

# Farbige PV-Module - Technologien, Typen und Anwendungen

## Einführung

Die Hemmnisse für den Einsatz von Photovoltaik im Gebäude sind bei Architekten vorhanden, da die Gestaltungsfreiheit in Form und Farbe bei klassischen PV-Produkten begrenzt ist.

Durch die Möglichkeit andere Farbgestaltungen zu wählen, als kristallin-blau oder mono-schwarz, eröffnen sich für Architekten und Planer neue Möglichkeiten aktive Photovoltaik in die Gebäudehülle zu integrieren und Gebäude mit positiver Energiebilanz zu realisieren..

Aufgrund der Anforderungen an Baufeld und Gebäuderaster werden üblicherweise auf Mass gefertigte PV-Module in BIPV-Projekten eingesetzt. Diese sind zwar aufgrund der Sonderanfertigung deutlich teurer als die für den Weltmarkt optimierte Standard-PV-Module in hohen Stückzahlen, jedoch erfüllen die individuell angepassten Module eine Doppelfunktion in Fassade und Dach.

Die gewünschte Oberflächenoptik konnte bis dato nur mit der Zelltechnologie, Farbe der Rückseitenfolie und der Struktur des Frontglases im sehr begrenzten Masse variiert werden.

Anders als bei den BIPV Pionier-Projekten, wo die PV bewusst und plakativ als gestalterisches Element eingesetzt wurde, zeigt sich bei heutigen BIPV-Projekten der Wunsch diese Technologie unscheinbar werden zu lassen. Dies könnte bisher nur mit Dünnschichttechnologien wie CIS oder amorphen Silizium Zelltechnologien erreicht werden.

Es werden Technologien vorgestellt, die im begrenzten Rahmen auf dem Markt verfügbar sind und bei zukünftigen Projekten realisiert werden können.

Die Aufzählung ist nicht abschliessend und stellt den Stand der Entwicklung 2016/2017 dar.



Werkhof CH-Mels, sundesign

CIS Module, Bürogebäude PL-Koziencien (Avancis)

## Farbige kristalline Zellen

Unbeschichtete kristalline Siliziumzellen haben ein graues Erscheinungsbild. Die typisch blauschwarze Farbe erhalten die Zellen während des Produktionsprozesses der Antireflexbeschichtung (ARC) im Plasmaofen durch Siliziumnitrat ( $Si_3N_4$ ). Die resultierende Farbe hängt von der Dicke der Antireflexschicht ab.

Hierdurch können verschiedene Farben erzeugt werden.



Mögliche Zellfarben kristalliner Siliziumzellen (Sunways)

Die Wirkungsgrade hängen von der Farbe ab und schwanken zwischen 10-15%.

### Vorteile:

Interessante Reflexion der Farben insbesondere bei polykristallinen Zellen.

- Der Modulaufbau ist analog zu Standardmodulen und ist in BIPV-Projekten bereits seit mehr als 15 Jahren im Einsatz.
- Auch als Standardmodule verfügbar.
- Im Vergleich zu anderen farbigen Technologien preiswert.

### Nachteile:

- Wenig verfügbare Zellfarben.
- Kaum exakte Farbabstimmung mit gewünschten Farbton möglich.
- Abkleben der reflektierenden Busbars nicht sinnvoll.
- Wenig Anbieter von farbigen Zellen oder Modulen.



Paul-Horn Arena  
D-Tübingen,  
Suntechnics

Horn+  
Solar Decathlon  
Sunways

Werkhof Haselrain  
CH-Rheinf.,  
Suntechnics

## Grätzel Zelle / Farbstoffzelle

Die Funktionsweise der Farbstoffzelle wird auch als technische Photosynthese bezeichnet. Die Zelle besteht im Wesentlichen aus Titanoxid und organischen Farbstoffen. Die Dünnschichtzelle kann auch teiltransparent gefertigt werden und in vielen Farben für Sonderprojekte gefertigt werden. Die zurzeit unklaren Perspektiven bezüglich der Lebenserwartung schränken den Einsatz im konkreten BIPV-Projekt zunächst stark ein.

