

Bifaziale PV-Module: Technologie und Anwendungsbereiche

13. Workshop Photovoltaik-Modultechnik, 28./29.11.

Jan Lossen, ISC Konstanz e. V.

Wieso Bifazial? Die Sonne steht doch immer oben!

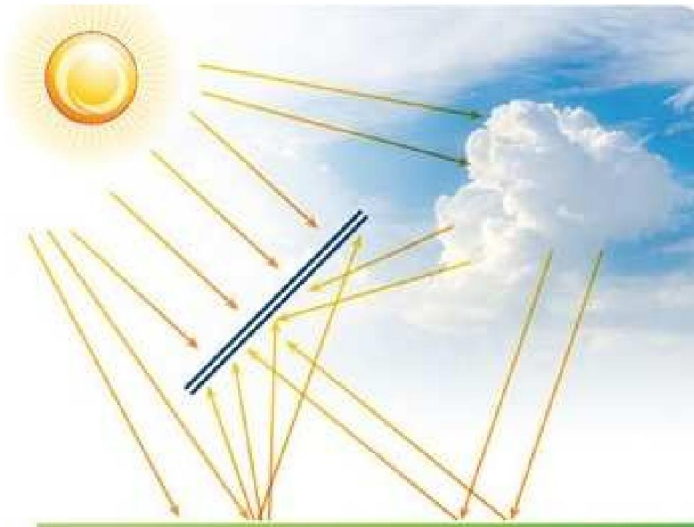
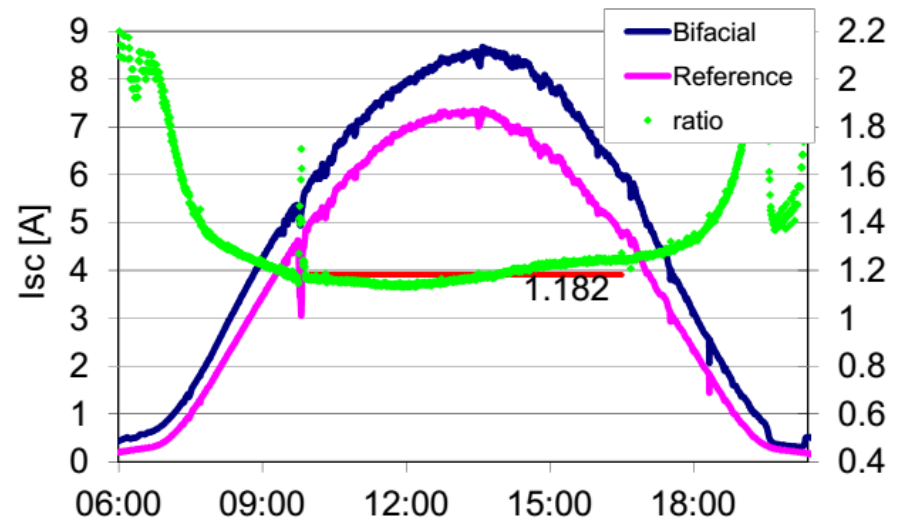


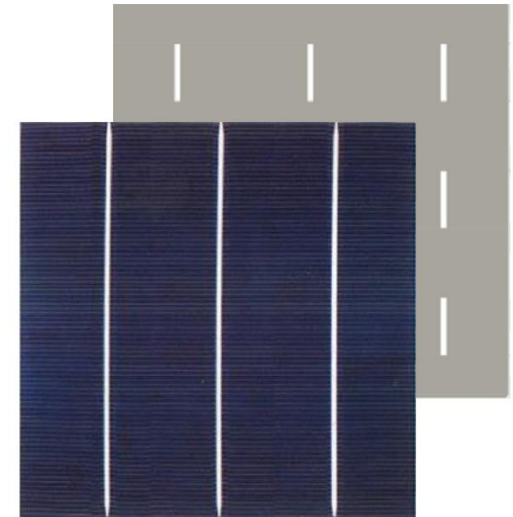
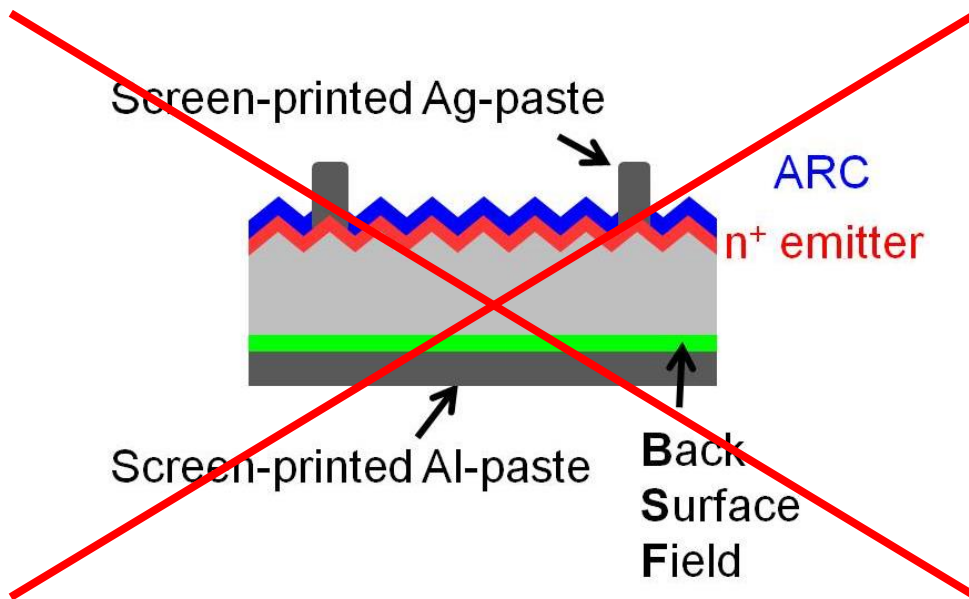
Bild aus N. Eisenberg, OUTDOOR BIFACIAL MODULE CHARACTERIZATION, BifiPV-WS, Konstanz, 2012



