

GEBÄUDEINTEGRIERTE PHOTOVOLTAIK IN DER PRAXIS

# Überwältigende Vielfalt

Neue Photovoltaikmodule in atypischer Optik und mit verbesserten Oberflächenbeschaffenheiten öffnen Wege für bisher selten realisierte Anwendungen. Sowohl die gestalterischen Optionen als auch die Einsatzmöglichkeiten profitieren von diesen neuen Entwicklungen.

Text: Nina Egger

**S**chwarzblau war gestern. Aber was zählt heute? Es ist nicht leicht, im Bereich der Photovoltaik den Überblick zu behalten. Forschungsinstitute und Hersteller präsentieren laufend Innovationen. Manche Technologien sind von Grund auf neu, andere adaptieren Bestehendes. Die Neuerungen stecken teilweise in der Entwicklungsphase, teilweise sind sie in ersten Testanlagen realisiert, teilweise marktreif. Und in vielen Fällen sind sie bunt oder transparent.

Die hier versammelten Beispiele können die Vielfalt der angebotenen Technologien und der Einsatzmöglichkeiten nur andeuten. Noch vor wenigen Jahren bestand die Bandbreite der Photovoltaikmodule im Wesentlichen aus kristallinem und amorphem Silizium, die Farbpalette reichte von Dunkelblau über Dunkelgrau bis Dunkelbraun (vgl. Übersicht in TEC21 45/2012, S. 34).

Das Angebot und die Einsatzmöglichkeiten heute übersteigen das bei Weitem. Die bewährten Tech-

nologien werden mit bedruckten oder beschichteten Glasplatten und farbigen Laminaten zu vielseitig gestalterisch einsetzbaren Bauteilen. Auf anderen Prinzipien aufbauende, bisher noch exotische Technologien erweitern das Spektrum zusätzlich um transparente und biegsame Module. Und das ist erst der Anfang.

## Farben im Test – Silo wird Solarkraftwerk

Das umgebaute Kohlesilo am Gundeldingerfeld in Basel wurde im Mai 2015 eingeweiht. In 77 m<sup>2</sup> seiner Fassade und sein 82-m<sup>2</sup>-Dach sind Module mit neuer, farbiger Glastechnologie installiert, die das Silo zur Realversuchsanlage machen. Es ist geplant, ein Monitoringsystem zu installieren, das die Leistungsdaten jedes einzelnen PV-Moduls erfasst. Folgende Fragestellungen werden untersucht:

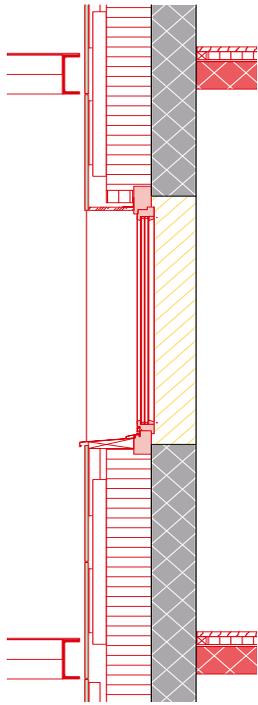
- Vergleich der Wirkungsgrade der farbigen Paneele mit Standardmodulen
- Überprüfung der Ertragsprognose



**Oben:** Kohlesilo am Gundeldingerfeld, Basel. Auf dem Dach wurden vier verschiedenfarbige PV-Module (grün, gold, blau und grau) sowie zum Vergleich schwarze Standardmodule eingesetzt. Dadurch kann der Abminderungsfaktor der verschiedenen Farben im direkten Vergleich zu Standardmodulen ermittelt werden.

**Rechts:** Die Fertigung der Fassadenmodule erfolgte massgenau in drei Grössen. Da es **keine spezifischen Regelungen für die Verwendung von PV an der Fassade** gibt, erfolgte die Installation gemäss den Richtlinien für Glasfassadenpaneele.





Die PV-Module heizen sich im Betrieb stark auf. Daher wird ein **Spezialvlies eingesetzt, das bis 120 °C hitzebeständig ist**. In der Ebene der Konterlattung befindet sich **der 60 mm breite Hinterlüftungsbereich**. Damit ist der Luftzug hinter den PV-Modulen gewährleistet, sie werden von hinten gekühlt. Bei Modulen auf Basis von kristallinem Silizium ist das für den Wirkungsgrad ein wesentlicher Faktor.



