



Der Erfolg der Photovoltaik: Eine reine Silizium-Geschichte

Jürgen H. Werner

Institut für Photovoltaik, Universität Stuttgart

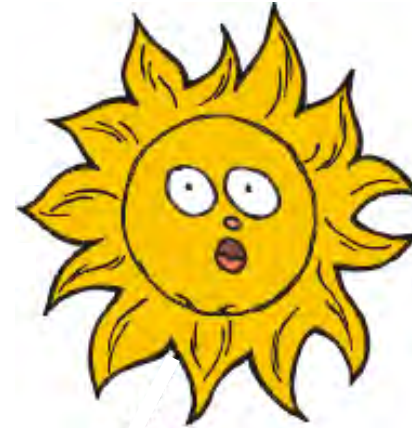
18. März 2014

juergen.werner@ipv.uni-stuttgart.de



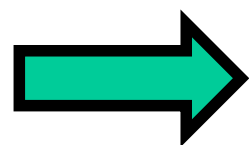
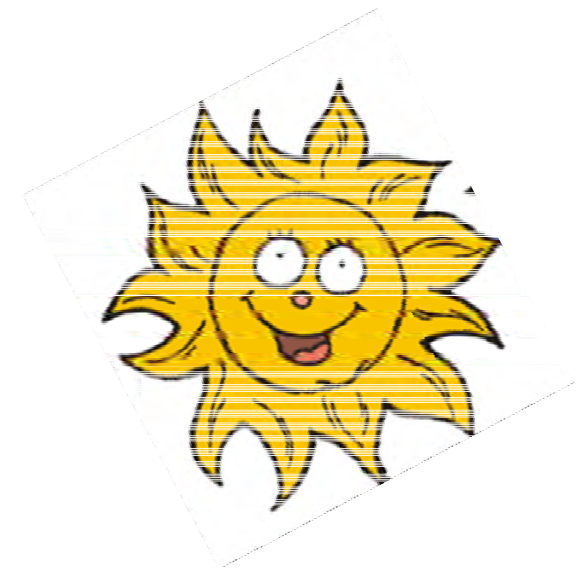
Katastrophenmeldungen 2013

- „Bosch steigt aus!“
- „Schott steigt aus!“
- „Solarworld ist (fast) am Ende!“
- Insolvent: Sunways, Sovello, Centrotherm, Q-Cells, ...
etc., etc., ...
- „Deutsche Firmen zu wenig in Forschung investiert ...“
- „Photovoltaik-(Forschung) macht keinen Sinn mehr!“
- „Photovoltaik am Ende!“



Überblick

1. PV-Installationen
2013: 130 GW_p weltweit, 35 GW_p in D
Der Markt explodiert...
2. PV und Geld
„PV-Strom schlägt Kohlestrom!“
„Module billiger als Fenster!“
3. Warum PV-Strom so billig ist!



Exzellente Zukunft für Photovoltaik!

Alte Sprüche ... gleich erledigt!

- **Energierückzahlzeit:** 1 bis 2 Jahre.
 - **Flächen:** auf 800 km² (von 3000 km²) günstig gelegene Dachflächen passen 120 GW_p PV.
 - **Früher (bis 2008):** „PV-Strom wird nie wirtschaftlich!
Viel zu teuer, viel zu teuer!“
- Heute:** „Kohlestrom nicht mehr wirtschaftlich!
PV-Strom viel zu billig, viel zu billig!“

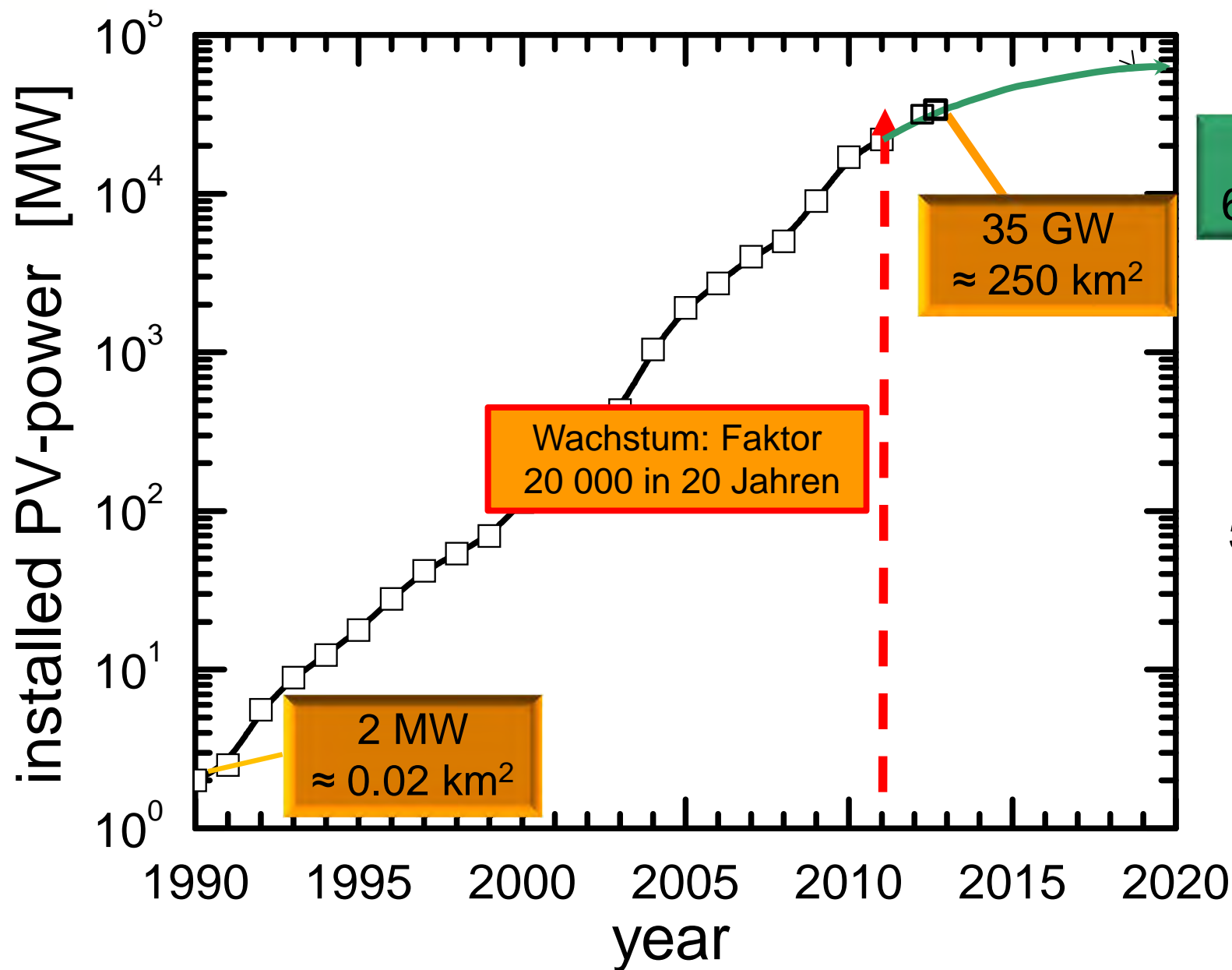




1. PV-Installationen



PV in Deutschland (Dez. 2013)

