

August 2019

Leitfaden bifaziale Module

Anwendung von bifazialen
Solarmodulen –
Einsatzmöglichkeiten an Gebäuden,
Dimensionierung der
Anlagenkomponenten



energie schweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autoren

Francesco Frontini, SUPSI

Mauro Caccivio, SUPSI

Christian Renken, CRENERGIE SARL

In Zusammenarbeit mit Christian Moll von Swissolar, Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

Adresse

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: CH-3003 Bern

Infoline 0848 444 444, www.infoline.energieschweiz.ch

energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch, twitter.com/energieschweiz

Inhalt

1	Einführung bifaziale Solarmodule	5
1.1	Historischer Überblick	6
1.2	Technologie	7
2	Marktanalyse	11
2.1	Das Verständnis von Datenblättern: die bifaziale Leistung	12
2.1.1	Die IEC Norm und ihre Definitionen	12
2.1.2	Beantragung von Fördermitteln für bifaziale Solaranlagen	14
3	Einsatzmöglichkeiten und Anwendung	15
3.1	Einsatzmöglichkeiten.....	15
3.2	Einflussfaktoren für den bifazialen Ertragsgewinn	16
3.2.1	Bifazialfaktor	16
3.2.2	Anstellwinkel der Solarmodule.....	17
3.2.3	Reflexion (Albedo) des Hintergrunds	17
3.2.4	Abstand der Solarmodule zum Hintergrund	18
3.2.5	Reihenabstände zwischen den Solarmodulen.....	19
3.2.6	Semitransparente Solarmodule	19
3.2.7	Verschattungen hervorgerufen durch Montagestruktur und Solarkabel	20
3.3	Kriterien für die Produktwahl bifazialer Solarmodule	21
3.4	Dimensionierung der elektrischen Komponenten	22
3.5	Quellenverzeichnis	24
4	Beispiele Best Practice	25
4.1	Bifaziale Photovoltaik-Dachanlage in Steffisburg	25
4.2	Bifaziale Photovoltaik-Dachanlage in Kingsten, New York, USA	28
4.3	Bifaziale Photovoltaik-Fassade am CSEM in Neuchâtel (NE).....	31
4.4	Photovoltaik-Carport mit bifazialen Modulen in Tucson, Arizona, USA	34
4.5	Bifaziale Photovoltaik-Terrassengeländer an einem Mehrfamilienhaus in ZH Oerlikon	37
4.6	Bifaziale Photovoltaik-Freiflächenanlage mit senkrecht aufgestellten Solarmodulen in Merzig, Deutschland.....	40

4.7	Bifaziale Module in innovativem System-Design für Aufdachanlagen, auf EMPA-Gebäude NEST in Dübendorf	43
4.7.1	Projektbeschreibung.....	43
5	Zusammenfassung.....	46
6	Merkblatt.....	47
7	Abbildungsverzeichnis	52

1 Einführung bifaziale Solarmodule

Photovoltaik-Solarmodule (PV-Module) haben ihren Wirkungsgrad in den letzten zehn Jahren erheblich verbessert. Der kontinuierliche Anstieg von PV-Anlagen weltweit geht einher mit enormen Preissenkungen im selben Zeitraum. Höhere Leistung bei gleichen Kosten ist ein Konzept, das die Industrie mit dem Ziel höherer Wirkungsgrade für Solarmodule umgesetzt hat: erhöhte Reinheit der Materialien, neue Konzepte für die optimale Erfassung des photogenerierten Stroms und Optimierung des Modullayouts sind einige von der Industrie eingesetzte Methoden, um die Leistung der 60-Zellen-Standardmodule im Laufe der Jahre von 200 W auf 300 W zu steigern. In letzter Zeit wurden vermehrt bifaziale Solarmodule am Markt eingeführt. Bei dieser Technologie werden Solarzellen und Modullayouts verwendet, die auf beiden Seiten Licht sammeln und die Sonnenstrahlen effizienter in Elektrizität umwandeln können. Durch die Optimierung ihrer Position und Orientierung und die Reduzierung der Rückseitenverschattung auf ein Minimum können bifaziale PV-Module im Vergleich zu herkömmlichen monofazialen PV-Modulen zwischen 5 % bis 30 % mehr Energie produzieren.



Abbildung 1: SkySlate bifaziale Modul von 3S Solar Plus mit einer rahmenlosen Glas/Glas-Konfiguration mit 60 monokristallinen Zellen (Foto: 3S Solar Plus).

1.1 Historischer Überblick

Das Konzept der bifazialen Solarzellen ist nicht neu. Es wurde im Jahr 1960 zum ersten Mal von H. Mori, einem japanischen Forscher, vorgestellt, nur 4 Jahre nach der Präsentation des ersten Prototyps einer Silizium-Monofazialsolarzelle durch Chapin, Pearson und Fueller in den Bell Laboratories. Das Design von Mori basierte auf einer Zweifachsolarzelle, bei der die von der Vorder- und Rückseite einfallenden Photonen Elektronen in beiden pn-Übergängen, der vorderen und hinteren Solarzelle, erzeugen.

In den folgenden Jahren wurden das Einfachsolarzellendesign vorgeschlagen, basiert auf Back-Surface-Field (BSF) - und Back-Contact-Passivierungsdesign, bei dem die Elektronen im Emitter-Bereich in der Vorderseite erzeugt werden. Diese Konzepte sind tatsächlich die gleichen, die heute auf dem Silizium-PV-Modulmarkt mit Monofazial-Modulen zum Mainstream geworden sind.

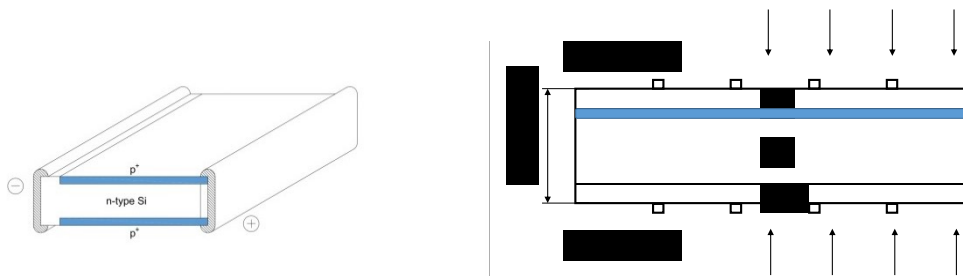


Abbildung 2: Doppelseitiges Bifazial-Konzept von Mori (links) und Back-Surface-Field-Konzept mit einem pn-Übergang (rechts). Die pn-Übergänge sind blau hervorgehoben.

Die ersten Bifazial-Module wurden ab 1974 in der Weltraumforschung eingesetzt, um im Vergleich zu den monofazialen Siliziumzellen von der Effizienzsteigerung und der Verringerung der Temperatur zu profitieren. Aus demselben Grund wird die Internationale Raumstation jetzt immer noch vollständig mit US-amerikanischen und russischen Bifazial-Solaranlagen betrieben.

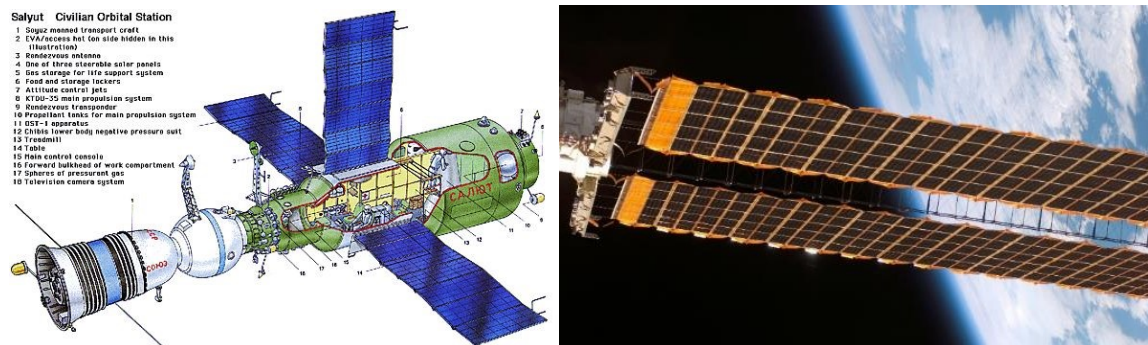


Abbildung 3: Salyut 3-Raumstation (links) mit bifazialen Solarmodulen, Internationale Raumstation (ISS) Photovoltaikanlage (rechts). Quelle: NASA.

Die erste gut dokumentierte terrestrische PV-Anlage, die auf bifazialen Modulen basiert, wurde 1997 an einer Lärmschutzwand in der Nähe von Zürich von TNC Consulting realisiert.

In diesem zukunftsweisenden Beispiel ersetzen die bifazialen PV-Schallschutzwände die herkömmlichen vertikalen Schallschutzwände vollständig. Die Kosten der herkömmlichen

transparenten Lärmschutzwände sind daher vergleichbar mit den Kosten einer bifazialen PV-Lärmschutzwand. Dies gilt vor allem für die Kosten für das Glas, den Rahmen, die Montagestruktur und einen Teil der Arbeit. Diese Anlage wurde 2005 überarbeitet und erweitert und besteht jetzt aus zwei PV-Anlagen mit unterschiedlichen Zelltechnologien.

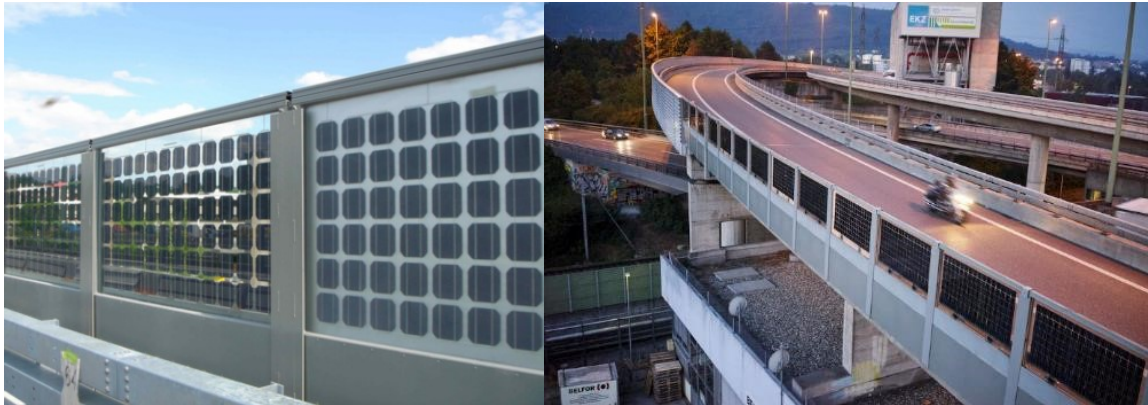


Abbildung 4: 6-kW-Bifazial-PV-Anlage, Zürich, vor (links) und nach dem Update 2005 (Foto: TNC)

Im Jahr 2003 begann Hitachi mit der Massenproduktion von bifazialen Solarmodulen, kurz darauf folgten Sanyo und Sunpower: Das bifaziale Modul ist endlich in den Massenmarkt eingestiegen.

1.2 Technologie

Im Allgemeinen können wir uns ein bifaziales Modul als Standardmodul vorstellen, mit einer zusätzlichen "Lichtquelle" auf der Rückseite, die den durch Photonen erzeugten Strom erhöht. Auf diese Weise wird deutlich, dass die Vorder- und Rückseite des Moduls keine elektrisch getrennten, parallel arbeitenden Teile sind, sondern tatsächlich zwei unterschiedliche Ansichten des gleichen Gegenstands sind, wobei höhere Wirkungsgrade dank der erhöhten Lichtabsorption möglich sind.

Es gibt verschiedene Konzepte für bifaziale Solarzellen: der Kürze wegen werden nur die zwei stärker auf dem Markt verbreiteten Typen vorgestellt.

Nachfolgend wird der Vergleich einer monofazialen PERC-Solarzelle mit einer bifazialen PERC-Solarzelle gezeigt. Die Abkürzung PERC steht für Passivated Emitter und Rear Contact: diese Technologie hat den letzten Effizienzzuwachs für kristalline Silizium-PV-Module vom traditionellen Back Surface Field (BSF) -Typ ermöglicht. Der Passivierungsprozess reduziert die Zellverluste und erhöht die interne Reflektivität, wodurch eine bessere Absorption von Licht ermöglicht wird. Durch Modifizierung des Rückkontakts der Zelle, wodurch das Eindringen von Photonen ermöglicht wird, kann eine Bifazialkonfiguration realisiert werden, die an sich nicht symmetrisch ist. Das von der Rückseite kommende Licht wird in der Tat weniger effizient aufgefangen als das von der Vorderseite in die Zelle einfallende Licht: für diese Art von Technologie beträgt der sogenannte Bifazialfaktor, d.h. das Verhältnis zwischen der an der Rückseite gemessenen Leistung und der an der Vorderseite gemessenen Leistung, etwa 70%.

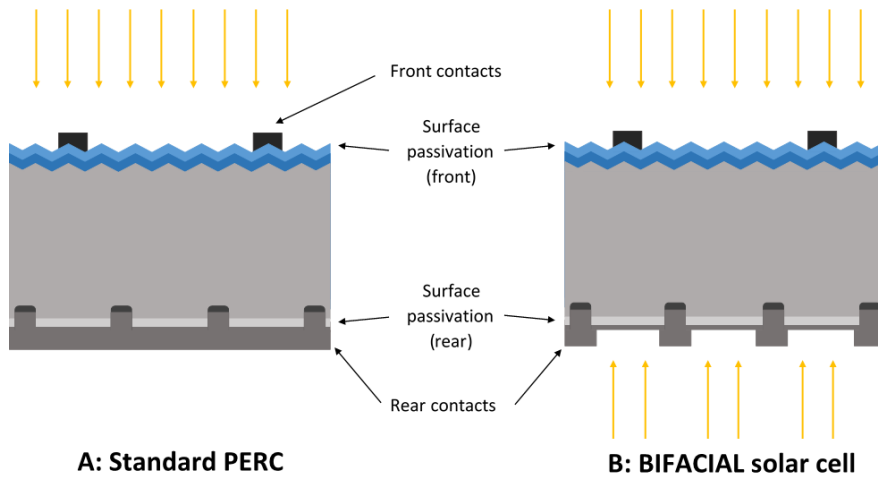


Abbildung 5: Standard PERC gegen Bifazial PERC (Quelle: Solarworld)

Eine andere bifaziale Technologie, die weitaus symmetrischer ist als die PERC-Technologie, basiert auf Heterojunction-Zellen. Dieser Zellentyp wurde Ende der 90er Jahre von Sanyo industriell eingeführt und basiert hauptsächlich auf der Verwendung von n-Silizium anstelle von p-Silizium als Basismaterial. Das p-Silizium-Material ist mit Bor dotiert, einem der hauptverantwortlichen Stoffe für das Phänomen der lichtinduzierten Degradation (LID), das die Leistung von PV-Modulen nach den ersten Stunden der Lichteinwirkung verringert.

