

Photovoltaikmarkt weltweit und Technologietrends

Dr. Hartmut Nussbaumer

Besuch Energie bewegt Winterthur, 25.10.2018

550 MWp capacity, Desert Sunlight Solar Farm located in the Riverside County
in California

Marktentwicklung Photovoltaik

Jahr	Jährliche Kapazität
1999	>100 MWp
2004	>1 GWp
2010	>10 Gwp
.....	
2017	98 GWp

Jahr	Kumulierte Kapazität
1995	>100 MWp
2002	>1 GWp
2008	>10 GWp
2012	~100 GWp
2017	402 GWp
2021/2022	>1 TWp

1 TWp entspricht bei 1000 Nennbetriebstunden/Jahr einer Energie von 1000 TWh

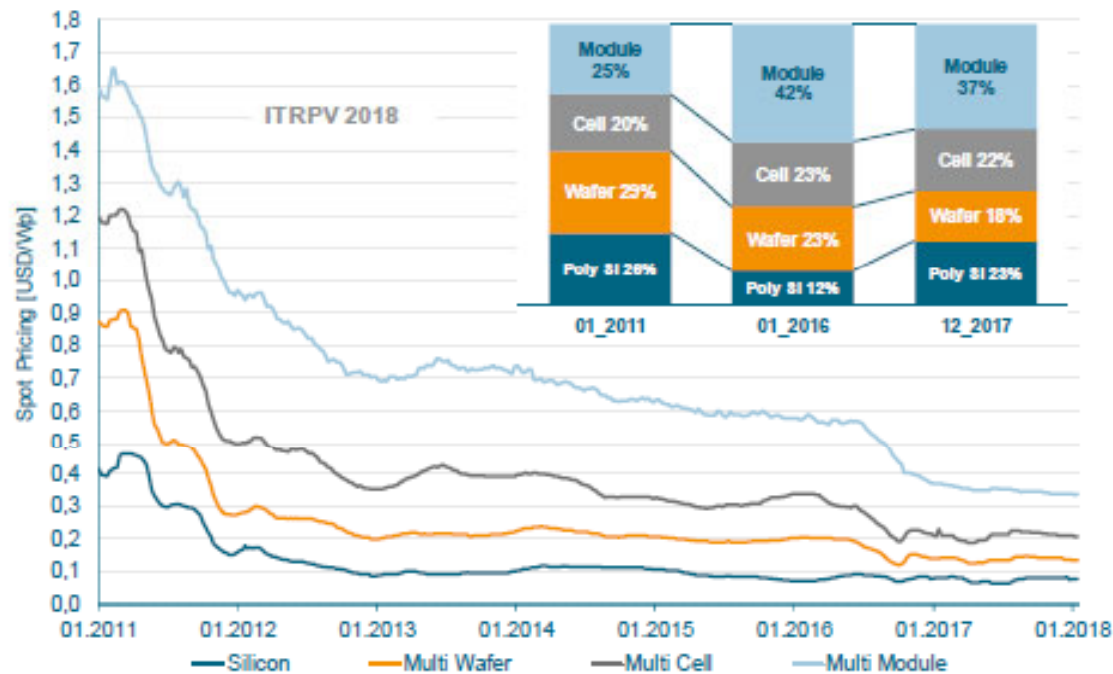
Zum Vergleich: Endenergiebedarf Strom Schweiz 58 TWh in 2017*

Quellen: IEA 2017

Nationale PV Tagung 2018, S. Nowak

*Bundesamt für Energie: Schweizerische
Gesamtenergiestatistik 2017

Price Trend for c-Si modules



Quelle: ITRPV Roadmap 2018

Kosten aktuell im Einkauf von Solarmodulen <0.3 Euro/Wp!

~100 CHF im Einkauf !

3 kWp Anlage

10 Module a 300 Wp

1000 CHF im Einkauf!

In Zürich Südseite:

1000 Nennbetriebsstunden pro Jahr

=> 3000 kWh pro Jahr



Stromgestehungskosten

Zürich University
of Applied Sciences



School of
Engineering

IEFE Institute of Energy Systems
and Fluid Engineering

Annahme: 2000 CHF/kWp für
Aufdachanlage Einfamilienhaus in
Winterthur

1000 Nennbetriebsstunden

1000 kWh pro Jahr

In 20 Jahren 20'000 kWh

=> 0.1 CHF / kWh (ohne
Betriebskosten, Degradation,
Finanzierungskosten)



