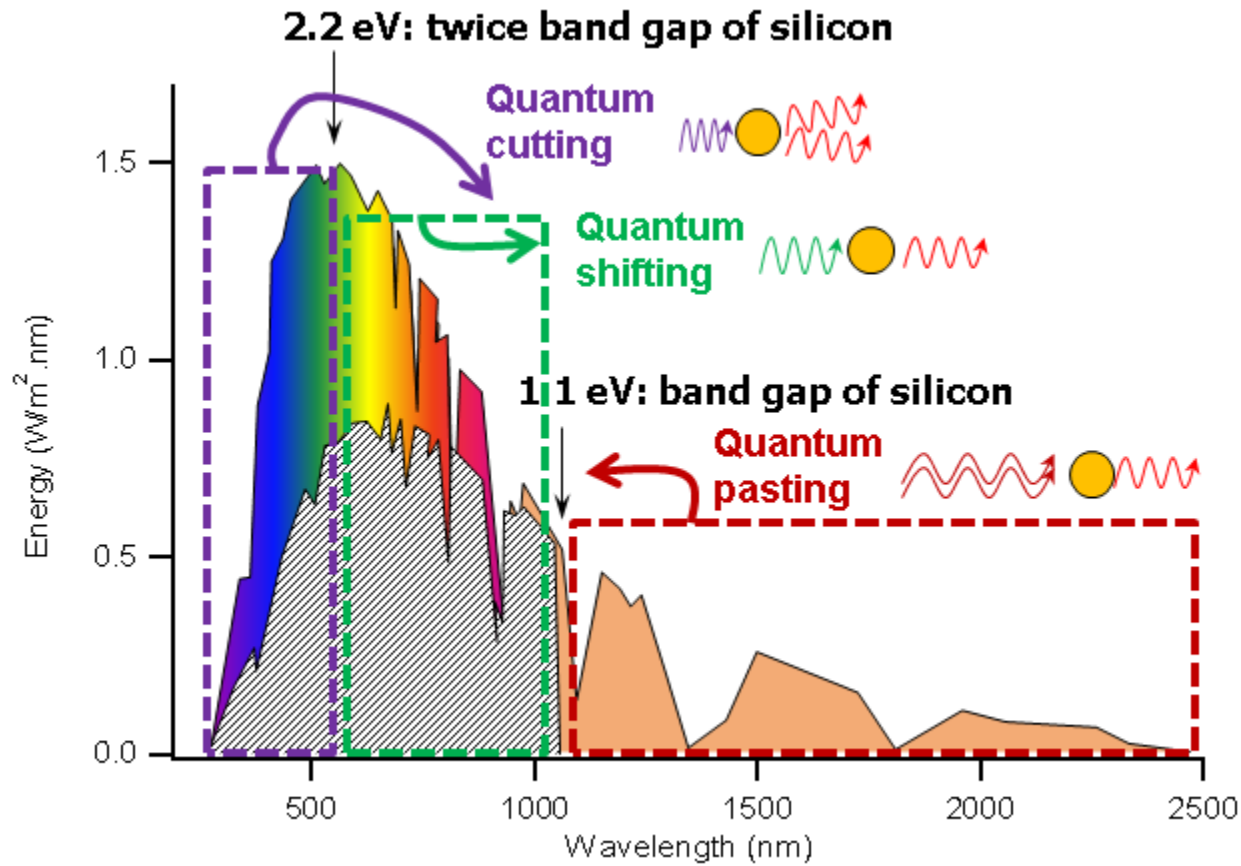
Example: *advanced light management* ECN to cross the 25% efficiency barrier for silicon

Nanopatterned Si solar cell designs



Mie scatterer designs: slightly **lower current** than standard texture but **higher voltage** → opportunity to beat the 25% efficiency record

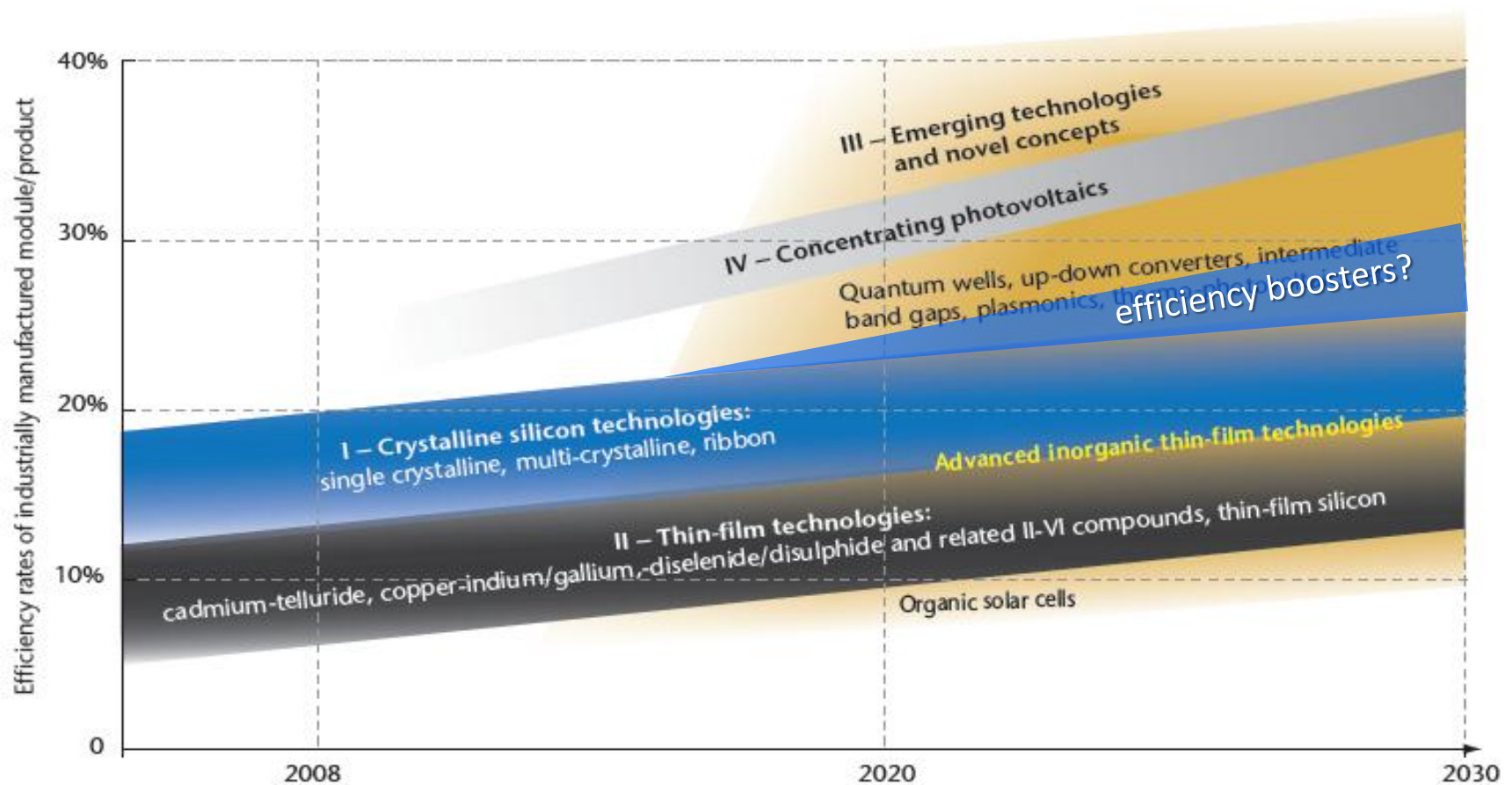
Example: *spectrum shaping to boost* **ECN** *efficiency (“add-on” to solar cells)*



Commercial module efficiencies



History + long-term projections (simplified estimates)



