

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften
zhaw **School of Engineering**
IEFE Institute of Energy Systems
and Fluid Engineering



PV Systeme mit bifazialen Modulen – Stand der Technik & Ausblick

Dr. Hartmut Nussbaumer
Leiter der Forschungsgruppe Photovoltaikmodule
ZHAW, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften,
School of Engineering, Winterthur
Nationale PV Tagung, 27.03.2019, Bern

Ashok Sinha, 3rd BifIPV Workshop, Miyazaki, Japan, 2016

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften
zhaw **School of Engineering**
IEFE Institute of Energy Systems
and Fluid Engineering

Bifaziale Module- warum?

Systemkostenvergleich

monofazial	bifazial
R	R
m M	b M

Kosten(bifaziale Module bM)=Kosten(monofaziale Module mM) · x ; $1 \leq x \leq 1.2$
 Kosten Module am PV Sytem <50%
 Restliche Kosten BOS & Projektierung & Installation \cong konstant

=> Systemkosten bei bifazialen Systemen sind geringfügig höher
 Ziel: Stromgestehungskosten senken

1. Verlängerung der Langzeitstabilität
2. **Erhöhung des Energieertrages**

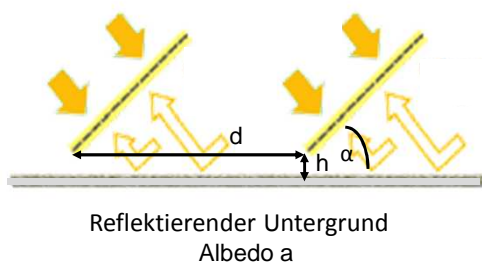
Wie hoch ist der zusätzliche Energieertrag von bifazialen Modulen?
 «Das kommt darauf an»

Zürcher Fachhochschule Nationale PV Tagung 27.3.2019, Dr. Hartmut Nussbaumer, ZHAW, SoE, IEFE

PV Systeme mit bifazialen Modulen Mehrertrag

Mehrertrag durch Bifazialität?

Beispiel:



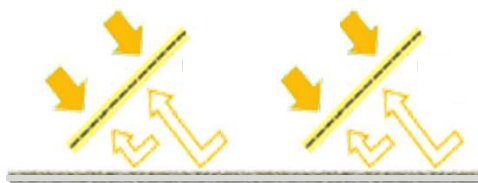
Der Mehrertrag ist abhängig von:

- Albedo $a(\lambda)$
- Abstand zwischen den Reihen (Verschattung) (d)
- Höhe der Module (h)
- Neigungswinkel (α)
- Einstrahlung (direkter zu diffusem Anteil,...)
- Azimuth
- Bifazialität des eingesetzten Moduls
- Grösse des Systems (Randeffekte)

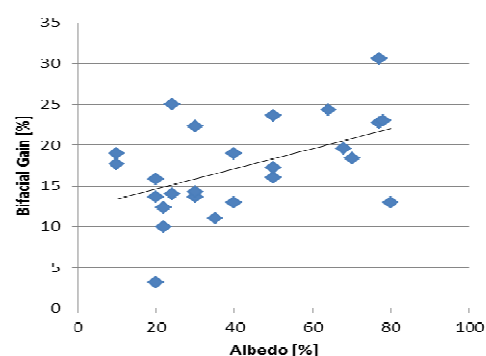
PV Systeme mit bifazialen Modulen Mehrertrag

Mehrertrag durch Bifazialität?

Beispiel:



$$BG(\%) = \frac{e_b - e_m}{e_m} \cdot 100$$



$$5\% \leq BG \leq 30\%$$

⇒ Der Mehrertrag ist stark abhängig von der Art der Installation

⇒ Die Vorhersage des Energieertrages von bifazialen ist

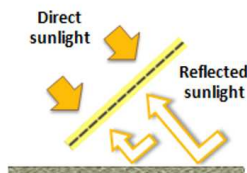
Quelle: Markus Wenz, Yannick Veschetti, Radosław Kopecek, Hartmut Nussbaumer, Heiko Hildebrandt, Rob Kreiter, 2018, Chapter 5: Bifacial Photovoltaics: Technology, Applications and Economics, Institution of Engineering and Technology, ISBN: 978-1-78561-274-9, 2018

