

ISBN 978-3-9825184-0-4

# Architektonisches Gestalten mit Dünnschicht-Photovoltaik

Ingo B. Hagemann

Studie im Rahmen des BMWi-Forschungsprojektes BIPVpod  
Auftraggeber: Dr. Andreas Gerber, Forschungszentrum Jülich

ARCHITEKTURBÜRO HAGEMANN



Ingo B. Hagemann: **Architektonisches Gestalten mit Dünnschicht-Photovoltaik**



# **Architektonisches Gestalten mit Dünnschicht-Photovoltaik**

Dr. Ingo B. Hagemann  
Architekt in Aachen

Studie im Rahmen des BMWi-Forschungsprojektes BIPVpod  
Auftraggeber: Dr. Andreas Gerber, Forschungszentrum Jülich

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über [dnb.dnb.de](http://dnb.dnb.de) abrufbar.

Weitere Informationen zum Autor und zum Thema der Veröffentlichung:

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

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



© 2022 ARCHITEKTURBÜRO HAGEMANN

Dr.-Ing. Ingo B. Hagemann

Brunnenstrasse 3

52074 Aachen

Tel.: +49 241 957 999-70

Fax: +49 241 957 999-76

[info@architekturbuero-hagemann.de](mailto:info@architekturbuero-hagemann.de)

[www.architekturbuero-hagemann.de](http://www.architekturbuero-hagemann.de)

Alle Rechte vorbehalten

Umschlaggestaltung: Ingo B. Hagemann

Titelbild: Deutscher Pavillon EXPO 2015 Mailand

Fotograf: Ingo B. Hagemann

Satz: Judith Maria Achenbach Mediengestaltung, Darmstadt

Veröffentlichung im Internet als pdf

ISBN 978-3-9825184-0-4

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Außerhalb der mit dem Auftraggeber vereinbarten Nutzungsrechte ist eine Vervielfältigung oder Weitergabe an Dritte oder die Mitteilung des Inhaltes – auch auszugsweise – nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des Autors Dr. Ingo B. Hagemann aus Aachen gestattet.

Alle in dieser Studie enthaltenen Angaben, Daten, Ergebnisse, Empfehlungen u.s.w. wurden vom Autor nach bestem Wissen erstellt und von ihm und dem Verlag mit größtmöglicher Sorgfalt überprüft. Dennoch sind inhaltliche Fehler oder Druckfehler nicht völlig auszuschließen. Daher erfolgen die Angaben, Daten, Ergebnisse, Empfehlungen u.s.w. ohne jegliche Verpflichtung oder Garantie des Verlags oder des Autors. Sie übernehmen deshalb keinerlei Verantwortung und Haftung für etwa vorhandene inhaltliche Unrichtigkeiten. Von den in diesem Buch zitierten Normen, Vorschriften und Richtlinien haben stets nur die jeweils letzten Ausgaben Gültigkeit.

Die Verweise durch Hyperlinks auf Inhalte fremder Webseiten dienen lediglich der Information. Für die Inhalte von den in diesem Buch abgedruckten Internetseiten sind ausschließlich die Betreiber der jeweiligen Internetseiten verantwortlich. Der Verlag und der Autor haben keinen Einfluss auf Gestaltung und Inhalte dieser fremder Internetseiten. Sie unterliegen auch ständigen Veränderungen. Verlag und Autor distanzieren sich daher von allen fremden Inhalten. Zum Zeitpunkt der Verwendung waren keinerlei illegalen Inhalte auf den Webseiten vorhanden.

## Vorwort

Die vorliegende Studie ist eine Erstinformation zum Thema „Architektonisches Gestalten mit Dünnschicht-Photovoltaik“ in der gebauten Umwelt.

Sie gibt einen Überblick über relevante Rahmenbedingungen, erforderliche Planungsgrundlagen und Produktvarianten unterschiedlicher Photovoltaik-Dünnschicht Techniken. Sie dient als Ideengeber, der die heutige Vielfalt der Photovoltaik-Dünnschichttechnik darlegt und ihre vielfältigen Einsatzmöglichkeiten an Gebäuden aufzeigt.

Die Ausarbeitung dieser Studie erfolgte im Auftrag von Dr. Andreas Gerber von der Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK), Photovoltaik (IEK-5). Ich danke ihm für die gute Zusammenarbeit, seine Geduld und das mir entgegengebrachte Vertrauen.

Finanziert wurde diese Studie durch das BMWi (FKZ 0324130A) im Rahmen des Deutsch-Niederländischen SOLAR-ERA.net-Projektes „BIPVpod. Building Integrated Photovoltaics panels on demand“. Ziel des deutschen Teils dieses Forschungsprojektes war es, die Entwicklung von kundenspezifisch hergestellten Photovoltaik-Dünnschichtmodulen auf unterschiedlichen Entwicklungsstufen der Photovoltaik-Prozesskette voranzutreiben.

Judith Maria Achenbach danke ich für ihre Anregungen und die professionelle Umsetzung meiner Wünsche zum Layout diese Studie. Thomas Schwabe danke ich für das Lektorat. Meinen Kollegen und Freunden, die zu dieser Studie auf unterschiedliche Weise beigetragen haben, danke ich für unseren Gedankenaustausch und ihre Zuarbeit. Abschließend danke ich meiner Ehefrau für ihre Geduld und ihre Unterstützung für diese Studie.

Aufgrund bestehender Copyrightverpflichtungen ist eine Verwendung, Veröffentlichung oder Weitergabe der Inhalte, insbesondere auch der dargestellten Photos und Grafiken, gleich in welchem Kontext und welcher Form und auf welchem Medium, nur gestattet, wenn ein separate schriftliche Genehmigung vom Autor und Urheber hierfür vorliegt.

Aachen, Deutschland, Dezember 2022  
Dr.-Ing. Ingo B. Hagemann





## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>9</b>
<b>2.</b>	<b>Bedeutung der Photovoltaik in der Architektur</b>	<b>11</b>
2.1	Zukunft der Energieversorgung	11
2.2	Nachhaltige Energiekonzepte in der Architektur	15
2.3	PV als Energieressource der Zukunft am Bau	19
<b>3.</b>	<b>Rahmenbedingungen des nachhaltigen Bauens mit Photovoltaik (PV)</b>	<b>25</b>
3.1	Anforderungen an den Städtebau	25
3.2	Anforderungen an die Gebäudeplanung	26
3.3	Einfluss des Nutzerverhaltens	30
3.4	Einfluss der öffentlichen Hand als Bauherr und als kontrollierende Instanz	30
3.5	Kontrollen zur Qualitätssicherung	34
<b>4.</b>	<b>Basiswissen der Nutzung von PV-Dünnschichttechniken</b>	<b>37</b>
4.1	Energiepotential der Sonne	38
4.2	Technische Grundlagen der PV-Dünnschichttechnik	41
4.2.1	Funktionsweise einer Solarzelle	41
4.2.2	Vorteile der PV-Dünnschichttechnik	41
4.3	Dünnschichtsolarzellen und -module im Detail	43
4.3.1	Amorphe Silizium (a-Si) Zellen und Module	44
4.3.2	CIS/CIGS-Zellen und -Module	49
4.3.3	Cadmium-Tellurid (CdTe) Zellen und Module	60
4.3.4	Farbstoffsolarzellen und Module (DSC)	65
4.3.5	Organische Photovoltaik (OPV)	67
4.4	PV-Systemtypen	74
4.4.1	Inselsysteme	75
4.4.2	Netzgekoppelte Systeme	76
4.5	Übersicht der PV-Systemkomponenten	77
4.5.1	Solarmodule	78
4.5.2	Wechselrichter	81
4.5.3	Verkabelung	85
4.5.4	Batteriespeicher	86
4.6	Ökologie	90

<b>5.</b>	<b>Farbgestaltungsmöglichkeiten der GIPV</b>	<b>93</b>
5.1	Farbige Polymerfolien	94
5.2	Farbige Gläser	96
5.3	Sandgestrahlte Frontgläser	98
5.4	Tiefentexturierte Frontgläser	100
5.5	Keramischer Siebdruck	101
5.6	Keramischer Digitaldruck	103
5.7	Optische Filter I: Spektral selektive Glasbeschichtung (Kromatix)	106
5.8	Optische Filter II: Spektral selektive Glasbeschichtung (ColorQuant)	107
5.9	Optische Filter III: Folie mit Nanopartikeln (Solaxess)	110
5.10	Optische Filter IV: OMO Elektroden	112
5.11	Farbstoffsolarzellen	114
5.12	Organische PV	116
<b>6.</b>	<b>Bautechnische und architektonische Integration der Dünnschicht-PV</b>	<b>119</b>
6.1	Integrationsstufen der GIPV	119
6.2	Multifunktionalität der GIPV	122
6.3	Planerische Grundregeln der GIPV mit Dünnschichtmodulen	126
6.4	Geeignete Flächen der Gebäudehülle für die GIPV	129
6.5	Einflussfaktoren auf den Energieertrag	130
6.5.1	Technische Einflussfaktoren	130
6.5.2	Planerische Einflussfaktoren	130
6.6	Sicherheitsanforderungen	133
6.6.1	Statische Anforderungen	133
6.6.1.1	Aufgeständerte PV-Systeme	133
6.6.1.2	Integrierte PV-Systeme	134
6.6.2	Brandschutztechnische Anforderungen	135
6.7	Projektpartner und Art der Zusammenarbeit	137
6.8	Planungshilfen	141
6.8.1	Checkliste	141
6.8.2	Abschätzungshilfe für Solarstromerträge	141
6.8.3	Programme zur PV-Ertragssimulation	142
<b>7.</b>	<b>Anwendungsfelder der Dünnschicht-PV</b>	<b>143</b>
7.1	Schrägdächer und PV	144
7.1.1	Planerische Überlegungen	144
7.1.2	Schrägdach-Montagesysteme für die PV	149
7.1.2.1	Auf-Dach-Montagesysteme	149
7.1.2.2	In-Dach-Montagesysteme	152
7.1.2.3	Komplette PV-Dachsystemlösungen	164

7.2	Flachdächer mit PV .....	166
7.2.1	PV-Aufständungen für Flachdächer.....	167
7.2.2	PV-Aufständungen für begrünte Flachdächer .....	169
7.2.3	Abdichtungsbahnen und -folien mit PV.....	173
7.3	Außenwände und Brüstungen mit PV.....	177
7.3.1	Nachträglich applizierte PV .....	179
7.3.2	Vorgehängte hinterlüftete Fassaden (VHF) mit PV.....	182
7.3.2.1	Linienförmige Halterungssysteme .....	184
7.3.2.2	Punktförmige Halterungssysteme.....	185
7.3.2.3	Rückseitig aufgeklebte Schienensysteme .....	195
7.3.3	Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) mit PV .....	203
7.4	Balkonbrüstungen und Brüstungsverkleidungen aus Glas mit PV .....	205
7.5	Glasfassaden und Über-Kopf-Verglasungen mit PV .....	209
7.5.1	Kalt/Warmfassade mit PV .....	211
7.5.2	Warmfassaden.....	211
7.5.2.1	Vorhangfassaden .....	212
7.5.2.2	Structural-Glazing-Fassaden .....	216
7.5.2.3	Doppelfassaden.....	218
7.5.2.4	Über-Kopf-Verglasungen .....	219
7.6	Sonnenschutz mit PV.....	225
7.6.1	Starre PV-Sonnenschutzsysteme .....	229
7.6.2	Bewegliche PV-Sonnenschutzsysteme .....	236
7.7	Membranen mit PV.....	241
7.7.1	Traglufthallen mit PV.....	241
7.7.2	ETFE-Foliendächer und PV .....	243
7.8	Seilnetze mit PV.....	246
<b>8.</b>	<b>Praxisbeispiele.....</b>	<b>249</b>
8.1	Stadtarchiv, Depot Amsterdam Nord, Amsterdam .....	249
8.2	South Beach, Singapur.....	259
8.3	Novartis Pavillon, Basel.....	271
<b>9.</b>	<b>Rechtliche Aspekte, Richtlinien und Normen .....</b>	<b>279</b>
9.1	Normen, Zertifizierungen und Qualifikationstests .....	281
9.2	Produktgarantien .....	291
9.3	Versicherungsschutz bei Montage und Betrieb .....	292
<b>10.</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>297</b>
10.1	Webseiten mit weiterführenden Informationen.....	297
10.2	Literaturverzeichnis .....	303
10.3	Bildquellen.....	307
10.4	Information zum Autor .....	309



## 1. Einleitung

Die Erhaltung der Umwelt, die Endlichkeit fossiler Energieträger und insbesondere der Schutz des Klimas und der Umwelt erfordern ein wirksames Handeln. Leitbild ist eine „nachhaltige Entwicklung“, die nicht zu Lasten zukünftiger Generationen geht. Der Appell der Weltklimakonferenzen seit Rio de Janeiro lautet: „Global denken – lokal handeln!“ Die Umsetzung dieser Zielvorstellungen erfordert einen Paradigmenwechsel auf vielen Ebenen.

Am Bau gehört die Zukunft denen, die auf einen rationellen Umgang mit Energie und auf die aktive Nutzung der Solarenergie, wie die Photovoltaik, setzen. Photovoltaik, abgekürzt „PV“, bezeichnet die Energietechnik, welche Sonnenlicht direkt in Strom umwandelt. „Photo“ (Griechisch: „phos“) bedeutet in Wortzusammensetzungen „Licht“. Das Teilwort „voltaik“ ist von dem Namen des italienischen Physikers Alessandro Volta, dem Begründer der Elektrizitätslehre, abgeleitet. Ihre Integration in Gebäudehüllen bzw. in Bauprodukte bezeichnet man als Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV) oder auch als Bauwerkintegrierte Photovoltaik (BIPV).

Die Photovoltaik ist eine faszinierende, ja geniale Technologie! Die Umwandlung von Sonnenlicht direkt in Strom erfolgt ohne Lärm, Abgase oder sonstige Emissionen. Fossile Brennstoffe werden bei diesem Umwandlungsprozess nicht benötigt und es fallen auch keine Abfallprodukte an. Von den verschiedenen regenerativen Energietechniken besitzt die Photovoltaik (PV) die vielfältigsten Nutzungsmöglichkeiten und ein breites Einsatzfeld weltweit.

Der Bausektor ist mittelfristig das wichtigste Anwendungsgebiet der Photovoltaik in den Industrienationen. Zusammen mit Maßnahmen der Energieeinsparung und Effizienzsteigerung erlaubt die PV langfristig die Realisierung der Vision einer Stadt, deren Strombedarf emissionsfrei und verbrauchernah durch zahlreiche Fassaden und Dächer mit integrierter Photovoltaik gedeckt wird.

Eine Architektur, die diesem nachhaltigen Leitbild folgt, trägt nicht nur zum Erhalt unserer Lebensgrundlagen bei, sondern bietet auch einen Gewinn an Lebensqualität und Wettbewerbsvorteile.

Die vorliegende Veröffentlichung konzentriert sich auf die Nutzung und Integration der sogenannten Dünnschichtsolarzellen in der gebauten Umwelt. Sie beschränkt sich damit auf Photovoltaikzellen der sogenannten 2. und 3. Generation. Photovoltaikzellen der

1. Generation, sogenannte mono- und polykristalline Zellen und Module, werden in dieser Publikation nur zum Vergleich herangezogen, aber ansonsten nicht näher betrachtet.

Neben einer Beschreibung der technischen Grundlagen und Darstellung der unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten der verschiedenen Photovoltaik-Dünnschichttechniken an Gebäuden werden auch die erforderlichen städtebaulichen und planerischen Rahmenbedingungen einer sinnvollen Nutzung der (Dünnschicht-) Photovoltaik an Gebäuden dargelegt.

Baurechtliche Bestimmungen werden allgemein betrachtet, da entsprechende Normen und Regelwerke in ihren Detailanforderungen projekt- und länderspezifisch unterschiedlich sind.

Verweise im Text auf weiterführende Informationsquellen, markiert in blauer Schrift, ermöglichen eine über den Rahmen dieser Studie hinausgehende vertiefende Auseinandersetzung mit einzelnen Themen. Quellenangaben der verwendeten Abbildungen befinden sich markiert mit einem "©" neben der jeweiligen Abbildung. In Kapitel „10.3 Bildquellenverweise“ sind zusätzlich die Webseiten der Bildrechteinhaber aufgeführt.

#### **Weiterführende Informationen**

**[1] Europäische Kommission: klima- und energiepolitischer Rahmen bis 2030**

→ [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_de](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_de) (12/2022)

**[2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. 2019. Klimaschutzplan 2050. Klimapolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. 2. Auflage.**

→ [https://ec.europa.eu/clima/sites/lts/lts\\_de\\_de.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/lts/lts_de_de.pdf) (12/2022)

**[3] Öffentliche Willensbekundung der Jugend**

→ <http://www.fridaysforfuture.de> (12/2022)

## 2. Bedeutung der Photovoltaik in der Architektur

### Merke:

- Eine globale Energiewende spart Kosten, bringt diverse Vorteile und ist heute machbar und unabdingbar
- Es ist heute erprobte Technik, Gebäude zu bauen, die sehr wenig bzw. keine Energie mehr für die Raumheizung benötigen
- Photovoltaik ist der Inbegriff einer umweltfreundlichen Energieversorgung und ein erfolgreicher Werbeträger.
- Gebäudeintegrierte Photovoltaik ist der entscheidende Schlüssel, um energieeffiziente Gebäude während ihrer Nutzungsphase von einem Energieverbraucher in einen Energieproduzenten zu verwandeln

### 2.1 Zukunft der Energieversorgung

Die Integration der Photovoltaik (PV) in die gebaute Umwelt (Abb. 2.1-01) steht vor dem Hintergrund eines sich abzeichnenden und dringlicher werdenden Wertewandels im Umgang mit Energie.

Ohne Energie kann unsere hochtechnisierte Welt nicht bestehen. Die weltweite Energienutzung beruht heute zu 80 Prozent auf fossilen Energieträgern. Bei ihrer Verbrennung gelangen Emissionen in die Umwelt, die Klimaveränderungen, Luftverschmutzung und Krankheiten bei den Menschen hervorrufen. Ihre Wirkungen können Emissionen lokal (Grobstaub, Benzol, Ruß), regional (Aerosolpartikel, kurzlebige Gase) oder global (langlebige Treibhausgase) entfalten. Gleich wo die Schmutzemittenten sich befinden, wir sind immer betroffen. Klimaschutz ist somit eine globale Herausforderung, die lokal in Angriff genommen werden muss.

Der weltweite Energiekonsum steigt ständig. Ein unbegrenztes Wachstum der Weltbevölkerung trägt ebenso dazu bei wie die



Abb. 2.1-01: PV-Dachaufständerung, Kohlenmischhalle der Zeche Pattberg, heute Riedel Recycling GmbH, mit 11.467 CdTe-Modulen

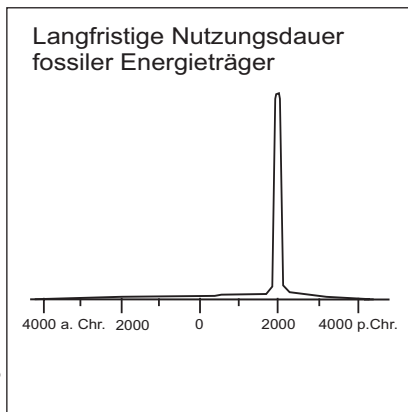


Abb. 2.1-02: Nutzungsdauer fossiler Energieträger



Abb. 2.1-03: „Fridays for Future“ Protest München



Abb. 2.1-04: „Fridays for Future“ Protest in Berlin



Abb. 2.1-05: CIGS-Röhrenmodule des Herstellers Tube Solar

berechtigten Anstrengungen der Entwicklungsländer, an den Lebensstil und die Komfortansprüche der Industrieländer anzuknüpfen. Länder mit einer hohen Bevölkerungsdichte, z. B. China und Indien, befinden sich in einer rasanten wirtschaftlichen Entwicklung. Energie und Nahrungsmittel für immer mehr Menschen werden benötigt. Verteilungskämpfe um die vorhandenen, immer knapper werdenden Ressourcen sind im Gange.

Die Folgen sind:

- Weiter steigender Energiebedarf bzw. -verbrauch
- Damit einhergehende fortschreitende Umweltzerstörung mit nicht mehr kontrollierbaren ökonomischen, ökologischen und gesundheitlichen Auswirkungen
- Verknappung fossiler Energieträger
- Steigende Rohstoff- und Energiekosten

Das steigende Ausmaß der Umweltschäden lässt die zum Teil strittige Diskussion, wie lange weltweit fossile Energieträger noch tatsächlich zur Verfügung stehen, nachrangig erscheinen. Die zunehmende Schädigung der Umwelt setzt Grenzen für ihre Nutzung. Langfristig ist die Verfügbarkeit fossiler Energieträger ohnehin auf eine relativ kurze Periode in der Entwicklungsgeschichte der Menschen begrenzt (Abb. 2.1-02). Die junge Generation fordert inzwischen mit ihren weltweiten Protesten im Rahmen der „Friday for Future“ Bewegung die Entscheidungsträger auf, entsprechend zu handeln (Abb. 2.1-03 und 2.1-04).

Einen Ausweg aus dieser Situation bietet gegenwärtig nur die Nutzung der Kernenergie und der regenerativen Energieträger (Abb. 2.1-05).

Die Nutzung der Kernkraft, die zweifellos noch einige Zeit unverzichtbar ist, birgt jedoch in sich die ungelösten Probleme der Entsorgung der anfallenden Abfälle und der Betriebssicherheit. Die immer wieder ins Bewusstsein rückenden zerstörerischen Urgewalten von Naturkatastrophen (Tsunamis, Erdbeben, etc.) weisen einmal mehr darauf hin, dass eine Absicherung gegen Schäden aus der Nutzung von Atomenergie nicht gewährleistet werden kann. Hinzu kommen die fatalen Folgen einer einseitigen Abhängigkeit von Großkraftwerken.

Somit bleibt langfristig aus heutiger Sicht nur die Nutzung regenerativer Energiequellen, gekoppelt mit einer rationellen Energienutzung und einer drastischen Energieeffizienzsteigerung, als Ausweg für



eine nachhaltige Entwicklung und Deckung eines weltweit wachsenden Energiebedarfs übrig.

Studien zeigen, dass eine globale Energiewende hin zu einer nachhaltigen Entwicklung und einer Nutzung regenerativer Energieträger zur Sicherung unserer Lebensgrundlagen nicht nur machbar und notwendig ist, sondern auch Vorteile bietet:

- Sie allein erlaubt es, die natürlichen Lebensgrundlagen der Menschen zu erhalten.
- Sie hilft die Energiearmut in den Entwicklungsländern zu beseitigen.
- Sie ist kostengünstiger als der herkömmliche Weg einer weiteren Nutzung fossiler Energieträger.
- Sie hat eine friedensfördernde Wirkung, da die Abhängigkeit von den regional konzentrierten Ölreserven sinkt.

Dies macht Mut! Eine zentrale Rolle fällt dabei langfristig der Solarstromerzeugung durch Photovoltaik und solarthermische Kraftwerke zu (Abb. 2.1-06, [1]).

Konsequenter Weise sieht der Ende 2019 als „European Green Deal“ vorgestellte Plan der neuen EU-Kommissionspräsidentin Ursula von der Leyen auch einen weit reichenden Umbau von Energieversorgung, Industrie, Verkehr und Landwirtschaft vor. Die EU-Kommission verstärkt ihr Engagement für den Klimaschutz: Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sollen bis 2030 um 50 bis 55 Prozent sinken,

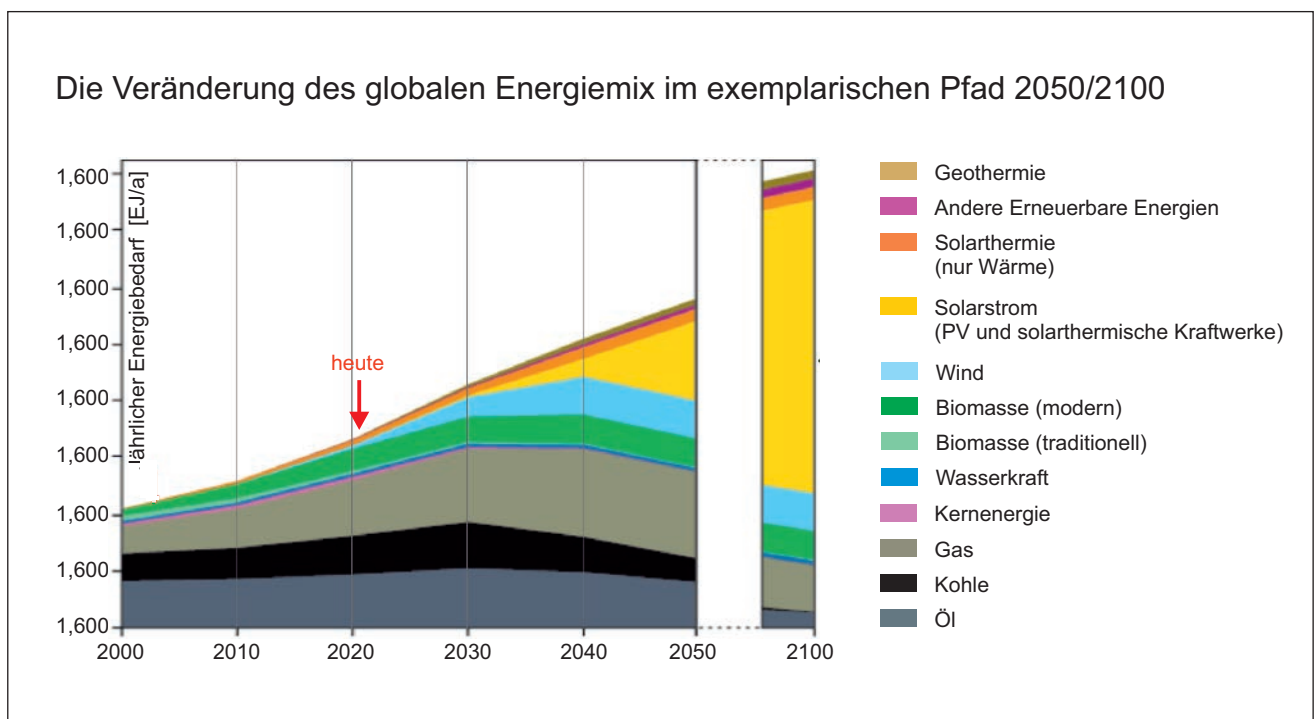


Abb. 2.1-06: Die Veränderung des globalen Energiemix im exemplarischen Pfad 2025/2100

gemessen am Basisjahr 1990. Bislang lautete das Ziel lediglich 40 Prozent. Bis 2050 soll die EU komplett klimaneutral werden.