J. Lossen, Increased Energy Yield for Bosch's n-Type Solar Cells in Bifacial Application, BifiPV-WS, Konstanz, 2012

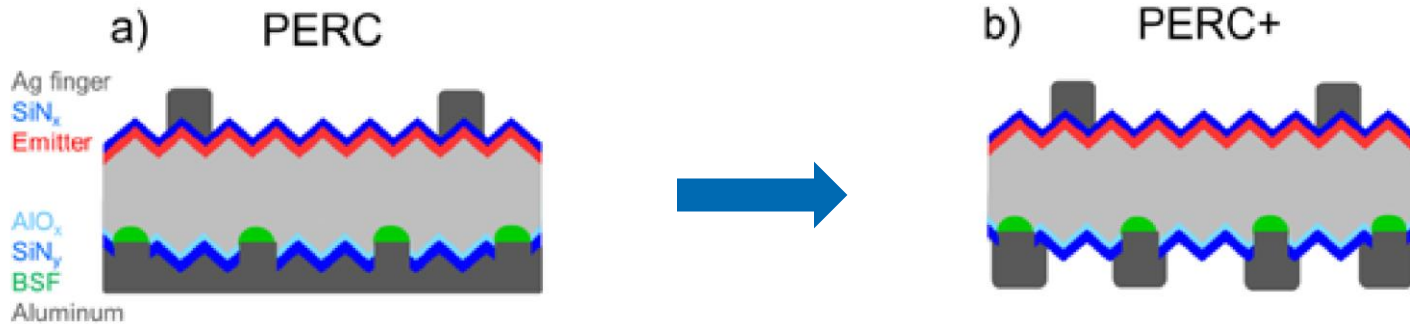
- Bifaziale Solarzellen-Typen
- Bifaziale Module: Besonderheiten im Modul-Aufbau
- Hersteller / Produkte auf dem Markt
- Ertrags-Simulation
- Aufstellung-Empfehlungen
- Anwendungsbeispiele
- Zusammenfassung

Standard Solarzellen: Al-BSF



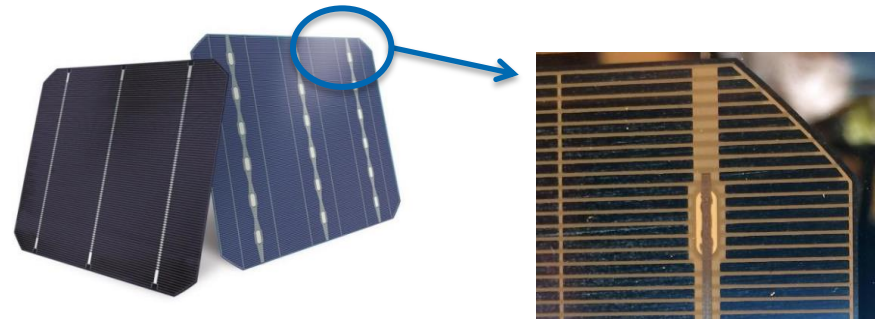
- Kein Lichteinfall von hinten möglich, wegen Al-Pasten-Schicht auf der Rückseite

PERC Solarzellen (Passivated Emitter and Rear Contact)



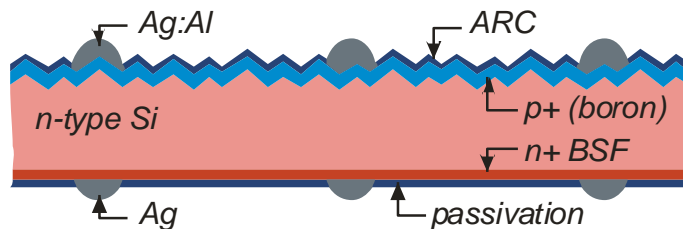
The PERC+ cell, T. Dullweber et al. EU-PVSEC, Amsterdam, 2015