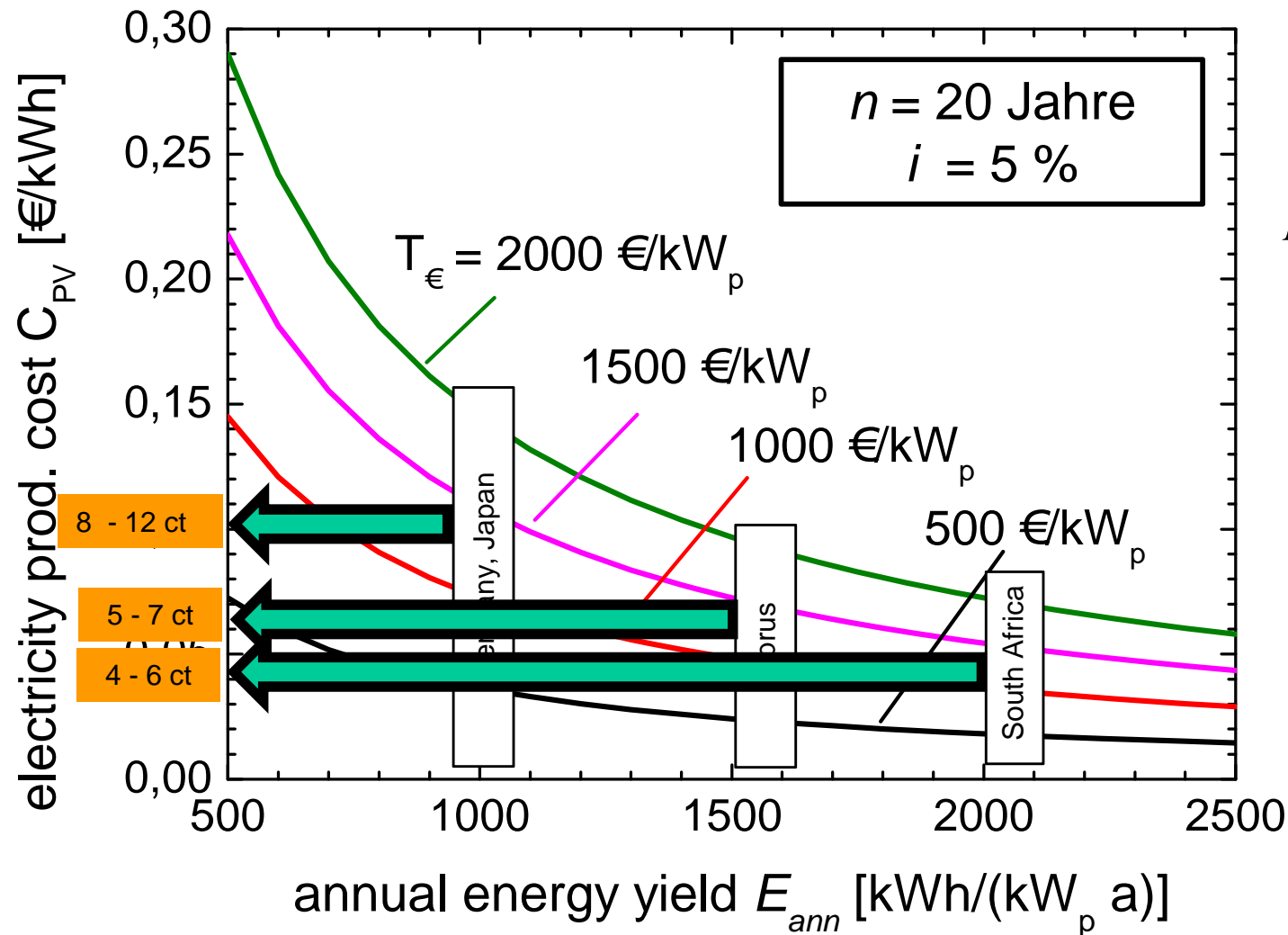




2. PV-Strom, Kosten



PV-Strom, Kosten



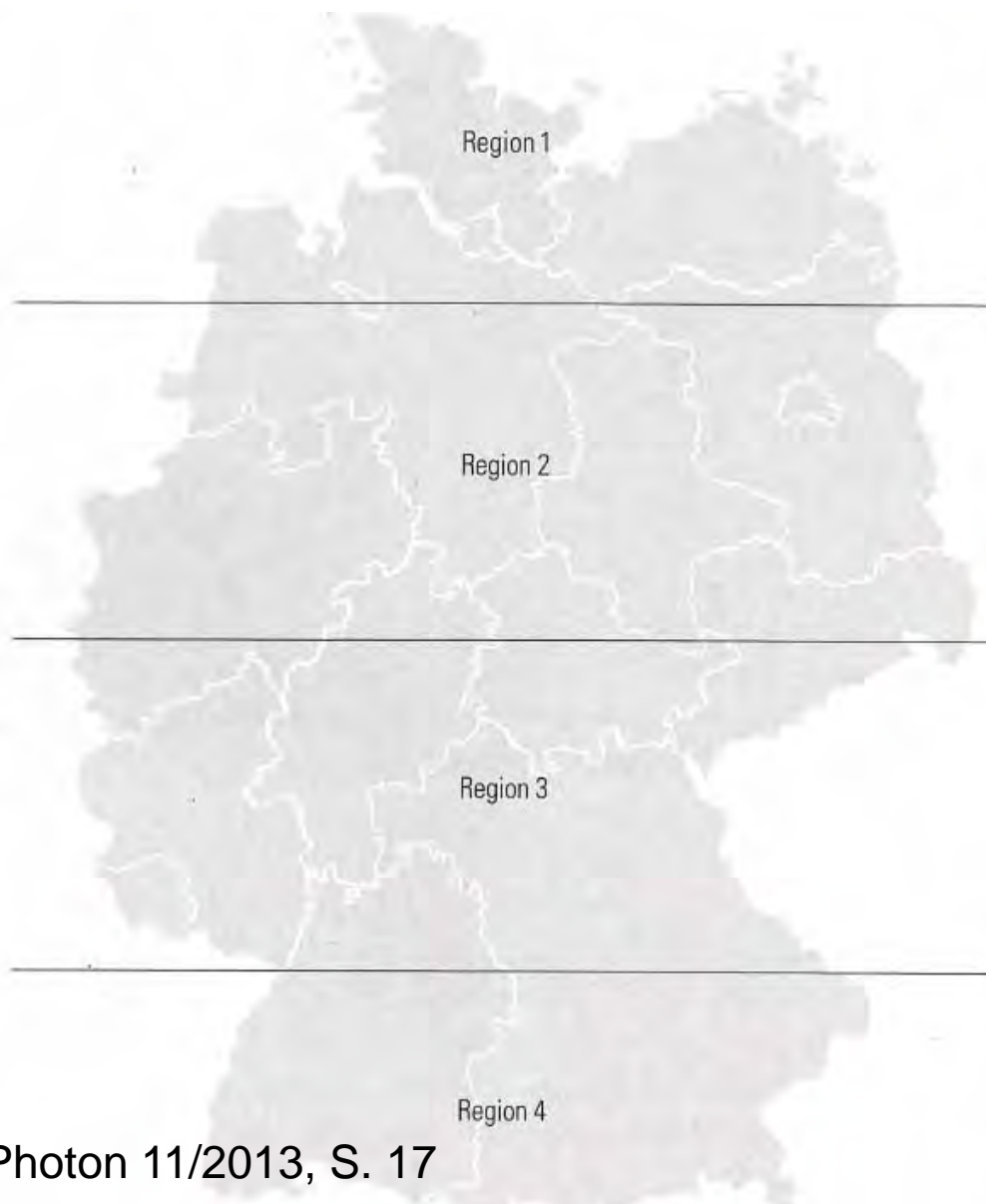
$n = 20$ Jahre
 $i = 5\%$

$$C_{PV} = \frac{T_{€}}{E_{ann}} K$$

$$K = \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}}$$



Stromgestehungskosten



Erneuerbare Energien (20 Betriebsjahre ab 2015)

	Region 1	Region 2	Region 3	Region 4
Photovoltaik Freifläche	10,7	9,9	9,4	8,7
Photovoltaik Aufdach	14,2	13,4	12,7	12,1
Wind onshore	6,6	7,4	8,8	9,6
Wind offshore¹⁾	12,0	–	–	–
Biomasse	11,2	11,2	11,2	11,2
Biogas	14,7	14,7	14,7	14,7

Fossile und erneuerbare Energien (40 Betriebsjahre ab 2015)

	Region 1	Region 2	Region 3	Region 4
Braunkohle	–	5,6	5,6	–
Steinkohle	8,2	8,2	8,4	8,6
Erdgas (Gas- und Dampfturbine)	9,3	9,3	9,3	9,3
Erdgas (GT)	15,6	15,6	15,6	15,6
Photovoltaik Freifläche	9,2	8,5	8,1	7,5
Photovoltaik Aufdach	13,0	12,3	11,6	11,1
Wind onshore	5,9	6,6	7,7	8,7
Wind offshore¹⁾	11,0	–	–	–
Biomasse	11,3	11,3	11,3	11,3
Biogas	14,7	14,7	14,7	14,7



Deutsche Bank: „Zweiter Goldrausch für Photovoltaik beginnt“

08. Januar 2014

Das Finanzinstitut rechnet mit einem weiteren Zuwachs bei der installierten Photovoltaik-Leistung weltweit. 2015 könnten bereits Anlagen mit **56 Gigawatt** Gesamtleistung installiert werden.

