

Farbige PV-Module Technologien, Typen und Anwendungen

Dipl.-Ing. Christian Roeske

Forschungsgruppenleiter Architektur Integrierte Photovoltaik AIPV

Kompetenzzentrum Envelopes and Solar Energy CC EASE

Hochschule Luzern Technik & Architektur

OTTI 9. Forum Bauwerksintegrierte Photovoltaik, 07.03.2017

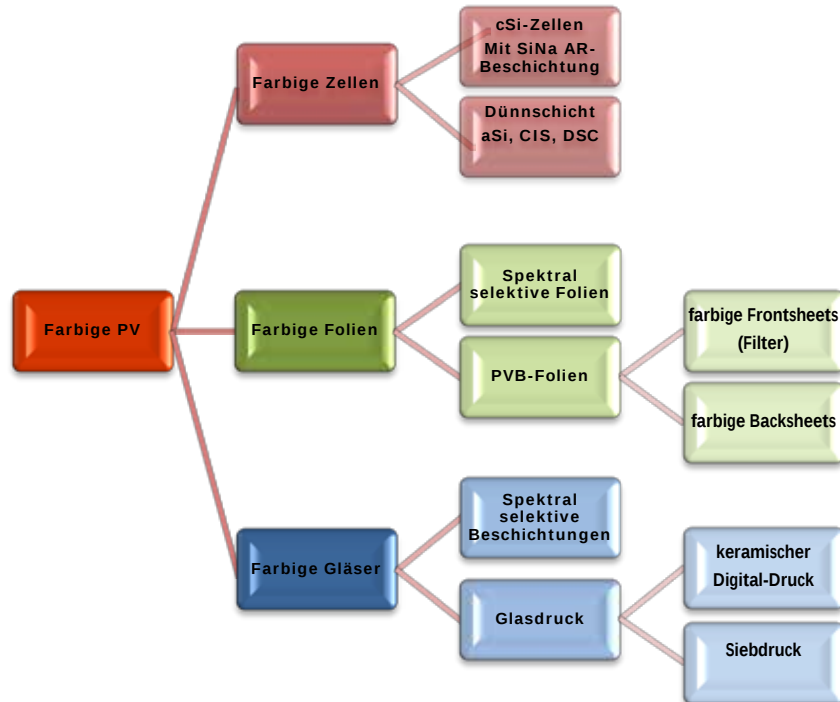
Farbige PV-Module Technologien, Typen und Anwendungen

1. Einführung
2. Farbige kristalline Zellen
3. DSSC/Grätzel-Zellen
4. Farbige Folien
5. Spektral selektive Beschichtungen
6. Keramischer Digitaldruck auf Glas
7. Übersicht und Vergleich
8. Zusammenfassung



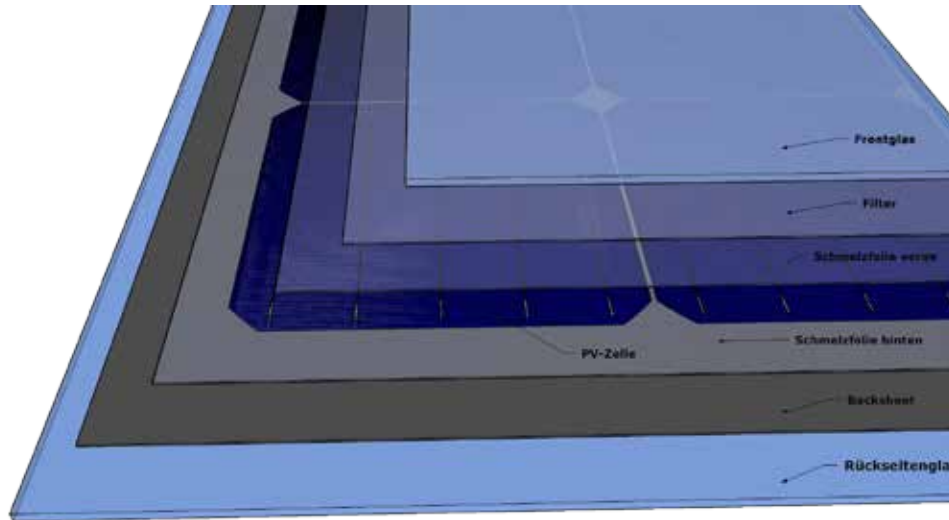
Werkhof CH-Mels, sundesign

Einführung– Wie wird Farbigkeit in PV Modulen realisiert?