- PERC zunächst nicht bifazial, aber bifaziale Variante möglich
- Bifazial Faktor (BF): nur 60 – 70% (wg. breiten Al-Fingern auf RS)
- PERC neuer Industrie-Standard -> potentiell viele Anbieter und starker Wettbewerb



BiSun-Zelle Solarworld, A. Fülle et. al, Halle, 2016, und Foto Intersolar

PERT Solarzellen (Passivated Emitter Rear Totally Diffused)



BiSoN Solarzelle, ISC

- symmetrischer Aufbau, Dotierung und Ag-Grid auf beiden Seiten
- abhängig von Prozess-Sequenz ist die RS glatt oder texturiert
- hoher BF: 85-95% (100%)
- ähnlicher Wirkungsgrad wie PERC, ~ 20 – 21,5 %
- auf n-Typ Substrat LID-frei

Silizium Hetero-Junction Solarzellen

- c-Si / a-Si - Übergang
- TCO zur Querleitung
- Niedertemperaturprozess erfordert Verwendung von Polymer-Ag-Paste
- oft Serienwdst. begrenzt
- Hoher BF: 90% - 96%
- hoher η , hohe V_{oc} , niedrige Temperaturkoeffizienten
- auf n-Typ Substrat LID-frei

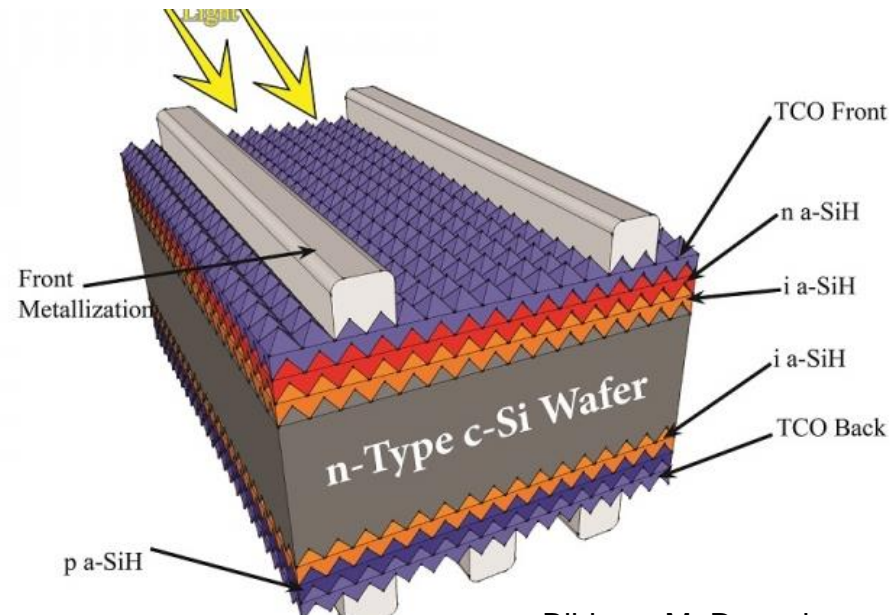
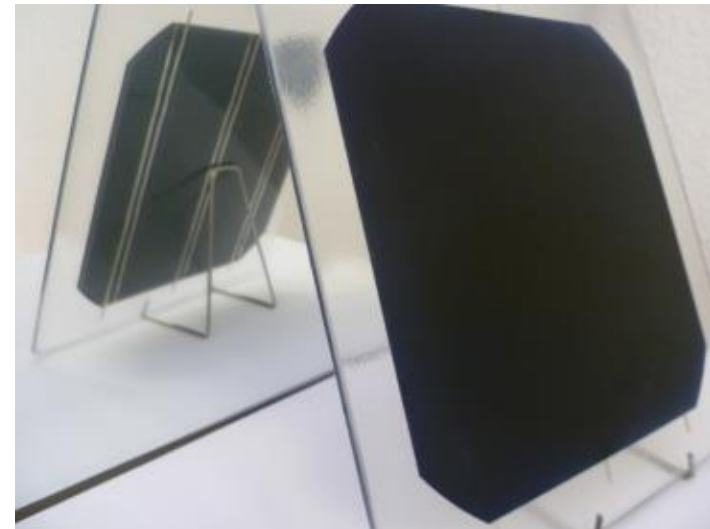


Bild aus M. Despeisse, et al.,
PV International, 30, 2016

Weitere bifaziale Zelltypen (R&D)

- Bifaziale Multi-Zellen
(mc-PERCT, RCT)
- Bifaziale IBC Zellen
(Zebra, ISC Konstanz)
- Zellen mit passivierten Kontakten
tw. nPERT-ähnlich (Tempress/ECN, Tetra-Sun)
tw. SHJ-ähnlich (Silevo)