In diesem Jahr (2014) werden nach Ansicht der Analysten erneut die Länder [USA](#), [Japan und China](#) die wichtigsten Photovoltaik-Märkte darstellen. Dort sei ein Zubau zwischen **acht und zwölf Gigawatt** in diesem Jahr möglich. Für Europa gehen die Analysten 2014 von einer neu installierten Leistung zwischen sieben und acht Gigawatt aus.

Daneben werden bei der Deutschen Bank aber auch neue Märkte gesehen, die wesentlich zum weiten Wachstum des Photovoltaik-Weltmarkts beitragen könnten – so werden **Indien, Südafrika, Mexiko, Australien, der Nahe Osten, Südamerika und Südostasien** genannt. In der Mehrheit dieser Märkte gebe es bereits eine Netzparität der Photovoltaik.

<http://www.pv-magazine.de/>

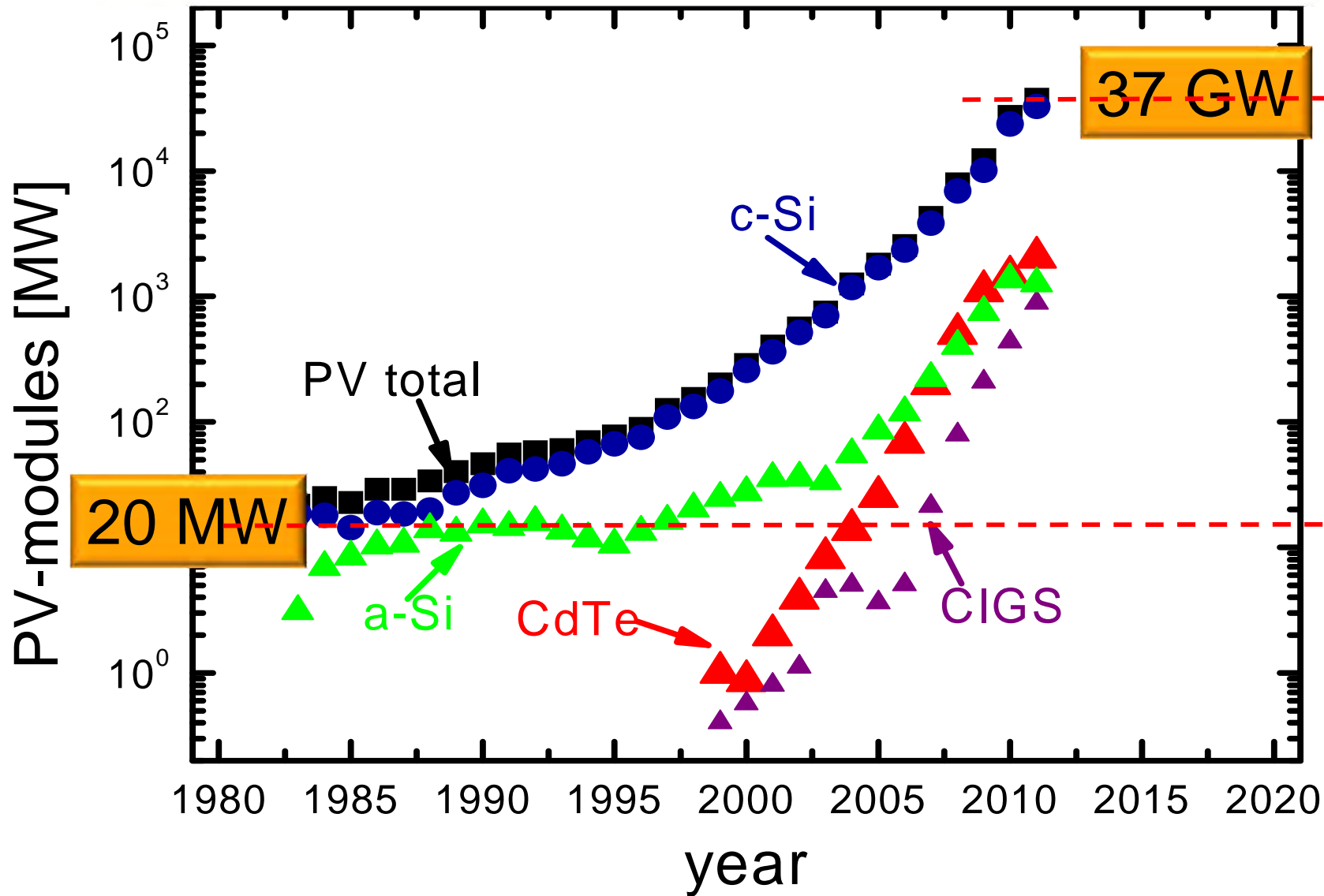




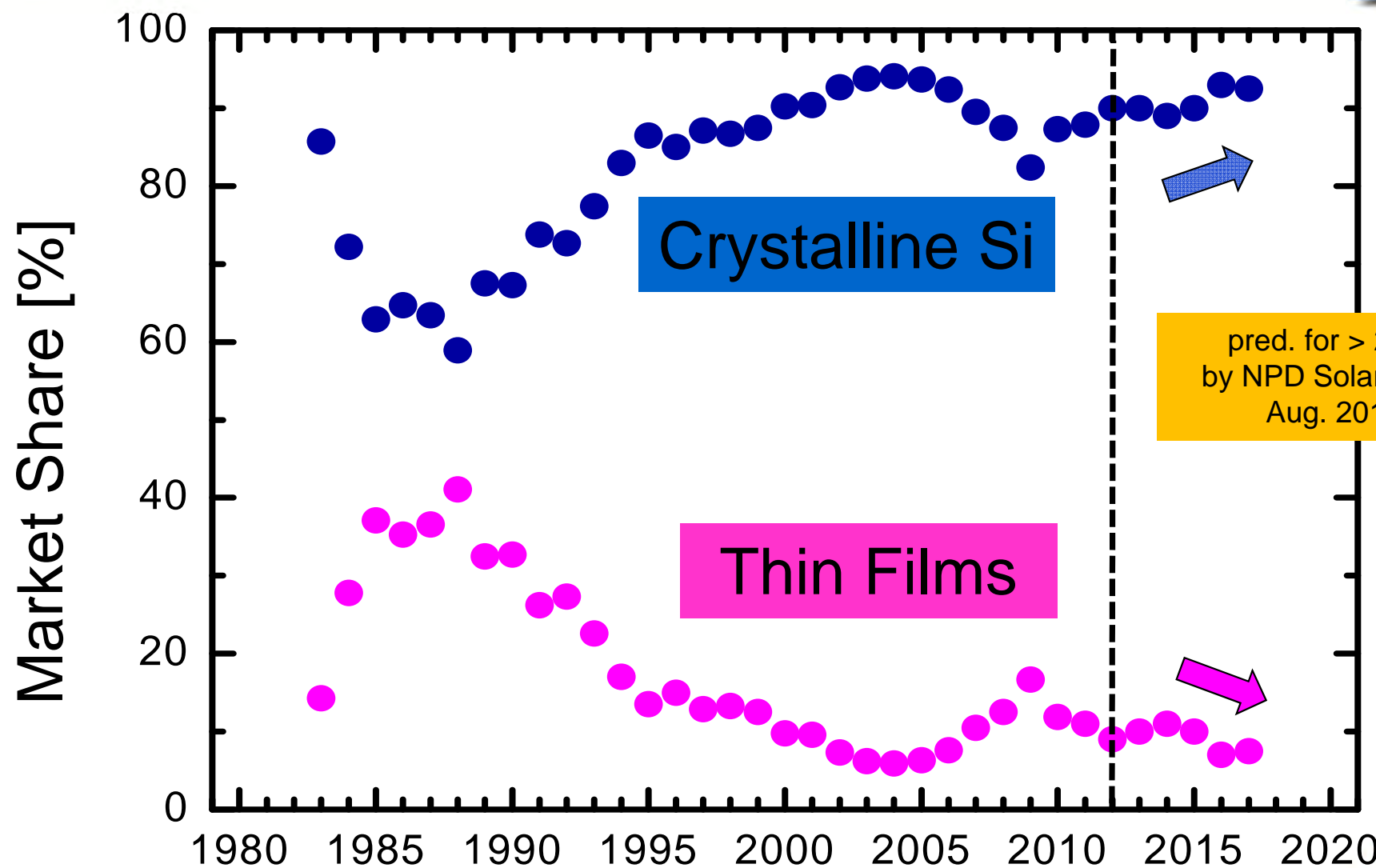
3. Warum ist PV-Strom auf einmal so billig?

