

# Power aus der Mauer

Chancen und Möglichkeiten durch bauwerkintegrierte Photovoltaik

Die Integration von Photovoltaik in die Gebäudehülle bildet einen zentralen Baustein für die zukünftige klimafreundliche Energieversorgung der Gesellschaft. Um das hohe Potenzial dieser Technologie zu erschließen, muss eine Brücke gebaut werden zwischen Bau- und Energiewelt, müssen Architektur und Planung auf der einen und die Photovoltaik-Branche auf der anderen Seite zusammengeführt werden. Der Beitrag gibt Einblick in Vorhandenes, beschreibt die beiderseitigen Herausforderungen und zeigt Lösungsansätze.

Für ein Industrie- und Hochtechnologie-land wie Deutschland ist der Umbau der Energieversorgung hin zur Nutzung regenerativer Energien eine große Herausforderung, aber vor allem auch eine Chance. Damit diese „Energiewende“ gelingt und die ambitionierten Klimaziele bis 2050 erreicht werden können, muss der Gebäudebestand bis 2050 nahezu klimaneutral werden. Das heißt konkret: Gebäude müssen nicht nur deutlich weniger Energie für ihren Bau und Betrieb benötigen, sondern sogar aktiv zur Energieversorgung und zur Speicherung von Energie beitragen.

Gebäude und ihre Fassaden bieten große Flächen, die für Stromerzeugung mit Photovoltaik (PV) genutzt werden können. Allein in Deutschland gibt es rund 2 000 km<sup>2</sup> für PV-Anwendungen

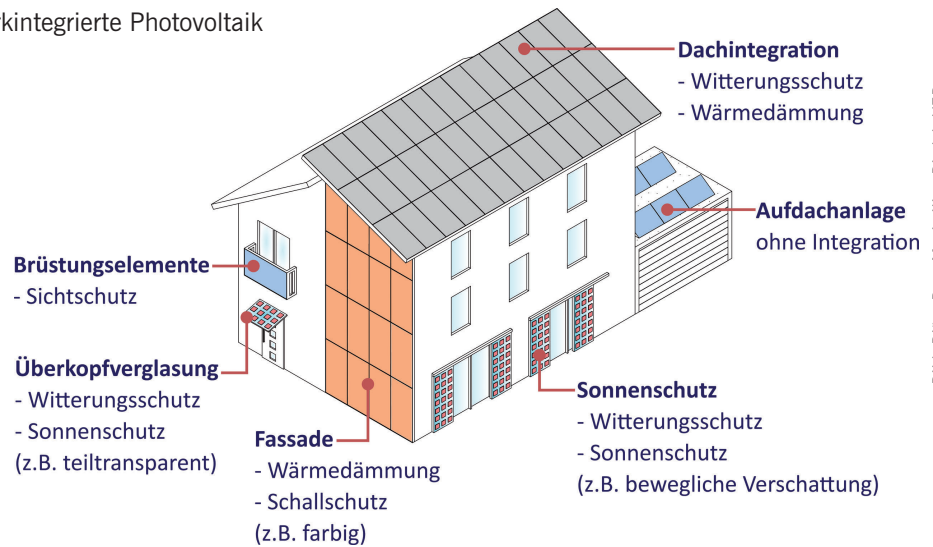


Bild: Björn Rau, Maximilian Riedel, HZB

**Bild 1**

Schematische Darstellung typischer Anwendungen von bauwerkintegrierter Photovoltaik. Vergleichend ist auch eine klassische Aufdachanlage dargestellt

nutzbare Dach- und Fassadenflächen. Dies entspricht lediglich 5 % aller bebauten Flächen, bietet aber das Potenzial, bis zu 30 % des Stromverbrauchs in Deutschland zu decken<sup>1)</sup>. Bedenkt man dabei, dass weltweit mehr als 70 % des Energieverbrauchs in Städten erfolgt und diese gleichzeitig auch für 40 bis 50 % aller Treibhausgasemissionen verantwortlich sind, wird deutlich, welche Chancen aber auch welche Verantwortung eine dezentrale Erzeugung von elektrischer Energie im urbanen Raum hat. Sie erzeugt dort den Strom, wo er auch genutzt wird. Erfolgt sie dann auch noch aus regenerativen Quellen, wie der Sonne, geschieht dies darüber hinaus auch noch emissionsfrei, klimafreundlich und schafft gleichzeitig ein gesundes Lebensklima.

