

Fotovoltaïsche conversie (zonnestroom): van niche naar impact

Wim Sinke

ECN Solar Energy, UvA, AMOLF, TKI Urban Energy
en European Technology and Innovation Platform for Photovoltaics

NNV Symposium Energie en Klimaat

Uithof, Utrecht

9 juni 2017

Inhoud

- Zonnestroom: uitdaging en kans
- Technologieën
- Kosten en markt
- One size (no longer) fits all
- Een blik in de toekomst

Inhoud

- Zonnestroom: uitdaging en kans
- Technologieën
- Kosten en markt
- One size (no longer) fits all
- Een blik in de toekomst

Zonnestroom: van alle markten thuis

Volume met en door diversiteit



Zonnestroom in Nederland: *Trendzettende toepassingen*



Floatovoltaics (Sunfloat, Tempress en ECN)

Artist impression A37
(Studio Marco Vermeulen)



Op zoek naar nieuw mogelijkheden

Mondiale ontwikkeling zonnestroom

Wat is bereikt?



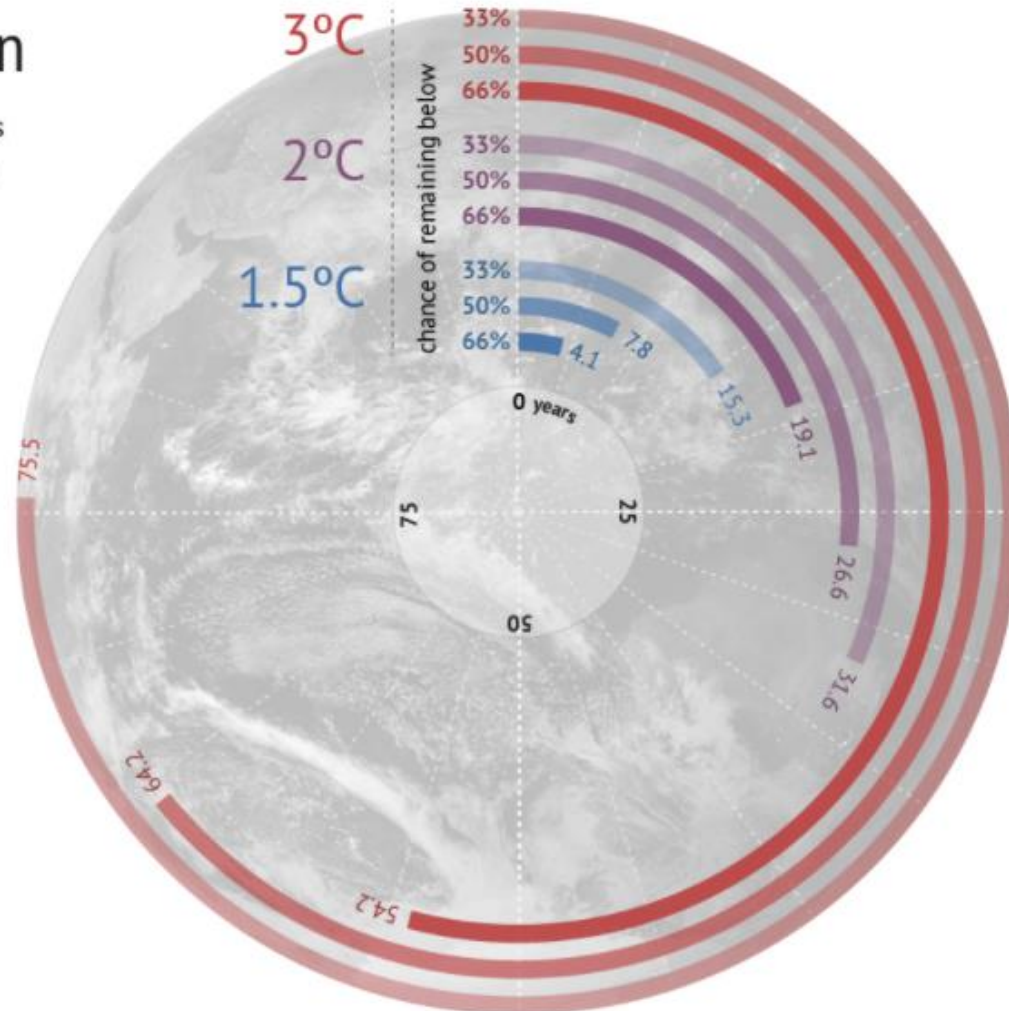
1980 ~ vandaag:

- Rendement zonlicht → elektriciteit: 2x ↑
- Systeemprijzen: 50x ↓
- Jaarlijkse markt & totaal geïnstalleerd vermogen: 10.000x ↑
- Bijdrage aan elektriciteitsverbruik: 0% → 2%
- Bewijs van betrouwbaarheid en levensduur
- Keuze aan technologieën en producten

“Bold thinking” is nodig

Carbon Countdown

As of the start of 2017, how many years of current emissions would use up the IPCC's carbon budgets for different levels of warming?



CarbonBrief
CLEAR ON CLIMATE

Photo: NASA Goddard Space Flight Center
Stopwatch icon: T-Kot/Shutterstock.com

Mondiale ontwikkeling zonnestroom

Wat staat ons nog te doen?



vandaag ~ z.s.m.:

- Rendement zonlicht → elektriciteit: $\geq 2x \uparrow$
- Systeemprijzen: $\geq 3x \downarrow$
- Totaal geïnstalleerd vermogen: $> 100x \uparrow$
- Bijdrage aan ~~electriciteits~~ energieverbruik $> 20\%$ (50%?)
- Betrouwbaarheid, levensduur en duurzaamheid bij zeer lage kosten
- Technologieën en oplossingen voor ieder gebruik

Inhoud

- Zonnestroom: uitdaging en kans
- Technologieën
- Kosten en markt
- One size (no longer) fits all
- Een blik in de toekomst

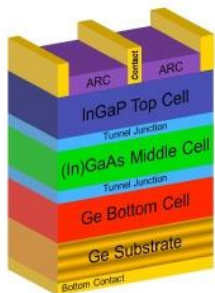
Wat is er te koop?



Standaardgebruik:
kristallijn silicium
 (mondiaal marktaandeel >90%)
 Modulerendementen 16 ~ 22%



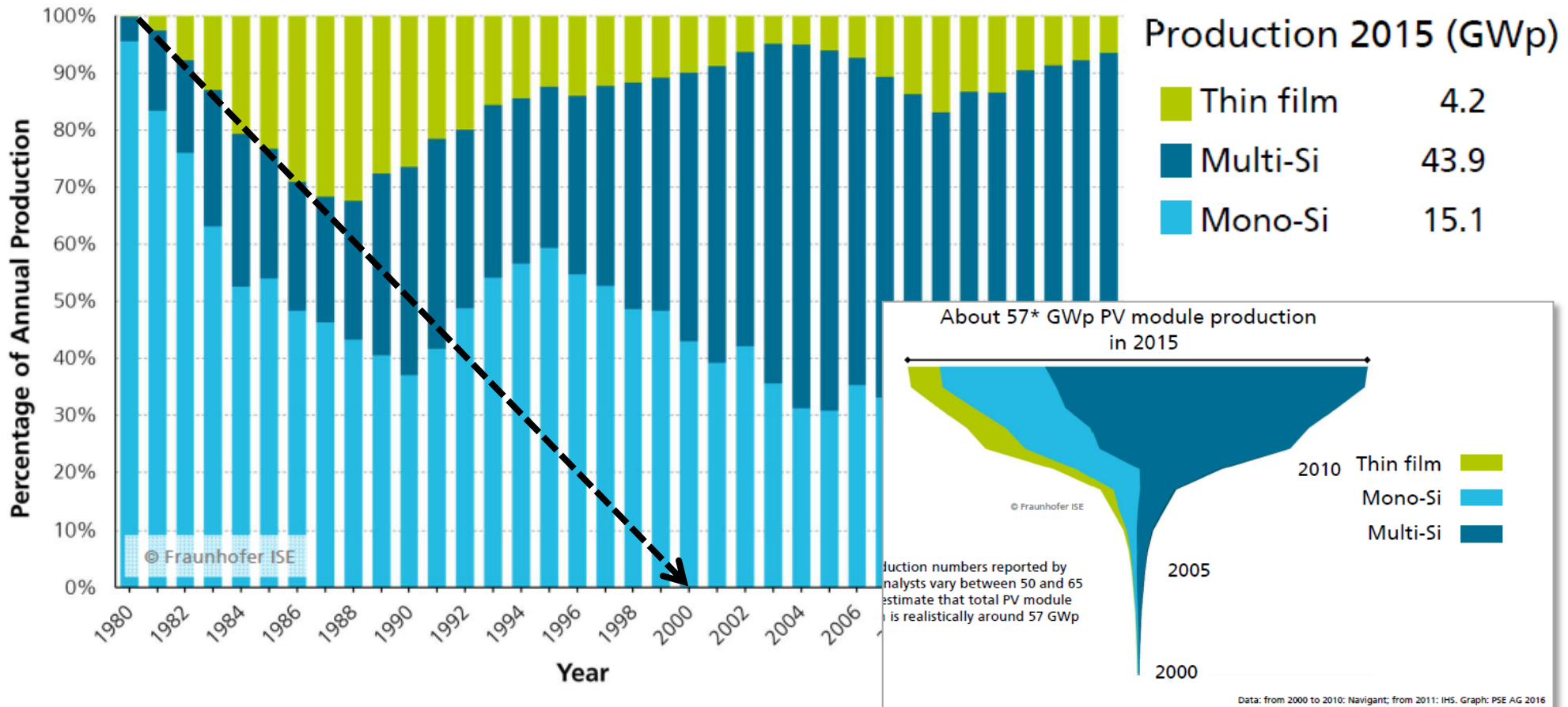
Standaardgebruik:
dunne films
 (mondiaal marktaandeel <10%)
 Modulerendementen 8 ~ 17%



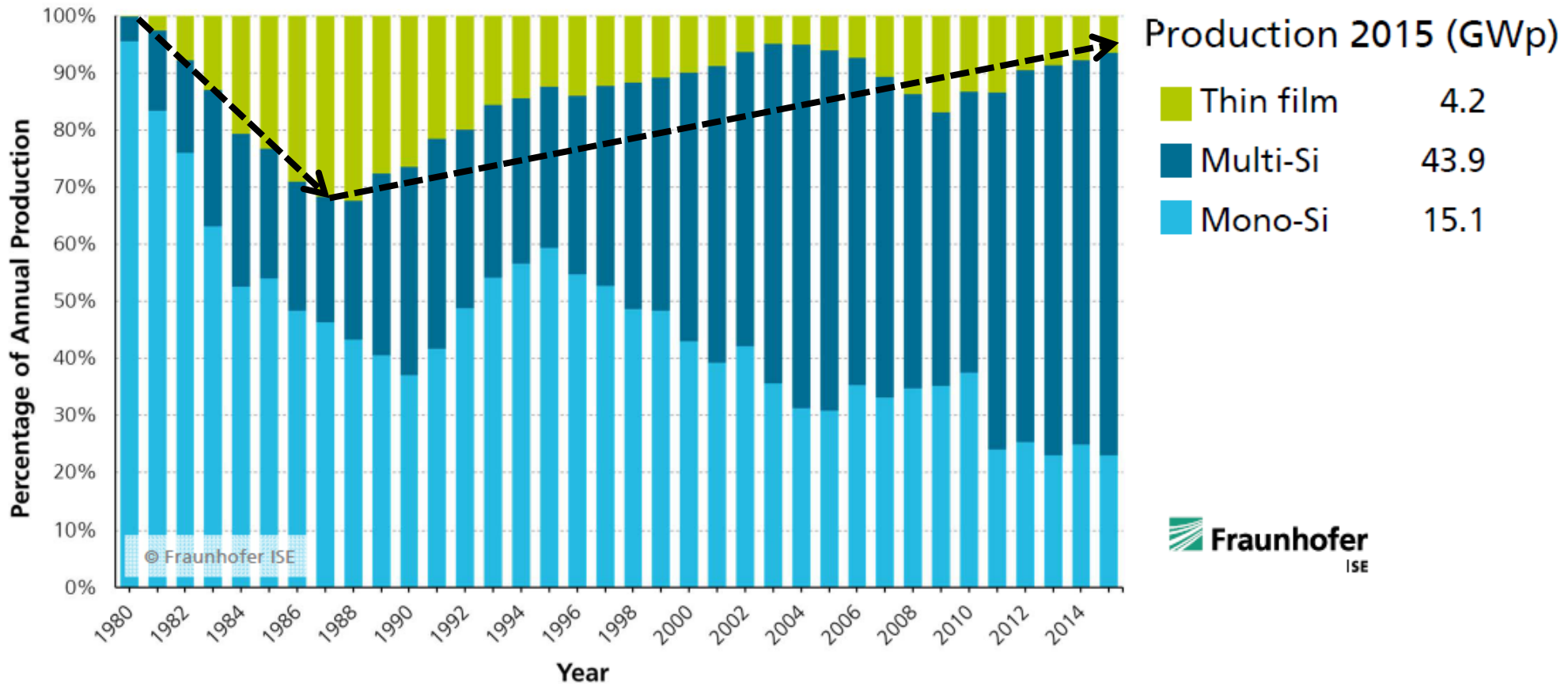
Concentratorgebruik (zonvolgend)
 (mondiaal marktaandeel <1%)