... und haben andere Materialien als
Silizium überhaupt noch eine Chance?

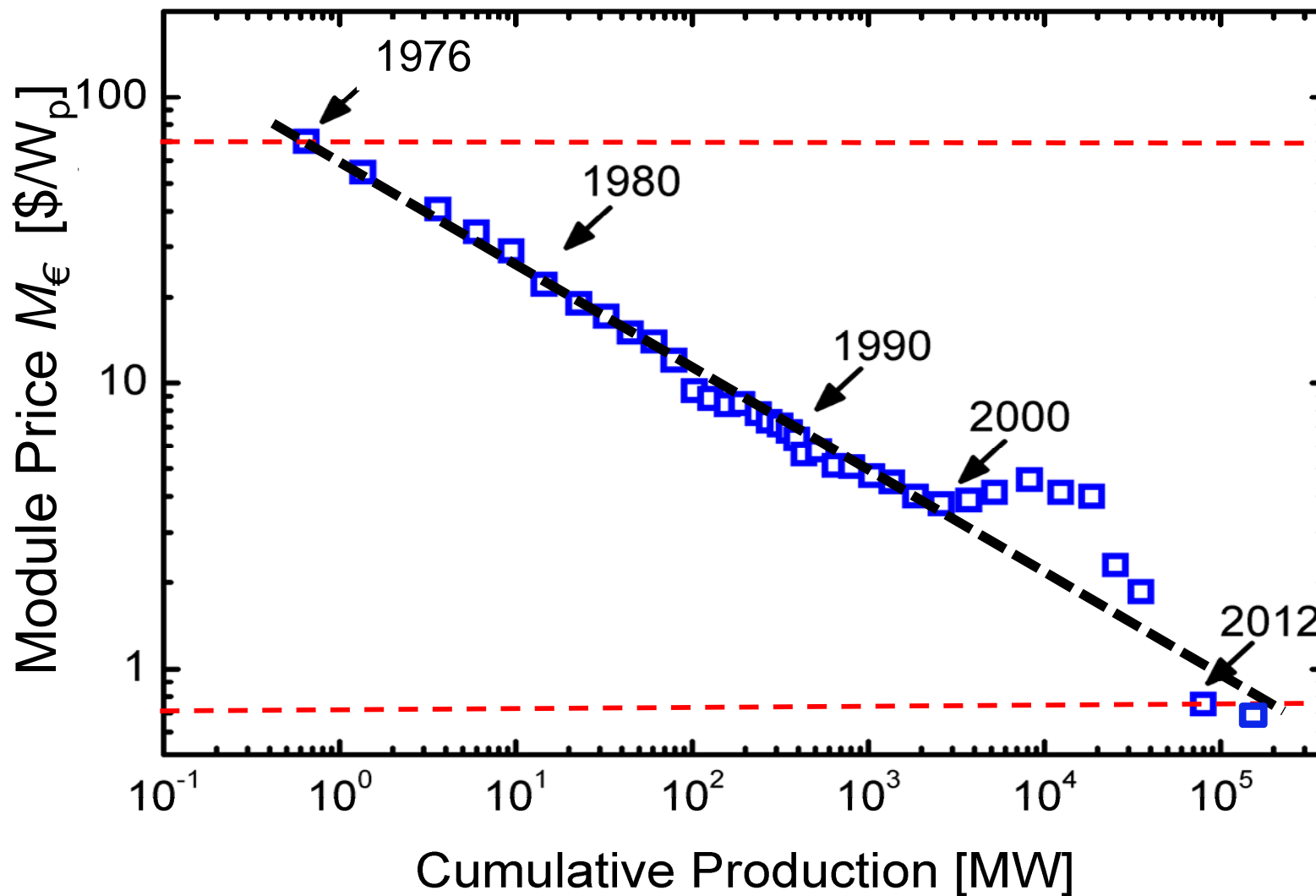
Jährlicher Weltmarkt PV-Module



Marktanteil Dünnschichtmodule



Lernkurve für Module aus kristallinem Si



Faktor 100
in 40 Jahren !!

65 $\$/ct/W_p =$
50 $\text{€ct}/W_p$



Tatsachen 2014

	Si-Scheibe	Modul (15 %)	Fliesen	Ziegelsteine
€ct/W	15	50		
€/m ²	25	75	20 bis 70	60 bis 80

1976: 5.000 €/m²

Eine Rechnung für 2014

- Module: 50 bis 60 €/ct/W_p = 500 bis 600 €/kW_p.
- Wie viel kostet das Gesamtsystem?

Komponenten	Preis [€/kW _p]	Anteil [%]
Module, $M_{\text{€}}$	500 - 600	33 - 50
Inverter, Gerüst, Versicherung, Gewinn des Installateurs, Fix	250 - 500	25 - 30
Aufständerung, Kabel, Lohnkosten, $BOS_{\text{€}}$	250 - 700	25 - 40
Summe, $T_{\text{€}}$	1000 - 1800	100