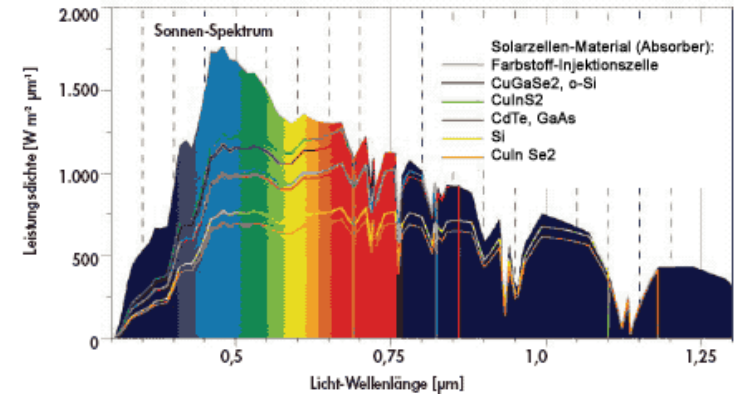


Kohlesilo CH-Basel, Solvatec AG

Einführung– Wie wird Farbigkeit in PV-Modulen realisiert?

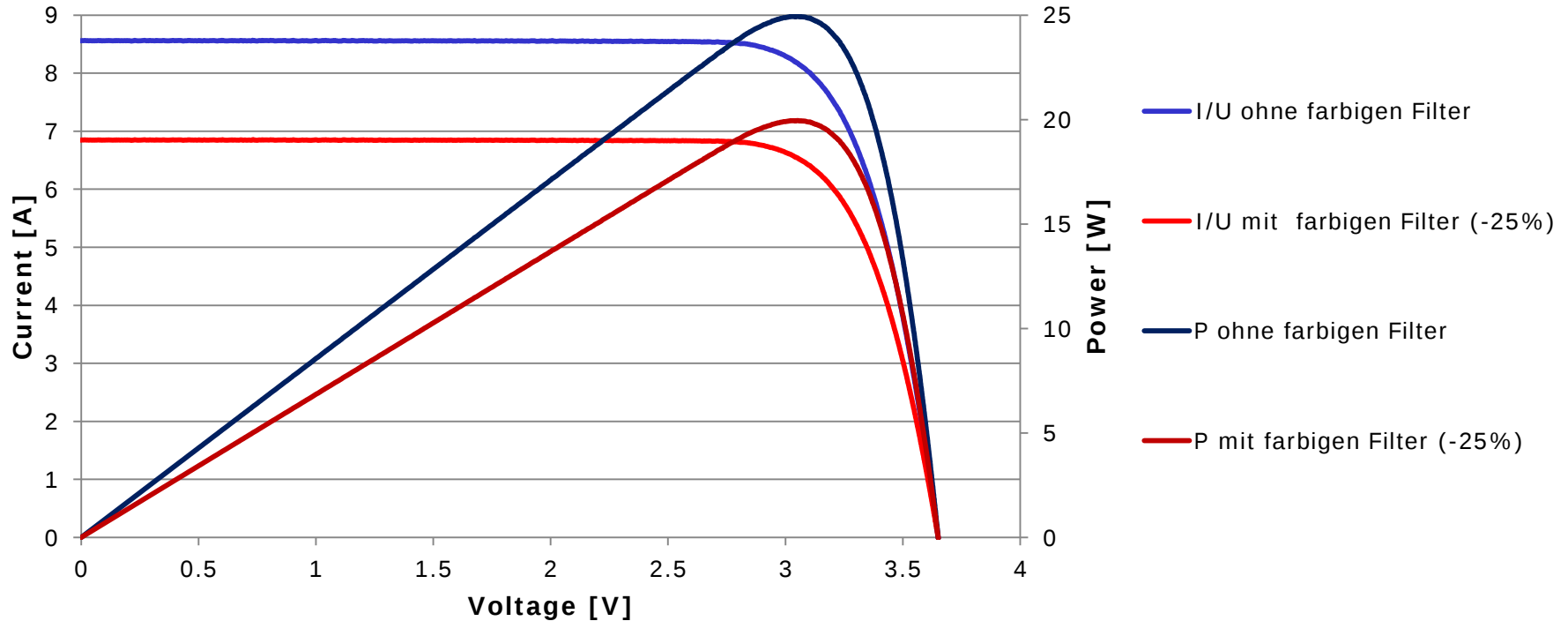


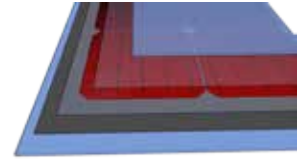
Schichtenaufbau



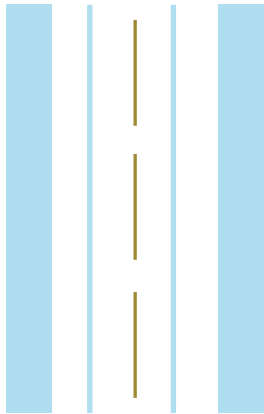
Sonnen-Spektrum

Einführung– Wie wirkt der farbige Filter elektrisch?





Farbige PV Zellen: kristalline Silizium-Zellen



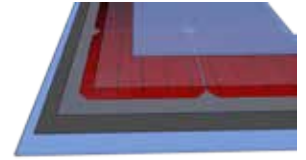
Prinzip Skizze

- Glas
- Schmelzfolie
- **Si_3N_4 ARC PV-Zelle**
- Schmelzfolie
- Glas

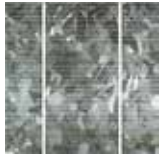
Schichtenaufbau



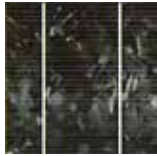
Farbspektrum Si_3N_4



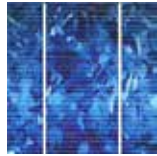
Farbige PV Zellen : Farben und Wirkungsgrade



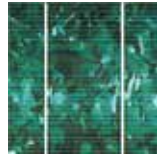
grau



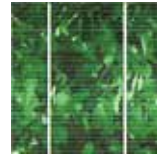
anthrazit



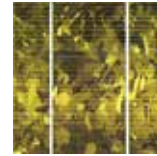
blau



grün



moosgrün



gold

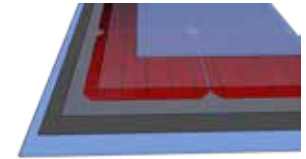


orange/rot



pink

	STANDARD		AUTOMOTIVE	DESIGN							