Modulerendementen 25 ~ 35%

Zonnestroomtechnologieën in de markt

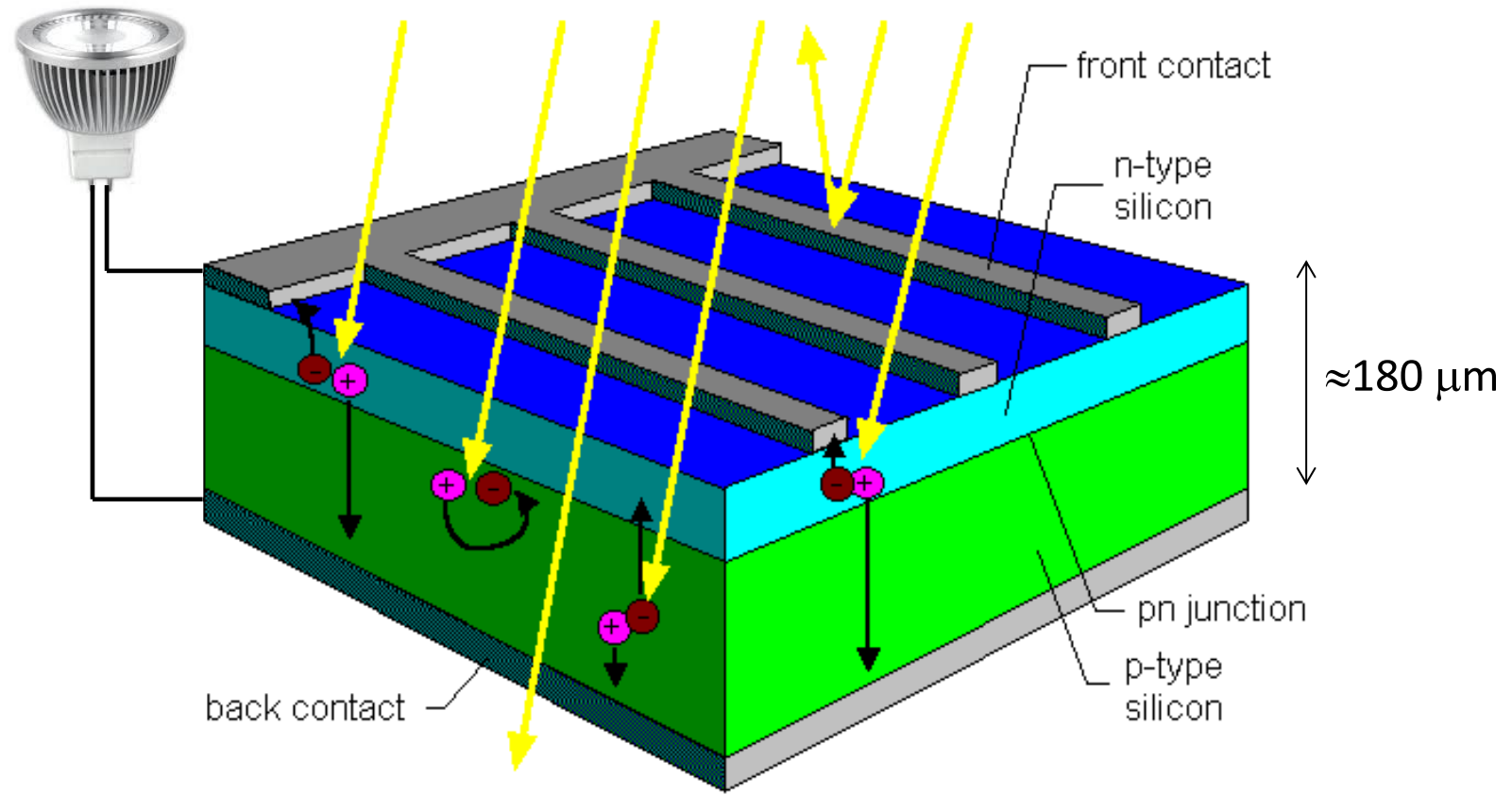


Zonnestroomtechnologie in de markt: silicium al ruim 50 jaar marktleider

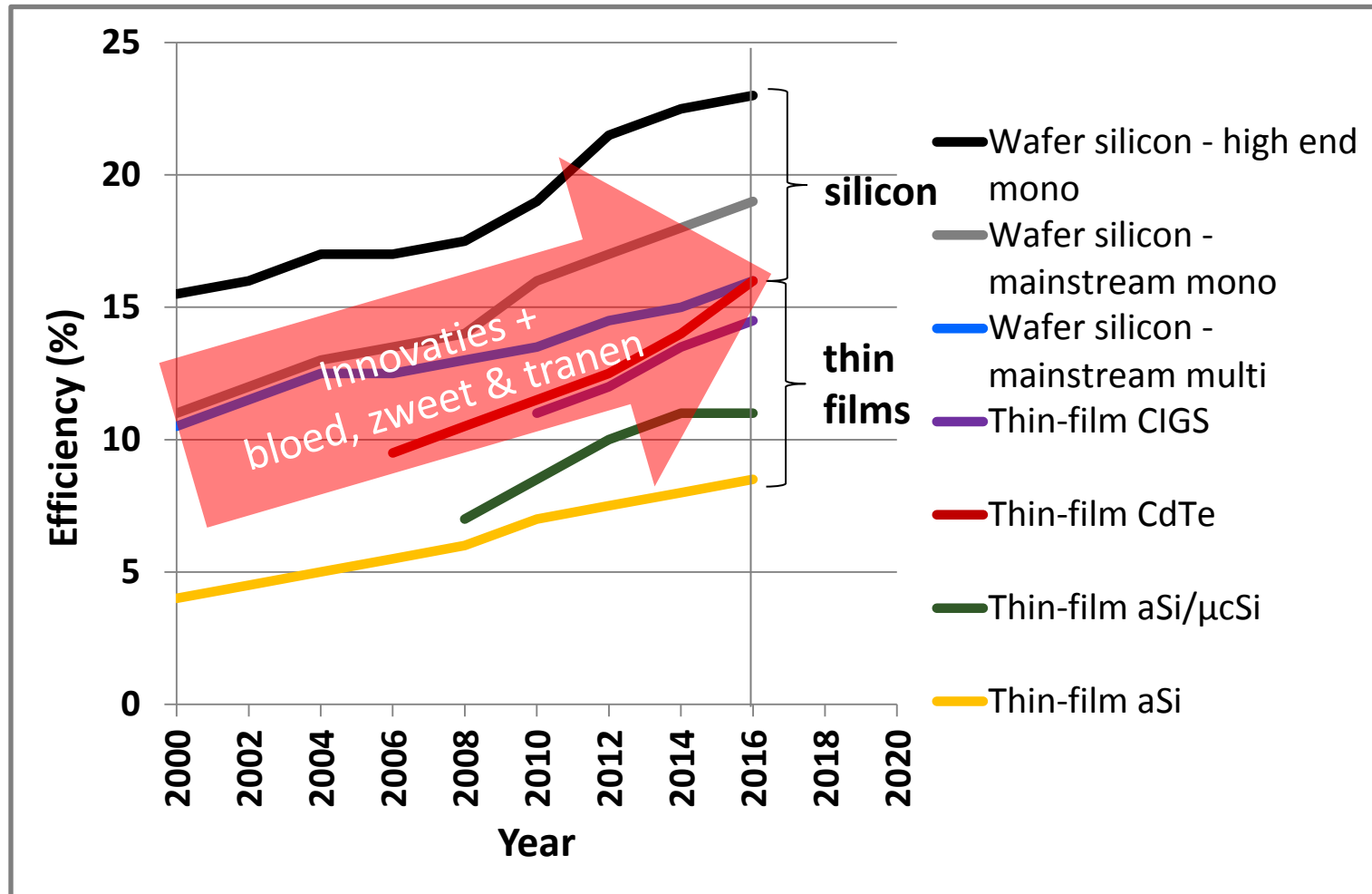


Silicium zonnecel:

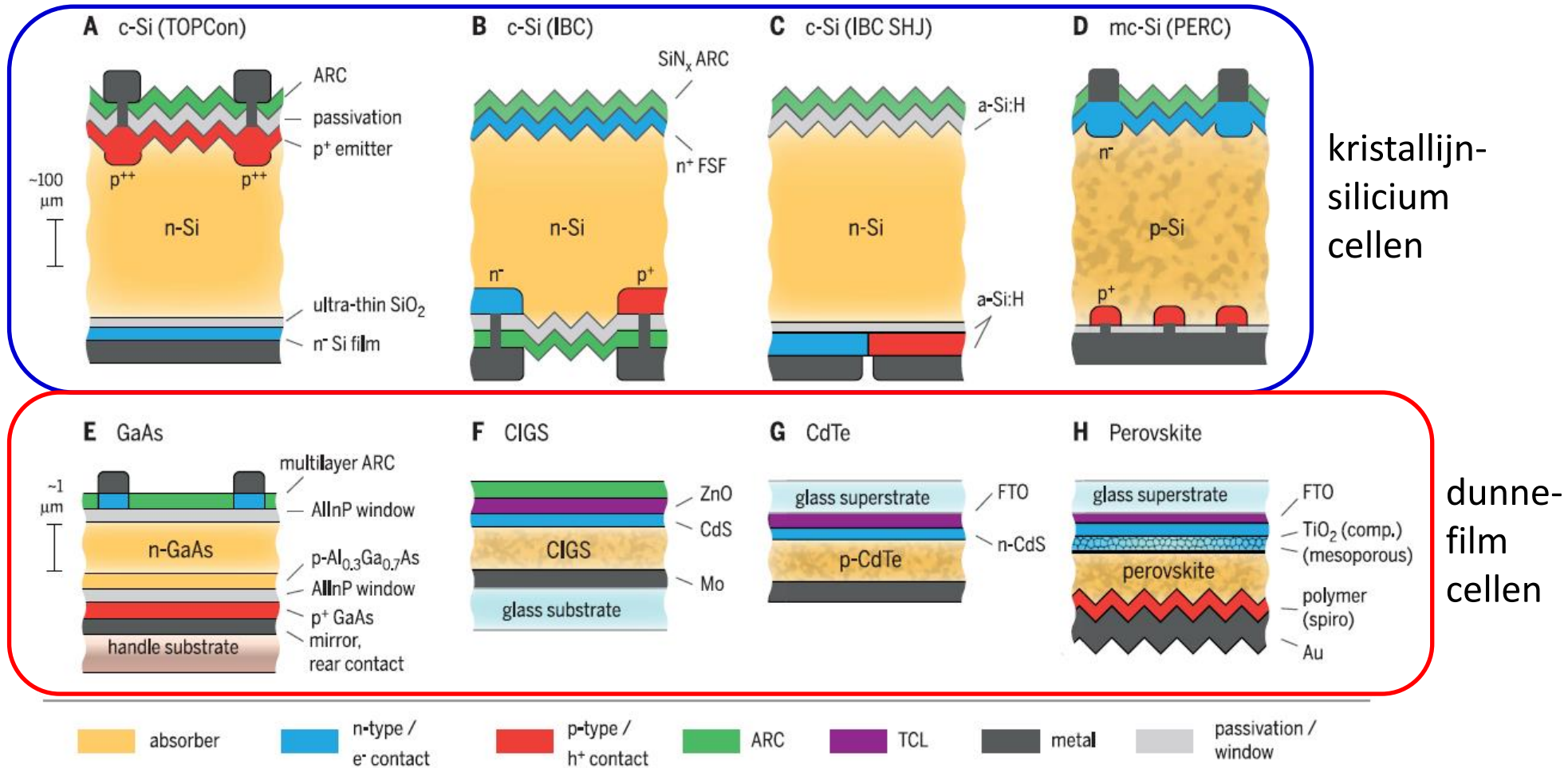
eenvoud en volume zijn moeilijk te verslaan



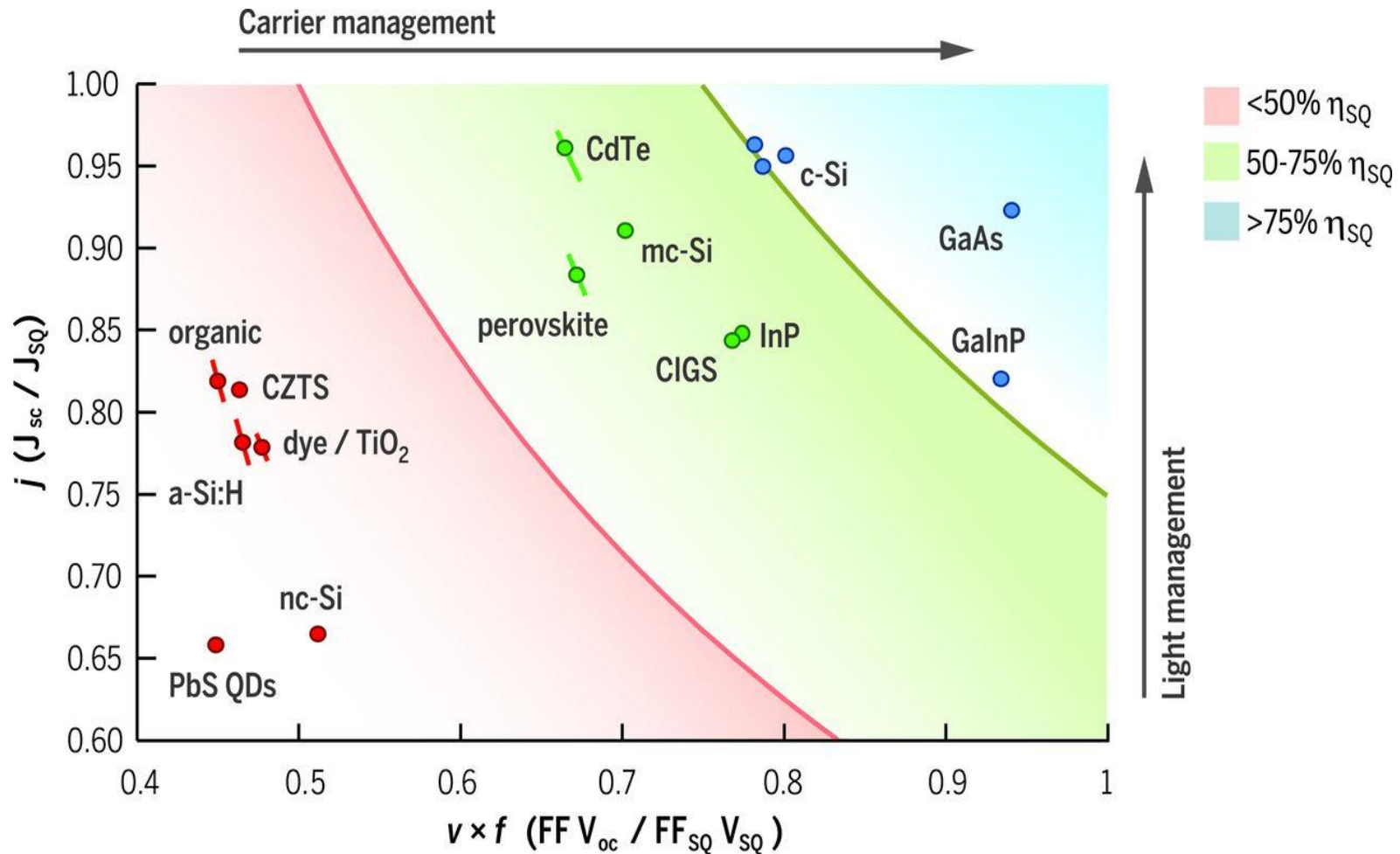
Rendement commerciële panelen: *geleidelijke maar robuuste toename*