$$T_{\text{€}} = M_{\text{€}} + BOS_{\text{€}} + FIX$$

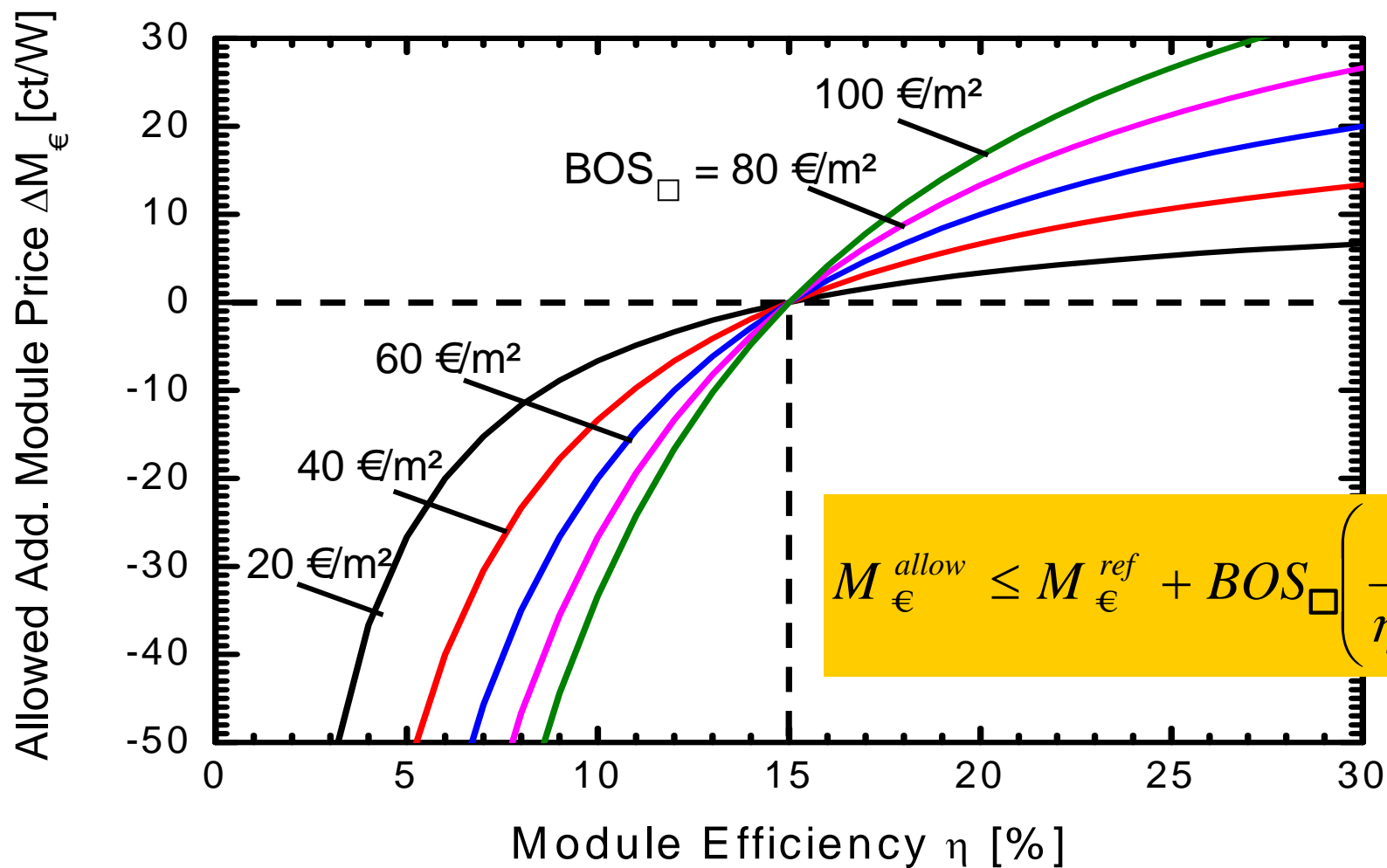
flächenabhängig = 70 – 80 %



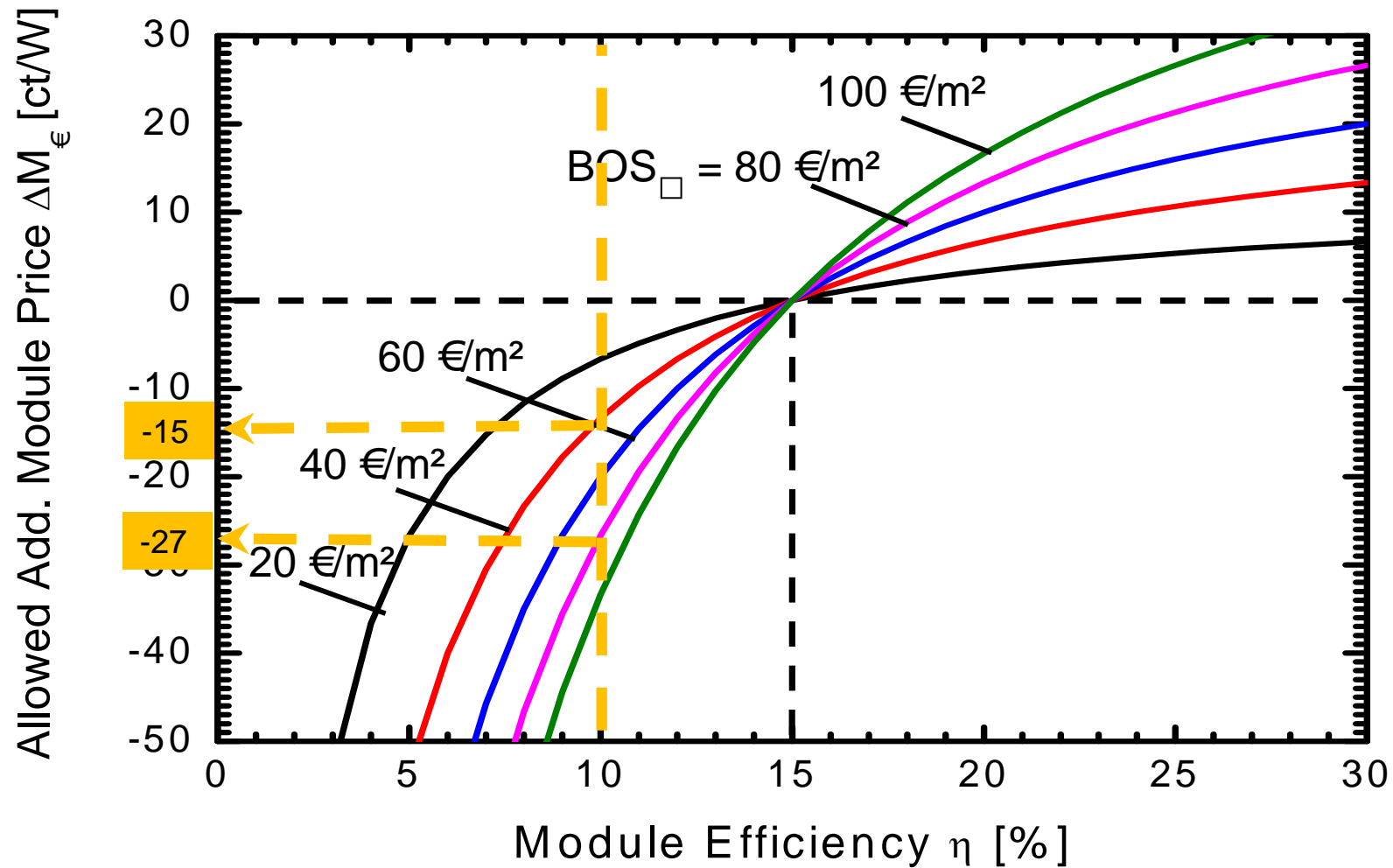
4. Höhere und niedrigere Wirkungsgrade ...