Auftraggeber  
Kantensprung, Basel

Architektur/Energieberatung  
baubüro in situ, Basel

Photovoltaik  
Solvatec, Basel  
Swiss Inso, Lausanne

- Überprüfung des Abminderungsfaktors der jeweiligen Farbe
- Leistung in Abhängigkeit von der Einstrahlung (je nach Modulfarbe und Orientierung)

Die Ergebnisse werden in Projektberichten öffentlich dokumentiert.

Die Photovoltaik selbst besteht aus herkömmlichen Silizium-Wafern. Das Interessante am Modul ist das mit einem Interferenzfilter beschichtete Glas, das in vielen Farben hergestellt werden kann und unter UV-Bestrahlung nicht ausbleicht. Eine kleine Bandbreite an Wellenlängen des sichtbaren Lichts wird durch die Beschichtung reflektiert; so entsteht der farbige Eindruck, allerdings wird dabei auch der Wirkungsgrad des Moduls im Durchschnitt um 5% auf 15.1% abgemindert. Die Energieproduktion von 24 kWp ist also etwas niedriger, als sie bei Modulen mit herkömmlichen Gläsern wäre. In der Testanlage in Basel wird durch das Monitoring in den kommenden Jahren untersucht, wie hoch die Abminderung des Wirkungsgrads je Farbe tatsächlich ist.

## Ziegelrote Zellen

Am PV-Center des CSEM (Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique) wird an PV-Modulen geforscht, die die traditionelle Farbe von Dachziegeln aufgreifen. Mit einer ersten Pilotinstallation in Corcelles NE sind die Entwickler zur konkreten Anwendung ihrer neuen terrakottafarbenen PV-Module übergegangen.

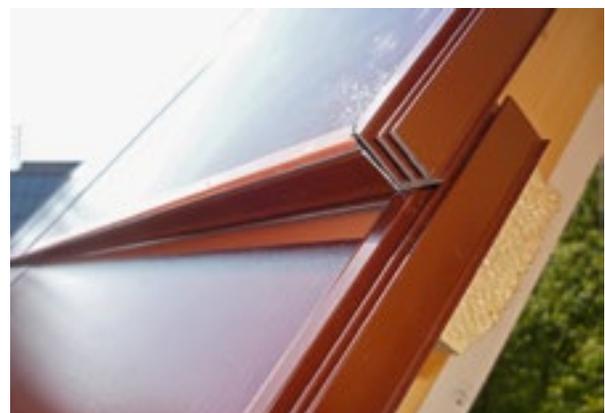
Ausgangsmaterial dieser Module ist amorphes Silizium (a-Si) auf Dünnschichtbasis, das eine sehr kostengünstige Herstellung erlaubt. Da a-Si produktionsseitig bereits eine bräunliche Optik aufweist, schien diese Technologie ideal für den anvisierten Ziegelton. Um ihn zu erreichen, wurde die Stärke der PV-Zelle variiert und ein farbiger Filter laminiert. Die Zelleffizienz auf dem derzeitigen Stand der Entwicklung beträgt 5%. Installiert wurden 3.30 kWp auf dem 74 m<sup>2</sup> grossen Norddach des Einfamilienhauses. Damit ist die Abdeckung von drei Vierteln des jährlichen Strombedarfs gewährleistet.



Idee, Beratung, Konzept  
CSEM, Abteilung Photovoltaik-Module & Systeme, Neuchâtel

Photovoltaik-Montage  
Acos, La Chaux-de-Fonds

Photovoltaik-Modulhersteller  
Nexpower, üserhuus, Hergiswil



Die Anlage von Corcelles ist als ein erster Schritt in die angestrebte Richtung zu verstehen und dient zur weiteren Optimierung des dort installierten Systems. So soll die **Höhe der Solarmodule künftig auf ca. 60 cm reduziert werden**, um dem traditionellen Ziegelmass von 40 bis 50 cm näher zu kommen.

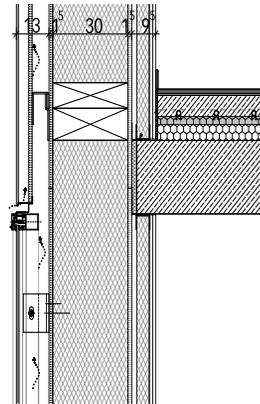
## Zweischeibenverglasung mit Extra



In Frankfurt am Main im Gebiet Gutleutviertel/Westhafen wurde bis Ende Mai dieses Jahres ein Mehrfamilienhaus errichtet. Trotz einem für die Energieproduktion ungünstigen Verhältnis von Gebäudeoberfläche zu Nutzfläche und einer städtebaulich bedingten starken Verschattung der Fassade gelang es, ausreichend PV in die Gebäudehülle zu integrieren, um einen Aktivhaus-Standard zu erreichen. 750 PV-Module auf dem 1500 m<sup>2</sup> grossen Pultdach erzeugen einen Grossteil des Stroms. Weiteren Strom produzieren die in der Südseite integrierten 350 Glas-Glas-Fassadenmodule auf rund 900 m<sup>2</sup> Fläche.