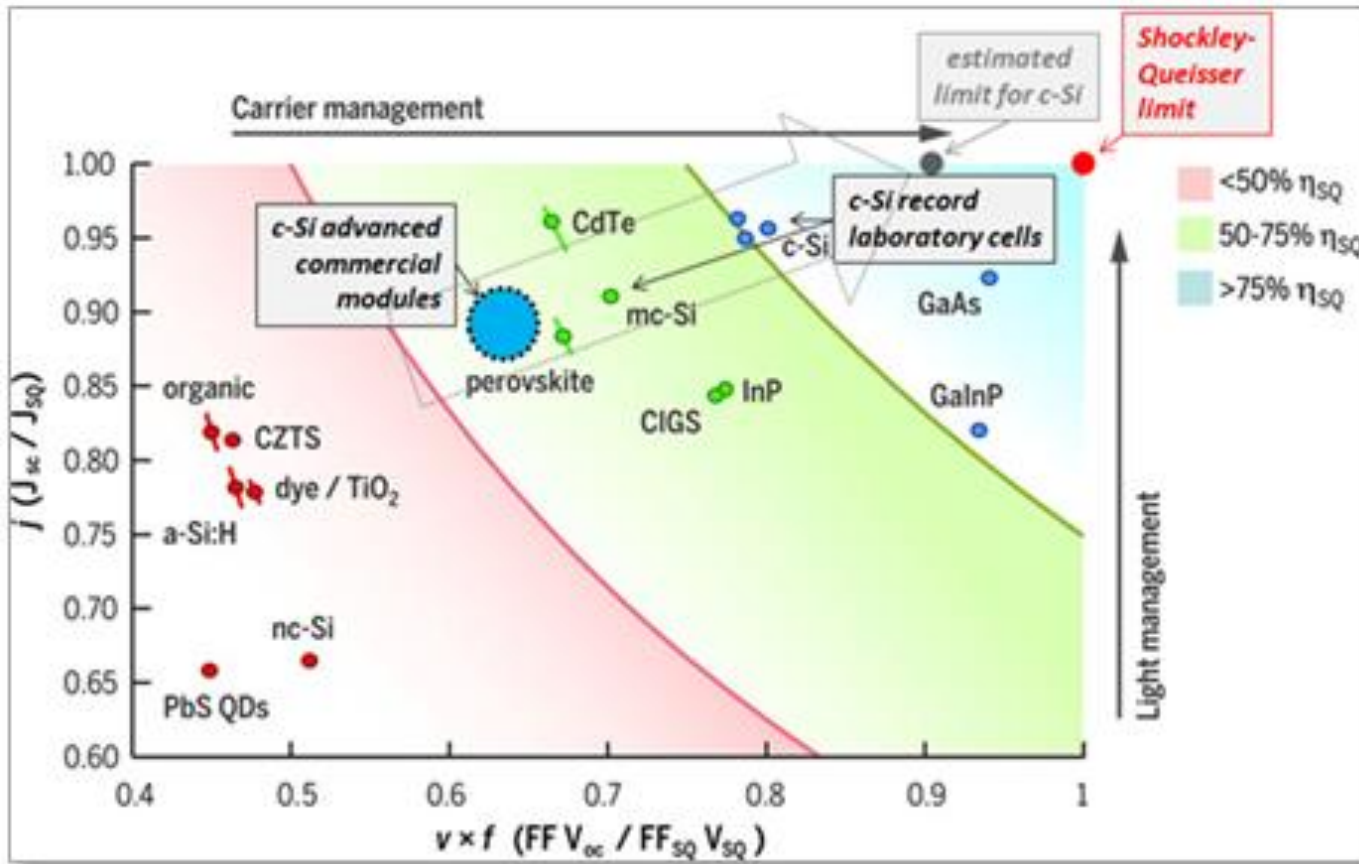
Recordcellen: *complexe architecturen om verliezen te minimaliseren*



Streven naar perfectie: *recordcellen*

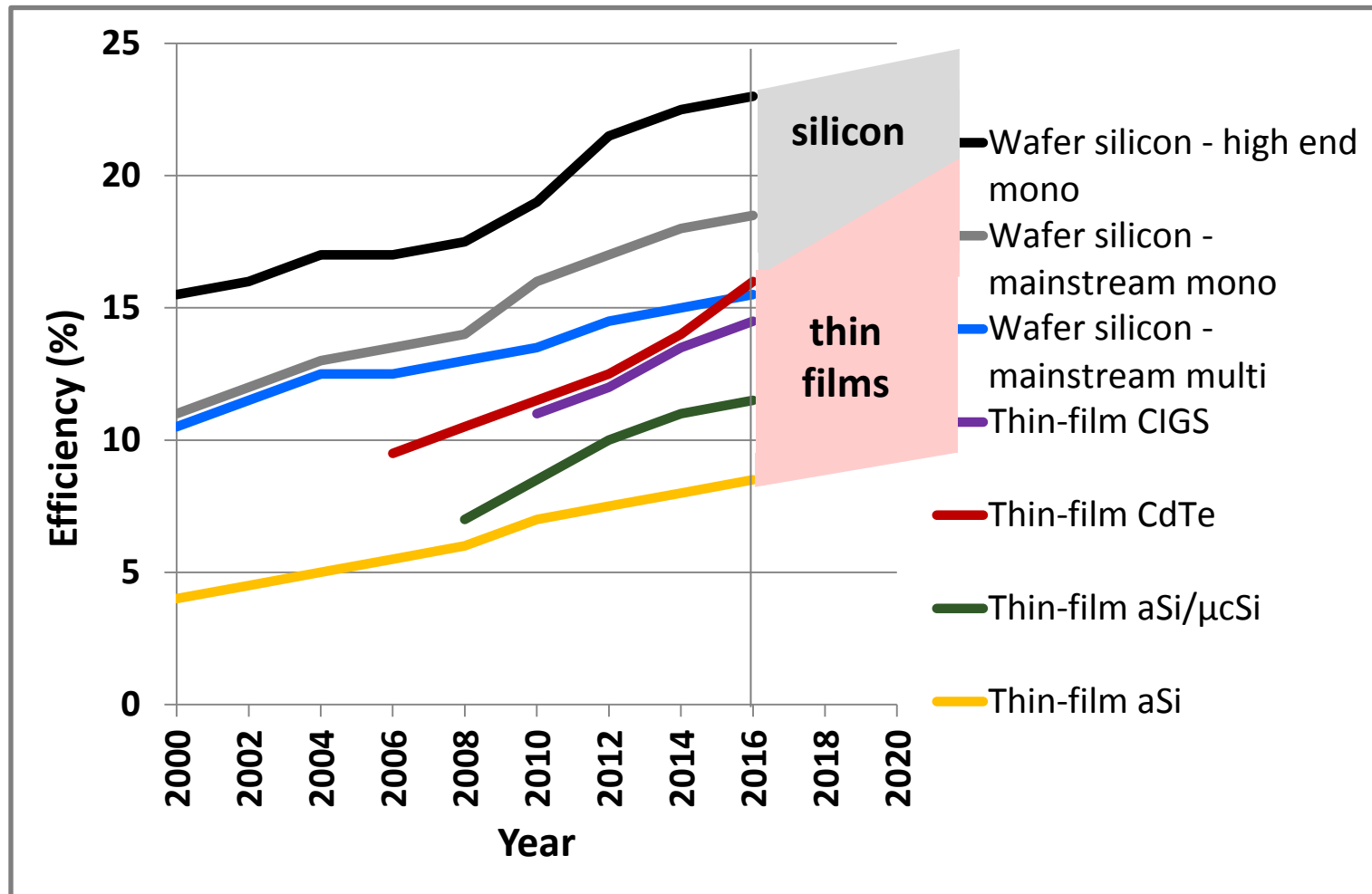


Streven naar perfectie: *commerciële modules in perspectief*



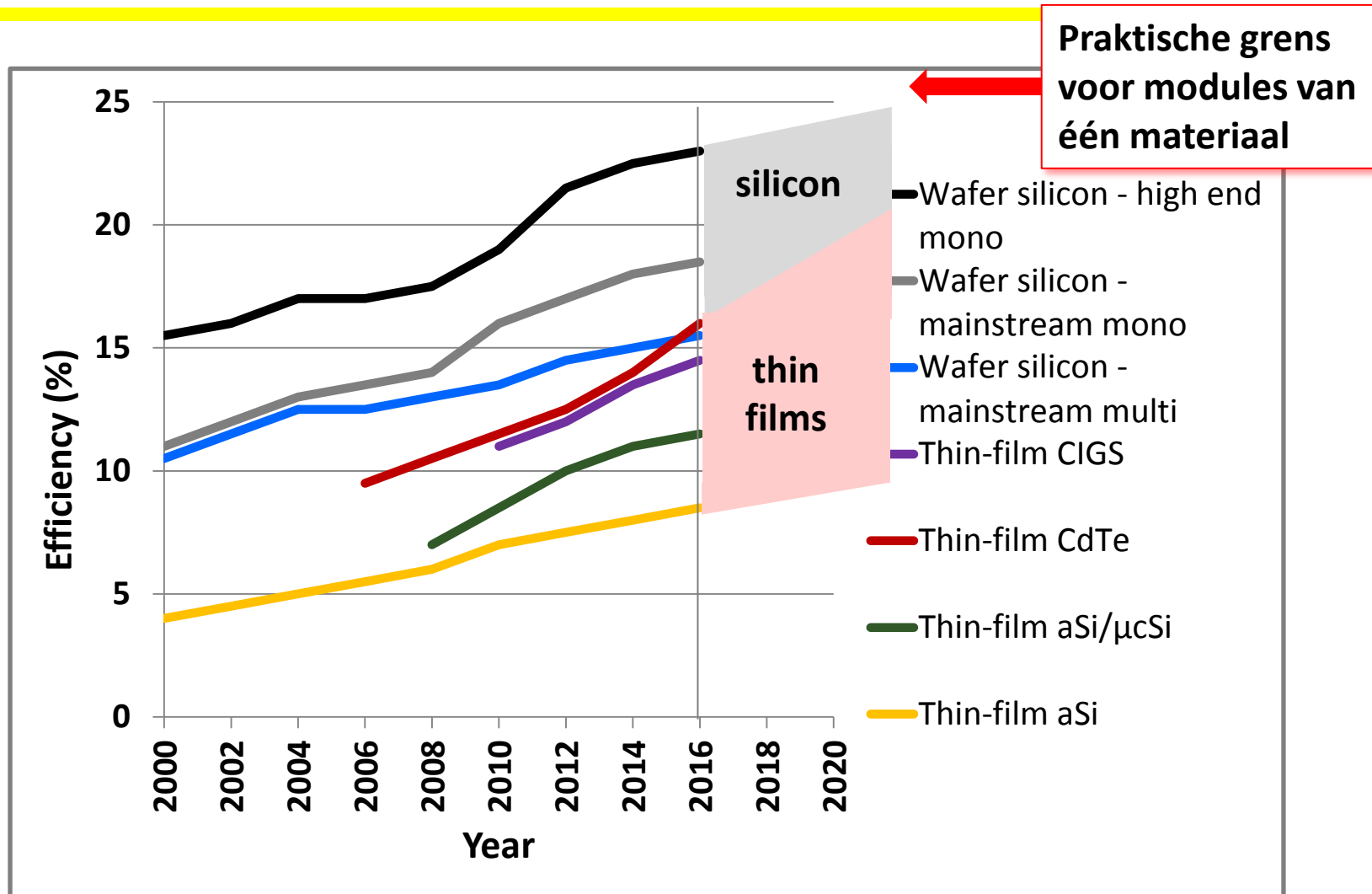
Naar hogere rendementen

Eerste stap: versmallen van de lab/fab kloof



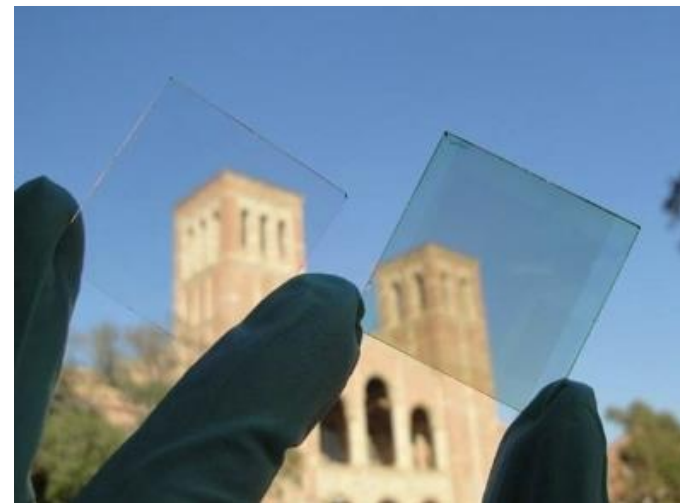
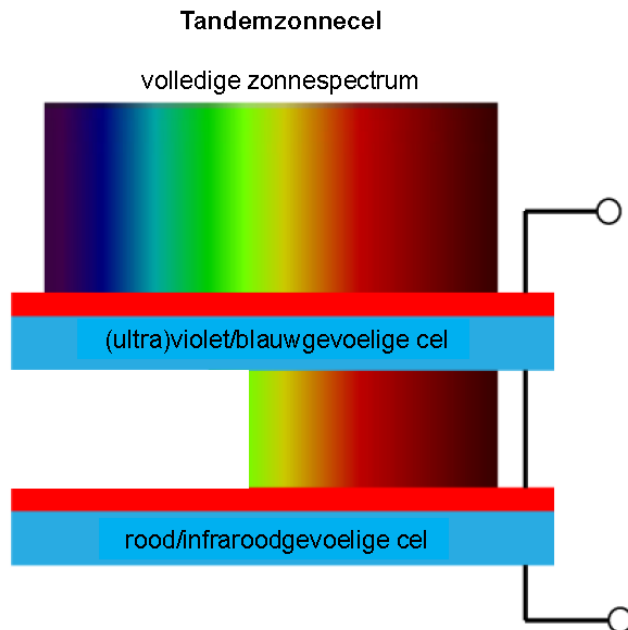
Naar hogere rendementen

Eerste stap: versmallen van de lab/fab kloof



Waar wordt aan gewerkt?