N-Silizium ist nicht von LID betroffen, was ein großer Vorteil ist, und kann zu höheren als p-Silizium-Wirkungsgraden führen. Der dahinterliegende industrielle Prozess ist jedoch komplexer und teurer. Bei Heterojunction-Technologie-Zellen (HJT) werden zusätzlich zwei dünne Schichten aus amorphem Silizium auf beiden Seiten des Basismaterials symmetrisch abgeschieden. Die Metallisierung für die Kontaktabscheidung ist nach einer Dünnschichtabscheidung aus transparentem leitfähigem Oxid ebenfalls symmetrisch: diese Konfiguration führt zu einem Bifazialfaktor, der sogar über 95% liegen kann.

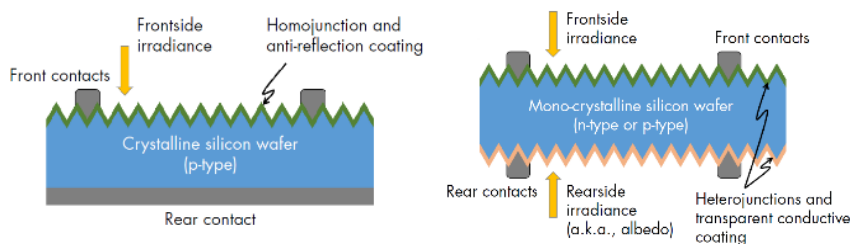


Abbildung 6: Standard-BSF-Zelle (links) gegen bifaziale HJT-Zelle (rechts) (Foto: EPRI)

Wie bereits erwähnt, liefern die bifazialen Solarzellen höhere Ströme. Aus diesem Grund ist es sehr wichtig, dass die Zellverbindung die geringsten ohmschen Verluste aufweist, wenn sie in Reihe geschaltet werden, um die Spannung auf Modulebene zu erhöhen. Es gibt verschiedene Optionen auf dem Markt, von den Standard-Kupfer-Silber-beschichteten Bändern (4, 5 oder 6 Busbars) bis zu den sogenannten Multi-Wire-Anschlüssen wie Smartwire (von Meyer Burger) oder CELLO-Technologie (von LG) mit mehreren dünnen Profildrähten anstelle der größeren und dickeren Leitungsbänder (Busbar). Die Vorteile von Mehrfachkontakten sind neben dem

verringerten spezifischen Widerstand die erhöhte Redundanz und Stromerfassung im Falle eines Zellbruchs.



Abbildung 7: Smartwire-Kontakttechnologie (links, Quelle Meyerburger) und 5 Busbars (rechts, Quelle Aiko Solar)

Auch durch die Verwendung von halben Zellen kann eine bessere Beständigkeit gegen Zellbruch erreicht werden, eine Reduzierung des Stroms und damit eine Wirkungsgradverbesserung aufgrund der Widerstandsverlustreduzierung. Einige Hersteller schlagen diese Alternative vor, indem sie dieselbe Anzahl von Solarzellen in Reihe schalten, die in zwei parallelen Abschnitten angeordnet sind, wodurch die volle Kompatibilität auf Modulebene mit den elektrischen Parametern von Standardmodulen erhalten bleibt.



Abbildung 8: : Halbe Zellen: ein Weg zur Effizienzsteigerung (Quelle: PVmanufacturing.org, Canadian Solar)

Eine weitere nützliche Option zur Verringerung der Ausfälle aufgrund von Zellbrüchen bei bifazialen PV-Modulen ist die Verwendung einer Glas-Glas-Struktur zur Einkapselung der Zellen. Die meisten auf dem Markt befindlichen Produkte werden bei dieser Lösung mit unterschiedlichen Einkapselungsmitteln ausgestattet (Ethylen-Vinylacetat (EVA), Polyvinylbutyral (PVB), usw.) sowie mit unterschiedlichen Eigenschaften in Bezug auf Zuverlässigkeit, Preis und auch Sicherheit (EVA ist z. B. das "Arbeitspferd" der PV-Industrie, PVB ist das Material, mit dem Sicherheitsglas in der Bau- und Automobilindustrie laminiert wird). In letzter Zeit wurden auch transparente Kunststofffolien als Alternative zum Glas auf der Rückseite präsentiert, um den Laminierprozess mit EVA zu erleichtern.

Ein wichtiger Bestandteil bifazialer Solarmodule ist die Anschlussdose: die ersten auf dem Markt erhältlichen Module wurden mit Standard-Anschlussdosen ausgestattet, die auf der Rückseite montiert sind. Dies hat erhebliche Verschattungsverluste zur Folge, die gleichzeitig zu heißen Stellen (hot-spots) führen kann und zur Reduzierung des Bifazialfaktors. Die Entwicklung der

bifazialen Module hat dazu geführt, dass die Anschlussdosen dünner wurden, sich an den Rändern der Module befinden und in manchen Fällen in drei einzelne Dosen aufgeteilt wurden. Dies ist neben der Reduzierung der Verschattungsverluste auch für den ästhetischen Aspekt des Produkts selbst von Vorteil. Außerdem ist auf die richtige Dimensionierung der Schutzdioden zu achten, die im Vergleich zu Standardmodulen höheren Strömen standhalten müssen.

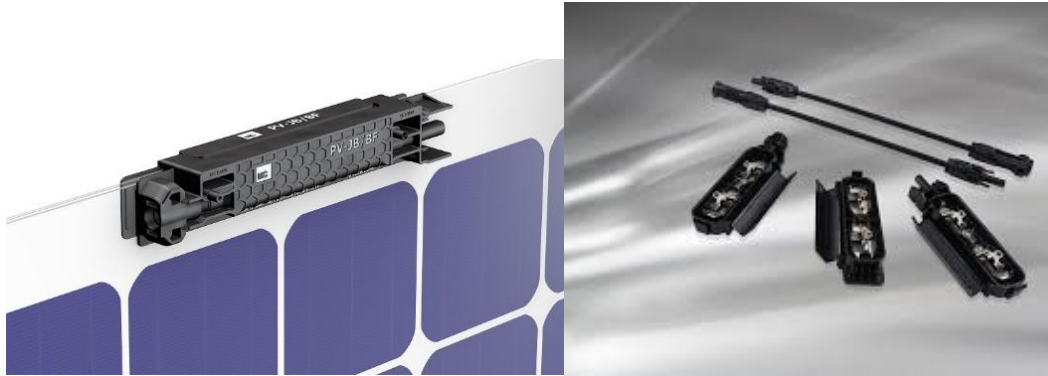


Abbildung 9: Junction boxes für bifaziale Solarmodule (Foto: Stäubli, TE connectivity)

2 Marktanalyse

Wie im vorigen Abschnitt beschrieben, sind die auf dem Markt befindlichen bifazialen Technologien in verschiedenen Typologien verfügbar, um die Anforderungen verschiedener Anwendungen zu erfüllen, von der belüfteten Fassade bis zu flachen Solardächern, von Oberlichtern bis hin zu Balustraden. Im Folgenden ist eine nicht erschöpfende Tabelle der wichtigsten Akteure aufgeführt, die auf dem Markt mit bifazialen Technologien vertreten sind. Die Aufmerksamkeit wurde mehr auf Standardmodule als auf kundenspezifische Module gerichtet, um einen direkten Vergleich zwischen den verschiedenen Produkten zu erhalten.

Firma	Pmax Vorderseite [W]	BusBars(BB)/ Multiwire (MM)	Zellen [#/type]	Modul-rahmen	[glass-glass/ glass-backsheet)	Bifazialfaktor
3S Solar Plus	295	5BB	60 full	Nein	GG	n.v.
Canadian Solar	315	5BB/MM	120 half	Ja	GG	70%
JA Solar	375	5BB	72 full	Nein	GG	70%
Jinko	380	5BB	144 half	Nein	GG	70%
Joliwood	330	-	120 half	Nein	GG	n.v.
LG electronics	390	MM	72 full	Ja	GB	76%
Longi	375	5BB	72 full	Ja	GG	>75%
Megasol	305	5BB	60 full	Nein	GG	n.v.
Meyerburger	315	MM	60 full	Nein	GG	93%
NSP	310	5BB	60 full	Ja	GG	n.v.
PVP	300	4BB	60 full	Ja	GG	70-90%
Solarworld	290	5BB	60 full	Ja	GG	n.v.
Sunpreme	300	3BB	60 full	Nein	GG	n.v.
Suntech	375	5BB	72 full	Ja	GG	n.v.
Trina	365	5BB	72 full	Nein	GG	n.v.
Yingli	360	5BB	144 half	Nein	GG	n.v.

Tabelle 1: Marktübersicht bifaziale Module

Hinweis: Bei im Datenblatt nicht verfügbarem Bifazialfaktor, wurde n.v. angegeben.

2.1 Das Verständnis von Datenblättern: die bifaziale Leistung

Betrachtet man die Eigenschaften der auf dem Markt befindlichen Module, so sind einige wichtige Unterschiede ersichtlich in Bezug auf die maximale Ausgangsleistung aufgrund der unterschiedlichen Zelltechnologien, der Abmessungen des Moduls und allgemein der Darstellung der Informationen des Datenblatts oder in der technischen Dokumentation.

2.1.1 Die IEC Norm und ihre Definitionen

Die IEC-Norm 60904-1-2 für die Definition der Verfahren zur Messung der elektrischen Leistung bifazialer Module ergänzt die IEC 60904-1-Norm für die Messung monofazialer PV-Module. Der Standard wurde schließlich im Januar 2019 veröffentlicht.

Die Norm bietet eine gemeinsame Referenz für die Definition der intrinsischen Eigenschaften bifazialer Modulen: genauer gesagt, definiert der Standard den P_{max} bei unterschiedlichen Bestrahlungsgraden auf der Rückseite unter Verwendung der so genannten Bifazialfaktoren, mit dem die STC-Werte der Vorder- und Rückseite berechnet werden können.

φ_{Isc} ist der Bifazialitätskoeffizient des Kurzschlussstroms, $\varphi_{P_{max}}$ ist der Bifazialitätskoeffizient für den maximalen Leistungspunkt und φ_{Voc} ist der Bifazialitätskoeffizient der Leerlaufspannung: sie sind alle in Prozent ausgedrückt und repräsentieren das Verhältnis zwischen den auf der Vorder- und Rückseite gemessenen Werten bei einer Einstrahlung von 1000 W/m^2 , 25°C Temperatur und Lichtspektrum AM 1.5, wie aus den drei folgenden Gleichungen ersichtlich:

$$\varphi_{Isc} = \frac{Isc_r}{Isc_f}$$

$$\varphi_{P_{max}} = \frac{P_{max_r}}{P_{max_f}}$$

$$\varphi_{Voc} = \frac{Voc_r}{Voc_f}$$

Die Norm besagt, dass „der P_{max} -Wert des Moduls auf der Vorderseite bei äquivalenten Einstrahlungswerten von 1000 W/m^2 auf der Vorderseite und unterschiedlichen Einstrahlungswerten auf der Rückseite gemessen werden muss“.

Die Bifazialitätskoeffizienten werden verwendet, um eine äquivalente Bestrahlung auf der Vorderseite zu berechnen, um dann die maximale Leistung bei unterschiedlichen äquivalenten Lichtpegeln auf der Rückseite zu bestimmen: Es sind mindestens drei verschiedene Bestrahlungsniveaus unter Verwendung des kleinsten Bifazialitätskoeffizienten zwischen φ_{Isc} und $\varphi_{P_{max}}$ zu berechnen.

Am Ende dieses Prozesses müssen mindestens zwei spezifische P_{max} -Werte, $P_{maxBif10}$ und $P_{maxBif20}$, für Rückseitenbestrahlungsstärken von 100 W/m^2 bzw. 200 W/m^2 im Testbericht angegeben werden.

Beispiele für Datenblätter

Die Modulhersteller versuchen bereits, einen Teil der von der Norm geforderten Informationen in ihr Datenblatt aufzunehmen. Dies ist jedoch nicht immer klar. Unten ist eine typische Tabelle aus einem Datenblatt eines bifazialen Moduls:

ELECTRICAL DATA | STC*

	Nominal Max. Power (Pmax)	Opt. Operating Voltage (Vmp)	Opt. Operating Current (Imp)	Open Circuit Voltage (Voc)	Short Circuit Current (Isc)	Module Efficiency	
	300 W	32.5 V	9.24 A	39.3 V	9.82 A	17.83%	
	5%	315 W	32.5 V	9.7 A	39.3 V	10.31 A	18.72%
Bifacial Gain**	10%	330 W	32.5 V	10.16 A	39.3 V	10.8 A	19.61%
	20%	360 W	32.5 V	11.09 A	39.3 V	11.78 A	21.40%
	30%	390 W	32.5 V	12.01 A	39.3 V	12.77 A	23.18%

Abbildung 10: Elektrische Daten eines Bifazialmoduls aus dem Datenblatt des Herstellers, Beispiel 1

Die erste Zeile in Abbildung 10 zeigt die STC-Messung des Moduls, die als monofazial betrachtet wird, während die folgenden Zeilen die Leistungen mit zunehmender Beleuchtung auf der Rückseite ($P_{\max\text{BiFi5}}$, $P_{\max\text{BiFi10}}$, usw.) beschreiben. Ein anderer Ansatz ist der Folgende,

Electrical Characteristics											Test uncertainty for Pmax: ±3%	
Model Number												
Testing Condition	Front	Back	Front	Back	Front	Back	Front	Back	Front	Back	Front	Back
Maximum Power (Pmax/W)	355	267	360	270	365	274	370	278	375	282		
Open Circuit Voltage (Voc/V)	48.1	47.8	48.2	47.9	48.3	48.0	48.4	48.1	48.6	48.3		
Short Circuit Current (Isc/A)	9.61	7.26	9.72	7.33	9.84	7.42	9.95	7.52	10.03	7.58		
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	39.2	39.7	39.3	39.8	39.5	40.0	39.6	40.1	39.8	40.2		
Current at Maximum Power (Imp/A)	9.06	6.73	9.16	6.79	9.25	6.86	9.35	6.94	9.43	7.01		
Module Efficiency(%)	18.0	13.6	18.3	13.7	18.5	13.9	18.8	14.1	19.0	14.3		

STC (Standard Testing Conditions): Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25 C, Spectra at AM1.5

Abbildung 11: : Elektrische Daten eines Bifazialmoduls aus dem Datenblatt des Herstellers, Beispiel 2

wobei die Bifazialitätskoeffizienten φ_{Isc} , φ_{Pmax} und φ_{Voc} direkt aus den Leistungswerten der Rückseite und der Vorderseite gemessen bei 1000 W/m² berechnet werden können. Der $P_{\max\text{BiFi}}$ -Wert ist jedoch nicht angegeben. Einige Hersteller deklarieren die Leistung bei einer maximalen Bifazialverstärkung von z.B. 20 %, wie auch aus dem Produktnamen aus Beispiel 3 ersichtlich:

Elektrische Spezifikationen	Bifacial 380			Bifacial 365			Bifacial 355		
Einstrahlung Vorderseite STC*	100 %			100 %			100 %		
Einstrahlung Rückseite STC*	0 %	10 %	20 %	0 %	10 %	20 %	0 %	10 %	20 %
Nennleistung P_{mpp}	315	348	380	305	338	365	295	325	355
Kurzschlussstrom I_{sc}	9.3	10.2	11.1	9.2	10.1	11.0	9.1	10.0	10.9
Leerlaufspannung V_{oc}	43.8	43.9	44.0	43.7	43.8	43.9	43.5	43.6	43.7
Strom I_{mpp}	8.6	9.52	10.43	8.56	9.47	10.34	8.52	9.38	10.26
Spannung V_{mpp}	36.6	36.7	36.6	35.6	35.7	35.6	34.6	34.7	34.6
Maximale Systemspannung	1000 V								

Abbildung 12: Elektrische Daten eines Bifazialmoduls aus dem Datenblatt eines Herstellers, Beispiel 3

Einige andere Datenblätter enthalten keine elektrischen Daten zur Bifazialität, sondern geben lediglich auf der Startseite ihres Datenblattes den potentiellen Bifazialgewinn vor.