Bei in Doppelglastechnik hergestellten Solarmodulen können die rückseitigen Gläser verspiegelt oder keramisch beschichtet werden. Dadurch werden verschiedene Farben möglich.

Eine hinterlüftete Kaltfassade ist idealer Einsatzort für Solarmodule aus kristallinen Zellen: Der Wirkungsgrad ist bei kühleren Zellen höher. Für die Integration in gläserne Fassaden oder Dachflächen beheizter Räume können Glas-Glas-Solarmodule auch als Isolierverglasung realisiert werden. Vor die wärmegeämmten Baukörperflächen werden Solarmodule als Wetter-, Wärme- und Schallschutz vorgehängt und die einzelnen Konstruktionsteile ohne thermische Trennung aufgebaut. Zum Warmbereich des Gebäudes besteht keine Verbindung.



**Die Module sind frei vor die Fassade gehängt, um eine ausreichende Hinterlüftung zu gewährleisten.** Glas-Glas-PV-Module sind vierseitig umlaufend auf einem Alurahmen befestigt (oben und unten mit Halteleiste, an den Seiten jeweils mit zwei Rosetten zwischen zwei Modulen), dieser ist mit vier Haltewinkeln pro Modul an der Fassadenwand befestigt. Die Haltewinkel sind ins Holz geschraubt. Die Dämmung ist erst in der Holzwand montiert und wird von den Haltewinkeln nicht durchdrungen.



**Auftraggeber**  
Wohnungsbaugesellschaft  
Frankfurt Holding

**Architektur**  
HHS Planer + Architekten,  
Kassel

**Solartechnik**  
Lorenz Energie,  
Gründau-Lieblos

## Perowskit – jetzt auch bleifrei

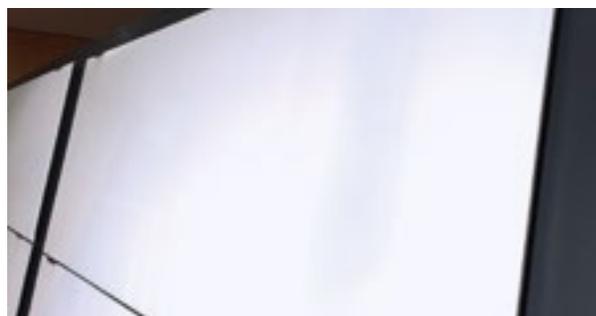
Eine Perowskit-Zelle ist eine transparente Solarzelle, die kubische Kristallverbindungen (genannt Perowskit-Struktur) als Licht erntende aktive Schicht nutzt. Es handelt sich beim Material um einen Hybrid aus organischen Methylammoniumverbindungen und anorganischen Bleihalogeniden. Dieses ist einfach und kostengünstig herstellbar, was seinen Einsatz in der Dünnschicht-Photovoltaik attraktiv macht. Perowskit-Materialien können viel Licht absorbieren und erlauben den Ladungsträgern eine hohe Beweglichkeit. Ausserdem können die Elektronen im Material lange Strecken zurücklegen, ohne zu rekombinieren. Allerdings stellt die Verwendung der giftigen Bleiverbindung in den Zellen ein Problem dar. Zinn hat eine ähnliche Elektronenstruktur wie Blei. Deshalb kann man auch Zinnhalogenid einsetzen und dabei ein strukturell sehr ähnliches Material erhalten. Als negativer Nebeneffekt des Bleihalogenid-Austauschs sinkt aber die Effizienz

der Zellen auf ein Drittel. Hoffnung besteht trotzdem: Die Wirkungsgrade der herkömmlichen Perowskit-Zellen sind seit 2009 von unter 4% auf 20% gestiegen. Sollte die Weiterentwicklung der bleifreien Zellen – derzeitiger Wirkungsgrad 6% – genauso schnell voranschreiten, dann wird in wenigen Jahren eine hoch-effiziente und bleifreie Perowskit-Zelle zur Verfügung stehen.