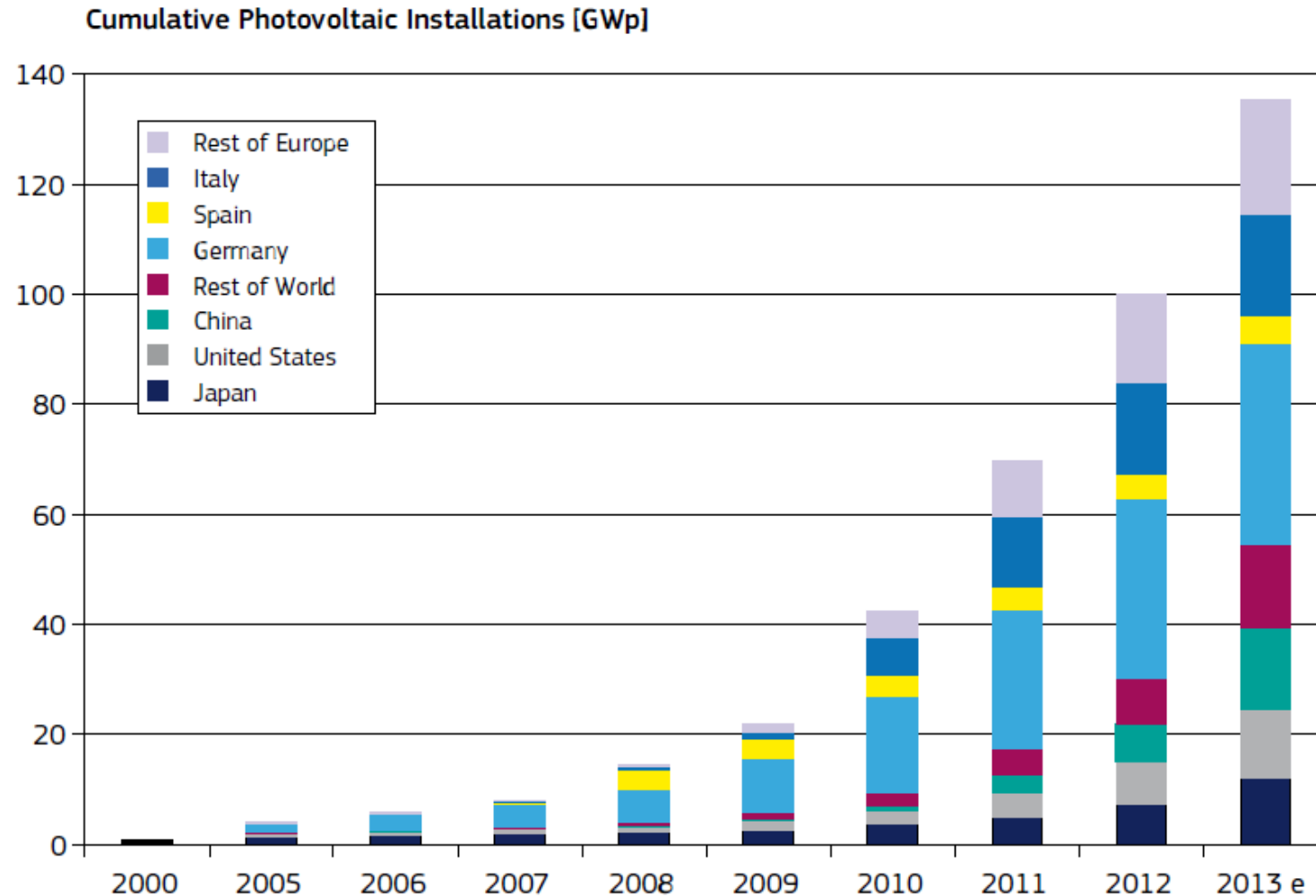
Source: IEA PVPS.

Inhoud

- Bouwstenen en ingrediënten
 - veel keus en meer onderweg
- Hoge ambities; kansen en uitdagingen
 - van niche naar impact: wat betekent dat en wat is ervoor nodig?
 - drievoudige integratie
 - kansen voor de industrie
- En dit is nog maar het begin...
 - de toekomst in vogelvlucht

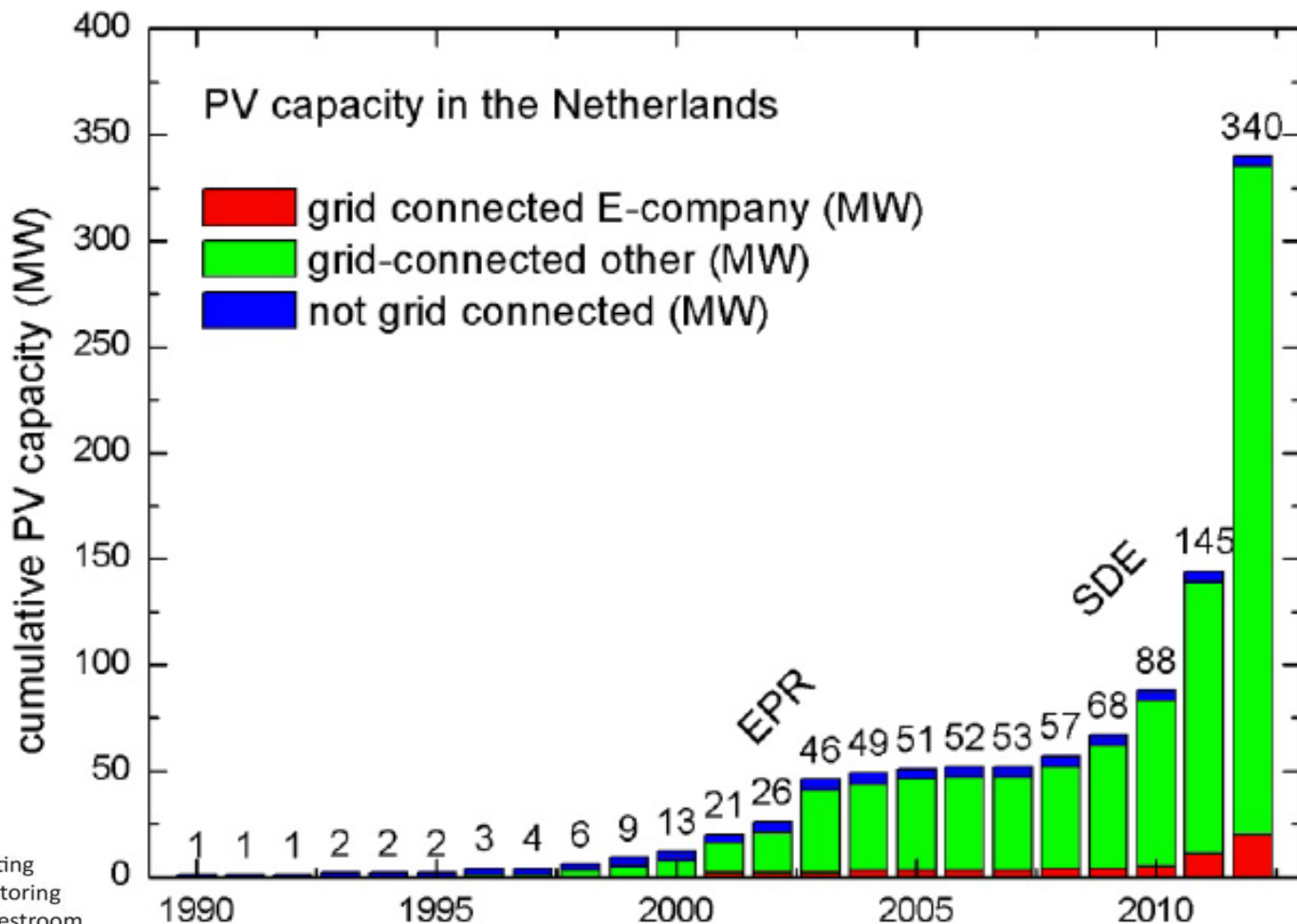
Zonne-energie mondiaal

Cumulatief geïnstalleerd vermogen



Zonne-energie in Nederland

Cumulatief geïnstalleerd vermogen



2013:
≈700 MWp?
(0.5% van
totaal
elektriciteits-
gebruik)

Zonnestroom mondiaal

Impact op lange termijn – IEA scenario “Testing the limits”