375Watt

MONOCRYSTALLINE BIFACIAL SOLAR MODULE

Features



Higher power output
The power generation can increase up to 25%



High PID resistant
Advanced cell technology and qualified materials lead to high resistance to PID



High efficiency Bifacial PERC cell

By using bifacial PERC cell and double glass technology, the frontside power can reach to 375W, and the backside power generation can increase up to 25%.

Abbildung 13: Elektrische Daten eines Bifazialmoduls aus dem Datenblatt des Herstellers, Beispiel 4

2.1.2 Beantragung von Fördermitteln für bifaziale Solaranlagen

Zur Beantragung des einmaligen Investitionsbeitrags bei Pronovo im Rahmen der Einmalvergütung von Photovoltaikanlagen wird die Nominalleistung bei STC von der Vorderseite der bifazialen Solarmodule angegeben. Die zusätzliche Leistung der Rückseite bifazialer Solarmodule wird nicht berücksichtigt, da noch keine normative Definition für deren Bestimmung vorliegt. Somit wird die Leistung der Rückseite mit 0 Watt angenommen, so als ob es sich um herkömmliche Solarmodule handeln würde.

Die im Jahr 2019 neu erschienene Norm "IEC TS 60904-1-2 "Measurement of current-voltage characteristics of bifacial photovoltaic (PV) devices" bestimmt das Verfahren zur Messung bifazialer Solarmodule, sie definiert jedoch noch nicht, wie die STC-Leistung zu bestimmen ist.

3 Einsatzmöglichkeiten und Anwendung

Bifaziale Solarmodule können durch den zusätzlichen Energieertrag von der Modul-Rückseite Wirkungsgrade von über 24 % erreichen. Wie hoch der Zusatzgewinn in der Praxis ist, hängt von der Art der Anwendung ab. Der jährliche Energieertrag bifazialer Solarmodule wird massgeblich von der diffusen Himmelsstrahlung und von der diffusen Reflexionsstrahlung, die hinter den Modulen auftritt, beeinflusst. Eine zum Horizont offene Modulmontage und ein heller Hintergrund mit hohem Reflexionsfaktor - auch Albedo genannt - wirken sich positiv auf die Energieproduktion aus. Im Gegensatz dazu bewirken nahe Verschattungen, die durch Bestandteile der Montagekonstruktion oder den Solarkabeln verursacht werden können, Ertragsminderungen.

Die Simulation des Energieertrags bifazialer Photovoltaikanlagen ist komplexer als bei herkömmlichen Solarmodulen. Die Bestimmung der zu erwartenden Diffusstrahlung hinter den Solarmodulen beruht ausschliesslich auf Kenn- und Vergleichszahlen. Eine ausreichende Toleranz bei der Dimensionierung der elektrischen Komponenten, wie Wechselrichter, Solarkabel, Sicherungen, etc. sollte daher berücksichtigt werden. Insbesondere an Standorten, wo mit hohen Produktionsspitzen, z.B. hervorgerufen durch Schneereflexionen, zu rechnen ist, können anderenfalls Leistungsbegrenzungen bei den Wechselrichtern oder sogar Betriebsausfälle durch Auslösen der Sicherungsautomaten der Photovoltaikanlage auftreten.

3.1 Einsatzmöglichkeiten

Der Einsatz bifazialer Solarmodule ist dann geeignet, wenn die Montagestruktur resp. Aufständigung ausreichend diffuse Himmels- und Reflexionsstrahlung auch auf die Rückseite der bifazialen Solarmodule zulässt. Das ist der Fall bei Modul-Aufständigungen auf Flachdächern, die ausreichend vom Boden abgesetzt sind oder an Terrassen- und Balkongeländern, an Schallschutzwänden, an Glas-Überdachungen für Terrassen, Fahrzeuge und Fahrräder sowie an vorgehängten Fassaden-Glaskonstruktionen. Nicht zu empfehlen ist der Einsatz für Montagearten, bei denen die Solarmodule direkt auf einem opaken Untergrund montiert werden, wie es z.B. auf Ziegeldächern der Fall ist.



Abbildung 14: Vielzählige Anwendungsmöglichkeiten bieten sich für den Einsatz bifazialer Solarmodule an: oben (v.l.n.r.): 3kWp-Terassengeländer an MFH in ZH Oerlikon, 101kWp-Dachanlage in Steffisburg, 3S Solar Plus,

Unten (v.l.n.r.): 28kWp-Freiflächenanlage mit senkrecht aufgestellten Solarmodulen in Deutschland, Next2Sun, 69kWp-Glas-Fassade in Neuenburg, CSEM

3.2 Einflussfaktoren für den bifazialen Ertragsgewinn

3.2.1 Bifazialfaktor

Der Bifazialfaktor ist definiert als das Verhältnis des Wirkungsgrads der Modulrückseite zum Wirkungsgrad der Modulvorderseite. Die Nominalleistung gemäss Standard Testing Conditions (STC) von der Modulrückseite zur Modulvorderseite kann von Hersteller zu Hersteller variieren und hängt von der verwendeten Zellentechnologie ab. Der Bifazialfaktor beträgt typischerweise zwischen 60 % - 90 %. Aus diesem Grund können, abhängig vom Produkt, die energetischen Zusatzgewinne sehr unterschiedlich hoch sein.

Der jährliche Energieertrag von der Modulrückseite wird durch die diffuse Himmelsstrahlung und die zusätzliche diffuse Reflexionsstrahlung generiert. Bifaziale Solarmodule erzeugen bis ca. 30 % mehr Jahresenergieertrag im Vergleich zu herkömmlichen monofazialen Solarmodulen. Im nachfolgenden Diagramm wird der Leistungsverlauf bifazialer Solarmodule im Vergleich zu einem herkömmlichen Solarmodul gezeigt.

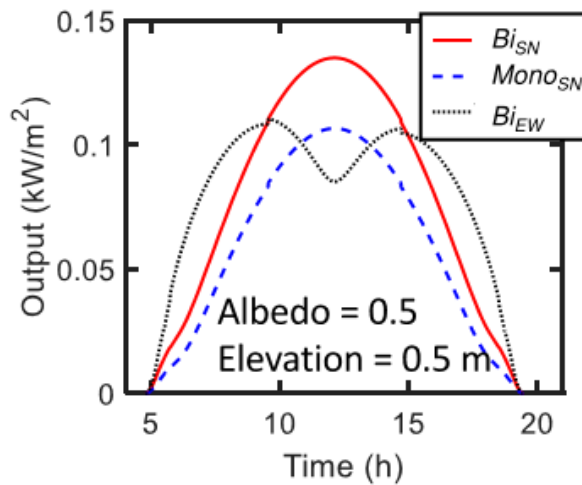


Abbildung 15: Leistungsverlauf eines monofazialen südorientierten Solarmoduls (blaue Linie) im Vergleich zu einem bifazialen südorientierten Solarmodul (rote Linie) und einem bifazialen ost-/westorientierten Solarmodul (graue Linie), bei dem die Produktionsspitzen vormittags und nachmittags auftreten [1].

3.2.2 Anstellwinkel der Solarmodule

Bei zunehmendem Modul-Anstellwinkel nimmt die Intensität der Diffusstrahlung hinter den Solarmodulen und damit die Energieproduktion der Modulrückseite zu. Da gleichzeitig bei zunehmendem Anstellwinkel die Produktion auf der Vorderseite abnimmt, ergibt sich ein rechnerisches Optimum für den Anstellwinkel bifazialer Solarmodule. Dieser liegt ca. 20 % über dem standortabhängigen Idealwert des Anstellwinkels herkömmlicher monofazialer Solarmodule [1, 2].

3.2.3 Reflexion (Albedo) des Hintergrunds

Neben der diffusen Himmelstrahlung liefert die diffuse Reflexionsstrahlung, abhängig vom Boden resp. vom Hintergrund der Solarmodule, den grösseren Anteil des diffusen Lichtes. Der Reflexionsfaktor des Hintergrunds wird massgeblich vom Farbton und der Beschaffenheit bestimmt. Insbesondere durch Schnee-, bzw. Wasserreflexionen (schwimmende Photovoltaikanlagen) wird ein deutlicher Zusatzenergieertrag erzielt, der auch einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Winterstromanteils leisten würde. Es gilt allgemein: Je heller und reflektierender die Oberfläche, desto stärker ist die diffuse Strahlung und damit der zusätzliche Energieertrag. In der nachfolgenden Tabelle werden Richtwerte für den Reflexionsfaktor verschiedener Oberflächen gezeigt [3, 4].

Beschaffenheit der Oberfläche	Reflexionsfaktor (Albedo)
Wasserfläche	5-22 %
Grasboden	20-30 %
Asphalt	10-15 %
Beton	20 %
Heller Kiesboden	30 %
Hellgraue Dachfolie	60 %
Weiss angestrichener Beton	60 - 80 %
Frischer Schnee	80-90 %

Tabelle 2: Richtwerte für den Reflexionsfaktor verschiedener Oberflächen

3.2.4 Abstand der Solarmodule zum Hintergrund

Eine weitere relevante Einflussgrösse auf den Energieertrag stellt der Abstand zwischen dem reflektierenden Hintergrund und den bifazialen Solarmodulen dar. Geringe Abstände bewirken auch nur geringe Ertragsgewinne von der Modulrückseite. Wird der Abstand vergrössert, nimmt sowohl die diffuse Himmelsstrahlung als auch die diffuse Reflexionsstrahlung hinter den Modulen zu. Der zusätzliche Ertragsgewinn kann dann von wenigen Prozent auf im Idealfall bis zu 30 % ansteigen. Das nachfolgende Diagramm (Abb.16) zeigt die Veränderung des Energieertrags bei Variation des Modulabstands zum Hintergrund und bei unterschiedlicher Albedo. Das Diagramm kann auch als Hilfsmittel zur Auslegung bifazialer Photovoltaikanlagen verwendet werden.

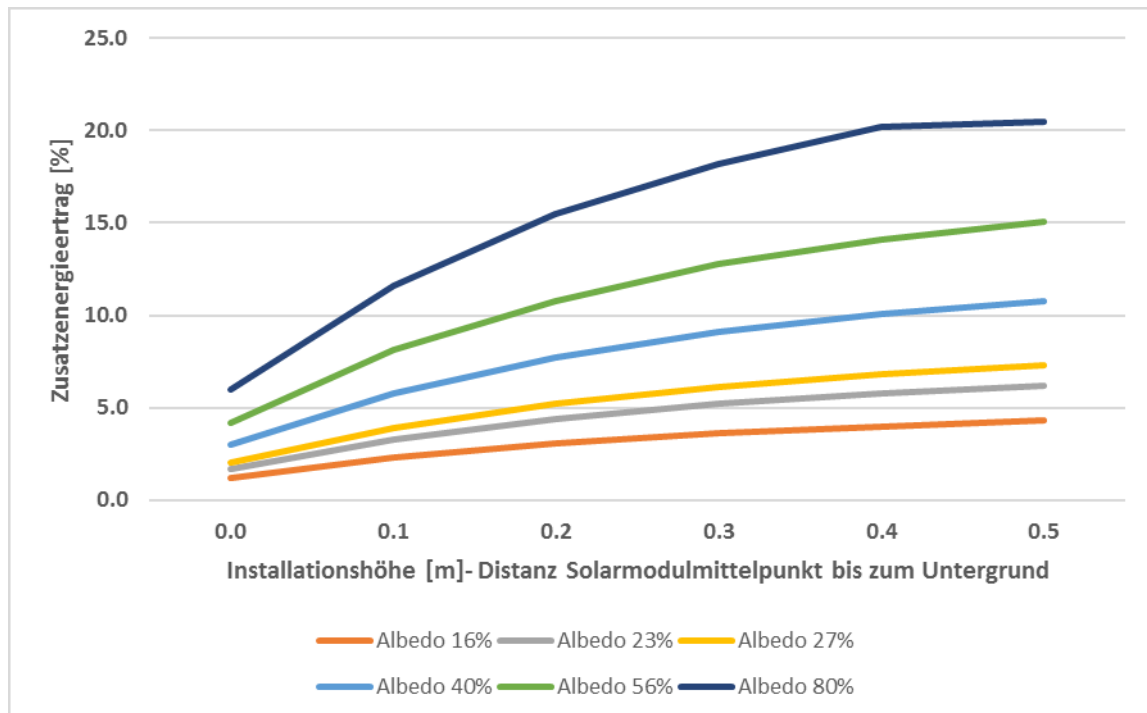


Abbildung 16: Zusätzliche Energieerträge bifazialer Photovoltaikmodule mit Bifazialfaktor = 65 %, bei südorientierter Ausrichtung mit 30° Modulanstellwinkel und einem Modulreihenabstand von 2.5 m bei unterschiedlicher Distanz zum Boden sowie unterschiedlicher Albedo [3].

3.2.5 Reihenabstände zwischen den Solarmodulen

Die Reihenabstände innerhalb eines Solarmodulfeldes beeinflussen die Diffusstrahlung hinter den Solarmodulen. Dicht aufeinander platzierte Solarmodule begrenzen den Horizont und damit die Diffusstrahlung. Zusätzlich können Eigenverschattungen bei niedrigen Sonnenständen auf den Vorderseiten der Solarmodule auftreten. Diese Eigenverschattungen sollten grundsätzlich vermieden werden. Aus diesem Zusammenhang ergeben sich Reihenabstände mit einem Flächennutzungsgrad des Solarfeldes von ca. 40 % [5]. Werden grössere Reihenabstände für den Einsatz bifazialer Solarmodule in Betracht gezogen, sollte zunächst der zu erwartende bifaziale Zusatzertrag dem Ertragsverlust durch den abnehmenden Flächennutzungsgrad gegenübergestellt werden.