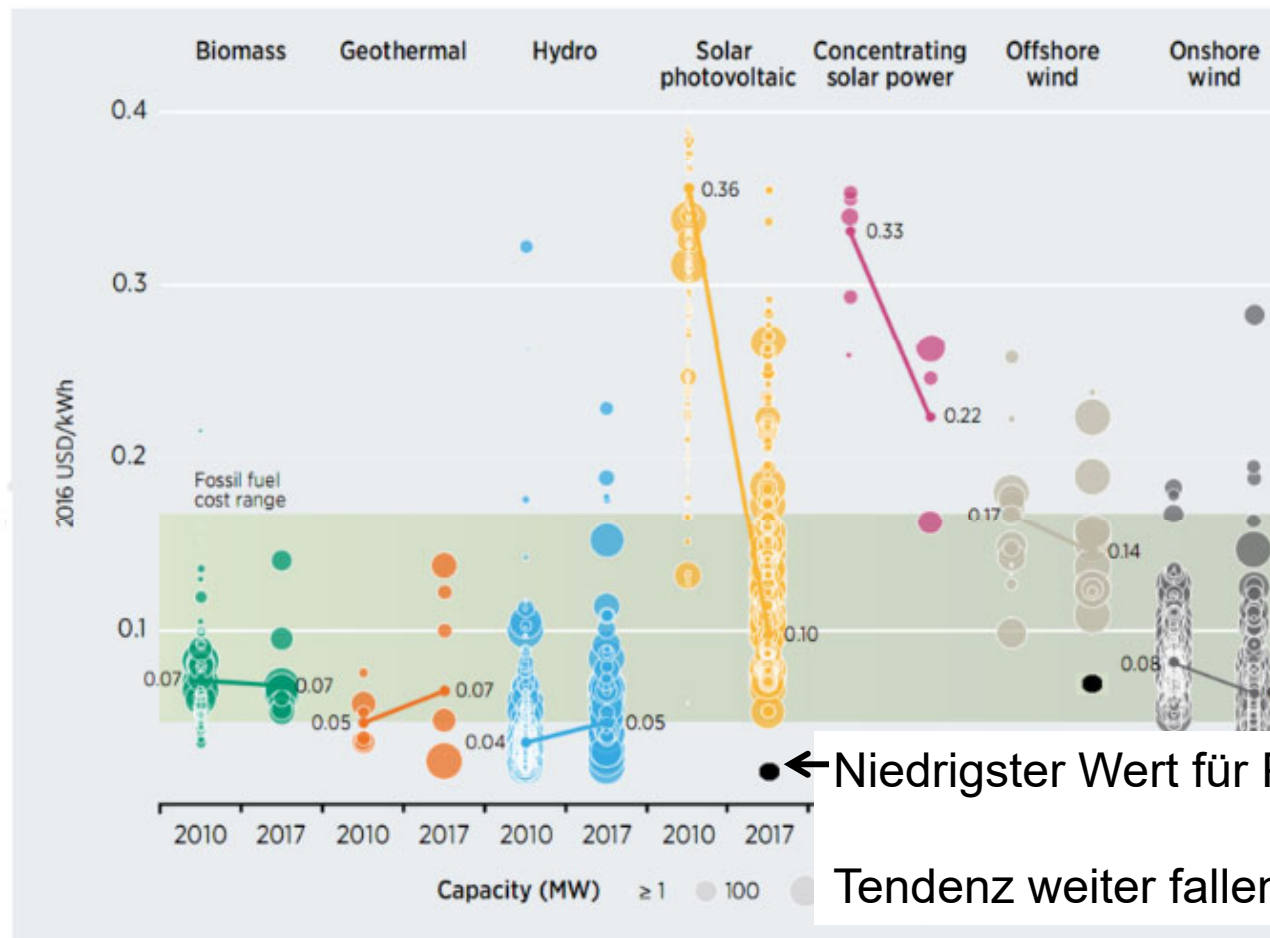
Quelle Schweizer Solarpreis 2016

PEB-Diplom: 265%-PEB-EFH-Ersatzneubau

Rimer, 6034 Inwil/LU

Stromgestehungskosten

Figure ES.1 Global levelised cost of electricity from utility-scale renewable power generation technologies, 2010-2017



● ← Niedrigster Wert für PV 0.02 USD/kWh

Tendenz weiter fallend!

Source: IRENA Renewable Cost Database.

Silizium-Absorber

Multikristallin



Quelle: GCL

Monokristallin



Quelle: Solarworld

Dünnschicht



Quelle: Solar Frontier

Silizium-PV-Module

Solarzellen



Frontseite



Rückseite

Serienwiderstandsverluste und optische Verluste
auf der Frontseite durch Metallisierung

p-Typ Material LID



Vollflächige Al-Rückseite, reflektiert
nur ca. 68% des Lichtes
und liefert eine Rückseitenkombinationsgeschwindigkeit
von >500 cm/sec