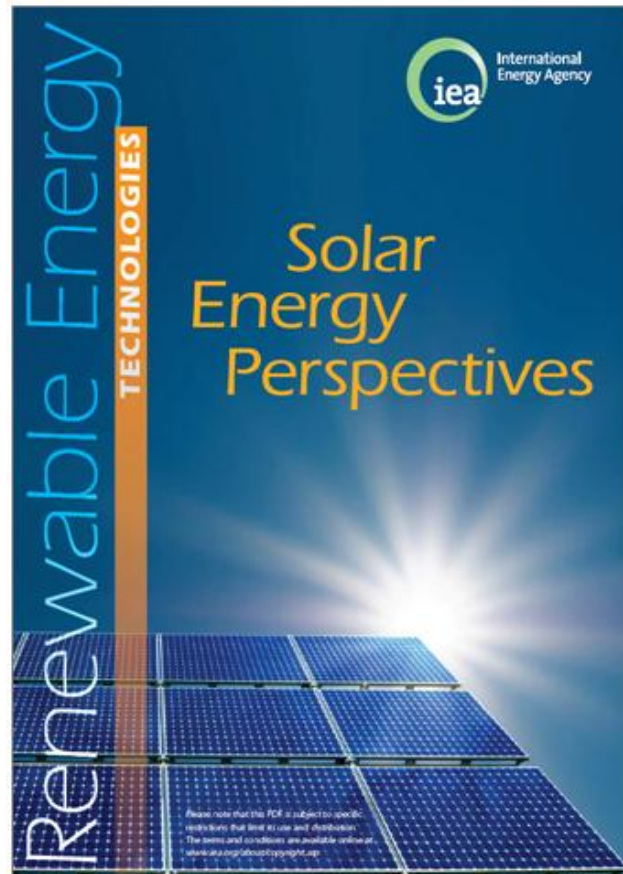


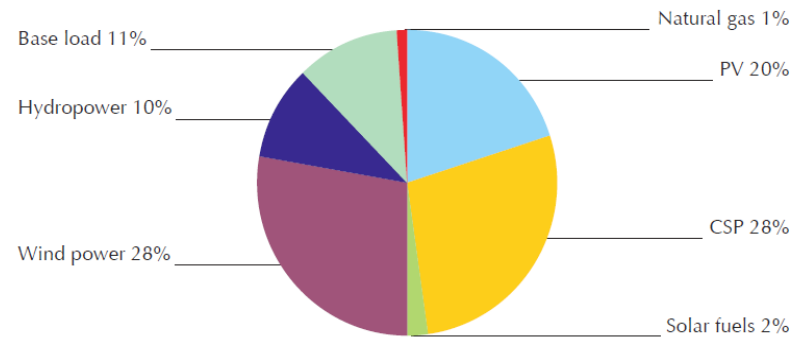
Table 11.1 Indicative global capacities and electricity generation

Technology	Capacity (GW)	Electricity generation (TWh/yr)
PV	12 000	18 000
CSP	8 000	25 000
Base load (Geothermal, nuclear, solid biomass w. CCS)	1 200	10 000
Natural gas	**3 000	1 000
Total		90 000

= 40.000 km² moduleoppervlak @ 30% rendement

* Thermal storage would give CSP plants an average capacity factor of almost 50%. **Shared capacities.

Figure 11.4 Global electricity generation by technology in 2060

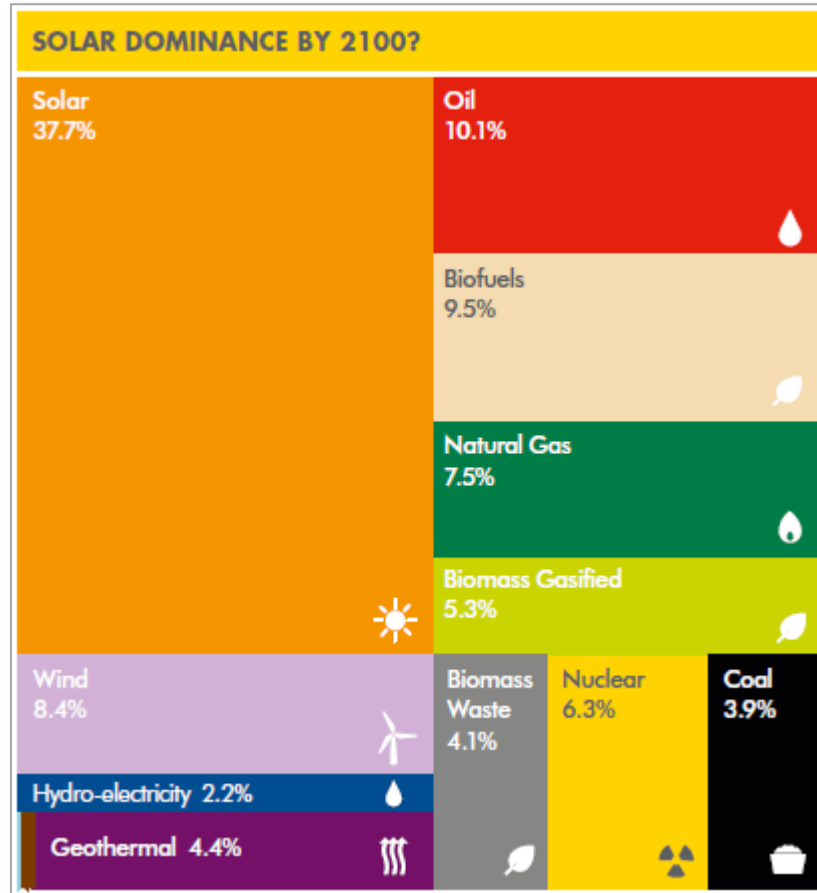


Key point

Solar energy could provide half the global electricity generation in 50 years.

Zonne-energie mondiaal

Impact op lange termijn – Shell Lens Scenario “Oceans”



These conditions favour distributed solar PV becoming a leading source of primary energy in the global economy. From its position today as the 13th largest energy source worldwide, it grows rapidly, reaching fourth place behind oil, gas, and coal by 2040, and continuing to the number one position in 2100. The sun rises to create solar energy dominance in the global system.

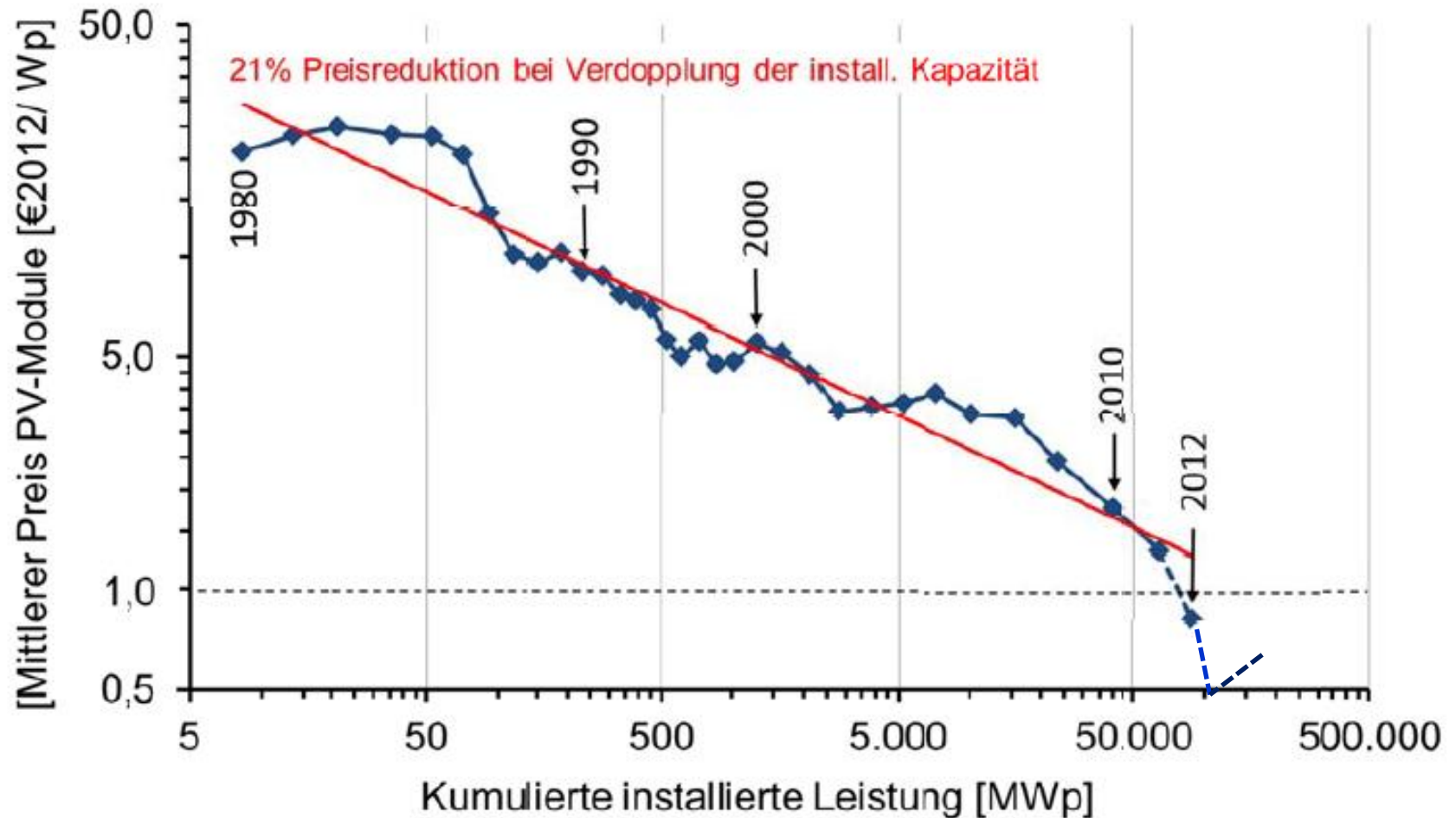
Impact met zonnestroom

Wat zijn de uitdagingen?