PV Systeme mit bifazialen Modulen Unterschiedliche bifaziale Systemkonfigurationen

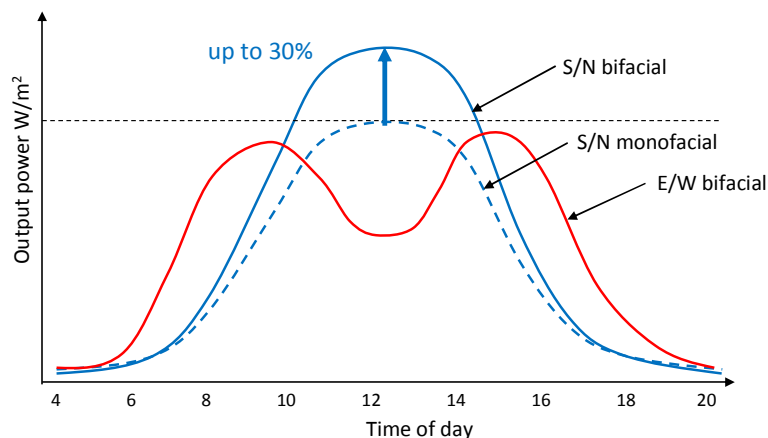
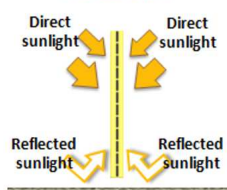


School of Engineering
IEFE Institute of Energy Systems
and Fluid Engineering

Slanted S/N



Vertical E/W



Eigen-Verschattung! Siehe auch Nussbaumer et. al. «PV installations based on vertically mounted bifacial modules evaluation of energy yield and shading effects, Proceedings of the 31st EUPVSEC, S. 2037-2041.

Nationale PV Tagung 27.3.2019, Dr. Hartmut Nussbaumer, ZHAW, SoE, IEFE

PV Systeme: state of the art monofazial



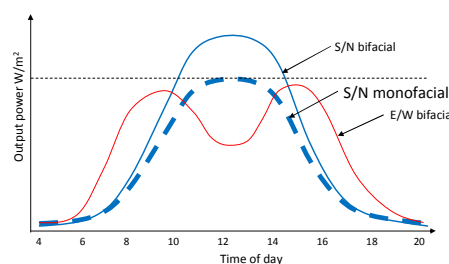
School of Engineering
IEFE Institute of Energy Systems
and Fluid Engineering

Beispiel: Freifläche

Typische Installation: Südausrichtung **monofazial**



Flächennutzungsgrad ≈ 0.5
Neigungswinkel $\approx 35^\circ$
Nennbetriebsstunden ≈ 1000 kWh/kWp
(Schweiz)



Quelle: PV magazine 31. Juli 2017 [Sandra Enkhart](https://www.pv-magazine.de/2017/07/31/was-bei-der-zusammenfassung-von-photovoltaik-anlagen-bis-750-kilowatt-zu-beachten-ist/)

<https://www.pv-magazine.de/2017/07/31/was-bei-der-zusammenfassung-von-photovoltaik-anlagen-bis-750-kilowatt-zu-beachten-ist/>

Zürcher Fachhochschule

Nationale PV Tagung 27.3.2019, Dr. Hartmut Nussbaumer, ZHAW, SoE, IEFE

PV Systeme: state of the art monofazial

Beispiel: Freifläche

Alternative: Ost/West **monofazial**

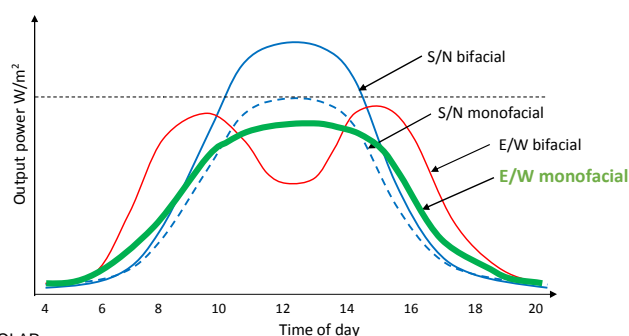


Quelle: Freiflächenanlagen: Ost-West ist das neue Süden! 29. August 2013 von IBC SOLAR
<https://www.ibc-blog.de/2013/08/freiflaechenanlagen-ost-west-ist-das-neue-suden/>