## Integrationsmöglichkeiten für Photovoltaik

Zur Erschließung des großen Potenzials für die PV im Gebäudebereich kommt der bauwerkintegrierten Photovoltaik (BIPV) eine besondere Rolle zu. BIPV zeichnet sich dadurch aus, dass Photovoltaikmodule („Solarmodule“<sup>2)</sup>) integraler Bestandteil der Gebäudehülle sind und zu multifunktionalen Bauelementen werden. Sie übernehmen neben ihrer rein elektrischen, stromerzeugenden Funktion nun direkt auch weitere Aufgaben der Gebäudehülle. **Bild 1** zeigt schematisch Beispiele für verschiedene Arten der Integration von Photovoltaikmodulen in eine Gebäudehülle.

Die wohl bekannteste Alternative zu klassischen Solarmodulen auf dem Dach sind Module, die sowohl funktional als auch ästhetisch direkt in das Dach integriert sind. So kann das gesamte Dach aus Solarmodulen bestehen oder auch nur ein Teil. In beiden Fällen dienen die Module einerseits als schüt-

## Autoren



**Dr. Björn Rau** ist stellvertretender Institutsleiter und Technologieleiter am Institut Kompetenz-Zentrum Photovoltaik Berlin (PVcomB), Helmholtz-Zentrum Berlin. Er leitet außerdem die Beratungsstelle für BIPV (BAIP) des HZB.



**Maximilian Riedel, M. Sc.**, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut Kompetenz-Zentrum Photovoltaik Berlin (PVcomB), Helmholtz-Zentrum Berlin und beschäftigt sich mit Modulmonitoring in PV-Systemen.

<sup>1)</sup> Haselhuhn, R.: Photovoltaik: Gebäude liefern Strom, B. F. K. BINE Informationsdienst, Hrsg., Fraunhofer IRB Verlag, 2010.

<sup>2)</sup> Der Begriff „Solarmodule“ umfasst korrekterweise Module, die Sonnenlicht direkt in elektrischen Strom oder aber in Wärme umwandeln, ggfs. sogar beides gleichzeitig. Im Artikel hier steht der Begriff, der Umgangssprache folgend, jedoch ausschließlich als Synonym für Photovoltaikmodule.



**Bild 2**

Aktiv-Stadthaus in Frankfurt am Main im Effizienzhaus Plus-Standard mit gestalterisch integrierter Dach-Photovoltaikanlage und vollintegrierten Fassadenelementen auf der Südseite (HHS Architekten)

zende Dachhaut (Witterung) und andererseits auch zur Energieerzeugung. Wenn außerdem sichtbar (wie zum Beispiel im Fall eines Schrägdaches) prägen sie auch noch das Erscheinungsbild des Gebäudes. Die Vielfältigkeit konventioneller Dachelemente verlangt auch für PV-aktive Bauteile eine hohe Variabilität in Form, Farbe und Erscheinungsbild. Diese reicht von großflächigen, homogenen Glas-Glas-Modulen bis zu kleinteiligen Systemen, wie Dachziegeln, die sich möglichst eng an die klassischen Dachziegel anpassen.

