

# e | m | w

Energie. Markt. Wettbewerb.

## Erzeugung & Infrastruktur

Vertikale Solarpaneele –  
Gründach und Solaranlage müssen  
intelligent kombiniert sein

Von **Thomas Baumann**, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Zürcher Hochschule  
für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)



01 Testanlage in Winterthur mit 9,09 kWp installierter PV-Nennleistung. Die Flächen der vertikal installierten, bifazialen Module zeigen grob nach Ost und West, die Längsachse nach Süd. Die Gebäudeausrichtung bedingt eine Abweichung der Längsachse um 25° Richtung West.

Photo © ZHAW

Schweiz+

# Vertikale Solarpaneele

## Gründach und Solaranlage müssen intelligent kombiniert sein

Die Kombination von Photovoltaik und Gründach ist ökologisch ideal. Das Gründach verbessert die Wasserrückhaltung und die PV-Anlage erzeugt Strom an der Stelle, wo er gebraucht wird. Aufgrund des Raumbedarfskonflikts zwischen Solaranlage und Gründächern ist es allerdings notwendig, diese beiden Systeme intelligent zu kombinieren.

📍 Von **Thomas Baumann**, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)

**G**emäß der Schweizer Energiestrategie muss der aus der Kernenergie stammende Strom bis 2050 vollständig durch Strom aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. PV-Strom soll dabei 16,7 Prozent des gesamten Strombedarfs der Schweiz ausmachen. Gerade in bevölkerungsreichen Ländern kann die Nutzung von Flachdächern für Solaranlagen ein wichtiges Mittel zur Erhöhung der installierten Leistung sein.

Gründächer versprechen ein breites Spektrum an ökologischen und wirtschaftlichen Vorteilen. Viele Länder setzen derzeit bereits Gesetze um, die solche begrünten Dächer vorschreiben. Diese Vorschriften zielen darauf ab, den Regenwasserabfluss zu reduzieren, die Luftqualität sowie die Biodiversität zu verbessern und den Kühlbedarf des Gebäudes zu reduzieren. Ein Vergleich von 17 Studien zeigt eine Abkühlung der Lufttemperatur auf Straßenniveau zwischen 0,03 und 3 °C aufgrund von Gründächern. Auch wenn frühere Studie zeigten, dass der Kühlungseffekt des Gründachs nur einen vernachlässigbaren Einfluss auf den PV-Ertrag hat (Energie gewichteter Kühleffekt < 2,6 °C und somit ein Energieertragsgewinn < 1 %), ist unter Berücksichtigung der oben genannten Überlegungen eine kombinierte Nutzung dennoch wünschenswert.