#### Weiterführende Informationen

[1] WBGU (Hg.). 2003. „Welt im Wandel – Energiewende zur Nachhaltigkeit“. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. ISBN 3-540-40160-1; Zusammenfassung in Englisch:

→ [https://www.wbgu.de/fileadmin/user\\_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2003/pdf/wbgu\\_jg2003.pdf](https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2003/pdf/wbgu_jg2003.pdf) (12/2022)

[2] Ein europäischer Grüner Deal

→ [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en) (12/2022)



© Hagemann

Abb. 2.2-01: Dach mit PV+Solarthermiekollektoren, Haus „Kästli“, Zollikofen, Schweiz



© Hagemann

Abb. 2.2-02: Semitransparente a-Si-Glasfassade, Stadtteilzentrum Milbertshofen, München



© Hagemann

Abb. 2.2-03 Schwarze CIS-Fassadenverkleidung, Bürogebäude, Berlin



Abb. 2.2-04 Vogelperspektive „Utopia Pavilion“, Lissabon, Portugal



Abb. 2.2-05: CIS-Verkleidung, Schwörer Musterhaus, Wuppertal

## 2.2 Nachhaltige Energiekonzepte in der Architektur

Vor dem Hintergrund dieser skizzierten globalen Entwicklung wird die Dringlichkeit einer Energiewende deutlich. Zunehmend ist man daher national und lokal bemüht, in allen Bereichen eine möglichst rationelle Energieverwendung anzustreben und den Verbrauch fossiler Energieträger soweit wie möglich durch regenerative Energieformen zu ersetzen.

Diese veränderten Rahmenbedingungen bedeuten gerade für den Baubereich, dass tiefgreifende Veränderungen stattfinden werden. Insbesondere, da in den Industrieländern etwa ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs allein für die Gebäudeheizung benötigt wird. In privaten Haushalten werden sogar bis zu 80 Prozent der Energie für die Heizung eingesetzt. Dies deutet auf gigantische Einsparpotentiale, die es konsequent zu nutzen gilt, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Heute vorhandene Technik und Know-How erlauben es, Häuser zu bauen, die in der Jahresenergiebilanz deutlich weniger bzw. sogar keine Energie mehr für Raumheizung und Warmwasser benötigen (Abb. 2.2-01 bis 2.2-05). Insbesondere zahlreiche Beispiele aus Ländern wie der Schweiz, Österreich oder Deutschland belegen dies anschaulich. Die Europäische Union hat sich daher auch im Rahmen der „Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)“ in der konsolidierten Fassung das „Nearly Zero-Energy Building (NZEB)“ zum Ziel gesetzt [1].

Die Erschließung dieses Potentials ist gebunden an die Maßnahmenkette:

1. Energieeinsparung
2. Effizienzsteigerung der eingesetzten Mittel
3. Nutzung aktiver solarer Systeme wie Photovoltaik und Solarthermie

Solche energiesparenden Bauweisen bieten viel Qualität für wenig Energie und wirken steigenden Betriebskosten entgegen. Höhere Anfangsinvestitionen zur Senkung des Energieverbrauchs machen sich bezahlt. Energiesparende Bauweisen sind nicht nur umweltfreundlich, sondern bieten auch ein angenehmeres Raumklima als herkömmliche Bauten, z. B.:

- Höhere Oberflächentemperaturen  
Die Innenseiten der Außenwände, Dach, Bodenplatte und Fenster sind deutlich wärmer.
- Weniger Zugluft  
Fugen und Bauteilanschlüsse sind gut abgedichtet.
- Mehr Licht und Wärme  
Große Fenster nach Süden führen zu Wärmegewinnen und zu einer guten Ausleuchtung der Wohnräume.
- Bessere Luft  
Der Einbau von Pollenfiltern in automatische Lüftungsanlagen verbessert die Luftqualität deutlich.

Bezogen auf den gesamten Baubestand einer Volkswirtschaft setzen sich solche qualitativen Veränderungen im Baubereich nur sehr langsam und langfristig durch. Bedingt durch Konstruktionsaufwand, Materialwahl und Kosten besitzen Gebäude und städtische Infrastrukturen z. B. in vielen europäischen Ländern, im Vergleich zu anderen Produkten wesentlich längere Reinvestitionszyklen (Abb. 2.2-06). Neuerungen können erfahrungsgemäß erst dann realisiert werden, wenn Renovierung oder Neubau anstehen.

Durch eine prospektive Planung muss deshalb vermieden werden, dass der Zukunft das Korsett planerischer Entscheidungen der Gegenwart oder gar der Vergangenheit aufgezwängt wird. Die Neubauten von heute bestimmen auch noch über das Jahr 2050 hinaus unser gebautes Umfeld!

Das besondere Potential, das langfristig in der Nutzung der Photovoltaik im Bausektor besteht, wird deutlich, wenn man den Energiebedarf eines Gebäudes über seinen gesamten Lebenszyklus betrachtet.

Energie wird nicht nur in der Nutzungsphase eines Gebäudes aufgewendet, sondern auch für die verschiedenen Phasen seines Aufbaues und Abrisses (Abb. 2.2-07). Maßnahmen zur Energieeinsparung sind somit zwar sinnvoller und immer erster Schritt, doch können sie bestenfalls dazu führen, dass ein Gebäude während der Nutzungsphase keine zusätzliche Energie mehr benötigt.

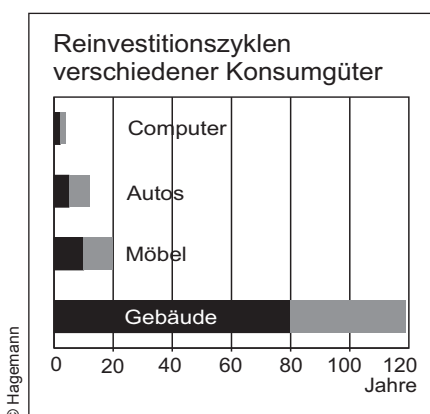


Abb. 2.2-06: Reinvestitionszyklen verschiedener Konsumgüter

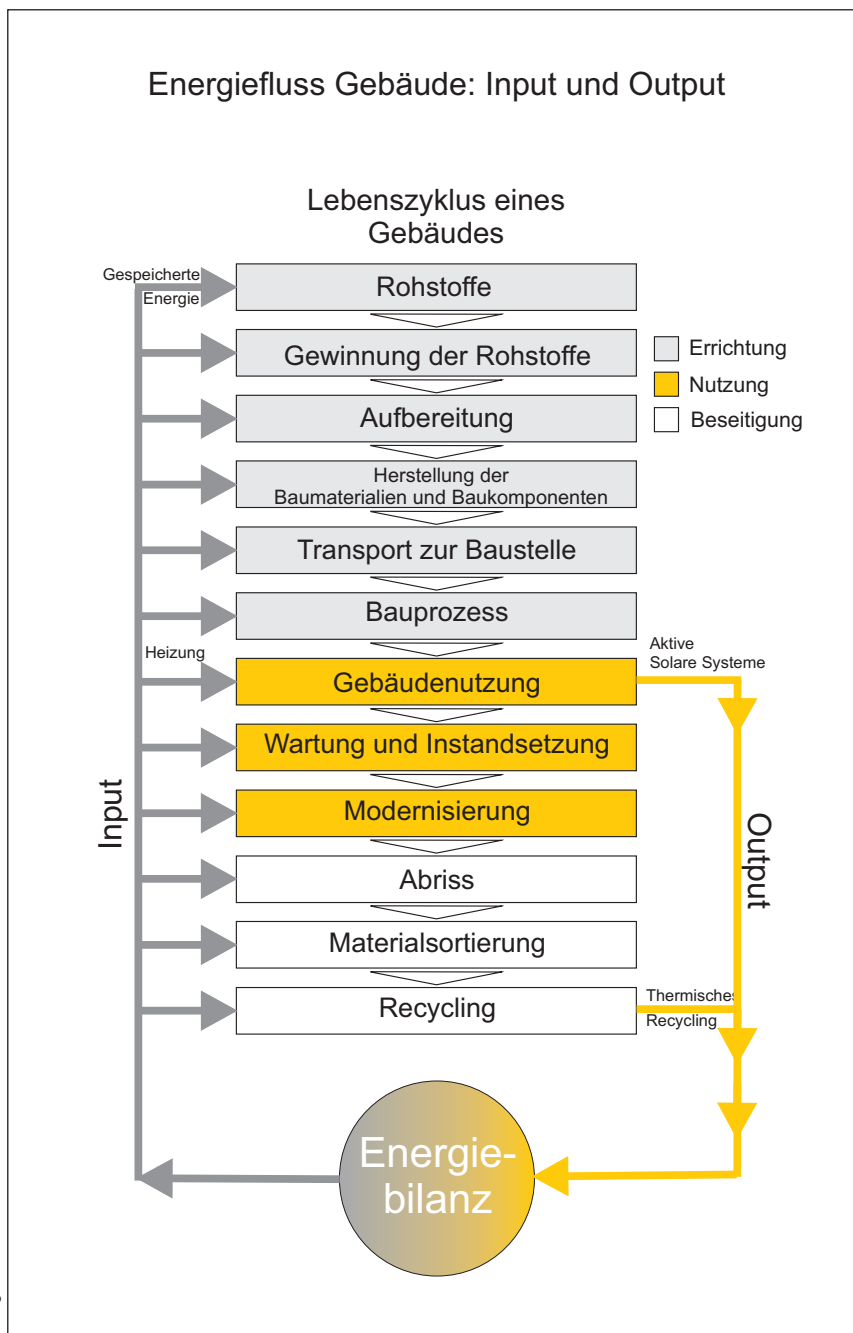


Abb. 2.2-07: Energie: Input und Output an einem Gebäude

Um aber langfristig dem Ziel der Nachhaltigkeit auch im Bauen näher zu kommen und – den Zyklen in der Natur vergleichbar – ein Gleichgewicht zwischen dem gesamten Energie-Input und Energie-Output eines einzelnen Gebäudes zu schaffen, ist man auf den Einsatz der Photovoltaik und Solarthermie angewiesen. Nur ihr Einsatz ermöglicht es, Gebäude während Ihrer Nutzungsphase von einem Energieverbraucher in einen Energieproduzenten zu verwandeln. Die erzeugte Energie kann dann auf den Energieverbrauch eines Gebäudes bei seiner Errichtung und seinem Abriss angerechnet werden.



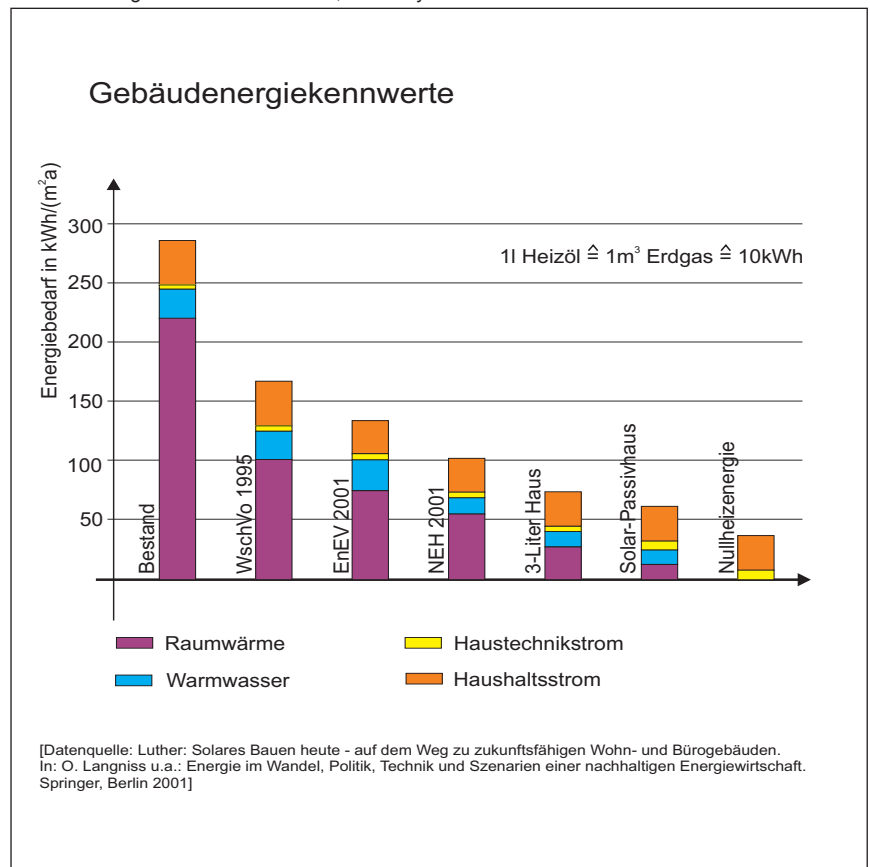
© tritec-winsun AG

Abb. 2.2-08: PV-Balkonbrüstungen und Fassadenverkleidung (a-Si), Solarsiedlung Hintere Lugeten, Einsiedeln, Schweiz



© Michael Moser Images

Abb. 2.2-09: Stadtentwicklung im Rahmen der IBA Hamburg. Softhouse: Dynamische Textilfassade mit integrierten CIGS-Modulen, Kennedy & Violich Architecture



© Hagemann

Abb. 2.2-10: Gebäudeenergiekennwerte

Der verbleibende Restenergiebedarf energieoptimierter Gebäude besteht überwiegend aus Haustechnik- und Haushaltsstrom (Abb. 2.2-10). Dieser kann idealerweise durch Solarstrom aus gebäudeintegrierten PV-Anlagen abgedeckt werden.

Die Vision einer Siedlung, die ihren Strombedarf mit PV deckt, ist damit greifbar (Abb. 2.2-08 und 2.2-09).

#### Weiterführende Informationen

##### [1] Nearly zero-energy buildings (NZEB)

→ [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en) (12/2022)

##### [2] EU Market Outlook for Solar Power 2019–2023

→ <https://www.solarpowereurope.org/eu-market-outlook-for-solar-power-2019-2023/> (12/2022)

### 2.3 PV als Energieressource der Zukunft am Bau

Die netzgekoppelte gebäudeintegrierte Photovoltaik, abgekürzt GIPV, oder sogenannte bauwerkintegrierte Photovoltaik, abgekürzt BIPV, nutzt die Vorteile der Photovoltaik und minimiert gleichzeitig die Auswirkungen der systemimmanenten Nachteile wie z. B. zusätzliche Kosten, Abhängigkeit vom Strahlungsangebot der Sonne und nicht zuletzt zusätzlicher Flächenbedarf zur Aufstellung der PV-Modulen. Kostbare Bodenflächen, besonders in dicht besiedelten Gebieten, bleiben so für anderweitige Nutzung frei.

Die Photovoltaik entwickelte sich in den letzten 30 Jahren mehr und mehr zu einem Inbegriff einer umweltfreundlichen Energieversorgung



Abb. 2.3-01: PV-Wandverkleidung (a-Si), ThyssenKrupp Stahl, Duisburg (51 kWp)

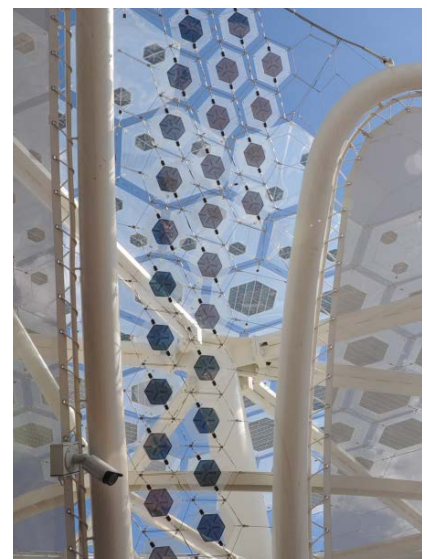


Abb. 2.3-02: Organische Photovoltaik, Deutscher Pavillon EXPO 2015 Mailand



Abb. 2.3-03: Weltweit erstes Bürogebäude mit PV-Glasfassade, STAWAG, Aachen

und eines erfolgreichen Werbeträgers (Abb. 2.3-01 bis 2.3-03). Sie ist die interessanteste und langfristig vielversprechendste Möglichkeit einer aktiven Sonnenenergienutzung am Bau. Bauprodukte mit Photovoltaik sind wahre Multitalente. Zusätzlich zur solaren Stromerzeugung können sie in der Gebäudehülle z. B. eine Funktion als Dachdeckung, Fassadenverkleidung, semitransparentes Glasfassadenelement, Oberlicht oder Sonnenschutzsystem übernehmen (vgl. Kapitel 6). Diese Flexibilität der PV-Technologie ermöglicht es, auf unterschiedliche technische und gestalterische Weise Gebäudeflächen zur solaren Stromerzeugung heranzuziehen, sowohl bei Neubau als auch im Rahmen der Altbausanierung.

Der direkt vor Ort produzierte Solarstrom kann zum Eigengebrauch genutzt werden oder als Beitrag für eine regionale und überregionale Stromversorgung ins öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Eine zusätzliche, extra aufgebaute Infrastruktur wird nicht benötigt. Zudem trägt die photovoltaische Stromproduktion dazu bei, die Spitzennachfrage nach Strom um die Mittagsstunden zu reduzieren (Abb. 2.3-04 und 2.3-05).



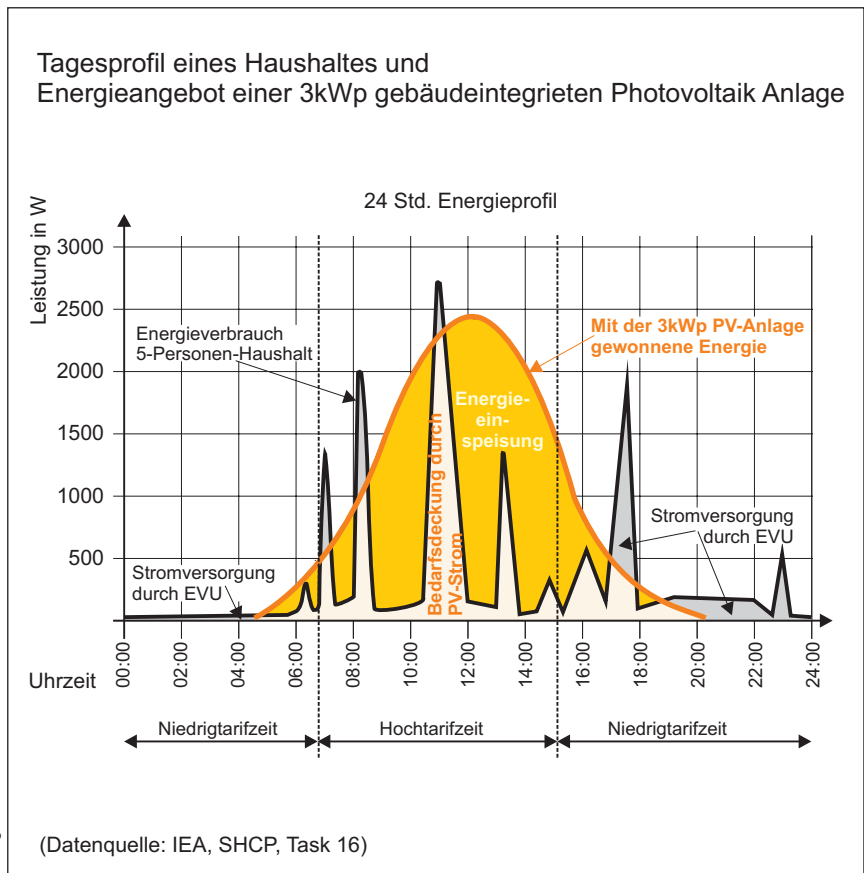


Abb. 2.3-04: Tagesprofil Haushalt

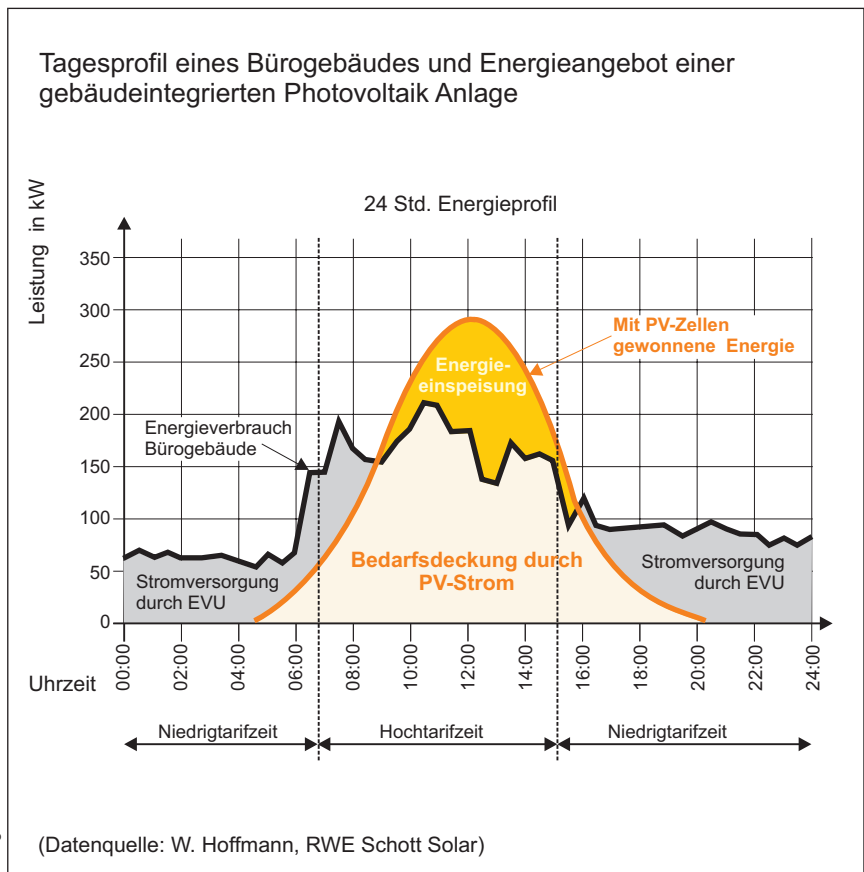


Abb. 2.3-05: Tagesprofil Büro

### Allgemeine Vorteile der Photovoltaik (PV):

- Nutzung der Sonne als unerschöpfliche Energiequelle:  
kein Verbrauch fossiler Energieträger erforderlich
- Umweltfreundlich:  
keinerlei Emissionen, keinerlei Abfallprodukte
- Kurze Energierücklaufzeiten
- Unabhängigkeit vom schwankenden Strahlungsangebot der Sonne: Das öffentliche Stromnetz als „Energiespeicher“
- Dezentrale Technologie:  
hohe Sicherheit und Kontrolle über den Zugang zur Energie
- Krisensicherheit
- Problemloser Transport:  
modulare Bauweise ermöglicht kostengünstigen Transport
- Verschleißfreiheit: Lebensdauer der PV-Zellen nur durch Qualität der Verkapselung begrenzt
- Senkung der Spitzenlast beim Strombedarf:  
maximale Solarstromproduktion in den Mittagsstunden

### Zusätzliche Vorteile der netzgekoppelten bzw. batteriegepufferten gebäudeintegrierten Photovoltaik (GIPV):

- Primärenergie- und Kosteneinsparungen:  
PV-Elemente ersetzen Gebäudebauteile und übernehmen ihre Aufgaben
- Schonung kostbarer Landressourcen:  
PV-Elemente nutzen Gebäude-, keine Freiflächen
- Vorbildcharakter: innovative Erscheinung der Gebäude
- Energiespareffekte:  
dezentraler Einsatz in der Nähe des Konsumenten beeinflusst  
Verbrauchsverhalten
- Verbrauchernahe Bereitstellung der in Zukunft primär benötigten Energieform Strom
- Modularer Aufbau:  
bedarfsorientierte Anpassung am Bau, ohne Beschränkung  
der Leistung oder Fläche möglich
- Nutzung der vorhandenen Infrastruktur bei Netzkoppelung:  
überflüssiger Strom kann ins öffentliche Stromnetz eingespeist  
werden

Der wahre Wert einer gebäudeintegrierten PV-Anlage ist nicht allein in der erzeugten Energie und den eingesparten Baumaterialien zu messen, sondern auch in den damit verbundenen ökologischen und volkswirtschaftlichen Vorteilen.

Bauprodukte mit Photovoltaik erfüllen die gleichen Aufgaben wie konventionelle Bauprodukte im Dach oder in der Fassade. Zusätzlich – und dies ist als ein Mehrwert zu betrachten – produzieren PV-Bauprodukte Solarstrom. Kein anderes konventionelles Bauprodukt der Gebäudehülle bietet einen vergleichbaren Zusatzwert!

Trotz höherer Anfangsinvestitionskosten erscheint es aus gesellschaftlicher Sicht sinnvoll (vgl. Kapitel 2.1), diese Technologie zu nutzen und zu entwickeln. Zudem sind bei einer internalisierten Kostenbetrachtung die finanziellen Aufwendungen für die Photovoltaik bereits jetzt niedriger als für die nicht erneuerbaren Energieträger.



### 3. Rahmenbedingungen des nachhaltigen Bauens mit Photovoltaik (PV)

#### Merke:

- Städtebauplanung und Bausatzung sollten das „Recht auf Sonnenlicht“ sicher stellen
- Städtebau- und Gebäudeplanung beeinflussen Energiebedarf der Gebäude sowie Energieertrag der Photovoltaik
- Energiekonzept unter Einbezug der Photovoltaik steht am Anfang der Gebäudeplanung
- Energie- und ökologiebewusstes Bauen ist nicht nur eine Frage der Architektur sondern auch der Vorgaben durch die Bauherrenschaft – Pflichtenheft erstellen
- Kontrollmaßnahmen sind erforderlich, um sicherzustellen, dass auch das gebaut wurde, was geplant war
- Staatliche und privatwirtschaftliche Aktivitäten und Fördermaßnahmen sollten beim Bau einer Solarstromsiedlung Hand in Hand gehen

Die erfolgreiche Umsetzung eines nachhaltigen Bauens unter Einbezug der (Dünnschicht-)Photovoltaik erfordert auf verschiedenen Ebenen Rahmenbedingungen, die beachtet werden sollten. Sie betreffen

- den Städtebau,
- das einzelne Gebäude,
- die Nutzer und
- die Kommune mit ihrer Vorbildfunktion als Bauherr und kontrollierende Instanz.

#### 3.1 Anforderungen an den Städtebau

Mit jedem städtebaulichen Entwurf werden bereits grundlegende energietechnische Festsetzungen getroffen, die auf Jahrzehnte Bestand haben (Abb. 3.1-01).