CELL MATERIAL	monocrystalline	multicrystalline	monocrystalline	monocrystalline	monocrystalline	monocrystalline	multicrystalline	multicrystalline	multicrystalline	multicrystalline	multicrystalline
CELL COLOUR	black	blue	black	black	black	emerald	bronze	gold	silver	anthracite	anthracite
CELL FORMAT	6"	6"	4"	5"	5"	6"	6"	6"	8"	6"	6"
TRANSPARENCY					10%					7.4%	
SHAPE OF SLOTS											
SIZE OF SLOTS					5 mm					5 mm	
EFFICIENCY ¹	18.60 %	>17 %	17.60 %	>18 %	14.50 %	15.80 %	15.10 %	14.10 %	13 %	14 %	15.8 %



Farbige PV Zellen : Beispiele cSi-Zellen



Paul-Horn Arena
D-Tübingen,
Suntechnics

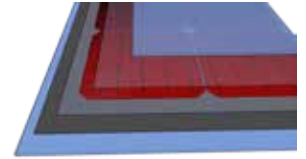


Home+
Solar Decathlon
Sunways



Werkhof Haselrain
CH-Riehen,
Suntechnics

Farbige cSi-Zellen : Vor- und Nachteile



Vorteile:

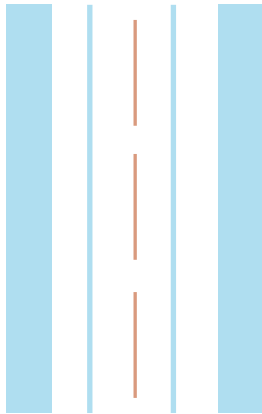
- Interessante Reflexion der Farben insbesondere bei polykristallinen Zellen.
- Der Modulaufbau ist analog zu Standardmodulen und ist in BIPV-Projekten bereits seit mehr als 15 Jahren im Einsatz.
- Auch als Standardmodule verfügbar.
- Im Vergleich zu anderen farbigen Technologien preiswert.