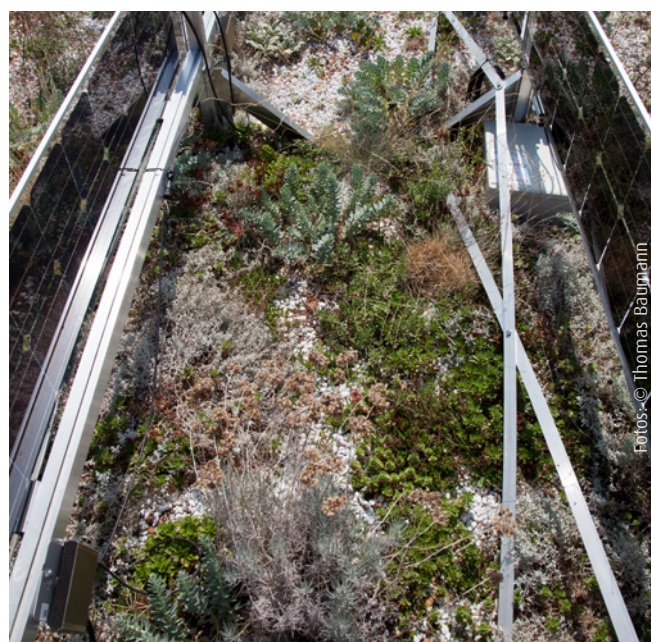
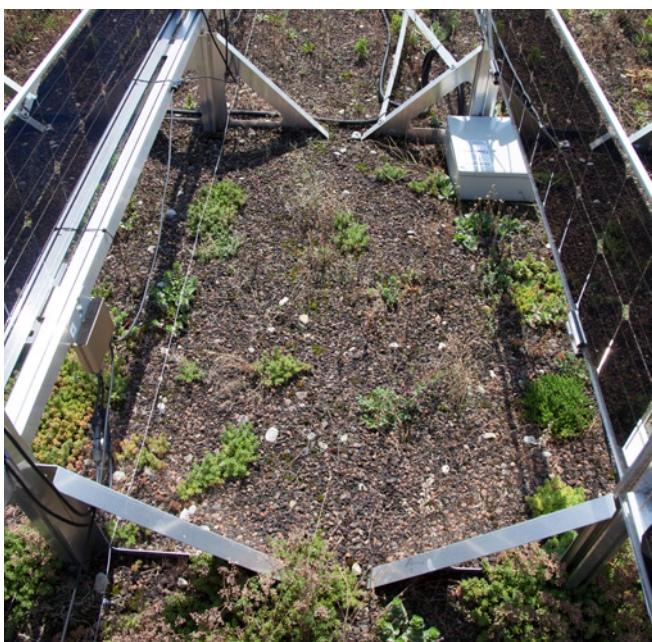
Vertikal montierte, beidseitig energieerzeugende Bifazial-Module können eine gute Option sein, um PV und Gründach trotz des Raumbedarfskonflikts zu kombinieren. Die vertikale Montage der PV-Module und die gute Zugänglichkeit des Gründachs sorgen für vergleichsweise geringe Wartungskosten. Gemäß Simulationen können vertikal montierte Bifazial-Module je nach Standort und Einbaubedingungen einen höheren Energieertrag als nach Süden ausgerichtete Bifazial-Installationen oder herkömmliche, einseitig lichtempfindliche PV-Module erbringen.

### Gründach-PV-Testanlage in Winterthur

In Zusammenarbeit mit dem Verein Solarspar und der Unterstützung des Klimafonds des Stadtwerks Winterthur hat die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) auf einem Flachdach (25° Azimut) in Winterthur eine vertikal installierte bifaziale PV-Anlage mit 9,09 kWp errichtet. Bei vier Modulen ist eine präzise Leistungsmessung installiert (Abb. 1). Der Azimut beschreibt den Winkel der Abweichung von Süden (Azimut = 0°). Um die Windlast zu reduzieren und eine bessere optische Erscheinung zu erhalten, haben die Wissenschaftler Spezialmodule mit 20 monokristallinen n-Typ Siliziumzellen

pro Modul hergestellt. Zwei der vermessenen Module stehen auf einem Standardgründach mit grünlaubigen Pflanzen (Abb. 2 links), zwei weitere auf einem hellen Gründachuntergrund. Dieser besteht aus rezykliertem Substrat vermischt mit hellem Kies und mit silberlaubigen Pflanzen (Abb. 2 rechts), um eine höhere Albedo (Rückstrahlungsvermögen von nicht selbstleuchtenden Flächen) zu erreichen. Die silberlaubigen Pflanzen kommen meist im Mittelmeerraum vor, wobei die helle Farbe der Pflanzen sie vor dem Austrocknen schützt, da das Sonnenlicht teilweise reflektiert wird. Zum Vergleich haben die Wissenschaftler ein monofaziales PV-Modul nach Süden (25° Azimut, 16° Neigung) installiert und ebenfalls mit einer Leistungsmessung versehen. Alle Module, die mit einer präzisen Leistungsmessung versehen sind, wurden vor der Installation auf ihre aktuelle STC-Leistung (Standard-Testbedingungen für Photovoltaik) im Labor vermessen. Bei den bifazialen Modulen fand eine separate Messung der Vorder- und Rückseite statt.