Zebra Solarzelle, ISC

Verkapselung der Rückseiten

Transparentes Backsheet

- PET/PVF (Tedlar®)
- leichter
- kostengünstiger

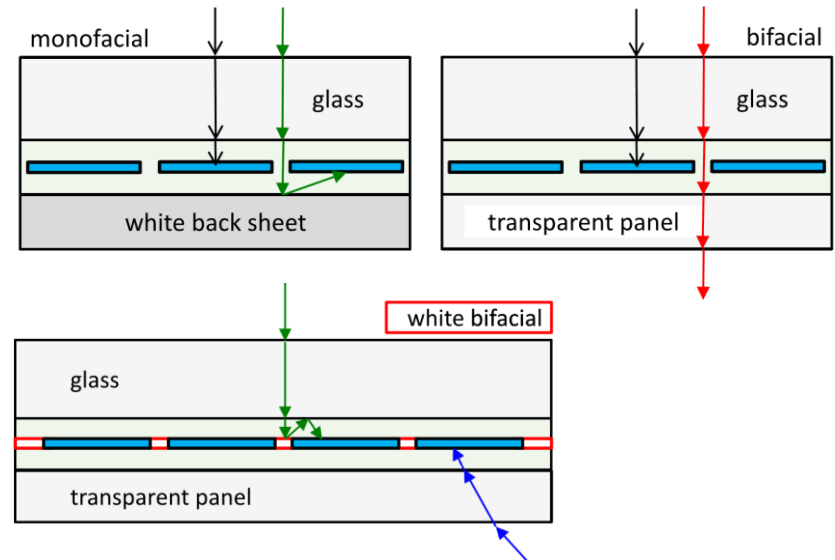
oder

Glas-Glas, z.B. 2x 2mm

- sehr gute Feuchtigkeitssperre
- Zellen in neutrale Phase
- sehr ästhetisch

Verluste durch fehlende interne Reflexion:

- 2-3 % Verlust durch Transmission in den Zwischenräumen (und durch die Zelle)
- Kann durch weißen Einleger vermieden werden, „White bifacial modules“



Bas Van Aken, White bifacial modules, BifiPV-WS, Miyazaki, 2016

Hohe Ströme im bifazialen Voll-Last-Betrieb

Einstrahlung z.B. $1000 \text{ W/m}^2 + 200 \text{ W/m}^2$

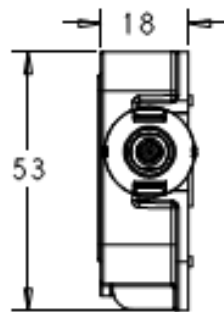
- mind. 4BB zur Zellverbindung
- LG-Modul: Cello-Technologie (12 BB)
- Meyer-Burger: SWCT (18 BB)

Junction Box

- Abschattung sollte vermieden werden
- z.B. Tyco SOLARLOK PV BAR



Gebr. Schmid, Multi Busbar Connector , Homepage 2016



SOLARLOK PV BAR JUNCTION BOX 1500V, TE,
SolarCatalog_0916, 2016

- z.B. Multi-Contact slimline PV-JB/BF junction



<http://www.electronicsspecifier.com>

PERC+

- **SolarWorld, D, Bisun**
- Neo Solar Power, Taiwan
- Sunrise, China

nPERT

- **LG, Korea, NeON 2 bifacial**
- **PVGS, Japan, EarthON**
- **Yingli, China, Panda/TwinMAX**
- **Neo Solar Power, Taiwan,**
- **HT-SAAE, Shanghai, Milky Way**
- **QXPV, China**
- MUNDRA SOLAR / Adani, India
- REC, Malaysia
- Trina, China

SHJ

- **Panasonic, Japan, HIT Double**
- **Sunprime, USA/CN, GxB**
- EcoSolifer (Meyer Burger Tech.), H