... und andere Materialien

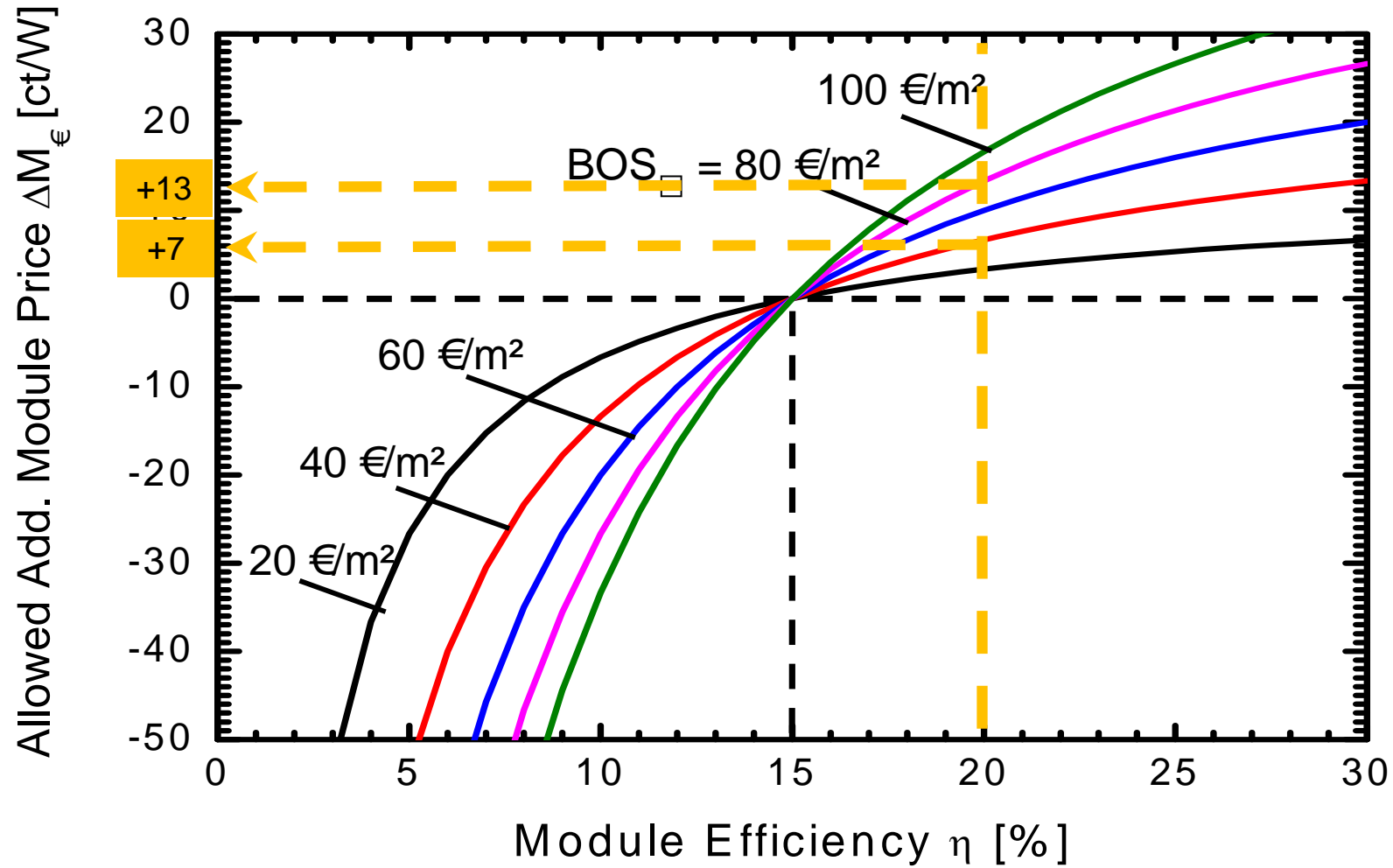
Wie viel mehr/weniger bezahlt Installateur?