Der Abstand zwischen den Modulreihen beträgt einen Meter und die Distanz zwischen Boden und Modulunterkante 40 cm. Aufgrund dieser Anordnung erwarten die Wissenschaftler besonders im Winter gute



Fotos: © Thomas Bäumann

**02 Links:** Detailansicht des Standardgründachs mit grünlaubigen Pflanzen. Das Foto wurde am 21.08.2018 nach einer langen Hitze- und Trockenperiode aufgenommen. Zu diesem Zeitpunkt wurde eine Albedo von 9 % gemessen, wobei viele Pflanzen vertrocknet waren.

**Rechts:** Detailansicht des «hellen» Gründachs mit silberlaubigen Pflanzen und rezykliertem Substrat mit hellem Kies. Das Foto wurde ebenfalls am 21.08.2018 aufgenommen. Es wurde an diesem Tag eine Albedo von 21 % gemessen. Es ist deutlich erkennbar, dass die silberlaubigen Pflanzen eine solche Hitze- und Trockenperiode besser überstehen als die grünlaubigen Pflanzen.

Erträge, da die Module nicht durch Schnee abgeschattet werden. Zudem erhöht der am Boden liegende Schnee die Albedo, was diese Anordnung für Bergregionen interessant macht.

Auf der Westseite des Daches befindet sich ein höheres Gebäude, das am Abend ab  $86^\circ$  Azimut Verschattungen verursacht, wobei diese Verschattungen bei den Bifazial-Modulen mehr Ertragsverluste verursachen als beim nach Süden ausgerichteten Referenzmodul. Um die Messungen vergleichen zu können, verwenden die Forscher nur die Messdaten bis zu einem Azimutwinkel von  $86^\circ$ . Eine zusätzliche Auswertung simuliert die fehlenden Daten ab  $86^\circ$  Azimut mit Meteorologischen Daten einer nahegelegenen Messstation und fügt sie dem Datensatz hinzu. Dies ermöglicht Aussagen für Dächer, welche nicht durch Verschattungen von benachbarten Gebäuden beeinflusst sind. Ein gemessener und mit simulierten Daten ergänzter Tagesverlauf ist in Abbildung 3 dargestellt.

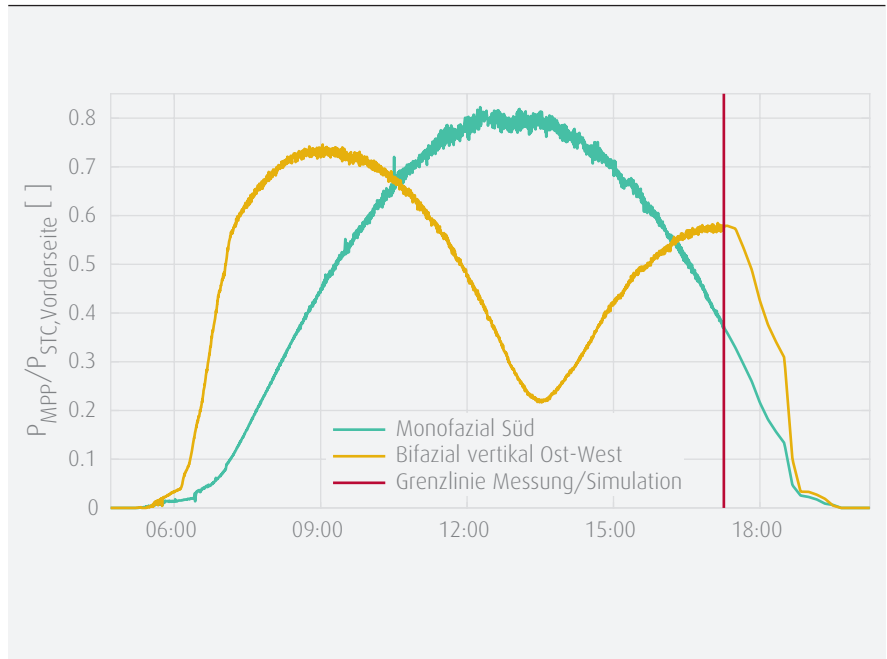
Die PV-Anlage ist seit Mai 2017 in Betrieb, die präzisen Leistungsmessungen der fünf Einzelmodule seit Mai 2018.

