

Sonnige Aussichten: Neue Entwicklungen und Technologieoptionen für die Solarenergienutzung

Dr. Bianca Lim,
Institut für Solarenergieforschung Hameln

Prof. Christian Jooß,

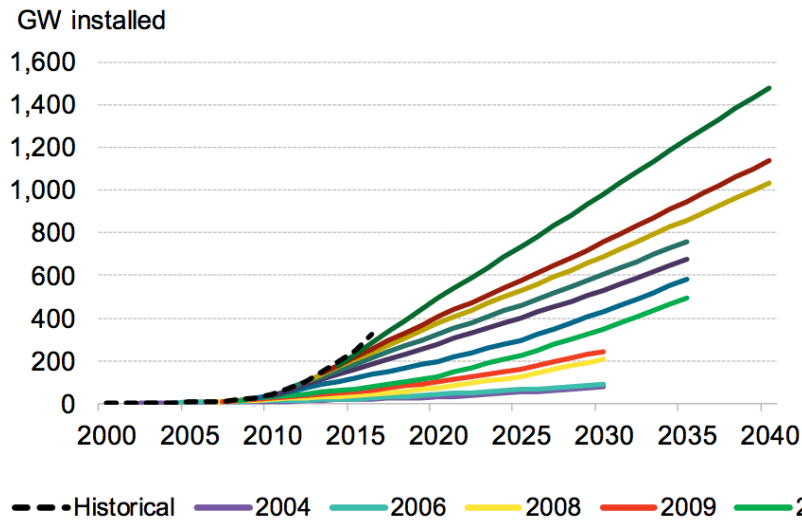
Prof. Michael Seibt,
Universität Göttingen und EFZN

Dr. Martin Vehse,
DLR-Institut für
Vernetzte Energiesysteme

Hannover, den 06. September 2018

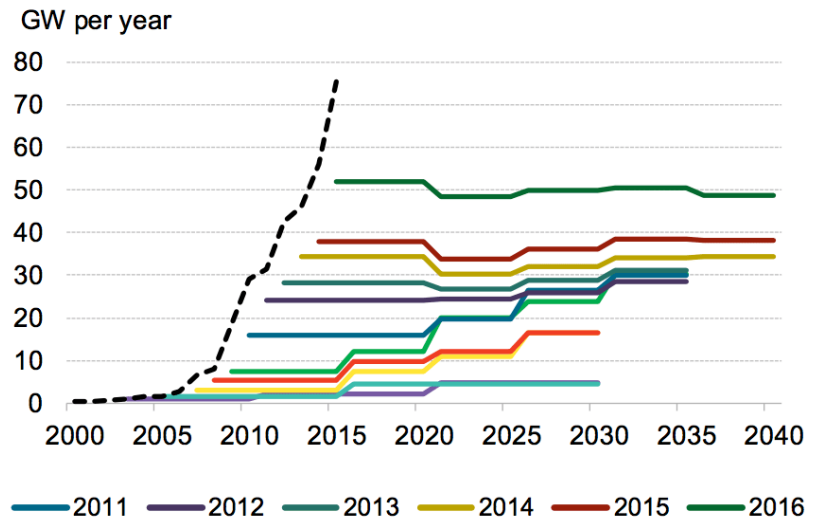
Erfolgsgeschichte Solarenergie

Kumulative, globale SE-Installationen



Note: 2004-2009 Reference, 2010-2016 New Policies Scenario

Jährlicher Zubau



Source: IEA World Energy Outlook

Bloomberg
New Energy Finance

Solarenergie ist konkurrenzlos günstig in anderen Ländern...

Abu Dhabi: Three world record bids entered for Sweihan solar project

20. SEPTEMBER 2016 | [TOP NEWS, MARKETS & TRENDS, GLOBAL PV MARKETS, APPLICATIONS & INSTALLATIONS](#) | BY: SAM POTHECARY



http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/abu-dhabi--three-world-record-bids-entered-for-sweihan-solar-project_100026191/#axzz4KsebzUjm, abgerufen am 21.09.2016

<https://www.pv-magazine.com/2017/10/04/saudi-arabias-300-mw-solar-tender-may-conclude-with-lowest-bid-ever/> abgerufen am 05.11.2017