Nicht zu empfehlen sind herkömmliche Modulaufständerungen, bei denen die Solarmodule dicht am Boden mit geringem Anstellwinkel platziert werden (Anstellwinkel Module bis ca. 10°). Das bifaziale Ertragspotential der Solarmodule kann in diesen Fällen kaum ausgenutzt werden.

3.2.6 Semitransparente Solarmodule

Bei standardisierten bifazialen Solarmodulen mit 60 oder 72 Siliziumzellen, wie sie von vielen Herstellern angeboten werden, sind die Siliziumzellen im Modul flächenoptimiert mit minimalen Abständen zueinander angeordnet. Insbesondere bei hoher Direktstrahlung an Schönwettertagen

ist die Zunahme der Diffusstrahlung hinter diesen Solarmodulen, durch die Lichttransmissionen zwischen den Zellen hindurch, kaum möglich. Werden massgefertigte bifaziale Solarmodule zur Anwendung in Fassaden, Terrassengeländern oder Überdachungen geplant, dann kann durch die Wahl grösserer Abstände zwischen den Siliziumzellen die Lichttransmission erhöht werden. Der dadurch zusätzlich generierte Energieertrag wird maximiert, indem der Hintergrund mit hohem Reflexionsfaktor (z.B. Albedo > 0.5) gewählt wird.

3.2.7 Verschattungen hervorgerufen durch Montagestruktur und Solarkabel

Die Direkteinstrahlung der Sonne erreicht, ausgenommen bei senkrecht nach ost-/west-orientierten Modulen, nicht die Rückseite bifazialer Solarmodule. Dennoch reduzieren Verschattungen, hervorgerufen durch Bestandteile des Montagesystems oder der Solarkabel, die Diffusstrahlung an der Modulrückseite und damit auch den Energieertrag. Bei der Planung sollte daher folgendes beachtet werden:

- Bei der Wahl des Montagesystems ist darauf zu achten, dass die Tragprofile nicht die Rückseite der Solarmodule abdecken. Mehrere Hersteller bieten bereits spezielle Systeme für bifaziale Solarmodule an, bei denen die Solarmodule linienförmig auf den beiden langen Modulkanten gelagert und fixiert werden. Die Rückseite der Solarmodule ist weitestgehend frei von nahverschattenden Bauteilen.



Abbildung 18: Bifaziale Solarmodule an einem nicht geeigneten Montagesystem. Die Verschattungen durch Trägerprofile mindern den Energieertrag der Modul-Rückseite, Quelle; renewable energy world



Abbildung 17: Bifaziales Montagesystem von Opsun Systems. Linienförmige Halterung für ungehinderte Diffusstrahlung auf die Modulrückseite.

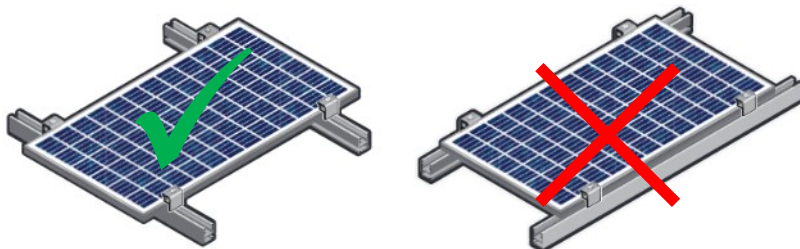


Abbildung 19: Bei fachgerechter Befestigung der bifazialen Solarmodule wird das maximale Ertragspotential erreicht.

- Die Solarkabel sollten bei bifazialen Anlagen möglichst nahe hinter der Tragkonstruktion befestigt werden, damit die Siliziumzellen auf der Rückseite nicht abgedeckt werden. Bei der Verlegung und Fixierung der Solarkabel ist auf den minimal zulässigen Biegeradius des Produkts zu achten. Dieser beträgt typischerweise Faktor 4 - 6 vom Aussendurchmesser des Kabels. Werden die Bögen enger gepresst, können Schäden am Solarkabel entstehen. Die Angaben des Herstellers sind zu beachten.

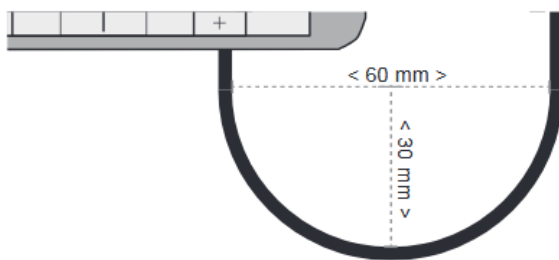


Abbildung 20: Herstellerangabe über den Minimalbiegeradius eines Solarkabels

3.3 Kriterien für die Produktwahl bifazialer Solarmodule

- **Elektrische Leistung**

Normativ ist die Spezifikation der elektrischen Leistung bifazialer Solarmodule bisher noch nicht geregelt. Aus diesem Grund sind die Herstellerangaben zu diesen Produkten nicht einheitlich. Die meisten Hersteller geben die STC-Leistung des Moduls mit zusätzlich unterschiedlicher Einstrahlungsstärke (z.B. 5 %, 10 %, 20 % und / oder 30 % Einstrahlung von STC) auf die Modulrückseite an. Bei manchen Produkten werden zusätzlich die STC-Leistung der Rückseite oder der Bifazialfaktor aufgeführt. Die genaue Prüfung bei Vergleich unterschiedlicher Produkte ist daher unbedingt zu empfehlen.

- **Bifazialfaktor**

Der Bifazialfaktor ist ein Qualitätsmerkmal. Je niedriger dieser Faktor ist, desto weniger energetische Zusatzgewinne können von der Modul-Rückseite erwartet werden. Typischerweise verfügt die Rückseite über 60 % - 90 % der Nominalleistung der Vorderseite. D.h. der zusätzliche Energieertrag der Rückseite kann von Hersteller zu Hersteller deutlich variieren. Auf den Datenblättern der Hersteller wird der Bifazialfaktor in den meisten Fällen nicht aufgeführt. Es ist daher zu empfehlen, beim Lieferanten diesen Wert anzufragen oder mit Hilfe der Hersteller-Informationen über die prozentualen Zusatzerträge den Wert zu berechnen.

- **Anschlussdosen und Solarkabel**

Die elektrischen Anschlussdosen an bifazialen Solarmodulen müssen sich neben den Siliziumzellen befinden und dürfen diese nicht verschatten. Die Solarkabel müssen seitlich aus den Anschlussdosen austreten, damit bei der Montage die Kabel dicht am Modulrand

fixiert werden können. Bifaziale Solarmodule mit herkömmlicher Anschlussdose auf der aktiven Rückseite, wie es bei der ersten Produktgeneration einiger Hersteller der Fall war, sind nicht zu empfehlen.

- **Modulrahmen**

Einige Hersteller bieten bifaziale Solarmodule mit herkömmlichen Modulrahmen an. Die Rahmenhöhe beträgt zwischen 35 - 40 mm und führt in den meisten Anwendungsfällen zu Verlusten in der Leistungsabgabe von der Modulrückseite. Die Wahl rahmenloser bifazialer Solarmodule ist zu empfehlen. Allerdings ist bei diesen Produkten bei Transport und Handling Vorsicht geboten, da bei Stosseinwirkungen auf die Glaskanten das Element sofort vollständig zerbrechen kann. Zur Befestigung der rahmenlosen Solarmodule müssen möglichst flache Klemmhalter verwendet werden, anderenfalls verursachen diese Schatten auf der Moduloberfläche, die auch zu Ertragsverlusten führen.

3.4 Dimensionierung der elektrischen Komponenten

Bevor die elektrischen Komponenten mit bifazialen Solarmodulen dimensioniert werden können, muss die voraussichtliche zusätzliche Einstrahlung und damit der Zusatzertrag von der Rückseite der Module bestimmt werden. Zu dem Zweck muss der Reflexionsfaktor vom Hintergrund / Boden definiert werden. Dies kann mit Hilfe von Richtwerten aus der Literatur erfolgen (siehe auch Tabelle 2). Danach empfiehlt sich die Energieertragsberechnung mit Hilfe einer Simulationssoftware, wie z.B. PVSYST oder Polysun. Als Alternative kann aber auch eine Abschätzung mit Hilfe eines Diagramms über die Zusatzerträge bei unterschiedlicher Modulaufständigung und unterschiedlicher Albedo (siehe Abbildung 16) vorgenommen werden. Diese Methode bietet jedoch nicht dieselbe Genauigkeit wie die Ertragssimulation mit einer professionellen Software.

Die voraussichtliche zusätzliche Leistung von der Modulrückseite ist bei der Bestimmung aller elektrischer Komponenten mit zu berücksichtigen. Das betrifft nicht nur die Wechselrichter, sondern auch die DC-Kabel, den Überspannungsschutz, die Trennschalter, die Sicherungen sowie die RCD-Schalter. Insbesondere ist die zunehmende Stromstärke der Solarmodule zu beachten. Die elektrische Spannung hingegen bleibt wie bei einem monofazialen Solarmodul konstant und verändert sich ausschliesslich durch die Temperaturveränderung, jedoch kaum durch die zusätzliche Diffusstrahlung auf der Rückseite der Solarmodule.

An Standorten, wo mit überdurchschnittlichen Lichtreflexionen zu rechnen ist, wie z.B. in Bergregionen mit hohem Schneeaufkommen oder an / auf Gewässern, können auch überdurchschnittliche hohe Produktionsspitzen auftreten, für die die Komponenten ausreichend überdimensioniert werden sollten, andernfalls können Leistungsbegrenzungen oder Betriebsstörungen auftreten.

Elektrische Spezifikationen

Einstrahlung Vorderseite STC*	100 %		
Einstrahlung Rückseite STC*	0 %	10 %	20 %
Nennleistung P_{mpp}	295 W_p	320 W_p	345 W_p
Spannung U_{mpp}	32.1 V	32.1 V	32.1 V
Strom I_{mpp}	9.20 A	9.98 A	10.76 A
Leerlaufspannung U_{oc}	39.0 V	39.0 V	39.1 V
Kurzschlussstrom I_{sc}	9.74 A	10.57 A	11.36 A
Wirkungsgrad	17.9 %	19.5 %	21.0 %
Maximale Systemspannung (IEC)	1500 V		
Rückstrombelastbarkeit	15 A		
Toleranz Nennleistung	[-0, +5] W_p		

*Elektrische Leistungsdaten bei STC (1000 W/m², 25°C, AM 1.5).
Bifaciale Anteile berechnet.

Abbildung 21: Elektrische Spezifikation SkySlate Bifacial, 3S Solar Plus: Der Leistungsanstieg bifazialer Solarmodule wird durch die Zunahme der Stromstärke erzeugt. Die elektrische Spannung bleibt bei STC hingegen konstant.

3.5 Quellenverzeichnis

[1] Optimization and Performance of Bifacial Solar Modules: A Global Perspective

Authors: Xingshu Sun, Mohammad Ryyan Khan, Chris Deline, and Muhammad Ashraful Alam, Network of Photovoltaic Technology, Purdue University, West Lafayette, IN, 47907, USA, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, 80401, USA

[2] Illumination homogeneity of bifacial systems – outdoor measurements with systematically varied installations conditions

Authors: Thomas Baumann*, Markus Klenk, Nico Keller, Hartmut Nussbaumer, Franz Baumgartner ZHAW, Zurich University of Applied Sciences, SoE, Institute of Energy Systems and Fluid Engineering, Technikumstrasse 9, CH-8401 Winterthur, Switzerland

[3] Calculating the additional energy yield if bifacial solar modules, White paper Solarworld

[4] Photovoltaik - Strom aus Sonnenlicht für Verbundnetz und Inselanlagen,

Autor: Dr. Heinrich Häberlin, Electrosuisse Verlag, 8320 Fehraltorf

[5] Photovoltaik, Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis,

Autor: Konrad Mertens, Carl Hanser Verlag

[6] BIFACIAL SOLAR PHOTOVOLTAIC MODULES - Program on Technology Innovation, White paper, EPRI, Palo Alto, USA

[7] Future Of Bifacial Si Solar Cells For Space Application,

Authors: G.M. Grigorieva et al., 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia

4 Beispiele Best Practice

4.1 Bifaziale Photovoltaik-Dachanlage in Steffisburg

Projektbeschreibung



Im Jahr 2018 wurde die 101-kWp-Anlage auf einem neuen Flachdach in Steffisburg (BE) installiert. Dabei wurden 342 SkySlate Bifazialmodule der Firma 3S Solar Plus AG mit jeweils 295 Wp nominaler Modulleistung installiert. Der Neigungswinkel der Module beträgt 20°.

Die gemessenen Sommererträge liegen wetterkorrigiert ca. 20-25 % über der Prognose für monofaziale Solarmodule am selben Standort.