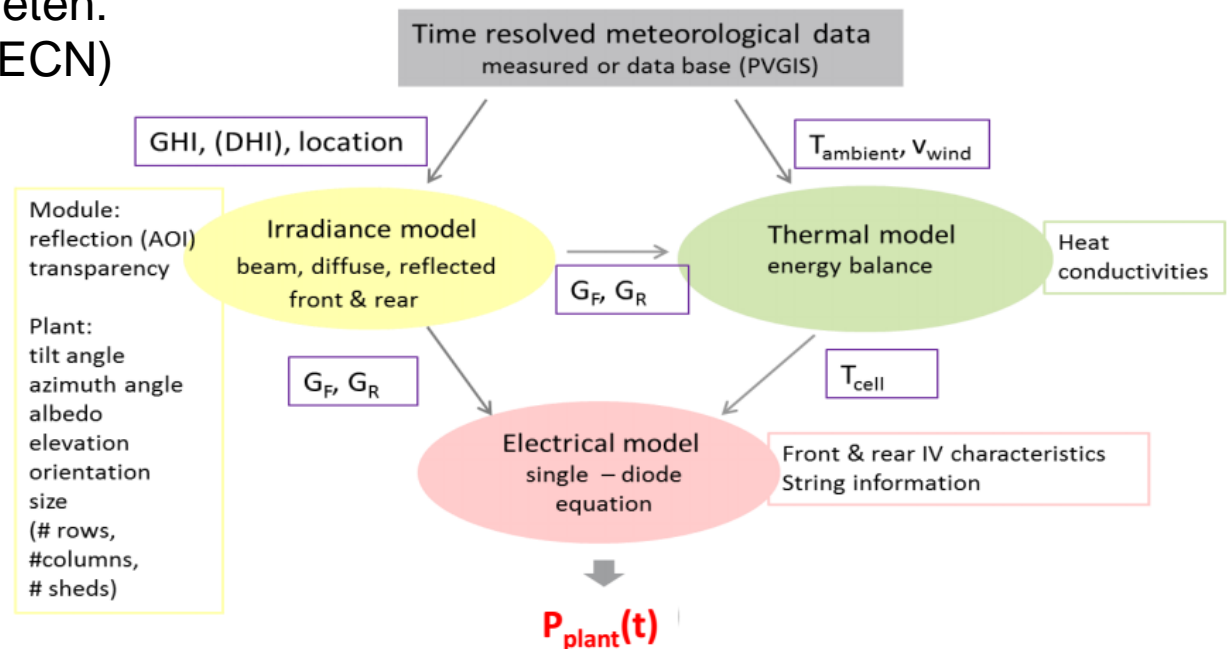
Others

- Shanxi Lu´an, China: mc-PERCT
- First Solar/Tetra Sun, Malaysia
- Solar City/ Silevo, USA

**Hersteller mit eingeführten Produkten
in fett/blau**

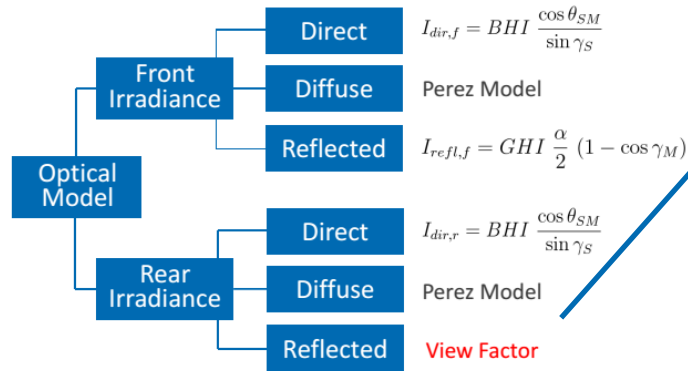
Ankündigungen und R&D Ergebnisse
Ergebnisse in schwarz

- In gängigen Programme (PVsyst, u.ä.) derzeit noch keine Ertragsprognose für bifaziale Systeme implementiert
- Verschiedene Institute haben erfolgreich Simulations-Möglichkeiten aufgezeigt (RWTH, ISE, NREL, ISC, ECN, Sandia...)
- Model typ. drei Komponenten:
(Folie von Bas v. Aken, ECN)



B. v. Aken, Bifacial Modelling – review, BifiPV, Miyazaki, 2016

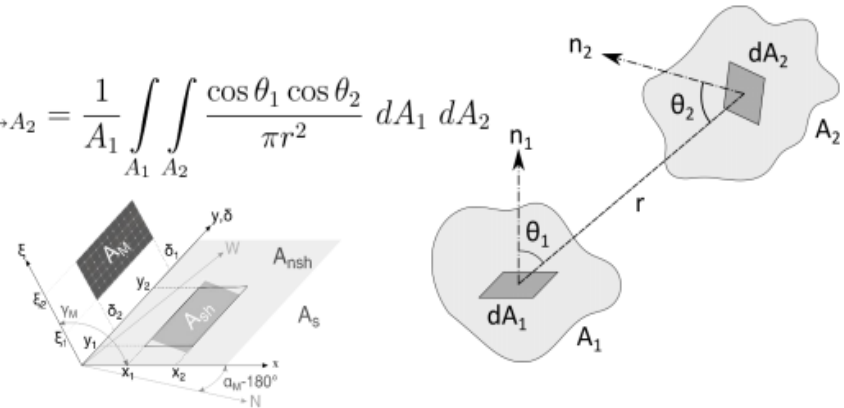
Optisches Model basierend auf View Factor-Methode, vgl. auch [1],[2]



View-Factor

- geom. Konzept bekannt aus Wärme Transport Theorie
- Strahlung die A_1 verlässt und A_2 trifft

$$F_{A_1 \rightarrow A_2} = \frac{1}{A_1} \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi r^2} dA_1 dA_2$$



$$I_{refl,r} = \alpha GHI F_{A_{nsh} \rightarrow A_M} + \alpha DHI F_{A_{sh} \rightarrow A_M}$$