Nachteile:

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



Farbige PV Zellen: Farbstoff-Zellen (DSSC+Grätzelzellen)

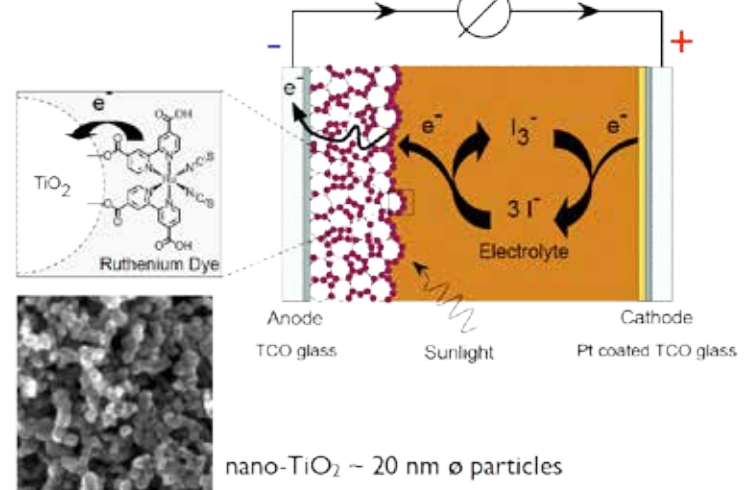


Prinzip Skizze

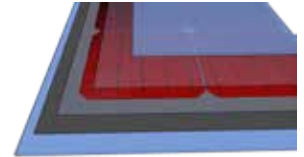
- Glas
- Folie
- **DSS Zelle**
- Folie
- Glas

Schichtenaufbau

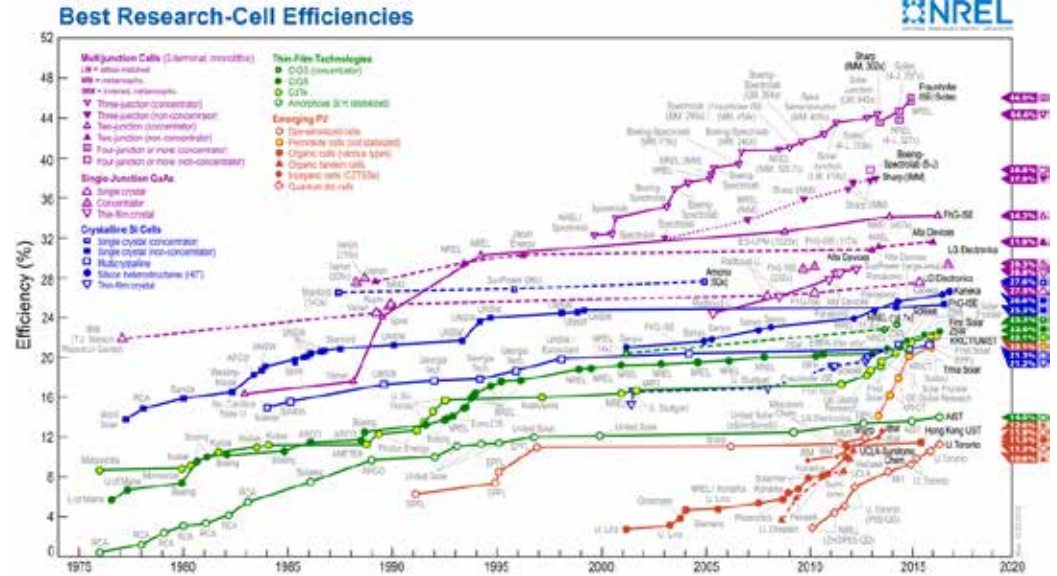
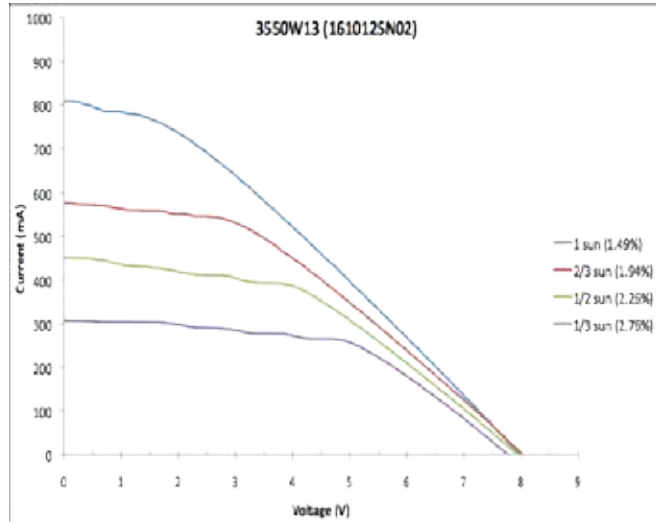
Principles

