
Photovoltaik 3.0 – Innovationen für mehr Strom aus Licht



Andreas W. Bett

Impulsvortrag Photonik 2020 Workshop

Berlin, 23.3.2010

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE,
Freiburg, Germany

Übersicht

- Einführung
- Aktueller Stand zur Photovoltaik
 - PV-Technologien
 - F&E in der Photovoltaik
- Photovoltaik und Photonenmanagement
- Zusammenfassung

Einführung

- Photovoltaik ist modular: vom Solar Home System bis zum Kraftwerk
- Die Photovoltaiktechnologie ist vielfältig: Silizium-basierend (multi- und monokristallin, Dünnschicht (a-Si, CIS, CdTe) , Konzentrierende PV (niedrig-, hochkonzentrierend), Organische PV, Farbstoffsolarzellen...
- Die Fertigungs- und Prozesstechnologien sind vielfältig: thermische Diffusion, Aufdampfen, Sputtern, Naßchemie, Galvanik, Roll-to-Roll, Druck, Laser...
- Vielfältiger Einsatz der PV: Inselsysteme, netzgekoppelt, BIPV, transparente PV, integrierte PV, Weltraum....

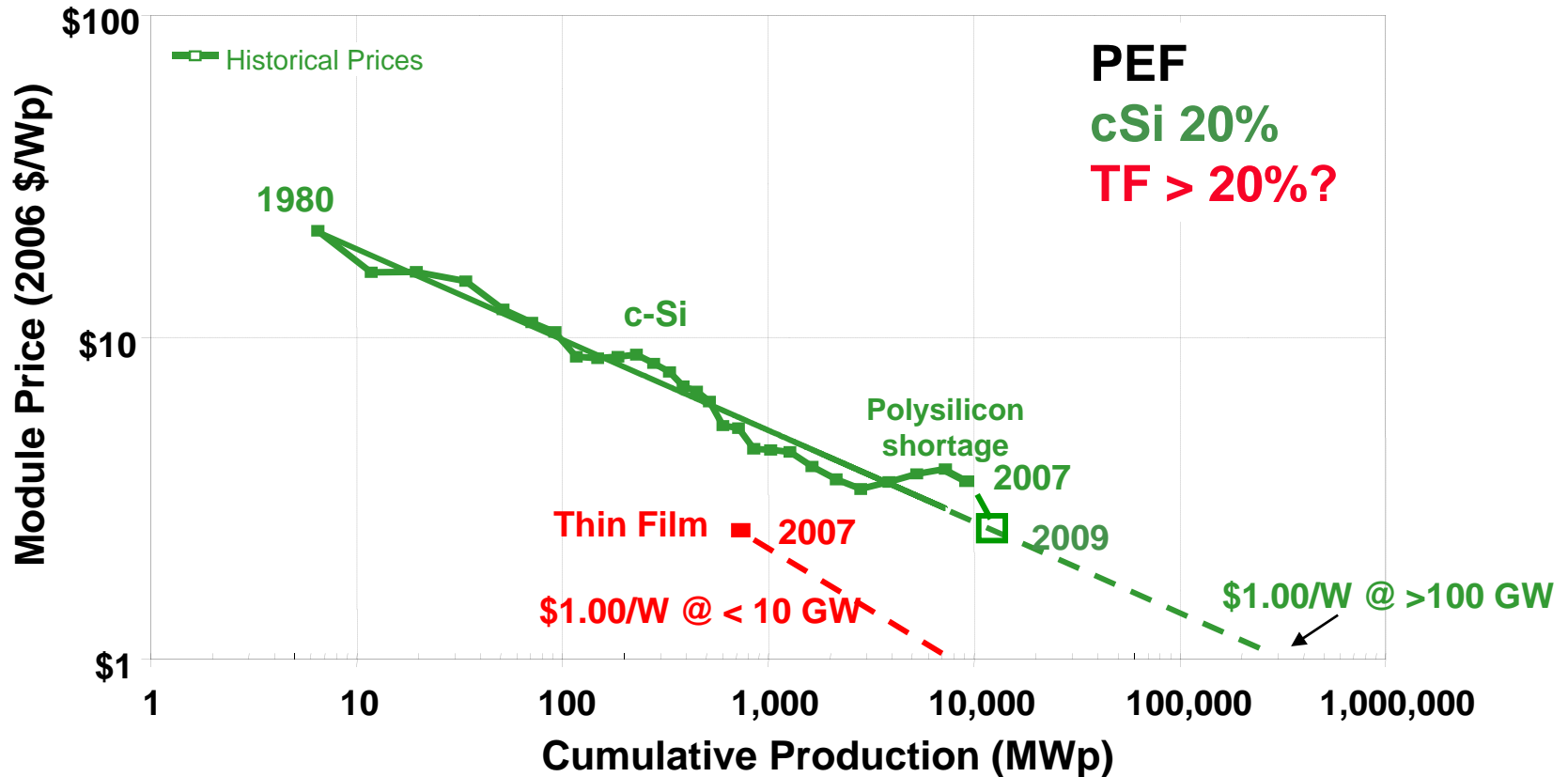
DISCLAIMER: Nicht alle Aspekte können in diesem Vortrag behandelt werden, werden aber in der Arbeitsgruppe diskutiert werden!