- 2016: 2,42 \$cent/kWh in Abu Dhabi
- 2017: 1,78 \$cent/kWh in Saudi-Arabien

Managing Member	Consortium Member		IRR (%)	LEC (in fjs/kWh)	Weighted LEC (in fjs/kWh)	Ranking based on Weighted LEC
Marubeni	Jinko Solar		7.00%	10.796 (USD 2.940c)	8.888 (USD 2.420c)	1
Masdar	EDF	PAL	7.00%	11.311 (USD 3.080c)	9.404 (USD 2.533c)	2
Tenaga	Phelan Energy		7.15%	11.512 (USD 3.135c)	9.543 (USD 2.598c)	3
RWE	8-Electric		7.00%	13.038 (USD 3.550c)	10.720 (USD 2.919c)	4
JGC	First Solar	Sojitz	8.46%	13.840 (USD 3.769c)	11.339 (USD 3.088c)	5
Keppco	Q Cells	GSE	7.00%	15.980 (USD 4.351c)	13.349 (USD 3.635c)	6

Source: Middle East Solar Industry Association (MESIA)

...und wird auch immer wettbewerbsfähiger bei uns!

Germany's auction for large-scale solar concludes at €0.0429 per kWh

The average price for bids submitted in Germany's auction for large-scale solar has fallen below the mark of €0.050/kWh for the first time. A total of 20 projects with a combined capacity of 222 MW were awarded by the Federal Network Agency.

OCTOBER 16, 2017 SANDRA ENKHARDT

UTILITY-SCALE PV GERMANY

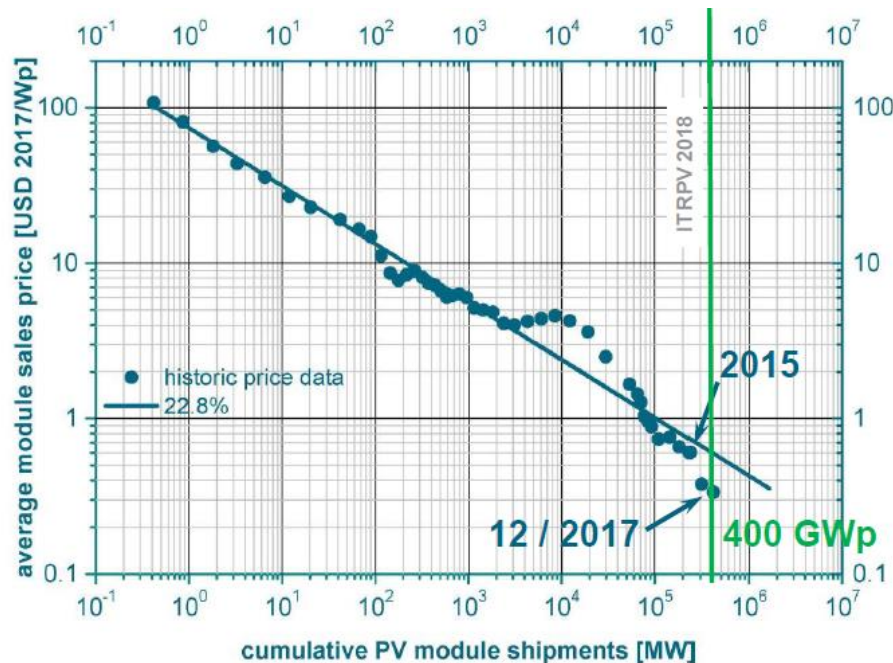


Picture: Trianel

- Oktober 2017: 4,29 €cent/kWh in Deutschland
- 12 von 20 Anlagen der Ausschreibungsrunde in Bayern, eine im Norden (Mecklenburg-Vorpommern)

<https://www.pv-magazine.com/2017/10/16/germanys-auction-for-large-scale-solar-concludes-at-e4-29-per-kwh/>
abgerufen am 05.11.2017