Technische Anlagendaten

Installierte Leistung: 101 kWp

Fläche Solarmodule: 562 m²

Eigentümer und Projektbeteiligte

Eigentümer/Investor: Bürgergemeinde Thun

Unternehmer: Brunner Imboden AG

Systemlieferant: 3S Solar Plus AG

Solarmodule

Typ:	SkySlate Bifacial, rahmenloses Glas/Glas-Laminat (2 x 2.5 mm)
Technologie:	monokristallines nPERT
Zellenanzahl:	60 Stück
Dimension:	992 mm x 1658 mm x 6 mm
Gewicht:	22.5 kg



Nominalleistung:

bei Einstrahlung Rückseite STC : 0%, 295 Wp

bei Einstrahlung Rückseite STC : 10%, 320 Wp

bei Einstrahlung Rückseite STC : 20%, 345 Wp

ausschliesslich Rückseite STC: 250 Wp

Bifazialfaktor: 85 %

Tragkonstruktion

Typ: Contec greenlight bifacial

Art der Befestigung: Aluminium-Montagesystem mit 4-Punkt Glashalterung,
Mittelpunkt der Solarmodule ca. 55 cm über dem Boden,
Leichtbauweise mit 20 kg/m² Zusatzgewicht

Neigungswinkel : 20°

Hinter- / Untergrund

Oberflächenmaterial: Kiesbeschichtung

Farbe: Terracotta

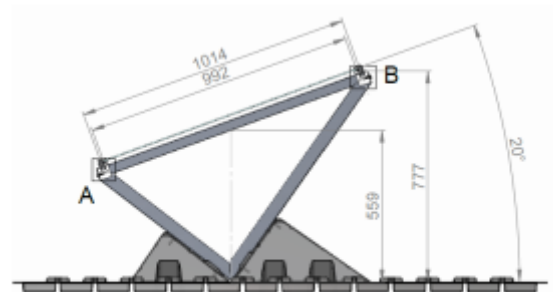
Albedo: 30 % (geschätzt)

Wechselrichterkonzept

8 Fronius Symo 7.0-3-M - 20.0-3-M

Wechselrichter AC-Nennleistung: 117 kW

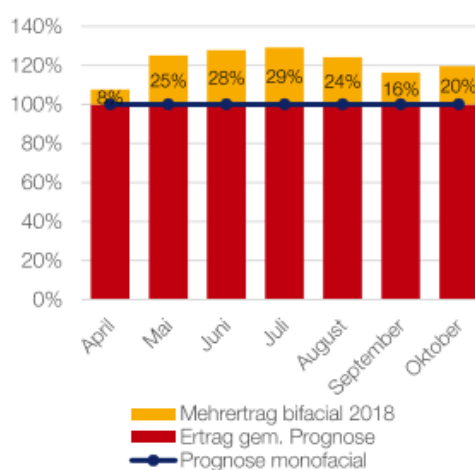
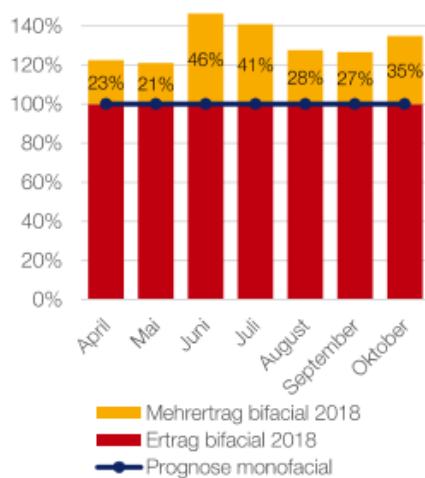
Leistungsratio $P_{DC \text{ Module}} / P_{AC \text{ Wechselrichter}}$: 0.86



Monitoring Daten - Energieertrag

In der Messperiode von April 2018 bis Oktober 2018 lagen die Energieerträge wetterkorrigiert ca. 20-25 % über der Prognose für monofaziale Solarmodule!

	Prognose ¹	Energieertrag 2018	Prognose ¹	Energieertrag 2018	Mehrertrag
	MWh	MWh	kWh/kWp	kWh/kWp	
Summe	97.3	61.9	964.7	613.0	
Januar	3.4		34.0	0.0	
Februar	5.2		52.0	0.0	
März	8.9		88.3	0.0	
April	10.5	12.9	104.0	127.5	+23%
Mai	11.4	13.8	113.0	136.9	+21%
Juni	11.9	17.4	118.0	172.7	+46%
Juli	12.6	17.8	125.0	176.0	+41%
August	11.2	12.7 ²	111.0	141.7	+28%
September	9.2	10.3 ²	90.9	115.2	+27%
Oktober	6.5	7.9 ²	64.9	87.5	+35%
November	3.8		37.2	0.0	
Dezember	2.7		26.4	0.0	



Ertrag gegenüber Prognose (ohne Wetterkorrektur). April 2018: nur Teilbetrieb.

Wetterkorrigierter³ Ertrag gegenüber Prognose. April 2018: nur Teilbetrieb.

¹ Basierend auf [PVGIS](#) (freistehend, monofaziale Module, Systemverlust 12%, geg. Standort; Aug. 2018)

² Ausfall eines Wechselrichters am 3.8. bis November 2018

³ Wetterkorrektur: Einstrahlungsdaten für Thun über letzte 10 Jahre monatlich gemittelt und Ertragsprognose proportional zu effektiven Monatseinstrahlungswerten korrigiert.

Abbildung 22 Erträge mit «3S SkySlate® Bifacial»-Modulen, 3S Solar Plus

4.2 Bifaziale Photovoltaik-Dachanlage in Kingsten, New York, USA

Projektbeschreibung

Im Jahr 2016 wurde die 154.3-kWp-Anlage auf einem weiss gestrichenen Beton-Flachdach in Kingsten, NY, installiert. Dabei wurden 532 Prism Solar Bifazial-Module Bi60-368BSTC mit jeweils 290 Wp nominaler Modulleistung installiert. Der Neigungswinkel der Module beträgt ca. 35°.

Es wurden gemessene Zusatzerträge im Frühjahr von ca. 10-30 % und übers gesamte Jahr von ca. 22 % gegenüber dem Einsatz monofazialer Solarmodule ermittelt.



Technische Anlagendaten

Installierte Leistung: 154.3 kWp

Fläche Solarmodule: 887 m²

Projektbeteiligte

Unternehmer: Sunrise Solar Solutions, LLC

Systemlieferant: Prism Solar Technologies

Solarmodule

Typ: Bi60-368BSTC, rahmenloses
Glas/Glas-Laminat (2 x 3.2 mm)

Technologie: monokristalline N-type Zellen

Zellenanzahl: 60 Stück

Dimension: 984 mm x 1695 mm x 7.2 mm

Gewicht: 28.9 kg

Nominalleistung:

bei Einstrahlung Rückseite STC : 0%, 290 Wp

bei Einstrahlung Rückseite STC : 30%, 368 Wp

ausschliesslich Rückseite STC: 261 Wp

Bifazialfaktor: 90%

Tragkonstruktion

Typ: SunRail Structure Bifacial™, Opsun systems inc.

Art der Befestigung: Aluminium-Montagesystem mit 4-Punkthalterung,
Mittelpunkt Solarmodule ca. 75 cm über dem Boden, Konstruktion direkt
verschraubt mit dem Dach.

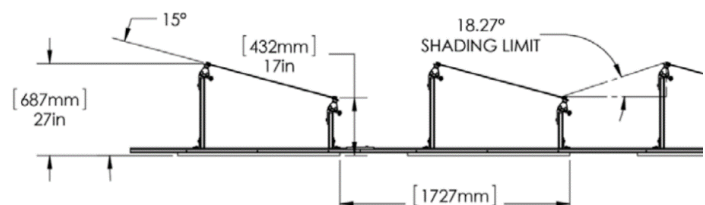
Neigungswinkel: ca. 35°

Hinter- / Untergrund

Oberflächenmaterial: Betondach

Farbe: weiss angestrichen

Albedo: 75%



Wechselrichterkonzept

5 Solaredge SE33.3KUS

266 Solaredge Leistungsoptimierer P730

Leistungsratio $P_{DC \text{ Module}} / P_{AC \text{ Wechselrichter}}$: 0.927



Monitoring-Daten Energieertrag

Die Photovoltaikanlage wurde 2016 in Betrieb genommen. Im ersten Betriebsjahr wurden 1'650 kWh/kWp produziert. Die Anlage hat dabei ca. 22 % mehr Ertrag geliefert als eine monofaziale Anlage am selben Standort (1'350 kWh/kWp). In den Wintermonaten wurden bedingt durch zusätzliche Schneereflexionen zwischen 38 % und 60 % höhere Erträge gemessen. Im Sommer bewegen sich die Zusatzerträge zwischen 11 % und 30 %. Trotz der bereits überdimensionierten Wechselrichter erreichen diese zeitweise ihre Leistungsgrenze an Schönwettertagen im Frühling. Mit der Wahl grösserer Wechselrichter könnten demzufolge noch höhere Erträge als die 22 % erzielt werden.

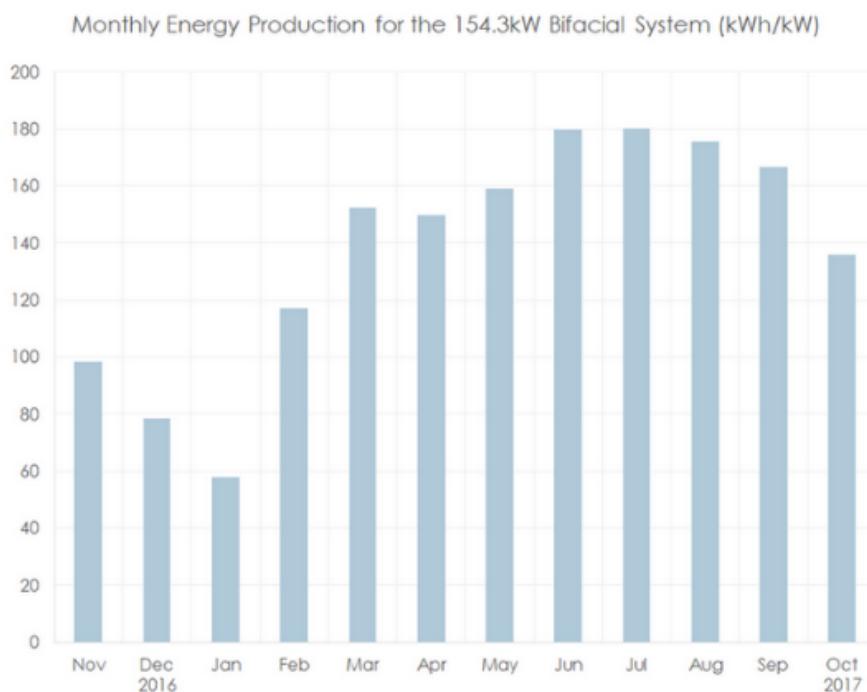


Abbildung 23: Monatliche Energieproduktion der 154.3 kWp bifazialen Photovoltaikanlage auf einem weissen Flachdach in Kingsten, NY.

4.3 Bifaziale Photovoltaik-Fassade am CSEM in Neuchâtel (NE)

Projektbeschreibung

Im Jahr 2015 wurde die 69.0-kWp-Anlage an einer Stahlbau-Konstruktion installiert und bildet gemeinsam mit der ästhetischen Fassadenkonstruktion einen Teil der Gebäudearchitektur. Es wurden 210 Glas/Glas-Solarmodule, als Verbundsicherheitsglas ausgeführt, mit einer nominalen Modulleistung von 330 Wp. Jedes Modul wiegt auf Grund der verwendeten Glasstärken 120 kg. Die semitransparenten Solarmodule wurden mit bifazialen HJT-Siliziumzellen gefertigt. Bedingt durch die grossen Zellenabstände von 40 mm, verfügen die Module über eine Transparenz von 40 %.



Technische Anlagendaten

Installierte Leistung: 69.0 kWp
 Fläche Solarmodule: 592 m²

Eigentümer, Architekt und Projektbeteiligte

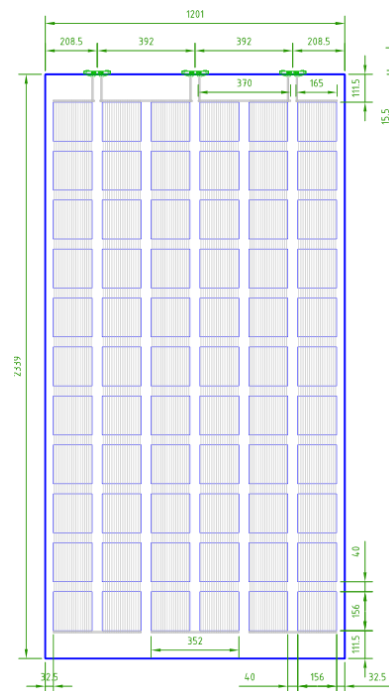
Eigentümer/Investor: Viteos SA, Ville Neuchâtel und CSEM SA
 Architekt: GD Architectes (Neuchâtel)
 Unternehmer: Acomet SA, Zwahlen et Mayr SA,
 Systemlieferant: MeyerBurger AG

Solarmodule:

Typ: Fassade Clear 330, rahmenloses
 Glas/Glas-Laminat (ESG 6mm x ESG
 10mm)
 Technologie: Heterojunction Technologie (HJT),
 Verbindung von kristallinen Silizium-
 Solarzellen mit Dünnschichttechnologien

Zellenanzahl: 66 Stück
 Dimension: 1200 mm x 2340 mm x 17.5 mm
 Gewicht: 120.0 kg

Nominalleistung:
 bei Einstrahlung Rückseite STC: 0%, 330 Wp
 ausschliesslich Rückseite STC: k.A.
 Bifazialfaktor: k.A.



Tragkonstruktion

Typ: Eigens für das Objekt entwickeltes Stahl-Tragwerk mit Aluminium-Fassadensystem von RAICO zur Befestigung der Solarmodule, Aussenmasse des Tragwerkes: 44 m Breite x 14.5 m Höhe

Art der Befestigung: Die Solarmodule werden linienförmig am oberen und unteren Glasrand gehalten, dadurch entsteht eine filigrane Befestigungsstruktur. Die Solarkabel sind in der RAICO-Konstruktion integriert und von aussen nicht sichtbar.

Neigungswinkel : 90°

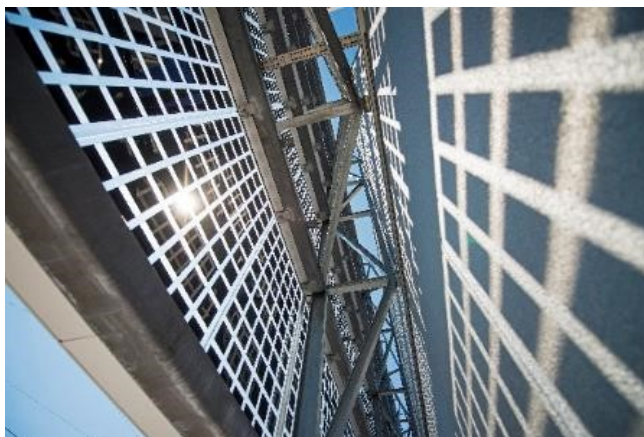
Hinter- / Untergrund

Oberflächenmaterial: verputzte Fassade, angestrichen
 Farbe: hellblau brillant
 Albedo: ca. 50% (geschätzt)

Wechselrichterkonzept

4 SMA Tripower STP12000TL-20,
 1 SMA Tripower STP8000TL-20

Leistungsratio $P_{DC \text{ Module}} / P_{AC \text{ Wechselrichter}}$: 1.24



Monitoring-Daten Energieertrag

Die Photovoltaikanlage wurde im September 2015 in Betrieb genommen. Im ersten Betriebsjahr wurden 787 kWh/kWp produziert. In derselben Periode wurden ca. 5 % höhere Sonnen-Einstrahlungswerte gegenüber dem langjährigen meteorologischen Mittelwert erfasst. Daraus ergibt sich, dass der spezifische Jahresenergieertrag der Anlage nach Wetterkorrektur ca. 750 kWh/kWp beträgt. Im Vergleich wurde mit der PVSYST-Ertragssimulation von monofazialen Modulen bei gleicher Ausrichtung und am gleichen Standort 644



kWh/kWp/a berechnet. D.h. es könnte ein Zusatzertrag durch die bifazialen Solarmodule von ca. 13 % erreicht werden. An einigen Schönwettertagen im Jahr, insbesondere im Frühjahr, wird die Leistungsgrenze der Wechselrichter erreicht.