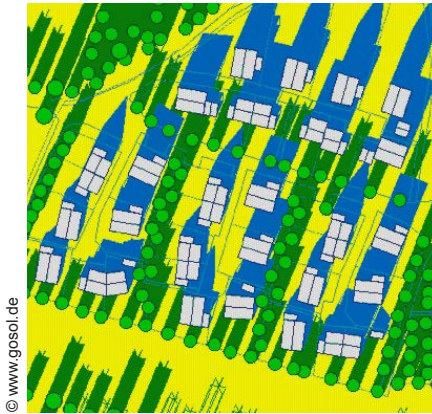
Durch städtebauliche Festsetzungen der Bauweise, der Geschoszahl, der First- und Traufhöhe der Gebäude, der Dachform, der Anordnung der überbaubaren Grundstücksfläche und des Maßes der baulichen Nutzung wird über die Gebäudegeometrie der spezifische Wärmeverlust der zukünftigen Gebäude innerhalb einer Spannweite von bis zu 60 Kilowattstunden je Quadratmeter Wohnfläche und Jahr vorbestimmt (vgl. Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hg.). 1999).

Deshalb sollte eine energieoptimierte Stadtplanung nicht allein nur auf technische Maßnahmen setzen, die das einzelne Gebäude



Abb. 3.1-01: Solarsiedlung Aachen-Laurensberg

© Prof. Dirk Slawski, Technische Hochschule OWL



© www.gosol.de

Abb. 3.1-02: GOSOL-Verschattungstudie für einen Städtebauentwurf

betreffen, sondern bereits im Vorfeld baulicher Maßnahmen auch die städtebaulich planerischen Möglichkeiten zur Reduzierung eines zukünftigen Heizwärmebedarfs der einzelnen Gebäude ausnutzen. Solar- und energietechnische Überlegungen sollten von Anfang an integraler Bestandteil der städtebaulichen Planung sein. Spezielle computerbasierte Analysewerkzeuge bieten auf dieser Planungsstufe solarenergetische Optimierungsmöglichkeiten an (Abb. 3.1-02).

Für die aktive Solarenergienutzung, wie die Photovoltaik, aber auch die Solarthermie, ist vor allem die Himmelsausrichtung, Neigung und Größe der geeigneten Gebäudeflächen von entscheidender Bedeutung. Eine Verschattung der für die aktive Solartechnik vorgesehenen Dach- bzw. Fassadenflächen sollte vermieden werden, um gute solare Energieerträge zu gewährleisten. Dies gilt vor allem für die Photovoltaik!

Städteplanerische Vorgaben und Bausatzungen sollten daher das „Recht auf Sonnenlicht“ schützen und dafür Sorge tragen, dass in Gegenwart und Zukunft Nachbargebäude, Bäume aber auch eventuell weiter entfernt errichtete hohe Gebäude die PV-Generatoren nicht verschatten können. Beachte: Licht und Schattenwurf sind in ständiger Bewegung in Abhängigkeit vom Sonnenstand. Bäume und Pflanzen wachsen!

### 3.2 Anforderungen an die Gebäudeplanung

Eine sparsame und effiziente Energienutzung ist der erste und wichtigste Ansatz bei der Planung eines Gebäudes, da es vorteilhafter und kostengünstiger ist, den Verbrauch zu reduzieren als umweltfreundlich neue Energien zu erzeugen. Eine aktive Solarenergienutzung unter Ausnutzung der gebäudeintegrierten Photovoltaik baut sinnvollerweise auf diesem ersten Schritt auf!

Am Beginn der Gebäudeplanung steht die Entwicklung eines energietechnischen Gesamtkonzeptes unter Einbezug der Photovoltaik, denn der Energiebedarf für ein Gebäude wird bereits in der Entwurfsphase durch Festlegung von Gebäudeform, -orientierung und -nutzung wesentlich beeinflusst (Abb. 3.2-01 und 3.2-02). Ein solarenergetisch optimierter Städtebau kann hier bereits Entscheidungen vorwegnehmen.

Der erste Schritt unter Beteiligung des Bauherrn ist eine präzise, detaillierte Aufgabenerfassung bezüglich der gewünschten Zielsetzungen und Energieverbräuche. Die besondere Bedeutung dieser (Vor-)Planungsphase kann nicht genügend herausgestrichen werden.

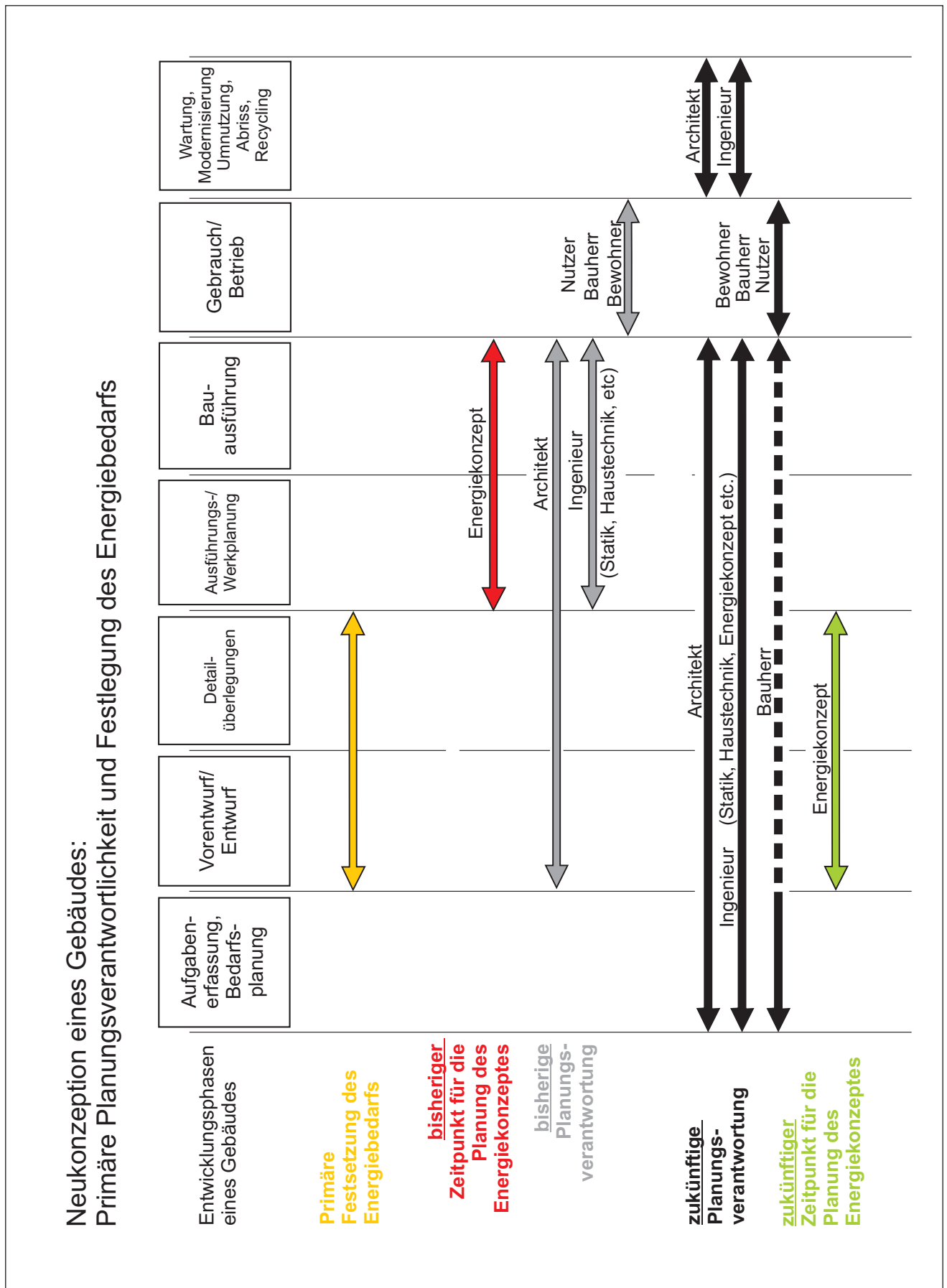


Abb. 3.2-01: Planungsverantwortlichkeiten

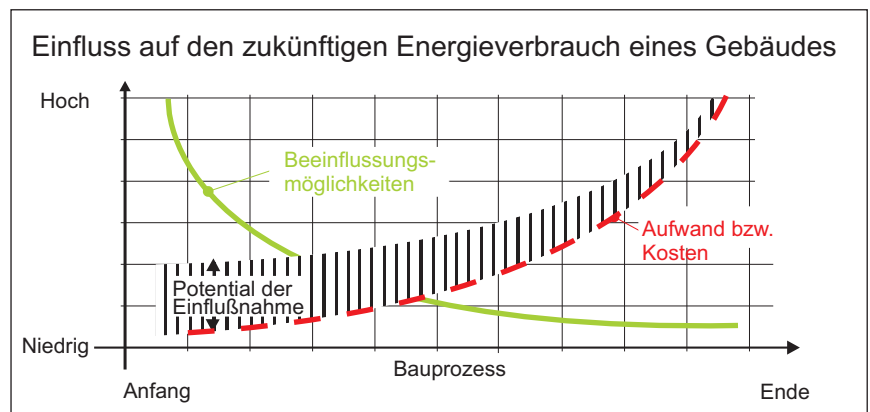


Abb. 3.2-02: Einfluss auf den zukünftigen Energieverbrauch eines Gebäudes

© Hagemann

Energie- und ökologiebewusstes Bauen ist keine Frage der Architektur, sondern der Vorgaben durch die Bauherrenschaft bzw. ihre fachlichen Vertreter! Hier ist vor allem auch der Architekt als Berater der Bauherren gefragt.

Im Rahmen dieser Studie zur gebäudeintegrierten Photovoltaik mit Dünnschichtsolarzellen ist es nicht möglich, näher auf die Vielzahl baulicher oder haustechnischer Konzepte und Maßnahmen zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung einzugehen.

Im Zusammenhang mit einer PV-Nutzung am Bau soll nur auf die Notwendigkeit und Möglichkeit hingewiesen werden, den Bedarf an Haushaltsstrom auch ohne Komfortverzicht deutlich zu reduzieren. Eine Orientierung über die Größenordnung möglicher Einsparpotentiale für Haushalte in Deutschland zeigt Abbildung 3.2-03, die die Stromverbräuche für Haushalte in Deutschland zeigt. Voraussetzung sind ein bewusstes Handeln und die Bereitschaft in moderne und effiziente Technik zu investieren.

Regelungen und Grenzwerte für einen sparsamen und effizienten Umgang mit Energie in der Gebäudeplanung führten dazu, dass in

Personen im Haushalt	sehr sparsam kWh	Durchschnitt kWh	extrem hoch kWh
1	750	1.730	3.150
2	1.450	2.930	5.750
3	1.900	3.750	7.500
4 (und mehr)	2.150	4.290	8.900

(Quelle: Bund der Energieverbraucher, Deutschland)

Abb. 3.2-03: Stromverbräuche im Haushalt

© Hagemann



verschiedenen europäischen Ländern Energieverbrauchstandards sich in den letzten Jahren etabliert haben.

In Deutschland ist dies das „Gebäudeenergiegesetz (GEG)“ in der aktuellen Fassung. Dieses Bundesgesetz führt das Energieeinspargesetz (EnEG), die Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) zusammen und ist ein zentraler Baustein der deutschen Wärmewende. In der Schweiz gibt es die Schweizer Norm „SIA 380/1“. Daneben gibt es etablierte nicht gesetzliche Standards, wie z. B. der „Passivhaus“- und der „Minergiehaus“-Standard. Hinzu kommen weitere Bezeichnungen für Energieverbrauchstandards von Gebäuden, die jedoch zum Teil nicht einer einheitlichen Normung unterliegen, z. B. „3-Liter-Haus“, „Nullenergiehaus“ oder „Plusenergiehaus“.

Inhaltlich ist den verschiedenen Standards, die eine Orientierung bzw. gesetzliches Rahmenwerk für die Bauschaffenden sind, gemein, dass sie Vorgaben für Energieverbräuche und Standards eines Gebäudes bezüglich der Baukomponenten und der Gebäudetechnik festlegen.

Als Maßstab für den Energieverbrauch eines Gebäudes dienen Begriffe wie „Spezifischer Heizwärmebedarf“, „Energieverbrauch“ oder „Energiezahl“. Sie bezeichnen die jährlich aufgewendete Energie zur Erwärmung eines Quadratmeters beheizter Fläche. Die den verschiedenen Standards zugrunde liegenden Berechnungsmodelle unterscheiden sich in ihren Bewertungsgrundlagen, so dass ein direkter Vergleich der Ergebnisse nicht möglich ist.

#### **Weiterführende Informationen**

**[1] Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze (Gebäudeenergiegesetz - GEG)**

→ <https://www.gesetze-im-internet.de/geg/> (12/2022)

**[2] Kriterien für den Passivhaus-, EnerPHit- und PHI-Energiesparhaus-Standard**

→ [http://passiv.de/downloads/03\\_zertifizierungskriterien\\_gebaeude\\_de.pdf](http://passiv.de/downloads/03_zertifizierungskriterien_gebaeude_de.pdf) (12/2022)

**[3] Schweizer Norm „SIA 380/1, Fassung vom 2016“**

→ [http://shop.sia.ch/normenwerk/architekt/380-1\\_2016\\_d/D/Product](http://shop.sia.ch/normenwerk/architekt/380-1_2016_d/D/Product) (12/2022)

**[4] Schweizerischer Minergie-P – Standard:**

→ <http://www.minergie.ch> (12/2022)



© Hagemann

Abb. 3.3-01: Verschattung PV-Brüstung durch Bettwäsche



© Hagemann

Abb. 3.3-02: Verschattung PV-Module durch Rankpflanzen

### 3.3 Einfluss des Nutzerverhaltens

In der Nutzungsphase eines Gebäudes ist das Verhalten der Menschen selbst von entscheidender Bedeutung. Mit einer zunehmenden energetischen Optimierung der Gebäude beeinflusst vor allem das Nutzerverhalten den tatsächlichen Energiebedarf eines Gebäudes (z. B. Abb. 3.3-01 und 3.3-02).

Soziale Strategien, die durch verstärkte Verhaltensänderungen der Bewohner den maximalen ökologischen und energietechnischen Nutzen eines Gebäudes erreichen, wurden bislang nur bedingt verfolgt, sind aber langfristig bedeutsam.

Bisher ist man auch noch nicht so weit gegangen, grundlegende Rahmenbedingungen festzuschreiben, die eine Umorientierung der Lebensweise der Bewohner erreichen sollen und gegebenenfalls auch - bei Nichteinhaltung - sanktioniert werden können.

In vielen Fällen ist schon jetzt ein aktives ökologisches und soziales Verhalten bei den Bewohnern von Solarbausiedlungen zu beobachten. Das Bewusstsein, in einem besonderen Gebäude zu leben, wirkt sich auf das Verhalten der Bewohner aus. Zur Schärfung dieses Bewusstseins ist jedoch eine intensive Informations-, Aus- und Weiterbildungsarbeit erforderlich, die alle beteiligten Bevölkerungsgruppen erfasst. Finanzielle Anreize, z. B. zum Kauf energiesparender Haushaltsgeräte etc., unterstützen solche Bemühungen.

Nachhaltiger, d. h. dauerhafter Erfolg kann jedoch nur erzielt werden, wenn Energieeinsparung ins Bewusstsein der Menschen rückt. Dies benötigt Zeit, denn nur ein gesellschaftlicher Wertewandel mit ökologischen Normen als tragende Säulen kann diese auf einer breiten gesellschaftlichen Basis herbeiführen.

### 3.4 Einfluss der öffentlichen Hand als Bauherr und als kontrollierende Instanz

Wie gezeigt werden konnte, sprechen viele Argumente für das nachhaltige Bauen unter Einsatz der Photovoltaik. Auch die Techniken dazu sind inzwischen verfügbar und erprobt, gleichwohl findet kontinuierlich eine Weiterentwicklung statt. Innovative Projekte mit (Dünnschicht-)Photovoltaik (Abb. 3.4-01, 3.4-02 und 3.4-08) haben z. B. in Deutschland an vielen Orten zu einer Stimulierung der lokalen Bauwirtschaft geführt und dazu beigetragen, dass auf lokaler

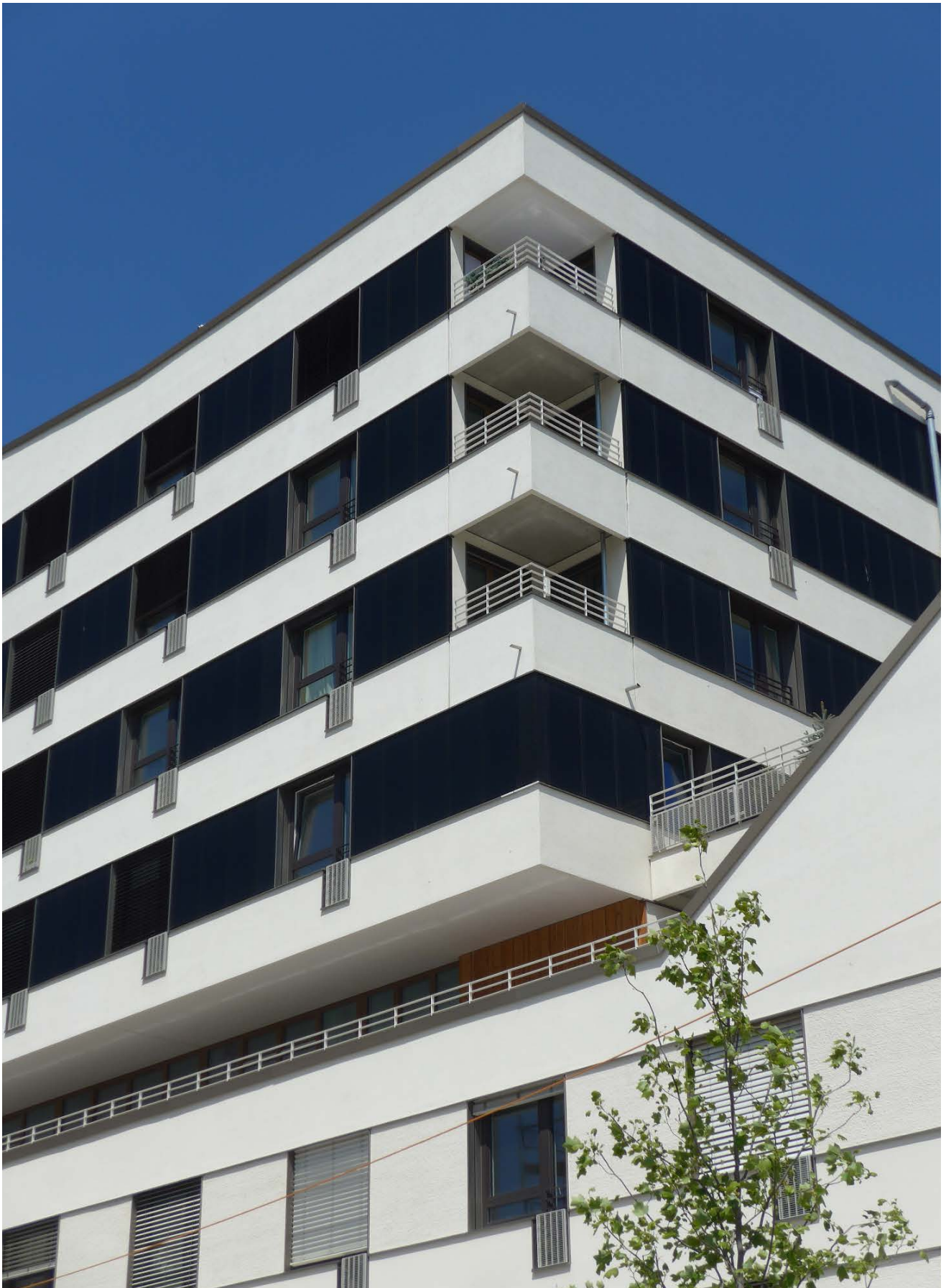


Abb. 3.4-01: CIGS-Fassadenverkleidung, Wohnungsbau, München

© Hagemann



© Linz AG

Abb. 3.4-02: CIGS-Fassadenverkleidung, IT+Data Centre, Linz

Ebene Aspekte der Nachhaltigkeit im Bauwesen Einzug gehalten haben.

Für eine von innovativen Projekten ausgehende Initialzündung ist es wichtig, dass Techniken zur Anwendung kommen, die in wirtschaftlicher Form umgesetzt werden können. Eine das Projekt begleitende intensive Aufklärungsarbeit ist unerlässlich. Hierfür müssen im Projektbudget Zeit und Mittel kalkuliert werden.

Im Wesentlichen geht es mittelfristig darum, Hemmnisse bei allen beteiligten lokalen Berufsgruppen auszuräumen und die Wissensbasis sukzessive zu verbessern. Dazu müssen Impulse gegeben werden. Dies ist in Zeiten einer zunehmenden Deregulierung und knapper Haushaltskassen besonders schwierig. Deshalb darf man nicht nur auf mögliche staatliche oder regionale Förderungen allein vertrauen. Ein Erfolg kann nur erreicht werden, wenn staatliche und privatwirtschaftliche Aktivitäten in einem sinnvollen Miteinander und Dialog entwickelt werden.

Entscheidend ist, dass die öffentliche Hand sowohl regional als auch national ihren Einfluss durch Vorgaben nutzt und ihrer Vorbildfunktio-

on bei eigenen Bauprojekten nachkommt. Entsprechend der Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten bieten sich der öffentlichen Hand unterschiedliche Handlungsmöglichkeiten, z. B.

- Bei Infrastruktureinrichtungen kann die öffentliche Hand z. B. eine Nutzung der Photovoltaik für möglicherweise günstige Anwendungen (Infotafeln, Verkehrssignale, Parkuhren etc.) ins Auge fassen. PV-Lösungen können hier kosteneffizient sein, da aufwendige Grabungsarbeiten für einen Netzanschluss entfallen.
- Im öffentlichen Raum befinden sich weitere zahlreiche Infrastrukturen, die Platz für eine PV-Anlage bieten. Die PV macht es möglich, solche baulichen Infrastrukturen (Lärmschutzwände, Sportstätten, Überdachungen) multifunktional zu nutzen.
- Anlagen Vorbildcharakter auf bestehenden Gebäuden der öffentlichen Hand können der Bevölkerung die neue und nachhaltige Technologie bekannt machen. Die öffentliche Hand kann z. B. auch Dächer eigener Immobilien zur PV-Nutzung zur Verfügung stellen bzw. selbst in PV-Anlagen investieren.
- Energieversorger und öffentliche Hand können eine Partnerschaft eingehen und gemeinsam zur Förderung der nachhaltigen Energieversorgung beitragen.
- Bei eigenen Bauvorhaben, Bauvergaben und Baulandabtretungen kann die öffentliche Hand z. B. nachhaltige Standards und innovative Produkte berücksichtigen bzw. unterstützen. Bauten können so mit nachhaltigen und damit zukunftsweisenden Standards erstellt werden.
- Die öffentliche Hand kann sich gezielt für eine energetisch und nachhaltig optimierte Stadtentwicklung einsetzen. Beispiele sind solare Siedlungen.

### Erfolgsbeispiel Freiburg

Beispielhaft für den Erfolg kommunaler Maßnahmen ist z. B. der Solarstandort Freiburg (z. B. Abb. 3.4-03 bis 3.4-06). Es sind aber nicht allein die Anzahl und die Größe der PV-Projekte, die das Profil Freiburgs als „Solarregion“ prägen. Bezüglich der Produktionsleistung gäbe es andere Städte und Regionen, die mehr aufzuweisen haben. Es sind vielmehr die umfangreichen Fördermaßnahmen der Stadt, die einmalige Dichte an Einrichtungen, Verbänden, Institutionen und Firmen der Solarbranche und die gelungene Verknüpfung dieser Potentiale.



Abb. 3.4-03: Solarsiedlung am Schlierberg, Freiburg



Abb. 3.4-04: Heliotop, Freiburg

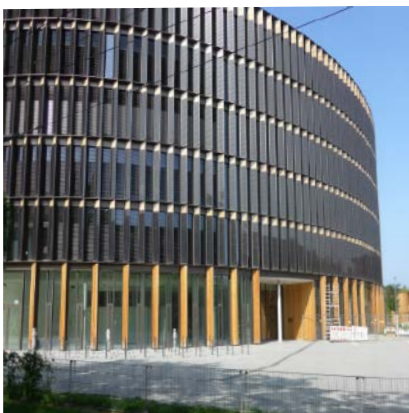


Abb. 3.4-05: Rathaus am Stühlinger, Freiburg



Abb. 3.4-06: PV-Fassade, Fraunhofer ISE, Freiburg

Folgendes Repertoire an kommunalen Fördermöglichkeiten zur Entwicklung der Solarenergie bzw. der Photovoltaik wurde eingesetzt:

- eigene städtische PV-Projekte
- Überlassung städtischer Dachflächen für PV-Projekte
- Förderprogramme durch städtische Gesellschaften
- Koordination der zahlreichen Aktivitäten und Entwicklung neuer Kooperationsmodelle
- Unterstützung von Solarvorhaben, Pilot- und Demonstrationsprojekten Dritter durch städtische Zuschüsse
- günstige städtische Grundstückskonditionen zur Ansiedlung innovativer Unternehmen
- offensive kommunale Forschungs- und Wirtschaftsförderung zur Sicherung bestehender und Ansiedlung neuer Solarinstitutionen und -betriebe
- Kostenlose Einstiegsberatung Photovoltaik
- intensive Öffentlichkeitsarbeit und Imagewerbung sowohl für Solarenergie selbst wie auch für den „Solarstandort“ Freiburg.

Neben einer ideellen und personellen Unterstützung gab es auch über mehr als 20 Jahre finanzielle Mittel für Investitionen, Zuschüsse und Fördermaßnahmen von der Stadt Freiburg sowie auch den Freiburger Stadtwerken. Andere Städte und Regionen folgen auf die ein oder andere Weise diesem Beispiel (Abb. 3.4-07 und 3.4-08). Die Entwicklung und Auswahl geeigneter Förderstrategien für ein nachhaltiges Bauprojekt sollte geprägt sein durch eine hohe Effizienz des Mitteleinsatzes. Dazu gehören auch geringe Verwaltungsaufwendungen in Verbindung mit einfachen, kurzen Verfahren für Antragsteller, was die Fördermittelvergabe betrifft.

Gesetzliche Regelwerke, lokale Bausatzungen und vertragliche Vorgaben bei Grundstücksverkäufen sind das wirkungsvollste Mittel zur Umsetzung von Maßnahmen zur Energieeinsparung, Effizienzsteigerung und Nutzung der Photovoltaik und anderer aktiver Solartechniken. Die öffentliche Hand, z. B. die Stadt bzw. Kommune, hat die Chance, die notwendigen Vorgaben im Vorfeld zu diktieren und sollte diese auch unbedingt nutzen!

### 3.5 Kontrollen zur Qualitätssicherung

Nachhaltige Erfolge stellen sich nur da ein, wo auch Kontrollen stattfinden, ob das, was geplant wurde, auch in der Baupraxis tatsächlich umgesetzt wurde und die eingebaute Solar- bzw.