- Concurrerende opwekkosten (typisch ≤ 0.05 €/kWh)
→ 0,5 ~ 1 €/Wp turn-key systeemprijzen (incl. marges)
- Integrale kwaliteitsborging
- Van hernieuwbaar naar volledig duurzaam
- Integratie in elektriciteitsnet, omgeving en economie

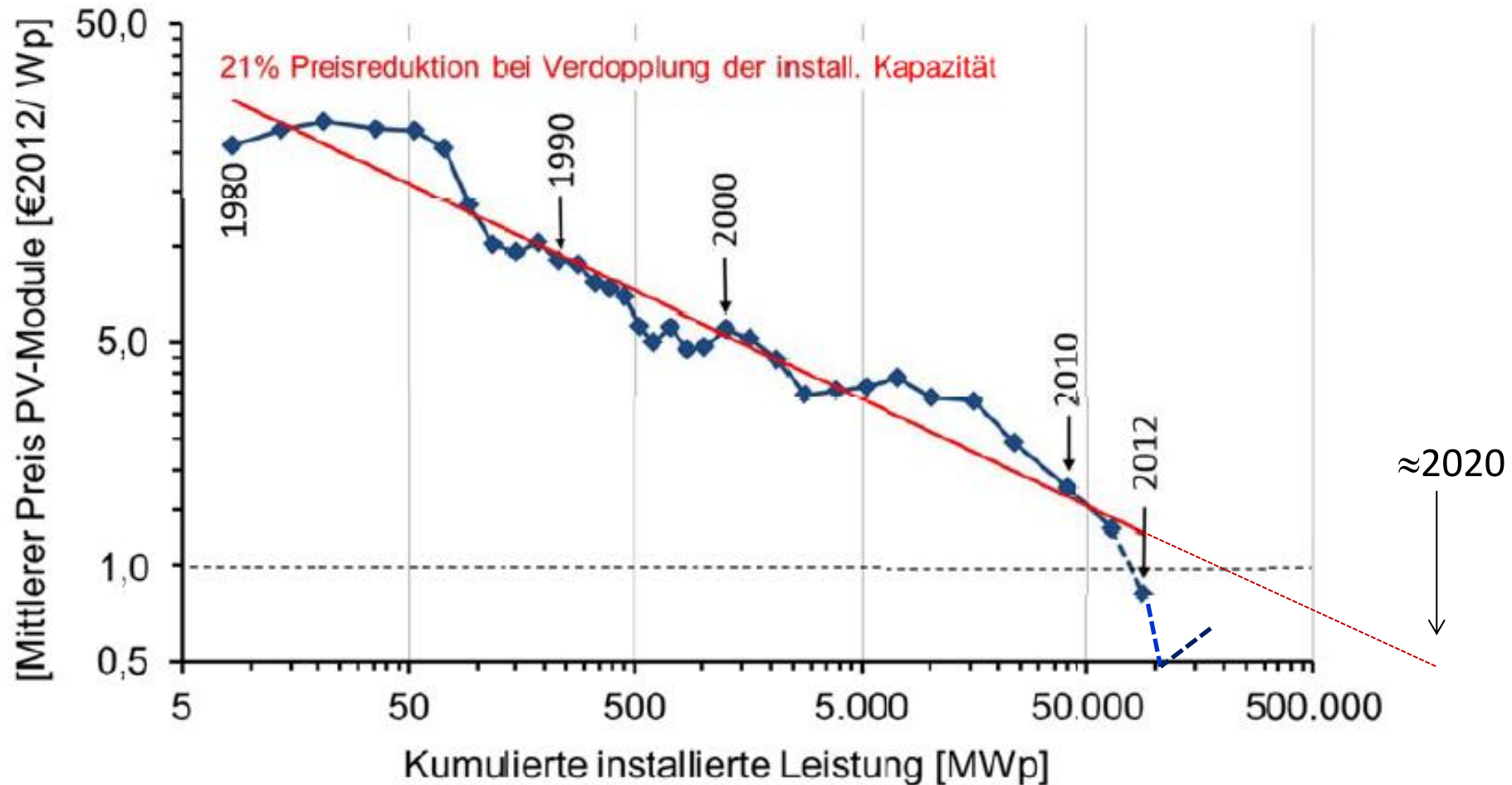
Leercurve zonnepanelen

Effecten van volume en innovatie



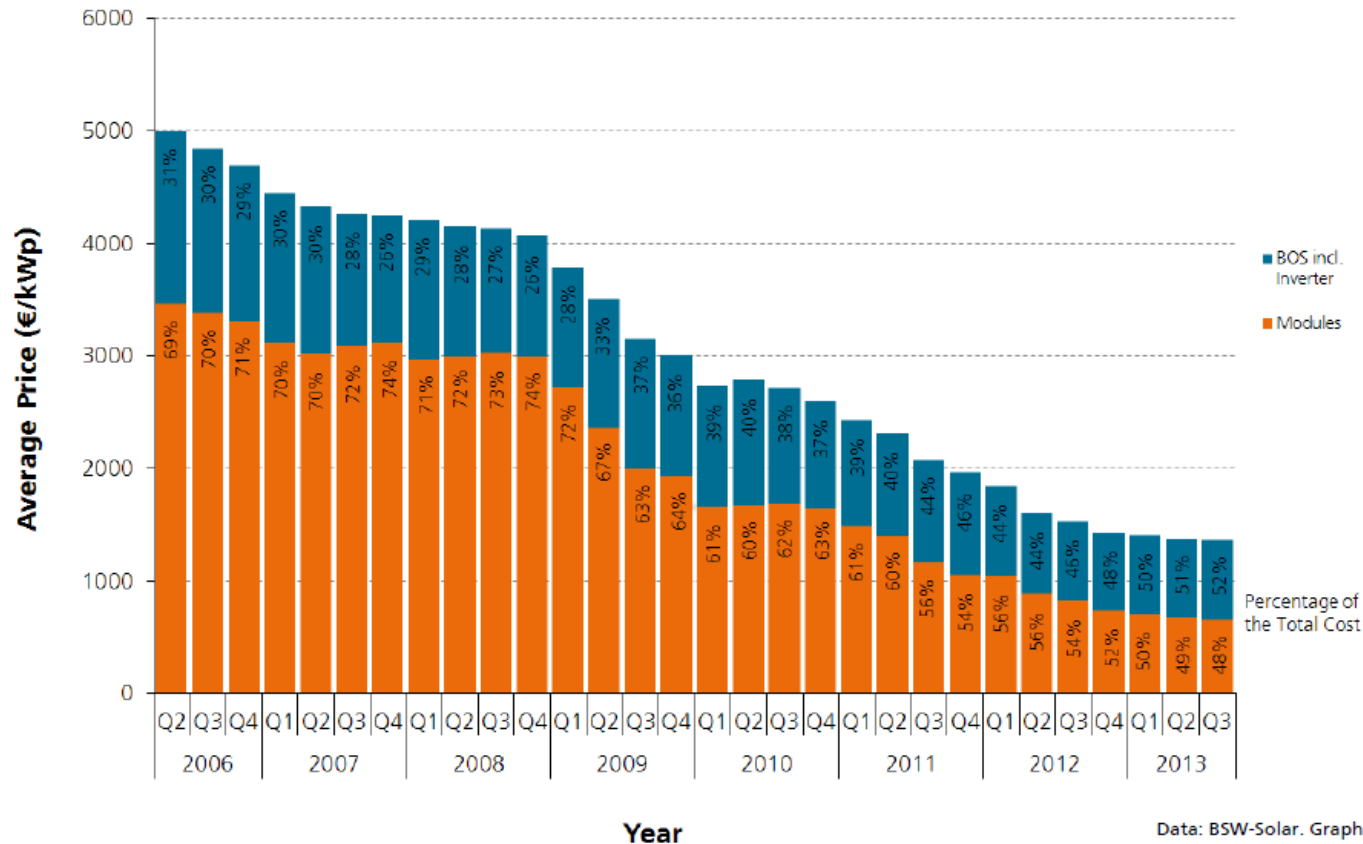