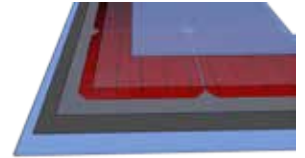


Funktionsweise



Farbstoffzellen : Wirkungsgrade

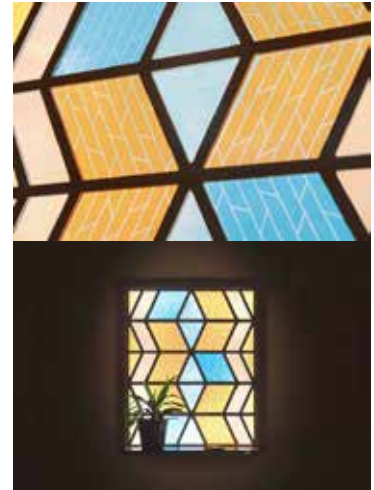




Farbstoffzellen : Beispiele

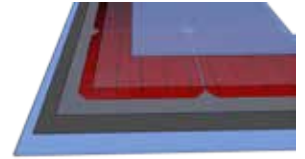


Swiss Convention Center
CH-Lausanne,
Soloronix



PV-Fenster
GB-London,
Caventou

Farbstoffzellen : Vor- und Nachteile



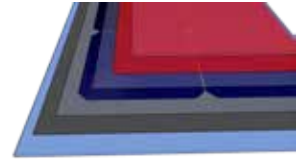
Vorteile:

- Auch Teiltransparenz möglich.
- Geringer Primärenergieaufwand bei der Herstellung
- Keine seltenen Materialien erforderlich
- Relativ hohe Wirkungsgrade bei Schwachlicht.

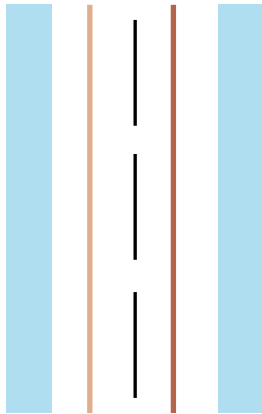
Nachteile:

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





Farbige Folien



Prinzip Skizze

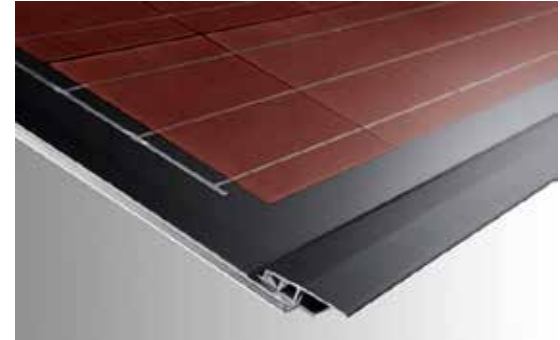
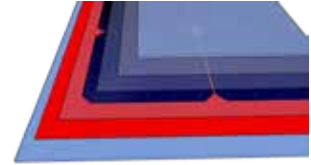
- Glas
- **Streufilter**
- Photovoltaik
- Schmelzfolie
- **Hintergrundfolie**
- Schmelzfolie
- Glas