Das gemeinsame Ziel: Kostensenkung auf €/kWh - Basis

PV-Module Preis-Erfahrungskurve in \$/W

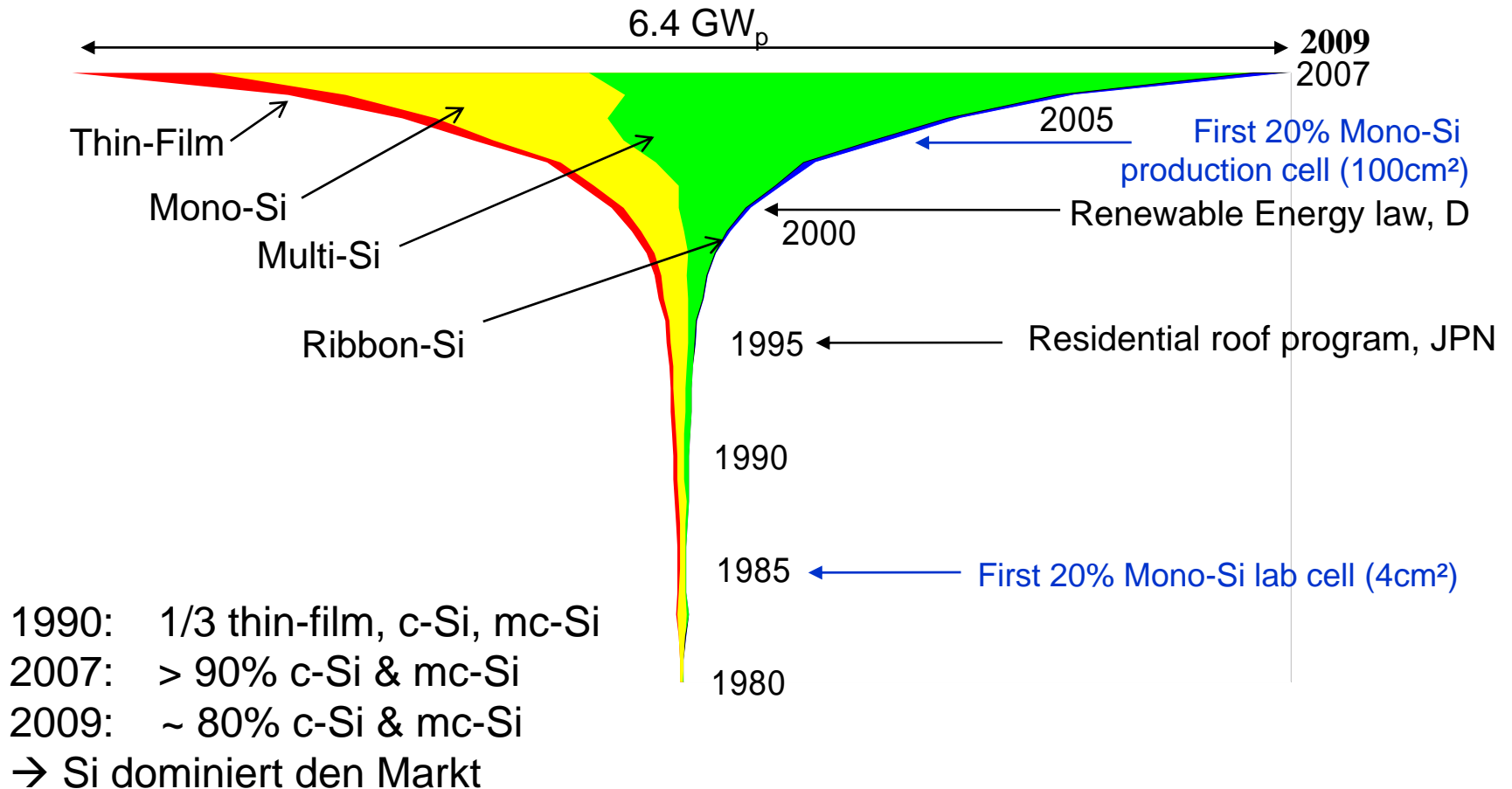
PEF price experience factor, Lernfaktor

→ Massenfertigung und technologische Innovation!



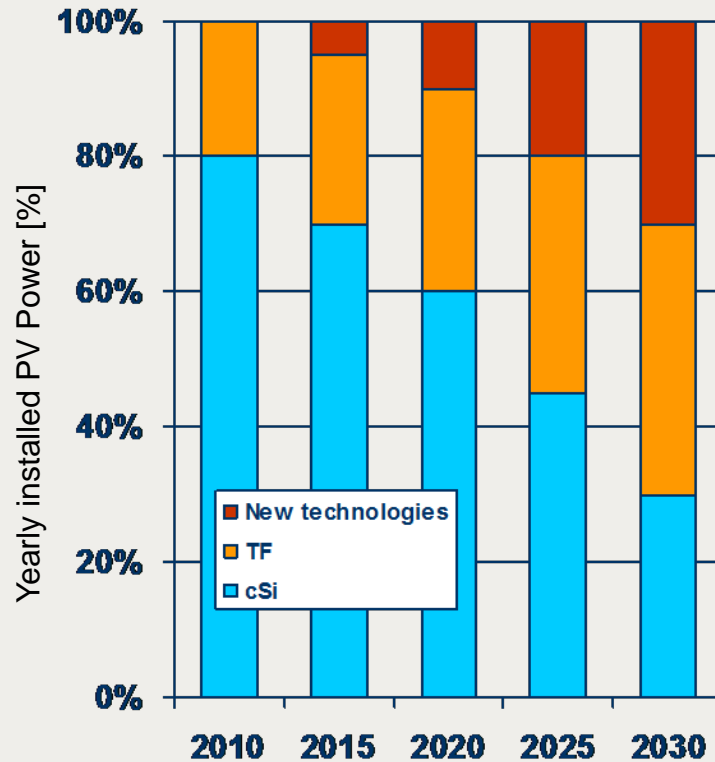
Source: EPIA und B. Dimmler, Würth Solar

Entwicklung des globalen PV-Marktes



Source: based on G. Willeke, Fraunhofer ISE

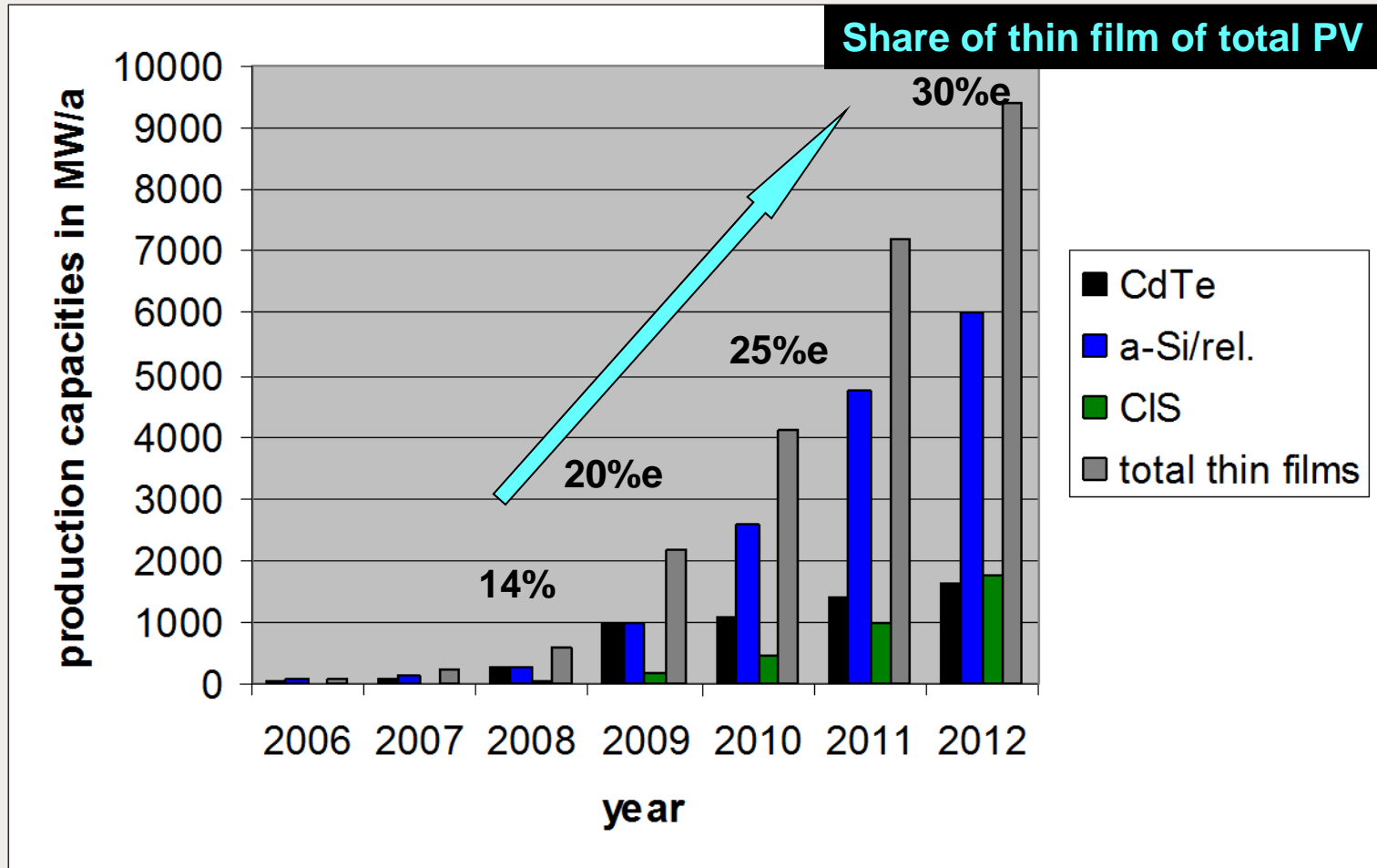
Possible Shares of PV materials



	2010	2020	2030
c-Si	80	60	30%
Thin Films	20	30	40%
Others (CPV+organic+dye+new)	<2	10	30%