Leercurve zonnepanelen

De markt is zijn tijd vooruit



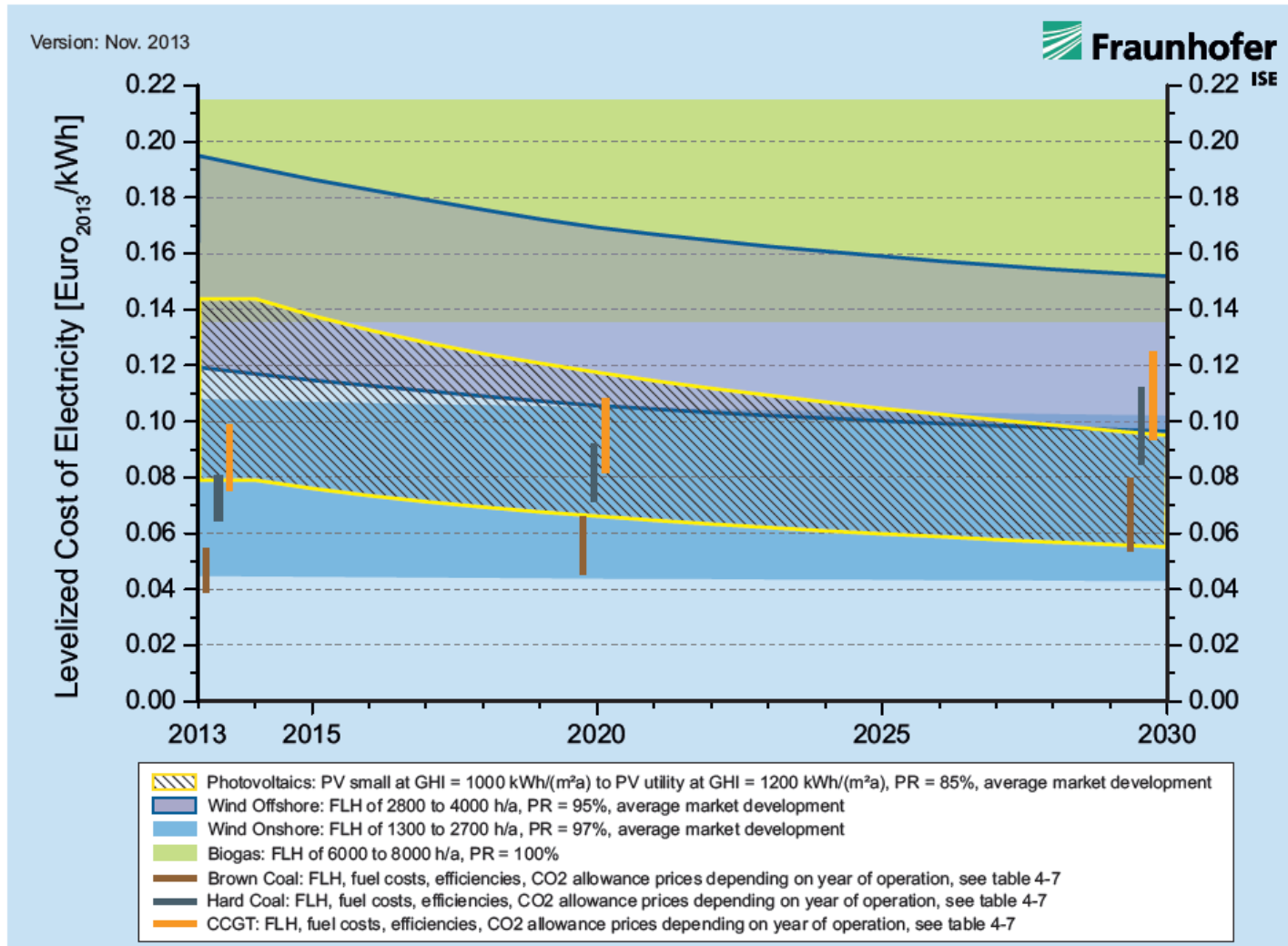
Ontwikkeling systeemprijzen (Duitsland)

Average Price for PV Rooftop Systems in Germany (10kWp - 100kWp)



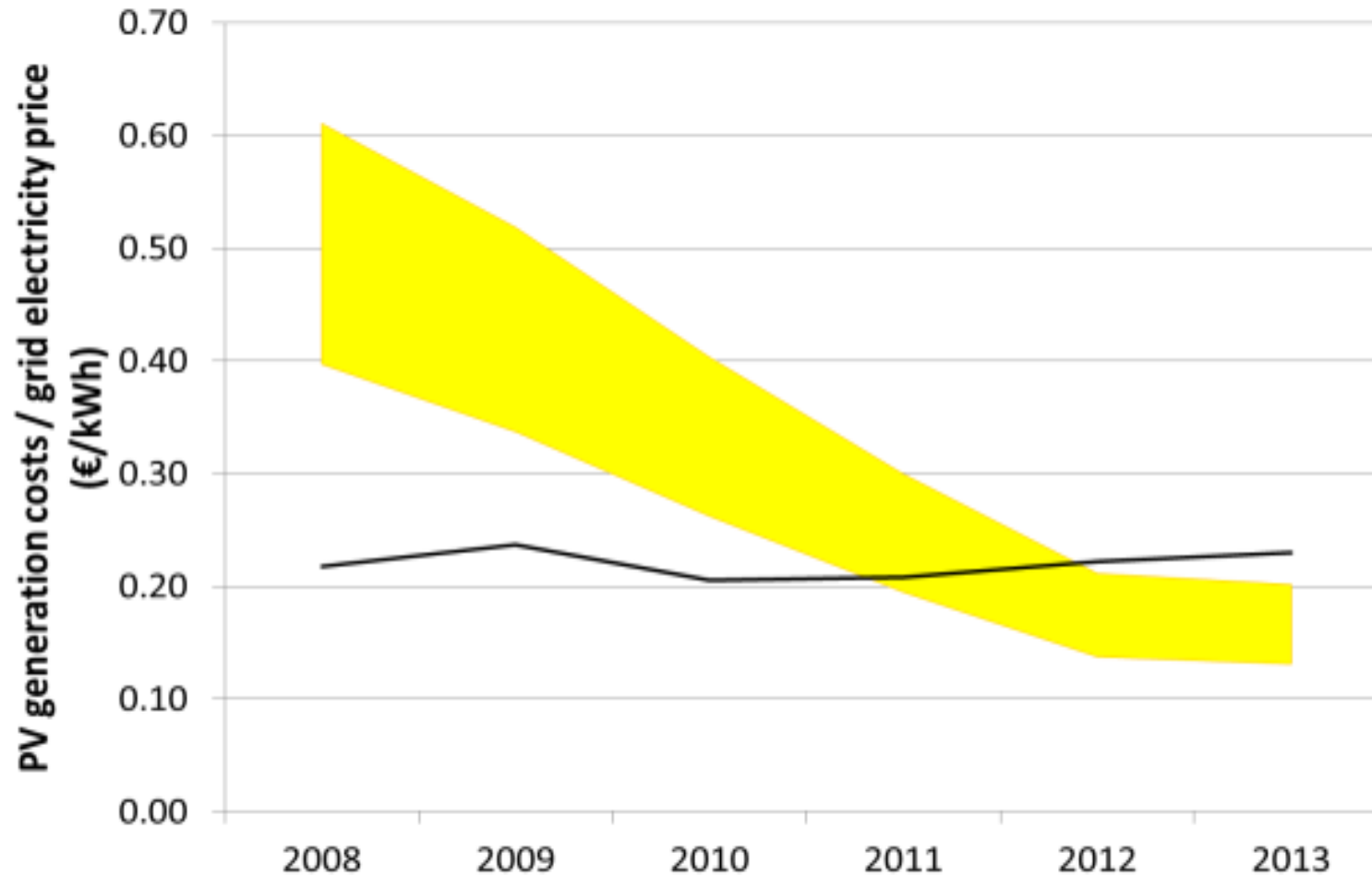
Concurrentiepositie zonnestroom ECN

Kleine en grote systemen (instraling 1000-1200 kWh/m²/jaar)