Abb. 3.4-07: CIGS-Fassadenverkleidung, Wohnbebauung, Best, Niederlande



Abb. 3.4-08: Die Westspitze, Bürogebäude mit Nutzungsmischung in Holz-Hybridbauweise mit einer kompletten CIGS-Fassadenverkleidung, Tübingen

PV-Technik auch dauerhaft funktioniert. Zusätzliche Auswertungen ermöglichen einen Lerneffekt für zukünftige Planungen. Hierfür sind gegebenenfalls in den Projektkosten Budgets und Zeiträume zu berücksichtigen.

Ziele der Kontrollen und Auswertung sollten sein:

- Bewertung der ausgewählten energetischen und ökologischen Standards
- Baubegleitende wissenschaftlich/technische Information
- Qualitätssicherung durch Begleitung der Bauphase
- Bestimmung der Qualität und Quantität nicht-technischer Einflüsse (z. B. Nutzerverhalten)
- Ganzheitliche Analyse zur Fehlervermeidung für zukünftige Projekte
- Beratung und Schulung
- Erfahrungstransfer für zukünftige Bauvorhaben

Als erfolgreicher indirekter Kontrollmechanismus hat sich bei der PV am Bau in der Vergangenheit eine Förderung erwiesen, die nicht auf Zuschüssen beruhen, die z. B. an den Prozentsatz der Investitionskosten gekoppelt sind, sondern an die Menge der ins Stromnetz eingespeisten Energie. Auf diese Weise hat der PV-Anlagenbetreiber ein vitales Interesse an einer gut funktionierenden PV-Anlage, da ihm ansonst Einnahmen verloren gehen.

In Deutschland existiert die Einspeisevergütung für Photovoltaik seit Inkrafttreten des Erneuerbaren Energien Gesetzes im Jahr 2000. Da seitdem die Stromgestehungskosten gefallen sind, ist auch die Einspeisevergütung kontinuierlich gesunken. Betrug sie 2004 noch knapp 60 Cent/kWh, so liegt sie aktuell bei 8,6 Cent/kWh für kleine Hausdachanlagen bis 10 kWp. Für größere Anlagen liegt die aktuelle Einspeisevergütung bei 7,5 Cent/kWh (Anlagen kleiner als 40 kWp).



## 4. Basiswissen der Nutzung von PV-Dünnschicht-techniken

### Merke

- Die solare Einstrahlung übersteigt ein Vielfaches der von Menschen benötigten Energie
- Die Photovoltaik kann dieses Potential nutzbar machen
- Je nach Art der verwendeten PV-Dünnschichttechnik ergeben sich unterschiedliche Rahmenbedingungen und damit Einsatzbereiche
- Die PV-Dünnschichttechnik kann gestalterisch abwechslungsreich und technisch variantenreich an verschiedenen Stellen des Gebäudes eingesetzt werden

Die Planung eines gebäudeintegrierten PV-Systems erfordert die gleichzeitige Betrachtung gestalterischer, bautechnischer und elektro-technischer Aspekte, um dieses erfolgreich in die Gebäudehülle integrieren zu können (Abb. 4-01). Für die Bewältigung dieser Aufgabe ist der Baufachmann oder Architekt auf eine enge Kooperation mit einem PV-Ingenieur und der ausführenden Firma angewiesen. Ziel dieser Kooperation sollte es sein, ein qualitativ hochwertiges und sicheres gebäudeintegriertes PV-System zu errichten, das



Abb. 4-01: 600m<sup>2</sup> PV-Fassadenverkleidung mit CIGS Modulen, Gesamtleistung 600 kWp, ERBE Tübingen

- die Anforderungen und Wünsche des Kunden befriedigt,
- die standortspezifischen Faktoren des individuellen PV-Bauprojektes berücksichtigt und
- geltende bautechnische und elektrotechnische Regeln und Normen erfüllt.

Vorrangige Aufgabe des Architekten und Baufachmannes ist es, seine Kompetenz in Fragestellungen der gestalterischen bzw. bautechnischen Integration der Photovoltaik einzubringen. Dies ist auch wichtig, weil in vielen Fällen PV-Anlagen an Gebäuden weit hin sichtbar zu sehen sind. Gleichwohl gibt es heute mehr und mehr Möglichkeiten, PV-Anlagen gestalterisch am Bau so zu integrieren, dass sie „unsichtbar“ sind, d. h. die PV-Technik ist auf den ersten Blick also solche nicht mehr erkennbar. Das Wissen um diese neuen technischen Möglichkeiten sowie auch ein Grundverständnis von den elektrotechnischen Grundlagen der Photovoltaik ist für den Architekt und den Baufachmann wichtig. So vermeidet er, durch Unwissenheit gestalterische und bautechnische Entscheidungen zu treffen, die eine energietechnische und gestalterische optimale Nutzung der PV am Bau einschränken bzw. sogar verhindern könnten.

Nachfolgend werden die wichtigsten Grundlagen der Dünnschicht-PV-Technik dargelegt, um dann in den anschließenden Kapiteln mehr auf planerische und bauspezifische Aspekte der gebäudeintegrierten Photovoltaik einzugehen.

#### 4.1 Energiepotential der Sonne

Die vom Menschen durch den technischen Einsatz fossiler Energieträger freigesetzte Energie ist im Vergleich mit der Energie der solaren Einstrahlung auf die Erde äußerst gering. Dieses ungeheure, kostenlos überall zur Verfügung stehende Energiepotential der Sonne können wir mit der PV-Technik auf einfache Weise nutzen (Abb. 4.1-01).

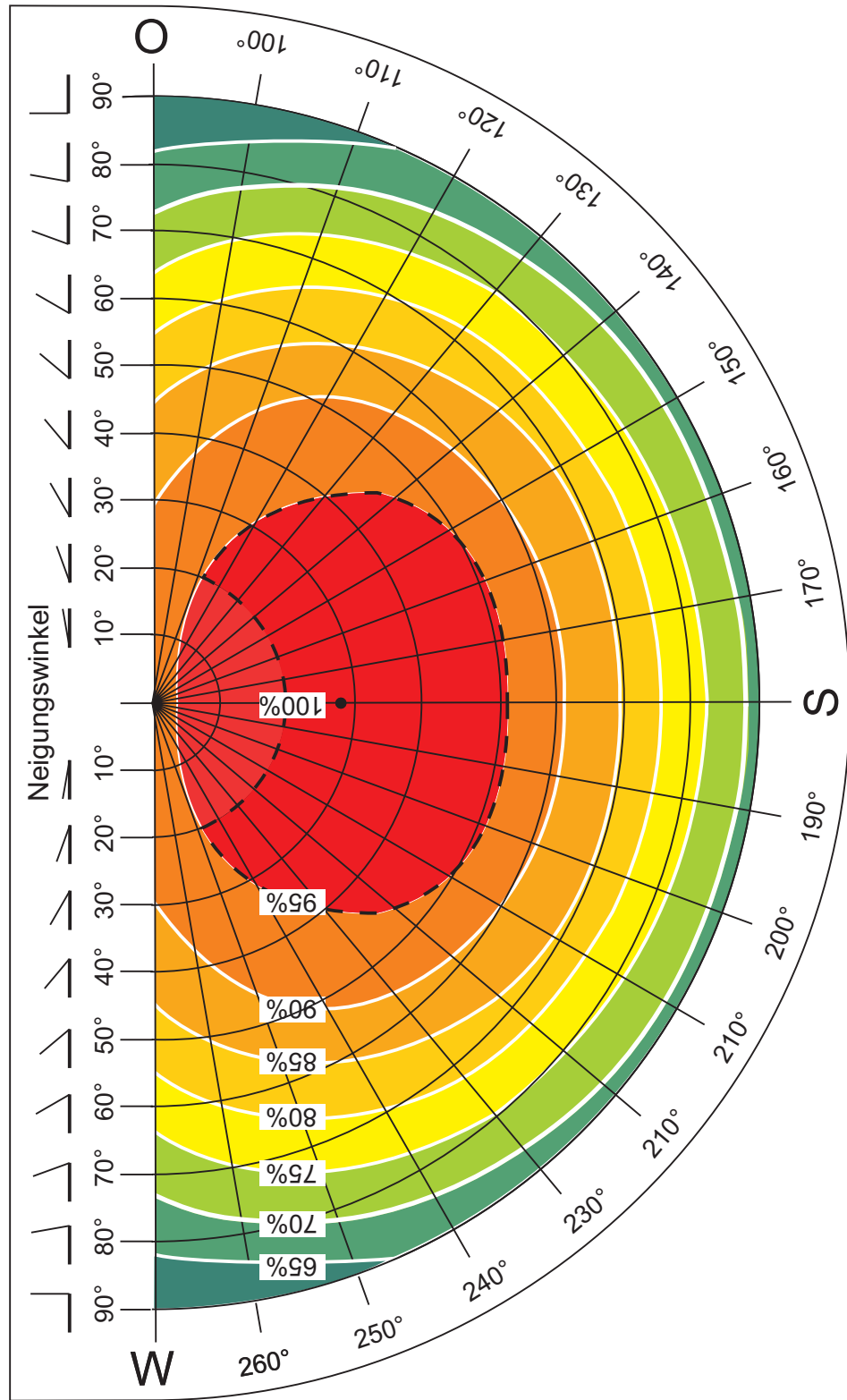
Die Leistungsdichte der extraterrestrischen Solarstrahlung beträgt in den äußeren Schichten der Erdatmosphäre etwa  $1.370 \text{ W/m}^2$  (= Solarkonstante). Diese Strahlungsenergie wird bei dem Weg durch die Erdatmosphäre durch Absorptions-, Streuungs-, und Reflexionsvorgänge gemindert, so dass nur etwa zwei Drittel dieser Strahlungsenergie an der Erdoberfläche ankommen. Diesen Strahlungsanteil bezeichnet man als Globalstrahlung. Sie setzt sich aus



Abb. 4.1-01: Flächenbedarf der PV

Relativer Anteil der Solarstrahlung auf einen PV-Generator bei verschiedenen Himmelsorientierungen und Neigungen für Essen, Deutschland (52° nördl. Breite)

Maximale Einstrahlung: 28° Neigung und Südausrichtung



(Datenquelle: RWE Energie AG, Essen)

© Hagemann

Abb. 4.1-02: Arbeitshilfe

direkter und diffuser Strahlung, die durch Streuung in der Erdatmosphäre entsteht, zusammen.

Die an einem Sommertag um 12 Uhr mittags maximal zur Verfügung stehende Globalstrahlung beträgt in unseren Breiten ca.  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Abbildung 4.1-02 fasst die Globalstrahlungsdaten und gemittelte Werte verschiedener Wetterstationen in einer Grafik zusammen. Sie gibt Auskunft über den relativen Anteil der Solarstrahlung auf einen PV-Generator bei verschiedenen Himmelsorientierungen und Neigungen beispielhaft für den Standort Essen. Sie ist damit eine erste und schnelle Hilfestellung für den Bauplaner und Bautechniker, um die Veränderung der Einstrahlungswerte für unterschiedliche Anordnungen von PV-Modulen in der Gebäudehülle abschätzen zu können.

Für die Höhe einer photovoltaischen Stromerzeugung ist vor allem der genutzte direkte Strahlungsanteil der Sonne von Bedeutung. Daher sollten Solarmodule nach Möglichkeit zum direkten Sonnenlicht ausgerichtet sein, auch wenn einige Dünnschichtmodule ein ausgesprochen gutes Schwachlichtverhalten haben.

In der Praxis bedeutet dies, dass ein  $1 \text{ m}^2$  großes PV-Modul mit einem Wirkungsgrad von 15 % bei einer Jahresglobalstrahlung von  $1.500 \text{ kWh/m}^2$  im Jahr 150 kWh Strom erzeugen kann.

## 4.2 Technische Grundlagen der PV-Dünnschichttechnik

### 4.2.1 Funktionsweise einer Solarzelle

Solarzellen bestehen aus unterschiedlichen Materialien und Materialkombinationen. Allen gleich ist, dass sie Sonnenlicht absorbieren und in Gleichstrom umwandeln. Diese direkte Umwandlung von Licht in elektrische Energie in einem Festkörper wird als photovoltaisches Prinzip bezeichnet.

Je mehr Licht die Zellen absorbieren und umwandeln können, desto effizienter arbeitet die Solarzelle. Dunkle Zellfarben absorbieren das Sonnenlicht besser als helle Farben. Vergleichbar ist dies mit dem bekannten Effekt, dass sich ein schwarzes Auto in der Sonne mehr aufheizt als ein weißes Auto.

Die Photovoltaik deckt durch ihre Modularität und Flexibilität ein breites Anwendungsspektrum ab. Sie bietet die Chance einer verbrauchernahen Strombereitstellung vor Ort in unseren Städten.

### 4.2.2 Vorteile der PV-Dünnschichttechnik

Bislang dominieren kristalline Zellen und Module mit ca. 90 % Marktanteil den Photovoltaik-Markt. Ihre hohe Effizienz und ihre seit langem etablierten Herstellungsprozesse ebneten in der Vergangenheit den Weg für diesen Erfolg. Gleichzeitig ist kristallines Silizium jedoch teuer und daraus gefertigte PV-Module besitzen aus ökologischer Sicht die längste Energierücklaufzeit unter allen Solarzellentypen.

Die Gruppe der Dünnschichtsolarzellen, die sogenannten Solarzellen der 2. und 3. Generation, setzt an diesen Punkten an und räumt mit diesen Nachteilen auf.

Ihr Vorteil gegenüber den sogenannten mono- und polykristallinen Zellen und Modulen liegt in den wesentlich dünneren photovoltaisch aktiven Schichten, die für die Lichtabsorption benötigt werden.

Die Festlegung von Form, Größe und Anzahl der einzelnen Zellen innerhalb eines Moduls, sowie die serielle Verschaltung der Zellen untereinander erfolgen schon beim Herstellungsprozess der Solarzellen durch eine spezifische Strukturierung der verschiedenen auf ein Trägermaterial aufbrachten Schichten. Diese Vorgehensweise erlaubt eine hohe Flexibilität bei der Festlegung des Verschaltungslayouts der PV-Module, da diese, anders als kristalline PV-Module,

nicht an die vorgegebenen Größen der Zellen gebunden sind. Abhängig von der jeweils gewünschten Spannung kann eine Unterteilung des Substrates in entsprechende Zelleinheiten erfolgen. Bei dem Strukturierungsvorgang muss jedoch darauf geachtet werden, dass die Einteilung der Fläche des Trägermaterials in einzelne Zellen so vorgenommen wird, dass hintereinander geschaltete PV-Zellen gleich groß sind. Zellen- und Modulherstellung verschmelzen bei der Dünnschicht-Zellentechnologie zu einem Prozess.

Beides zusammen trägt mit dazu bei, dass die Kosten sowie auch die Energierücklaufzeiten der Dünnschichtsolarzellen niedriger sind.

Aktuelle Forschungsanstrengungen auf diesem Gebiet verfolgen das Ziel,

- Zellen- und Modulwirkungsgrade weiter zu verbessern und
- Verarbeitungsmethoden dahingehend weiter zu entwickeln, dass die Herstellung von kundenspezifischen Dünnschichtmodulen mit projektspezifischen Abmessungen, Farben und Verschaltungslayout für kleine Produktionsserien zu niedrigen Zusatzkosten möglich wird.

Flexible Produktionsprozesse, insbesondere bei der Organischen Photovoltaik (OPV), ermöglichen es, individuelle Kundenwünsche zu befriedigen. Auch transparente PV-Zellen und PV-Module sind möglich. Beides führt zu zusätzlichen Anwendungsoptionen, die für den Bausektor interessant sind (vgl. Kapitel 7: Anwendungsfelder der Dünnschicht-PV). Von praktischer Bedeutung ist auch die höhere Verschattungstoleranz der Dünnschichtsolarmodule gegenüber kristallinen PV-Modulen.

Dünnschichtzellen bzw. -module gibt es in verschiedenen Ausführungen, je nach Substrat und Beschichtung. Die Spannbreite der physikalischen Eigenschaften und der Wirkungsgrade ist entsprechend groß. Neben den bereits beschriebenen Gemeinsamkeiten gibt es Unterschiede, die Einfluss auf die Einsatzmöglichkeiten der einzelnen Module am Bau haben.

### 4.3 Dünnschichtsolarzellen und -module im Detail

Für die Herstellung der Dünnschichtsolarzellen verwendet man unterschiedliche Ausgangsmaterialien. Abhängig davon unterscheidet man folgende Typen:

- amorphes Silizium (a-Si)
- Kupfer-Indium-Selen/Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIS/CIGS)
- Cadmium-Tellurid (CdTe)
- Galliumarsenid (GaAs)
- Farbstoffsolarzellen (DSC = Dye-sensitized solar cell)
- Organische Photovoltaik (OPV)

Die am häufigsten eingesetzten PV-Dünnschichttechniken am Bau sind derzeit die CdTe- und die CIS/CIGS-Zellen. Der Einsatz von Organischer Photovoltaik in der Gebäudehülle beginnt gerade erst.

Für den Bausektor praktisch ohne Bedeutung sind Galliumarsenid (GaAs) Solarzellen. Diese hoch leistungsfähigen Zellen bleiben aufgrund ihrer Kosten der Raumfahrt und anderen speziellen Anwendungen vorbehalten und werden daher in diesem Zusammenhang nicht näher betrachtet.

Nachfolgend eine detailliertere Auseinandersetzung mit den Zellen- und Modultypen, die heute eine Relevanz für den Bausektor haben bzw. in naher Zukunft haben könnten (Abb. 4.3-01).

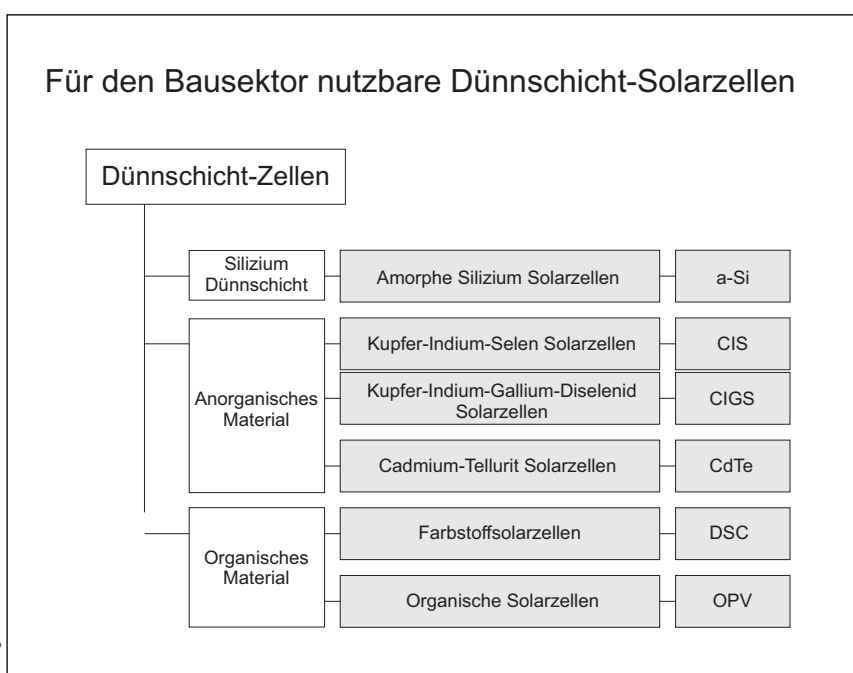


Abb. 4.3-01: Übersicht der relevanten Dünnschicht-Solarzellen für den Bausektor

### 4.3.1 Amorphe Silizium (a-Si) Zellen und Module

Amorphes Silizium besitzt einen hohen Absorptionskoeffizienten und benötigt daher nur sehr dünne photovoltaisch aktive Schichten (300 nm), um das Sonnenlicht zu absorbieren. Diese Schichten werden meist auf ein Trägermaterial aus Glas bzw. aus flexiblen Edelstahlfolien aufgedampft (Abb. 4.3.1-01).

Abhängig von dem eingesetzten Trägermaterial können so auch flexible und sehr leichte PV-Module gebaut werden.

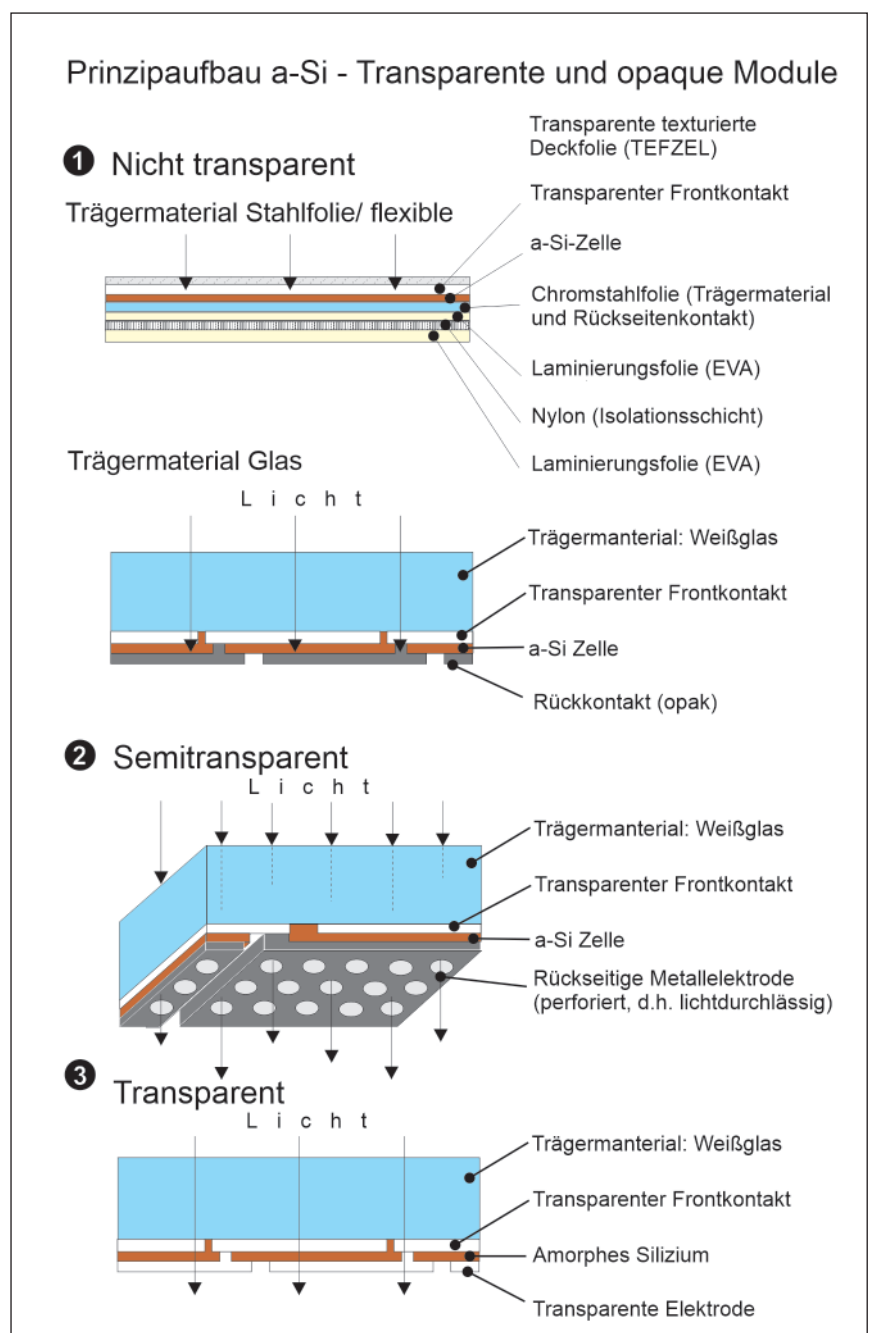


Abb. 4.3.1-01: Prinzipaufbau Amorpher (a-Si)Dünnschichtmodule



Der stabilisierte Wirkungsgrad von amorphen Zellen und Modulen ist mit 7%–8% gering. In den ersten sechs Monaten sinkt der Wirkungsgrad dieser Module um bis zu 25%. Erst dann wird ein stabiler Wert erreicht. Verantwortlich dafür ist ein technologisch bedingter Effekt der Lichtalterung. Die vom Hersteller angegebene Nennleistung dieser Module entspricht diesem stabilisierten Wert. Um den Wirkungsgrad zu verbessern, baut man Stapelzellen, bei denen mehrere amorphe Zellen mit unterschiedlichen Lichtabsorptionsverhalten übereinander angeordnet werden (Abb. 4.3.1-02). Damit lässt sich der stabilisierte Zellenwirkungsgrad auf bis zu 14% steigern.

Vorteil gegenüber mono- und polykristallinen Zellen ist die geringere Temperaturabhängigkeit des Wirkungsgrades, d. h. auf eine Hinterlüftung dieser Module kann im eingebauten Zustand bei Bedarf verzichtet werden.

Heute wird amorphes Silizium, aufgrund seines insgesamt niedrigen Wirkungsgrades und möglichen photoinduzierten Degradationsprobleme nur noch begrenzt eingesetzt. Die materialbedingten Nachteile dieser Solarzellentechnologie führten dazu, dass die Firma Uni-Solar, einst Vorreiter für den Einsatz flexibler, leichter amorpher Dünnschichtsolarmodule als Halbfertigprodukte im Bausektor, sich am Markt nicht dauerhaft behaupten konnte.

Niedrige Wirkungsgrade und Stabilitätsprobleme sind Eigenschaften, die das amorphe Silizium mit der Organischen Photovoltaik teilt (vgl. Kapitel 4.3.5). Im Verlauf der Produktion hat amorphes Silizium jedoch im Vergleich zur Organischen Photovoltaik deutlich höhere Treibhausgasemissionen und damit eine deutlich längere Energierücklaufzeit.