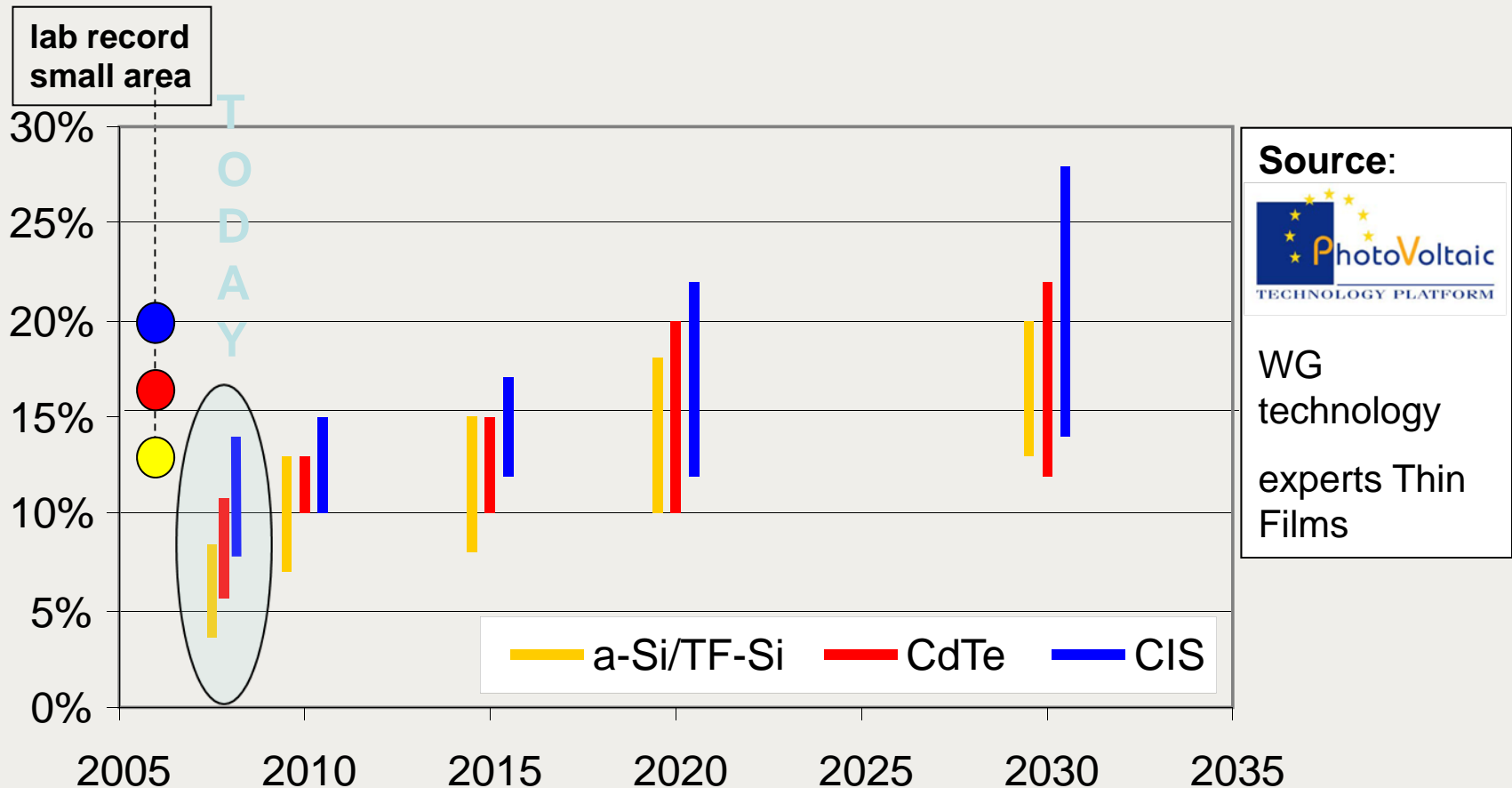
Reference:
Winfried Hoffmann, EPIA, Bernhard Dimmler

Expected Thin Film Capacities worldwide (as of December 2009)



Module Efficiency

Expectation of MIN / MAX values to be reached
driven by intensive R & D and innovations



Silizium PV Technologie: Material → Wafer → Modul

F&E für jeden Produktionsschritt

mono-c-Si:

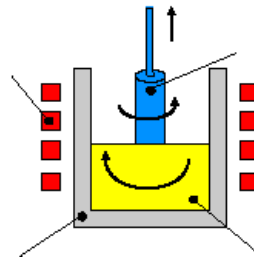
$\eta_{\text{cell}} \sim 18-22 \%$

$\eta_{\text{cell}} \sim 20-24 \%$

$\eta_{\text{module}} \sim 16-20 \%$

$\eta_{\text{module}} \sim 18-23 \%$

Pulling of Single Crystals
(Czochralski)



multi-c-Si:

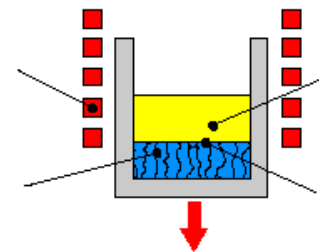
$\eta_{\text{cell}} \sim 14-17 \%$

$\eta_{\text{cell}} \sim 16-20 \%$

$\eta_{\text{module}} \sim 12-15 \%$

$\eta_{\text{module}} \sim 15-18 \%$

Bridgman Solidification

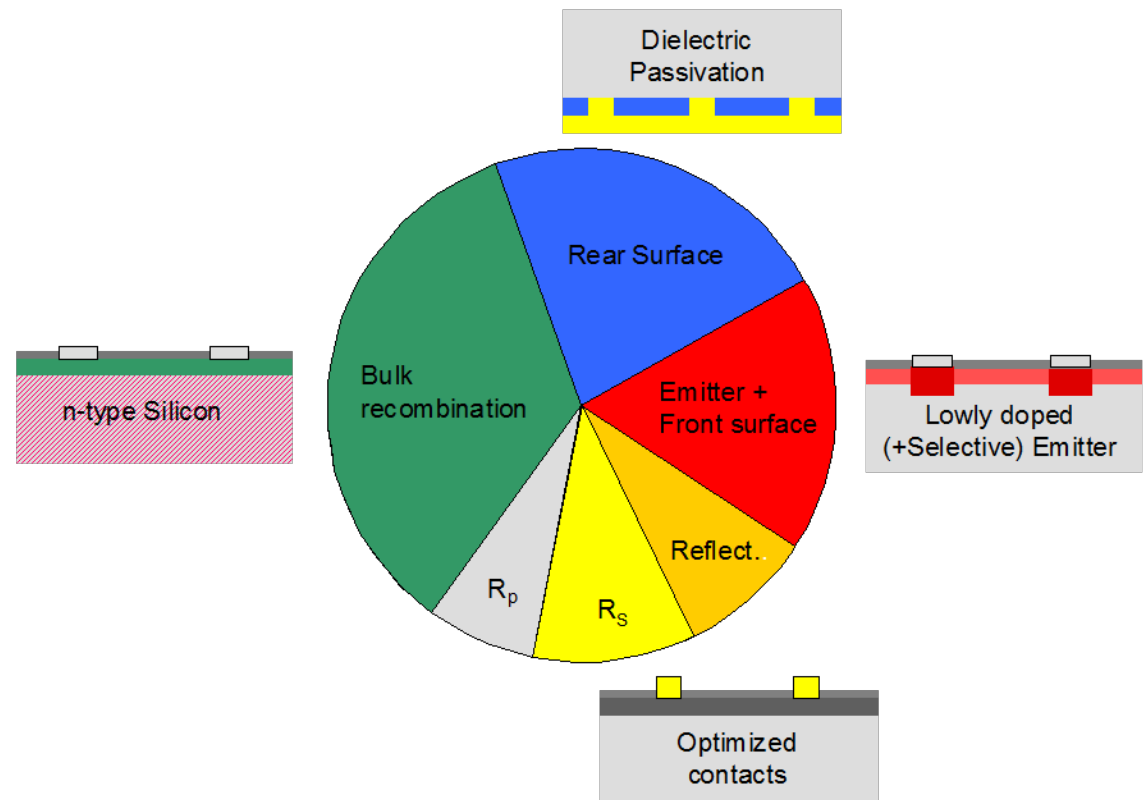


Sketches courtesy of W. Koch

Wege um den Si-Zellwirkungsgrad zu erhöhen

F&E Trends:

- Verbesserte Metallisierung
- Selektive Emitter
- Dielektrische Oberflächenpassivierung
- Dünnere Wafer
- Ultra light trapping
- Bessere Materialqualität (n-type Silizium)
- Rückseiten-Kontakt Zellen



Source: S. Glunz, Fraunhofer ISE

Unabhängig von der jeweiligen Technologie ist das Ziel aller Forschungsarbeiten im Bereich der PV:

Reduzierung der Energieproduktionskosten auf €/kWh-Basis

dazu ist erforderlich:

Industrielle Massenfertigung

→ optimierte Produktionsprozesse und –abläufe, Skalierungs- und Lerneffekte

technologische Innovationen

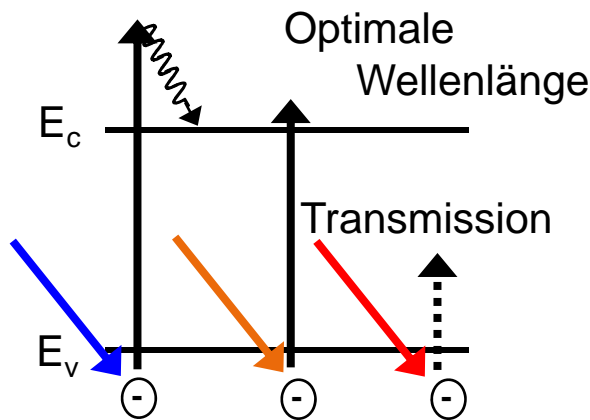
→ neue Produktionstechnologien, z.B. Einsatz von Laserprozessen

→ **höhere Wirkungsgrade** bei Komponenten und im PV-System

Höhere Solarzellenwirkungsgrade und Grenzen

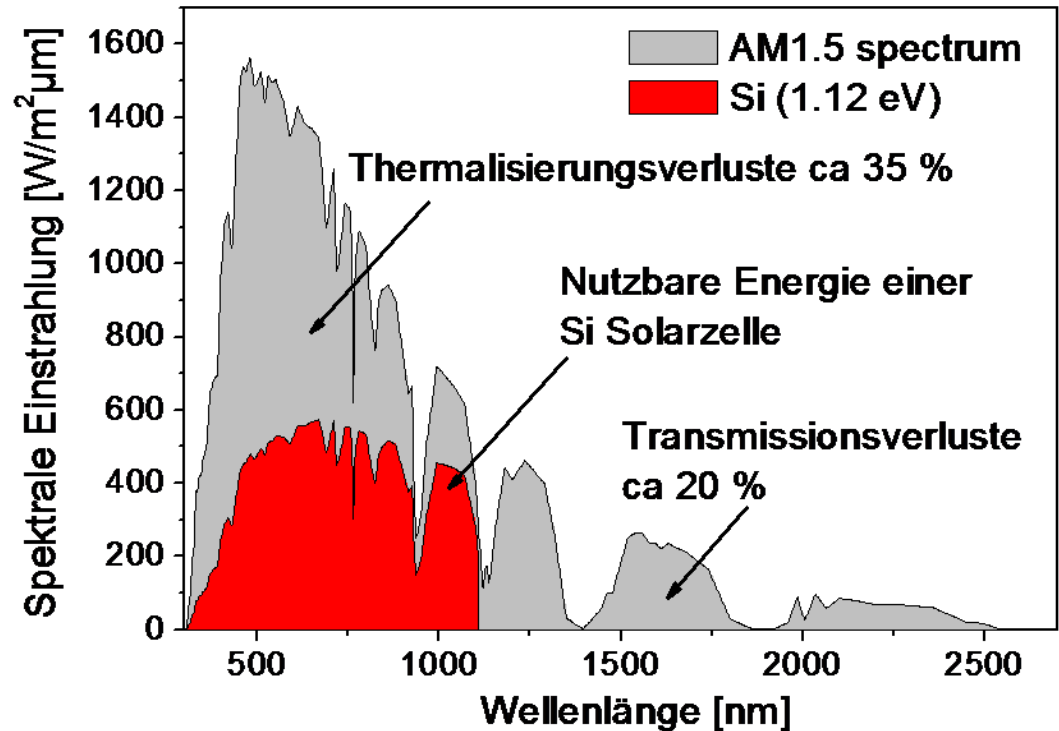
Die spektrale Breite des Sonnenspektrums als Herausforderung → Photonenmanagement

Thermalisierung



Theoretische Grenze: 33%

Bester Laborwert: 25%



Höhere Solarzellenwirkungsgrade und Grenzen

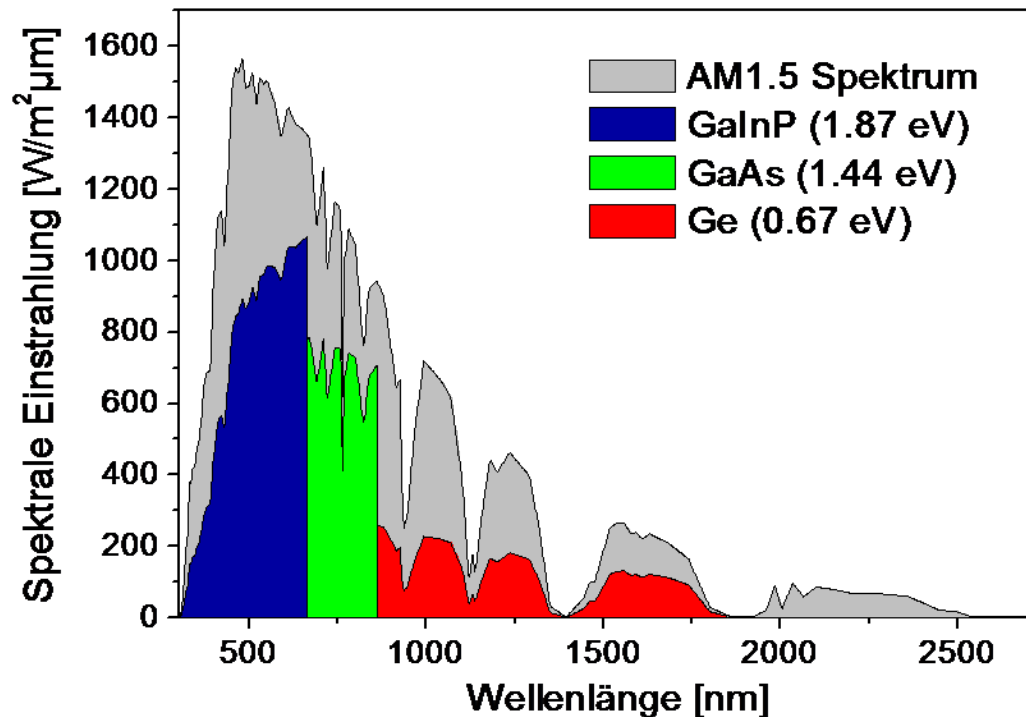
Photonenmanagement durch Mehrfachsolarzellen

Theoretische Wirkungsgrade
ohne optische Konzentration:

⇒ 2 - jct. 45.3%
3 - jct. 51.2%
4 - jct. 54.9%

Beste Laborwerte:

3 - jct. 35.8%
3 - jct. 41.6 % @290 suns



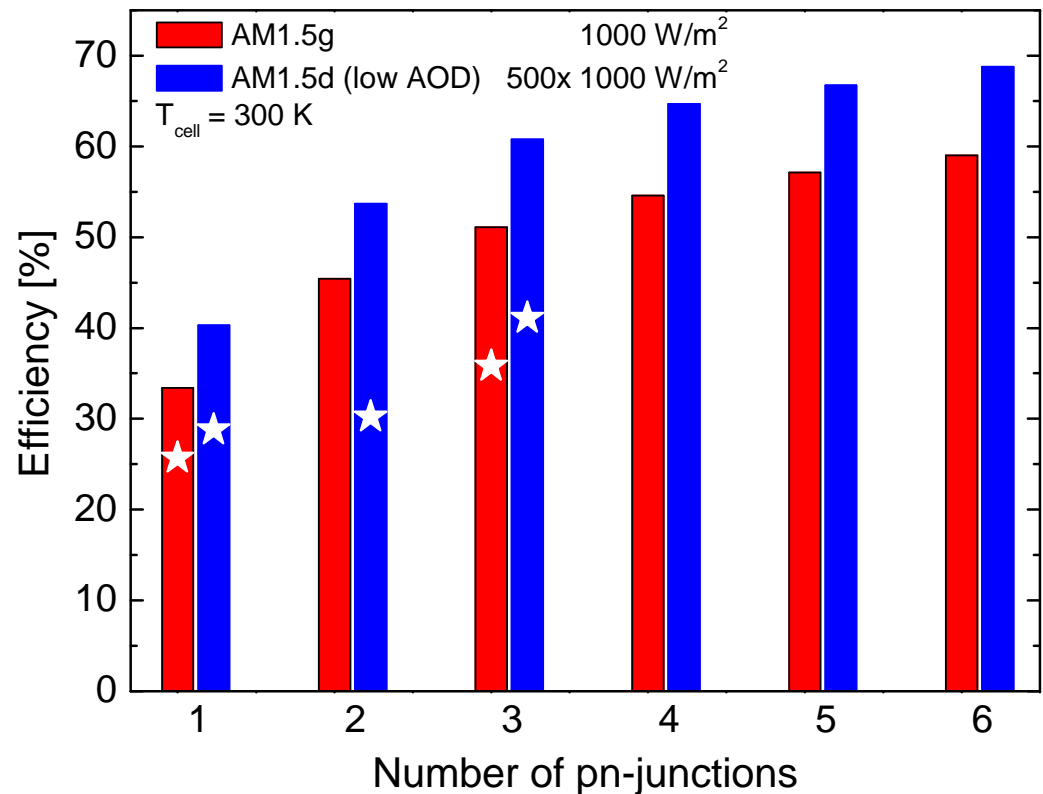
Wirkungsgrade für Mehrfachszellzellen

Shockley-Queisser Limit

■ Anstieg des Wirkungsgrads mit der Anzahl der Teilzellen

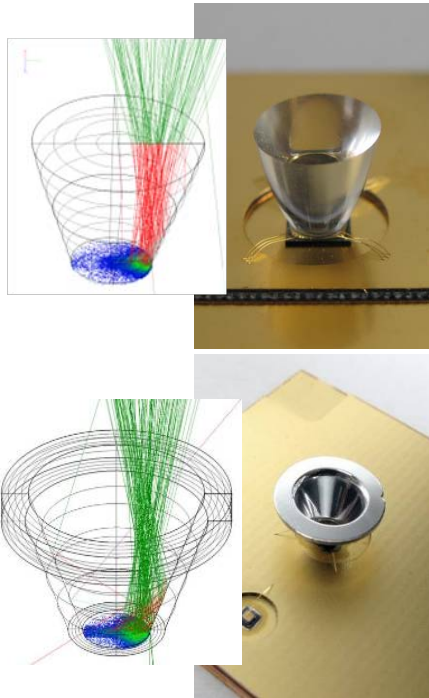
■ Höhere Wirkungsgrade unter konzentriertem Sonnenlicht

→ Konzentratortechnologie



F&E zu optischen Konzentratoren für die PV

→ Beeinflussung des solaren Winkelspektrums



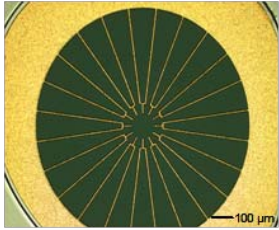
Source: Concentrix Solar



Source: Zenith Solar, Israel

Primär- und Sekundäroptiken: Fresnellinsen, Spiegel, CPC's, TIR-Optiken....