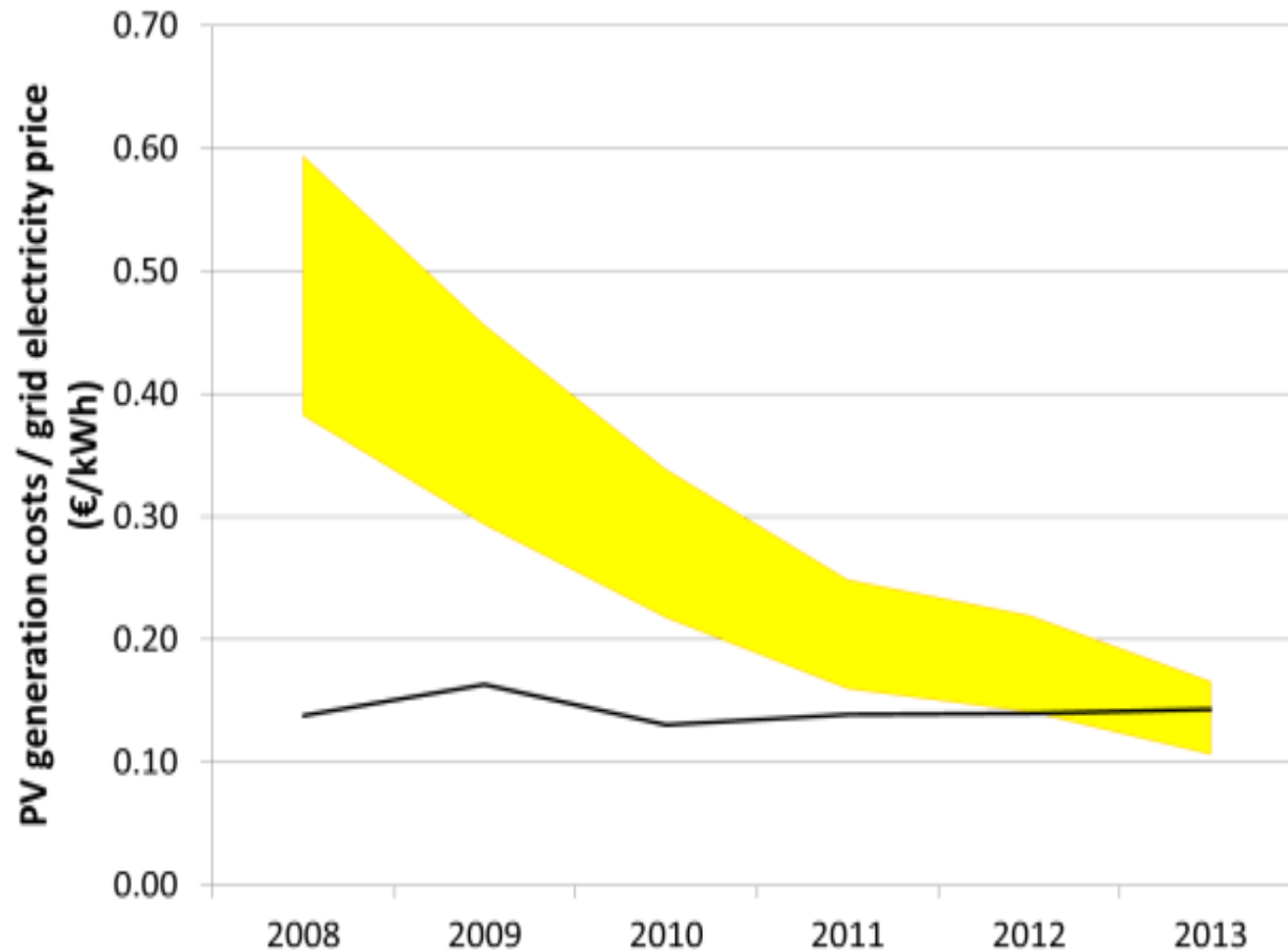
Grid parity zonnestroom

Huishoudens NL (verbruik ≈ 3500 kWh/jaar)



Grid parity zonnestroom

Klein commercieel NL (verbruik ≈ 50.000 kWh/jaar)



Long-term potential for cost & price ECN reduction (Global Energy Assessment, 2012)

Table 11.28 | Turnkey investment costs of PV systems and corresponding (rounded) levelized electricity generation costs for 2009, 2020, and 2050.

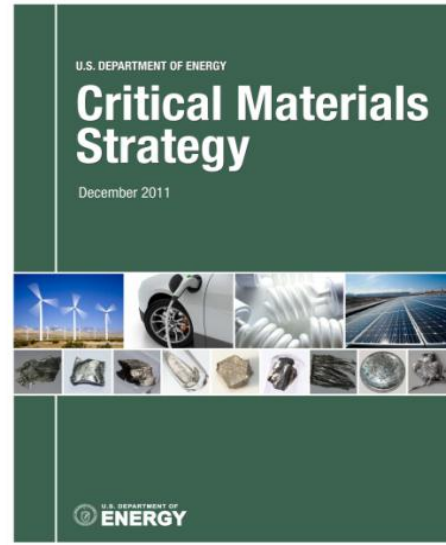
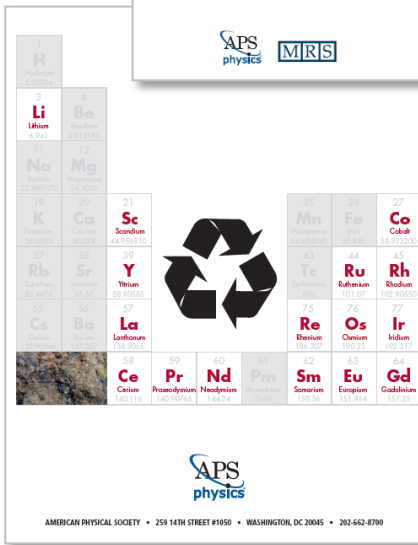
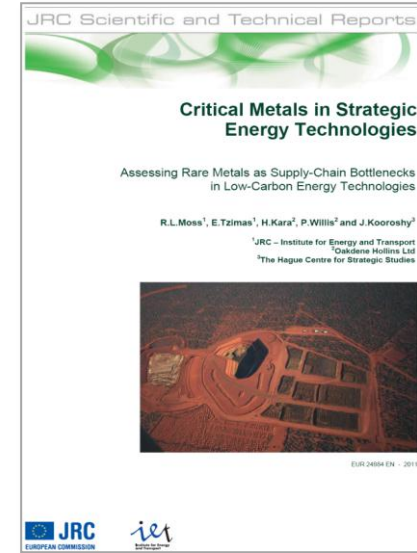
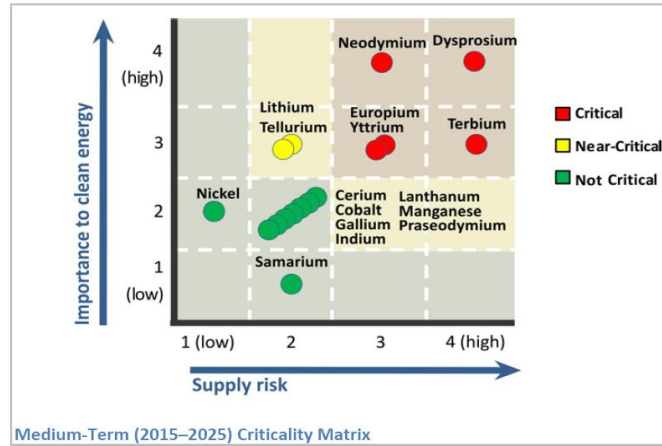
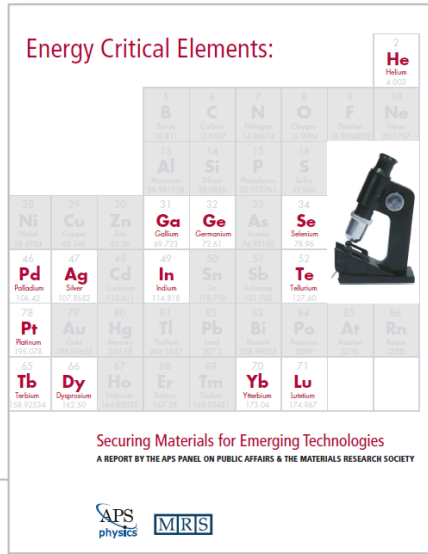
Typical Irradiation on Fixed Optimally Oriented Plane (kWh/m ² /yr)	Capacity Factor (and Corresponding Annual Yield in kWh/kWp)	Typical Turn-key Investment Costs (US ₂₀₀₅ \$/kWp)	Cost of Electricity (¢/kWh)	
			Discount rate	
			5%	10%
Current (2009)				
1000	9% (790)	4500 (typical range 3500–5000)	46.1	
2000 / 1500 (without / with sun tracking)	18% (1580)		23.1	
2300 (with sun tracking)	27% (2370)			
2020				
1000	9% (790)			29.4
2000 / 1500 (without / with sun tracking)	18% (1580)		9.5	14.7
2300 (with sun tracking)	27% (2370)		6.3	9.8
Long-term (2050)				
1000	9% (790)	900 (possible range ~ 700–1200)	8.6	13.2
2000 / 1500 (without / with sun tracking)	18% (1580)		4.3	6.6
2300 (with sun tracking)	27% (2370)		2.9	4.4

New EU/USA 2020 targets: 1 \$/Wp / 0.8 €/Wp turn-key system price including sustainable margins



Duurzaamheid: materialen

Nog geen consensus



Metal	Market Factors		Political Factors		Overall risk
	Likelihood of rapid demand growth	Limitations to expanding production capacity	Concentration of supply	Political risk	
Dysprosium	High	High	High	High	High
Neodymium	High	Medium	High	High	
Tellurium	High	High	Low	Medium	
Gallium	High	Medium	Medium	Medium	
Indium	Medium	High	Medium	Medium	
Niobium	High	Low	High	Medium	Medium
Vanadium	High	Low	Medium	High	
Tin	Low	Medium	Medium	High	
Selenium	Medium	Medium	Medium	Low	Low
Silver	Low	Medium	Low	High	
Molybdenum	Medium	Low	Medium	Medium	
Hafnium	Low	Medium	Medium	Low	
Nickel	Medium	Low	Low	Medium	
Cadmium	Low	Low	Low	Medium	