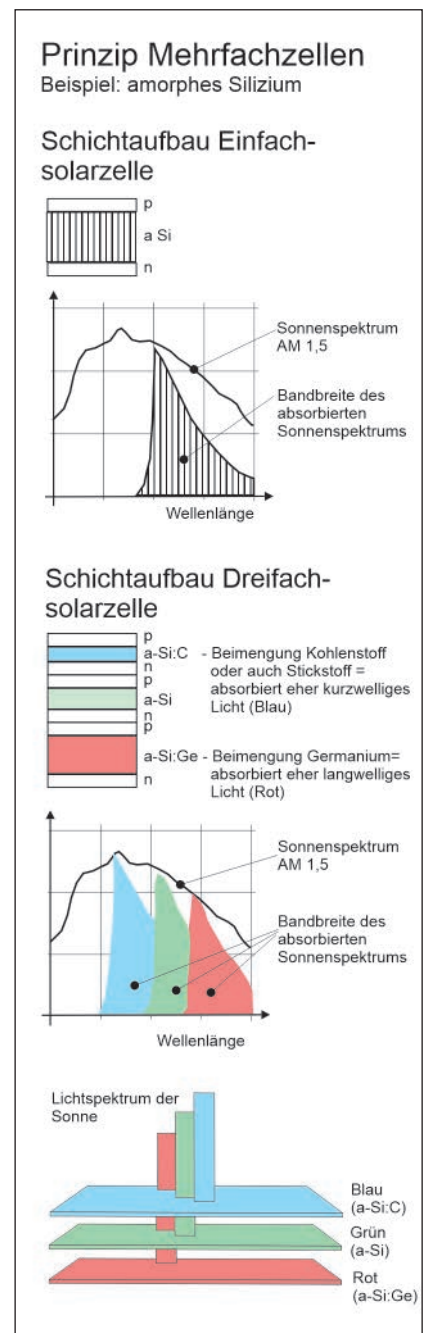


Abb. 4.3.1-02: Prinzip Mehrfachzellen



Abb. 4.3.1-03: Außenansicht mit Dach aus a-Si Modulen, Integer-House, BRE Smart

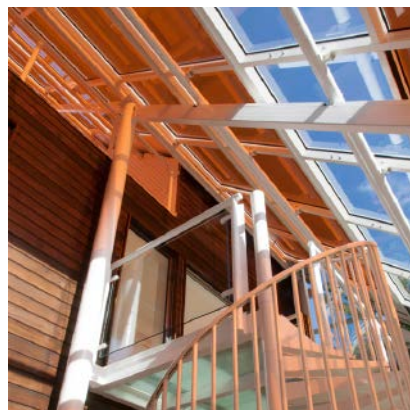
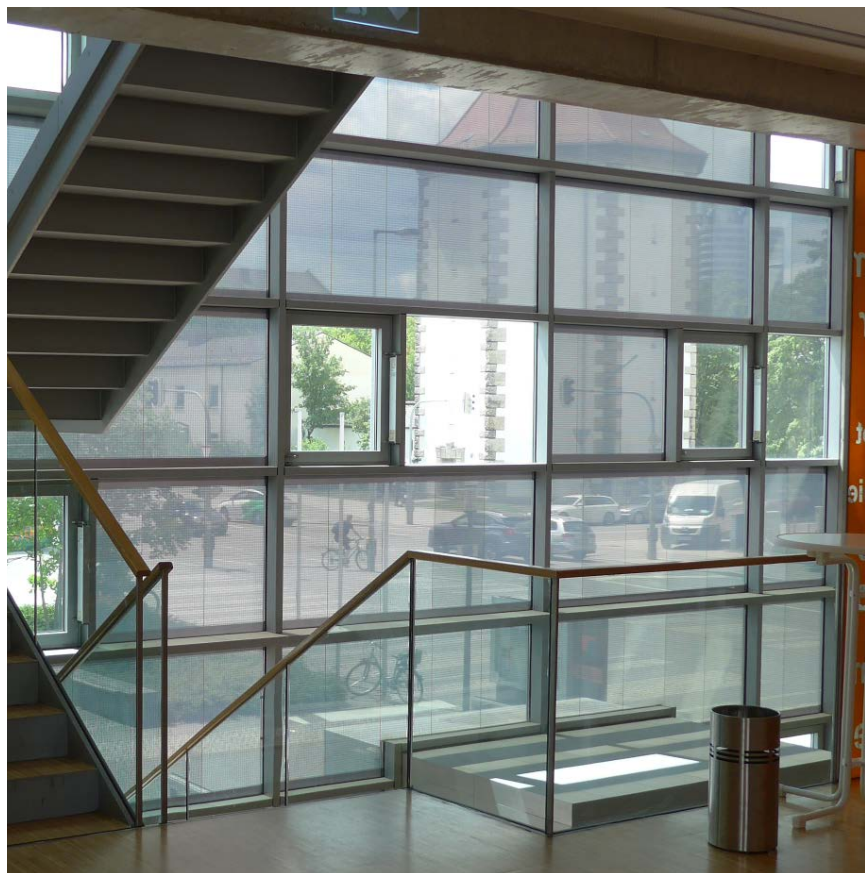


Abb. 4.3.1-04: Innenansicht der a-Si Module mit transparenten Deckelektroden



© Hagemann

Abb. 4.3.1-05: Semitransparente a-Si Isolierglasfassade, Kulturzentrum Milbertshofen, München



© Hagemann

Abb. 4.3.1-06: Detail semitransparentes a-Si Isolierglasmodul, Kulturzentrum Milbertshofen

**Aussehen/Farbe:**

- rotbraun, lichtundurchlässig oder lichtdurchlässig je nach Bauart

**Transparenz:**

- Bei Einsatz transparenter Deckelektroden und transparenter Trägermaterialien sind amorphe PV-Module lichtdurchlässig und lassen sich mit einer braunen Glasscheibe vergleichen. Beispiel: Integer House, BRE Smart Home in Watford, Anlagenleistung 3,3kWp, Jahresertrag: 3,500kWh/Jahr (Abb. 4.3.1-03 und 4.3.1-04).
- Die meisten amorphen PV-Module besitzen jedoch lichtundurchlässige Deckelektroden. Bei diesen Modulen kann durch das teilweise Entfernen der lichtundurchlässigen Schicht ein Transparenzeindruck erzeugt werden. Je mehr aktive Zellschichten entfernt werden, desto größer ist die Transparenz des amorphen PV-Moduls aber desto geringer ist auch der Wirkungsgrad (Abb. 4.3.1-05 und 4.3.1-06).

**Durchschnittlicher Modulwirkungsgrad:** ca. 2–9 %

**Durchschnittlicher Temperaturkoeffizient:**  $-0,21 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$

**Leistungsminderung/Alterung:** 0,85 %/Jahr

**Bautechnisch relevante Eigenschaften:**

- Sehr guter Temperaturkoeffizient; eignet sich daher für den Bau von nicht hinterlüfteten Sandwichkonstruktionen

**Vorteile:**

- Sehr guter Temperaturkoeffizient.
- Flexibilität, so dass eine Verwendung auf gewellten bzw. flexiblen Untergründen möglich ist (Abb.4.3.1-07 und Abb.4.3.1- 08).

**Nachteile:**

- Hohe Alterungsrate.
- Begrenztes Potential für eine weitere Erhöhung des Modulwirkungsgrades

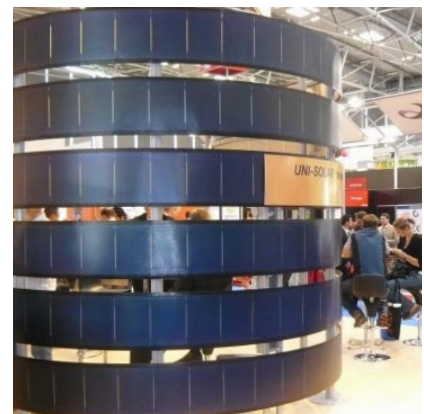


Abb. 4.3.1-07: Flexible a-Si Module

© Hagemann

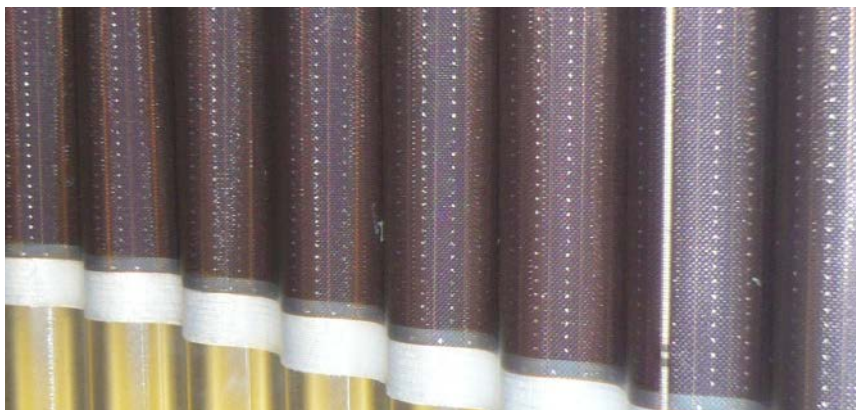


Abb. 4.3.1-08: Gewellte Aluminium Dachplatten mit flexiblen a-Si Modulen

© Hagemann

**Hersteller:**

- **Onyx Solar, Spanien (a-Si)** → [www.onyxsolar.com](http://www.onyxsolar.com) (12/2022)  
Onyx Solar ist ein Hersteller von transparenten PV-Glas-Modulen für den Einsatz am Bau. Diese PV-Module können die gleichen bautechnischen Spezifikationen erfüllen wie konventionelles Bauglas. Die Firma ist darauf spezialisiert, ihre PV-Produkte an Kundenwünsche anzupassen. Form, Farbe, Größe (maximal 2 m x 4 m), Dicke und der Transparenzgrad (max. 30 %) des PV-Glases können frei gewählt werden, was eine Integration in eine Vielzahl von Bauprojekten erleichtert. Daneben werden auch acht Standardformate für transparente a-Si-Module angeboten. (vgl. → <https://www.onyxsolar.com/product-services/amorphous-pv-glass> (12/2022)).
- **Polysolar Limited, England (a-Si)** → [www.polysolar.co.uk](http://www.polysolar.co.uk) (12/2022)  
Polysolar ist ein Entwickler, Designer und Installateur von architektonischen Solarlösungen. Die Firma bietet Systemlösungen für Überdachungen, Carports oder Verglasungen an, die mit unterschiedlichen, transparenten PV-Gläsern kombiniert werden. Transparente amorphe PV-Module bot Polysolar bis vor kurzem noch auf seiner Webseite in zwei Varianten an:

**„PS-ASG-Series Panels“:**

Diese Module haben eine dunkelbraune Optik und eine Leistung von bis zu  $72 \text{ W/m}^2$  abhängig vom Transparenzgrad. Der maximal mögliche Transparenzgrad liegt bei 60 %. Die Transparenz wird durch Wegnahme aktiver Zellenfläche erreicht.

**„PS-C Series transparent Panels“**

Diese bernsteinfarbenen, transparenten a-Si Laminate werden durch transparente Deckelektroden ermöglicht. Ihre Leistung beträgt bis zu  $66 \text{ W/m}^2$ . Diese Module wurden z. B. für die Schrägverglasung des Integer Home/ BRE Smart Home, Building Research Establishment (BRE) Innovation Park, Watford, verwendet (Abb. 4.3.1-03 und 4.3.1-04). Weitere Projektbeispiele finden sich auf der firmeneigenen Webseite. Dieses Produkt selbst wird seit kurzem auf der Webseite von Polysolar nicht mehr beworben.

### 4.3.2 CIS/CIGS-Zellen und -Module

In der Familie der CIS-Solarzellen kommen unterschiedliche Materialkombinationen zum Einsatz. Die Ausgangsmaterialien dieser PV-Zellen bestehen in der Regel aus Kupfer, Indium und Selen (= CIS-Zellen). Zur Verbesserung der Leitungseigenschaften wird Indium durch Gallium ergänzt bzw. teilweise durch Gallium ersetzt. Das Ergebnis sind sogenannte CIGS-Zellen, die sich am Markt weitgehend durchgesetzt haben (Abb. 4.3.2-01). Ebenso wird gelegentlich Selen durch Schwefel ersetzt bzw. ergänzt. Für eine Anwendung am Bau sind diese Materialunterscheidungen jedoch nicht weiter von Bedeutung.

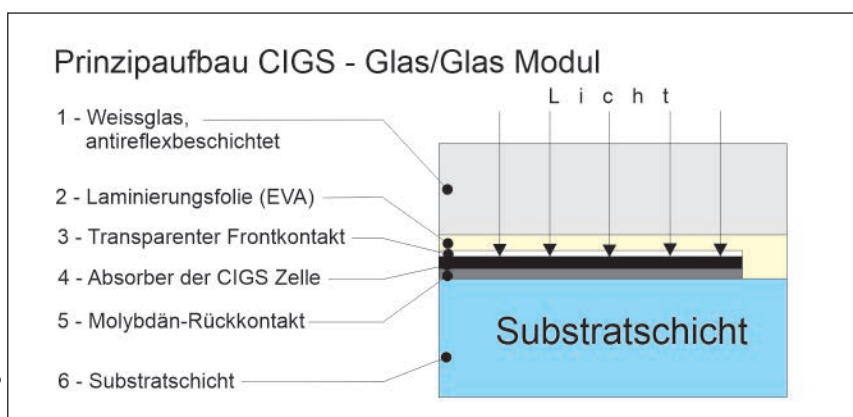


Abb. 4.3.2-01: Prinzipaufbau CIGS – Glas/Glas Modul

Weit mehr Auswirkung auf eine unterschiedliche Verwendbarkeit der Module am Bau hat die Auswahl des möglichen Trägermaterials für diese Zellen bzw. Module. Neben Glas (Abb. 4.3.2-02 und 4.3.2-03) können auch flexible Folien zum Einsatz kommen (Abb. 4.3.2-04). Dadurch entstehen sehr leichte und biegsame Module mit anderen Anwendungsmöglichkeiten am Bau (vgl. z. B. Kapitel 7.1.2.2).

Die CIS/CIGS Zellen werden zunächst auf die Modulrückseite, dem sogenannten Substrat, bei Temperaturen über 500 °C aufgedampft. Schwierigkeit dieses Prozesses ist es, eine auf die ganze Fläche bezogene, gleichmäßige Zellenbeschichtung zu erhalten. Anschließend werden die Module versiegelt und frontseitig mit einer transparenten Schutzschicht vor Witterungseinflüssen geschützt. Da das Modul mit den Zellen untrennbar verbunden ist, spricht man auch von einer monolithischen Bauweise.

In den meisten Fällen wird Glas als Substratschicht und auch für die Abdeckung verwendet. Da es Schwankungsbreiten bei der Qualität dieses Beschichtungsprozesses gibt, werden alle hergestellten Module einzeln geprüft, durchgemessen und in unterschiedliche Leistungsklassen eingeteilt. CIS/CIGS Zellen kennen nicht die



Abb. 4.3.2-02: PV-Glasmodule, Würth Tower, Heilbronn

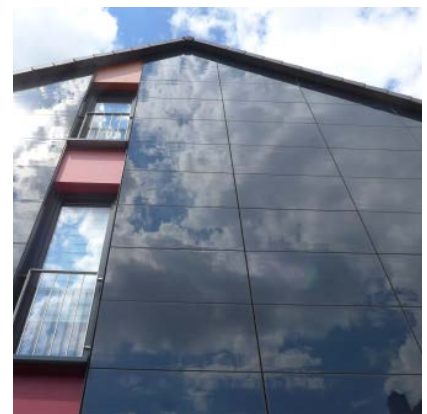


Abb. 4.3.2-03: CIGS-Fassadenverkleidung, Vivawest Plusenergiehaus, Bottrop

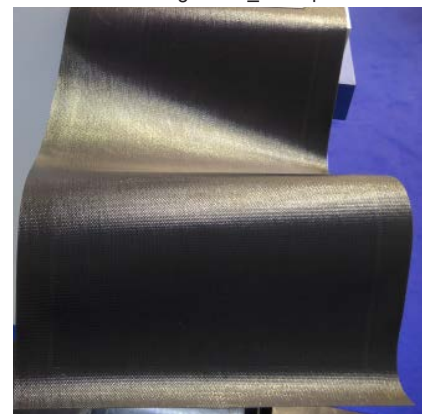


Abb. 4.3.2-04: Flexibles CIGS-Modul (Flisom AG)



Abb. 4.3.2-05: Flachdach mit Solyndra Modulen, Parts Europe, Wasserliesch



Abb. 4.3.2-06: Detail Aufständigung Solyndra Modulen, Parts Europe, Wasserliesch

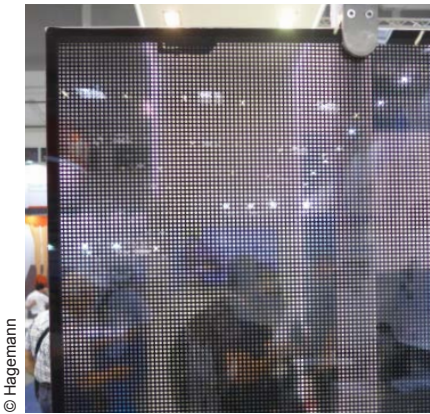
hohe Anfangsdegradation, wie dies von den a-Si Modulen bekannt ist. Sie weisen eine übliche Degradation auf, wie sie auch bei kristallinen Zellen beobachtet wird.

Unter den für den Bausektor relevanten Dünnschichttechnologien besitzen Module der CIS-Familie Wirkungsgrade von bis ca. 14 %. Ihre Effizienz ist dreimal so hoch wie bei der OPV. Verantwortlich dafür ist auch, dass diese Module von allen Seiten direktes und indirektes Sonnenlicht absorbieren und in Strom umwandeln können. Dies hat auch dazu geführt, dass röhrenförmige PV-Module mit diesem Zellentyp entwickelt wurden. Vorreiter war die Firma Solyn-dra, die jedoch inzwischen nicht mehr am Markt existiert.

Ihre Solarmodule bestanden aus zylindrischen Glasröhren mit integrierten CIGS-Dünnschicht-Zellen (Abb.4.3.2-05 und 4.3.2-06). Damit konnte das Sonnenlicht aus allen Richtungen unabhängig vom Tagesverlauf der Sonne optimal eingefangen werden. Ein Nachfolger, der diese interessante Idee aufgreift und weiterentwickelt, ist die noch junge Firma TubeSolar AG aus Augsburg ([www.tubesolar.de/](http://www.tubesolar.de/) 12/2022). Sie hat mit ihrem Produkt speziell den Markt der Agrophotovoltaik im Blickwinkel.

Auf dem deutschen bzw. auch europäischen Markt bewegen sich in den letzten Jahren vor allem Avancis und Nice Solar Energy auf den Bausektor zu und bieten Ihre PV-Glasmodule zusammen mit Montagesystemen und maßgeschneiderten Dienstleistungen an. Beide Firmen erschließen diesen Markt im Direktvertrieb und konzentrieren sich auf Systemlösungen für opake, d. h. lichtundurchlässige, Wandverkleidungen an Gebäuden. Beispiele hierzu finden sich in Kapitel 7.3.

Einen anderen Weg gehen Firmen wie Flisom, Globalsolar oder auch Midsummer. Sie verwenden hauchdünne Edelstahlfolien als Substratträger ihrer CIGS-Zellen. Anschließend werden diese mit unterschiedlichen Kunststofffolien zu einem Modulverbund verbunden, der so vor Witterungseinflüssen von außen geschützt ist. Es entstehen sehr leichte und flexible PV-Module. Die daraus entwickelten Bauprodukte können mittels einer Klebeschicht direkt flächenbündig auf unterschiedlichen Dach- und Fassadenflächen am Bau montiert werden.



© Hagemann

Abb. 4.3.2-07: Ausgestelltes semitransparentes CIS-Modul (Solibro) auf der Intersolar 2018

**Aussehen/Farbe:** Schwarz, lichtundurchlässig  
**Transparenz**

- Sie kann durch partielles Entfernen der Halbleiterschicht sowohl durch Wasserstrahlpolieren also auch Sandstrahlen unter Verwendung einer Siebdruckmaske hergestellt werden. Experimente gab es von Solibro Research (Abb. 4.3.2-07). Entsprechende Produkte werden derzeit nicht angeboten.

**Durchschnittlicher Modulwirkungsgrad:** ca. 14–16 % (Opak)

**Durchschnittlicher Temperaturkoeffizient:**

- $-0,35\%/^{\circ}\text{C}$  Leistungsminderung/Alterung:  $0,65\%/Jahr$

**Vorteile:**

- Gutes Temperaturverhalten bei Erwärmung.
- Gutes Schwachlichtverhalten, d. h. die Leistungsfähigkeit der Module ist größer als bei kristallinen Modulen, da Strom auch bei Morgenlicht, Abenddämmerung, diffusem Licht oder bewölktem Himmel produziert wird.
- Hohe Schattentoleranz.

**Nachteile:**

- Indium und Gallium sind ein knappes Gut. Dieser Umstand könnte die Entwicklung komplizierter Recyclingprozesse erforderlich machen.

**Hersteller:**

- **NICE Solar Energy, Deutschland (CIGS)**

→ [www.nice-solarenergy.com](http://www.nice-solarenergy.com) (01/ 2022)

Nice Solar Energy stellt Standardmodule mit der Abmessung von 600 x 1.200 mm her. Stufenlos skalierbare Größen von 100 mm x 100 mm bis 2.400 mm x 4.200 mm sind grundsätzlich möglich. Sonderformate werden durch Zuschnitt oder durch das Zusammensetzen mehrerer Module zu größeren Einheiten hergestellt.

Ein Beispiel dafür ist die opake PV-Fassadenverkleidung des Petermann Tower in Basel (Abb. 4.3.2-08). Im Detailbild zur Montage der Fassade kann man die aus jeweils drei PV-Modulen zusammengesetzten Fassadenelemente erkennen (Abb. 4.3.2-09), die die Verkleidung zwischen den einzelnen vertikalen Fenstern bilden. Insgesamt kamen bei diesem PV-Projekt 450 unterschiedliche Fassadenelement-Typen zum Einsatz.

Module des Herstellers können durch einen aufgetragenen keramischen Siebdruck unbegrenzt farblich gestaltet werden. Standardfarben sind: Weiß, Blau, Rot, Grün, Gelb, Orange, Elfenbein, Rotbraun und Ockerbraun. Der Deckungsgrad des Siebdrucks

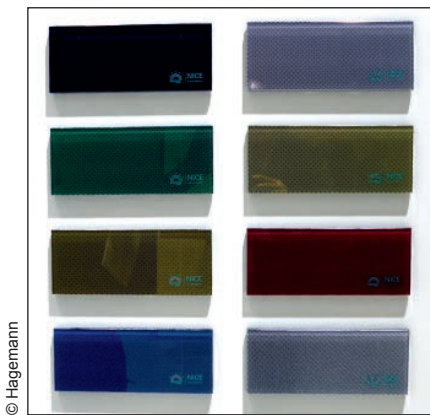




Abb. 4.3.2-08: Petermann Tower, Basel mit einer Gebäudehüllenfläche aus CIGS-Modulen



Abb. 4.3.2-09: Drei einzelnen CIGS Module wurden an dieser Stelle zu einem Fassadenverkleidungselement zusammengesetzt



© Hagemann

Abb. 4.3.2-10: Nice SE Farbmuster Keramischer Siebdruck

kann angepasst werden. Je höher der Deckungsgrad ist, desto geringer ist jedoch die Energieausbeute des Moduls, da aktive Zellenfläche abgedeckt wird (Abb. 4.3.2-10, Details vgl. Kapitel 5.5 Keramischer Siebdruck).

Zur Montage der Module an Fassaden werden die beiden Montagesysteme des Herstellers Sto, „StoVentec ARTline Invisible“ (Abb. 4.3.2.11) und „StoVentec ARTline Inlay“ (Abb. 4.3.2.12) verwendet. Beide besitzen eine Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung (abZ). Sto hat jedoch diese beiden Montagesysteme kürzlich aus dem eigenen Sortiment herausgenommen.

Um die eigene Wertschöpfungskette zu verbessern, bietet NICE Solar Energy auch das firmeneigene Montagesysteme „Framline“ für ihre gerahmten (Abb. 4.3.2-12 und Abb. 4.3.2-13) und ungerahmten (Abb. 4.3.2-14) CIGS-Glas-Module an.



© Hagemann

Abb. 4.3.2-11 CIGS-Fassadenverkleidung, Laborgebäude „Walther-Hempel-Bau“, TU Dresden mit 777 rahmenlosen PV-Modulen, 58 kWp,



© Hagemann

Abb. 4.3.2-12: CIGS-Fassadenverkleidung, IMS Verbindungstechnik, Neuenstein, 6 kWp, 65 m<sup>2</sup>



© Hagemann

Abb. 4.3.2-13: CIGS-Fassadenverkleidung des ZSW, Stuttgart mit „PV-Framed Facade System“, NICE Solar Energy, 29 kWp, 256 m<sup>2</sup>



© Hagemann

Abb. 4.3.2-14: „PV-Framless Facade System“, NICE Solar Energy

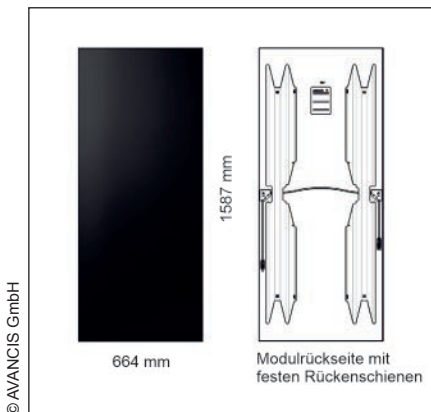


Abb. 4.3.2-15: SKALA®-Modul mit Backrail-System

- **AVANCIS GmbH, Deutschland (CIGS)**

→ [www.avancis.de](http://www.avancis.de) (12/2022)

Avancis bietet rahmenlose Module mit einem Backrail-System an, das gleichzeitig zur Stabilisierung als auch zur Montage der Module dient. Für Solarfassaden gibt es den Modultyp „SKALA®“ mit Allgemeiner Bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) und für Aufdachanlagen den Typ „PowerMax®“.

Die angebotenen SKALA®-Architekturmodule besitzen das Standardformat von 1.587 mm x 664 mm (Abb. 4.3.2-15). Jedes Modul kann bei gleicher Breite von 664 mm in der Höhe von 664 mm bis 1.587 mm angepasst werden.

Die SKALA®-Module gibt es in verschiedenen Farben (Abb. 4.3.2-16 bis 4.3.2-18). Abbildung 4.3.2-17 zeigt die aktuelle Farbpalette. Neben dem schwarzen Standardmodul sind dies drei verschiedene Grautöne und fünf weitere Farbtöne. Die Farbgestaltung erfolgt mit Hilfe einer hauseigenen Farbtechnologie. Die damit verbundenen Leistungseinbußen liegen im Bereich von 10 % bis ca. 20 % gegenüber einem schwarzen Standardmodul abhängig vom gewählten Farbton.