### Resultate der Messungen

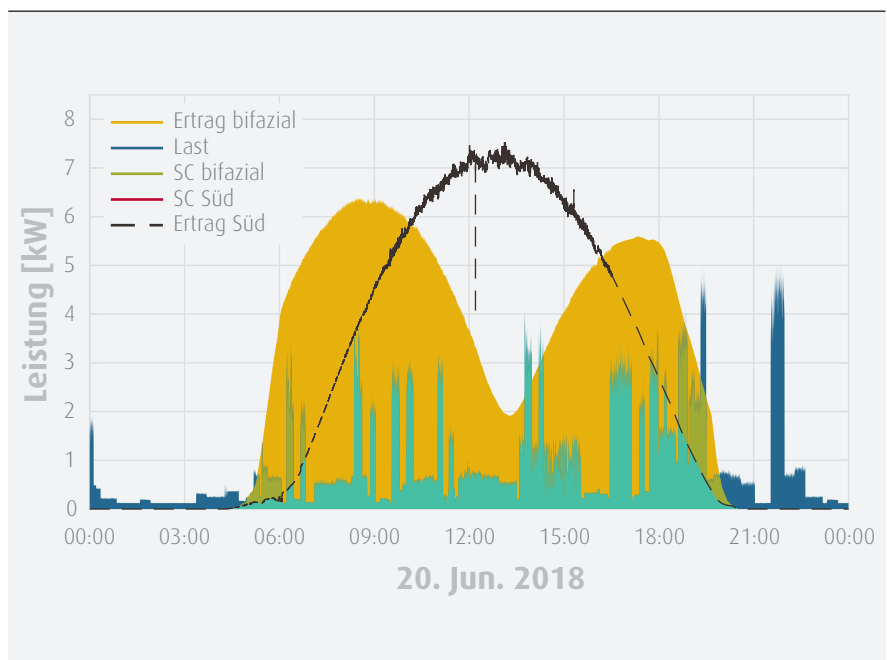
Der erreichte spezifische Jahresertrag der gesamten 9,09 kWp Bifazial-Installation beträgt 942 kWh/kWp über einen Zeitraum von einem Jahr (11.08.2017 bis 10.08.2018, gemessen mit AC-Stromzähler). Nach Süden ausgerichtete Anlagen in der Region erreichen Werte von ungefähr 1.000 kWh/kWp.

Die ZHAW-Forscher haben die DC-Leistungsmessungen der Einzelmodule über einen Zeitraum von fünf Monaten ausgewertet (19.05.2018 bis 18.10.2018). Es zeigt sich, dass mit dem hellen Untergrund ein höherer Energieertrag von 17 Prozent gegenüber dem Standardgründach resultiert. Zudem wird ersichtlich, dass die bifaziale Ost-West-Montage fast denselben Energieertrag (-2.7 %) erreicht, wie eine monofaziale nach Süden ausgerichtete Anlage, sofern keine umliegenden Objekte wie zum Beispiel Gebäude Schatten auf die Anlage werfen. So kann die Ost-West-Ausrichtung der bifazialen Module in Abhängigkeit des Lastprofils den Eigenverbrauch der Anlage und somit die Wirtschaftlichkeit auch ohne den Einsatz eines teuren Batteriespeichers verbessern, meint Professor Franz Baumgartner, der von Seiten ZHAW das Projekt geleitet hat. Dies wird am Beispiel eines Tages (20.06.2018) in Abbildung 4 dargestellt. Die bifaziale