Kwaliteit op alle niveaus

Voorwaarde voor grootschaligheid

- Alle niveaus en aspecten: componenten, systemen, installateurs, productieprocessen, etc.
- Behoefte aan informatie, coördinatie en communicatie (certificaten, labels, garanties, etc.)
- Hoge prioriteit in onderzoek en bedrijven



The screenshot shows a news article from AD.nl. The main headline is "Kwaliteit zonnepaneel slecht". Below the headline, there is a sub-headline "Veel zonnepanelen op Nederlandse daken zijn van slechte kwaliteit. Bijna een kwart van de consumenten die zonnepanelen op hun dak". The article is dated 19-2-13 and is attributed to "Algemeen Dagblad". There are social media sharing icons for Facebook, Twitter, and Google+. The article features a photo of a worker in a white hard hat and safety harness installing solar panels on a roof. To the right of the main article, there is a "GERELATEERD NIEUWS" section with three related articles: "Kwaliteit zonnepanelen vaak slecht onderzocht", "Zeker 15 branden door problemen zonnepanelen", and "Brandgevaar bij zonnepanelen Scheuten Solar". Below this, there is a "MEER OVER" section with buttons for "CONSUMENT" and "NATUUR & MILIEU". At the bottom right, there is a "AD NIEUW" section with a list of news items: "19:19 Geen explosieven gevonden in Arnhem", "19:07 Raad verdedigt wethouder rond ...", and "18:37 Provincies vrezen verlies".

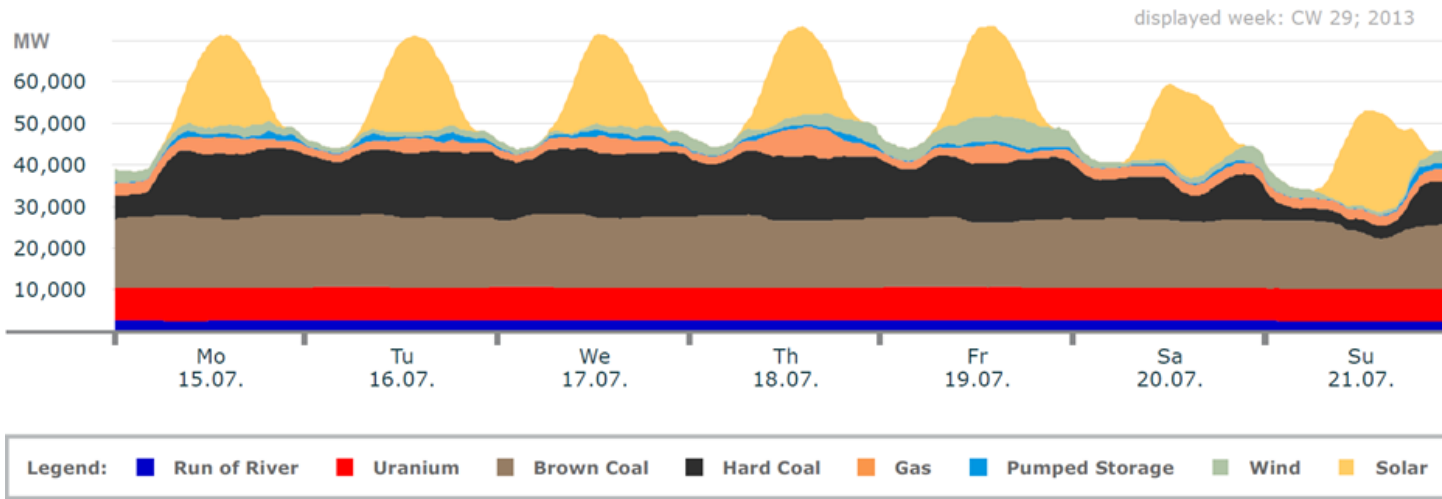


Inhoud

- **Bouwstenen en ingrediënten**
 - veel keus en meer onderweg
- **Hoge ambities; kansen en uitdagingen**
 - van niche naar impact: wat betekent dat en wat is ervoor nodig?
 - drievoudige integratie
 - kansen voor de industrie
- **En dit is nog maar het begin...**
 - de toekomst in vogelvlucht

Netintegratie

Duitsland verkent (en verschuift) de grenzen



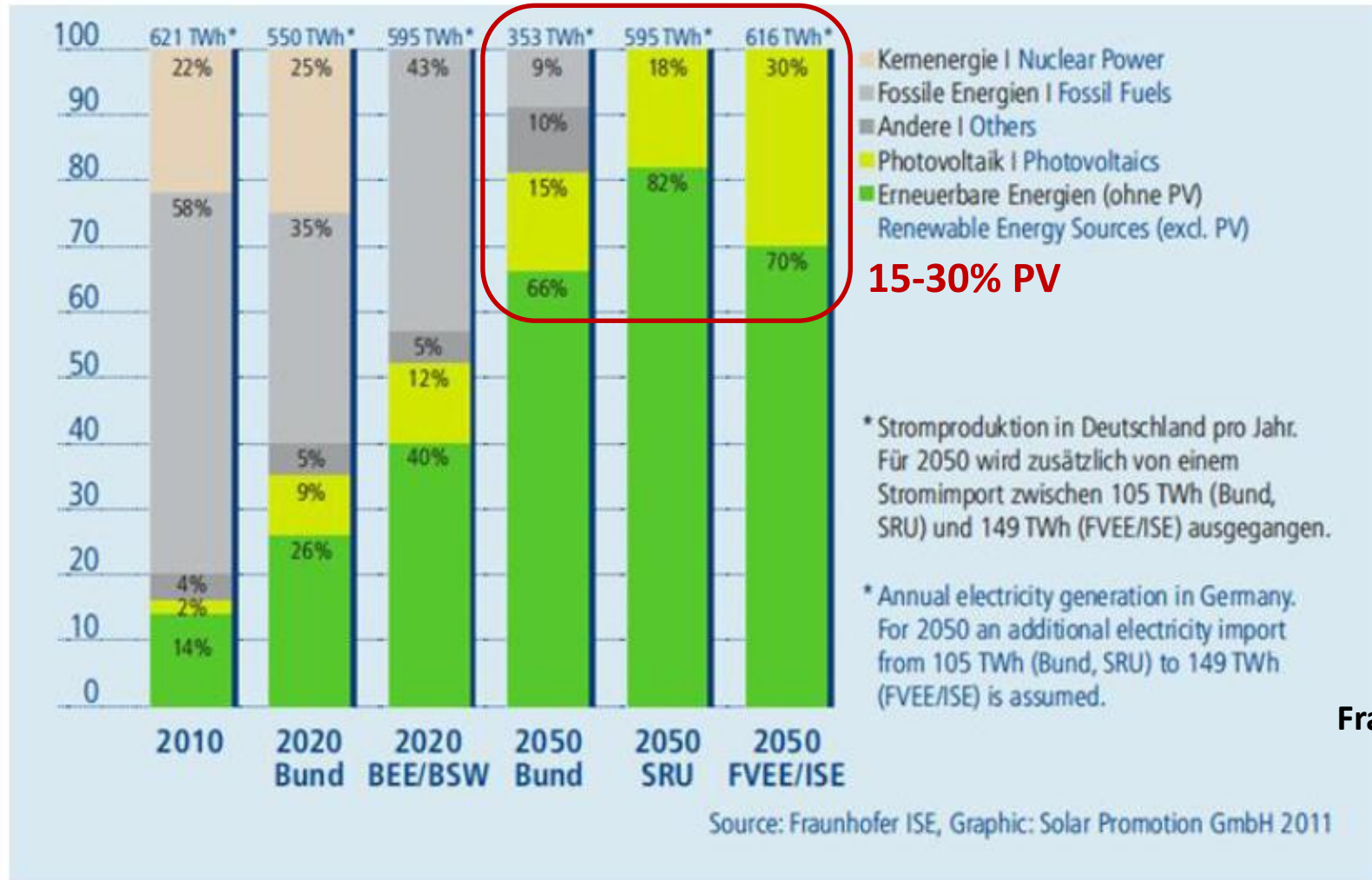
M. Lippert,
SAFT

	RoR	Uran	BC	HC	Gas	PSt	Wind	Solar
min. power (GW)	2.4	7.4	12.1	2.7	1.5	0	0.2	0
max. power (GW)	2.8	7.9	17.5	16.1	6.9	2.2	6.7	24
weekly energy (TWh)	0.4	1.3	2.8	2.1	0.5	0.1	0.3	1.3