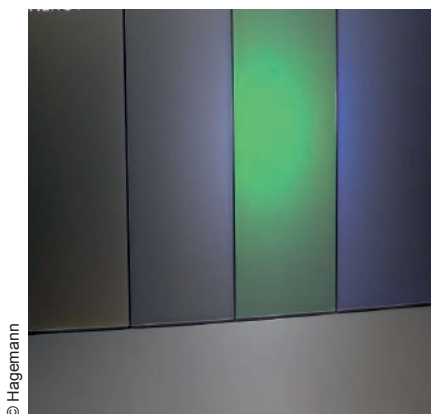
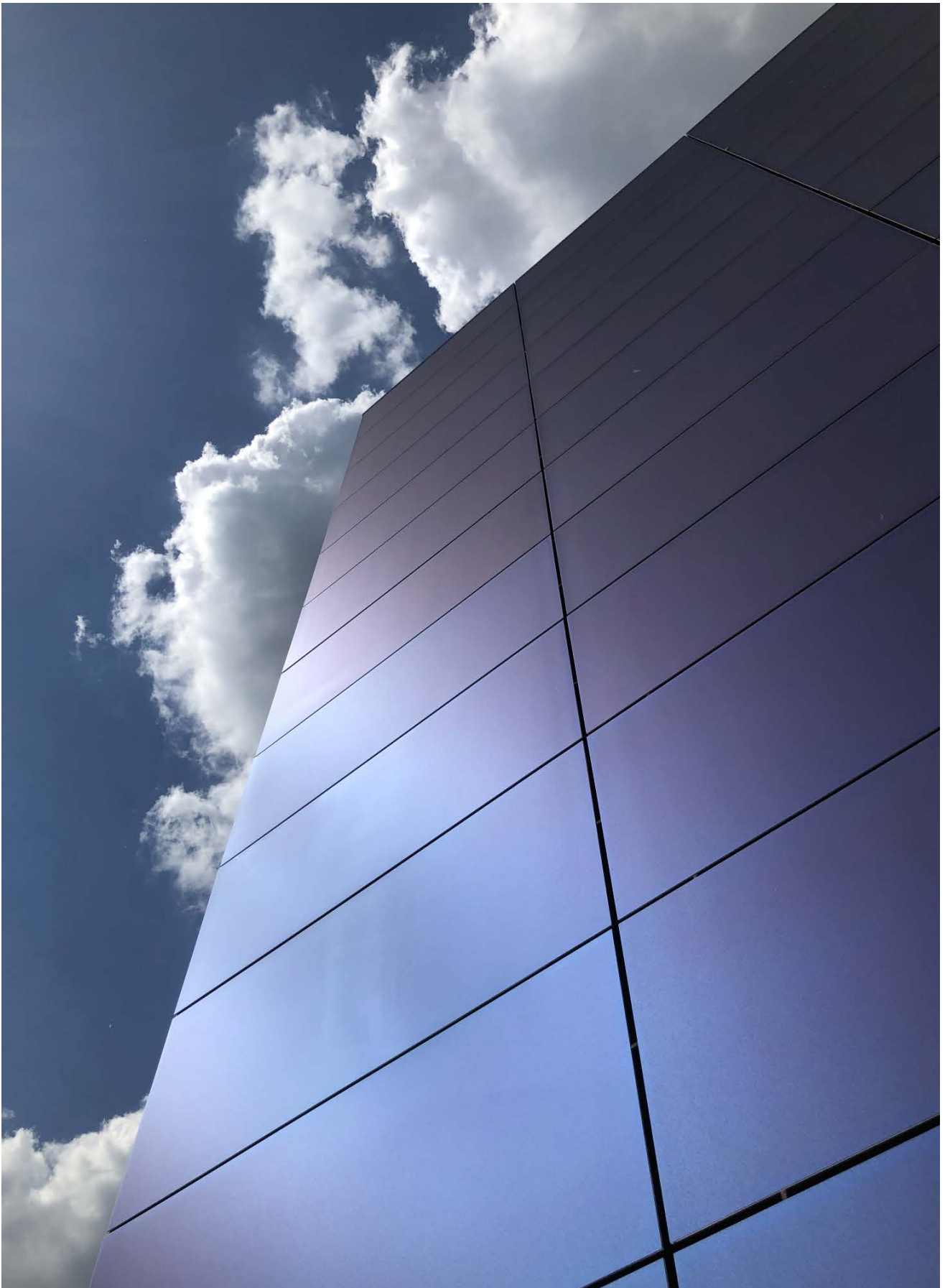


Abb. 4.3.2-16: Farbige SKALA®-Module



Abb. 4.3.2-17: Farbpalette der AVANCIS SKALA®-Module für die BIPV



© AVANCIS GmbH

Abb. 4.3.2-18: CIGS-Fassadenverkleidung mit 379 SKALA®-Modulen, Farbton „SKALA Blue 7003“, 379 m<sup>2</sup>, 48,6 kWp, Modulwirkungsgrad 12,3–12,8 %, Helmholtz-Zentrum Berlin, Standort Adlershof



© Flisom AG

Abb. 4.3.2-19: eFlex®, Flisom AG

- **Flisom AG, Schweiz (flexible CIGS)**

→ [www.flisom.com](http://www.flisom.com) (12/2022)

Flisom bietet rahmenlose CIGS-Module an, die ohne eine Einkapselung aus Glas auskommen. Diese Module können auf unterschiedliche Weise am Bau zum Einsatz kommen. Es gibt folgenden Varianten:

„**eFlex**®“: Dies sind leichte und flexible CIGS-Module. Sie können gut in Kombination mit Metalldächern und Fassadenverkleidungsprodukten aus Metall eingesetzt werden (Abb. 4.3.2-19),

- „**eMetal**®“: Das flexible Modul wird durch eine Aluminium Platte auf der Rückseite geschützt und zugleich verstärkt (Abb. 4.3.2-20),

- „**eFilm**®“: Dies ist ein Halbprodukt, dass für spezielle Anwendungen genutzt wird. Es könnte z. B. für Röhren PV-Module mit CIGS-Zellen genutzt werden (Abb. 4.3.2-21).

- **Midsummer AB, Sweden (flexible CIGS)**

→ [www.midsummer.se](http://www.midsummer.se) (12/ 2022)

Midsummer AB ist ein Anbieter von schlüsselfertigen Produktionslinien zur Herstellung von flexiblen, leichten Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS)-Dünnschichtmodulen. Gleichzeitig produziert und verkauft Midsummer AB ihre eigenen dünnen und speziell für die Gebäudeintegration ausgelegten CIGS-Solarmodule in folgenden Varianten:

„**Midsummer WAVE**®“: Diese dünnen, flexiblen Solarmodule werden direkt auf eine Reihe von Dachziegel gelegt und durch die darüber aufliegende Ziegelreihe am unteren Ende durch Klammern fixiert. Die Kabelführung erfolgt zwischen und unter den Ziegel zum Schutz vor UV- Licht etc. Kein Stanzen, Bohren oder schweres Heben von großflächigen Solarmodulen ist bei dieser Montage nötig. Diese Solarmodule wurden speziell auf das schwedische Klima abgestimmt (Abb. 4.3.2-22).

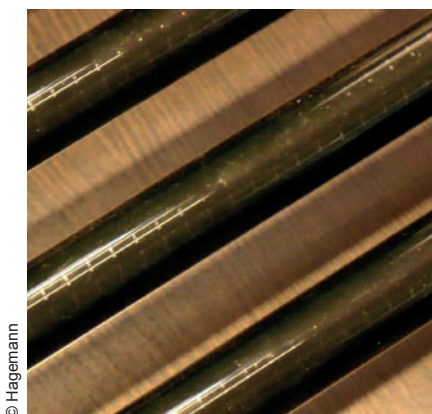
„**Midsummer SLIM**®“: Diese Module werden direkt in gekantezte Blechdächer integriert, die aus Blechen der Firma SSAB AB hergestellt werden. Die Scharenlänge mit integriertem Solarpanel kann bis zu 12m betragen (Abb. 4.3.2-23).

„**Midsummer BOLD**®“: Dieses ultraleichte und flexible Solar- modul hat die Maße 1.685 mm x 1.000 mm. Das Modul besteht



© Flisom AG

Abb. 4.3.2-20: eMetal®, Flisom AG



© Hagemann

Abb. 4.3.2-21: Röhren-PV-Modul mit CIGS Zellen



© Midsummer AB, Schweden

Abb. 4.3.2-22: Midsummer WAVE®

aus 60 seriell miteinander verschalteten CIGS-Dünnschichtzellen, die auf einer ultradünnen Edelfolien aufgebracht sind. Diese Einheit wird durch mehrere Schichten geschützt und verkapselt. Das Modul wird ausgeliefert mit einer Anschlussdose, die mit der Schutzklasse IP68 bewertet ist. Es bedeutet, dass die Anschlussdose staubdicht und wasserdicht ist. Das CIGS-Modul ist 2 mm dünn und wiegt nur 3 kg/m<sup>2</sup>.

Das geringe Gewicht des Produkts ermöglicht die Installation auch auf Oberflächen, die herkömmliche Glas-Solarmodule nicht tragen, beispielsweise auf älteren Dächern oder modernen Industriehallendächern, die als Leichtkonstruktionen entwickelt wurden. Details und Bilder zu diesen Produkten finden Sie auf der Webseite des Herstellers (Abb. 4.3.2-24).

- **Globalsolar. A Hanergy Company, USA (flexible CIGS)**

→ [www.globalsolar.com](http://www.globalsolar.com) (08/2022)

„PowerFLEX®“ CIGS-Module von Globalsolar besitzen auf der Rückseite eine Klebeschicht (Abb. 4.3.2-25). Sie können so auf vielfältige Weise am Bau integriert werden. Sie sind leicht, flexibel und anpassungsfähig. Sie können auf Rundungen ab einem Biegeradius von 25cm montiert werden. Die Montage erfolgt durch Abziehen der Schutzfolien und Aufkleben auf die gewünschte Dach- oder Fassadenfläche. Die flächenbündige Montage vermeidet die Entstehung von zusätzlichen Windlasten oder Windauftrieb. Zusätzliche Gestelle sind ebenfalls nicht notwendig. Die Module selbst haben ein Gewicht von 3 kg/m<sup>2</sup>.

- **Solar Frontier K.K., Japan (CIGS)**

→ [www.solar-frontier.com](http://www.solar-frontier.com) (12/2022)

Solar Frontier ist der weltgrößte Hersteller von CIS- Solarmodulen auf Glassubstrat mit einer rückseitigen Abdeckung aus wetterfester Kunststoffolie. Die gerahmten „Power-S“ PV-Lamine gibt es in der Abmessung von 1.257 x 977 x 35 mm (Abmessungen inkl. Aluminium-Rahmen). Ausschließlich entspiegeltes Glas wird für die Modulvorderseite aus Gründen der Ästhetik, der Sicherheit und der Effizienz verwendet. Der Focus liegt auf der Massenproduktion und dem Vertrieb von vorkonfektionierten „Sets“. Für Europa erfolgt der Vertrieb über die Solar Frontier Europe GmbH ([www.solar-frontier.eu/](http://www.solar-frontier.eu/) 12/2022).



Abb. 4.3.2-23: Midsummer SLIM®

© Midsummer AB, Schweden

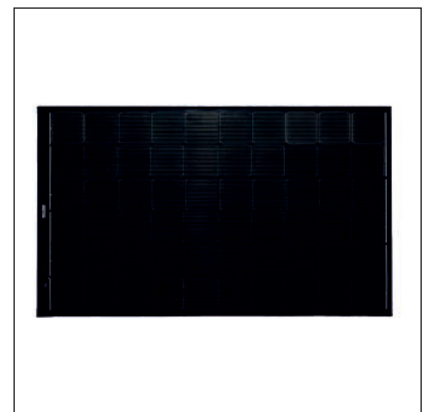


Abb. 4.3.2-24: Midsummer BOLD®

© Midsummer AB, Schweden

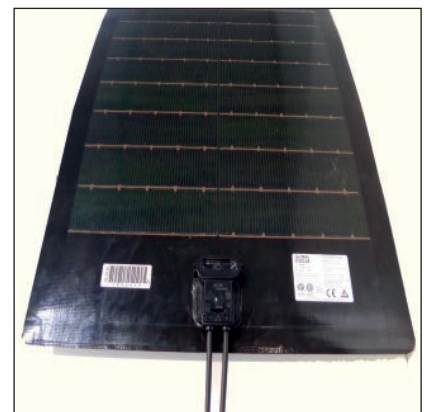


Abb. 4.3.2-25: Global Solar CIGS PowerFlex Modul

© Hagemann

### 4.3.3 Cadmium-Tellurid (CdTe) Zellen und Module

Mit etwa 5% der weltweiten PV-Modulproduktion machen Zellen und Module aus Cadmium-Tellurid mehr als die Hälfte des gesamten Weltmarktes für Dünnschichtsolarmodule aus (Abb. 4.3.3-01). CdTe ist damit die vorherrschende Dünnschichttechnologie, auch wenn sie im Bereich der GIPV wenig vertreten ist.

Der Wirkungsgrad dieser Module konnte in den letzten Jahren deutlich gesteigert werden. CdTe hat heute einen mit CIGS vergleichbaren Wirkungsgrad. Es liegt damit nahe am Wirkungsgrad von multikristallinem Silizium und deutlich über dem Wirkungsgrad von amorphen Dünnschichtmodulen sowie der Organischen PV.

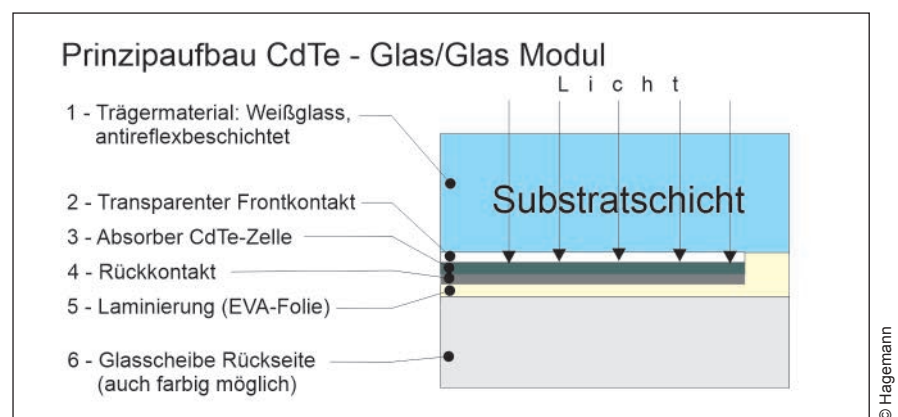


Abb. 4.3.3-01: Prinzipaufbau CdTe- Glas/Glas Modul



Abb. 4.3.3-02: Fassadenverkleidung mit CdTe-Modulen von Sanko Solar, 77kWp

Die aktive Zellschicht wird auf der Innenseite der Frontabdeckung eines PV-Moduls aufgebracht. Das hat den Vorteil, dass bei semitransparenter Ausführung z. B. auch farbige Gläser für die Rückseite eines Glasmoduls ohne Ertragseinbußen verwendet werden können.

Die dunkelgrünen bis schwarzen CdTe-Solarzellen können durch Niedrigtemperaturprozesse hergestellt werden (Abb. 4.3.3-02). Dies ermöglicht eine flexible und erschwingliche Produktion. In gewisser Weise ist dies ein vergleichbarer Vorteil wie bei der Organischen PV. Die Energierücklaufzeit der CdTe-Solarzellen und -Module ist von daher geringer als bei der Familie der CIS-Solarzellen. Die CdTe Verbindung ist ungiftig und sehr stabil. Die Einführung eines funktionierenden CdTe-Modulrecycling durch die Hersteller ist gegeben.

Trotzdem führt die Toxizität von Cadmium für die Hersteller zu einem Akzeptanzproblem. Gesundheits- und Umweltrisiken gehen von Cadmium jedoch nur in einem gasförmigen Zustand aus. Dieser Zustand tritt bei der Herstellung der CdTe-Solarzellen nur in einer vollkommen geschlossenen Produktionsanlage auf und ist damit sicher oder aber in einem Brandfall.





© Sanko Solar

Abb. 4.3.3-03: Wintergartenverglasung mit semitransparenten CdTe-Modulen von Sanko Solar

Tellur ist ein besonders seltenes Mineral, vergleichbar mit Gold. Dieser Faktor könnte auf mögliche langfristige Beschaffungsprobleme bei einer Ausweitung der großtechnischen Produktion in der Zukunft hinweisen.

- **Aussehen/Farbe:** Schwarzgrün, opak
- **Transparenz:**  
Semitransparenz ist möglich z. B. SolTech Energy Sweden und Sanko Solar bieten semitransparente (Abb. 4.3.3-03) bzw. auf Wunsch auch farbige Module an
- **Durchschnittlicher Modulwirkungsgrad:** ca. 14–17 %
- **Durchschnittlicher Temperaturkoeffizient:**  $-0,23 \%/^{\circ}\text{C}$
- **Leistungsminderung/Alterung:** 0,5%/Jahr
- **Bautechnisch relevante Eigenschaften:**
- Farbigekeit möglich, Transparenz möglich
- **Vorteile**  
Das theoretische Entwicklungspotential liegt bei ca. 29% Wirkungsgrad. Module produzieren bei Temperaturen oberhalb von  $25^{\circ}\text{C}$  mehr Energie als vergleichbare Solarmodule, weil sie einen niedrigeren Temperaturkoeffizienten besitzen. Sie eignen sich daher besonders für nicht hinterlüftete Sandwichkonstruktionen. Gute Energieausbeute auch bei schwachen bzw. diffusen Lichtverhältnissen. Gutes Alterungsverhalten, vergleichbar mit polykristallinem Silizium.
- **Nachteile**  
Toxizität des Cadmiums. Knappheit von Tellur

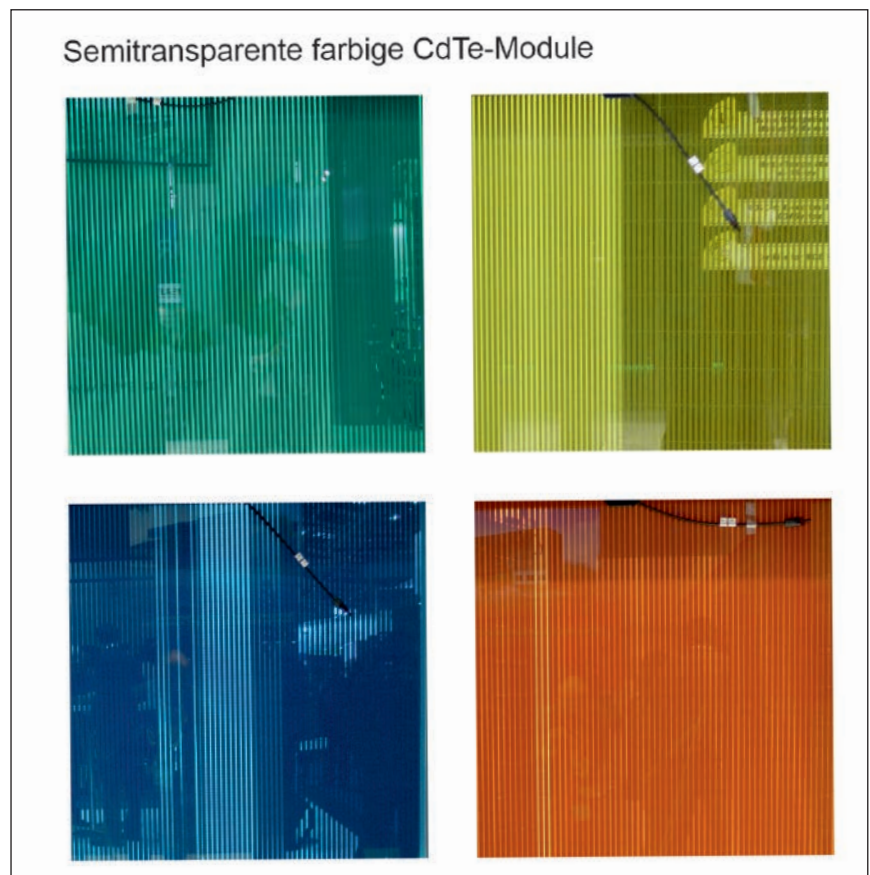


Abb. 4.3.3-04: Farbige CdTe-Module, CTF Solar GmbH Messestand Intersolar 2009

© Hagemann

#### Hersteller:

- **CTF Solar GmbH (CNBM), Deutschland & China (CdTe)**

→ [www.ctf-solar.de](http://www.ctf-solar.de) (12/2022)

Die CTF Solar GmbH, die inzwischen zur chinesischen CTIEC Co Ltd. (China Triumph International Engineering Co. Ltd.) gehört, entwickelt und verkauft weltweit CdTe-Dünnschicht-Solarmodulfabriken. Die Firma betreibt eine eigene vollautomatische CdTe-Produktionsline mit einer Produktionskapazität von 100MW in Chengdu, China. Dort werden auch CdTe-Glas-Module mit Abmessungen von 1.200x1.600x7 mm produziert. Eine Vermarktung dieser PV-Module erfolgt über den Verkauf ganzer Solarparks durch die CTIEC Co. Ltd.

Transparente, farbige CdTe-Module wurden erstmals auf der Intersolar 2019 in den Farben Blau, Grün, Orange und Rot von der Firma CNBN, China vorgestellt (Abb. 4.3.3-04). Unterschiedliche Transparenzgrade lassen sich über den Anteil der aktiven Zellenfläche an der gesamten Modulfläche steuern.

- **Polysolar Limited, England (CdTe)**

→ [www.polysolar.com](http://www.polysolar.com) (12/2022)

Polysolar ist ein Entwickler, Designer und Installateur von architektonischen Solarlösungen. Der Focus liegt auf der Nutzung von transparenten Systemlösungen mit Photovoltaik, z. B. für Überdachungen, Carports etc. Eingesetzt wird hierfür auch transparentes CdTe-Solarglas.

- **Advanced Solar Power (ASP), China (CdTe)**

→ [www.advsolarpower.com](http://www.advsolarpower.com) (12/2022)

Die Firma ASP produziert und vertreibt CdTe-Standardmodule sowie auch schlüsselfertige PV-Installationen. In China hat die Firma eine ganze Reihe großer, bemerkenswerter BIPV-Projekte mit semitransparent verglasten PV-Fassaden ausgeführt bzw. in der Planung (vgl. „ASP Catalogue“ → <http://www.advsolarpower.com/en/index.php/product/download/> 12/2022)

In Europa kooperiert ASP mit der Firma SolTech Energy Sweden AB (→ [www.soltechenergy.com/](http://www.soltechenergy.com/) 12/2022).

Das in Schweden ansässige Unternehmen entwickelt und vertreibt gebäudeintegrierte BIPV-Lösungen mit CdTe-Modulen von ASP für gewerbliche, öffentliche und private Gebäude.

Für eine PV-Dachintegration werden CdTe-Module zusammen mit einer speziellen Rahmenkonstruktion in zwei Varianten als Dachelemente angeboten, die jeweils, wie für Dachdeckungen üblich, schuppenartig montiert werden. Die beiden Produkte, „Soltech ShingEI“ (Abb. 4.3.3-05) und „Soltech RooF“ (Abb. 4.3.3-06), werden bislang ausschließlich auf dem skandinavischen Markt angeboten (Details vgl. Kapitel 7.1.2.2 In-Dach-Montagesysteme).

Für die PV-Fassadenintegration werden nachfolgende Produkte auf dem skandinavischen Markt angeboten:

- opake Module (Produkt „Soltech Facade“),
- farbig bedruckte Module (Produkt „Soltech Facade – Color“)
- farbig transparente Module (Produkt „Soltech Facade – Semitransparent“)

Die transparenten und zugleich farbigen Module werden in der Größe von 600x1.200 mm in den Farben Blau, Grün, Orange und Rot angeboten. Ein interessantes Projekt mit diesen Modulen ist das Multihuset Flustret in Vallastaden, Schweden (Abb. 4.3.3-07).



Abb. 4.3.3-05: Soltech Soltech ShingEI®



Abb. 4.3.3-06: Soltech RooF®



Abb. 4.3.3-07: Fassade mit farbigen, transparenten CdTe-Module, Multihuset Flustret in Vallastaden, Schweden

© Photo Jansin & Hammarling

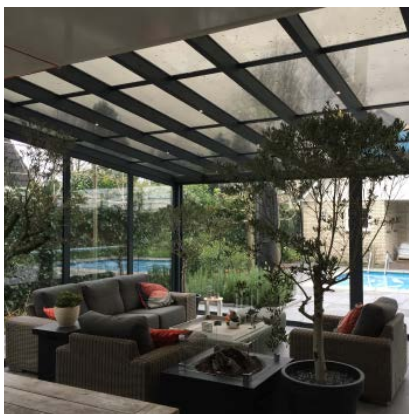


Abb. 4.3.3-08: Wintergartenverglasung mit transparenten CdTe-Modulen

© Sanko Solar



Abb. 4.3.3-09: Überkopfverglasung mit transparenten CdTe-Modulen

© Sanko Solar

In Deutschland bietet Sanko Solar (→ [www.sanko-solar.de/](http://www.sanko-solar.de/) 12/2022) auch für den deutschen Markt ein Sortiment von transparenten Dünnschicht-Solarmodulen von ASP an. Sanko Solar plant und beliefert mit diesen transparenten CdTe-Modulen Systeme für Veranden, Gewächshäuser, Vordächer, Dächer, Carports und Oberlichter (Abb. 4.3.3-08 und Abb. 4.3.3-09).

- **First Solar Inc., USA (CdTe)** → [www.firstsolar.com](http://www.firstsolar.com) (12/2022)  
First Solar ist ein internationaler Hersteller von CdTe-Photovoltaikmodulen mit Hauptsitz in den USA. Die Firma entwickelt, finanziert, konstruiert und betreibt viele der weltweit größten netzgekoppelten PV-Kraftwerke. Die größte inzwischen angebotene Modulabmessung beträgt 2.024 mm x 1.245 mm. In Deutschland gibt es wenige aber flächenmäßig große Anwendungen im Bausektor. Beispiele sind das Dach der Kohlenmischhalle in Moers mit einer Anlagenleistung von 837 kWp (vgl. 7.1.2.1 Auf-Dach-Montagesysteme) und die auf einem begrünten Flachdach aufgeständerte Anlage in Hamburg mit einer Leistung von 672 kWp (vgl. Kapitel 7.2 Flachdächer mit PV).

#### 4.3.4 Farbstoffsolarzellen und Module (DSC)

Die Farbstoffsolarzelle (Abb. 4.3.4-01) wird nach Ihrem Schweizer Erfinder Prof. Matthias Grätzel auch „Grätzel-Solarzelle“ bzw. im Englischen „Dye- sensitized solar cell“, kurz DSSC, DYSC oder DSC genannt. Sie ist eine photochemische Energiequelle. Die Abbildungen 4.3.4-02 und 4.3.4-03 zeigen Entwicklungen des Fraunhofer ISE zu diesem Zellen- und Modultyp.