Historische Entwicklung der PV-Modulpreise

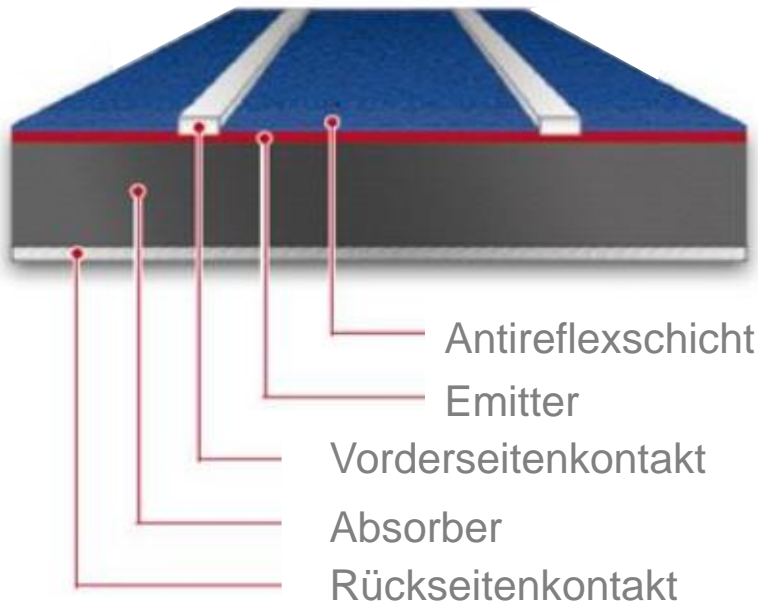


- Weiteres Sinken der Preise zu erwarten
- Reduzierung der Kosten durch
 - Skaleneffekte
 - Schlanke Produktionsprozesse
 - Erhöhung des Wirkungsgrads...

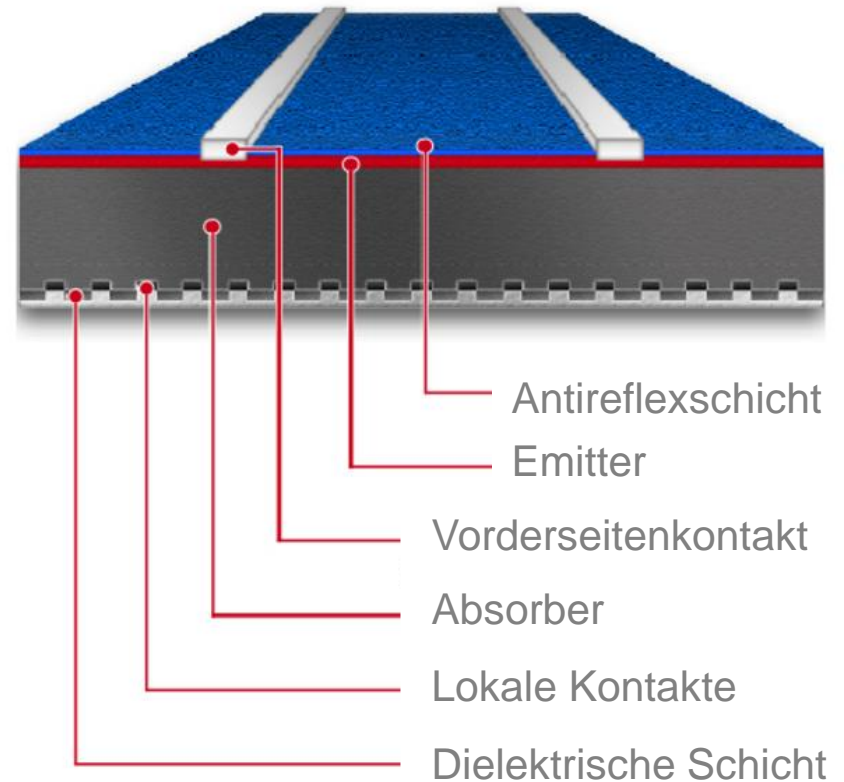
M. Fischer, ITRPV 9th edition 2018 – report release and key findings, *PV CellTech Conference*, Penang, Malaysia, 2018

...durch schrittweise Weiterentwicklung der „Standard“-Solarzelle...