Schwachstelle Rückseite

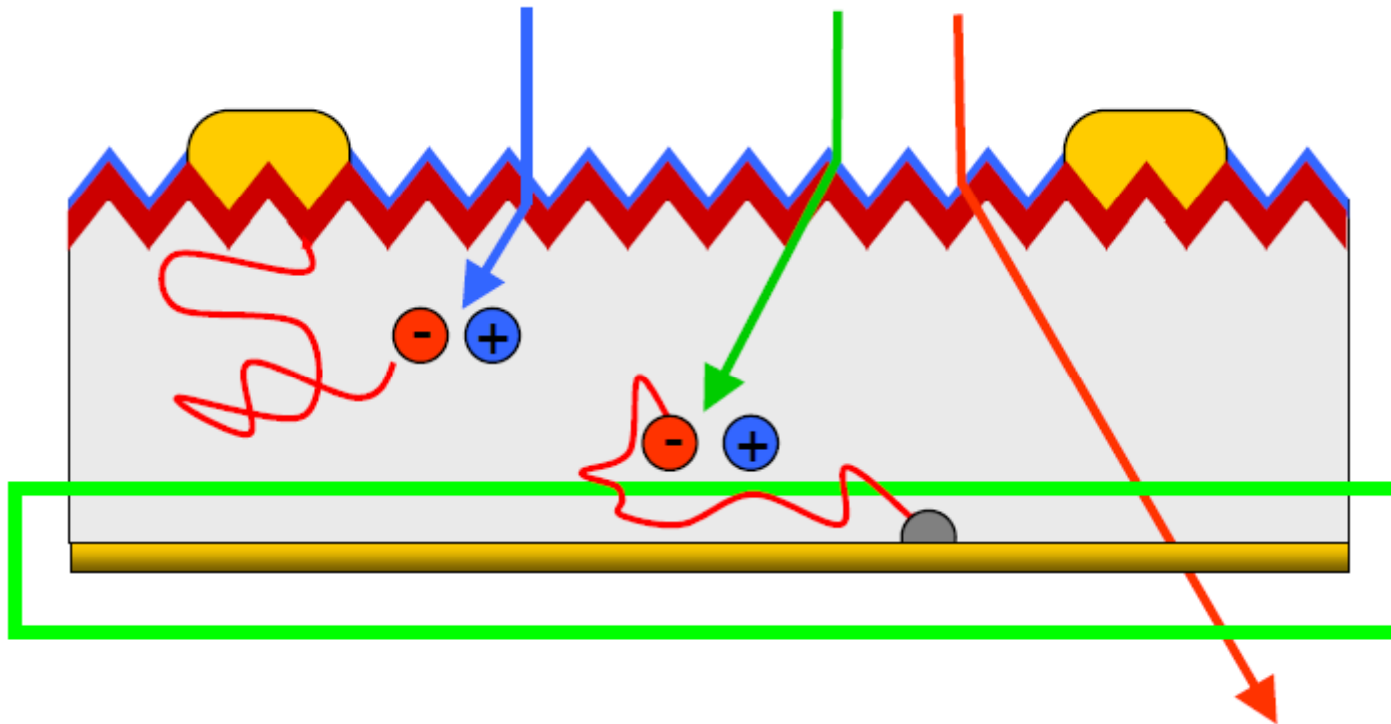


Bild : S. W. Glunz, DPG Tagung 2005

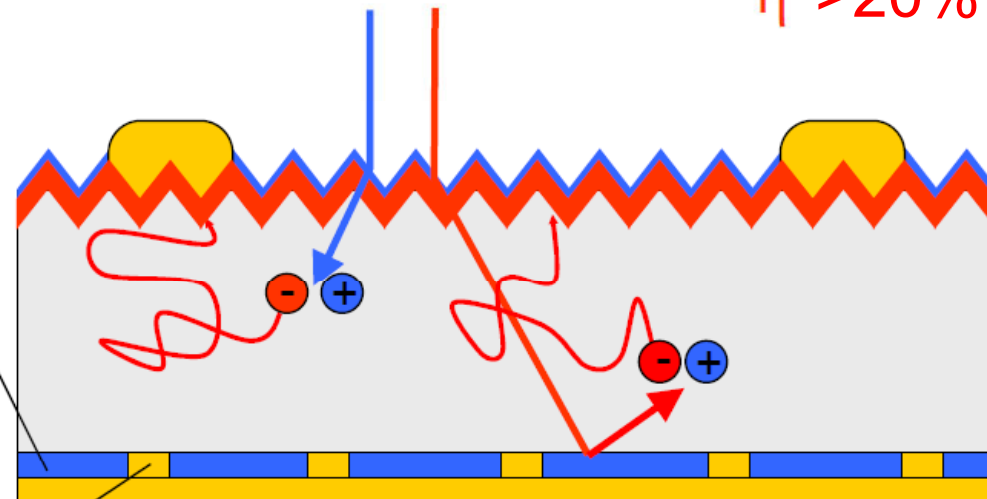
Schwachstelle Rückseite

Verbesserung PERC (passivated emitter rear cell)