Alternative Optische Modelle:

- Ray-Tracing (z.B. [3])
- Empirische Modelle (z.B. [4])

[1] U. Gross, et al, Letters in Heat and Mass Transfer, 8:219{227, 1981

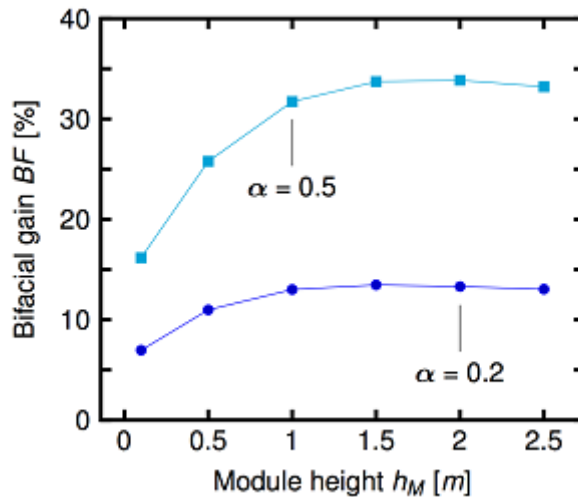
[2] U. Yusufoglu, et al., Energy Procedia, 55:389-395, 2014

[3] Ch. Reise, et al. , 31th EUPVSEC, 2015

[4] Kutzer et al., 31. Symposium Photovoltaische Solarenergie, 2016

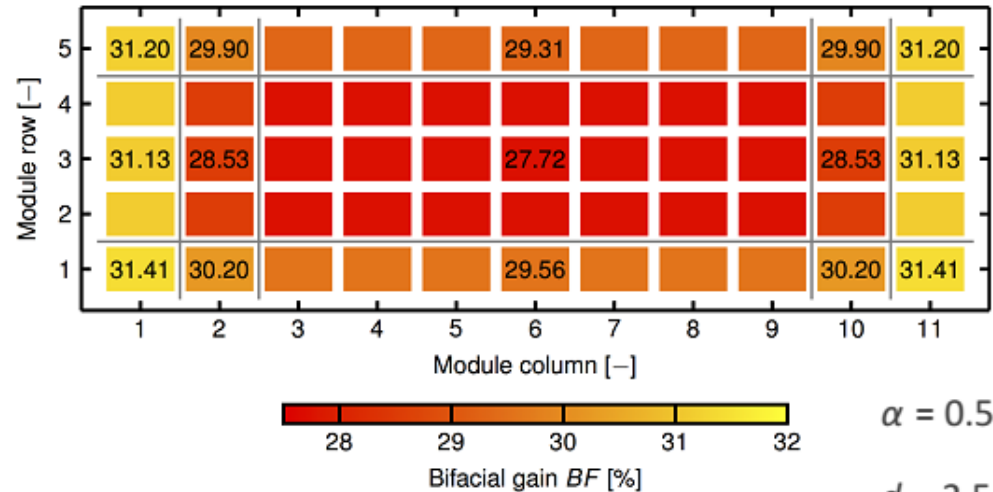
I. Shoukry, Bifacial Modules Simulation and Experiment, Masterthesis Universität Stuttgart, 2015

Mehrertrag vs. Höhe (einzelnes Modul, El Gouna)



Aufstellhöhe ist sehr wichtig
 > 1 m ist optimal
 < 0,5 m ist kritisch

Mehrertrag im Solar-Feld (El Gouna, Albedo 0,5)



Single Module: $BF = 34 \%$
 Module field: $BF = 27.72 \%$ (worst)
 $BF = 31.41 \%$ (best)

$\alpha = 0.5$
 $d_R = 2.5$ m
 $h_M = 1.5$ m

Die Module in der ersten und letzten Reihe
 und am Rand der Reihen haben einen
 erhöhten Mehrertrag

Wichtige Faktoren sind (absteigend):