Aluminium BSF

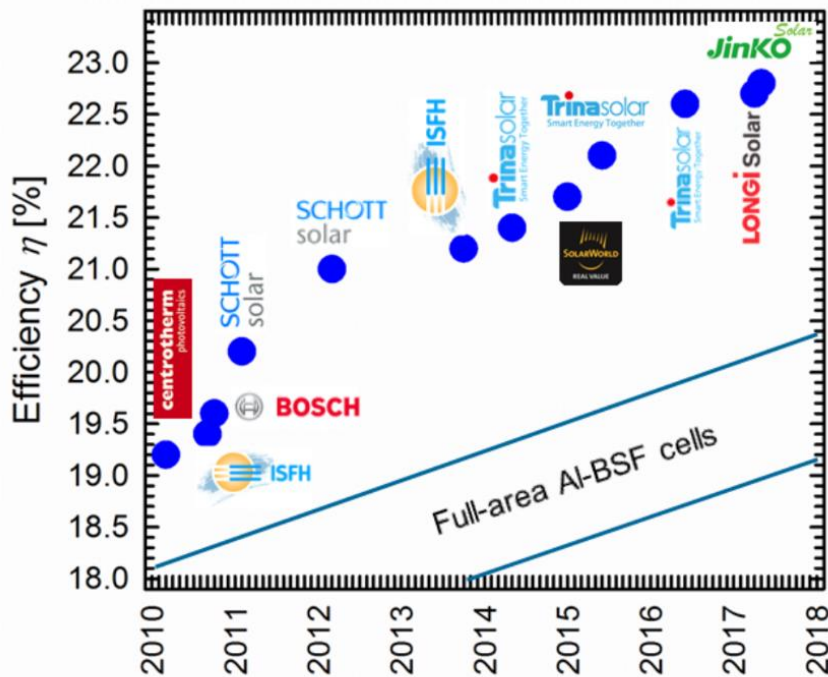
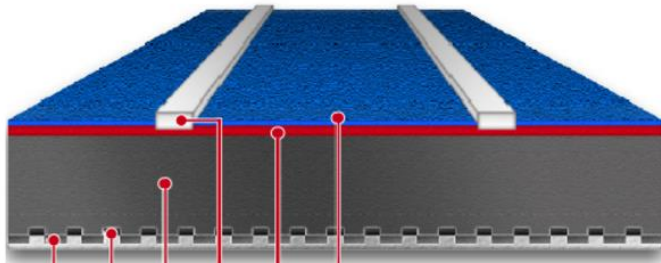


Passivated Emitter and Rear Cell



<http://www.centrotherm.de/technologien-loesungen/photovoltaik/technologiekompetenz/alox-perc-technologie.html>

...zu der auch das ISFH beigetragen hat



SINGULUS

centrotherm
photovoltaics

MEYER BURGER

INNOLAS
solutions

R | E | N | A |

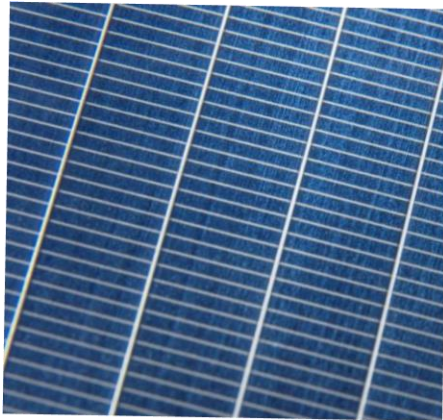
LPKF
Laser & Electronics

SOLARWORLD
REAL VALUE

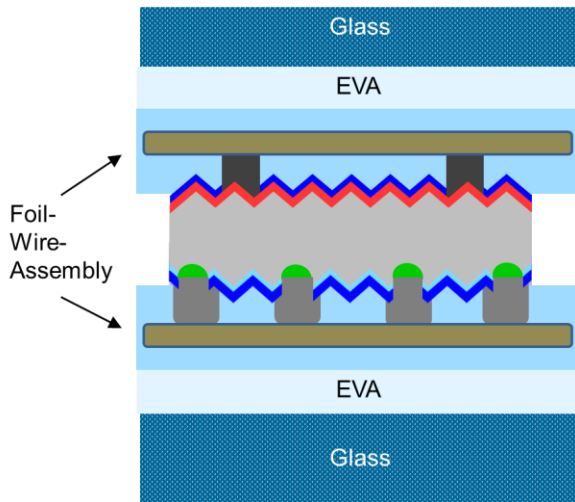
- $\text{AlO}_x/\text{SiN}_y$ -Passivierung¹
- ICP $\text{AlO}_x/\text{SiN}_y$ ²
- Linien LiCO_3 ³
- PERC RS Politur⁴
- 5 Busbar Design⁵
- Schnelle Regeneration⁶
- Bifaziale PERC+ Zellen⁷