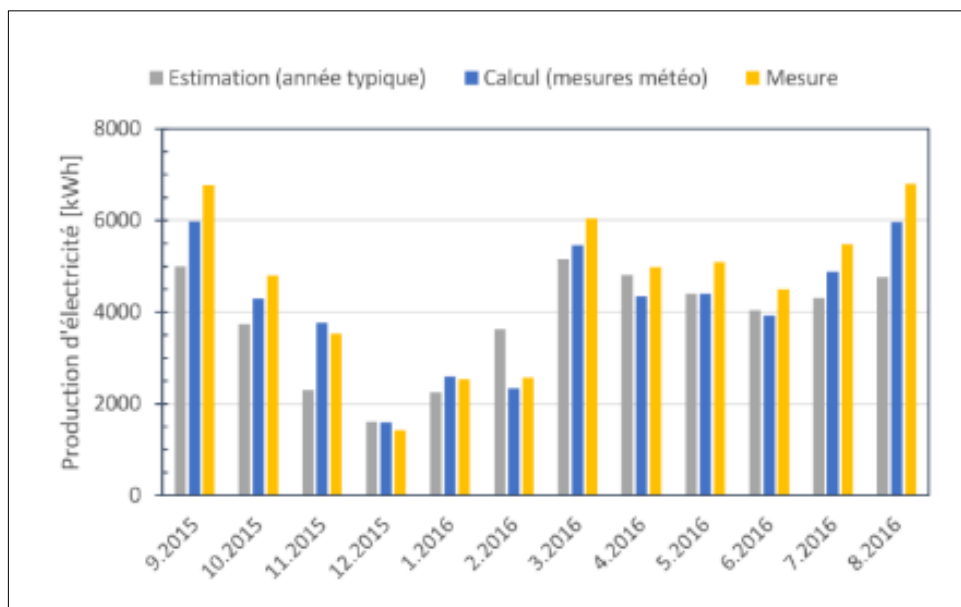


Abbildung 24 Monatliche Energieproduktion der 69.0 kWp bifazialen Photovoltaikanlage. Simulierte Monatserträge (grau), gemessene Monatserträge (gelb), wetterkorrigierte Monatserträge (blau).

4.4 Photovoltaik-Carport mit bifazialen Modulen in Tucson, Arizona, USA

Projektbeschreibung

Im Jahr 2016 wurde die 9.72-kWp-Anlage auf einem Carport integriert. Es wurden 36 Bi60-343BSTC-Module der Firma Prism Solar mit jeweils 270 Wp nominaler Modulleistung installiert. Die Montagestruktur des Daches wurde für den Einsatz bifazialer Solarmodule entwickelt, bei der die Diffusstrahlung möglichst ungehindert auf die Rückseite der Module auftreffen kann. Der Neigungswinkel der Solarmodule beträgt ca. 7° Neigung. Die gemessenen Zusatzerträge betragen ca. 20 % gegenüber dem Einsatz monofazialer Solarmodule.



Technische Anlagendaten

Installierte Leistung: 9.72 kWp

Fläche Solarmodule: 72 m²

Projektbeteiligte

Unternehmer: k.A.

Systemlieferant: Prism Solar Technologies

Solarmodule:

Typ: Bi60-343BSTC,
rahmenloses Glas/Glas-
Laminat (2 x 3.2 mm)

Technologie: monokristalline N-Type
Zellen

Zellenanzahl: 60 Stück

Dimension: 984 mm x 1695 mm x 7.2 mm

Gewicht: 28.9 kg



Nominalleistung :

bei Einstrahlung Rückseite STC: 0%, 270 Wp

bei Einstrahlung Rückseite STC: 30%, 343 Wp

ausschliesslich Rückseite STC: 243 Wp

Bifazialfaktor: 90%

Tragkonstruktion

Typ: Powers Solar Frames, LLC

Art der Befestigung: Carport Edelstahl-Konstruktion, entwickelt für Photovoltaikanwendungen, freihängende Solarfläche aufgestellt auf 2 Stützpfählern, Abmessungen des Solarfeldes: 10.2 m x 6.8 m, Mindesthöhe über dem Boden: 3 m

Neigungswinkel: 7°

Hinter- / Untergrund

Oberflächenmaterial: Steinplatten

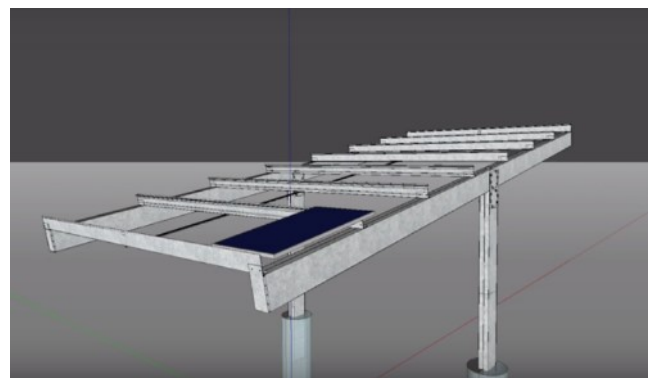
Farbe: Hell

Albedo: 40%

Wechselrichterkonzept

1 SMA 8000US

Leistungsratio $P_{DC \text{ Module}} / P_{AC \text{ Wechselrichter}}$: 1.22



Monitoring-Daten Energieertrag

Die Photovoltaikanlage wurde 2016 in Betrieb genommen. Im ersten Betriebsjahr wurden 1'830 kWh/kWp produziert. Die Anlage hat dabei ca. 20 % Mehrertrag im Vergleich zum simulierten Jahresertrag (1'500 kWh/kWp) einer monofazialen Anlage am selben Standort geliefert. Die vergleichsweise hohen Energieerträge sind auch im Standort in Tucson mit Wüstenklima begründet. Der Wechselrichter wurde wie bei einer herkömmlichen monofazialen Anlage ausgelegt. Es ist davon auszugehen, dass mit Wahl eines überdimensionierten Wechselrichters ein höherer Zusatzertrag erreicht werden kann.

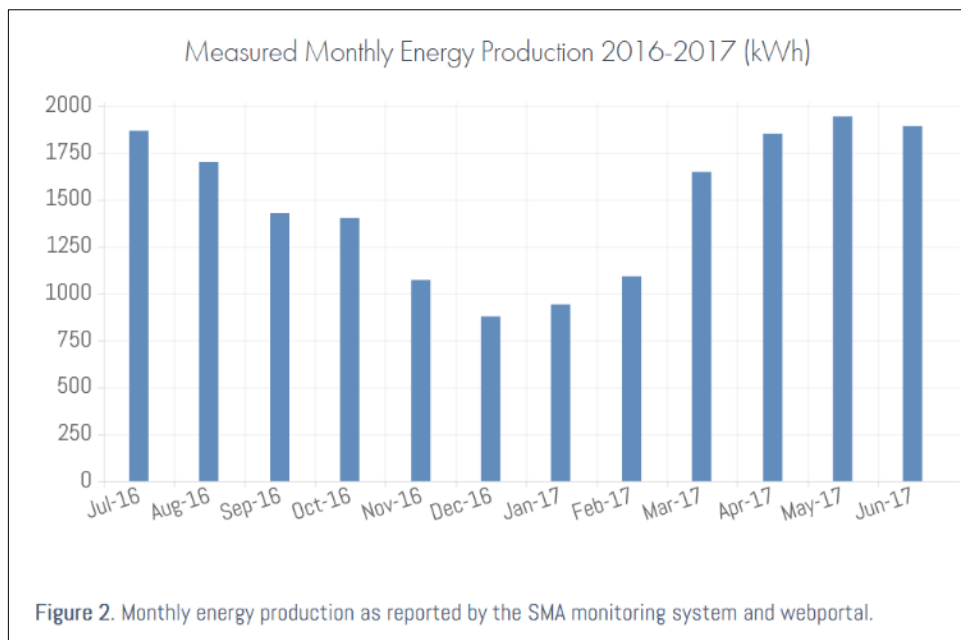


Abbildung 25 Monatliche Energieproduktion der 9.72 kWp Solaranlage (12.35 kWp inkl. bifazialer STC-Nominalleistung). Die Jahresproduktion beträgt im ersten Betriebsjahr beachtliche 17'800 kWh in Tucson in Arizona.

4.5 Bifaziale Photovoltaik-Terrassengeländer an einem Mehrfamilienhaus in ZH Oerlikon

Projektbeschreibung

Im Jahr 2018 wurde, neben der farbigen Photovoltaik-Fassade und der Dachanlage, am Terrassengeländer der Attika des Mehrfamilienhauses auf einer Länge von 23 m eine 3 kWp bifaziale Photovoltaikbalustrade realisiert. Es wurden 21 massgefertigte, semitransparente Solarmodule mit je 145 Wp verbaut. Die Solarmodule sind im 90°-Winkel aufgestellt und 21° in Richtung Südwest orientiert. Da die Anlage erst Ende 2018 in Betrieb genommen wurde, liegen noch keine Messdaten vor. Es kann mit einem Zusatzertrag von 10-15 % im Vergleich zum Einsatz monofazialer Solarmodule gerechnet werden.



Technische Anlagendaten

Installierte Leistung:	3.04 kWp
Fläche Solarmodule:	21.8 m ²

Architekt und Projektbeteiligte

Architekten:	BKG Architekten
Solarplanung:	CR Energie GmbH
Unternehmer:	Suntechnics Fabrisolar AG
Solarmodullieferant:	PVP Photovoltaik GmbH

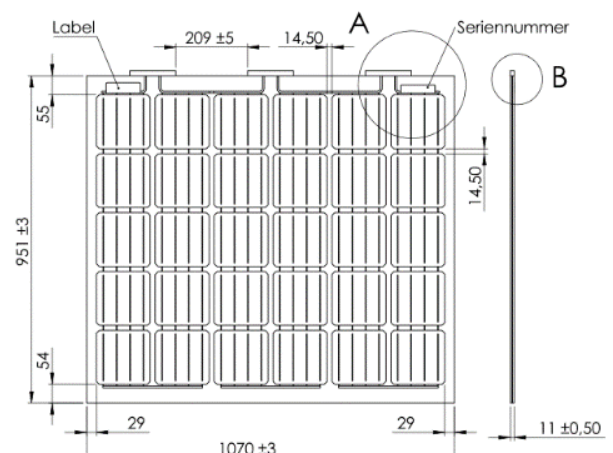
Solarmodule:

Typ: PVP bifaziale rahmenlose Glas/Glas-Laminat (2 x 5 mm)

Technologie: monokristalline Zellen

Zellenanzahl: 30 Stück

Dimension: 1070 mm x 950 mm x 12 mm



Gewicht: 28.0 kg

Nominalleistung :

bei Einstrahlung Rückseite STC : 0%, 145 Wp

bei Einstrahlung Rückseite STC : 30%, 173 Wp

ausschliesslich Rückseite STC : 101 Wp

Bifazialfaktor: 70%

Tragkonstruktion

Typ: Terrassengeländer

Art der Befestigung: Chrom-Nickel-Stahl-Konstruktion mit Pfosten zwischen den Solarmodulen, Integration der Solarkabel in den Handlauf der Konstruktion.

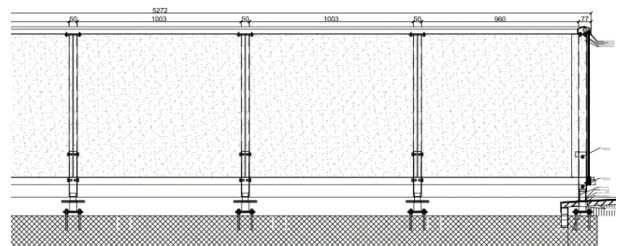
Neigungswinkel: 90°

Hinter- / Untergrund

Oberflächenmaterial: Steinplatten auf Terrasse, Kompakt- und Glasfassade

Farbe: helle Steinplatten, weisse Fassade, Glas

Albedo: 60% (geschätzt)



Wechselrichterkonzept

1 Fronius Symo 5.0-3-M, alle Module in Serie auf einem der 2 MPP-Tracker

Leistungsratio $P_{DC \text{ Module}} / P_{AC \text{ Wechselrichter}}$: 1.22

Simulationsresultate Energieertrag

Die Photovoltaikanlage wurde Ende 2018 in Betrieb genommen. Aus diesem Grund liegen keine Messdaten der Anlage vor. Die Simulation monofazialer Solarmodule am selben Standort ergibt einen Jahresenergieertrag von 1'730 kWh (entspricht 570 kWh/kWp). Mit den verwendeten bifazialen Solarmodulen kann ein rechnerischer Jahresertrag von bis zu 2'000 kWh (+ 10 % bis + 15 %) erwartet werden.

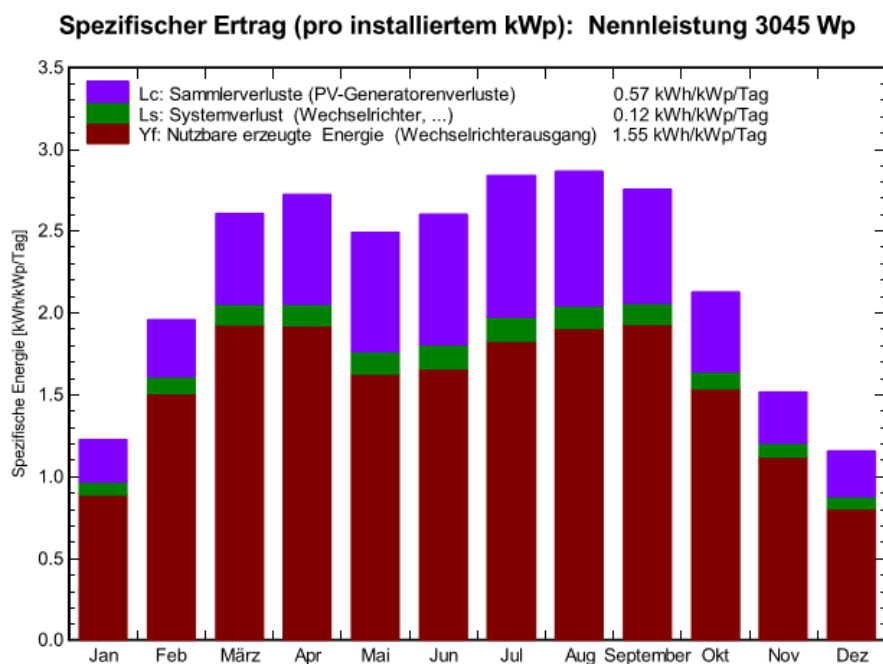


Abbildung 26 PVSYST Ertragssimulation von der Vorderseite des Moduls

4.6 Bifaziale Photovoltaik-Freiflächenanlage mit senkrecht aufgestellten Solarmodulen in Merzig, Deutschland

Projektbeschreibung

Das Montagesystem wurde zur senkrechten Aufständerung bifazialer Solarmodule an einer 28 kWp-Pilotanlage eingesetzt. Die Anlage wurde 2017 in Betrieb genommen. Die ost-/westorientierten Aufständerungen wurden mit einem Reihenabstand von 10 m aufgestellt, damit Verschattungen unter den Modulreihen weitestgehend vermieden werden. Der Solarstrom wird vor allem vormittags und nachmittags produziert. Die Produktionsspitze während des Mittags, wo generell ein Überangebot an Solarstrom im öffentlichen Netz besteht, entfällt bei diesem Konzept. Die 96 Solarmodule liefern rund 10 % mehr Jahresertrag im Vergleich zu einer herkömmlichen Anlage am selben Standort mit nach Süden ausgerichteten



Solarmodulen und einem Neigungswinkel von 30°. Damit der Zusatzertrag erreicht werden kann, müssen die Solarmodule über einen hohen Bifazialfaktor von mindestens 90% verfügen, d.h. beide Modulseiten erreichen annähernd die gleiche Nominalleistung bei STC.