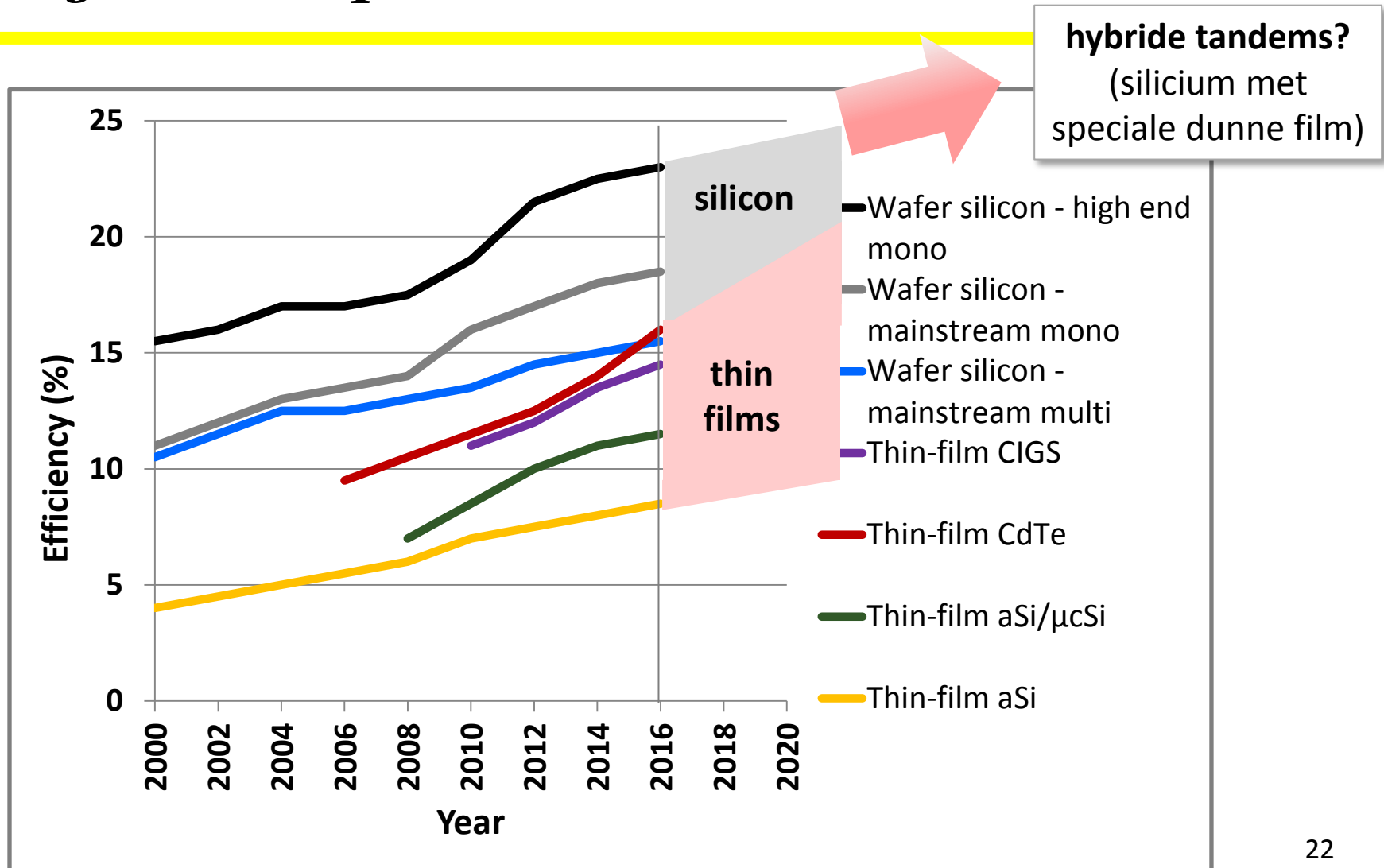
- Hoog-rendementconcepten
- Lage-kostenconcepten
& technologieën voor nieuwe toepassingen



UCLA

Naar hogere rendementen

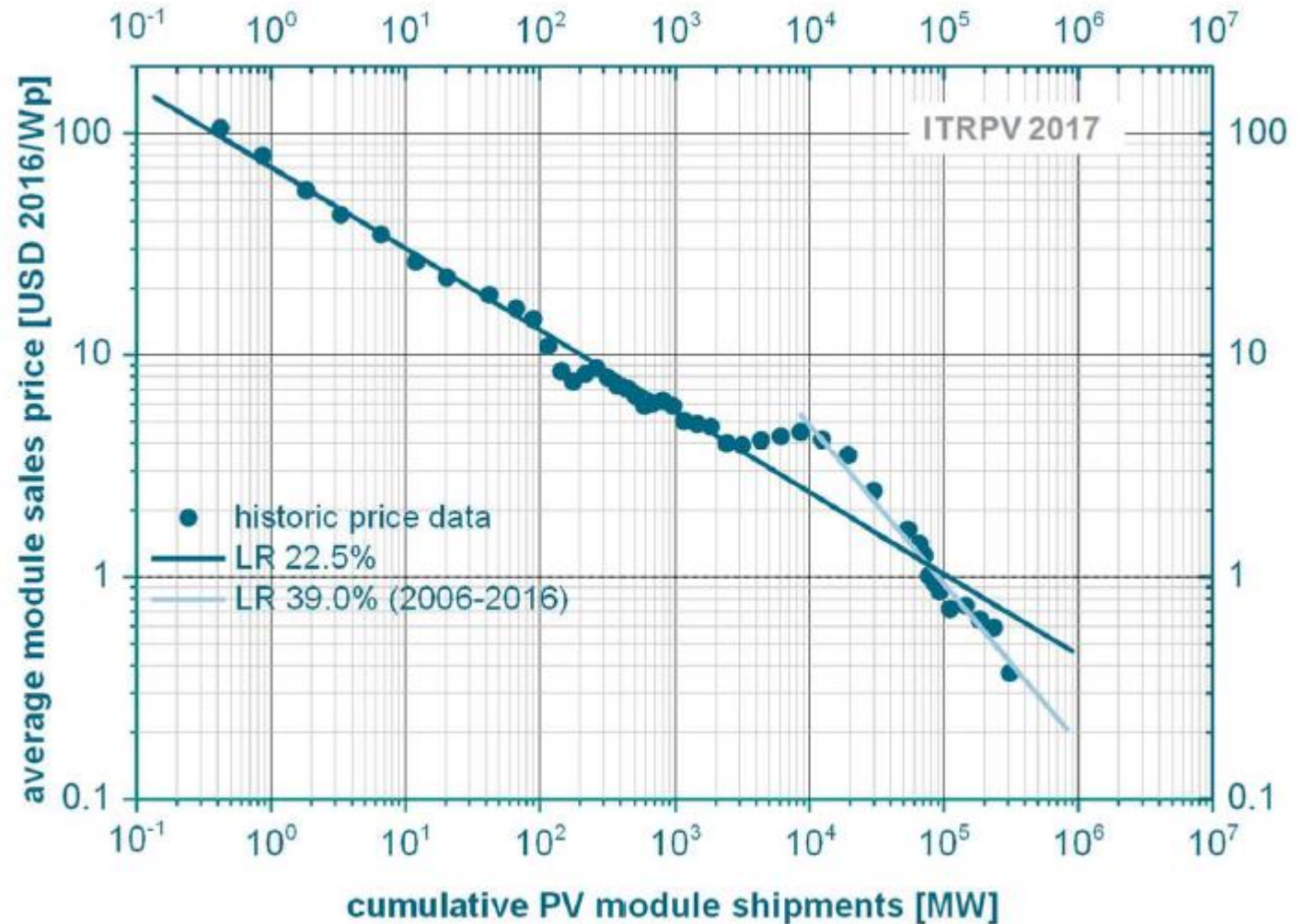
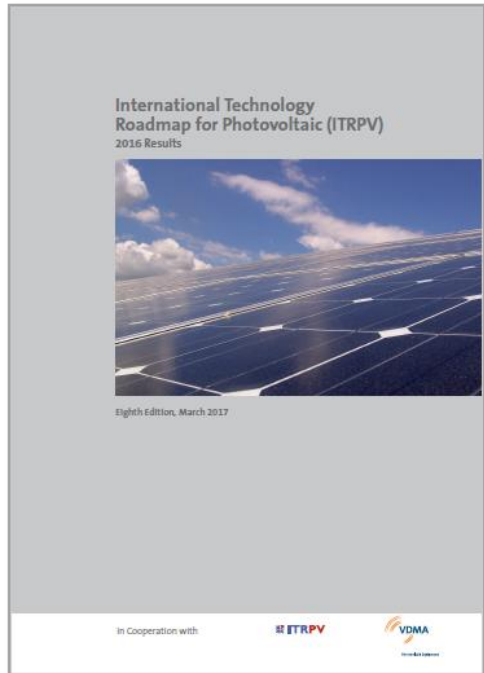
Volgende stap: tandems?



Inhoud

- Zonnestroom: uitdaging en kans
- Technologieën
- Kosten en markt
- One size (no longer) fits all
- Een blik in de toekomst

Leercurve zonnepanelen: *effecten van volume en innovatie*



“Game-changing” kostenverlaging



Bloomberg Markets Tech Pursuits Politics Opinion Businessweek Sign In
Subscribe

Solar Could Beat Coal to Become the Cheapest Power on Earth

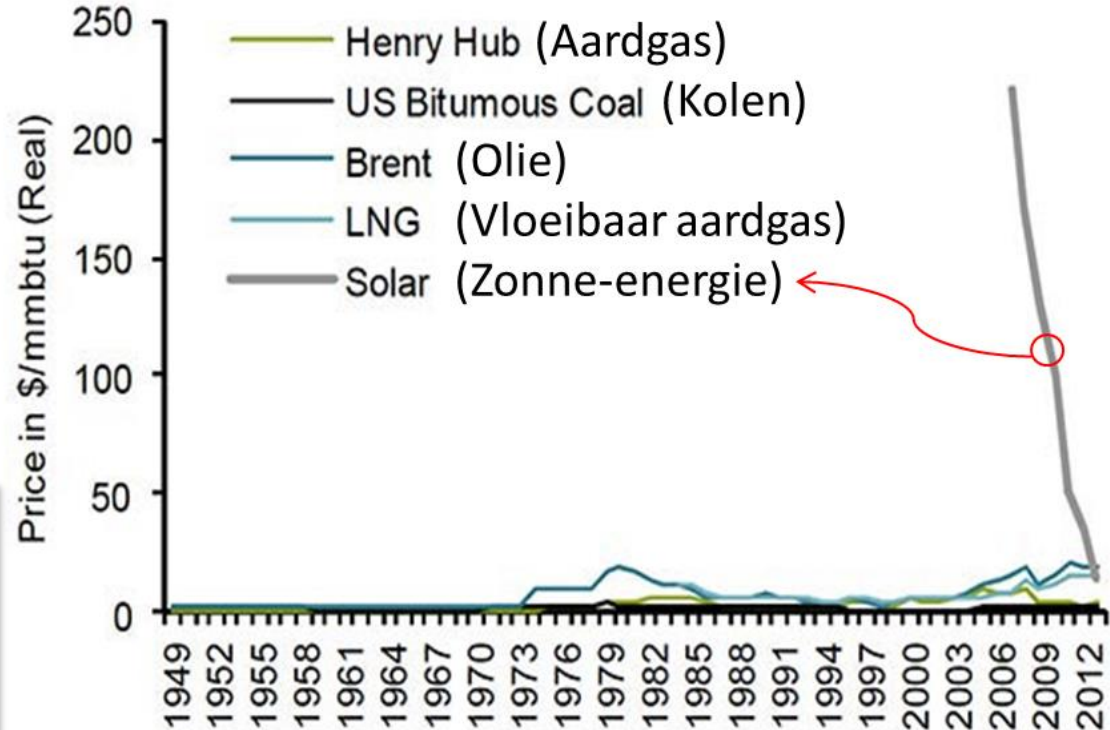
by **Jessica Shankleman** and **Chris Martin**
January 3, 2017, 1:00 AM GMT+1 *Updated on* January 3, 2017, 1:16 PM GMT+1

- Global average solar cost may fall below coal within 10 years
- Countries from Saudi Arabia to Mexico planning auctions

**FINANCE 101
FROM
BLOOMBERG.**

“Game-changing” kostenverlaging

Welcome to the Terrordome...



Lowest ever solar bids submitted in Abu Dhabi

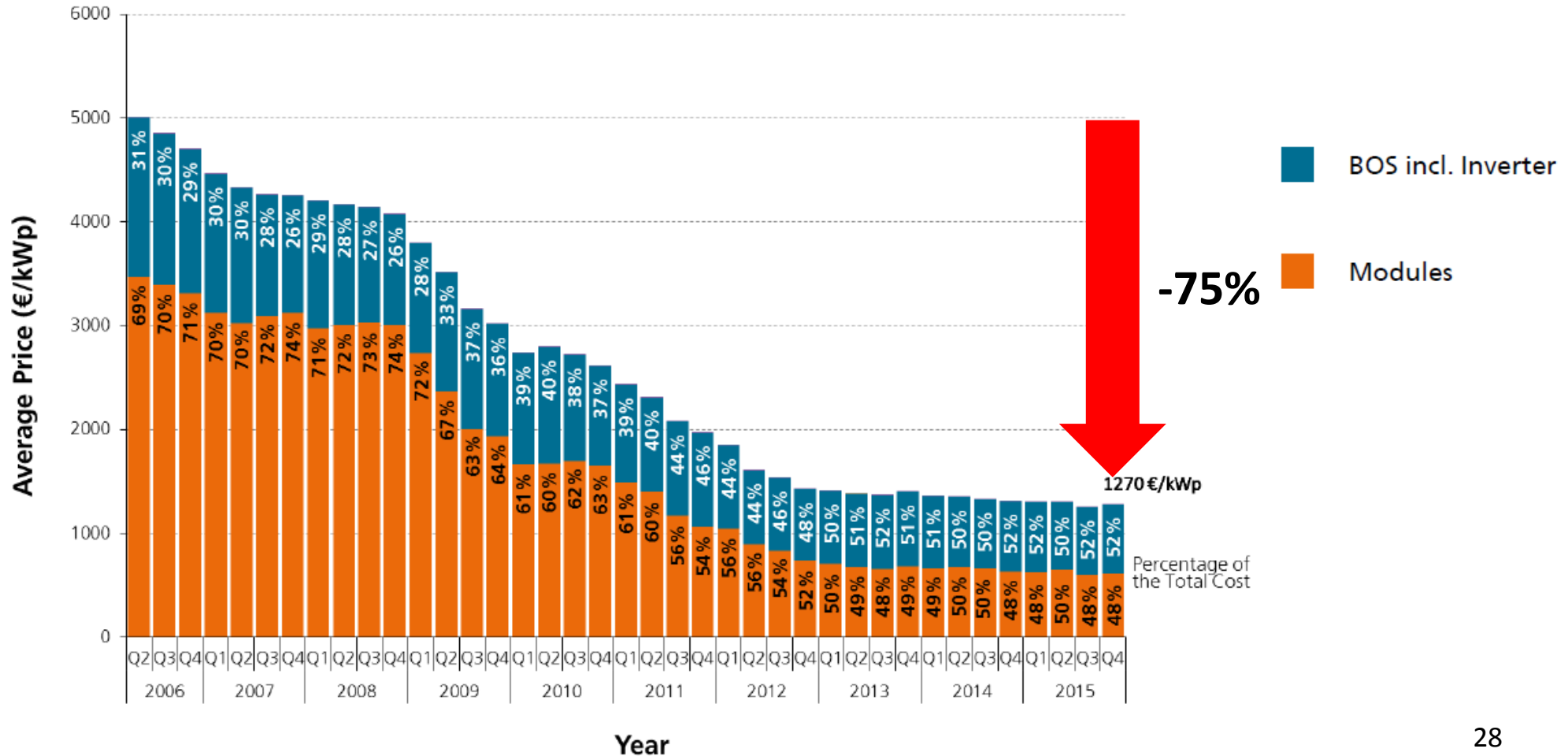
By Tom Kenning | Sep 20, 2016 11:43 AM BST | 0