1. J. Schmidt et al., *Phys. Status Solidi RRL* **3**, p. 287 (2009)
2. T. Dullweber et al., *Sol. Eng. Mat. S. C.* **112**, p. 196 (2013)
3. S. Gatz et al., *Phys. Status Solidi RRL* **5**, p. 147 (2011)
4. C. Kranz et al., *Energy Procedia* **38**, p. 243 (2013)
5. T. Dullweber et al., *29th EUPVSEC*, p. 621 (2014)
6. D. C. Walter et al., *Appl. Phys. Lett.* **104**, p. 042111 (2014)
7. T. Dullweber et al., *Prog. Photovolt.* **24**, p. 1487 (2016)

...durch beidseitig licht sammelnde PV-Module



	V_{oc} [V]	I_{sc} [A]	FF [%]	η [%]
18 PERC+ Zellen	11.9 ^Σ	4.91 ^Ø	> 78.3	> 20.8
Lichtquelle vorne	11.8	4.80	78.7	19.8*
Lichtquelle hinten	11.8	3.94	78.8	16.4*

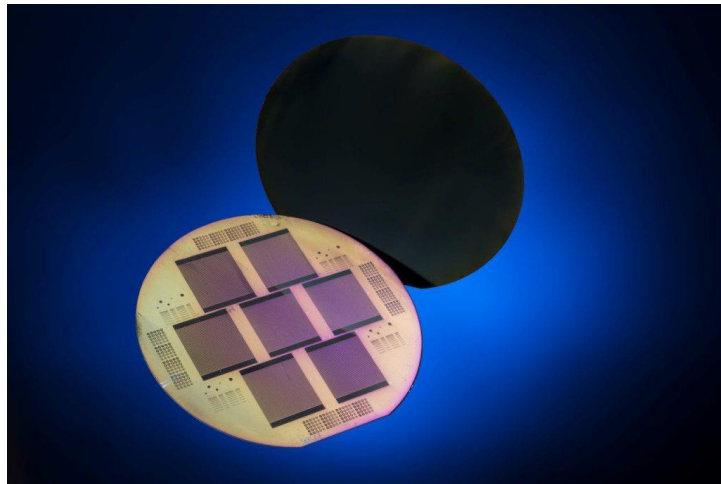
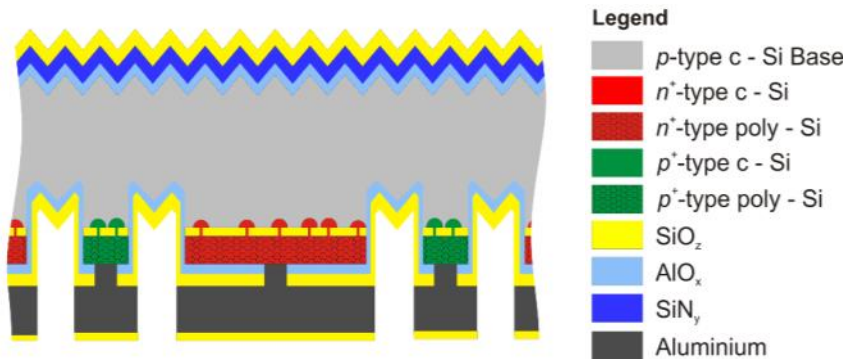


$$\eta_{eq,0.1} \equiv \eta_{front} + 0.1 \times \eta_{rear} = 21.4\%$$

*unabhängig bestätigt vom  TÜVRheinland®
Precisely Right.

T. Dullweber, H. Schulte-Huxel, S. Blankemeyer, H. Hannebauer, S. Schimanke, U. Baumann, R. Witteck, R. Peibst, M. Köntges, R. Brendel, and Y. Yao, *Japanese Journal of Applied Physics* **57** (8S3), p. 08RA01 (2018)

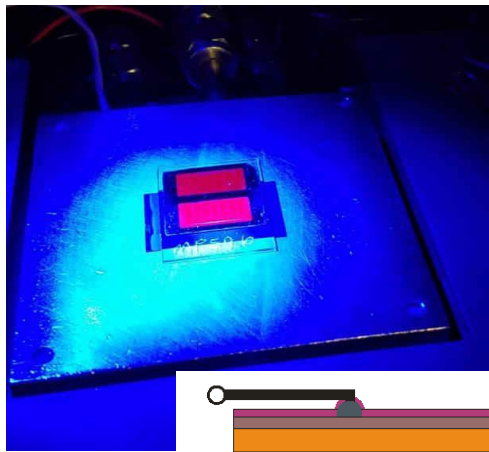
...durch neue, extrem verlustarme Kontakte (poly-Si-on-Oxide, POLO)