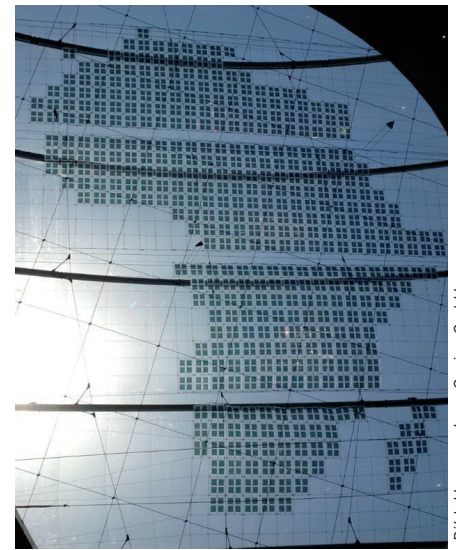
Die Verwendung von Solarmodulen als Fassadenelemente ist an ähnliche Kriterien gekoppelt wie bei der Dachintegration (**Bild 2**). Insbesondere der gestalterische Aspekt spielt hier aber im Regelfall noch eine wesentlich größere Rolle. Solaraktive Fassadenelemente können ganz unterschiedlich gestaltet sein. So gibt es Installationen als hinterlüftete Kaltfassade, die sich beispielsweise ideal in oder anstelle von weit verbreiteten VHF-Systemen (VHF: vorgehängt, hinterlüftete Fassade) installieren lassen aber auch die Verwendung als Elemente einer Warmfassade. Neben dem Witterungsschutz sind die Wärmedämmung und der Schallschutz weitere Aufgaben, die ein solares Bauelement in der Fassade erfüllen kann beziehungsweise muss.

In Hinblick auf die gestalterische Funktion der Elemente in der Fassade

ist bereits heute eine Vielzahl an Konzepten verfügbar. Farbige Module von anthrazit/schwarz über grau, blau, grün, gelb und sogar goldfarben sind mittlerweile verfügbar. Sie basieren oft auf sogenannten Dünnschichttechnologien (zum Beispiel Module aus Kupfer-Indium-Gallium und Selen/Schwefel (CIGS)) verbunden mit speziellen Frontgläsern. Diese reflektieren nur einen kleinen Ausschnitt des Farbspektrums, um die Farbwirkung zu erzielen. Der Großteil des Sonnenlichtes wird weiterhin im Solarmodul in elektrischen Strom umgewandelt. Die Einbußen in der elektrischen Leistung tragen dabei gegenüber den idealen schwarzen Modulen gleicher Bauart nur einige wenige bis zu etwa 15 %.

Organische Photovoltaik (OPV) dagegen lässt sich direkt und kostengünstig in verschiedenen Farben und Transparenzgraden herstellen. Da diese Technologie sich außerdem auch noch einfach auf flexible Trägermaterialien aufbringen lässt, eignet sie sich vor allem auch sehr gut für leichte, gebogene, gegebenenfalls sogar biegsame Konstruktionen und vielfältigste Formen (**Bild 3**). Eine Herausforderung dieser Technologie sind aktuell noch die vergleichsweise geringe elektrische Leistung und Aspekte der Langzeitstabilität.

Eine andere Technologie ist die Verwendung spezieller Folien, die bei-



**Bild 3**

Flexible organische Solarmodule in Kombination mit einem Edelstahlnetz als Verschattung und als Energiequelle für die Gebäudebeleuchtung („Peace and Security Building“ der Afrikanischen Union in Addis Ababa)

spielsweise in das Solarmodul integriert werden. Forscher vom Centre Suisse d'Electronique et Microtechnique (CSEM) im schweizerischen Neuchâtel konnten so 2014 weltweit erstmalig weiße Module herstellen. Zwar entsteht bei dieser Technologie ein deutlich höherer „Verlust“ der elektrischen Leistung gegenüber dem normalen Modul, dafür wird das Konzept aber im Regelfall auf klassische, Silizium-Solarmodule angewendet, die initial eine deutlich höhere Spitzenleistung haben als die bereits erwähnten Dünnschichtmodule.

Als dritte Methode der optischen Gestaltung von Solarmodulen besteht die Möglichkeit die Frontgläser der Module direkt zu bedrucken. So lassen sich individuelle Muster, Strukturen oder Bilder erzeugen, die den photovoltaischen Aspekt der Module komplett „verstecken“ lassen. Der Gestaltung sind hier kaum Grenzen gesetzt. Allerdings sind die Leistungseinbußen oft erheblich.

Die bei allen Ansätzen mehr oder minder starken Leistungsverluste gegenüber den jeweiligen optimierten Modulen könnten ein Gegenargument für die Verwendung solcher Elemente sein. Aber, wenn man berücksichtigt, dass dadurch Fassadenelemente verfügbar sind, die gestalterisch ansprechen und von Architekten und Bauherren angenommen werden, so eröffnen sie zu-

sätzliche Flächen für die Stromerzeugung, die andererseits komplett passiv gestaltet worden wären.