PV-Wirkungsgrade bei monochromatischer Beleuchtung

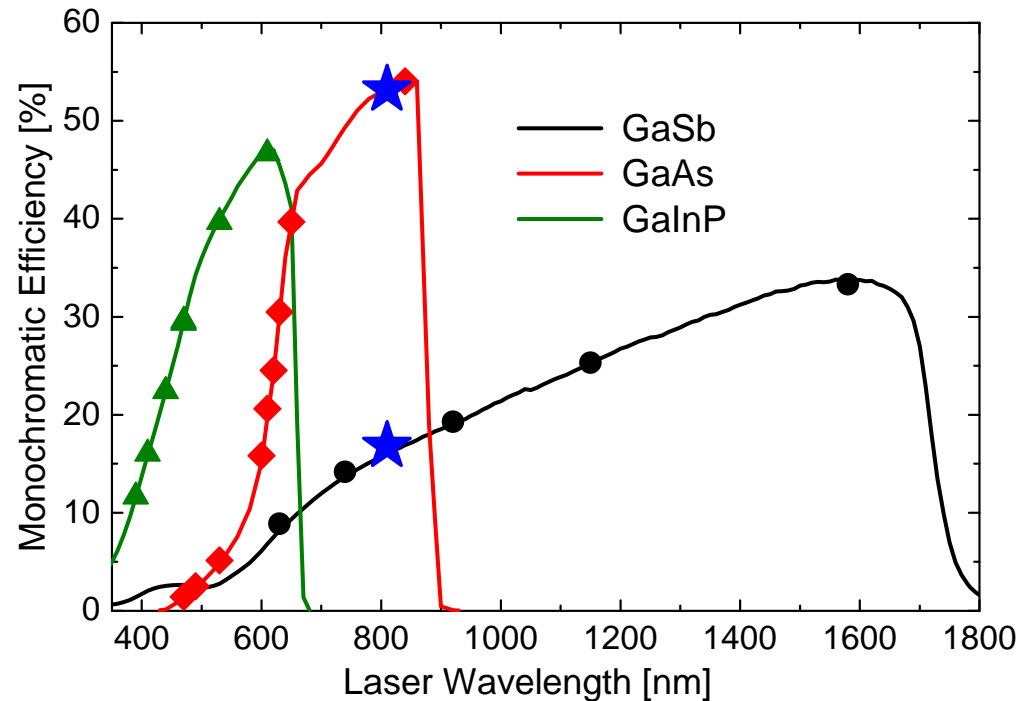


monochromatic laser radiation

Keine
Thermalisierungs- und
Transmissionsverluste

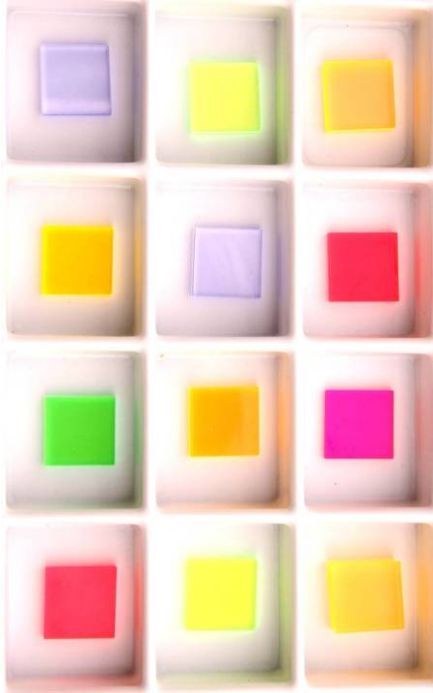
→ ultimates Photonen-
management

→ realisierte
Wirkungsgrade
> 55 %

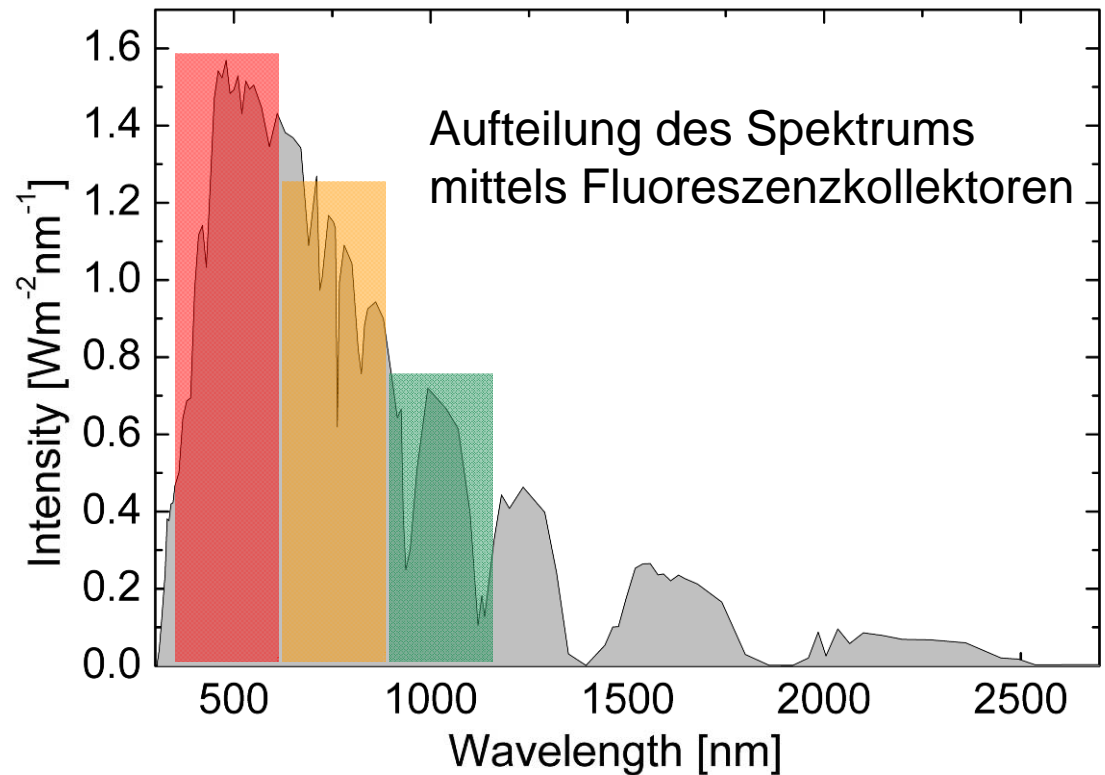


Photonenmanagement durch "Spectral Shaping"

Beispiel Fluoreszenzkollektoren



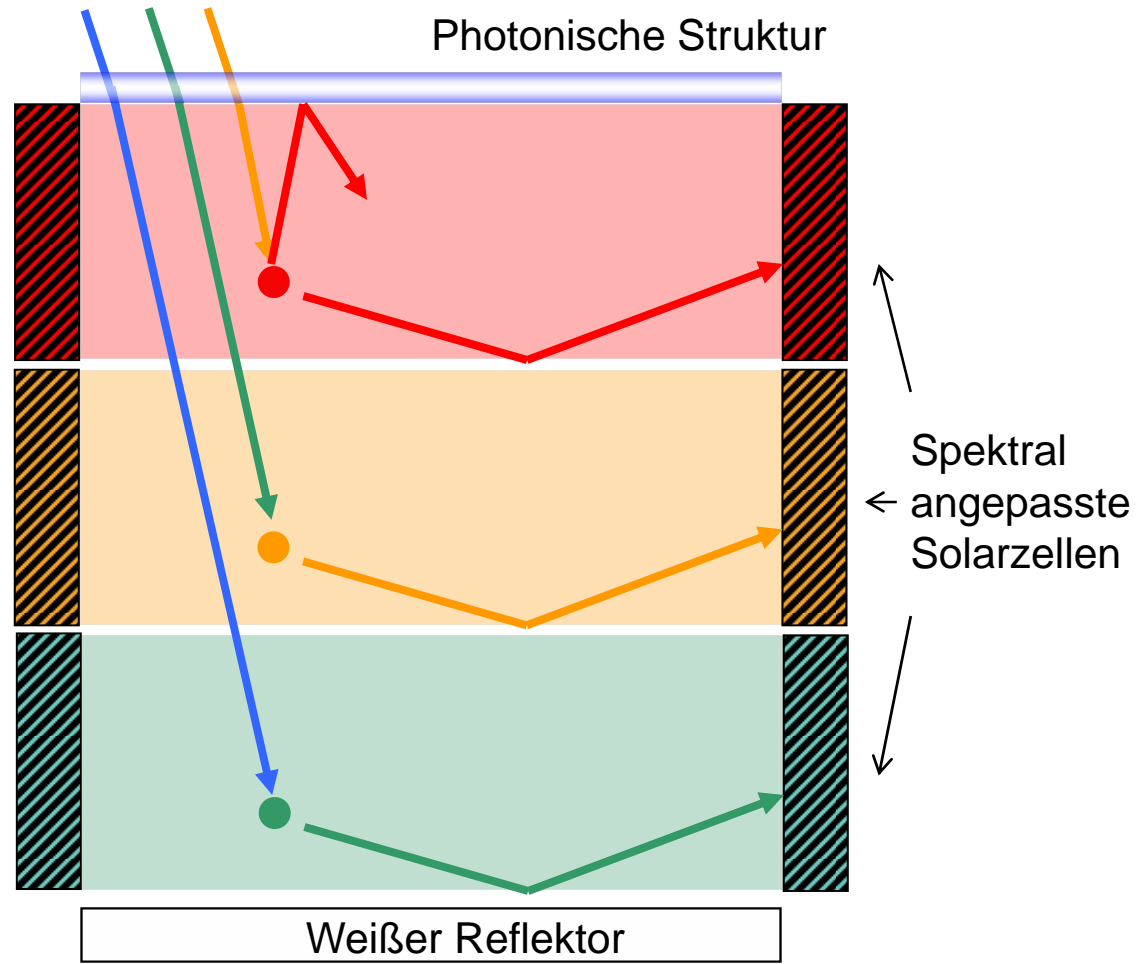
Beispiele für Fluoreszenzkollektoren



Photonenmanagement durch "Spectral Shaping"