Der Platz zwischen den Solarmodulreihen kann für landwirtschaftliche Zwecke (Weideflächen, Ackerbau) genutzt werden. Ein wichtiges Argument für den Einsatz weiterer Photovoltaikanlagen auf Freiflächen.

Technische Anlagendaten

Installierte Leistung:	27.8 kWp
Fläche Solarmodule:	160 m ²

Projektbeteiligte

Systemlieferant :	Next2sun GmbH
Modulproduzent:	SI Module GmbH

Solarmodule:

Typ:	Bifaziales rahmenloses Glas/Glas-Laminat (Prototyp)
Technologie:	monokristalline Zellen (Neo Solar Power)
Zellen Anzahl:	60 Stück

Nominalleistung:

bei Einstrahlung Rückseite STC : 0%, 290 Wp

ausschliesslich Rückseite STC : 260 Wp

Bifazialfaktor: 90%

Tragkonstruktion

Typ:	Next2Sun
Art der Befestigung:	Stahl-Rahmenkonstruktion befestigt an U-Profil-Pfosten, die ca. 2m tief in den Erdboden eingelassen werden.
Neigungswinkel:	90°

Hinter- / Untergrund

Oberflächenmaterial:	Naturwiese
Albedo:	25% (geschätzt)

Monitoring-Daten Energieertrag

Im Jahr 2016 betrug der Energieertrag 1040 kWh/kWp. Das nachfolgende Diagramm zeigt den Leistungs-Tagesverlauf von einem Modulstring (2.32 kWp) an einem Schönettag.

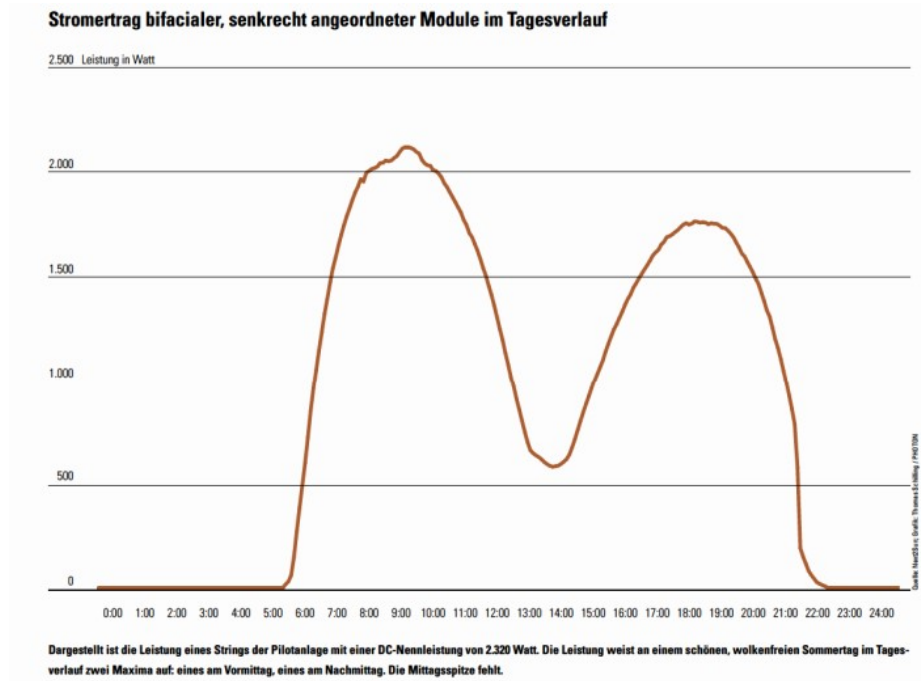


Abbildung 27 Artikel „Eine Insel mit 2 Bergen“ aus der Photon, Juni 2017, Anne Kreuzmann

4.7 Bifaziale Module in innovativem System-Design für Aufdachanlagen, auf EMPA-Gebäude NEST in Dübendorf

4.7.1 Projektbeschreibung

Im Jahr 2018 wurde mit der 18kWp-Anlage eine Prototypanlage auf dem „NEST“ der Empa installiert. Dabei wurden 60 bifaziale Heterojunction-Glas-Glas-Module mit Smartwire-Technologie der Firma MeyerBurger AG mit jeweils 300 Wp nominaler Modulleistung installiert. Die Module wurden auf ein Ost-West-Montagesystem mit 4-Punkthalterung mit einem Neigungswinkel von 22° befestigt. Damit der Energieertrag der Modulrückseiten maximiert werden kann,



wurde ein Teil der Anlage auf weisses Glasschrott aufgestellt, der andere Teil wurde mit matt eloxierten Aluminiumblechen unterlegt. Der geschätzte Zusatzertrag durch die bifazialen Solarmodule beträgt 5-10 %. Die Maximierung des Ertrags wäre möglich, indem der Systemaufbau mit dem Einsatz lichtdurchlässigerer Solarmodulen, die über grössere Abstände zwischen den Siliziumzellen verfügen, optimiert wird.

Technische Anlagendaten

Installierte Leistung: 18 kWp

Fläche Solarmodule: 95 m²

Eigentümer und Projektbeteiligte

Planung, Ausführung: Miloni Solar AG

Initiant: EMPA

Systemlieferant: Meyer Burger AG, Pliasys

Solarmodule

Typ: Bifaziale rahmenlose Glas/Glas-Laminat (Prototyp)

Technologie: Heterojunction Technologie (HJT) mit Smartwire

Zellenanzahl: 60 Stück

Dimension: ca. 992 mm x 1658 mm x 6 mm

Gewicht: 22.5 kg



Nominalleistung:

bei Einstrahlung Rückseite STC : 0%, 300 Wp

ausschliesslich Rückseite STC: k.A.

Bifazialfaktor: k.A.

Tragkonstruktion

Typ: Pliasys, objektspezifisches System

Art der Befestigung: Aerodynamisch optimiertes System, welches ohne Dachdurchdringung montiert wird. Aluminium-Montagesystem mit 4-Punkt Glashalterung, mit integrierbarer Absturzsicherung

Mittelpunkt der Solarmodule ca. 40 cm über dem Boden

Neigungswinkel : 22°

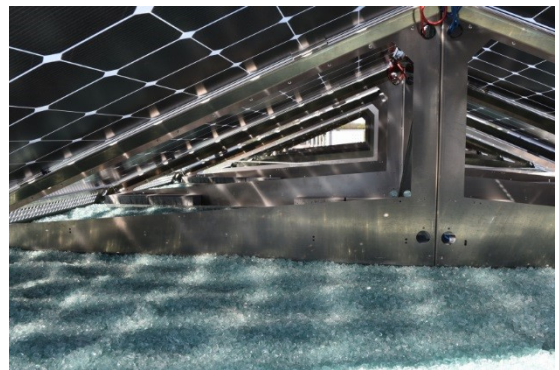


Hinter- / Untergrund

Oberflächenmaterial: Glasschrott, weiss
Aluminiumbleche, matt eloxiert

Farbe: hell reflektierend

Albedo: > 60% (geschätzt)



Wechselrichterkonzept

1 SMA Tripower STP12000TL-20,

1 SMA Tripower STP7000TL-20

Leistungsratio $P_{DC \text{ Module}} / P_{AC \text{ Wechselrichter}}$: 0.94

Monitoring Daten - Energieertrag

Auf Basis der vorliegenden Ertragsdaten der ersten 13 Monate kann von einem zusätzlichen bifazialen Ertrag von ca. 5-10% ausgegangen werden.

Bereich	Unterbau (Material)	WR	Modul	Anzahl (Stk)	Leistung (Wp)	Leistung (Wp)	Orientierung (Azimut)	Neigung (°)	Fläche (m2)	Simulation (kWh/a)	Ertrag (kWh/13Mt)	Ertrag korr. (kWh/a)
Dach Ost	Glasschrott	Nr 1	A	18	300	5'400	62	24				
Dach West	Glasschrott	Nr 1	A	18	300	5'400	242	24				
Subtotal 1				36	300	10'800			47.6	9'107	11'605	10'712
Dach Ost	Reflektorblech	Nr 2	A	11	300	3'300	62	24				
Dach West	Reflektorblech	Nr 2	A	11	300	3'300	242	24				
Subtotal 2				22	600	6'600			47.6	5'565	7'307	6'745

Abbildung 28 Quelle: Vortrag „Bifaziale Module in innovativem System-Design für Aufdachanlagen“ von Miloni Solar, Juni 2018

5 Zusammenfassung

Bifaziale Module bieten gegenüber herkömmlichen Solarmodulen den Vorteil, dass Strom von beiden Seiten des Moduls erzeugt und damit der Wirkungsgrad erhöht wird. Der vorliegende Bericht erläutert das Funktionsprinzip der bifazialen Technologie und zeigt auf, wie der Systemaufbau optimal geplant wird und welche grundsätzlichen Einsatzmöglichkeiten mit dieser Technologie gegeben sind.

Zur optimalen Funktion bifazialer Solarmodule ist der Gesamtsystemaufbau relevant. Durch die Auslegung sollte eine möglichst hohe Lichtstrahlung hinter den Solarmodulen gewährleistet werden können. Dies wird erreicht durch den Einsatz semitransparenter Solarmodule, durch die Art der Modulaufständerung, durch das Befestigungssystem selbst und durch das Reflexionsverhalten des Hintergrunds hinter den Solarmodulen. Semitransparente Solarmodule und grosszügig platzierte Modul-Aufständerungen verringern die Leistungsdichte eines Solarfeldes. Der bifaziale Zusatzgewinn muss dies mehr als kompensieren können, anderenfalls sollte der Systemaufbau angepasst werden.

Neben dem Einsatz für angebaute Systeme auf Dachflächen bieten bifaziale Solarmodule ein grosses Potential für den multifunktionalen Einsatz als Bauelemente in der Gebäudehülle und auf Freiflächen. Vor allem bei genügend vorhandener Fläche für den Restlichtdurchgang, heller Umgebung und geschickter Aufständerung spielen bifaziale Solarmodule ihre systembedingten Vorteile aus. Dies allerdings auch nur insofern, als Mismatch- und Verschmutzungsverluste auf Vorder- und Rückseiten der Module minimiert sind. Bei der Planung ist insbesondere auf die sorgfältige Verkabelung, die Albedo des Hintergrunds, die möglichen Beschattungen und die Wahl des geeigneten Befestigungssystems zu achten. Aber auch die Auswirkungen auf das Gebäude selbst bei Verwendung bifazialer Module sind zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere, wenn die bifazialen Siliziumzellen in Fenster oder in Modulen als Balkonbrüstung eingesetzt werden. Die Abschattungen, hervorgerufen durch die Siliziumzellen, wirken als Sonnenschutz und verändern damit den G-Wert von Fassade und Fenstern. Das sorgfältige Design der bifazialen Module ist Grundlage dafür, dass Nutzerkomfort und optimaler Gebäudebetrieb sichergestellt werden können.

Normen und Testverfahren zur einheitlichen Spezifikation, besseren Vergleichbarkeit und Steigerung der Qualität der Produkte sind von verschiedenen internationalen technischen Komitees in Vorbereitung.

Der Marktanteil der bifazialen Technologie wird laut der Internationalen „Roadmap of Photovoltaic (ITRPV)“ von weniger als 5 % im Jahr 2017 auf voraussichtlich ca. 40 % im Jahr 2028 ansteigen und sollte daher von Industrie und Installateuren die entsprechende Aufmerksamkeit erhalten.

6 Merkblatt

Anwendung von bifazialen Solarmodulen – Einsatzmöglichkeiten an Gebäuden, Dimensionierung der Anlagenkomponenten

Photovoltaik-Solarmodule (PV-Module) haben ihren Wirkungsgrad in den letzten zehn Jahren erheblich verbessert. Der kontinuierliche Anstieg von PV-Anlagen weltweit geht einher mit den enormen Preissenkungen im selben Zeitraum. Höhere Leistung bei gleichen Kosten ist ein Konzept, das die Industrie mit dem Ziel höherer Wirkungsgrade für Solarmodule umgesetzt hat. Erhöhte Reinheit der Materialien, neue Konzepte für die optimale Erfassung des photogenerierten Stroms und Optimierung des Modullayouts sind einige der von der Industrie eingesetzten Methoden, um die Leistung der 60-Zellen-Standardmodule im Laufe der Jahre von 200 W auf 300 W zu steigern. In letzter Zeit wurden bifaziale Solarmodule eingeführt: bei dieser Technologie werden Solarzellen und Modullayouts verwendet, die auf beiden Seiten Licht sammeln und die Sonnenstrahlen effizienter in Elektrizität umwandeln können. Durch die Optimierung der Neigung und Orientierung und die Reduzierung der Abschattung auf ein Minimum, können bifaziale PV-Module im Vergleich zu herkömmlichen monofazialen PV-Modulen zwischen 5 % bis 30 % mehr an Energie produzieren.

Im Allgemeinen können wir uns eine bifaziale Solarzelle als Standardmodul vorstellen, mit einer zusätzlichen "Lichtquelle" auf der Rückseite, die den durch Photonen erzeugten Strom erhöht. Auf diese Weise wird deutlich, dass die Vorder- und Rückseite des Moduls keine elektrisch getrennten, parallel arbeitenden Teile sind, sondern tatsächlich zwei unterschiedliche Ansichten des gleichen Gegenstands sind, wobei höhere Wirkungsgrade dank der erhöhten Lichtabsorption möglich sind.

Die bifaziale Leistung und IEC Norm

Die IEC-Norm 60904-1-2 für die Definition der Verfahren zur Messung der elektrischen Leistung bifazialer Module ergänzt die IEC 60904-1-Norm für die Messung von monofazialen PV-Modulen. Die Norm ist im Januar 2019 erschienen.