Niedrigerer Wirkungsgrad

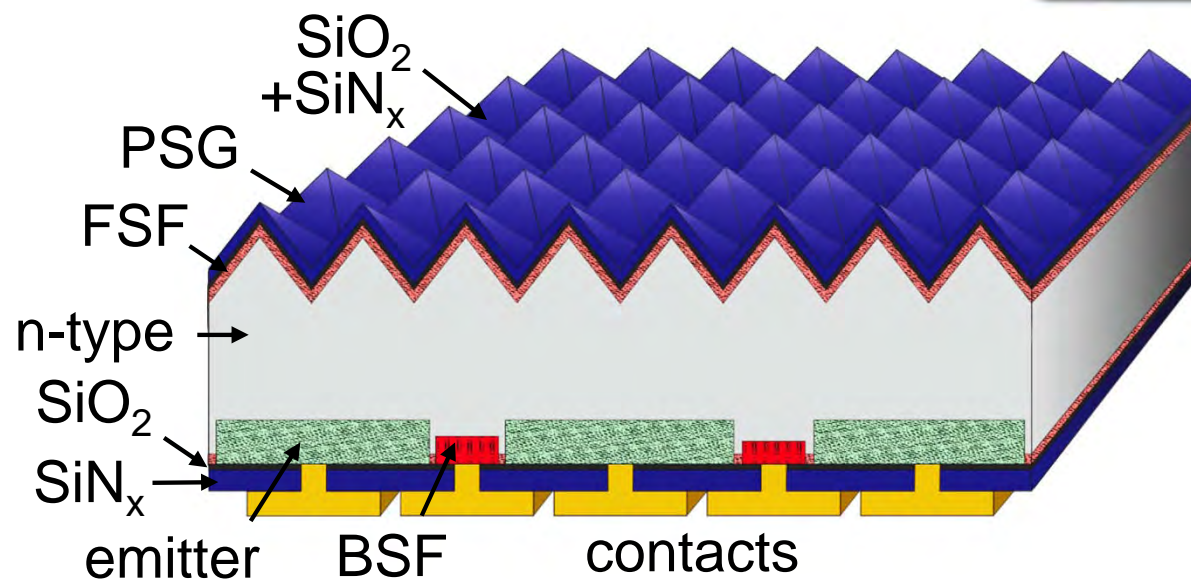


Höherer Wirkungsgrad



ipv-Laser Rückseitenzelle

Zelle: 22 %
Module: 20 %



Laserprozesse

- Schnell
- Keine Defekte
- Keine Maskierung, Lithografie

Äquivalenter Marktpreis:	63 ct/W _p
Herstellkosten:	50 ct/W _p



Überführung in Produktion



5. Wohin forschen?

- *Speicher und Systeme*
- *Anlagenwartung, -charakterisierung*



5.1 Anlagenwartung



**250 km² PV-Fläche in D!
≡ 10 Mrd Zellen,
ca. 200 Millionen Module!**

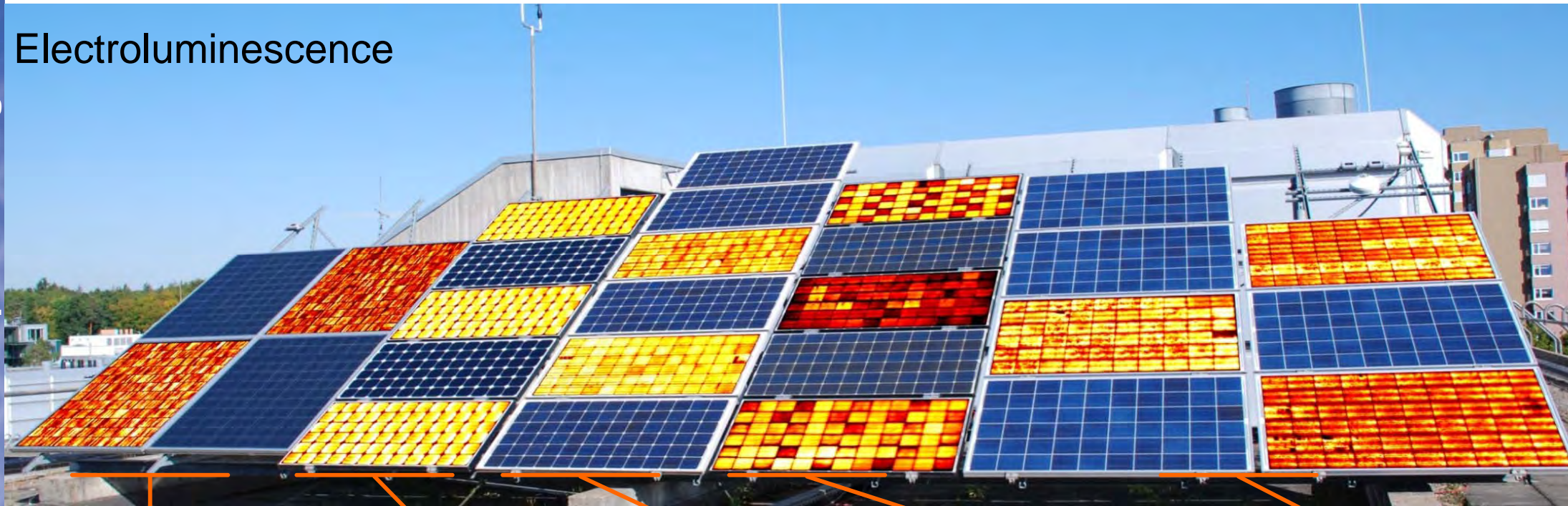




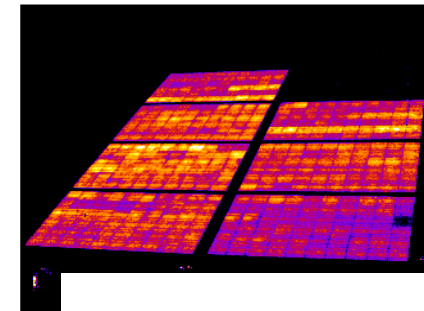
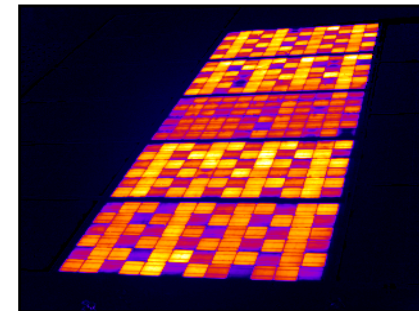
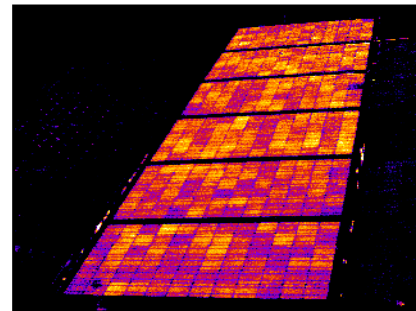
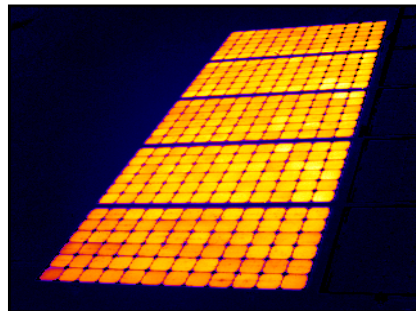
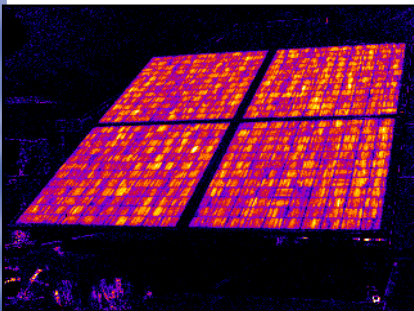
Daylight Luminescence System

www.ipv.uni-stuttgart.de

Electroluminescence



Photoluminescence



Schott EFG

Sunpower IBC

Monocrystalline

Sanyo HIT

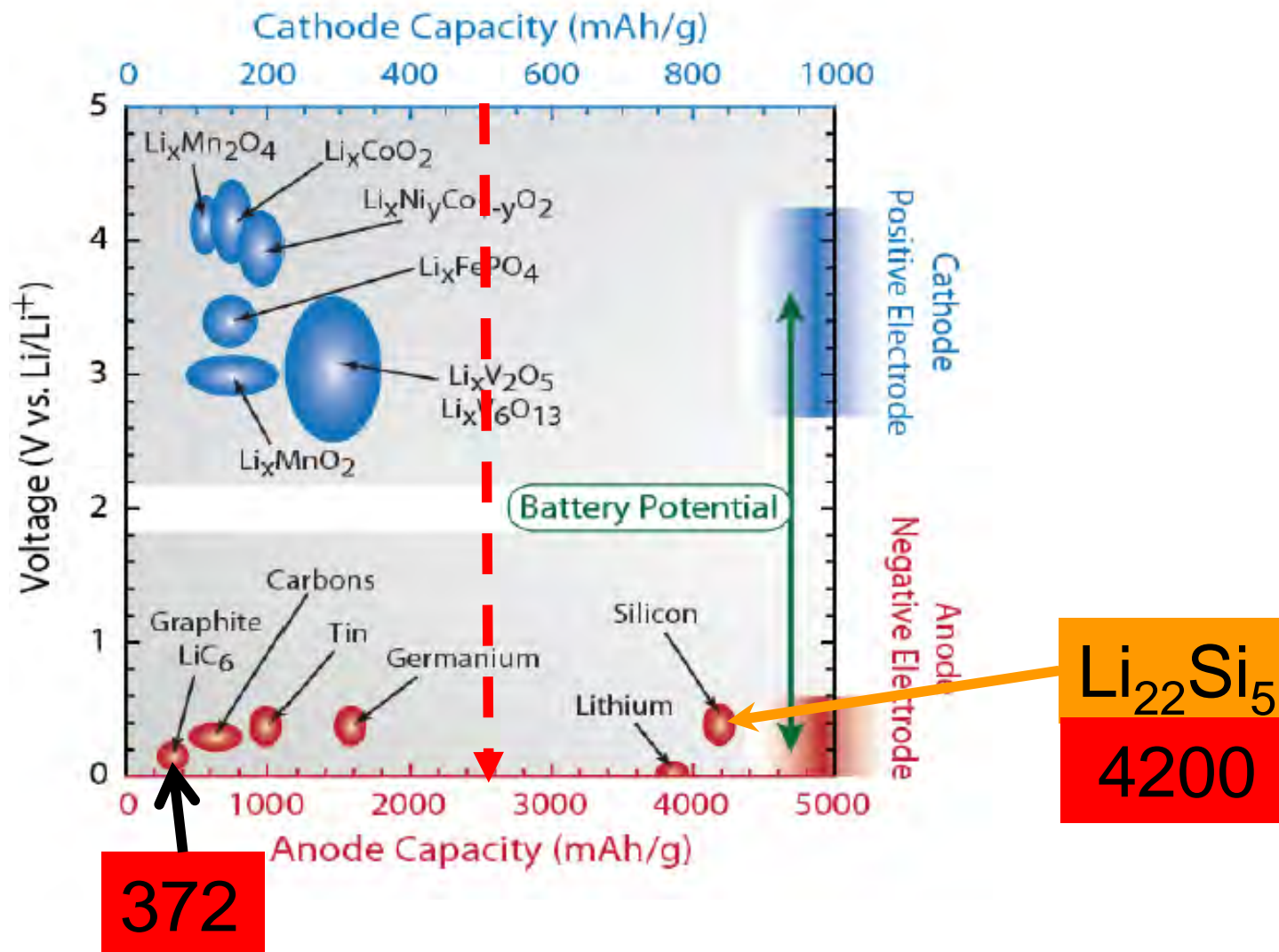
I



5.2 Speicher auf Basis Silizium

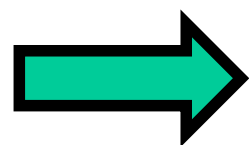
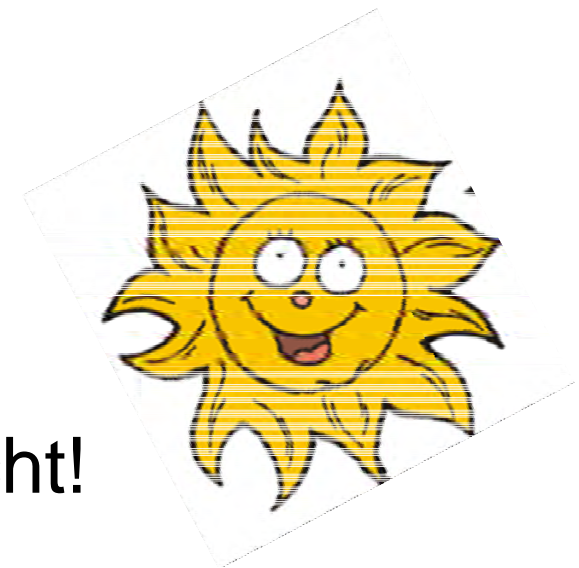
- *Silizium-Anode für Li-Ionen-Akkus*
 - *Si/Luft-Batterien*
- *(Silizium-Superkondensatoren)*