Der Wirkungsgrad liegt zwischen 2-8%.

### Vorteile:

- Auch Teiltransparenz möglich.
- Geringer Primärenergieaufwand bei der Herstellung
- Keine seltenen Materialien erforderlich.

### Nachteile:

- Zur Zeit wenig verfügbare Zellfarben
- Nur als Sonderanfertigung für BIPV-Projekte
- Zurzeit geringe Langzeitstabilität.
- Wirkungsgrad



Swiss Convention Center  
CH-Lausanne,  
Solaronix

PV-Fenster  
GB-London,  
Caventou

## Spektral selektive Beschichtung auf Glas

Solargläser mit farbigen Beschichtungen sind vermehrt in der PV-Industrie anzutreffen, die vom Standardmodul bis zum Custom-made Modul auf dem Markt erhältlich sind. Hierzu wird auf dem Glas eine Schicht aufgedampft, die im sichtbaren Lichtspektrum die Farbe reflektiert und im nahen Infrarot Spektrum das Licht transmittiert. Die führt zu hohen resultierenden Wirkungsgraden und Potential in der Industrialisierung.

Der resultierende Wirkungsgrad liegt zwischen 14-16%.

### Vorteile:

- Hohe resultierende Wirkungsgrade.
- Geringe Sichtbarkeit der Zelle.
- Auch mit Dünnschicht oder Solarthermie kombinierbar.
- Teilweise als Standardmodul verfügbar.

### Nachteile:

- Exakte Farbtonabstimmung kaum möglich.
- Keine Motive möglich



Kohlesilo CH-Basel, Solvatec AG

## Keramischer Digitaldruck auf Glas

Der keramische Digitaldruck auf Glas ist eine seit Jahren bei Glass Fassaden erprobte Technologie. Hierzu wird auf ungehärteten Solargläsern ein digitaler Druck mit keramischen Farben aufgebracht und anschließend thermisch fixiert und gehärtet.

Der Druck kann sowohl auf der Innen- wie auch auf der Außenseite des Front Glass appliziert werden. Es können sowohl homogene Farben, als auch Motive gedruckt in kleinen Stückzahlen bedruckt werden. Die an der Hochschule Luzern entwickelte «Meta-C-Print»-Methode sorgt dafür, dass sich trotz Mehrfarbigkeit keine Teil-Verschattungen und Verluste über 20 Prozent ergeben. Durch die Meta-C-Print Methode werden die Druckdateien mit unterschiedlicher Transparenz so angepasst, dass eine homogene Lichttransmission gewährleistet ist und Hot-Spots auf den Zellen vermieden werden.

Des Weiteren wird die rechnerische Druckfarbe aus der Wunschfarbe des Architekten und der Hintergrundfarbe ermittelt.

## Keramischer Digitaldruck auf Glas (Forts.)

Der resultierende Wirkungsgrad liegt zwischen 10-15%.

### Vorteile:

- Hohe Flexibilität in Farbe, Intensitäten und Abmessungen.
- Je nach Druckintensität hohe resultierende Wirkungsgrade möglich.
- Individuelle Druckmotive möglich.
- In der Glasindustrie bewährte Methode.

### Nachteile:

- Für Standardmodule wenig sinnvoll.
- Um die Zelle aus kurzer Entfernung vollständig zu verstecken, sind hohe Druckintensitäten mit verbundenen Verlusten erforderlich.