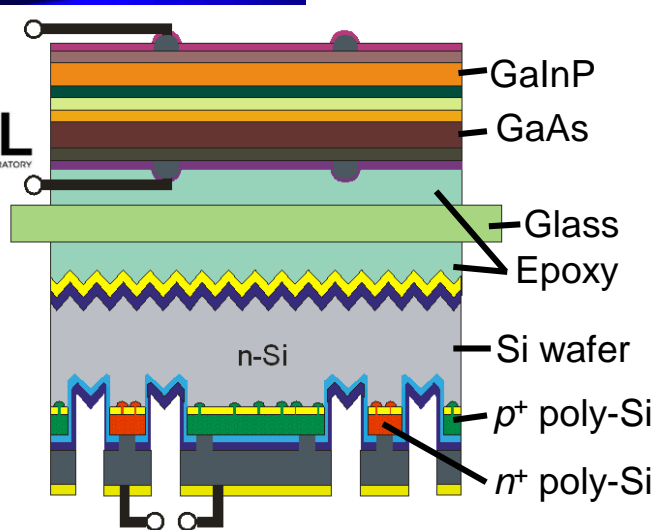
- Höchster bisher erreichter Wirkungsgrad:
 $\eta = 26,1\%$ ($A = 4 \text{ cm}^2$)
(unabhängig bestätigt vom ISFH CalTeC)
→ Weltrekord für p-Typ Si
- Laborzelle mit beiden Kontakten auf der Rückseite
→ keine Abschattung
- Komplizierter (=potentiell teurer) aber dennoch attraktiv für Anwendungen mit begrenztem Platzangebot
→ z. B. Fahrzeuge

F. Haase, C. Hollemann, S. Schäfer, A. Merkle, M. Rienäcker, J. Krügener, R. Brendel, and R. Peibst, *Solar Energy Materials and Solar Cells* **186**, pp. 184-193 (2018)

...durch Kombination mehrerer Absorber (Multijunctions)



NREL
NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY



- Mehrere Absorber erlauben effektivere Ausnutzung des Sonnenspektrums
- Verbindung der POLO-Solarzelle mit einer InGaP/GaAs-Solarzelle
- 35,4% Wirkungsgrad (in 4-Terminal-Konfiguration)
- Nah am Weltrekord von 37,9% für Triplejunctions allgemein → Si eignet sich genauso gut als Bottom-Solarzelle wie teurere III/V-Alternativen

M. Rienäcker, M. Schnabel, E. Warren, A. Merkle, H. Schulte-Huxel, T. R. Klein, M. F. A. M. van Hest, M. A. Steiner, J. Geisz, S. Kajari-Schröder, R. Niepelt, J. Schmidt, R. Brendel, P. Stradins, A. Tamboli, and R. Peibst, *Proc. 33rd EU PVSEC*, Amsterdam, The Netherlands, pp. 1-4 (2017)

Projekt: BIPVpod – Gebäude integrierbare Photovoltaik Module nach Kundenwunsch

- **Laufzeit:** Juni 2017 – Mai 2020
- **Projektziele:**
 - Fertigung von kundenspezifischen Modulen für BIPV
 - Entwicklung von farbgebenden Kontaktschichten
 - Entwicklung von Fertigungsprozessen für Freiform-Modul
 - Entwicklung von nachträglicher serieller Verschaltung
 - Demonstration von Modulen in Fassaden und Dächern



• **Forschungspartner:**



DLR

Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Institut für
Vernetzte Energiesysteme



Gefördert durch:

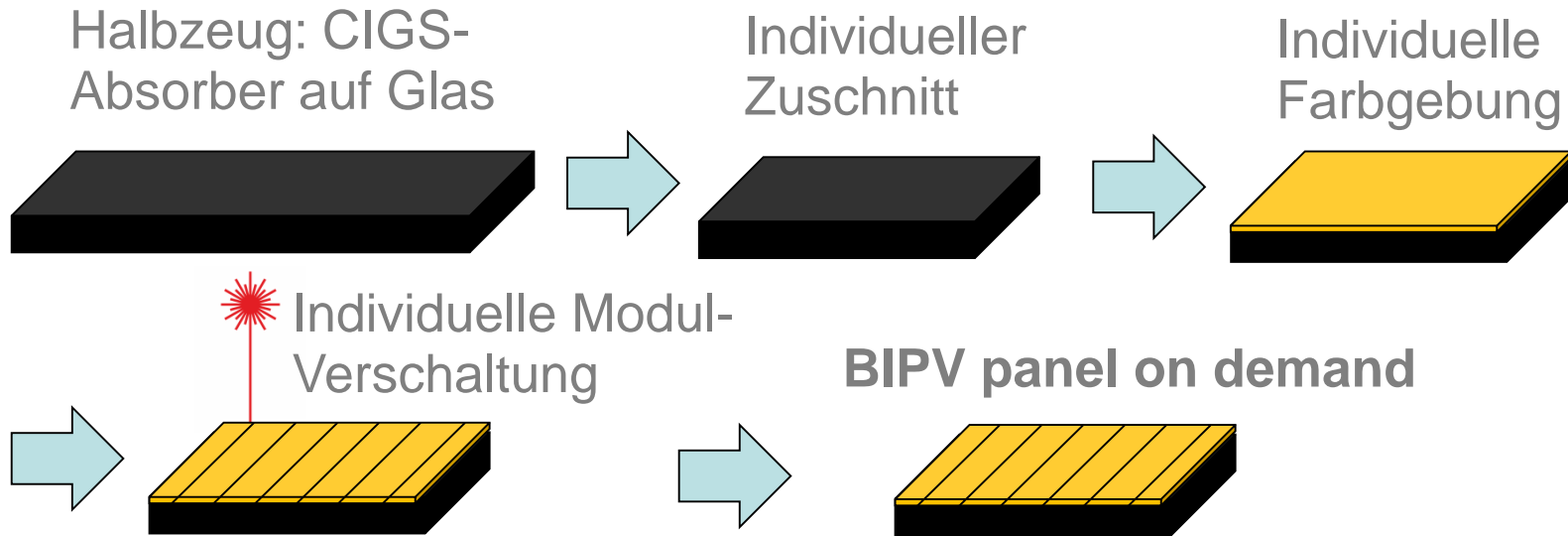


Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projekt: BIPVpod – Die Projektidee



BIPVpod-Lösung eröffnet neue Möglichkeiten:

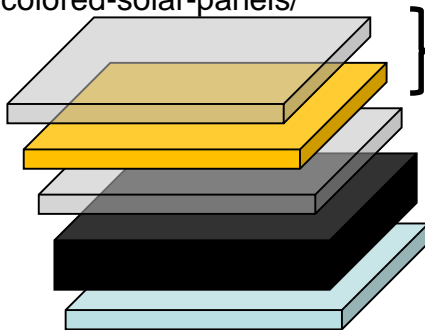
- Gebäudeintegration ist möglich wo der Standard versagt
- Freie Form- und Farbgebung
- Massenproduktion von individuellen Bauteilen
- Wertschöpfung durch Modulanpassung in Deutschland

Projekt: BIPVpod – Farbige Module „Keep it simple!“

Konventionelle farbige PV-Module



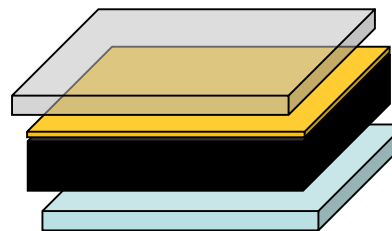
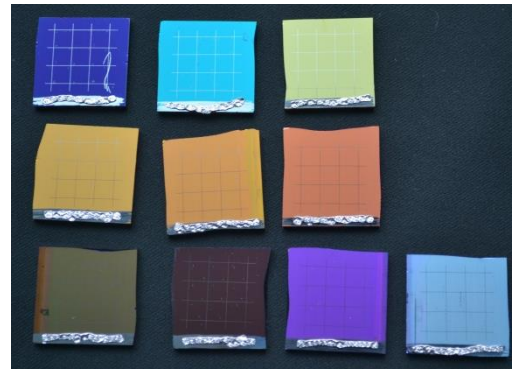
Quelle: <https://kameleonsolar.com/colored-solar-panels/>