Share    



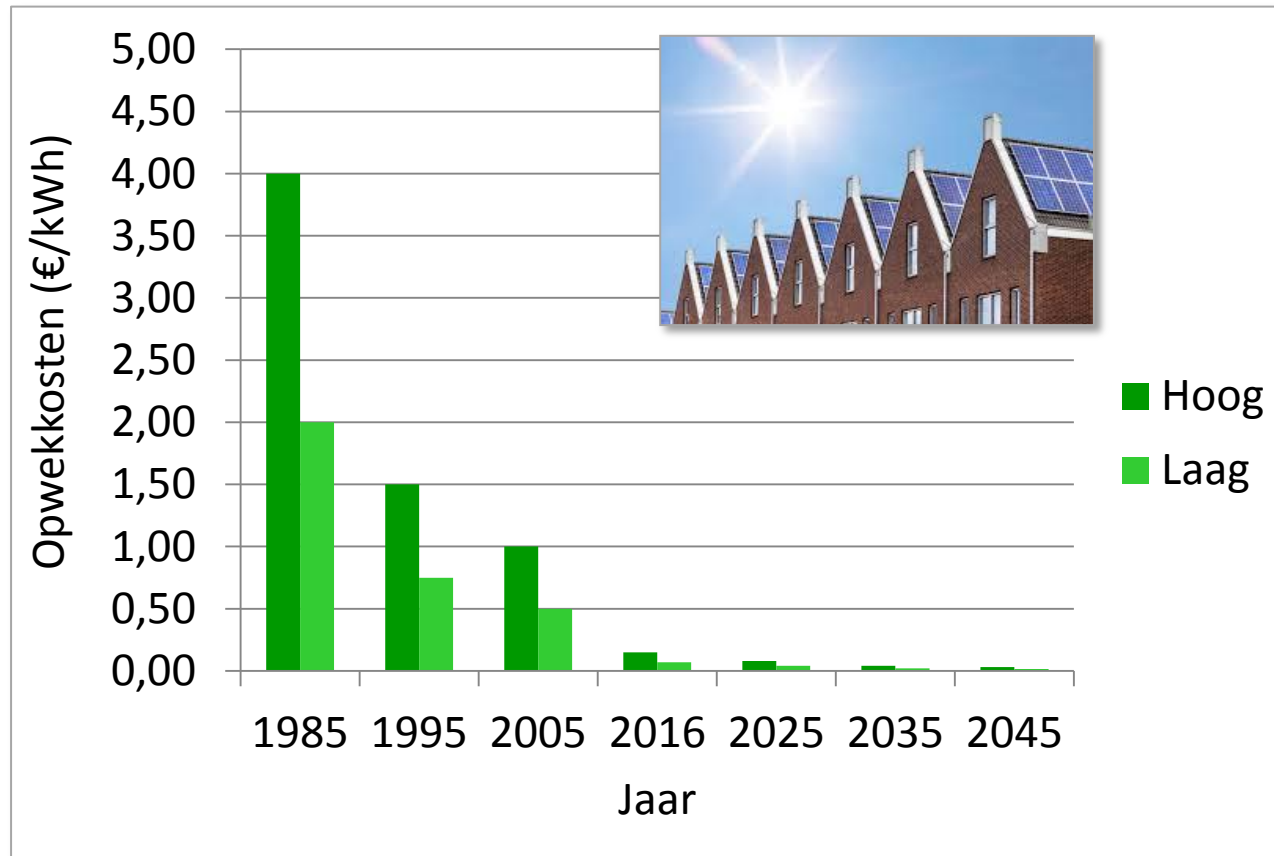


Prijzontwikkeling zonnestroomdaksystemen (Duitsland)



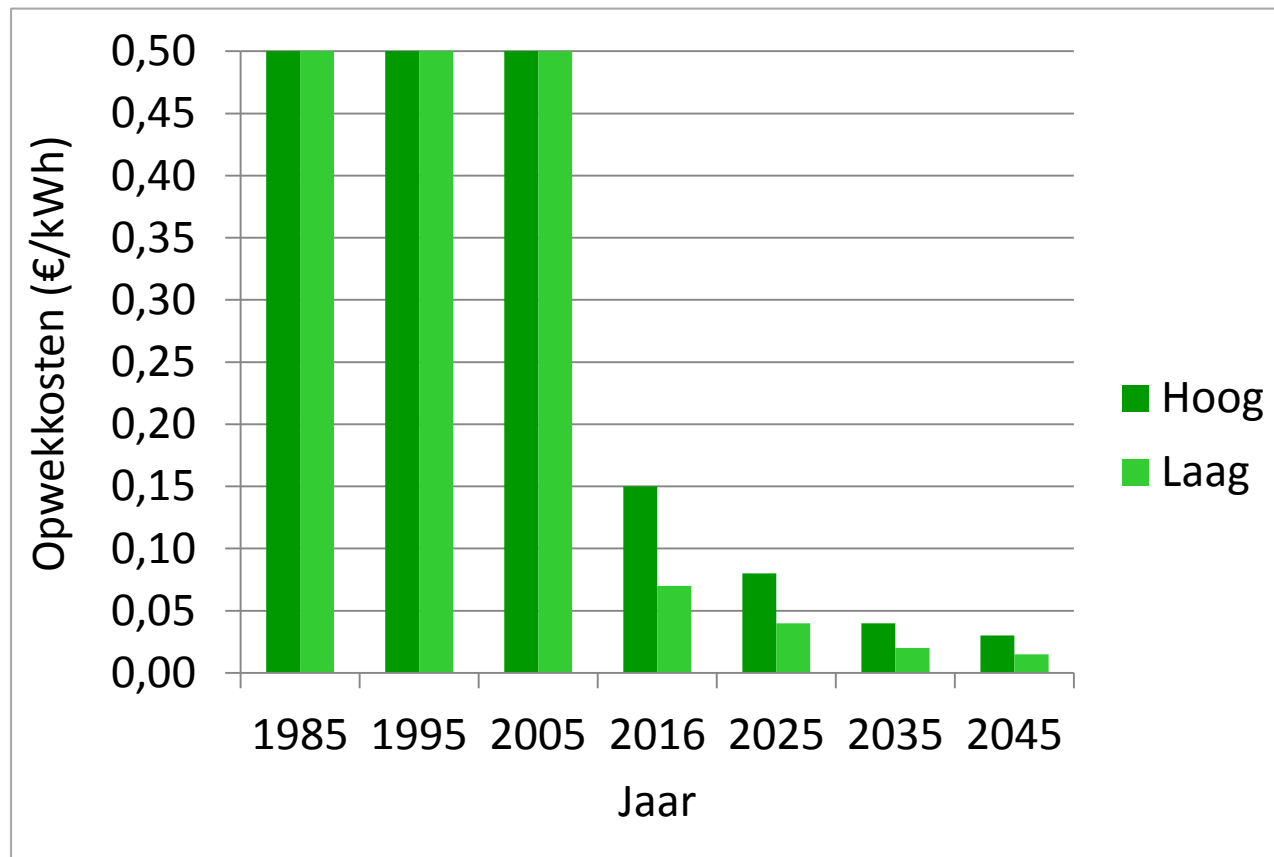
Indicatieve ontwikkeling opwekkosten zonnestroom (Nederland)

Diverse systeemgroottes en –typen en financieringsmodellen

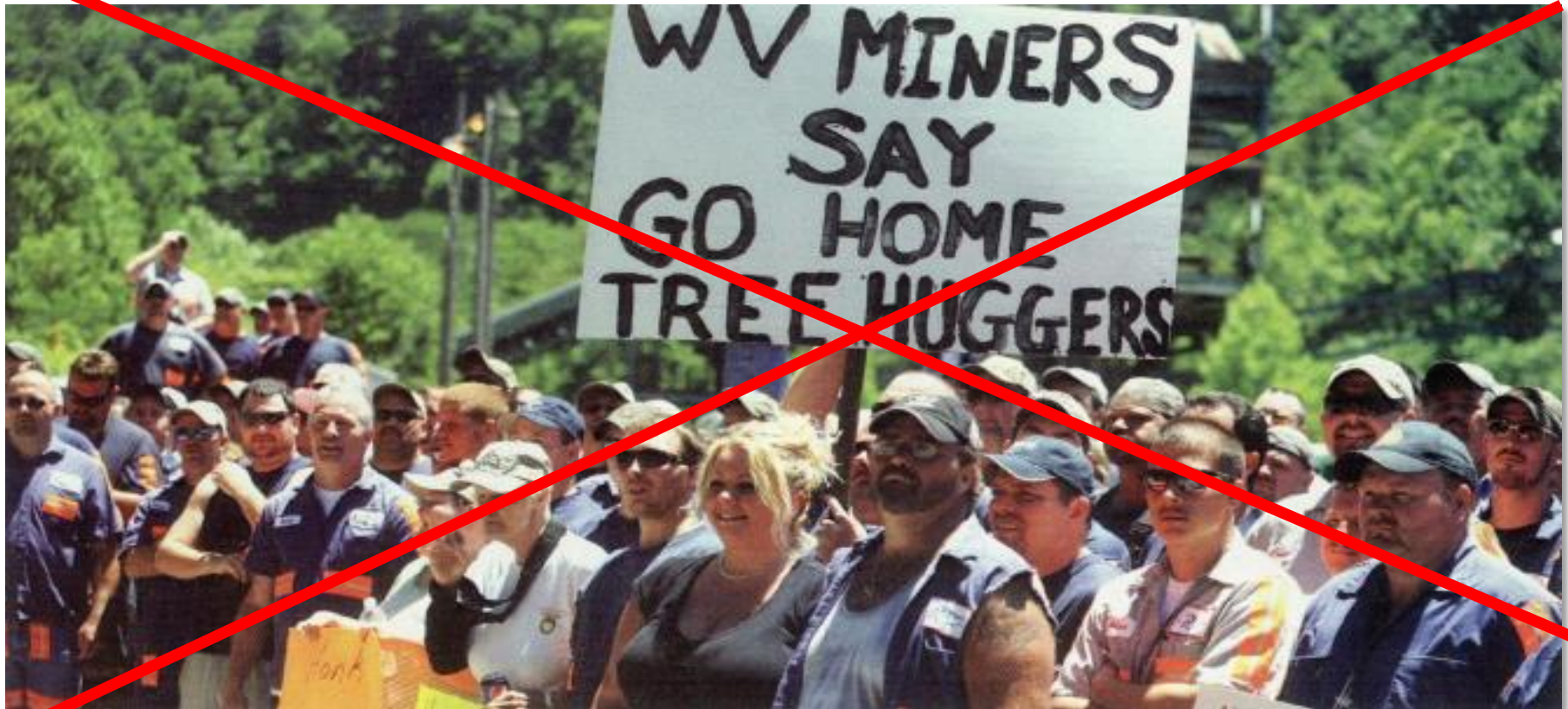


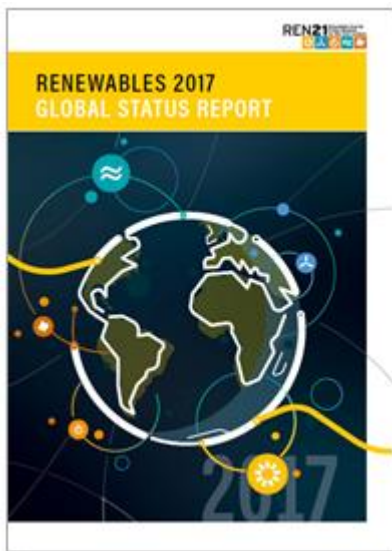
Indicatieve ontwikkeling opwekkosten zonnestroom (Nederland)

Diverse systeemgroottes en –typen en financieringsmodellen



Verleden of toekomst omarmen?



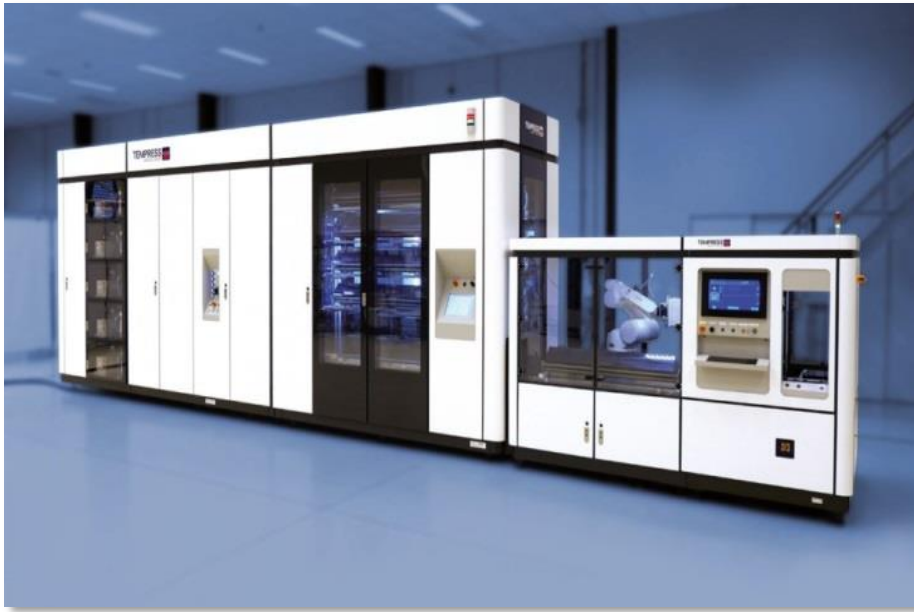


Banen in hernieuwbare energie

Estimated Direct and Indirect Jobs in Renewable Energy, by Country and Technology

	World	China	Brazil	United States	India	Japan	Bangladesh	European Union ⁱ		
								Germany	France	Rest of EU
THOUSAND JOBS										
Solar PV	3,095	1,962	4	241.9	121	302	140	31.6	16	67
Liquid biofuels	1,724	51	783 ^c	283.7 ^f	35	3		22.8	22	48
Wind power	1,155	509	32.4	102.5	60.5	5	0.33	142.9	22	165
Solar heating/cooling	828	690	43.4 ^d	13	13.8	0.7		9.9	5.5	20
Solid biomass ^{a, g}	723	180		79.7 ^e	58			45.4	50	238
Biogas	333	145		7	85		15	45	4.4	15
Hydropower (small-scale) ^b	211	95	11.5	9.3 ^l	12		5	6.7	4	35
Geothermal energy ^a	182			35		2		17.3	37.5	62
CSP	23	11		5.2				0.7		3
Total	8,305^h	3,643	875.9	777.3	385	313	162.3	334ⁱ	162	667^k
Hydropower (large-scale) ^b	1,519	312	183	28	236	18		6	9	46
Total (including large-scale hydropower)	9,824	3,955	1,058	806	621	330	162	340	171	714