Zürcher Fachhochschule

Nationale PV Tagung 27.3.2019, Dr. Hartmut Nussbaumer, ZHAW, SoE, IEFE

Flächennutzungsgrad ≈ 0.9
Neigungswinkel $\approx 10 - 15^\circ$
Nennbetriebsstunden (Schweiz) $\approx 900 \text{ kWh/kWp}$



PV Systeme: bifazial

Beispiel: Freifläche

Alternative: bifazial süd (nord)

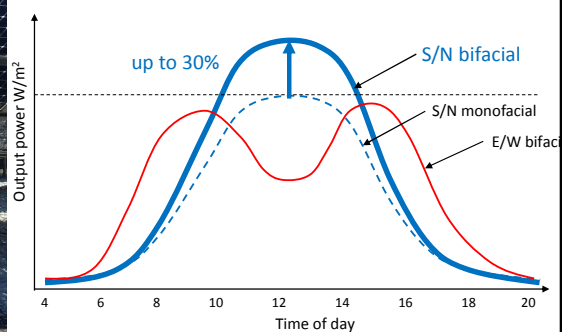


Quelle: Radovan Kopecek et al., Photovoltaic Technical Conference, Marseille, 2016

Zürcher Fachhochschule

Nationale PV Tagung 27.3.2019, Dr. Hartmut Nussbaumer, ZHAW, SoE, IEFE

Flächennutzungsgrad $\approx 0.3 - 0.6$
Neigungswinkel $\approx 30^\circ$ (abhängig vom Breitengrad)
Nennbetriebsstunden (Schweiz) $> 1000 \text{ kWh/kWp}$
 $5\% \leq BG \leq 30\%$ abhängig von:
Untergrund, Höhe der Installation....



PV Systeme: bifazial

Beispiel: Freifläche

Alternative: bifazial ost/west



Quelle: Tempres, Amtech Group

Flächennutzungsgrad ca. 0.8
 Neigungswinkel ca. 10°
 Albedo: 40%

Zürcher Fachhochschule

Nationale PV Tagung 27.3.2019, Dr. Hartmut Nussbaumer, ZHAW, SoE, IEFE

PV Systeme: bifazial

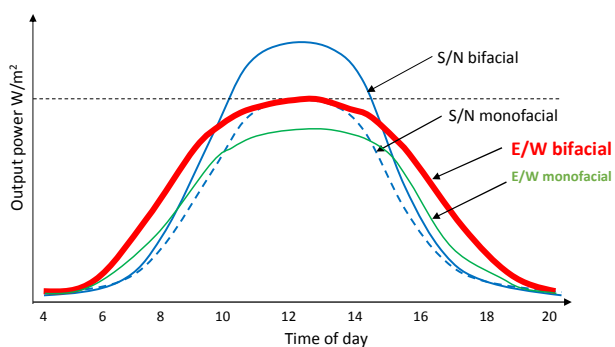
Beispiel: Freifläche

Alternative: bifazial ost/west



Quelle: Tempres, Amtech Group

Nennbetriebsstunden?
 BG?



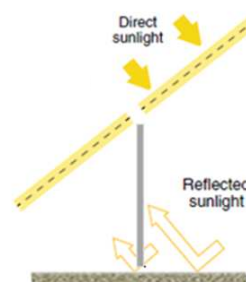
Zürcher Fachhochschule

Nationale PV Tagung 27.3.2019, Dr. Hartmut Nussbaumer, ZHAW, SoE, IEFE

PV Systeme: bifazial

Beispiel: Freifläche

Alternative: bifazial vertikal Ost/West, horizontal getrackt



Quelle: H. Nussbaumer et al.; PV Tech Power 2019 (18), S. 16-27

Zürcher Fachhochschule

Nationale PV Tagung 27.3.2019, Dr. Hartmut Nussbaumer, ZHAW, SoE, IEFE

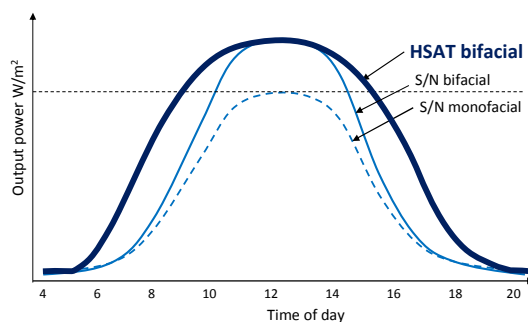
PV Systeme: bifazial

Beispiel: Freifläche

Alternative: bifazial vertikal Ost/West, horizontal getrackt



Energieertrag $\approx +20\%$ gegenüber bifazial S/N abhängig vom Flächennutzungsgrad...