- 03 Tagesverlauf der gemessenen elektrischen Leistungen des Referenzmoduls nach Süden (grün) und eines bifazialen Ost-West-Moduls ohne Verschattung vom westlichen Gebäude (orange). Auf der rechten Seite der roten Grenzlinie wurden simulierte Daten verwendet, welche auf 10-Minuten-Wetterdaten einer nahegelegenen Meteorologischen Station basieren. In der Grafik sind die Daten vom 16.08.2018 dargestellt, wobei die Zeitangabe in UTC+1 ist.



- 04 Ertrags- und Verbrauchsprofil (für ein Einfamilienhaus mit 4-köpfiger Familie) am Beispiel des 20.06.2018 (Zeit in UTC+1). Durch die bifaziale PV-Anlage wird tagsüber mehr Strom erzeugt (orange) als im Gebäude verbraucht wird (hell + dunkelgrün). Der Eigenverbrauch – «Self-consumption (SC)» kann durch die bifaziale Installation im Vergleich zu einer südausgerichteten monofazialen Anlage erhöht werden (dunkelgrüne Fläche = zusätzlicher Eigenverbrauch).



Installation erreicht an diesem Tag einen höheren Eigenverbrauch (26 %) als die südausgerichtete monofaziale Anlage (23 %) gleicher Nennleistung.

## Ausblick und Fazit

Die ZHAW-Forscher haben das Projekt auf der diesjährigen Europäischen Photovoltaik-Solarenergie-Konferenz in Brüssel vorgestellt und stießen auf reges Interesse. Die Messungen sollen noch bis zum Frühjahr 2019 weiterlaufen, um Messwerte über ein ganzes Jahr zu erhalten. Die Pflege des Gründachs ist effektiv und kostengünstig möglich,

da man sich gut zwischen den Modulreihen bewegen kann. Das helle Substrat mit den silberlaubigen Pflanzen hat den Ertrag im Vergleich zu einem Standard-Gründach mit Grünanlagen im Sommer um 17 % gesteigert. Der spezifische DC-Energieertrag des hellen Gründachs mit vertikal montierten Bifazial-Modulen ist nahezu identisch mit dem des südorientierten Monofazial-Moduls. Es ist zu erwarten, dass die vertikale bifaziale Anlage im Winter im Vergleich zum Südmodul einen guten Ertrag bringt, da die vertikalen Module nicht durch Schnee beschattet werden und der Schnee die Albedo erhöht. ↩



**THOMAS BAUMANN**

**Jahrgang 1988**

- ⋯⋯⋯ 2008–2013 BSc ZFH in Elektrotechnik
- ⋯⋯⋯ seit 2016 MSc ZFH in Engineering
- ⋯⋯⋯ seit 2013 Wissenschaftlicher Mitarbeiter (bis 2018 Wissenschaftlicher Assistent) an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) im Institut für Energiesysteme und Fluid-Engineering (IEFE) [www.zhaw.ch/iefef](http://www.zhaw.ch/iefef)
- ⋯⋯⋯ [thomas.baumann@zhaw.ch](mailto:thomas.baumann@zhaw.ch)
- ⋯⋯⋯ [franz.baumgartner@zhaw.ch](mailto:franz.baumgartner@zhaw.ch)

# e | m | w

Energie. Markt. Wettbewerb.

energate gmbh

Norbertstraße 3-5

D-45131 Essen

Tel.: +49 (0) 201.1022.500

Fax: +49 (0) 201.1022.555

[www.energate.de](http://www.energate.de)

[www.emw-online.com](http://www.emw-online.com)

Bestellen Sie jetzt Ihre persönliche Ausgabe!

[www.emw-online.com/bestellen](http://www.emw-online.com/bestellen)