Zonnepanelen wereldwijd: *Dutch technology inside* ☀



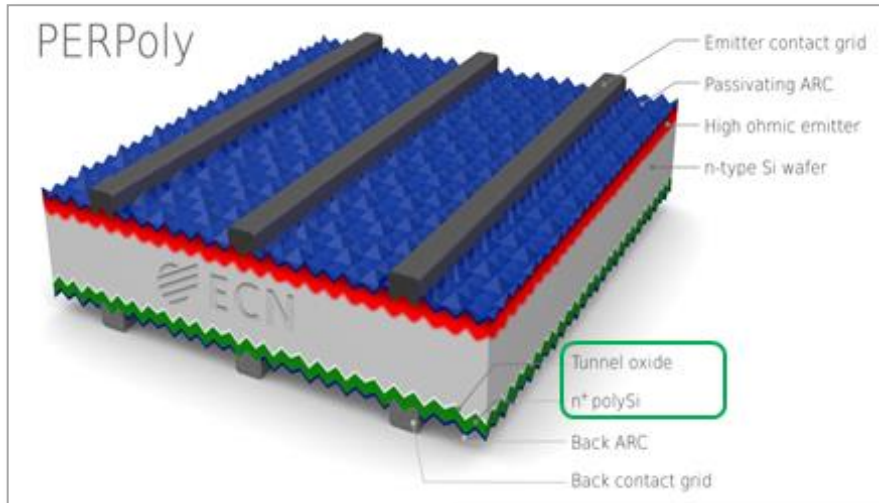
Tempress



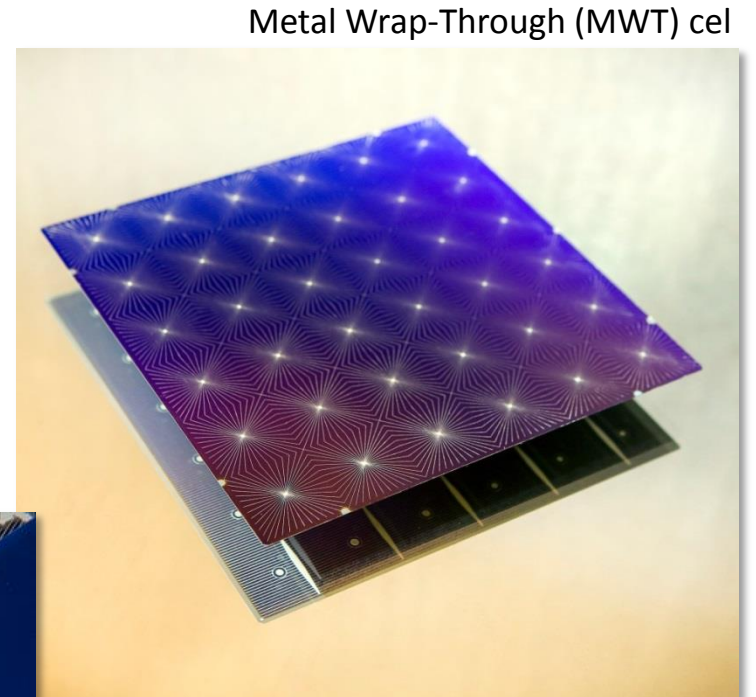
Levitech

Nederlandse productietechnologie voor de mondiale PV-sector (voorbeelden)

Nieuwe technologie voor de wereldmarkt: *NL industrie samen met ECN*

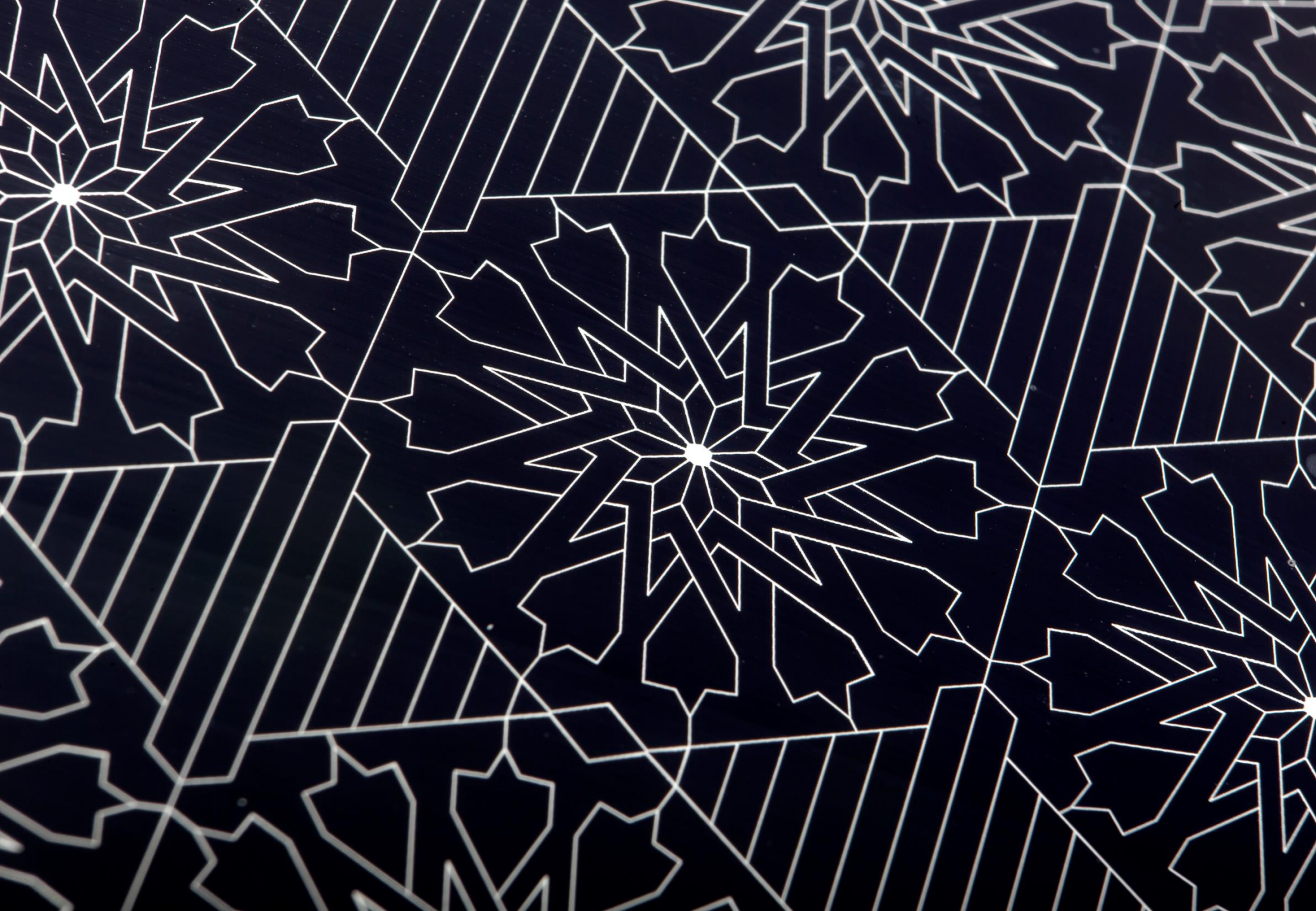


Tweezijdig werkende cel



Metal Wrap-Through (MWT) cel

Interdigitated Back-Contact (IBC) cel

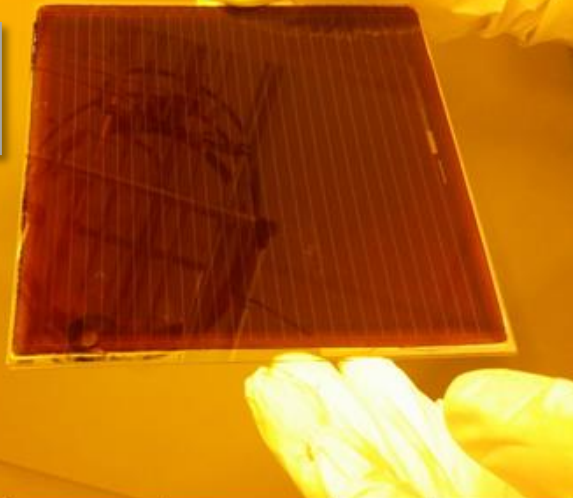


Solliance: perovskietcellen en -modules: voor enkel en tandemgebruik

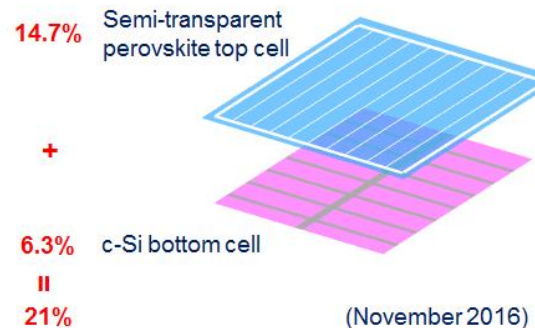
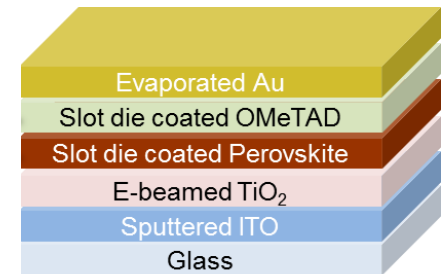
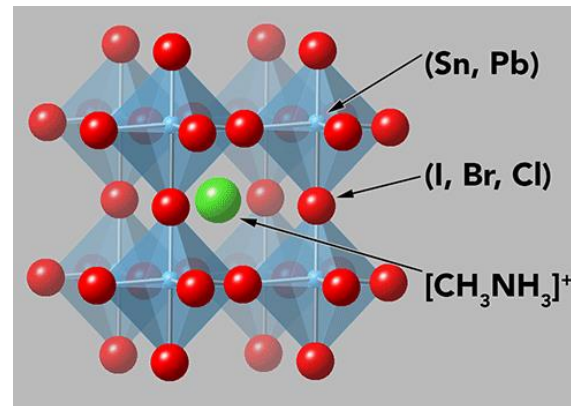


- Bijvoorbeeld $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ (X = Br, I en/of Cl)
- Printbaar

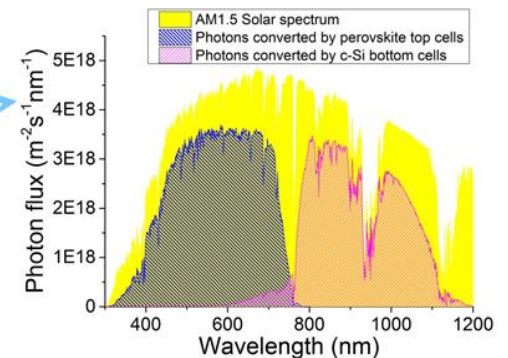
World record (March 2016)



Aperture Area	Sub cells	V_{oc}	I_{sc}	FF	Aperture Efficiency
168 cm ² GFF ≥ 95%	25	21.2 V 848 mV/cell	116 mA 17.3 mA/cm ²	67.9%	10.0 %



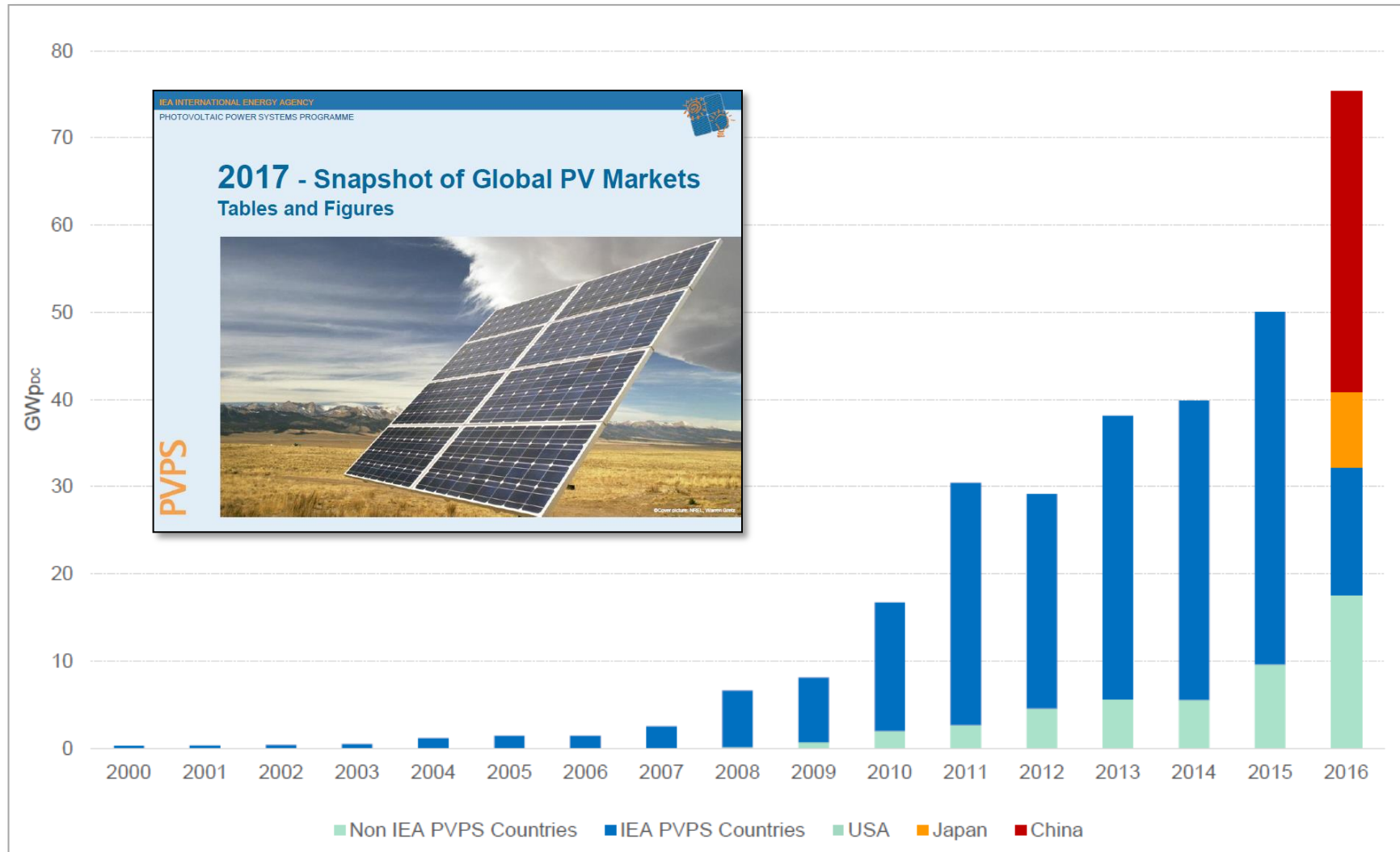
(November 2016)