Quelle: H. Nussbaumer et al.; PV Tech Power 2019 (18), S. 16-27

Zürcher Fachhochschule

Nationale PV Tagung 27.3.2019, Dr. Hartmut Nussbaumer, ZHAW, SoE, IEFE

PV Systeme: Mögliche Anwendungen in der Schweiz

Beispiel: Freifläche

Alternative: Bifazial vertikal Ost/West



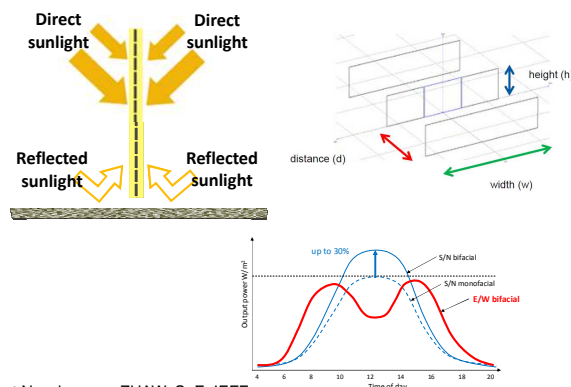
Quelle: Next2sun <https://next2sun.de/#Daskonzept>

Flächennutzungsgrad $\approx 0.2 - 0.3$

Neigungswinkel: 90°

Nennbetriebsstunden geschätzt 900 kWh/kWp

Zusatznutzen!

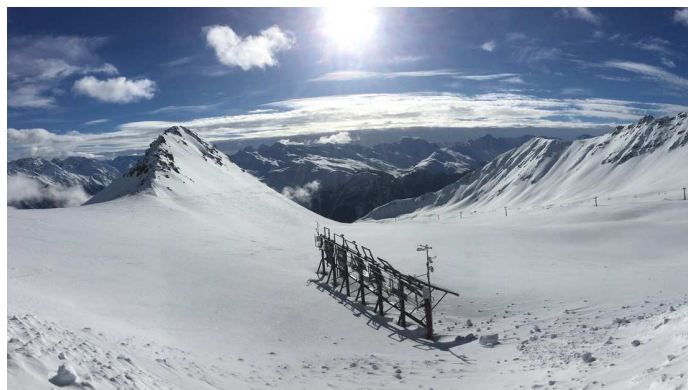


Zürcher Fachhochschule

Nationale PV Tagung 27.3.2019, Dr. Hartmut Nussbaumer, ZHAW, SoE, IEFE

PV Systeme: Mögliche Anwendungen in der Schweiz

Bifaziale Systeme in den Bergen



Quelle: PV magazine, March 11 2019; <https://www.pv-magazine.com/2019/01/08/solar-climbing-the-alps/>
 Image: Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL)

Steile Neigungswinkel: $\sim 90^\circ$

Hoher Albedo bei Schnee

Keine Abdeckung von Schnee im Winter

Zu optimieren:

Flächennutzungsgrad, Selbstabschattung
 Unterkonstruktion, Installationshöhe

Zürcher Fachhochschule

Nationale PV Tagung 27.3.2019, Dr. Hartmut Nussbaumer, ZHAW, SoE, IEFE

PV Systeme: Mögliche Anwendungen in der Schweiz

Beispiel: Flachdächer

monofazial hoher Flächennutzungsgrad



Quelle: <https://www.tritec.ch/referenzen/1701-penta-electric-ag/>

bifazial geringerer Flächennutzungsgrad, Eigennutzungsgrad?