Optimierte Solarzelle mit
guten optischen und
elektrischen Eigenschaften

Passivierungs-
schicht

Reduzierte
Kontaktfläche

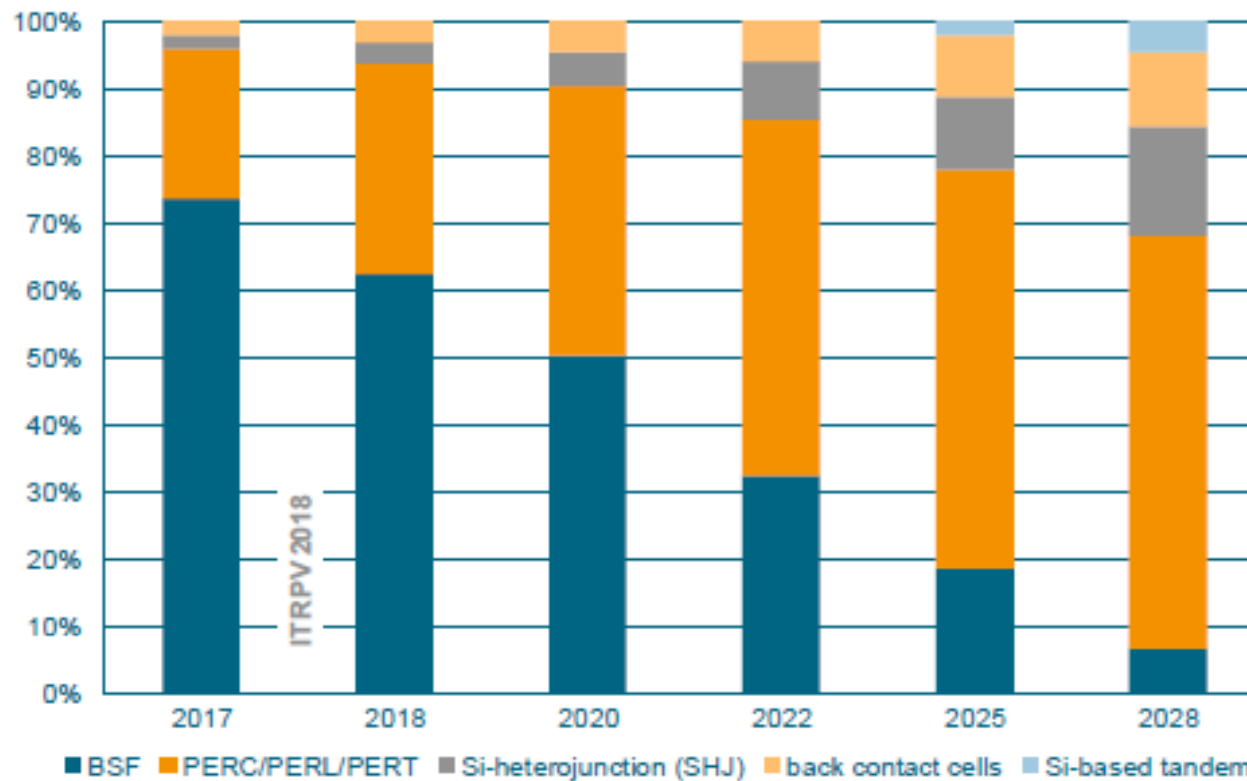


$\eta > 20\%$

Bild : S. W. Glunz, DPG Tagung 2005

Different cell technology

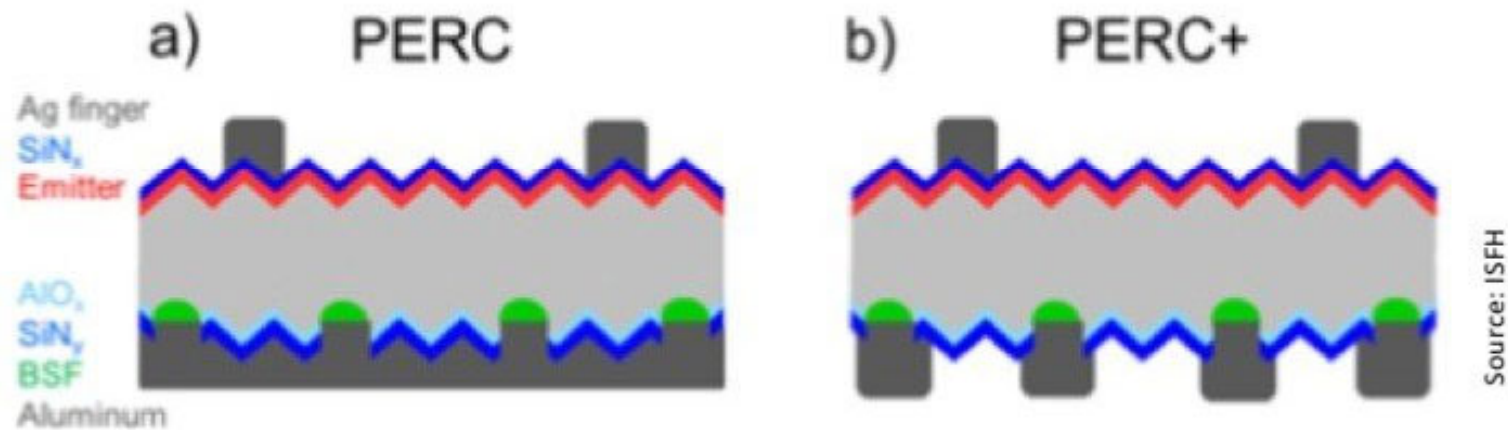
World market share [%]



Quelle: ITRPV Roadmap 2018 12

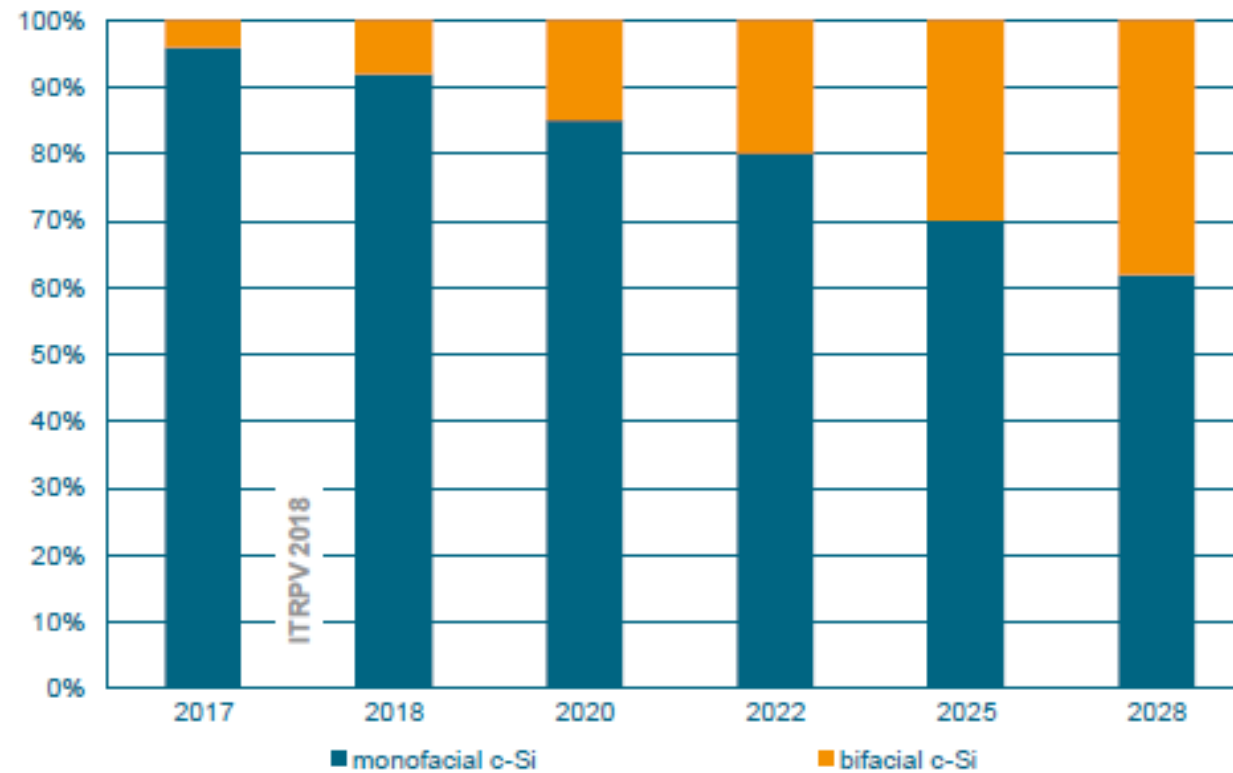
Bifazial

PERC-Solarzellen sind sehr einfach bifazial herzustellen



Bifacial cell technology

World market share [%]



Quelle: ITRPV Roadmap 2018

Bifaziale Module

Zürich University
of Applied Sciences



School of
Engineering

IEFE Institute of Energy Systems
and Fluid Engineering

DUOMAX twin

Trinasolar



Features:

Glas/Glas; 2.5mm /2.5 mm

Ohne Rahmen

P-type PERC technology, mono -Si

Efficiency range 17.2 – 18% at STC

Encapsulant: EVA

Junction box on the edge

Bifaziale Module

Zürich University
of Applied Sciences



School of
Engineering

IEFE Institute of Energy Systems
and Fluid Engineering



MEYER BURGER



Features:

G/G; 2.5mm /2.5 mm

Frameless

n-type HJT technology, mono -Si

Smart Wire interconnection technology

Efficiency range 17.8 - 19% at STC

Encapsulant: TPO

Junction box on the edge

3 Bypass diodes

Bifaciality factor: 93%

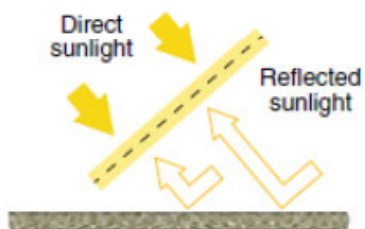
Bifaziale Module

	STC front [W]	Eta front [%]	Cell	No. of busbars	No. of cells	Cover	Frame	Junction box	Remarks
JA	370	18.6	p-PERC	5	72 full	GG	yes	3 edge	short frame optional
Jinko	310	18.7	n-PERT	5	60 full	GG 2x2,5mm	no	edge	
Jolywood	325	19.8	n-PERT	4	60 full	GG 2x2,5mm	no	3 edge	
Jolywood	330	20	n-PERT	4	120 half	G/BS 3,2mm	yes	edge	high voltage
LG	395	18.7	n-PERT	12 round wires	72 full	G/BS 3,2mm	yes	edge	large cell size
Longi	310	18.7	p-PERC	5	60 full	GG	yes	3 edge	
Megacell	280	16.9	n-PERT	3	60	GG 2x2mm	yes	rear	~2015
Ningbo	340	17.1	n-PERT	4	72 full	GG 2x2,5mm	yes	3 edge	
NSP	310	18.5	p-PERC	5	60 full	GG 2x2,5mm	yes	3 edge	POE
Prism	295	17.7	n-PERT	3	60 full	GG 2x3,2mm	no	edge	
Panasonic	225	15.7	HJT	3	72 full	GG	yes	edge	~2014 small cell size
SolarWorld	290	17.3	p-PERC	5	60 full	GG	yes	edge	white cell spacing
Sunpreme	410	19.5	HCT (HJT)	5	150 half	GG 2x2.8mm	yes	2 edge	
Sunpreme	380	19.5	HCT (HJT)	3	72 full	GG 2x2.9mm	no	edge	Tigo optimizer
Trina	310	18.6	p-PERC	5 (12)	60 full	GG 2x2,5mm	no & yes	3 edge	POE
Yingli	295	17.8	n-PERT	5	60 full	GG 2x2,5mm	no	3 edge	
Yingli	360	17.8	n-PERT	5	144 half	GG 2x2,5mm	no	3 edge	

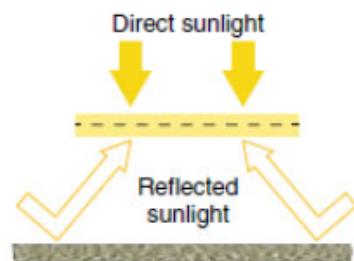
Quelle: Nussbaumer, H., Klenk, M., Halm, A. and Schneider, A. 2018, "State-of-the-art bifacial module technology", Photovoltaics International, 41st edition, pp. 108–125