Das zugrundeliegende Konstruktionsprinzip lässt sich am besten beschreiben als „künstliche Photosynthese“. Es ist eine Hybridtech-

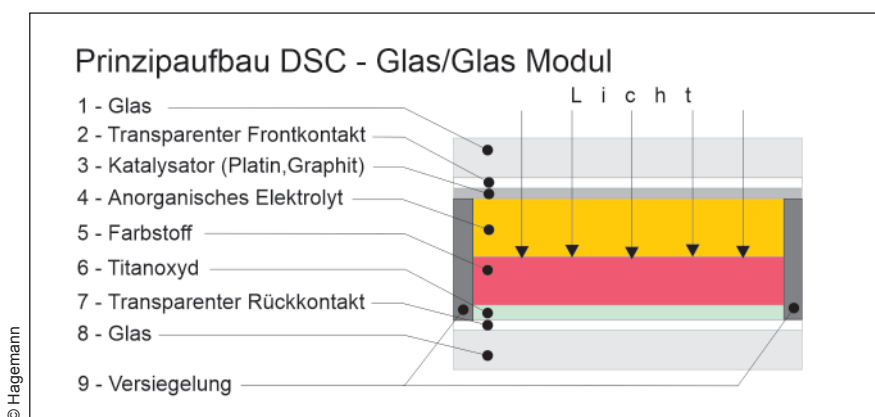


Abb. 4.3.4-01: Prinzipaufbau DSC - Glas/Glas-Modul

nologie, bei der ein anorganischer Elektrolyt, bestehend aus einer Schicht Titandioxid (ein Pigment, das z. B. in weißen Farben und Zahnpasta verwendet wird) und organische Farbstoffe, die für die Färbung verantwortlich sind, verwendet werden. Beide zusammen werden zwischen zwei Schichten, zumeist Glas, eingeschlossen.

Auf den Farbstoff auftreffendes Licht regt Elektronen an, die vom Titan-dioxid absorbiert werden, um elektrischen Strom zu erzeugen. Im Labor konnten Wirkungsgrade von bis zu 11,9% erreicht werden. Der Wirkungs-grad kommerziell produzierter DSC-Module liegt bei 2% bis 3%.

Das transparente, ggf. auch unterschiedlich farbige Erscheinungs-bild dieser Module lässt auf neue Gestaltungsmöglichkeiten im Bausektor hoffen.

Der Weg von einer im Labormaßstab entwickelten Zelle hin zu einer kommerziellen, großflächigen Produktion dieser Zelle ist nicht ein-fach. Probleme bereitet es derzeit, eine langzeitstabile Versiegelung des flüssigen Elektrolyten zu gewährleisten. Lösungsansätze experi-mentieren mit Polymerklebern, Epoxidharzklebern und Glasloten. Letzterem werden die besten Chancen eingeräumt.

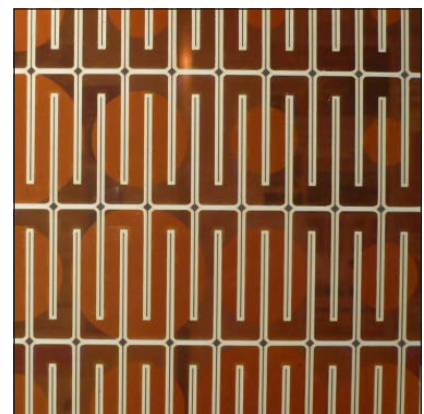


Abb. 4.3.4-02: Farbstoffsolarzelle des Fraunhofer ISE, Variante 1



Abb. 4.3.4-03: Farbstoffsolarzelle des Fraunhofer ISE, Variante 2



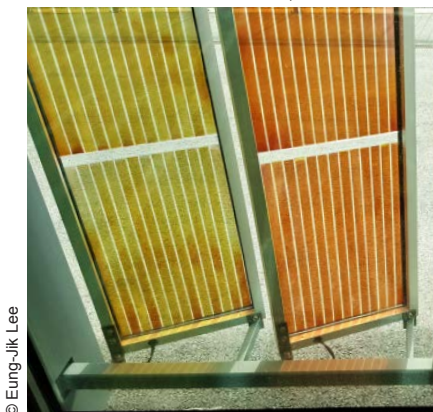
© Swisstech Convention Center

Abb. 4.3.4-04: DSC-Sonnenschutzlamellen, Swisstech Convention Center, Lausanne



© Eung-Jik Lee

Abb. 4.3.4-05: Lichtspiel DSC-Module, Swisstech Convention Center, Lausanne



© Eung-Jik Lee

Abb. 4.3.4-06: Detail Verschattungsanlage, Swisstech Convention Center

Wirtschaftlich bleibt die Farbstoffsolarzelle daher derzeit noch bedeutungslos. Der sehr niedrige Wirkungsgrad und die kurze Lebensdauer sind die größten Herausforderungen für eine Markteinführung im großen Stil. Gelingt es, diese Probleme in den Griff zu bekommen, stellt das Farbspiel der DSC-Zellen und Module eine Bereicherung für die Gestaltungsvielfalt der Photovoltaik am Bau dar.

Die Attraktivität dieser Solarzelle liegt in ihrer ansonsten sehr einfachen und kostengünstigen Herstellung.

**Aussehen/Farbe:** Verschiedene Farben möglich

**Transparenz:** Ja

**Durchschnittlicher Modulwirkungsgrad:** Keine Angabe

**Durchschnittlicher Temperaturkoeffizient:**

Keine Angabe Leistungsminderung/Alterung: keine Angabe

**Bautechnisch relevante Eigenschaften:**

Farbigkeit. Transparenz.

Gute Nutzung von diffusem Licht bzw. Schwachlicht im Vergleich zu herkömmlichen Zellen

**Vorteile:** Einfache, kostengünstige Herstellung.

**Nachteile:** Niedriger Wirkungsgrad. Fehlende Langzeitstabilität.

**Hersteller:**

- **Solaronix SA, Schweiz (DSC)** → [www.solaronix.com](http://www.solaronix.com) (12/2022)

Das Unternehmen stellt Spezialchemikalien und Komponenten für die Produktion von Farbstoffsolarzellen her und vertreibt diese weltweit an Forschungszentren, akademische Labore und Pionierunternehmen, die an dieser PV-Technologie der nächsten Generation arbeiten. Gleichzeitig arbeitet das Unternehmen an der Entwicklung von Farbstoffsolarzellen und den dazugehörigen Produktionsprozessen.

Solaronix SA realisierte 2013 die weltweit erste und einzige mehrfarbige Fassadenintegration mit Farbstoffsolarzellen. DSC-Module in unterschiedlichen Farben wurden als vertikale, feststehende Sonnenschutzlamellen vor eine raumhohe Glasfassade des Kongresszentrums der Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) in Lausanne montiert (Abb. 4.3.3-04 bis Abb. 4.3.4-06).

Standard DSC-Module bzw. Bauprodukte mit DSC-Zellen werden von Solaronix SA nicht angeboten.

### 4.3.5 Organische Photovoltaik (OPV)

Organische Solarzellen, im Englischen auch „Organic Photovoltaic“ oder kurz „OPV“ genannt, nutzen spezielle Kohlenwasserstoffverbindungen (= „Plastik“) aus dem Baukasten der organischen Chemie. Diese Solarzellen werden deshalb auch als Kunststoff- oder Plastik-solarzellen bezeichnet (Abb. 4.3.5-01, Abb. 4.3.5-02 und Abb. 4.3.5-03).

Die OPV setzt sich aus mehreren Schichten für die Energieumwandlung zusammen. Der Stromfluss erfolgt durch eine elektrochemische Reaktion. Die erzeugte Spannung wird über Elektroden abgegriffen.

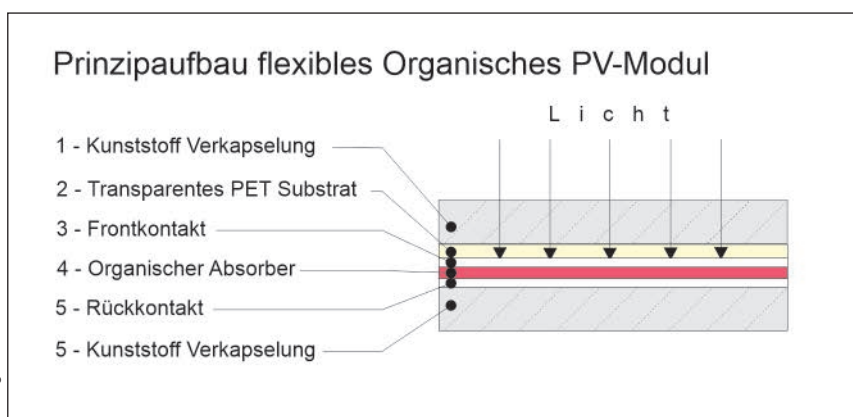


Abb. 4.3.5-01: Prinzipaufbau flexibles Organisches PV-Modul

Die photovoltaisch aktive Schicht der OPV besteht im Gegensatz zur Farbstoffzelle (DSC) allein aus organischen Materialien.

Für ihre Herstellung werden kostengünstige und umweltfreundliche Druckverfahren, die bei Umgebungstemperatur arbeiten, verwendet. Zumeist kommen effiziente Rolle-zu-Rolle-Produktionsverfahren zum Einsatz. Die photovoltaisch aktiven Schichten werden dabei sehr dünn auf flexible Kunststofffolien aufgetragen. Dies ergibt ultra-leichte opake (Abb. 4.3.5-04) oder transparente (Abb. 4.3.5-05), vollständig auf Plastikfolie abgeschiedene flexible Solarzellen bzw. Module. Unterschiedliche Gestaltungsvarianten sind möglich.

Noch altern diese Zellen recht schnell. Auch der Wirkungsgrad der organischen Solarzellen ist gering. Im Labor werden zwar schon Wirkungsgrade von bis zu 14,9% und mehr erreicht, aber in der praktischen, industriellen Anwendung erreichen Rolle-zu-Rolle prozessierte OPV einen Wirkungsgrad von nicht mehr als 2% bis 7%.

Die CO<sub>2</sub> Bilanz ihrer Herstellung ist um den Faktor fünf bis sechs günstiger als bei vergleichbaren kristallinen PV-Modulen. Die Herstellung von klimaneutralen Gebäuden wird dadurch erleichtert.

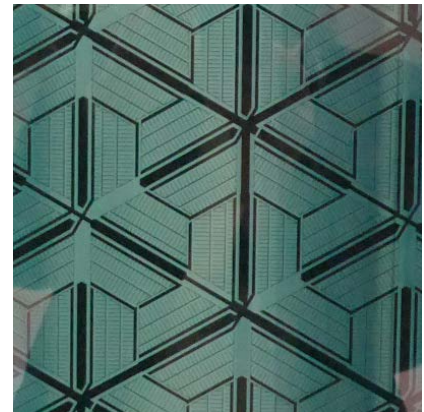


Abb. 4.3.5-02: Farbige, transparente OPV, Messestand COLT International Bau 2017

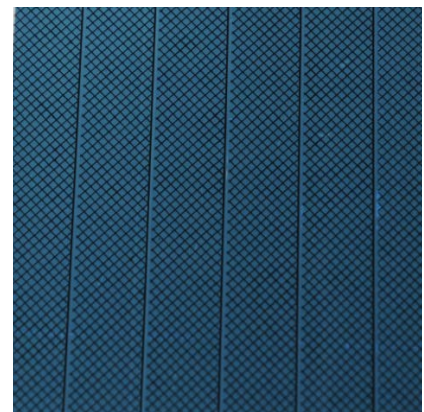


Abb. 4.3.5-03: Transparente OPV in Blau



Abb. 4.3.5-04: Opakes OPV-Modul (Heliatek)

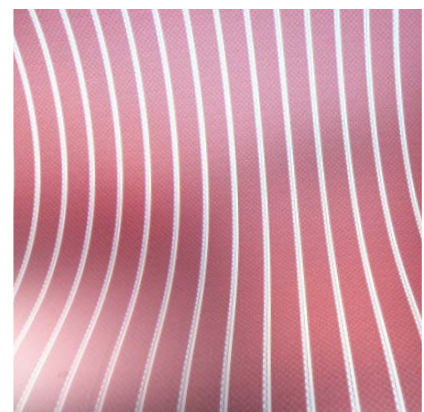
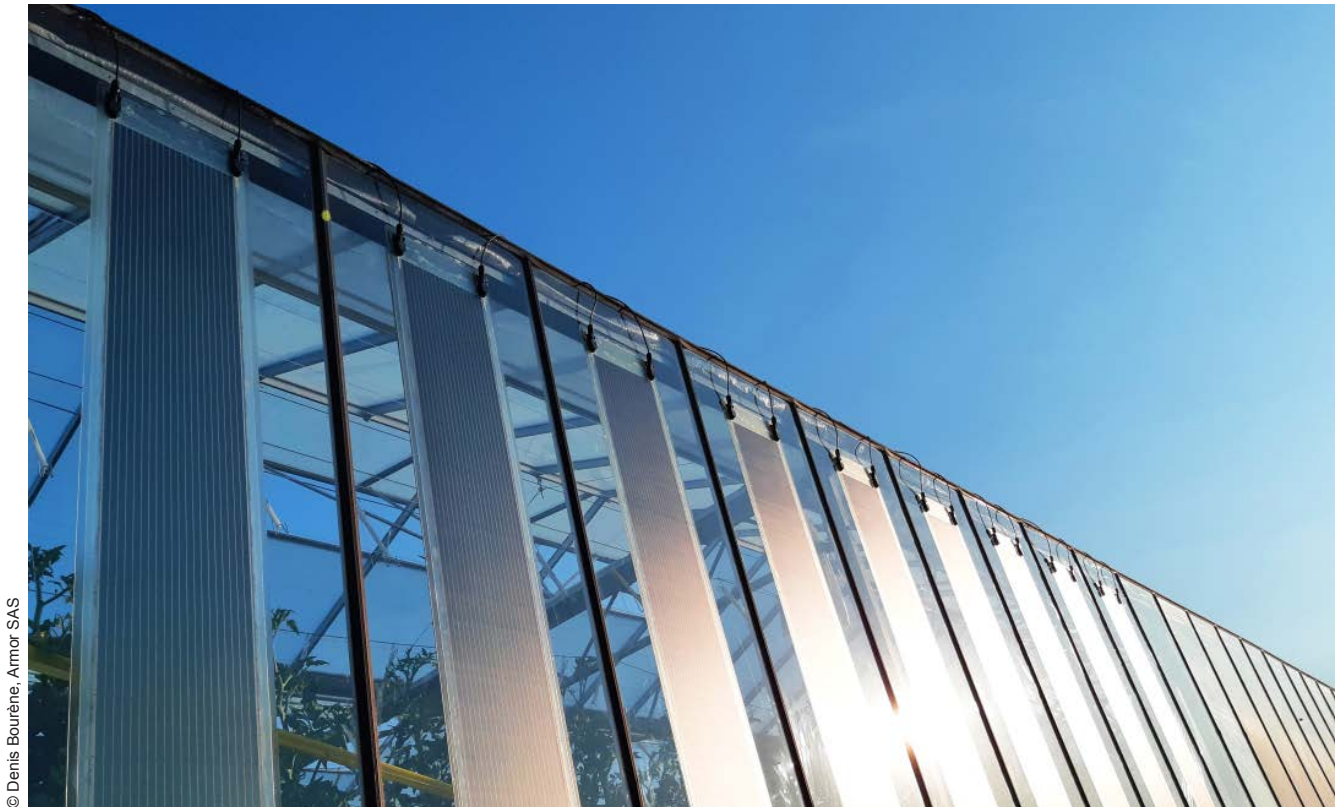


Abb. 4.3.5-05: Transparente OPV in Rot



© Denis Bourène, Armor SAS

Abb. 4.3.5-06: Externe Gewächshausverschattung mit OPV (ASCA SAS)

**Aussehen/Farbe:**

- Unterschiedliche Farben können hergestellt werden, z. B. Blau, Grün, Rot je nach Hersteller

**Transparenz:**

- In Abhängigkeit von der verwendeten Verkapselungsfolie durchsichtige oder opake Module möglich.

**Durchschnittlicher Modulwirkungsgrad:** keine Angabe**Temperaturkoeffizient:** Keine Angabe**Leistungsminderung/Alterung:** Keine Angabe**Bautechnisch relevante Eigenschaften:**

- Flexibel  
Die hohe Flexibilität der OPV erlaubt die Nachbildung auch eng gekrümmter Oberflächen am Bau.
- Transluzent  
Für die Herstellung transluzenter OPV-Module verwendet man halbtransparente oder transparente Netzelektroden und sehr dünne OPV-Schichten, durch die man hindurchsehen kann.
- Geringes Gewicht
- Bruchsicher
- Geringe Installationskosten  
Die Montage der sehr leichten Module kann durch Klebung auf unterschiedlichste Oberflächen erfolgen.



**Dauerhaftigkeit:**

- Sie ist noch nicht ausreichend, um mit den Lebenszyklen konventioneller Fassadenmaterialien mithalten zu können

**Vorteile:**

- Der Wirkungsgrad der OPV wird durch Erwärmung nicht negativ beeinflusst z.B. Eignung für warme Raumumgebungen bzw. nicht hinterlüftete Einbausituationen
- Geringe Winkelabhängigkeit der Einstrahlung
- Gutes Schwachlichtverhalten  
Ab 200 Lux Beleuchtungsstärke, dies entspricht in etwa einer gemütlichen Wohnraumbeleuchtung, arbeiten OPV-Module. Sie können daher auch in Innenräumen eingesetzt werden.
- Kurze Energierücklaufzeit  
Grund: Energieeffiziente Herstellung, da keine Hochtemperaturverfahren erforderlich sind.
- Geringer Materialaufwand für die Herstellung:  
1 g Materialeinsatz für 1 m<sup>2</sup> Zellenfläche. Geringere Herstellungskosten aufgrund preiswerterer Produktionstechnologien. Die Herstellung der OPV erfüllt die Auflagen der EU-Richtlinie 2011/65/EU (RoHS) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten.

**Nachteile:**

- Geringe Effizienz  
Der niedrige Wirkungsgrad bedingt einen höheren Flächenbedarf bei gleicher Leistung im Vergleich zu anderen Technologien.
- Kurze Lebensdauer  
Die Langzeitstabilität der organischen Verbindungen ist noch ungenügend. Unter UV-Licht findet noch eine Zersetzung des Zellenmaterials statt.

**Hersteller:**

- **ASCA SAS, Frankreich (OPV)** → [www.asca.com](http://www.asca.com) (12/2022)  
Die französische ARMOR-Gruppe ist Spezialist auf dem Gebiet der Entwicklung hochwertiger Tinten und der Hochgeschwindigkeits-Dünnschichtbeschichtung.  
Die von **ASCA SAS** hergestellte „ASCA®“ OPV-Folie besteht aus sieben Schichten, fünf Funktionsschichten und zwei äußeren Schutzschichten, die die organische Solarzelle vor UV-Licht, Sauerstoff, Luftfeuchtigkeit und mechanische Belastungen schützen (Abb. 4.3.5-06).



Abb. 4.3.5-07: Gewächshausverschattung mit OPV (ASCA SAS)



Abb. 4.3.5-08: ETFE-Fassade mit integrierten, transparenten OPV-Zellen (ASCA SAS), Betriebsgelände Merck KGaA, Darmstadt

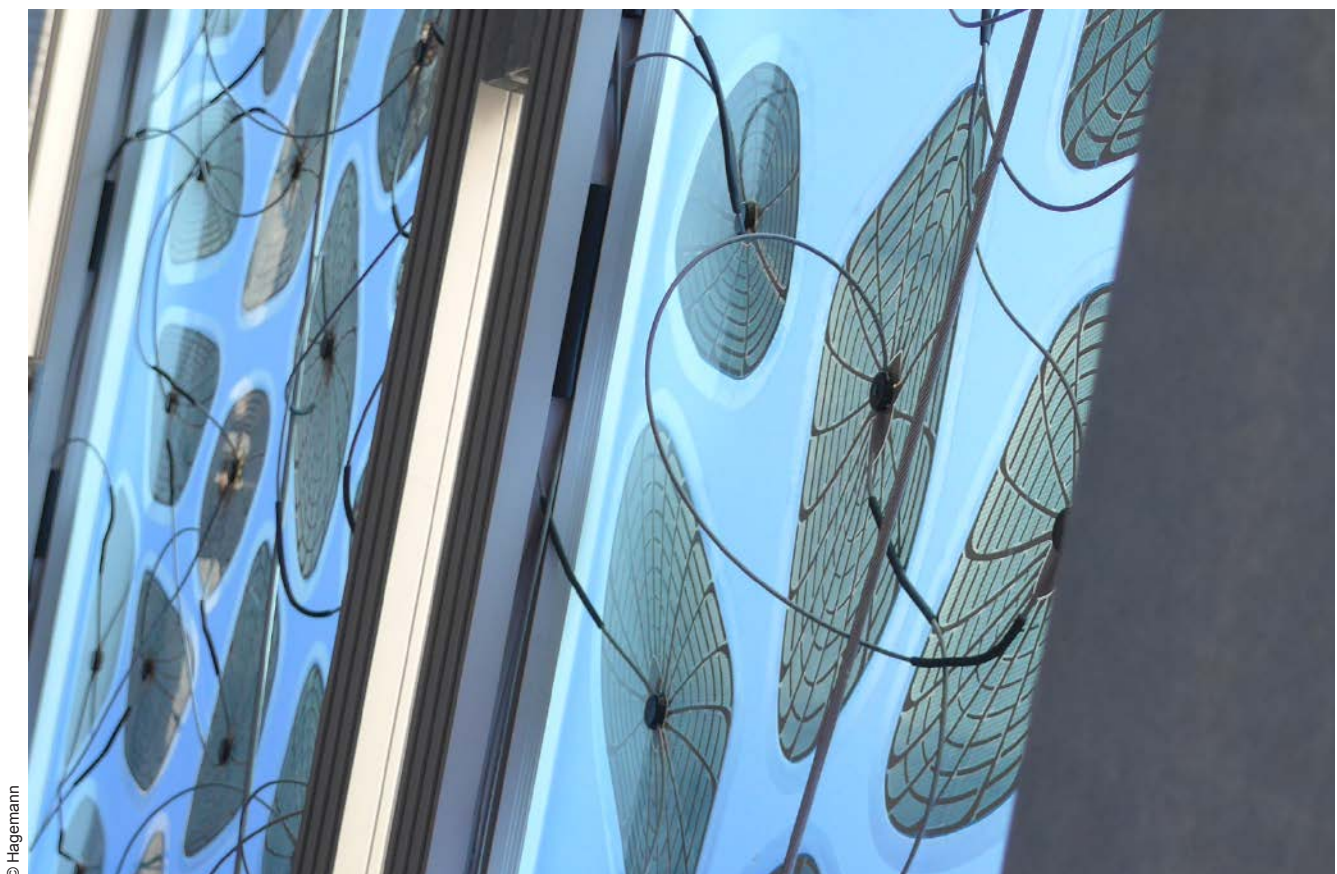


Abb. 4.3.5-09: Rückseite mit der Verkabelung der OPV-Zellen (ASCA SAS), Betriebsgelände Merck KGaA, Darmstadt

Die „ASCA®“ OPV-Folie unterscheidet sich insbesondere aufgrund ihrer Transparenz von Mitbewerbern (Abb. 4.3.5-07). Ihr Transparenzgrad beträgt derzeit 30 %, geplant ist eine weitere Steigerung auf 60 %.

Die hohe Elastizität der „ASCA®“ OPV-Folie erlaubt einen Biege­radius von 2,5 cm. Damit passt sich diese Folie gut an Oberflächen mit Wölbungen an. Es gibt kein anderes PV-Modul mit vergleichbarer Biegsamkeit. Das Gewicht der Solarfolie beträgt nur 0,45 kg/m<sup>2</sup>.

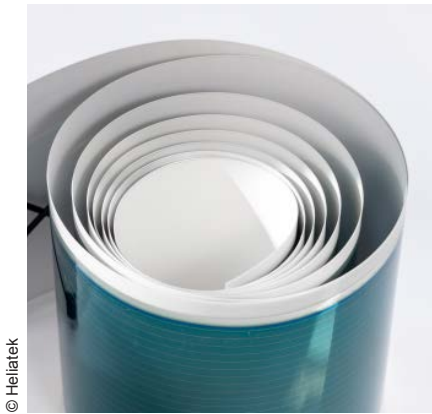
Bis 2020 wollte ARMOR die Lebensdauer von ASCA® organischen Photovoltaik-Folien von 5 auf 20 Jahre erhöhen und die elektrische Leistung auf 4 % bis 8 % steigern. Ob das Ziel erreicht wurde, konnte nicht geklärt werden. Die ASCA®-Folien stellen kein toxisches oder karzinogenes Risiko dar.

Marketingziel für die ASCA® OPV-Folie ist eine additive Verwendung (= BAPV / Building Applied Photovoltaics) der sehr leichten, flexiblen ASCA®-Folien auf unterschiedlichen Materialoberflächen im Bausektor. Zurzeit werden Demonstrationsanlagen gebaut. Im Focus stehen zunächst Gewächshäuser, bei denen die auf Glasflächen aufgeklebte transparenten Folien Schatten spenden und zugleich Strom produzieren.

Im Herbst 2019 übernahm ARMOR-Gruppe den deutschen Hersteller OPIVUS GmbH, der sich auf kundenspezifische OPV-Lösungen spezialisiert hatte.

Die OPIVUS GmbH bzw. heute ASCA SAS bietet Planungssupport für Bauprodukthersteller an, mit dem Ziel kundenspezifische OPV-Produktlösungen für den Bausektor zu entwickeln. Diese photovoltaisch aktiven Produkte sind immer farbig, aber nicht mehrfarbig. Die photovoltaisch aktive Zellenfläche kann dabei in Ihrer Gestaltung freien Formen folgen.

Die Abbildungen 4.3.5-08 und 4.3.5-09 zeigen eine farbig gestaltete ETFE-Membranfassade mit integrierten, transparenten OPV-Zellen auf dem Betriebsgelände der Merck KGaA in Darmstadt. Bei diesem Projekt arbeitete der ETFE-Spezialist Taiyo Europe mit dem OPV-Zellenhersteller zusammen. Bedingt durch das niedrige Gewicht und den geringem Materialverbrauch gewinnen Membrane, als ökologisch sinnvoller Dach- und Fasadenswerkstoff im Bauwesen zunehmend an Bedeutung.



© Heliatek

Abb. 4.3.5-10: Opake OPV (Heliatek)



© Heliatek

Abb. 4.4.1-11: Transparente OPV (Heliatek)

- **Heliatek GmbH, Deutschland (OPV)** → [www.heliatek.com](http://www.heliatek.com) 12/2022)

Heliatek stellt dünne, leichte und flexible Solarfolien her, mit einer dunkelblau bzw. dunkelgrün schimmernden aktiven Solarzellenfläche und einer weißen, schwarzen oder transparenten Einkapselungsfolie. Mit Eröffnung der „Fab2“ ist Heliatek GmbH in der Lage OPV-Module mit einer maximalen Breite von 1,3 m (1,2 m aktive Zellenfläche + 5 cm Rand auf beiden Seiten) und einer Länge von bis zu 14 m anzubieten. Die Folien sind opak (Abb. 4.3.5-10). Transparente Module sind möglich, werden aber zurzeit nicht standardmäßig hergestellt (Abb. 4.3.5-11). Zwei Produkte werden zur Zeit vertrieben:

„**HeliaSol**“ ist eine gebrauchsfertige 1,50 kg/m<sup>2</sup> leichte und <2 mm dicke opake Solarfolie mit integrierter Klebefolie auf der Rückseite, die durch eine Abziehfolie geschützt ist. Die flexible PV-Folie enthält eine Anschlussdose für den elektrischen Anschluss. Sie kann in Länge und Breite auf Kundenwunsch angepasst werden. Aktuelle Standardabmessung ist L/B/H: 2.000 mm x 436 mm x 1,8 mm. Das Modul ist ein zertifiziertes und zugelassenes Photovoltaik-element, das direkt auf verschiedene Oberflächen wie Metall, Beton, Glas oder Membranen aufgeklebt werden kann.