Farbe = Zusätzliche
Schichten

Frontglas
PV-Schicht
Substrat

BIPVpod: Farbe im Frontkontakt

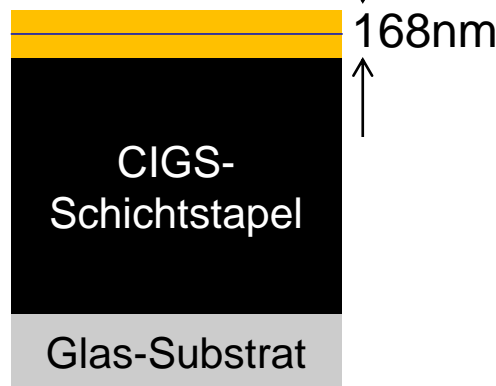
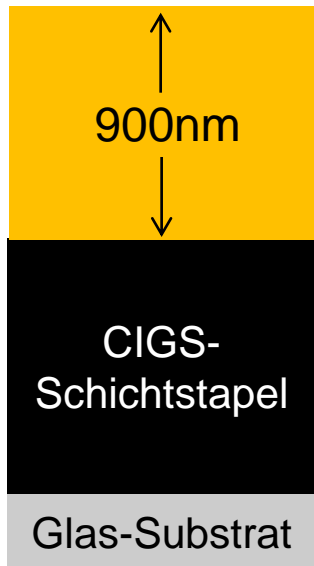
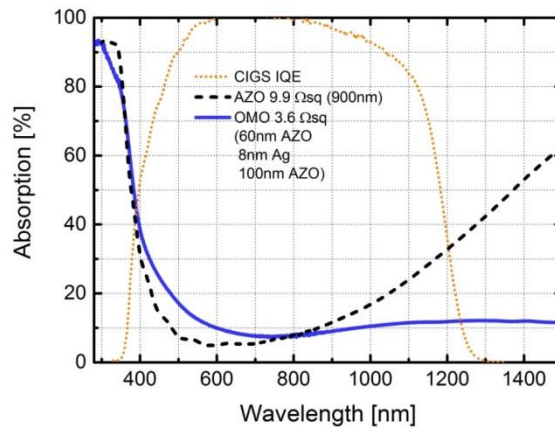


Konventionelle Farblösungen brauchen zusätzliche...

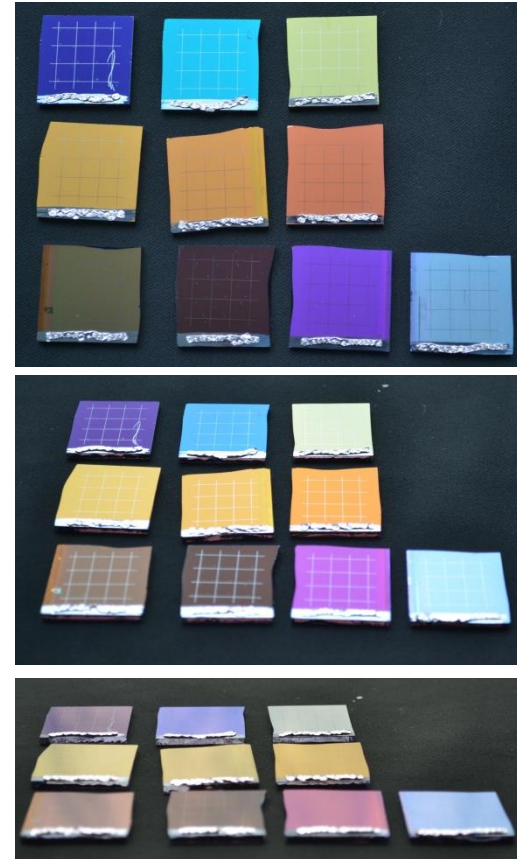
- Schichten
- Prozessschritte
- Fertigungsanlagen

BIPVpod-Lösung:

- Oxid-Metal-Oxid (OMO) als Frontkontakt
- Farbe durch Interferenzeffekte
- Alle Prozesse bereits in der Fertigung



Farbe unter unterschiedlichen Betrachtungswinkeln



Zusammenfassung

- Ausbau der Solarenergie schreitet sehr schnell voran, vor allem da es sich aus wirtschaftlicher Sicht immer mehr lohnt
- Preis- und Kostensenkungen u.a. durch technologische Entwicklungen und Fortschritte, die auch aus Niedersachsen kommen
- Forschung an Materialien, Solarzellen, PV-Modulen, Integration von SE in die Gebäudehülle