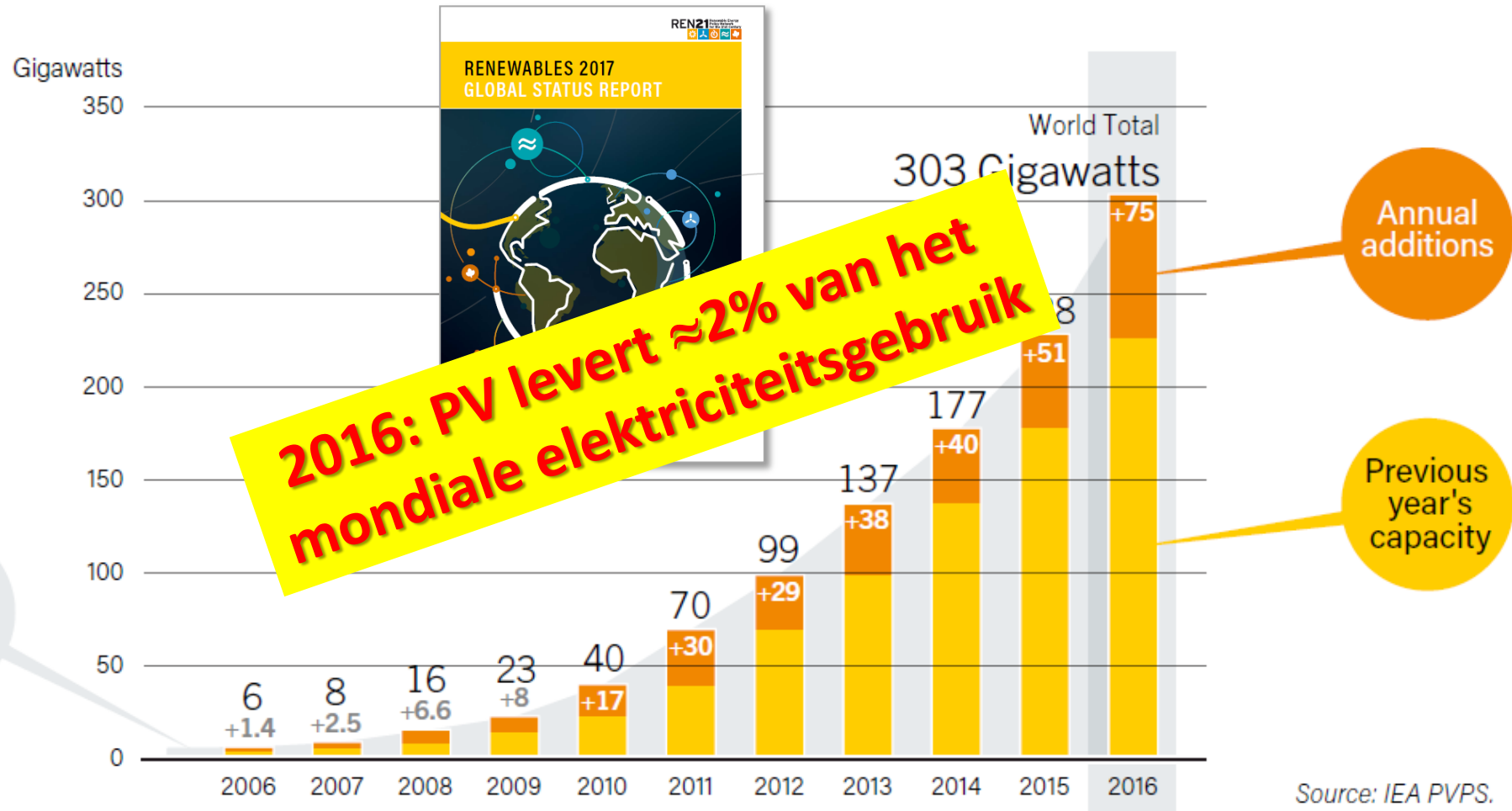
Absolute efficiency increase of **2.4%** compared to standalone c-Si cell with an efficiency of 18.6%

Perovskiet minimodule

Wereldwijd jaarlijks bijgeplaatst vermogen (in gigawatt-piek; GWp)



Wereldwijd geïnstalleerd vermogen (GWp)



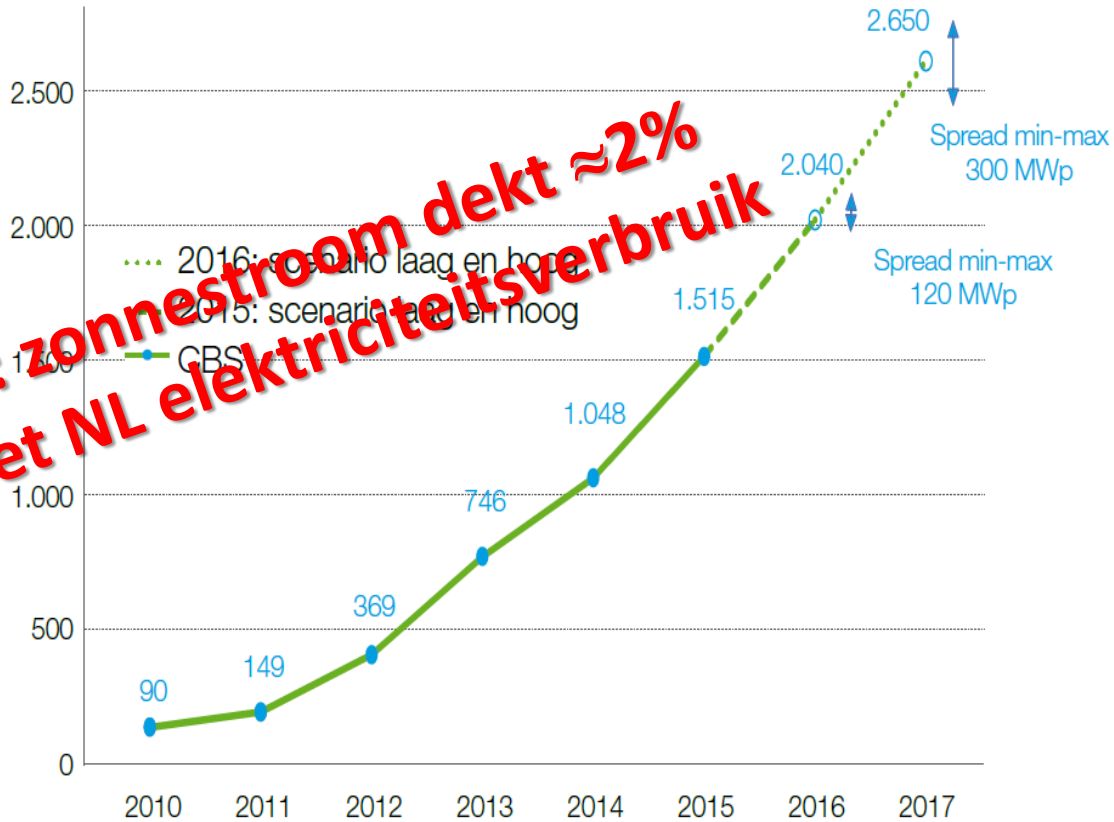
Geïnstalleerd vermogen NL (in MWp)

Figuur 4 | Geïnstalleerd vermogen zonnepanelen in Nederland (in megawattpiek, MWp) (bron: Polder PV / CBS)

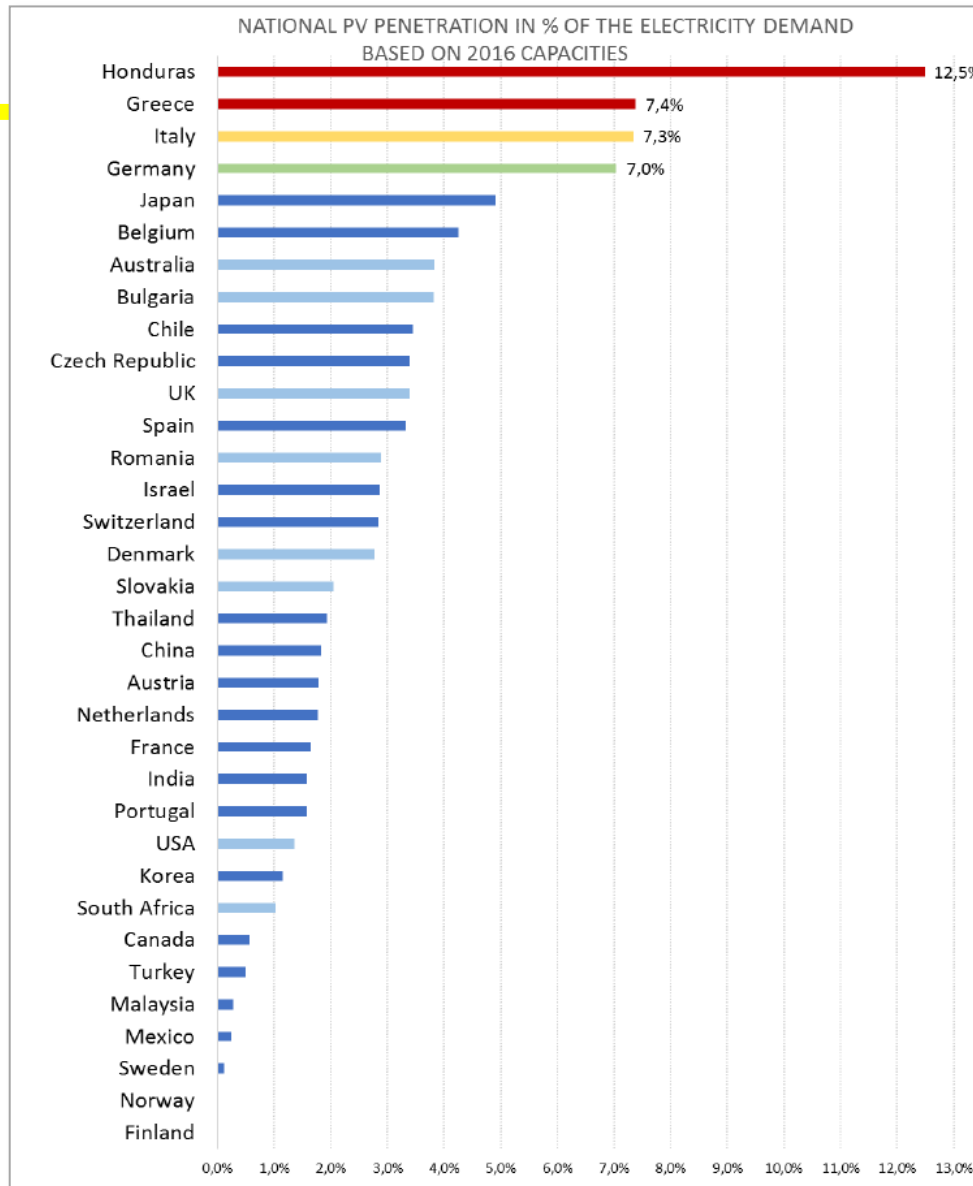


Geïnstalleerd zonnestroomvermogen cumulatief

2016: zonnestroom dekt ≈2% van het NL elektriciteitsverbruik



Bijdrage PV aan elektriciteitsvraag



Meer dan daken

Figuur 6 | Grootste nieuwe single-site zonnestroom projecten in 2016. Onder voorbehoud van nakomende correcties en nog niet gekende nieuwe projecten.

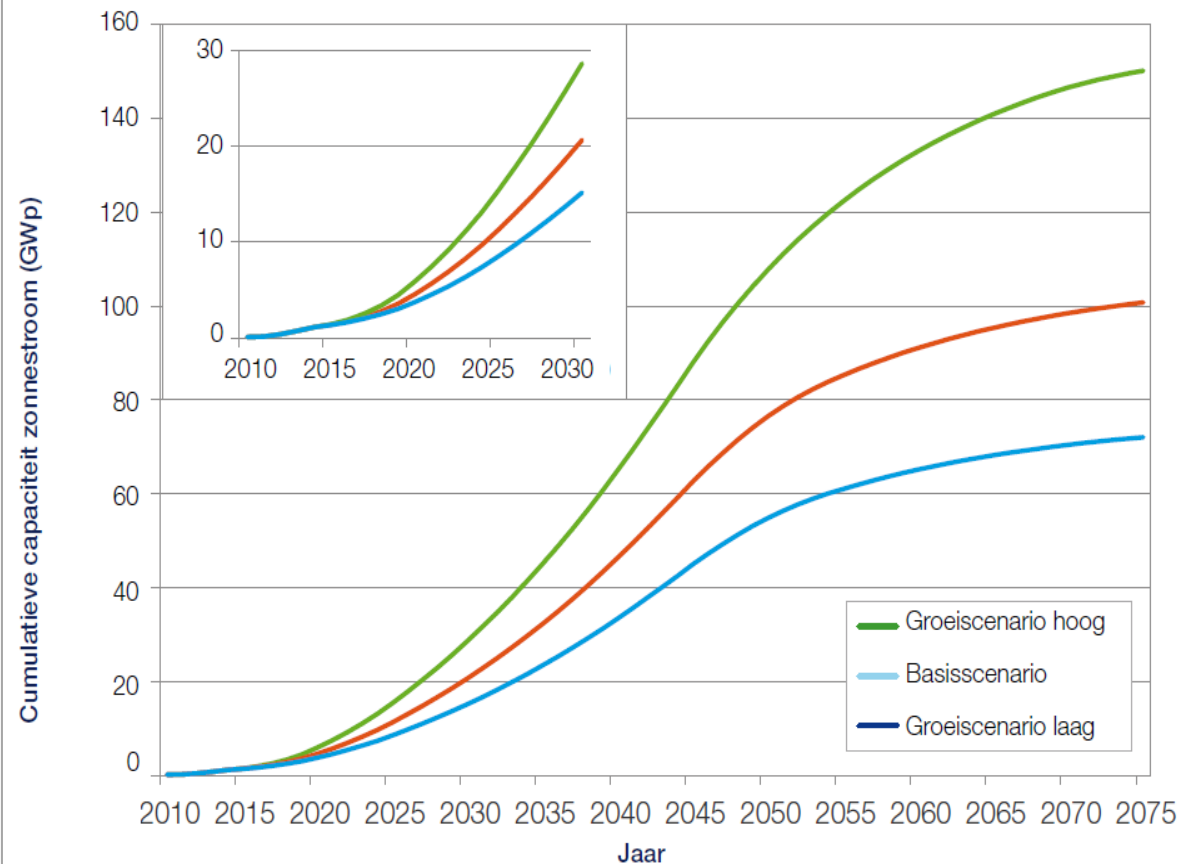


Naam project	MWp	Modules	Leverancier/installateur
1 SunPort Delfzijl, Delfzijl (Gr)	30,83	116.334	Sunport Energy / Wirsol (BRD)
2 Zonnepark XXL Dutch T.T. Assen, Assen (Dr)	5,63	21.650	GroenLeven (consortium met Tamoil, provincie)
3 Zonnepark "Solar Campus", Purmerend (NH)	5,60	21.550	Alleco Energy Group / Ecorus
4 Home Center, Wolvega (Fr)	4,20	15.000	GroenLeven
5 Plospan Bio-Energy, Waardenburg (Neerijnen, Gld)	2,40	9.250	Xperal
6 Caravan Hilton, Zeewolde (Fl)	2,39	9.050	Energiepluskak
7 Tomassen Duck-To (BR Group), Ermelo (Gld)	2,36	>7.600	GroenLeven
8 Keukencentrum Mandemakers, Waalwijk (NB)	2,14	7.500	SunProjects / Schilt i.s.m. Centercon
9 Solarpark De Kwekerij "Sunwatt", Hengelo (Bronckhorst, Gld)	1,99	7.000	NL Solarpark De Kwekerij / B&W Energy e.a.
10 Zonnewijde Steenakker, Breda (NB)	1,80	6.900	Zonnepanelendelen BV / Breda DuurSaam / Hoppenbrouwers