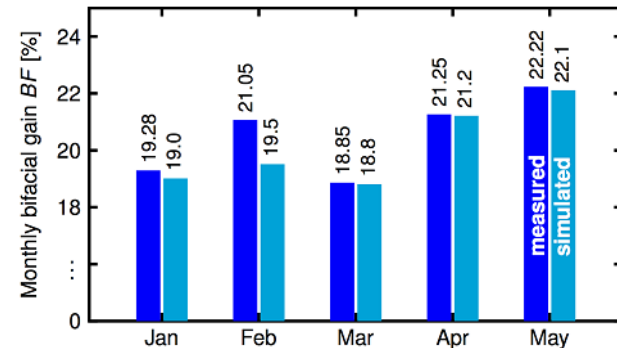
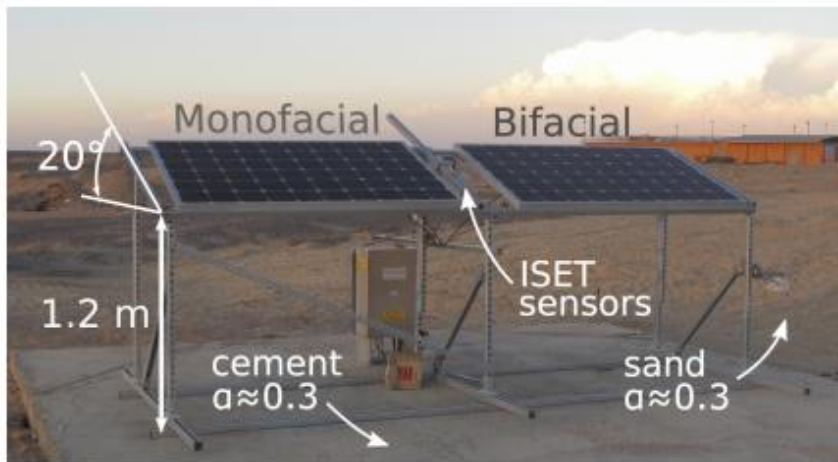
- Hoher Albedo
- hohe Bifazialität (BF) der Module
- ausreichende Höhe (> 0,5m)
- ausreichender Reihen-Abstand

- Ort (diffuser Anteil)
- wenig Abschattung durch Aufständering
- Neigung der Module
- (und alles, was für andere PV-Anlagen auch gilt)

| Oberfläche | Albedo |
|----------------------|-------------|
| Trockener Boden | 0.13 |
| Gras | 0.17 - 0.28 |
| Trockener Sand | 0.35 |
| Frischer Schnee | 0.75 - 0.95 |
| Weißer Dachfolie | 0.6 - 0.8 |
| Reflektierende Farbe | 0.7 - 0.9 |

Reflexionsvermögen verschiedener Untergründe

Anwendungsbeispiele



Vergl. Simulierter vs. gemessener Mehrertrag,
aus I. Shoukry, Modelling of bifacial gain, BifiPV,
Miyazaki, 2016

- **Freistehendes** bifaziales Modul (mit monofazialer Referenz)
- Untergrund: Beton, Wüstensand.
- Gemessener Albedo: 30%
- Bifazialer Mehrertrag: 22.3%

(C.Comparotto et al., BIFACIAL N-TYPE SOLAR MODULES: INDOOR AND OUTDOOR EVALUATION, EUPVSEC 2014, Amsterdam)

bSolar – Geilenkirchen (D)

APPLICATION:
Flat rooftop
installations,
white-coated



Commercial installation, Geilenkirchen, Germany

Monitored by Fraunhofer/ISE

(20cm height above the rooftop, 78% reflectance white roof membrane, 9 months period)

Results (*): Bifaciality Gain of 21.4%, Cell Effective Efficiency = 22.5%

- Flachdach mit weißer Membran
- Albedo: 78%
- Bifazialer Mehrertrag: 21.4%

bSolar – Adlershof (D)

APPLICATION:
Flat rooftop
installations,
covered with
white-stone
gravel



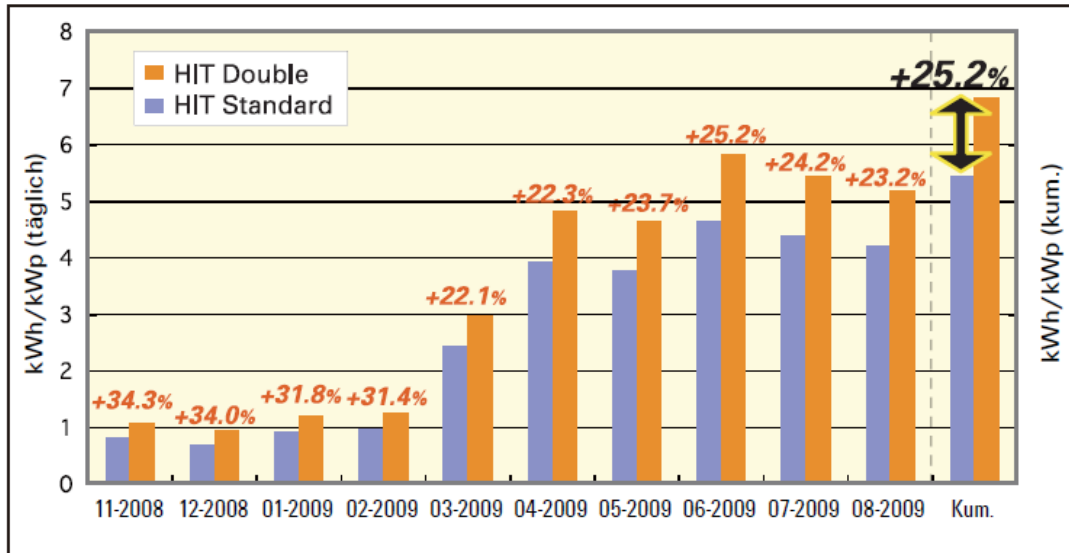
Commercial rooftop installation, The Technology City of Adlershof, Berlin, Germany
(40cm height above rooftop, 35% reflectance grayish stone roof cover)
Results (*): Bifaciality Gain 11%, Cell equivalent efficiency = 20.5%