PV-Systeme mit bifazialen Modulen

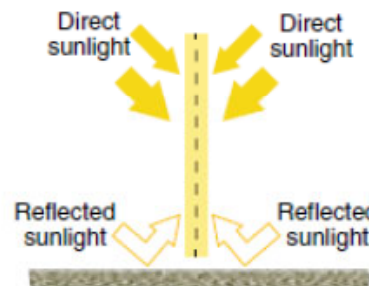
a Slanted S/N



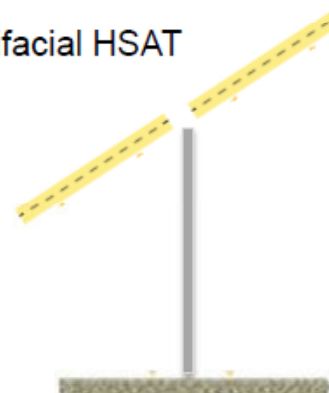
b Horizontal B/T



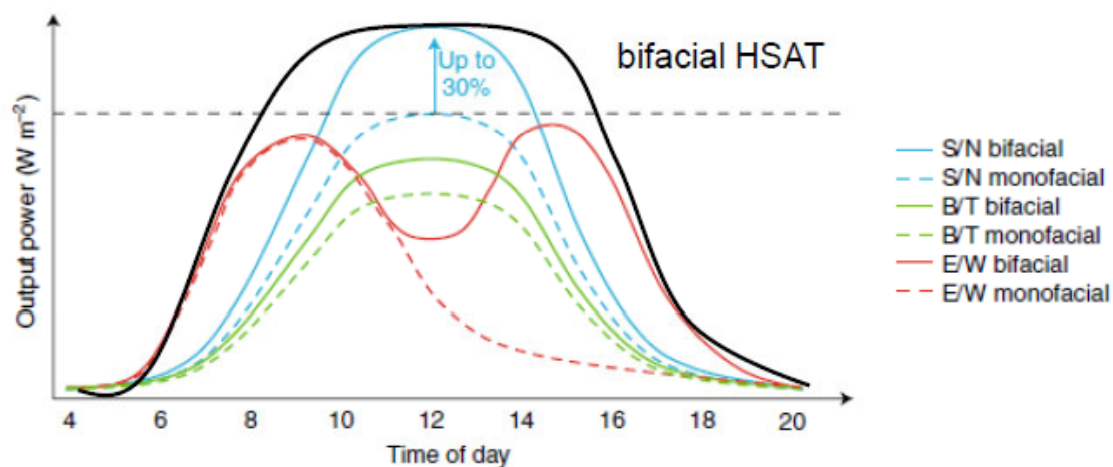
c Vertical E/W



bifacial HSAT



d



Bifacial fixed tilt: 7-30% BG
Bifacial HSAT: 5-25% BG

R. Kopecek, and J. Libal, nature energy, June 2018

PV-Systeme mit bifazialen Modulen

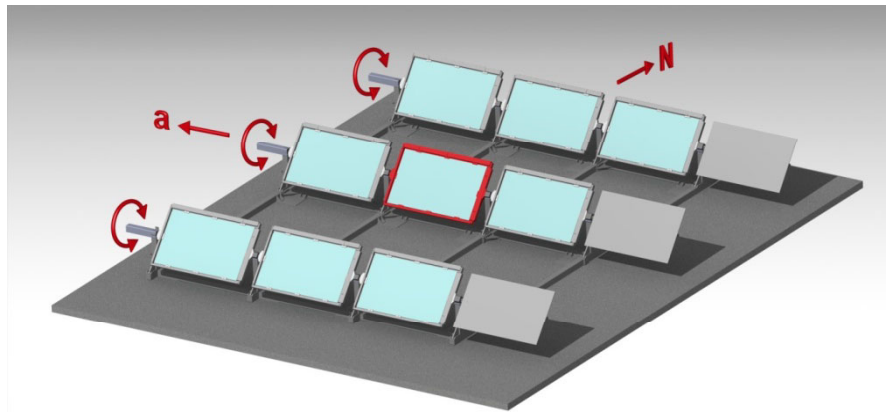
Energieertrag

Zürich University
of Applied Sciences



School of
Engineering

IEFE Institute of Energy Systems
and Fluid Engineering



- Aufbau eines PV-Systems mit drehbaren bifazialen Modulen zur Untersuchung des Energieertrages als Funktion des Neigungswinkels unter Berücksichtigung der Abschattung von benachbarten Modulen
- Neigungswinkel wird innerhalb einer Minute automatisch im Bereich von 0° - 90° in 12 Schritten verändert

F.P. Baumgartner, G. Petrzilek, S. Schartinger, T. Baumann, F. Carigiet, N. Keller, M. Klenk, H. Nussbaumer
EUPVSEC 2016, München

Klenk, Markus; Nussbaumer, Hartmut; Baumgartner, Franz; Keller, Nicolas; Baumann, Thomas (2016).
Bifacial Outdoor Roto Tester-. Bifi Workshop 2016. Miyazaki, Japan.