Groeiscenarios PV in NL

SEGMENT	Potentieel
Woningen en utiliteitsgebouwen	70 GWp
Vuilstortplaatsen	1 GWp
Rijks- en provinciale wegen	6 GWp
Spoornet (zonnedak en -wal)	6 GWp
Kassen	3 GWp
5% IJsselmeer	> 10 GWp
10% graslanden / vrije veld	> 50 GWp
Binnenwater	> 50 GWp

Groeiscenario's zonnestroom tot 2030 (kader) en 2075



PV-bijdragen aan NL energiesysteem (indicatief)

- NL 2016: 2 GWp 2% van elektriciteitsgebruik
- EU gemiddelde 2015 3% (DE, IT, GR: 7-8%)
- NL 2020: 6 GWp (40 km² panelen) 5%
- NL 2023: 10-12 GWp (60 km²) 8-10%
- NL 2030: 20-30 GWp (100 km²)
- Langere termijn: >150 GWp (>500 km²)

Voor elektriciteit (incl. opslag), warmte en brandstoffen (P2X)

Inhoud

- Zonnestroom: uitdaging en kans
- Technologieën
- Kosten en markt
- **One size (no longer) fits all**
- Een blik in de toekomst

Lage opwekkosten maken nieuwe toepassingen mogelijk

- Van laagste kosten naar hoogste waarde
- Producten in soorten en maten
- Zonnestroom voor elektriciteit én warmte én brandstoffen (ook via import)

Vormvrijheid



Julianadorp
Foto Paul Pex



<http://energieanders.nl/trienergia-driehoek-paneel-100wp-detail>

Esthetische kwaliteit

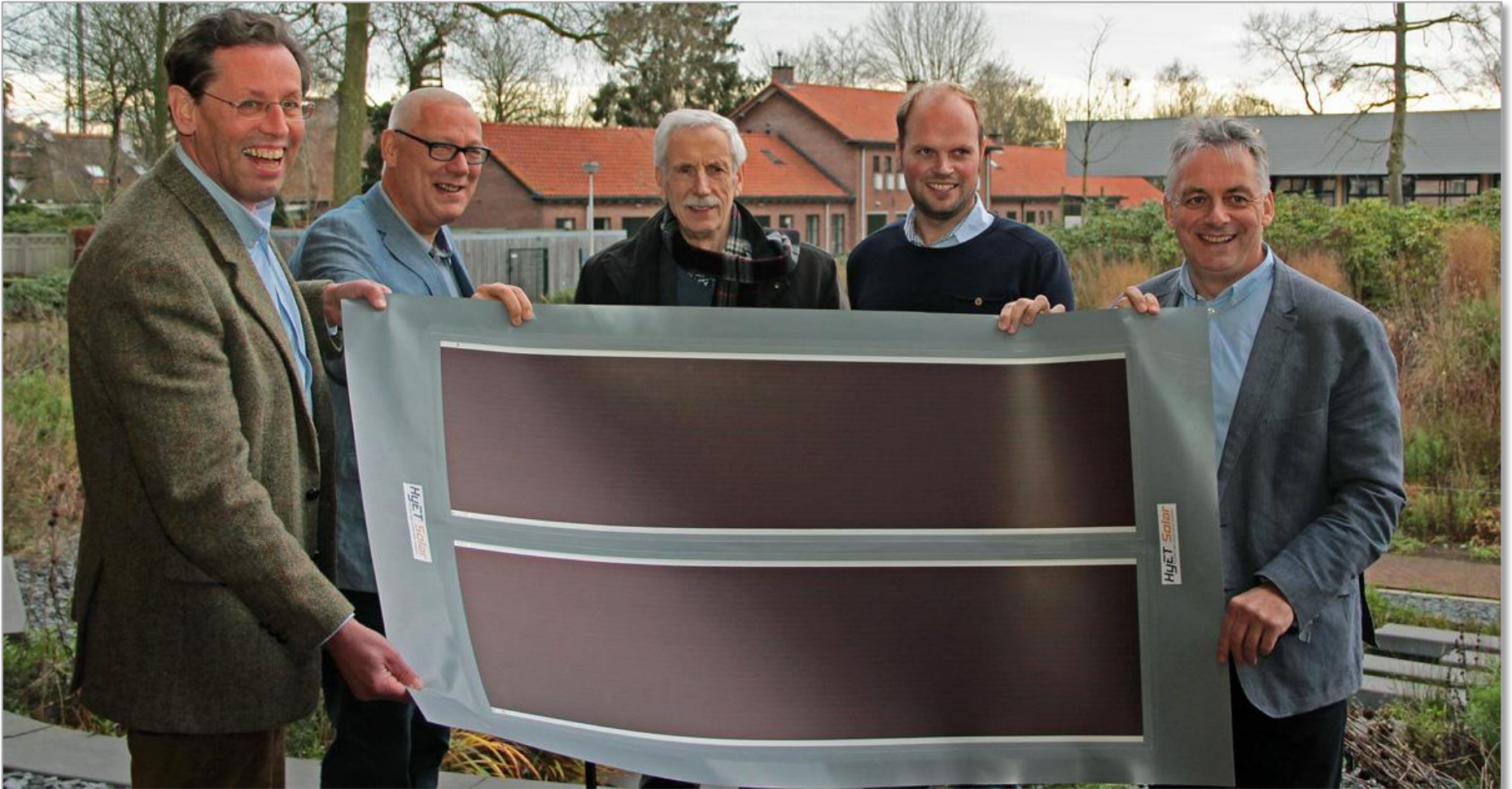


Exasun



Heijmans/AERspire

Flexibiliteit



HyET Solar (NL) / BrummenEnergie

Meer kleuren

Prototype van een wit zonnepaneel (halve opbrengst van een zwart paneel)



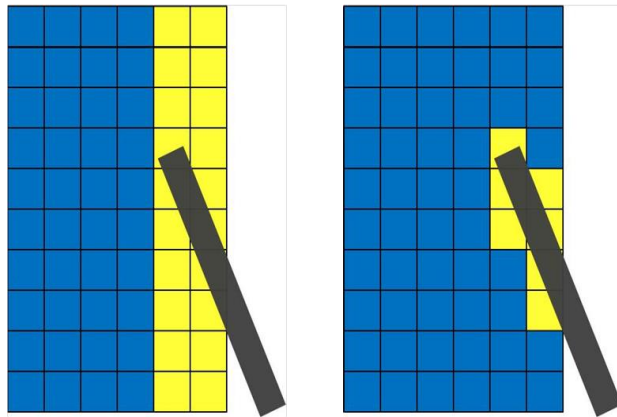
Christophe Ballif, CSEM, Switzerland

Stroom uit ramen



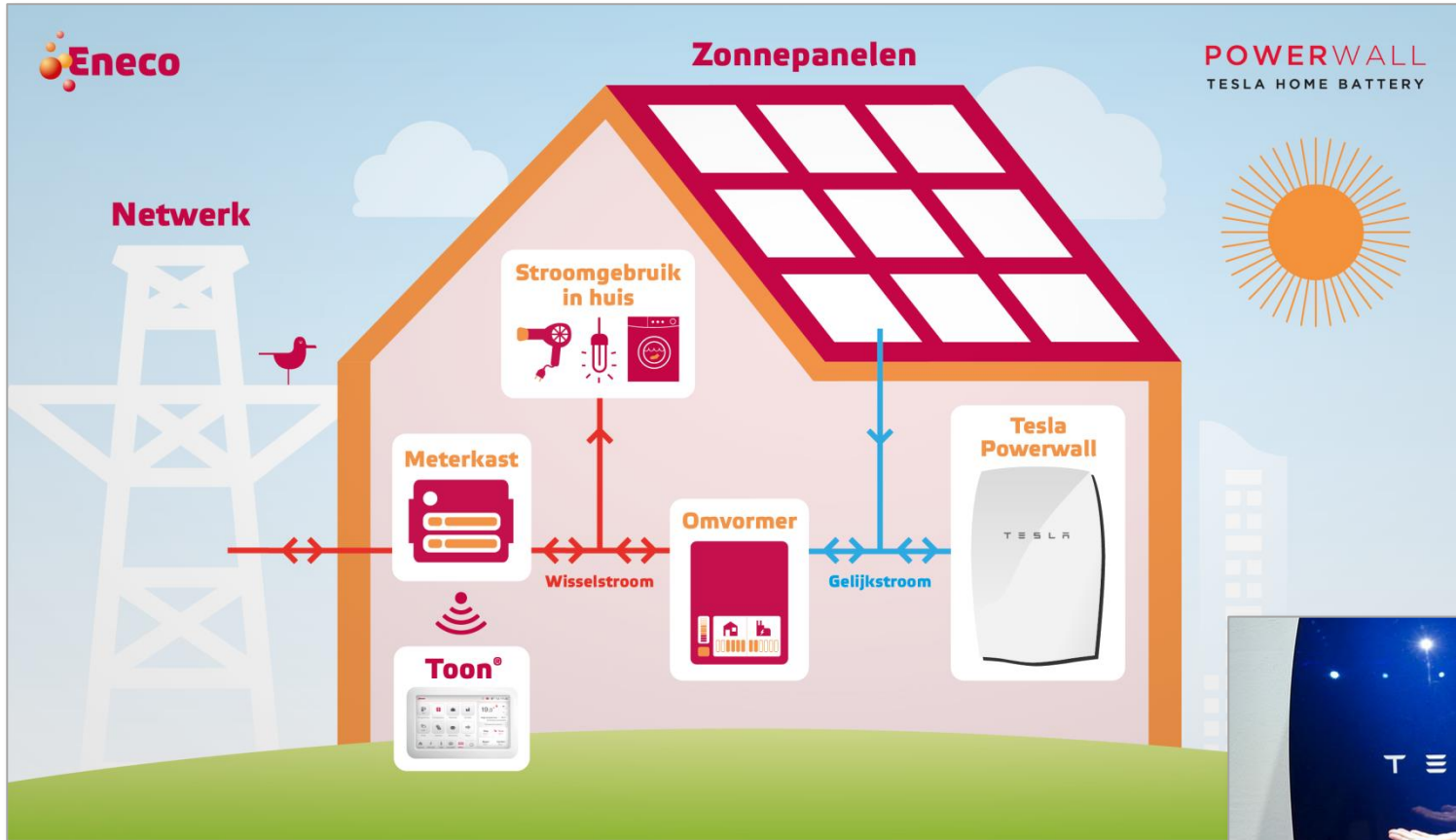
Physee PowerWindow (NL)

Oplossingen voor plaatsen ‘met een vlekje’



Prototype van schaduwlineaire module (ECN)

Van opwekkosten naar waarde van elektriciteit



Eneco CrowdNett



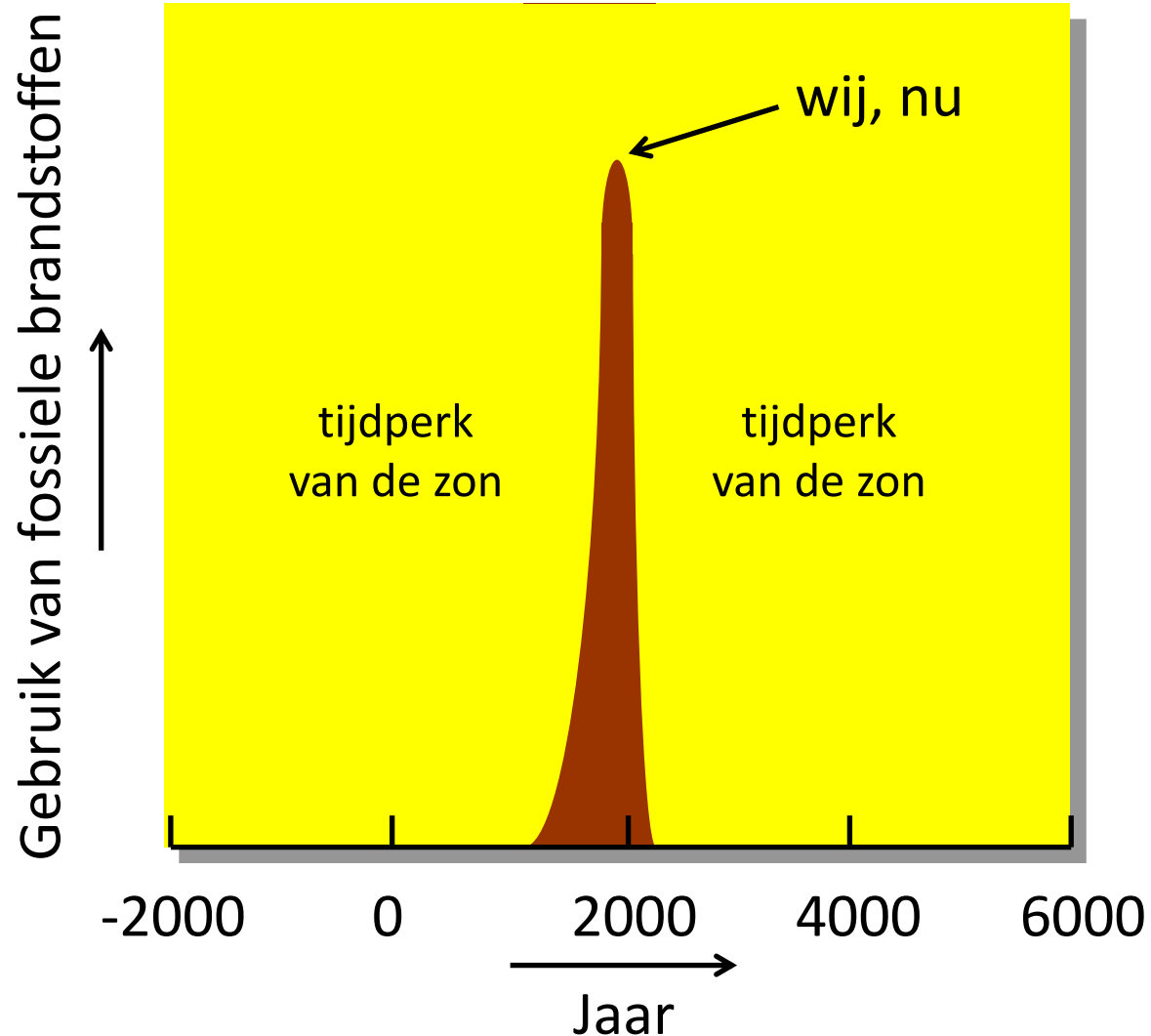
Inhoud

- Zonnestroom: uitdaging en kans
- Technologieën
- Kosten en markt
- One size (no longer) fits all
- Een blik in de toekomst



z.s.m.

Van zon naar zon *Terug naar normaal*



A photograph of two people silhouetted against a bright, glowing sunset. They are standing on a dark, grassy hill, with their arms raised in a gesture of reaching towards the sun. The sky is a gradient of orange and yellow, with the sun as a large, bright white-yellow orb in the center. Overlaid on the image is the Dutch text 'Dank voor uw aandacht!' in a bold, yellow, sans-serif font, slanted upwards from left to right.

Dank voor uw aandacht!