Figure 48 : Power production in 29th week of 2013, showing the current record value of 24 GW PV power generated on Sunday, July 21 with total nominal power of c. 34.5 GW (Chart: B. Burger, Fraunhofer ISE; Data: European Energy Exchange in Leipzig, EEX)

Bron:
Fraunhofer ISE
(2013)

Bijdrage zonnestroom op lange termijn (scenario's Duitsland)



Bron:
Fraunhofer ISE
(2013)

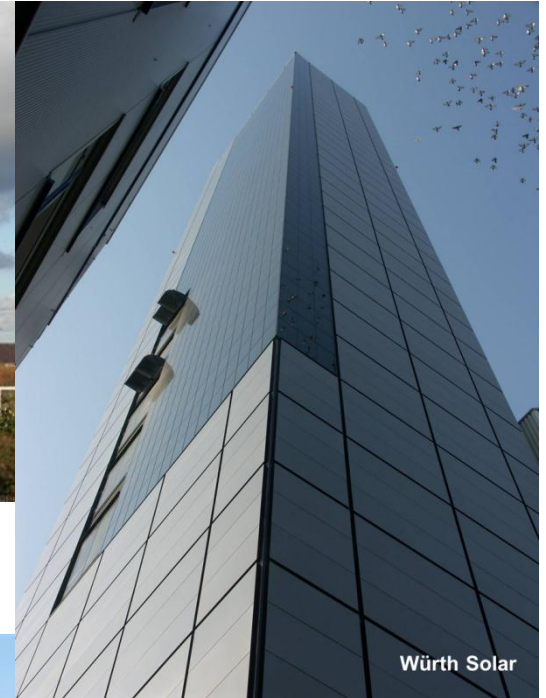
Integratie in de omgeving

Esthetiek: alleen technologie



Integratie in de omgeving

Esthetiek: technologie ontmoet ontwerp



Integratie in de omgeving

Maatschappelijk draagvlak is geen vanzelfsprekendheid

Not in my backyard / Not on my roof / Not in my nature



Maatschappelijke integratie

Draagvlak is geen vanzelfsprekendheid



Bron:
Michael
Marčák

Inhoud

- Bouwstenen en ingrediënten
 - veel keus en meer onderweg
- Hoge ambities; kansen en uitdagingen
 - van niche naar impact: wat betekent dat en wat is ervoor nodig?
 - drievoudige integratie
 - kansen voor de industrie
- En dit is nog maar het begin...
 - de toekomst in vogelvlucht

Herwaardering van de maakindustrie in de VS en Europa



Herwaardering van de maakindustrie in de VS en Europa

Drivers

- Banen en omzet over de hele supply chain
(waarde PV sector 70~100 G€ per jaar)
- Uitstekende kennispositie te gelde maken
- Voorkomen van nieuwe vorm van energieafhankelijkheid

Wat maakt productie van zonnepanelen goedkoop?

Energy &
Environmental Science

RSC Publishing

ANALYSIS

[View Article Online](#)
[View Journal](#)

Assessing the drivers of regional trends in solar photovoltaic manufacturing†

Cite this: DOI: 10.1039/c3ee40701b

Alan C. Goodrich,^{*a} Douglas M. Powell,^{*b} Ted L. James,^a Michael Woodhouse^a and Tonio Buonassisi^{*b}

The photovoltaic (PV) industry has grown rapidly as a source of energy and economic activity. Since 2008, the average manufacturer-sale price of PV modules has declined by over a factor of two, coinciding with a significant increase in the scale of manufacturing in China. Using a bottom-up model for wafer-based silicon PV, we examine both historical and future factory-location decisions from the perspective of a multinational corporation. Our model calculates the cost of PV manufacturing with process step resolution, while considering the impact of corporate financing and operations with a calculation of the minimum selling price that provides an adequate rate of return. We quantify the conditions of China's historical PV price advantage, examine if these conditions can be reproduced elsewhere, and evaluate the role of innovative technology in altering regional competitive advantage. We find that the historical price advantage of a China-based factory relative to a U.S.-based factory is not driven by country-specific advantages, but instead by scale and supply-chain development. Looking forward, we calculate that

Productie in alle delen van de wereld?

Energy &
Environmental Science

ANALYSIS

Assessing the role of
photovoltaic

Cite this: DOI: 10.1039/c3ee42701b

Solar-cell manufacturing costs: innovation could level the field
Study shows that factors other than wages dominate trends in photovoltaic costs, raising the prospect of competitive manufacturing anywhere.

... rapidly as a source of energy and economic activity. Since 2008, the price of PV modules has declined by over a factor of two, coinciding with a massive increase in the scale of manufacturing in China. Using a bottom-up model for wafer-based PV manufacturing, we examine both historical and future factory-location decisions from the perspective of a multinational corporation. Our model calculates the cost of PV manufacturing with process step resolution, while considering the impact of corporate financing and operations with a calculation of the minimum selling price that provides an adequate rate of return. We quantify the conditions of China's historical PV price advantage, examine if these conditions can be reproduced elsewhere, and evaluate the role of innovative technology in altering regional competitive advantage. We find that the historical price advantage of a China-based factory relative to a U.S.-based factory is not driven by country-specific advantages, but instead by scale and supply-chain development. Looking forward, we calculate that

Inhoud

- Bouwstenen en ingrediënten
 - veel keus en meer onderweg
- Hoge ambities; kansen en uitdagingen
 - van niche naar impact: wat betekent dat en wat is ervoor nodig?
 - drievoudige integratie
 - wat kan de chemische industrie ermee?
- En dit is nog maar het begin...
 - de toekomst in vogelvlucht

De toekomst in vogelvlucht

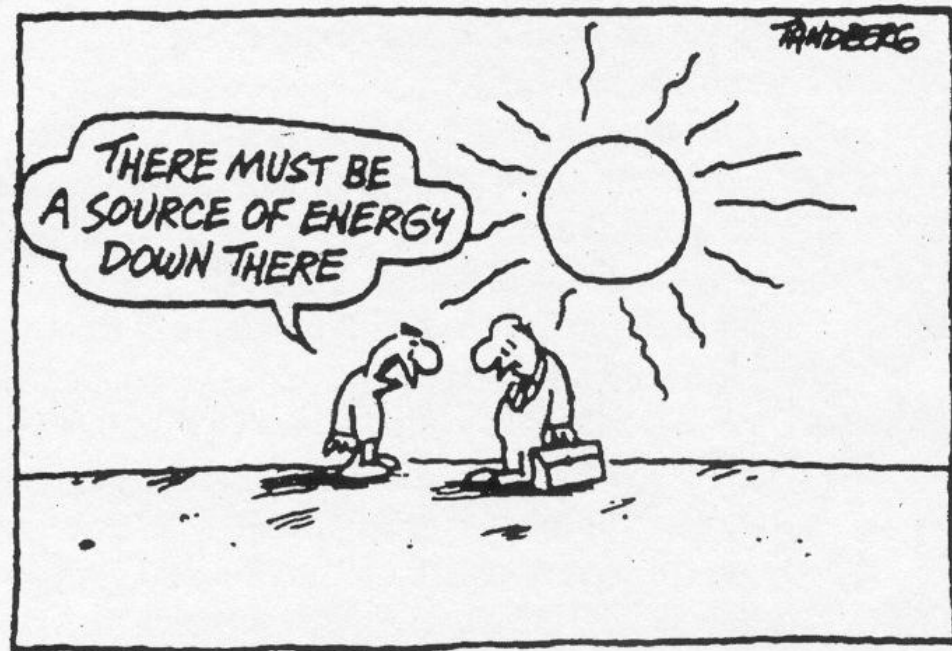
(afgeronde getallen)

	Nu	2020	Langetermijn potentieel
Paneelrendement (%)	7~22	10~25	20~50
Turn-key systeemprijs (€/Wp)	1~3	0.8~2	0.5~1
Opwekkosten NL (LCoE, €/kWh)	0.10~0.30	0.08~0.20	0.05~0.10
Energieterugverdientijd NL (jr)	1~2	0.5~1	0.25~0.5
Opgesteld vermogen wereld (TWp)	0.1	0.5~1	10-50

De toekomst in vogelvlucht

(afgeronde getallen)

	Nu	2020	Langetermijn potentieel
Paneelrendement (%)			x 2~3
Turn-key systeemprijs (€/Wp)			
Opwekkosten NL (LCoE, €/kWh)			x 1/2~1/3
Energieterugverdientijd NL (jr)			
Opgesteld vermogen wereld (TWp)			x 100+





Dank voor uw aandacht!

Stad van de Zon, Gemeente Heerhugowaard, NL (foto KuiperCompagnons)