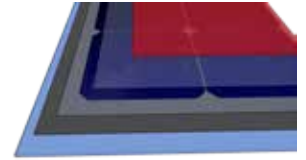
Schichtenaufbau



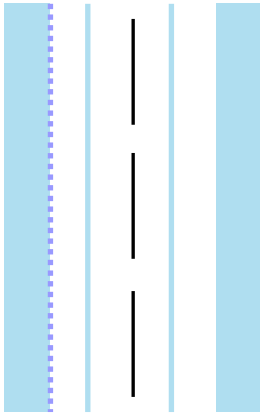
Anwendungen

Farbige Folien: Hintergrundfolien Beispiele





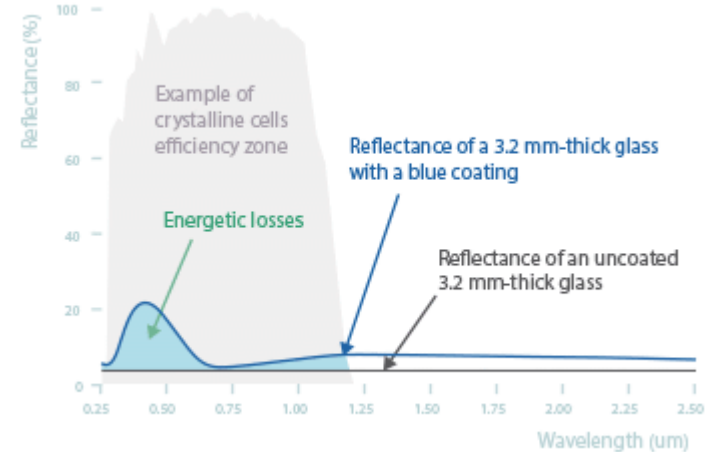
Spektral selektive Beschichtung auf Glas



Prinzip Skizze

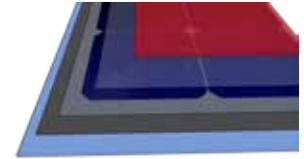
- Glas
- **Beschichtung**
- Schmelzfolie
- Photovoltaik
- Schmelzfolie
- Glas

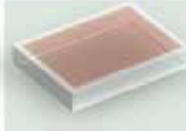
Schichtenaufbau



Prinzip spektrale Selektion

Spektral selektive Beschichtung auf Glas: Farbauswahl und Transmission

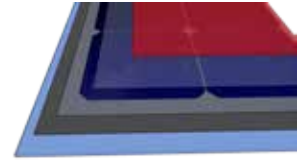


Grey	Light-grey	Blue	Bluish-green	Green	Bronze	Gold	Terracotta
							
90 ± 1 %	85 ± 1 %	88 ± 1 %	88 ± 1 %	87 ± 1 %	89 ± 1 %	86 ± 1 %	87 ± 1 %

Resultierende Transmissionen mit 3.2mm Glas (Herstellerangaben)

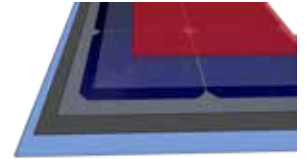
Gemäss Hersteller zur Zeit bis zu 208 mögliche Farben.

Spektral selektive Beschichtung auf Glas: Beispiele



Kohlesilo CH-Basel, Solvatec AG

Spektral selektive Beschichtung auf Glas: Vor- und Nachteile



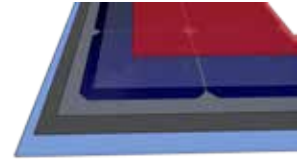
Vorteile:

- Geringe Abschattungsverluste
- Geringe Sichtbarkeit der Zelle
- Als Standardmodule verfügbar

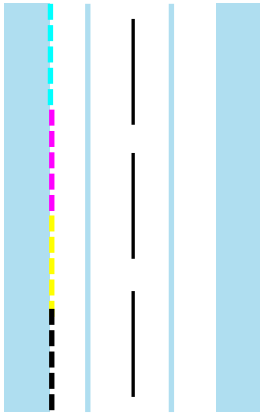
Nachteile:

- Zur Zeit max. 208 verfügbare Farben
- In der Feldmessung bei einigen Farben Abweichungen von Soll- zu Ist-Werten.