Neben der direkten Verwendung von Photovoltaik in Dach oder Fassade ist die Integration von Solarzellen oder Modulen in Verschattungselemente eine sehr attraktive Methode, Sonnenschutz und Energieerzeugung zu kombinieren. Diese kann beispielsweise in Glasscheiben erfolgen wobei entweder durch eine homogene aber sehr dünne photoaktive Beschichtung nur ein Teil des Lichtes ins Gebäude gelassen wird oder durch die räumlich versetzt angeordnete Platzierung einzelner Solarzellen eine Teiltransparenz realisiert ist. Dieses Konzept wird sowohl bei fest installierten Scheiben von überkopf bis vertikal angewendet, aber auch bei beweglichen, nur temporär zum Verschatten genutzten Systemen wie Fensterläden oder Lamellenkonstruktionen (**Bild 4**). Letztere gibt es zudem in starren wie auch in ein- oder mehrachsigt nachgeführten Systemen.

Eine weitere Möglichkeit, Photovoltaik in die Gebäudestruktur zu integrieren sind sogenannte Balkonmodule. Als integrierte Brüstungselemente übernehmen Sie die Funktion der Absturzsicherung und bieten gleichzeitig Sichtschutz. Solarmodule in Balkonbrüstungen können analog zu normalen Fassadenelementen ausgeführt und so zum Beispiel Bestandteil einer größeren PV-Anlage des Gebäudes sein. Andererseits dürfen seit der Änderung der elektrotechnischen Norm VDE 0100-551 nun Verbraucher auch sogenannte Kleinmodule oder Steckermodule direkt an den Hausstromkreis anschließen. Die Module verfügen über eigene Wechselrichter. Bis zu zwei Module mit maximaler Anschlussleistung von 600 W können entweder über eine spezielle Einspeisesteckdose oder über einen Festanschluss angeschlossen werden. Für diese Art von Installationen herrscht üblicherweise Anmeldepflicht beim örtlichen Netzbetreiber. Auch sollte eine solche Installation unbedingt vorab mit dem Vermieter abgestimmt werden, da die sichtbar platzierten Balkonmodule zwar genau genommen, nicht in das Gebäude integriert sind, in jedem Fall aber einen Einfluss auf das Erscheinungsbild des Gebäudes haben.

Die verschiedenen beschriebenen Möglichkeiten, Photovoltaikmodule



Bild: Björn Rau, HZB

in ein Gebäude/ in ein Bauwerk zu integrieren, haben alle eines gemeinsam, nämlich den zusätzlich zur Stromerzeugung existierenden, im Regelfall sehr hohen gestalterischen Anspruch. Als sichtbares Element der Hülle eines Gebäudes (sei es Fassade oder Dachfläche) beeinflussen sie sein „Gesicht“ und damit oft auch das derer, die in dem Gebäude arbeiten oder leben.

### Herausforderungen der BIPV

Die bauwerkintegrierte Photovoltaik unterscheidet sich also in vielen Punkten von klassischen Aufdach-Solaranlagen, wo weder eine Multifunktionalität gefragt ist, noch im Regelfall ästhetische Aspekte berücksichtigt werden. Entwickler und Anbieter von klassischen Solarmodulen müssen daher umdenken, wenn sie PV-Systeme für die Integration in Bauelementen entwickeln. Architekten, Bauherren und auch die Nutzer von Gebäuden erwarten im Normalfall vor allem die Erfüllung der klassischen Funktionen in der Gebäudehülle und verstehen die Stromerzeugung als ergänzende Eigenschaft. Das bedeutet auch automatisch, dass bei PV-Bauelementen der sogenannte Wirkungsgrad (Umwandlungseffizienz von Sonnenlicht in elektrischen Strom) nicht, wie üblich, im Vordergrund steht, sondern die gesamtheitliche Gestaltung. Denn, wenn der Architekt/ der Bauherr/ der Planer die gestalterische Lösung nicht akzeptiert, wird am Ende zum Beispiel lieber ein Fassadenelement mit „Wirkungsgrad 0 %“ installiert (klassische Stein- oder Aluminiumfassade beispielsweise). Darüber hinaus sind seitens der Entwicklung multifunktiona-