PV-Systeme mit bifazialen Modulen

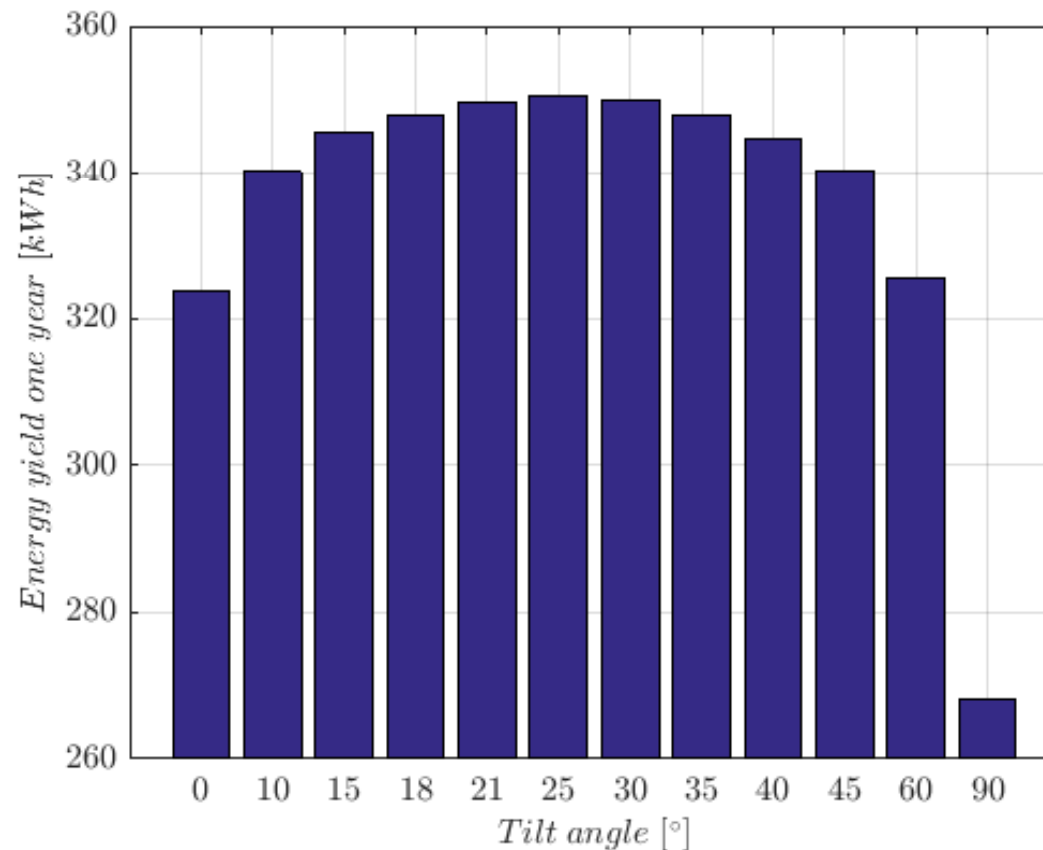
Energieertrag

Zürich University
of Applied Sciences



School of
Engineering

IEFE Institute of Energy Systems
and Fluid Engineering



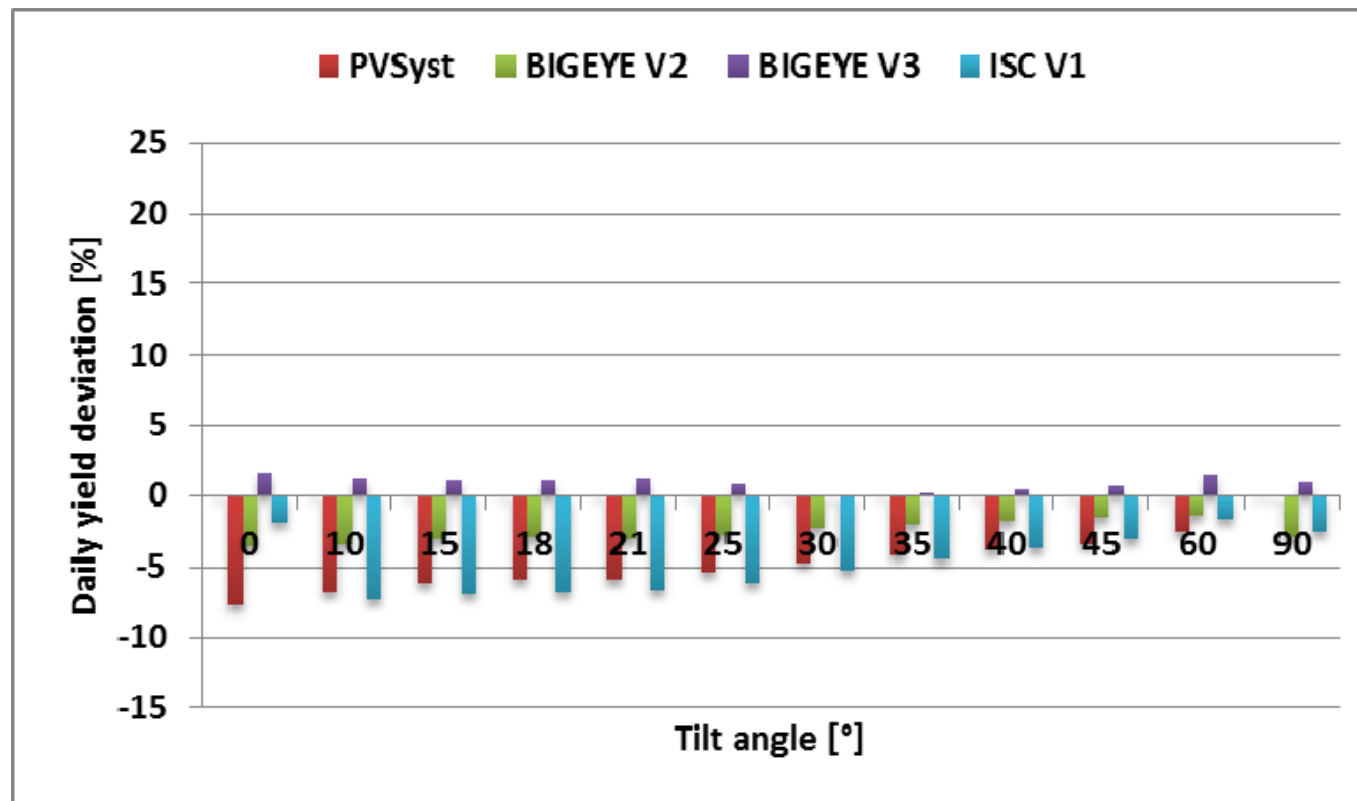
Organisationskomitee Bifi-Workshop

<http://bifipv-workshop.com/index.php?id=dener-2018-program>

M. Klenk, T. Baumann, H. Nussbaumer, M. Morf, N. Keller, F. Baumgartner
Bifi Workshop 2017, Konstanz

PV-Systeme mit bifazialen Modulen

Vergleich Simulation mit Messung zur Vorhersage des Energieertrages



PV-Systeme mit bifazialen Modulen

Gründach, Winterthur

Zürich University
of Applied Sciences



School of
Engineering

IEFE Institute of Energy Systems
and Fluid Engineering

- Nennleistung 9.09 kWp
- Azimuth 25°,
- Ost-West Ausrichtung
- Aufstellungswinkel 90°



24.09.2018 T. Baumann, EUPVSEC 2018, 6AO.9.4 Performance Analysis of Vertically Mounted Bifacial PV Modules on Green Roof System