Mehrfarbiger Keramischer Digitaldruck auf Glas



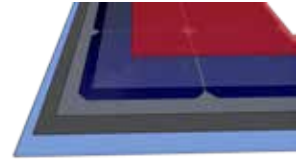
Prinzip Skizze

- Glas
- **Glas Druck**
- Schmelzfolie
- Photovoltaik
- Schmelzfolie
- Glas

Schichtenaufbau



Drucker



Mehrfarbiger Keramischer Digitaldruck auf Glas

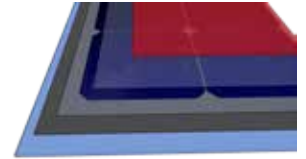
Beispiele



Demo-Box Energy Challenge,
HSLU/Üserhuus



MFH Sees CH-Zürich,
sundesign



Mehrfarbiger Keramischer Digitaldruck auf Glas

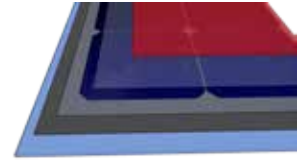
Beispiele



MFH Hofwiesenstrasse CH-Zürich,
Viriden+Partner



Solsmaragden NO-Oslo,
Issol



Mehrfarbiger Keramischer Digitaldruck auf Glas

Vor- und Nachteile

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 verbunden Verlusten erforderlich.

Übersicht Technologien

Technologien	farbige Zellen		farbige, transparente Beschichtungen			
	farbige Silizium-Zellen	Gräzel-Zellen	Glas-Siebdruck	Glasbeschichtung	Folie	Glas-Digital-Druck
Effizienzverlust durch Farbe/Verschattung resultierende Moduleffizienz % (Referenz: 16.5%))	15-40% 10-15%	- 2-8%	15-60% 7-14%	3-8%* 15-16%	20-45% 9-14%	10-40% 10-15%
zusätzlichen Kosten farbige Schicht EUR/m2	-	-	50-75	50-100	75-150	75-150
Anzahl unterschiedlicher Farben 2017 Stk.	ca. 10	ca. 5-10	∞	208	8 Standardfarben	∞
Individuelle Motive ja/nein	-	-	X	-	(X)	X
Vorteile	auch als Standardmodul erhältlich	homogen teiltransparent	individuelle Farben und Motive möglich	sehr geringe Abschattungsverluste	kaum Sichtbarkeit der Zelle. Helle Farben möglich.	individuelle Farben und Motive möglich
Nachteile	keine exakte Farbbestimmung 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	Ertex ViaSolis Hero Solar	SwissInso/Cromatix	Solaxess	Üserhuus Issol Ertex
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.

- Hohe Wirkungsgrade von kristallinen Si-Zellen lassen Abschattung durch farbige Beschichtungen zu.
- Die individuellen Projektanforderungen bestimmen die gewählte Technologie.
- Die Farbe und Intensität definiert den Wirkungsgrad.
- Digitaler Druck mit dem grössten Potential für individuelle Gestaltung.

- Hohe Wirkungsgrade von kristallinen Si-Zellen lassen Abschattung durch farbige Beschichtungen zu.
- Die individuellen Projektanforderungen bestimmen die gewählte Technologie.
- Die Farbe und Intensität definiert den Wirkungsgrad.
- Digitaler Druck mit dem grössten Potential für individuelle Gestaltung.

Vielen Dank

Lucerne School of Engineering and Architecture
Competence Center Envelopes and Solar Energy (CC EASE)

Dipl.-Ing. Christian Roeske
Head of Research Group AIPV

www.hslu.ch/ccease

T direct +41 41 349 36 48
christian.roeske@hslu.ch

Ebenastrasse 20 (P.O. Technikumstrasse 21)
CH 6048 Horw
T +41 41 349 3311
F +41 41 349 39 60

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).