Beispiel Fluoreszenzkollektoren

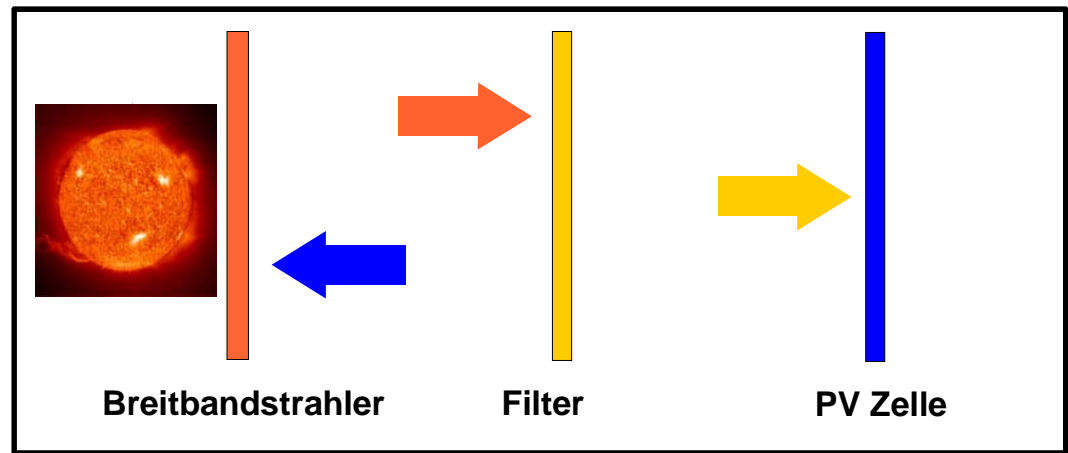
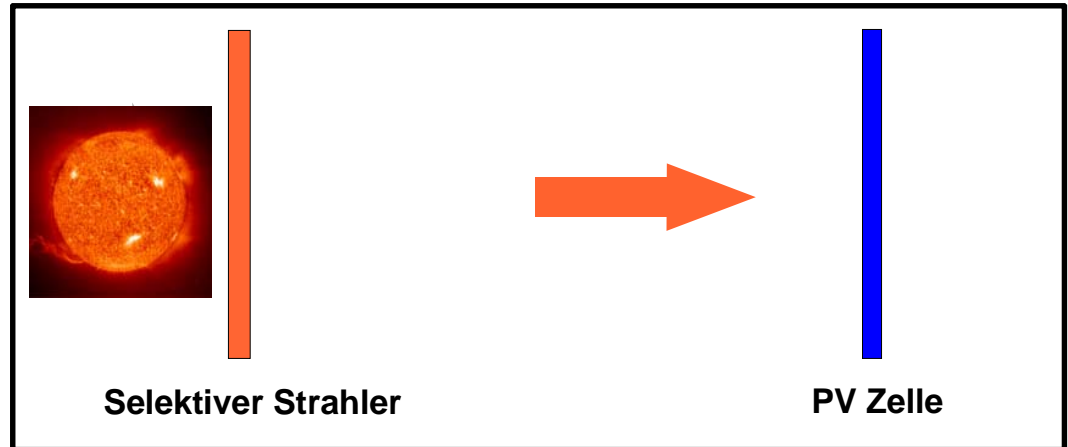
- Mehrere Fluoreszenz-konzentratoren in unterschiedlichen Spektralbereichen aktiv
- Solarzellen an die Emission der Farbstoffe angepasst
- Photonische Struktur um Austrittsverluste zu minimieren



Photonenmanagement durch "Spectral Shaping"

Beispiel Thermophotovoltaik

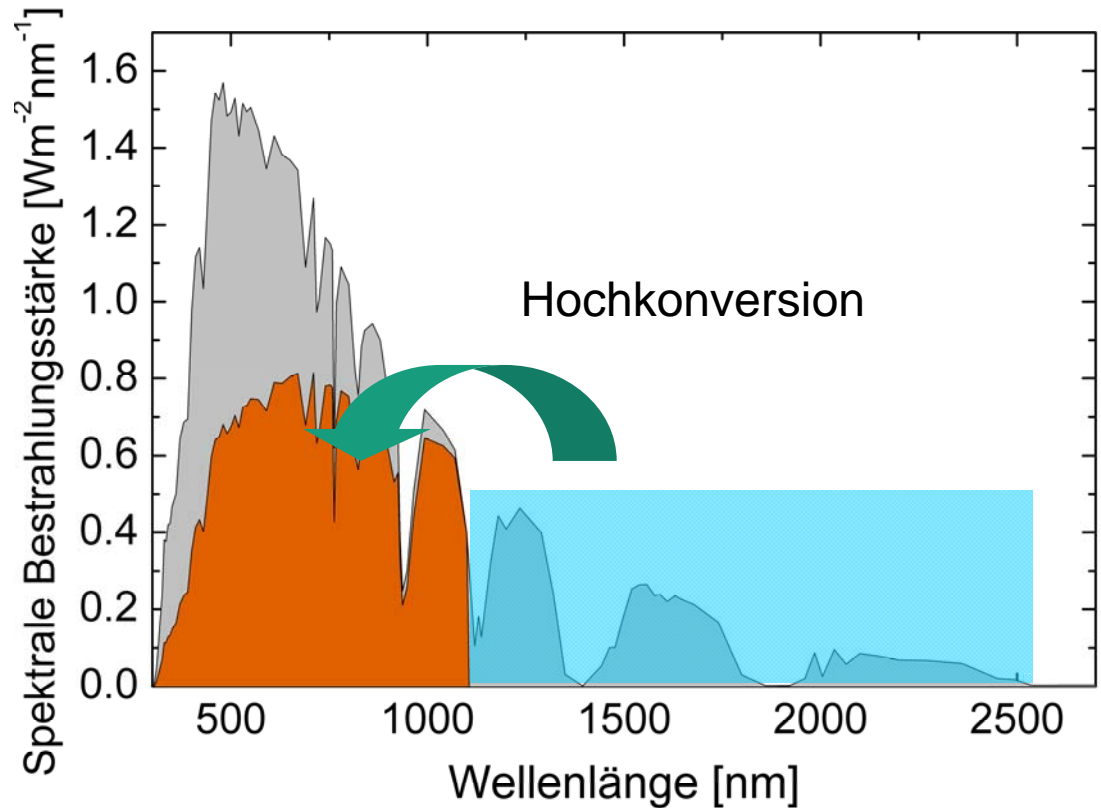
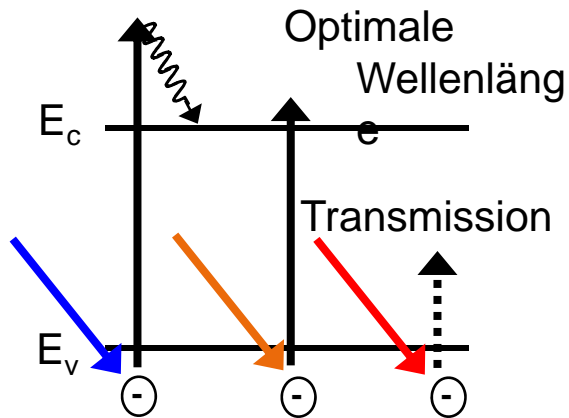
- Die Sonnenenergie wird in einem selektiven Strahler gewandelt.
- Ein Breitbandstrahler in Kombination mit selektivem Filter nutzt die Sonnenenergie.