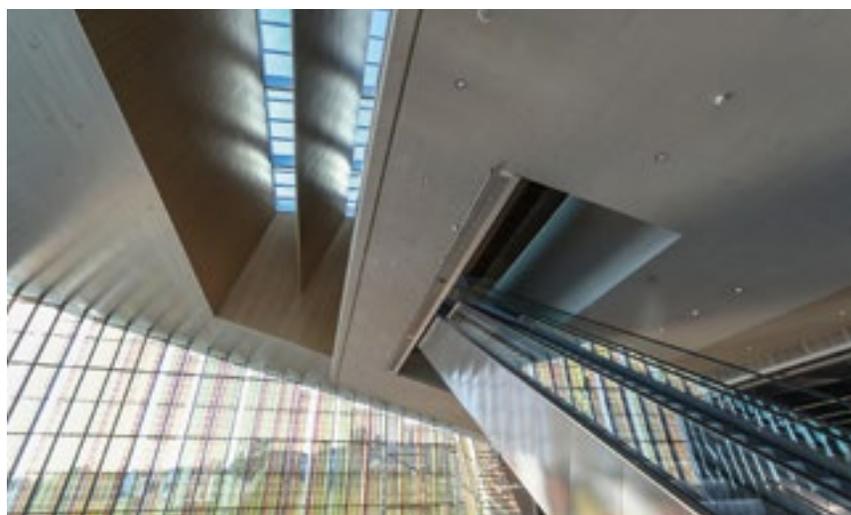
## Weisse PV wartet auf ihren Einsatz

Genau genommen besteht die Innovation bei den weissen Modulen nicht in einer neuen PV-Technologie, sondern es handelt sich um ein Add-on. Während der Fertigung wird eine Streufilterfolie zwischen die kristallinen Siliziumzellen und das Glas ins Modul integriert. Die ganze Bandbreite des Sonnenlichts kann in Elektrizität umgewandelt werden. Der selektive Streuungsfilter reflektiert sichtbares Licht und lässt die Infrarotstrahlung passieren. Das Verfahren besteht aus einer Vielzahl von Schichten, die sichtbares Licht reflektieren, während die Infrarotstrahlung zu den Solarzellen geleitet wird. Die Reflektion des weissen Lichtanteils wird durch Mikrostrukturen auf der Folie erreicht. Dies führt zu einer weissen, homogenen Oberfläche. Andere Farben werden durch eine Anpassung der Kombination der Filter erreicht. Alle Arten von kristallinen Solarzellen reagieren im IR-Bereich des Son-



Dass **eine weisse Oberfläche bei Sonneneinstrahlung eine niedrigere Temperatur erreicht**, ist ein zusätzlicher Vorteil. Durch das reflektierte sichtbare Licht heizen sich Modul und Gebäude weniger auf. Dies wirkt sich positiv auf die Effizienz des Solarmoduls aus und trägt dazu bei, im Gebäude Klimatisierungskosten zu reduzieren.

nenlichtspektrums. Ein wichtiger Anteil des Stroms kommt aus diesem Bereich (IR 700–1200 nm). Der Modulwirkungsgrad beträgt über 10%.



### Auftraggeber

Public-Private-Partnership bestehend aus EPFL, zwei Immobilienfonds der Crédit Suisse sowie dem Totalunternehmer HRS Real Estate

### Architektur/Energieberatung

Richter · Dahl Rocha & Associés architects, Lausanne

### Photovoltaik

Solaronix, Aubonne

## Graetzel in Lausanne

Die sogenannte Graetzelzelle ist auch als Farbstoffsolarzelle (Dye Sensitized Solar Cell DSSC) bekannt. Sie wurde 1992 von dem Chemiker Michael Grätzel patentiert (vgl. TEC21-Dossier 5/2013 «Solares Bauen» und TEC21 49–50/2013, S. 26).

Ihr bekanntester Einsatzort in der Schweiz ist das Swisstech Convention Center in Lausanne. Dort sind Graetzelzellen in fünf Schattierungen von Grün bis Orange auf einer Fläche von 300 m<sup>2</sup> als transluzente Sonnenblenden im Einsatz.