Demo-Box Energy Challenge, HSLU/Usehaus

MFH Sees CH-Zürich, sundesign



MFH Hofwiesenstrasse CH-Zürich,  
Virden+Partner



Solsmaragden NO-Oslo,  
Issol

## Zusammenfassung

Technologien	Farbige Zellen		Farbige, transparente Beschichtungen			
	Farbige Silizium-Zellen	Grätzel-Zellen	Glas-Siebdruck	Glasbeschichtung	Folie	Glas-Digital-Druck
Effizienzverlust durch Farbe/Verschattung resultierende Moduleffizienz %	15-40% 10-15%	2-8%	15-60% 7-14%	3-8% 15-16%	20-45% 9-14%	10-40% 10-15%
zusätzliche Kosten farbige Schicht* (*Schätzung)	-	-	50-75 208 X	50-100 208 -	75-150 8 Standardfarben (X)	75-150 X
Anzahl unterschiedlicher Farben 2017	5k-10	ca. 5-10	-	-	-	-
Individuelle Motive	ja/nein	-	-	-	-	-
Vorteile	auch als Standardmodul erhältlich	homogen teiltransparent	individuelle Farben und Motive möglich	sehr geringe Abschattungsverluste	kaum Sichtbarkeit der Zelle. Helle Farben erhältlich	individuelle Farben und Motive möglich
Nachteile	keine exakte Farbabstimmung möglich	noch in der Prototypenphase	starke Abschattungsverluste bei intensiven Farben	für Einzelprojekte keine individuellen Farben erhältlich	zur Zeit wenig Farben erhältlich	für Standardmodule wenig geeignet
Anbieter	Sunshine PV Corp. LOF Solar Corp.	Solaronix	Ertox ViaSolis Hero Solar	SwissInso/Cromatix	Solaxess	Userhaus Issol Ertox
Anmerkungen	optisch sehr lebendige kristalline Struktur	Langzeitstabilität noch fraglich	sehr bekanntes Verfahren	Zelle kaum wahrnehmbar * Abweichende Feldmessungen	sehr hohe Farbsättigung	sehr flexible Projektierung und Fertigung

## Referenzen

- I. Jahresbericht 2016 „PV-Gebäudehülle mit warmen Erscheinungsbild im Wohnquartier. Bundesamt für Energie (CH), 04. Juli 2016.
- II. „Electronic color charts for dielectric films on silicon“, J. Henrie, Kellis, Schultz, S.Hawkings, A. Optic Express, 2004.
- III. „Process Development of colored LGBC Solar Cells for BIPV Applications“ S. Robert, A. Cole, K.C. Heasman, et al. Conference Paper, Juni 2007.
- IV. Datenblatt, farbige Siliziumzellen, Sunways AG, 2008.
- V. Vortrag Toby Meyer, Solaronix, Luzern, 11 November 2014.
- VI. Datenblatt Solaronix, www.Solaronix.com, 2016.
- VII. „Messen von farblich angepassten PV-Modulen“, F. Berger, V. Fischer, M. Hofer, Berner Fachhochschule, 9.12.2016.
- VIII. „Kohlesilo im Gundeldinger Feld“, Jahresbericht Bundesamt für Energie (CH), 4. Juli 2016.
- IX. Datenblatt, Emirates Insoaire, www.emirates-insolaire.com
- X. Datenblatt Kromatix, Swissinso SA, www.swissinso.com
- XI. „Transformation eines Kohlesilos zum Speicherkraftwerk mit farbigen PV-Modulen und Second-Life Speicher.“, G. Steinke, et al. Fachhochschule Nordwestschweiz, 8. September 2016.
- XII. „Leuchtturm Photovoltaik Fassade an PlusEnergieBau Sanierung Zürich“, Jahresbericht, Bundesamt für Energie (CH), 15. September 2016.
- XIII. „Schön viel Strom produzieren“, S. Wittkopf, Artikel, 9. Juni 2015.
- XIV. „Solsmaragden“ Teknisk Ukeblad, 10. September 2016.

## Acknowledgement:

This research was supported by the Swiss National Science Foundation SNF as part of the project ACTIVE INTERFACES - Holistic strategy to simplify standards, assessments and certifications for building integrated photovoltaics (#153849).