Die Norm liefert eine gemeinsame Referenz für die Definition der intrinsischen Eigenschaften von bifazialen Modulen: genauer gesagt, definiert der Standard den P_{max} bei unterschiedlichen Bestrahlungsgraden auf der Rückseite unter Verwendung der so genannten Bifazialfaktoren, mit denen die STC-Werte der Vorder- und Rückseite berechnet werden können.

φ_{isc} ist der Bifazialitätskoeffizient des Kurzschlussstroms, $\varphi_{P_{max}}$ ist der Bifazialitätskoeffizient für den maximalen Leistungspunkt und $\varphi_{V_{oc}}$ ist der Bifazialitätskoeffizient der Leerlaufspannung: sie sind alle in Prozent ausgedrückt und repräsentieren das Verhältnis zwischen den auf der Vorder- und Rückseite gemessenen Werten bei einer Einstrahlung von 1000 W/m^2 , 25°C Temperatur und Lichtspektrum AM 1,5.

Die Norm besagt, dass „der P_{max}-Wert des Moduls auf der Vorderseite bei äquivalenten Einstrahlungswerten von 1000 W/m² auf der Vorderseite und unterschiedlichen Einstrahlungswerten auf der Rückseite gemessen werden muss“.

Die Bifazialitätskoeffizienten werden verwendet, um eine äquivalente Bestrahlung auf der Vorderseite zu berechnen, um dann die maximale Leistung bei unterschiedlichen, äquivalenten Lichtpegeln auf der Rückseite zu bestimmen: Es sind mindestens drei verschiedene Bestrahlungsniveaus unter Verwendung des kleinsten Bifazialitätskoeffizienten zwischen φ_{isc} und $\varphi_{P_{max}}$ zu berechnen.

Am Ende dieses Prozesses müssen mindestens zwei spezifische P_{max}-Werte im Testbericht angegeben werden.

Kriterien für die Produktwahl bifazialer Solarmodule

Elektrische Leistung

Normativ ist die Spezifikation der elektrischen STC-Leistung bifazialer Solarmodule bisher noch nicht geregelt. Aus diesem Grund sind die Herstellerangaben zu diesen Produkten nicht einheitlich. Die meisten Hersteller geben die STC-Leistung des Moduls mit zusätzlich unterschiedlicher Einstrahlungsstärke (z.B. 5 %, 10 %, 20 % und / oder 30 % Einstrahlung von STC) auf die Modulrückseite an. Bei manchen Produkten werden zusätzlich die STC-Leistung der Rückseite oder der Bifazialfaktor aufgeführt. Die genaue Prüfung bei Vergleich unterschiedlicher Produkte ist daher unbedingt zu empfehlen.

Bifazialfaktor

Der Bifazialfaktor ist ein Qualitätsmerkmal. Je niedriger dieser Faktor ist, desto weniger energetische Zusatzgewinne können von der Modul-Rückseite erwartet werden. Typischerweise verfügt die Rückseite über 60 % - 90 % der Nominalleistung der Vorderseite. D.h. der zusätzliche Energieertrag der Rückseite kann von Hersteller zu Hersteller deutlich variieren. Auf den Datenblättern der Hersteller wird der Bifazialfaktor in den meisten Fällen nicht aufgeführt. Es ist daher zu empfehlen, beim Lieferanten diesen Wert anzufragen oder mit Hilfe der Hersteller-Informationen über die prozentualen Zusatzerträge den Wert selbst zu berechnen.

Anschlussdosen und Solarkabel

Die elektrischen Anschlussdosen an bifazialen Solarmodulen müssen sich neben den Siliziumzellen befinden und dürfen diese nicht verschatten. Die Solarkabel müssen seitlich aus den Anschlussdosen austreten, damit bei der Montage die Kabel dicht am Modulrand fixiert werden können. Bifaziale Solarmodule mit herkömmlicher Anschlussdose auf der aktiven Rückseite, wie es bei der ersten Produktgeneration einiger Hersteller der Fall war, sind nicht zu empfehlen.

Modulrahmen

Einige Hersteller bieten bifaziale Solarmodule mit herkömmlichen Modulrahmen an. Die Rahmenhöhe beträgt zwischen 35 - 40 mm und führt in den meisten Anwendungsfällen zu Verlusten in der Leistungsabgabe von der Modulrückseite. Die Wahl rahmenloser bifazialer Solarmodule ist zu empfehlen. Allerdings ist bei diesen Produkten bei Transport und Handling Vorsicht geboten, da bei Stosseinwirkungen auf die Glaskanten das Element sofort vollständig zerbrechen kann. Zur Befestigung der rahmenlosen Solarmodule müssen möglichst flache Klemmhalter verwendet werden, anderenfalls verursachen diese Schatten auf der Moduloberfläche, die auch zu Ertragsverlusten führen.

Einsatzmöglichkeiten und Anwendung

Bifaziale Solarmodule können durch den zusätzlichen Energieertrag von der Modul-Rückseite Wirkungsgrade von über 24 % erreichen. Wie hoch der Zusatzgewinn in der Praxis ist, hängt von der Art der Anwendung ab. Eine zum Horizont offene Modulmontage und ein heller Hintergrund mit hohem Reflexionsfaktor - auch Albedo genannt - wirken sich positiv auf die Energieproduktion aus. Im Gegensatz dazu bewirken nahe Verschattungen Ertragsminderungen, die durch die Bestandteile der Montagekonstruktion oder die Solarkabel verursacht werden können.

Es bieten sich viele Möglichkeiten für den Einsatz bifazialer Solarmodule:

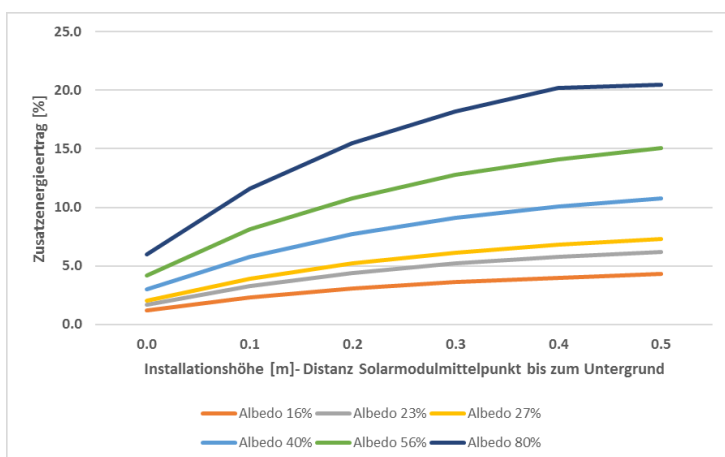
- Modul-Aufständerungen auf Flachdächern
- Vertikal aufgestellte Freilandanlagen
- Terrassen- und Balkongeländer
- Schallschutzwände
- Glas-Überdachungen auf Terrassen und für Fahrzeuge
- Fassaden-Glaskonstruktionen



Quelle: CR Energie GmbH, Winfried Becker, Photon pictures (v.l.n.r.)

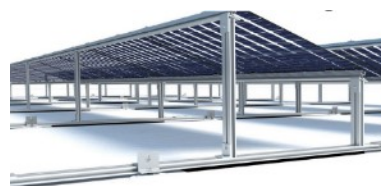
Maximierung des bifazialen Ertragsgewinns

Auf Flachdächern sollten die Solarmodule möglichst abgehoben vom Untergrund befestigt, der Modulreihenabstand ausreichend gross gewählt und ein möglichst heller Hintergrund mit hoher Albedo gewählt werden (z.B. weisser Kiesboden). Weitere begünstigende Faktoren sind der optimale Modulanstellwinkel, der leicht über dem von herkömmlichen Solarmodulen liegt und der Einsatz semitransparenter Solarmodule, bei denen die Direktstrahlung durch die Abstände zwischen den Siliziumzellen die Diffusstrahlung hinter den Modulen weiter erhöht.



Montagesysteme

Spezielle Montagesysteme für bifaziale Solarmodule sind bereits am Markt erhältlich. Die Solarmodule werden linienförmig auf den langen Modulkanten gelagert und fixiert. Die Rückseite der Solarmodule ist weitestgehend frei von nahverschattenden Bauteilen.



Dimensionierung der elektrischen Komponenten

Bei der Dimensionierung bifazialer Anlagen ist die zusätzliche Leistung der Modulrückseite bei der Bestimmung aller elektrischer Komponenten wie Wechselrichter, Solarkabel, Sicherungen, etc. mit zu berücksichtigen. Zunächst wird der Reflexionsfaktor vom Hintergrund / Boden definiert. Danach empfiehlt sich die Energieertragsberechnung mit Hilfe einer professionellen Simulationssoftware. Bei der Dimensionierung der elektrischen Komponenten sollte ein ausreichender Toleranzbereich mitberücksichtigt werden. Insbesondere durch

Beschaffenheit der Oberfläche	Reflexionsfaktor (Albedo)
Wasserfläche	5-22%
Grasboden	20-30%
Asphalt	10-15%
Beton	20%
Heller Kiesboden	30%
Hellgraue Dachfolie	60%
Weiss angestrichener Beton	60-80%
Frischer Schnee	80-90%

Schneereflexionen wird ein deutlicher Zusatzenergieertrag erzielt, der auch einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Winterstromanteils leisten würde.

Fördermittel für bifaziale Solaranlagen

Zur Beantragung des einmaligen Investitionsbeitrags bei Pronovo im Rahmen der Einmalvergütung von Photovoltaikanlagen wird die Nominalleistung bei STC von der Vorderseite der bifazialen Solarmodule angegeben. Die zusätzliche Leistung der Rückseite bifazialer Solarmodule wird nicht berücksichtigt, da es noch keine norminative Definition für deren Bestimmung vorliegt. D.h. diese wird mit 0W angenommen, wie wenn es sich um herkömmliche Solarmodule handeln würde.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: SkySlate bifaziale Modul von 3S Solar Plus mit einer rahmenlosen Glas/Glas-Konfiguration mit 60 monokristallinen Zellen (Foto: 3S Solar Plus).	5
Abbildung 2: Doppelseitiges Bifazial-Konzept von Mori (links) und Back-Surface-Field-Konzept mit einem pn-Übergang (rechts). Die pn-Übergänge sind blau hervorgehoben.	6
Abbildung 3: Salyut 3-Raumstation (links) mit bifazialen Solarmodulen, Internationale Raumstation (ISS) Photovoltaikanlage (rechts). Quelle: NASA.	6
Abbildung 4: 6-kW-Bifazial-PV-Anlage, Zürich, vor (links) und nach dem Update 2005 (Foto: TNC).	7
Abbildung 5: Standard PERC gegen Bifazial PERC (Quelle: Solarworld).	8
Abbildung 6: Standard-BSF-Zelle (links) gegen bifaziale HJT-Zelle (recht) (Foto: EPRI).	8
Abbildung 7: Smartwire-Kontakttechnologie (links, Quelle Meyerburger) und 5 Busbars (rechts, Quelle Aiko Solar).	9
Abbildung 8: Halbe Zellen: ein Weg zur Effizienzsteigerung (Quelle: PVmanufacturing.org, Canadian Solar).	9
Abbildung 9: Junction boxes für bifaziale Solarmodule (Foto: Stäubli, TE connectivity).	10
Abbildung 10: Elektrische Daten eines Bifazialmoduls aus dem Datenblatt des Herstellers, Beispiel 1.	13
Abbildung 11: Elektrische Daten eines Bifazialmoduls aus dem Datenblatt des Herstellers, Beispiel 2.	13
Abbildung 12: Elektrische Daten eines Bifazialmoduls aus dem Datenblatt eines Herstellers, Beispiel 3.	13
Abbildung 13: Elektrische Daten eines Bifazialmoduls aus dem Datenblatt des Herstellers, Beispiel 4.	14
Abbildung 14: Vielzählige Anwendungsmöglichkeiten bieten sich für den Einsatz bifazialer Solarmodule an: oben (v.l.n.r.): 3kWp-Terassengeländer an MFH in ZH Oerlikon, 101kWp-Dachanlage in Steffisburg, 3S Solar Plus.	16
Abbildung 15: Leistungsverlauf eines monofazialen südorientierten Solarmoduls (blaue Linie) im Vergleich zu einem bifazialen südorientierten Solarmodul (rote Linie) und einem bifazialen ost-/westorientierten Solarmodul (graue Linie), bei dem die Produktionsspitzen vormittags und nachmittags auftreten [1].	17
Abbildung 16: Zusätzliche Energieerträge bifazialer Photovoltaikmodule mit Bifazialfaktor = 65 %, bei südorientierter Ausrichtung mit 30° Modulanstellwinkel und einem Modulreihenabstand von 2.5 m bei unterschiedlicher Distanz zum Boden sowie unterschiedlicher Albedo [3].	19

Abbildung 17: Bifaziales Montagesystem von Opsun Systems. Linienförmige Halterung für ungehinderte Diffusstrahlung auf die Modulrückseite.....	20
Abbildung 18: Bifaziale Solarmodule an einem nicht geeigneten Montagesystem. Die Verschattungen durch Trägerprofile mindern den Energieertrag der Modul-Rückseite, Quelle; renewable energy world	20
Abbildung 19: Bei fachgerechter Befestigung der bifazialen Solarmodule wird das maximale Ertragspotential erreicht.	20
Abbildung 20: Herstellerangabe über den Minimalbiegeradius eines Solarkabels	21
Abbildung 21: Elektrische Spezifikation SkySlate Bifacial, 3S Solar Plus: Der Leistungsanstieg bifazialer Solarmodule wird durch die Zunahme der Stromstärke erzeugt. Die elektrische Spannung bleibt bei STC hingegen konstant.	23
Abbildung 22 Erträge mit «3S SkySlate® Bifacial»-Modulen, 3S Solar Plus.....	27
Abbildung 23: Monatliche Energieproduktion der 154.3 kWp bifazialen Photovoltaikanlage auf einem weissen Flachdach in Kingsten, NY.	30
Abbildung 24 Monatliche Energieproduktion der 69.0 kWp bifazialen Photovoltaikanlage. Simulierte Monatserträge (grau), gemessene Monatserträge (gelb), wetterkorrigierte Monatserträge (blau).....	33
Abbildung 25 Monatliche Energieproduktion der 9.72 kWp Solaranlage (12.35 kWp inkl. bifazialer STC-Nominalleistung). Die Jahresproduktion beträgt im ersten Betriebsjahr beachtliche 17'800 kWh in Tucson in Arizona.....	36
Abbildung 26 PVSYST Ertragssimulation von der Vorderseite des Moduls	39
Abbildung 27 Artikel „Eine Insel mit 2 Bergen“ aus der Photon, Juni 2017, Anne Kreuzmann.....	42
Abbildung 28 Quelle: Vortrag „Bifaciale Module in innovativem System-Design für Aufdachanlagen“ von Miloni Solar, Juni 2018	45