Silizium: höchste Speicherfähigkeit für Li



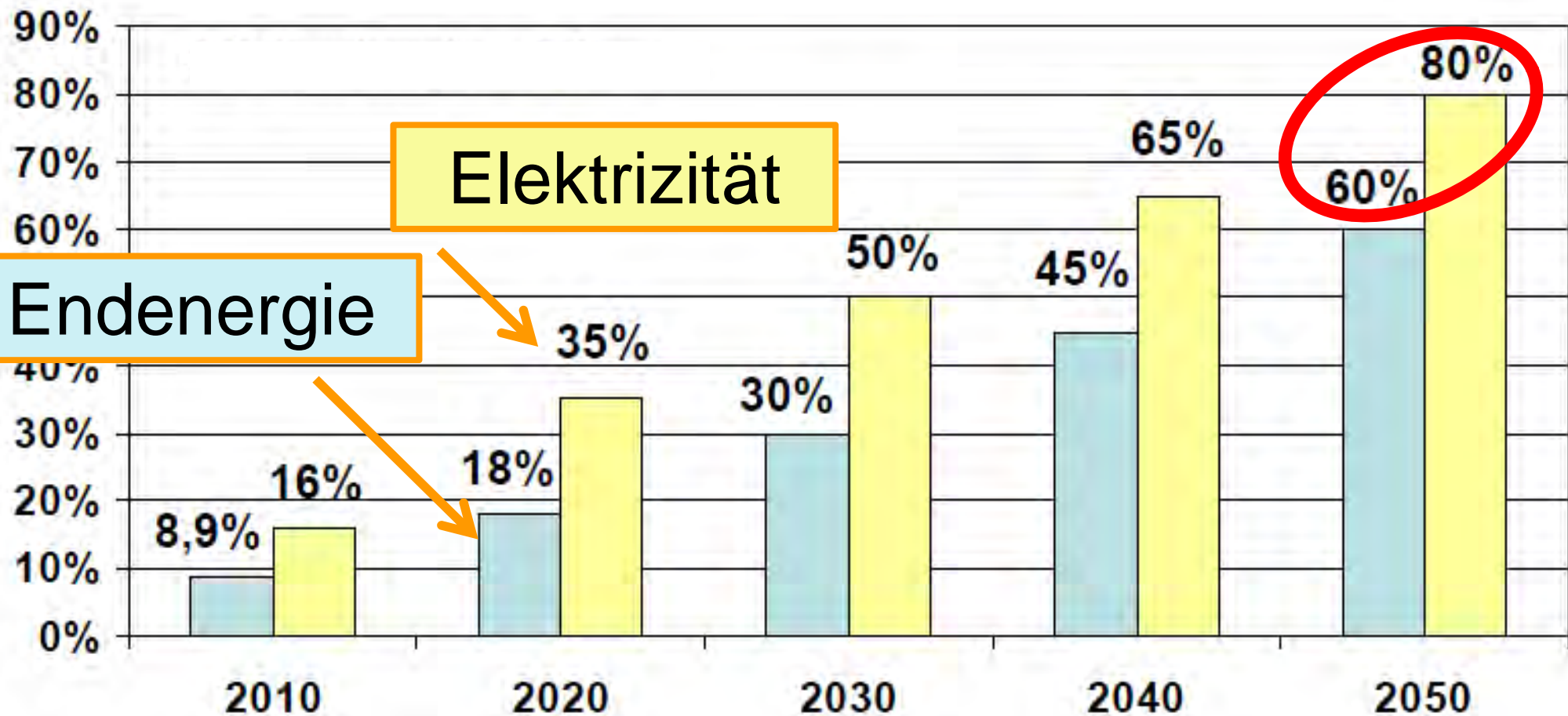
Zusammenfassung

1. PV-Installationen
2013: 130 GW_p weltweit, 35 GW_p in D
Der Markt explodiert...
2. PV und Geld
„PV-Strom schlägt Kohlestrom!“
„Module billiger als Fenster!“
3. Silicium hat PV-Strom billig gemacht!



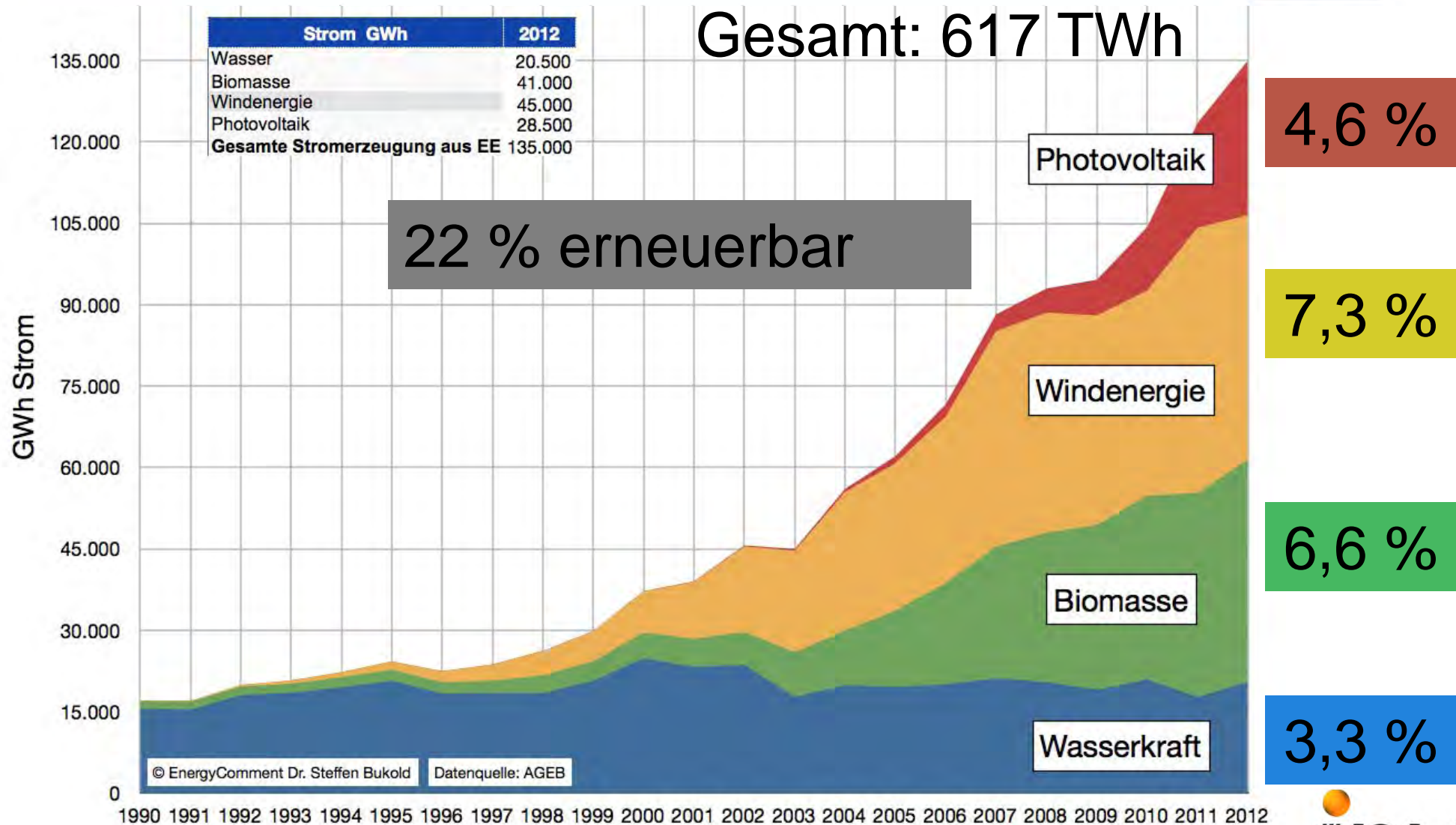
Exzellente Zukunft für Photovoltaik!

Energiewende, Erneuerbare Energien





Strom aus Erneuerbaren Energien (2012)





Global Annual Solar Insolation

www.ipv.uni-stuttgart.de