Die Graetzelzelle ist in mehreren Schichten zwischen zwei Glasplatten aufgebaut. Auf die planare Arbeitselektrode (Anode) ist eine nanoporöse Schicht Titandioxid aufgebracht, an die der lichtempfindliche Farbstoff, zum Beispiel Chlorophyll, adsorbiert ist. Als nächste Schichten folgen der Redoxelektrolyt und

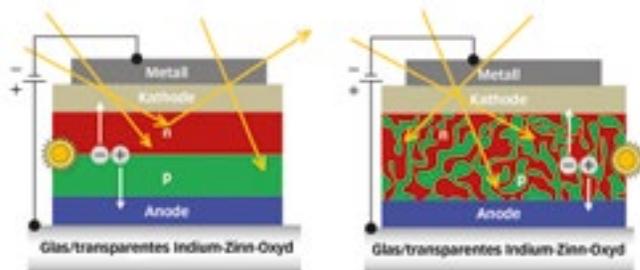
der Katalysator. Die Gegenelektrode (Kathode) bildet den Abschluss der Graetzelzelle. Das Funktionsprinzip ähnelt dem der Photosynthese. Licht regt den Farbstoff an, wenn er die Photonen absorbiert. Die Elektronen in den Farbstoffmolekülen werden dabei photooxidiert und an die Titandioxidschicht abgegeben, wo sie wieder oxidieren. Gleichzeitig findet im Elektrolyten eine Reduktion statt, sodass vom Elektrolyten zum Farbstoff Elektronen nachfliessen. Dadurch ist ein geschlossener Kreislauf von Anode zu Kathode möglich. Graetzelzellen funktionieren auch bei diffusem Licht. Der Wirkungsgrad kommerziell erhältlicher Module beträgt ca. 3%.

Am Swisstech Convention Center wurden die Module nicht auf ihre Performance, sondern auf ihr Design optimiert, zum Beispiel um die Proportionen der Modulbänder auf die der Fenster abzustimmen. Daher ist der Wirkungsgrad in diesem Fall noch niedriger.

## Organische Photovoltaik spendet Schatten

Zentrales Gestaltungselement des Deutschen Pavillons auf der Expo Milano sind die fünf «Solar Trees» getauften Verschattungselemente. Sie sind das erste grosse internationale Architekturprojekt, in dem transluzente organische Photovoltaik (OPV) zum Einsatz kommt. Die Architekten hatten hier die Möglichkeit – anders als bei anderen Technologien üblich –, die PV-Module selbst in Grösse und Form zu gestalten und sie so noch besser in ihr architektonisches Konzept einzubinden.

Die per Stoffdruck auf ein Trägermaterial aufgebraute Kohlenstoffverbindungen der OPV sind beidseitig mit Schutzfolien laminiert und mit Clips in ein filigranes Stahlnetz gehängt. Der tagsüber produzierte Gleichstrom wird direkt in einem Batteriespeichersystem am Fuss der «Solar Trees» gesammelt und versorgt einen leistungsstarken LED-Leuchtenring mit Strom, der sie nachts von unten anstrahlt.



Oben: Im Gegensatz zu **anderen PV-Technologien (links)** absorbiert **OPV (rechts)** das Licht nicht an einer Grenzschicht, sondern im Volumen der Absorberschicht. Dies führt zu einer geringeren Winkelabhängigkeit und guten Leistungen unter diffuser Bestrahlung. OPV ist daher deutlich weniger abhängig von der akkuraten Ausrichtung des Moduls zur Sonne.



Pro Quadratmeter kann semitransparente organische Photovoltaik etwa 40 bis 60 W produzieren. Bei geringerer Transparenz ist die Leistung höher. Im unteren Bereich der «Solar Trees» haben die sechseckigen Module eine Diagonale von ca. 23 cm, die grössten Module oben eine von 95 cm. Jedes Modul besteht aus sechs Dreiecken, den einzelnen Zellen. Diese sind auf die – etwas grössere – transparente Textilfolie aufgedruckt, darüber ist eine Schutzfolie laminiert. Um Windspitzen und anderen Lasten zu widerstehen, sind die einzelnen Modulfolien mit Federn verbunden.

Die Module sind in Serie geschaltet, der Strom wird am Rand abgeführt. Die dazu verwendeten Kabel sind filigran in Silbergrau ausgeführt und auf den ersten Blick nicht vom Stahlnetz der Konstruktion zu unterscheiden.

Da die Berührungsspannung den Grenzwert von 120 V (Gleichstrom) nicht überschreitet, unterliegen die «Solar Trees» keinen Brandschutzvorschriften. Sie sind zudem wartungsfrei. •



**Auftraggeber**  
Bundesministerium  
für Wirtschaft und  
Energie (BMWi),  
Messe Frankfurt

**Architektur**  
Schmidhuber,  
München

**Photovoltaik**  
Belectric OPV,  
Nürnberg