### Bild 4

Lamellenkonstruktion aus kristallinen Solarmodulen bietet Schatten im Atrium des Zentrums für Photovoltaik in Berlin-Adlershof

ler BIPV Elemente die folgenden Aspekte besonders zu beachten:

- Entwicklung von bezahlbaren, kundenspezifischen Lösungen für solaraktive Bauelemente mit variablen Abmaßen, Formen, Farben, Transparenzgraden
- Gleichzeitig auch Entwicklung von einfach verplanbaren und kostengünstigen Standardelementen (idealerweise auch integrierbar in die gängigen Planungswerkzeuge, wie zum Beispiel BIM)
- Integration von PV-Elementen in neuartige Fassadenbauelemente durch Kombination von Baustoffen und energieproduzierenden Elementen
- Hohe Bauteiltoleranz gegenüber wiederkehrenden (Teil-) Verschattungen
- Langlebigkeit und Alterungsverhalten
- Anlagenmonitoring und Wartungskonzepte, angepasst an die Randbedingungen vor Ort (Installationshöhen, Austauschbarkeit defekter Module oder Fassadenelemente, ...)
- Erfüllung der erforderlichen bau- und energierechtlichen Anforderungen.

Gleichzeitig müssen die initialen Akteure von Bauvorhaben sich ihrer gesellschaftlichen Verantwortung bewusst werden und die energetische Optimierung von Neubauten wie auch Sanierungsvorhaben gezielt berücksichti-

gen. Sie müssen daher auch bereit sein, sich auf neue Elemente in der Planung von Gebäuden einzulassen, denn multifunktionale Fassadenelemente, die klassische Schutz- und Gestaltungsfunktionen mit der Erzeugung von elektrischem Strom vereinen, verbinden zwei üblicherweise im Planungsprozess getrennte Gewerke und das im besten Fall bereits zu Beginn des gesamten Vorhabens. Das bedeutet auch, dass seit jeher etablierte Planungsabläufe von Bauvorhaben (zeitlich, inhaltlich, honorarrechtlich...) zukünftig gegebenenfalls geändert werden müssen.

### Kommunikation und Information als Brückenschlag

Um die Architekten und Planer, aber auch die Bauherren und Investoren dazu anzuregen, die Integration von Pho-

tovoltaik vermehrt zu nutzen und idealerweise bei jedem Vorhaben zumindest standardmäßig zu prüfen, bedarf es einer deutlich verbesserten Kommunikation aller Akteure. Die Solarbranche muss die Bedürfnisse und Anforderungen der Architekten und Planer besser erkennen und spezifische Lösungen und Werkzeuge bereitstellen. Letztere wiederum müssen mit den bereits zur Verfügung stehenden vielfältigen, gestalterischen und technischen Möglichkeiten vertraut gemacht werden und Hilfe bei der Planung und Umsetzung realer Projekte erhalten. Dafür gibt es bereits heute Strukturen und Institutionen, die über reine Fachmessen der Solarbranche hinausgehen. Die „Allianz BIPV“ beispielsweise ist ein Zusammenschluss verschiedenster Akteure der BIPV-

Branche. In ihr engagieren sich Vertreter aller Akteursgruppen von Architekten und Planern über Fassadenbauer, Material- und Komponentenhersteller, Solarmodulhersteller und Forschungsinstitutionen bis hin zum Energiedienstleister. Ein weiteres Beispiel, das sich gezielt an Architekten und Planer richtet, ist die „Beratungsstelle für bauwerkintegrierte Photovoltaik – BAIP“, die im April 2019 ihre Arbeit aufgenommen hat. In Kooperation, unter anderem mit Architektenkammern und der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGfNB), bietet das Projekt des Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie eine produktneutrale, unabhängige Beratung sowie Fortbildungen und Workshops an und möchte so die Verbreitung der BIPV unterstützen.