22

PV-Systeme mit bifazialen Modulen

Gründach, Spezielle PV-Module

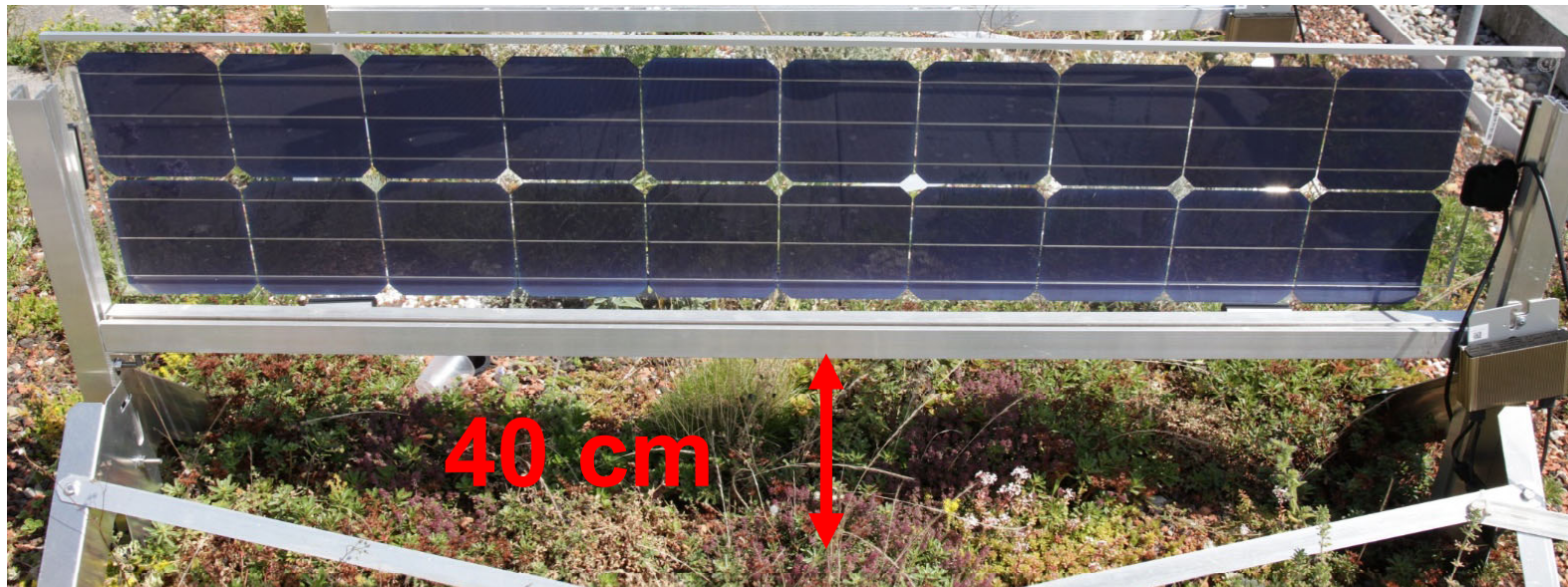
Zürich University
of Applied Sciences



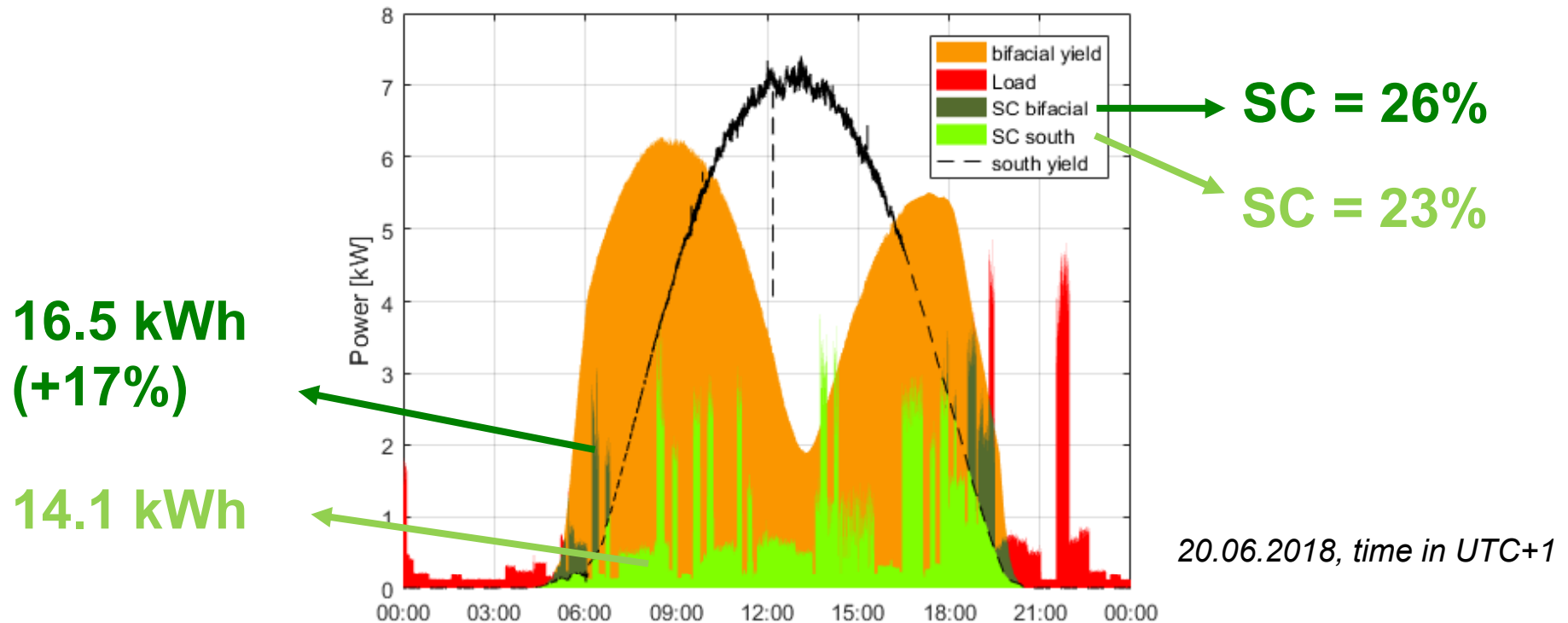
School of
Engineering

IEFE Institute of Energy Systems
and Fluid Engineering

- Custom-made bifaziale Module mit 20 kristallinen Solarzellen
- Geringe Bauhöhe zur Reduktion der Windlasten und zur Verbesserung der Optik
- Ground coverage ratio (GCR): 37% (1 m Reihenabstand)
- Abstand Modulunterkante vom Boden: 40 cm



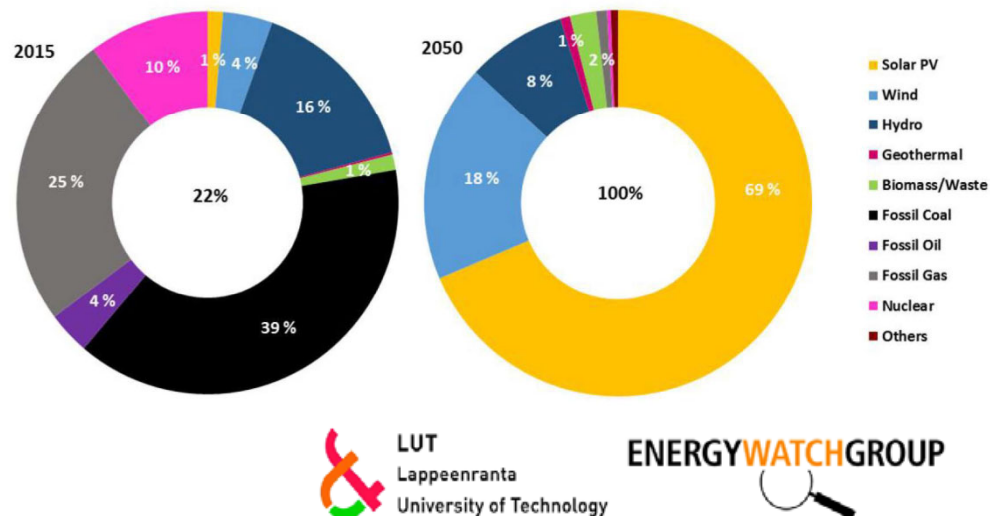
- Energieertrag des PV-Systems mit Gründach ist vergleichbar mit einem nach Süden ausgerichteten monofazialen PV-System (-1.4%)



- Der Eigenverbrauchsanteil kann bei der bifazialen Anlage potentiell höher sein => bessere Wirtschaftlichkeit bzw. niedrigere Kosten für Speicher

PV-Systeme und Speicherung

- Die kostengünstige Speicherung ist für die Verbreitung von Photovoltaik von grosser Bedeutung auf dem Weg zur «Strom 100% erneuerbar»



Quelle: Nationale PV Tagung 2018, S. Nowak

REE Lab