- Flachdach mit hellgrauem Kies
- Albedo: 35%
- Bifazialer Mehrertrag: 11%

Sanyo (Panasonic), Geilenkirchen (D)



International Solar Energy
Research Center Konstanz



| Module type | HIT® Standard | HIT Double® |
|--------------------------------|---|-------------|
| Leistung der Anlage | 2,10 kWp | 2,00 kWp |
| Reflexionsrate des Untergrunds | 64% | |
| Höhe der Montagestruktur | 30 cm | |
| Winkel der Module | Neigungswinkel 20°, Ausrichtung: Süden | |
| Zeitraum der Messungen | 11 2008 - 08 2009 | |
| Installationsort | Geilenkirchen | |
| Messeinrichtung | Unter Aufsicht des Fraunhofer Instituts | |
| Installation | Pohlen Solar GmbH | |

- Kleines Demosystem
- Weiße Membran, Albedo: 64%
- Bifazialer Mehrertrag: 25.2%

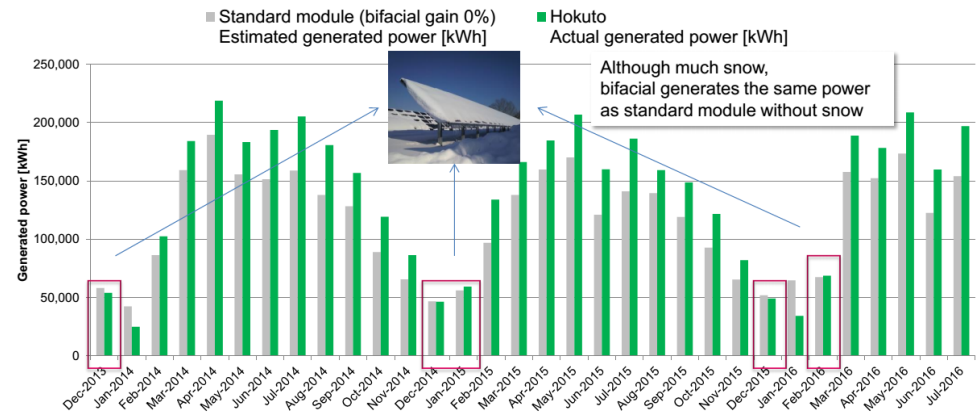
(Sanyo module datasheet "HIT double 205", 10/2009)



PVGS/Nishiyama – Hokuto (Japan)



- Größe 1.25 MWp
- Nord-Japan, schneereicher Standort
- unterschiedliche Albedos
- Monitoring über 3 Jahre
- Mehrertrag: 19,8%





University of Richmond (VA)

- Installed landscape, approx. 15 cm mounting height, 1.5 m row pitch
- 180x Sunmodule PLUS 5BB with 295 W
- 180x Sunmodule Bisun 3BB with 265W/270W
- 6x SMA 15000TL / 3 sub strings with 20 modules
- 120 modules of each kind mounted over white Energy Star® roof (Albedo 68%)
- 60 modules of each kind mounted over gravel (Albedo 27%)

Alexander Fülle, PV DAYS 2016, September 27th – 28th, 2016

- Größe: ~ 210 kWp
- Albedo des Untergrundes: 27% / 68%
- Aufstellhöhe 15 cm, Reihenabstand 1,5 m
- Bifazialer Mehrertrag: 3,7 % / 9,7 %

MegaCell, Hormiga (Chile)



- Größe: 2,5 MWp
- Albedo des Untergrundes: verschiedene Varianten: Sand / heller Kies
- Netzanschluss 2016, noch keine Daten

Sunpreme, New Jersey, USA

- Größe: 12,8 MWp
- Albedo: Gras, ~25% (?)
- Bifazialer Mehrertrag: ~ 10% (vorl.)



PPAM SOLKRAFT



- Lärmschutzwand
- Größe: 7 Module
- klare Peakverschiebung

- Bifaziale PV ist eine Ressourcen-schonende Möglichkeit zur Steigerung des Ertrages
- Verschiedene bifaziale Zell-Technologien sind am Markt erhältlich, Markteintritte weiterer Hersteller stehen bevor
- Ertrags-Simulation ist möglich, aber komplexer als für monofaziale Module
- Wichtigsten Einflussfaktoren:
 - Albedo des Untergrundes
 - Bifazialität des Modules
 - Höhe, Reihenabstand, Neigung, Abschattung durch Aufständering
 - Anteil diffusen Lichtes
- Mehrerträge
 - 8 – 15% auf natürlichem Untergrund
 - 15 – 30 % über weißen Reflektoren und günstiger Geometrie