Photonenmanagement durch Hochkonversion von Photonen unterhalb der Bandlücke

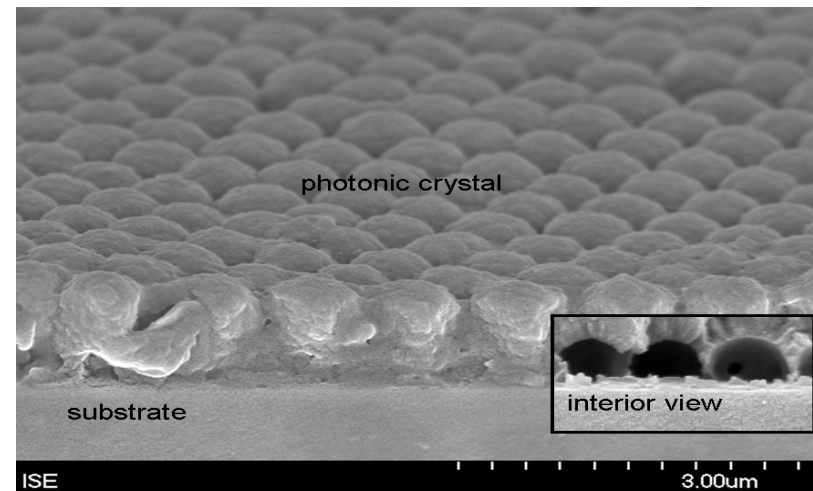
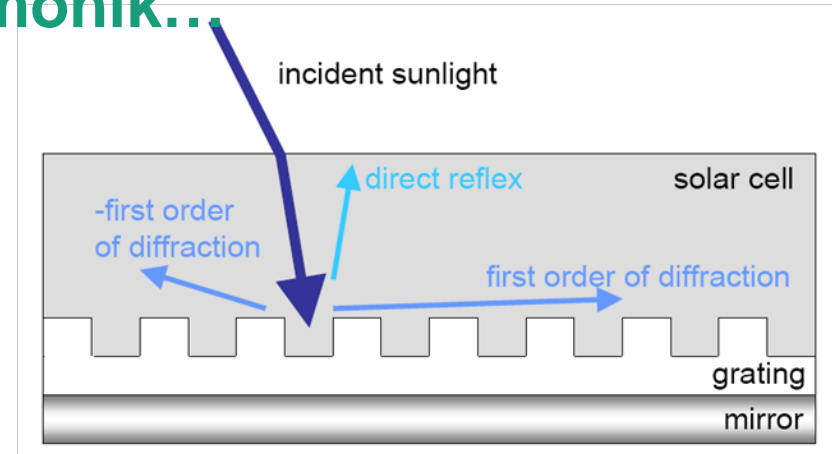
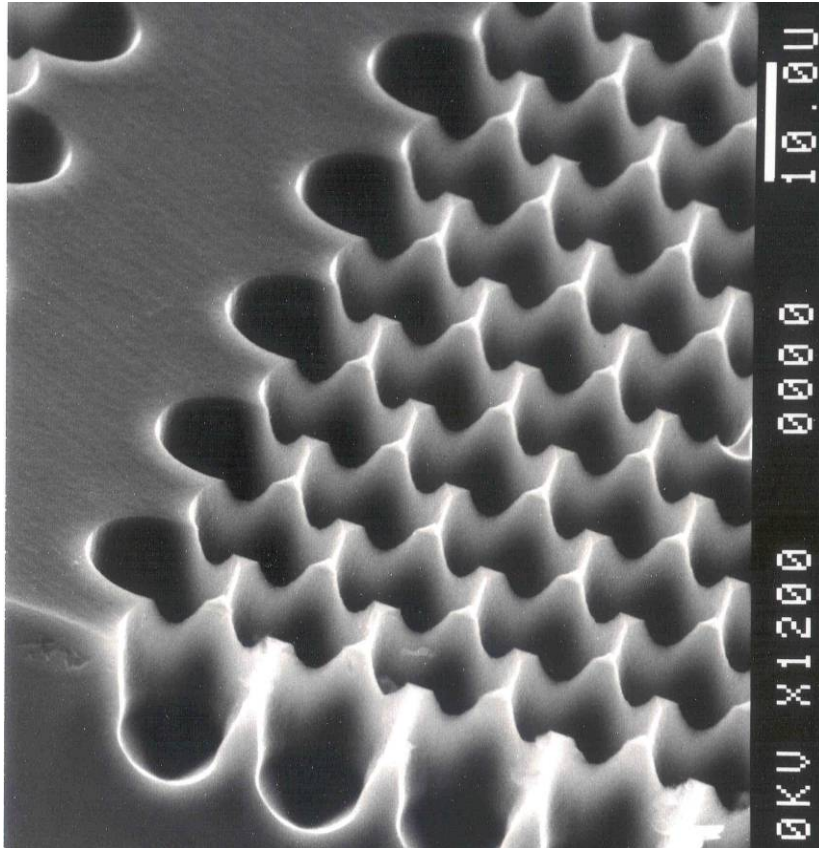
Weniger Transmissionsverluste

Thermalisierung

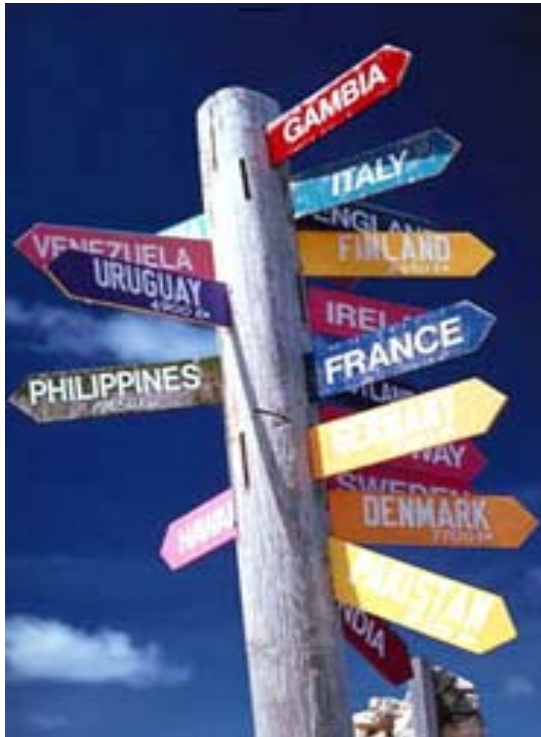


Photonenmanagement durch Lichtfallen

Mikro- und Nanostrukturen, Beugungsgitter, Photonische Kristalle, Plasmonik...

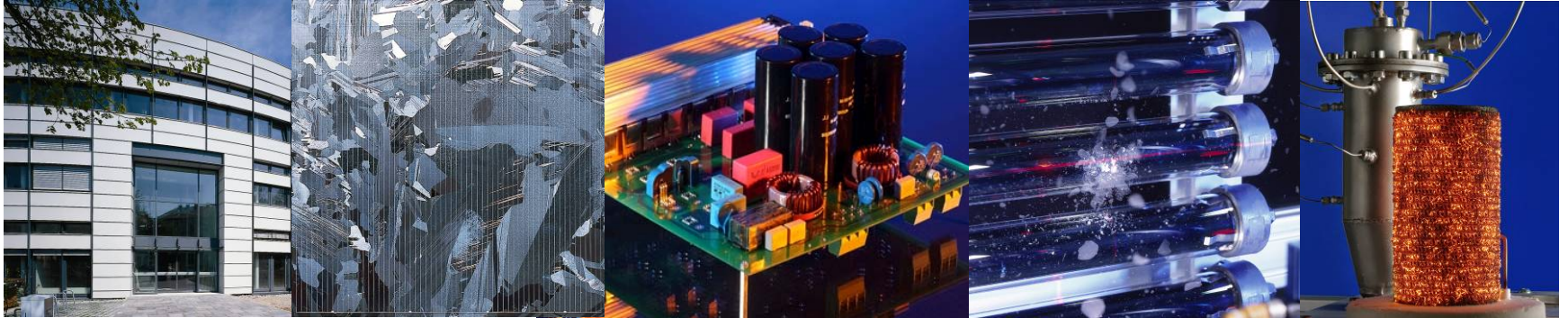


Photovoltaik 3.0 - Zusammenfassung



- Der PV-Markt wird weiter kontinuierlich wachsen. Die F&E-Anstrengungen müssen mit wachsen
- Es gibt viele Ansätze/Technologien, um die Kosten der PV-erzeugten Energie zu senken! Gemeinsam sind allen:
 - hoher Wirkungsgrad
 - günstige Fertigungsprozesse
- Das „Management der Photonen“ rückt verstärkt in den Forschungsblickpunkt und wird in jeder PV-Technologie genutzt

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Andreas Bett

www.ise.fraunhofer.de

andreas.bett@ise.fraunhofer.de