Quelle: <http://sunpreme.com/commercial-roof/>

PV Systeme: Mögliche Anwendungen in der Schweiz

Beispiel: Gründach



Quelle: Thomas Baumann; Fabian Carigiet; Raphael Knecht; Markus Klenk; Andreas Dreisiebner; Hartmut Nussbaumer; Franz Baumgartner;
«Performance analysis of vertically mounted bifacial PV modules on green roof system»; Proceedings 35th EUPVSEC, 2018

Weitere Spezialanwendungen:

Schallschutzwände

Siehe

T. Nordmann et. al; PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS

Prog. Photovolt: Res. Appl. 2004; 12:485–495 (DOI: 10.1002/pip.566)

Faltdach

Siehe <https://dhp-technology.ch/>

Zusammenfassung

PV Systeme mit bifazialen Modulen liegen bei Freiflächenanlagen mit und ohne Einachsentracking im Trend und haben hohes Potential die Stromgestehungskosten durch höhere Energieerträge zu erniedrigen.

Bifaziale Module eignen sich besonders für den Einsatz in speziellen PV Systemen (Schallschutzwände, Gründächer, Faltdächer,...) und je nach Zielsetzung auch bei Flachdächern oder Freiflächenanlagen mit Zusatznutzen.

Immer mehr Modulhersteller bieten bifaziale Module an. Bei bifazialen Glas/Glas Modulen kann zusätzlich von einer höheren Lebensdauer im Vergleich zu Glas/Folien Modulen ausgegangen werden.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Markus Klenk



Thomas Baumann



Franz Baumgartner



Hartmut Nussbaumer



Relevante Publikationen:

Hartmut Nussbaumer, Markus Klenk, Joris Libal, Radovan Kopecek, **PV Tech Power** «PVsystems with lowest LCOE using bifacial modules: State-of-the-art systems and components», 2019 (18), S. 16-27

Hartmut Nussbaumer; Markus Klenk; Andreas Halm; Andreas; Schneider, **Photovoltaics International**, «State-of-the-art bifacial module technology», 2018(41), S. 108-125

Thomas Baumann; Fabian Carigiet; Raphael Knecht; Markus Klenk; Andreas Dreisiebner; Hartmut Nussbaumer; Franz Baumgartner; «Performance analysis of vertically mounted bifacial PV modules on green roof system»; Proceedings 35th EUPVSEC, 2018

Markus Klenk, Yannick Veschetti, Radovan Kopecek, Hartmut Nussbaumer, Heiko Hildebrandt, Rob Kreiter, 2018, Chapter 5: Bifacial Photovoltaics: Technology, Applications and Economics. Institution of Engineering and Technology, ISBN: 978-1-78561-274-9, 2018

Hartmut Nussbaumer; Markus Klenk; Daniel Schär; Thomas Baumann; Fabian Carigiet; Nico Keller; Franz Baumgartner «PV installations based on vertically mounted bifacial modules evaluation of energy yield and shading effects, Proceedings of the 31st EUPVSEC, S. 2037-2041

www.zhaw.ch/=nusu









[Main Page](#)
[Chairman's Message](#)
[Program](#)
[Registration](#)
[Venue and Activities](#)
[Last WSs and Presentations](#)
[Contact](#)
[Privacy Policy](#)

<http://bifipv-workshop.com/index.php?id=amsterdam-2019-main>




Dear PV-scientists,

Photovoltaics (PV) is increasingly becoming the most important energy source for a clean and widespread energy supply. In 2018 alone, 109GWp of PV capacity was installed globally. Every country has now realized that PV is not only ecological, but becoming extremely economical, with an average levelised cost of electricity (LCOE) of around 4ct/kWh. (In some cases, PV can reach a LCOE of around 2ct/kWh.) Bifaciality is one of the most promising technologies for driving these costs even lower. Bifacial PV systems can sometimes see gains of more than 30% and, combined with tracking, the total electrical gain can be close to 50%, which will reduce LCOE to below 2ct/kWh.

The Energy Research Centre of the Netherlands part of TNO (ECN>TNO), the International Solar Energy Research Center Konstanz (ISC Konstanz), the National Solar Energy, The National Renewable Energy Lab (NREL), Sandia National Laboratories (SNL), Institute (INES), and Zurich University of Applied Sciences (ZHAW), are proud to organise

the sixth bifiPV workshop on September 16/17, 2019 in Amsterdam, The Netherlands