„**HeliaFilm**“ ist ein Solarfolien-Halbzeug, das in Baumaterialien wie Bleche, Fassadenplatten, Sandwichelemente, Glasbeschattungselemente oder Membranbahnen integriert werden kann. Ihr Gewicht liegt bei 0,80 kg/m<sup>2</sup>. Sie wird dem Bauprodukthersteller auf der Rolle geliefert und kann in ihrer Zusammensetzung und ihren Abmessungen an die Bedürfnisse des Bauproduktherstellers angepasst werden. Zertifizierung, Vertrieb und Garantieabwicklung des fertigen BIPV-Produkts fallen in die Verantwortung des Bauproduktherstellers.

Heliatek kann Kundenwünsche bezüglich Abmessungen, Zusammensetzung und Farbe der Rückseitenfolie erfüllen. Heliatek bietet für Ihre Produkte eine Produktgarantie von fünf Jahren und eine Leistungsgarantie von 20 Jahren an.

Die Abbildungen 4.3.5-12 bis 4.3.5-14 zeigen verschiedene Anwendungsmöglichkeiten der Produkte von Heliatek. Die Zambelli GmbH & Co.KG bietet inzwischen Ihr RIP-ROOF Metalldachsystem auch mit integrierten OPV-Modulen von Heliatek an. Jedoch konnten bis jetzt noch keine kommerziellen Projekte realisiert werden.



© Hagemann

Abb. 4.3.5-12: Metall-Fassadenkassetten mit OPV, Antwerpen, Niederlande

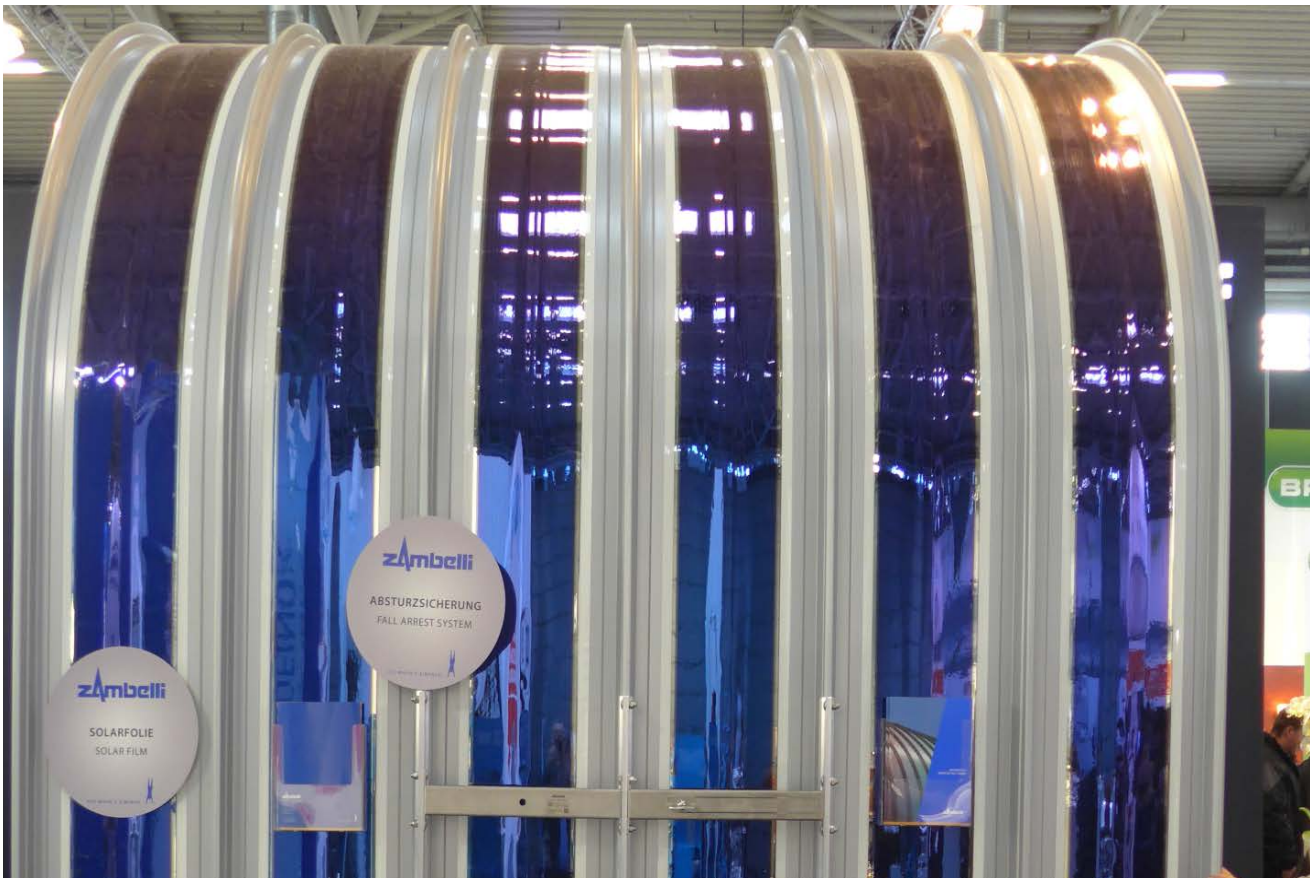


Abb. 4.3.5-13: Zambelli Dachbahnen mit Heliatak Film, Produktpräsentation auf der Bau 2019, München



Abb. 4.3.5-14: Fassadenplatten aus Beton mit OPV, Testgelände, Reckli GmbH, Herne

## 4.4 PV-Systemtypen

Ein einzelnes Dünnschichtmodul bildet die Basiseinheit eines PV-Systems. Es enthält witterungsfest verpackt die einzelnen Solarzellen, die bereits im Herstellungsprozess der Zellen miteinander verschaltet wurden.

Als Schutzschicht vor Witterungseinflüssen kommen auf der Vorderseite meist klares Glas oder teilweise auch Kunststofffolien zum Einsatz. Für die Rückseite werden je nach Zellentyp und Einsatzfeld Kunststofffolien oder ein bzw. mehrere Gläser verwendet. Laminierungsfolien bzw. ein Randverbund halten die verschiedenen Schichten zusammen. Rahmenlose PV-Module werden auch als PV-Lamine bezeichnet.

Einzelne Solarmodule werden elektrisch gesehen ihrerseits zu einem Solarmodulfeld zusammengefasst. Ein Solargenerator besteht wiederum aus einem oder mehreren Solarmodulfeldern. Dieser modulare Aufbau erlaubt es, einen PV-Generator an unterschiedlichste Leistungsbereiche bzw. an verschieden große Flächen am Bau optimal anzupassen.

Zusammen mit weiteren Bauteilen bildet ein Solargenerator ein



Abb. 4.4.1-01: Monte Rosa Hütte mit PV-Inselsystem auf 2883m Höhe, Schweiz

PV-System. Je nach Aufbau des Systems unterscheidet man zwischen „Inselsystemen“ und „Netzgekoppelten Systemen“. Der Solargenerator selbst kann aus einzelnen PV-Modulen bestehen oder aber auch aus einzelnen Baukomponenten, wie z. B. PV- Dachziegeln mit integrierter Photovoltaik.

#### 4.4.1 Inselsysteme

PV-Inselsysteme speichern ihre photovoltaisch erzeugte Energie in Batteriesystemen. Ihr Einsatz ist ideal in abgelegenen Gebieten ohne direkten Zugang zu einem öffentlichen Stromnetz, z. B. Berg- hütten (Abb. 4.4.1-01) oder von Entwicklungsländern, die keine Stromversorgung besitzen. Ihr Vorteil: Die PV-Systemkosten liegen in den meisten Fällen deutlich unter den Kosten, die für Bau und Unterhaltung einer Stromleitung zu abgelegenen Gebieten anfallen würden. Aufgrund mancher wartungsintensiver und teurer Batteriesysteme sind die Kosten von PV-Inselsystemen höher als von netzgekoppelten PV-Systemen ohne Batteriespeicher.

Gleichzeitig wird auch an der Entwicklung von Konzepten gearbeitet, Inselsysteme für kleine, dezentrale Anwendungen am Gebäude selbst zu nutzen. Beispiele hierfür sind:

##### Ventilationssysteme mit PV

Die Photovoltaik ermöglicht die Konzeption eines dezentralen, dynamischen Belüftungssystems für die Außenfassade. Mechanische Ventilationsklappen mit eigener photovoltaischer Stromversorgung regeln die Frischluftzufuhr und erlauben eine kontrollierte Be- und Entlüftung des Gebäudes bzw. der Zwischenräume bei Doppelfasaden (Abb. 4.4.1-02).

##### Bewegungsmelder mit PV

PV betriebene Bewegungsmelder mit Batteriespeicher könnten innerhalb und außerhalb des Gebäudes Schutz vor unerwünschten Eindringlingen gewähren. Ihr netzunabhängiger Betrieb ermöglicht die Aufrechterhaltung der Schutzfunktion, auch wenn die allgemeine Stromversorgung des Gebäudes unterbrochen ist. Solche Systeme eignen sich auch für eine nachträgliche Montage an existierenden Gebäuden (Abb. 4.4.1-03).

##### Notstrombeleuchtung mit PV

PV-Inselsysteme mit Batteriespeicher ermöglichen einen netzunabhängigen Bereitschaftsbetrieb einer Notstrombeleuchtung, die in Notfällen, z. B. bei Feueralarm, oder durch das Gebäudemanagementsystem aktiviert werden kann (Abb. 4.4.1-04).



Abb. 4.4.1-02: Ventilationssysteme mit PV



Abb. 4.4.1-03: Bewegungsmelder mit PV

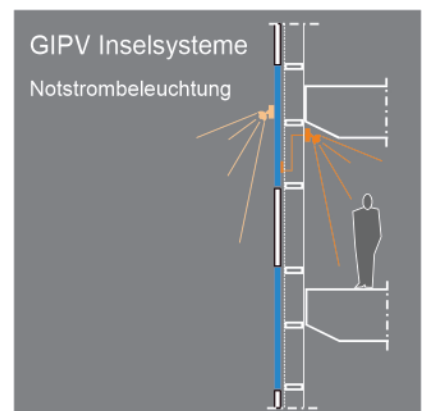


Abb. 4.4.1-04: Notstrombeleuchtung mit PV

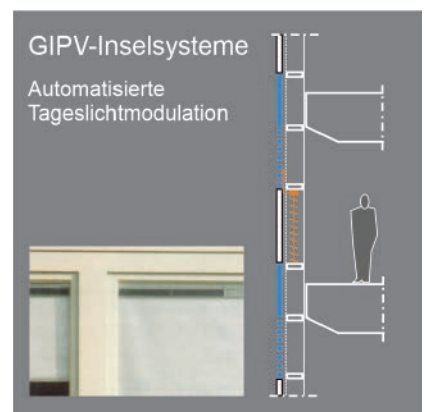


Abb. 4.4.1-05: Tageslichtsteuerung mit PV

### Tageslichtsteuerung mit PV

Die PV kann zur Steuerung und zum automatischen Betrieb aktiver und passiver Tageslichtsysteme genutzt werden. Photovoltaische Energie könnte z.B. Systeme für den Blendschutz elektrifizieren. Rollos oder Lamellen regulieren dann automatisch Tageslichteinfall und solare Wärmeeinstrahlung in Abhängigkeit vom Sonnenstand (Abb. 4.4.1-05).

### 4.4.2 Netzgekoppelte Systeme

Netzgekoppelte Systeme benötigen erst mal kein eigenes Speichersystem. Das öffentliche Stromnetz übernimmt die Funktion eines Zwischenspeichers. Ein netzgekoppelter Wechselrichter wandelt den von den PV-Modulen erzeugten Gleichstrom in Wechselstrom um. Dieser kann direkt im Haus von verschiedenen Verbrauchern genutzt werden oder in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Der produzierte Solarstrom kann so auch an einen beliebigen anderen Ort im Stromnetz transportiert und genutzt werden.

Der Vorteil gegenüber einem klassischen Inselsystem ist die Versorgungssicherheit. Ein zusätzlicher Strombedarf kann aus dem Stromnetz bezogen werden, wenn die Sonne nicht scheinen oder der erzeugte Solarstrom nicht ausreichen sollte.

Netzgekoppeltes PV-System

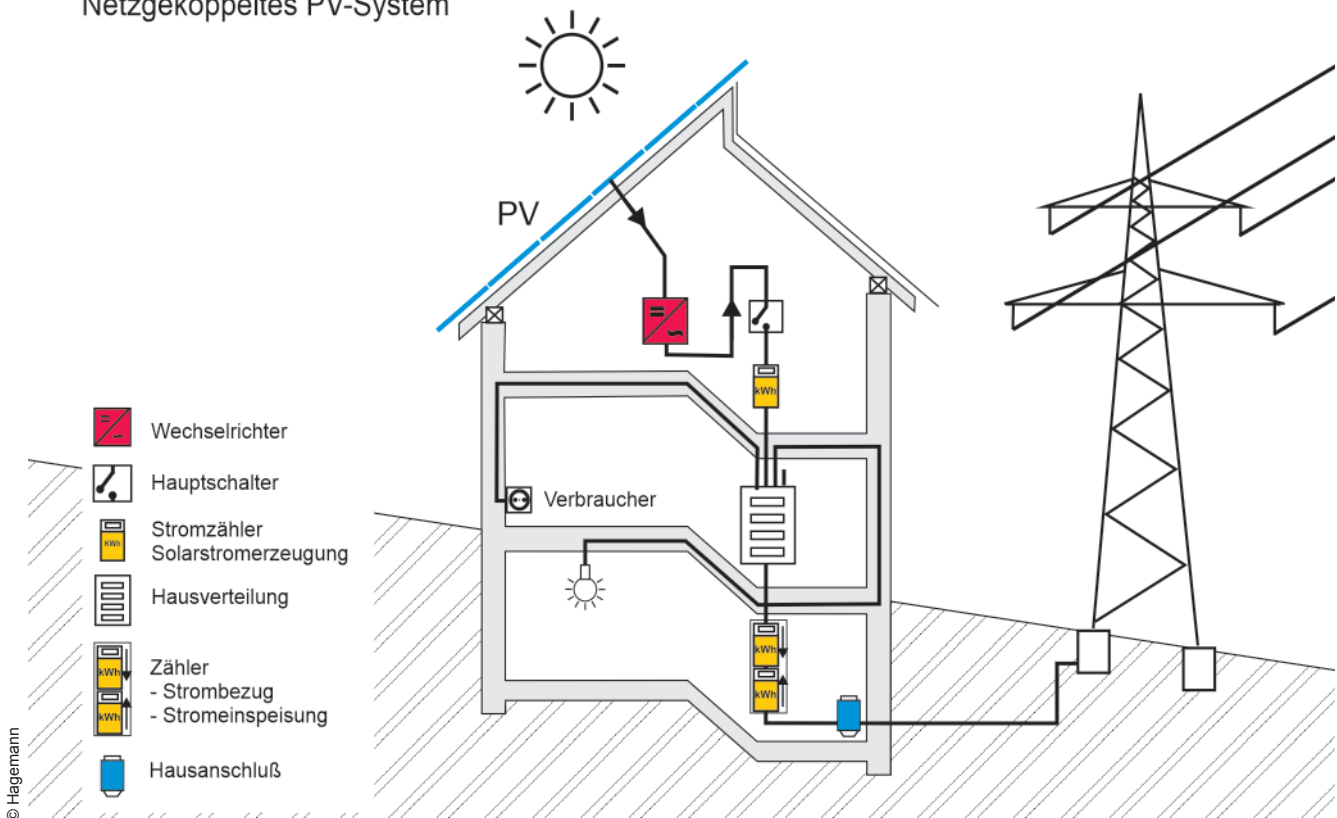


Abb. 4.4.2-01: Netzgekoppeltes PV-System



Die einzelnen Bausteine, aus denen sich ein netzgekoppeltes GIPV-System zusammensetzt, zeigt Abbildung 4.4.2- 01.

Eine PV-Anlage stellt vor allem tagsüber Strom für den Verbrauch zur Verfügung, so dass ein Großteil des produzierten Solarstrom ins Netz eingespeist wird. Bei einem netzgekoppelten Eigenheim ohne Batteriespeicher können nur ca. 30 % der Solarstromerzeugung direkt selbst genutzt werden.

Um die Eigenverbrauchsquote von solar erzeugtem Strom zu steigern, werden inzwischen häufig netzgekoppelte PV-Systeme zusammen mit einem Batteriespeicher aufgebaut bzw. auch bestehende Anlagen um einen Batteriespeicher erweitert. Auf diese Weise lässt sich z.B. bei einem Eigenheim, der Anteil des selbst genutzten Solarstroms auf ca. 60 % anheben. Solarstrom kann so phasenversetzt genutzt werden.

Eine intelligente Vernetzung vieler kleiner, dezentraler Stromspeicher untereinander ermöglicht es zusätzlich, dass in der vernetzten Energiegemeinschaft an der Stelle der solar erzeugte Strom genutzt werden kann, an der er gerade benötigt wird (vgl. Kapitel 4.5.4 Batteriespeicher, Abb.4.5.4-02 und Abb. 4.5.4-03). Der Nachteil: Der Investitionsaufwand für die Batteriespeichersysteme erhöht die Gesamtkosten einer PV-Anlage. Amortisationszeiten von standardisierten, aufgeständerten PV-Dachanlagen mit Speicher liegen bei ca. 10 Jahren.

Jüngste Konzepte auf dem Markt gehen noch einen Schritt weiter. Produzierter Solarstrom wird nicht nur für den Strombedarf im eigenen Haus, für das Elektroauto oder eine Energiegemeinschaft im Netz verwendet, sondern dient auch direkt zur eigenen Warmwasserbereitung und Raumheizung. Voraussetzung dafür ist ein sehr gut gedämmtes Haus, bei dem der Heizwärmebedarf pro m<sup>2</sup> und Jahr unter ca. 50 kWh liegt. Die Attraktivität solcher Konzepte liegt auch in den zu erwartenden Kosteneinsparungen konventioneller Heizungstechnik. Vorreiter auf diesem Gebiet ist z.B. die österreichische Firma my-PV GmbH → [www.my-pv.com](http://www.my-pv.com) (12/ 2022).

## 4.5 Übersicht der PV-Systemkomponenten

Die einzelnen Komponenten eines netzgekoppelten PV-Systems beeinflussen auf unterschiedliche Weise die Baukonstruktion und Baugestaltung. Neben der weithinsichtbaren Photovoltaik bzw. Baukomponenten mit Photovoltaik beeinflussen auch Wechselrichter, Verkabelung und Batteriespeicher Entwurf und Baukonstruktion.

### 4.5.1 Solarmodule

#### Optische Parameter

Optische Qualitätskriterien für Solarmodule gibt es bisher nicht. Es wäre aber wünschenswert, wenn entsprechende Standards entwickelt würden.

Mögliche Größen und Formen eines Dünnschichtsolarmoduls sind sowohl durch die produktionstechnischen Rahmenbedingungen als auch durch das Trägermaterial selbst vorgegeben. Diese Rahmenbedingungen sind je nach Zellentyp und Hersteller unterschiedlich und sind im Einzelfall stets beim Hersteller auf ihre Aktualität hin zu überprüfen.

Bei den Dünnschichtzellen der 2. Generation gibt es für den Planer derzeit keine Farbauswahlmöglichkeit. Amorphes Silizium hat eine rotbraune Farbe, CIS-Module sind schwarz und Cadmium-Tellurid-Module besitzen ein dunkelgrün bis schwarzes Aussehen (vgl. Kapitel 4.3). Farbgestaltungspielräume gibt es jedoch für Glas-Module mit diesen Zellen auf andere Weise, wie in Kapitel 5 „Farbgestaltungsmöglichkeiten der GIPV“ im Detail vorgestellt.

Bei den Dünnschichtzellen der 3. Generation, DSC und OPV, gibt es technisch sehr wohl unterschiedliche Farbgebungsmöglichkeiten. Denkbar ist z. B. die Herstellung von mehrfarbigen Schriftzügen, Logos etc. Sie werden jedoch derzeit nicht am Markt als Produkt angeboten. Kundenspezifische Sonderlösungen sind hiervon ausgenommen.

#### Technische Parameter

Die Leistung einer Solarzelle, unabhängig davon, ob sie in einem Standardmodul verbaut oder Teil eines PV-Bauproduktes ist, ist für die meisten Anwendungen im Alltag zu gering. Um brauchbare elektrische Leistungen zu erreichen, werden Solarzellen seriell miteinander verschaltet. Zur Überbrückung eventueller (teil-) abgeschatteter Bereiche eines PV-Moduls benutzt man Bypass-Dioden. Bei den Dünnschichtsolarzellen der 2. Generation werden diese bereits bei der Herstellung der Zellen und Module selbst mit verbaut. Diese Dünnschichtmodule sind damit deutlich toleranter gegenüber einer partiellen Verschattung im Vergleich zu kristallinen PV-Modulen.

#### Elektrotechnische Qualitätsmerkmale

PV-Module und PV-Baukomponenten, die in die Gebäudehülle integriert werden, müssen sowohl elektrisch sicher sein als auch

bautechnisch funktionieren. Geeignete Produkte werden daher sowohl auf ihre elektrische Sicherheit als auch in Bezug auf ihre Dauerhaftigkeit gegenüber mechanischen Belastungen wie UV-Strahlung, Temperaturwechsel, Feuchtigkeit, Verhalten bei Bruch etc. getestet, um den Nachweis der elektrotechnischen Eignung und als Element im Außenbereich erbringen zu können (vgl. Kapitel 9.1 Normen, Zertifizierungen und Qualifikationstests).

### **Nennleistung**

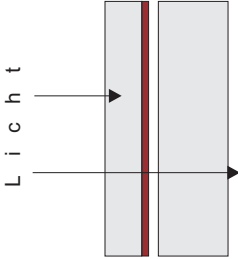
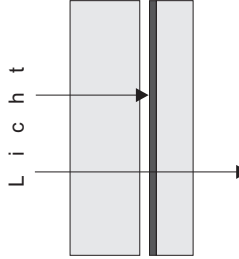
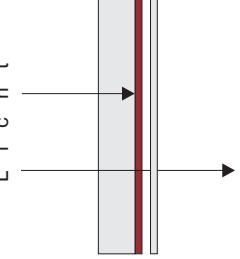
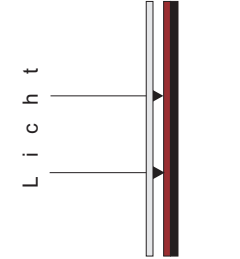
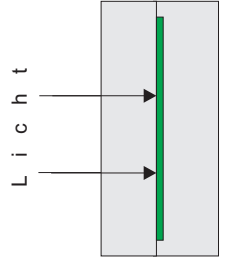
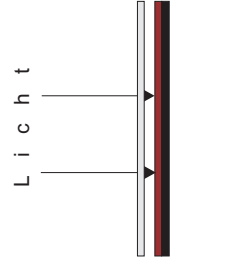
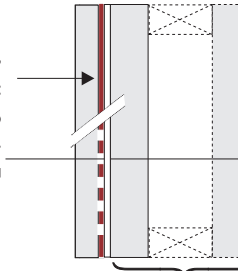
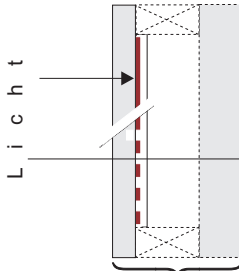
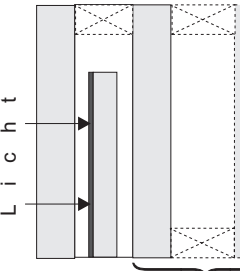
Ein elektrotechnisches Klassifizierungskriterium für PV-Module bzw. PV- Baukomponenten ist die Angabe der „Nennleistung“. Diese gibt Auskunft über die Leistung, die dieses Produkt unter genormten Standardtestbedingungen abgibt. Diese Leistungswerte werden im realen Betrieb jedoch selten erreicht. Sie sind aber eine wichtige Kennzahl zur Bewertung und zum Vergleich der PV- Module bzw. Produkte untereinander. Die Nennleistung ist auch für die Kalkulation der Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage von Bedeutung. Man sollte daher darauf achten, dass nur qualitativ hochwertige PV-Module und -Bauprodukte genutzt werden, die auch im Betrieb mindestens ihre Nennleistung erreichen und das stabil über eine Zeit von mindestens 20 Jahren..

### **Leistungstoleranzen**

Es ist normal, dass die Leistung baugleicher Module oder Bauprodukte mit PV nicht für alle Produkte gleichen Typs identisch ist. Daher werden zumindest für Standardmodule Angaben zur Schwankungsbreite der Modulleistung gemacht. Diese so genannten Leistungstoleranzen werden vom Hersteller mitgeteilt und sind sowohl von wirtschaftlich als auch von technischer Bedeutung für die Bewertung der Modulqualität.

Für in großen Stückzahlen heute hergestellte Standardsolarmodule sind die Toleranzen bei ausgelieferten Modulen sehr gering und damit zunehmend vernachlässigbar, weil schon in der Fabrik die Module in verschiedene Leistungsklassen vorsortiert und anschließend verkauft werden. Bei Custom-Made Module hingegen kann es für den Kunden erforderlich sein, eine Sortierung vorzunehmen, um bei der Systemplanung möglichst Module mit ähnlichen Leistungen in einem Strang zusammen zu führen.

Bei der Verschaltung von PV-Modulen bzw. Bauprodukten mit PV mit unterschiedlichen elektrischen Kenndaten kommt es ansonsten zwangsläufig zu vermeidbaren Anpassungsverlusten. Die Information dazu verschafft ein Blick in die Vermessungsprotokolle bzw.

<p>Doppelglas-Modul a-Si oder CdTe Modul</p>  <p>L i c h t</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- aSi/CdTe auf nicht gehärtetem Weissglass</li> <li>- EVA</li> <li>- Glas, beliebig</li> </ul>	<p>Doppelglas-Modul CIS Modul</p>  <p>L i c h t</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Weissglass</li> <li>- EVA</li> <li>- CIS auf nicht gehärtetem Glas</li> </ul>	<p>Glas-Folien-Modul a-Si oder CdTe Modul</p>  <p>L i c h t</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- aSi/CdTe auf nicht gehärtetem Weissglass</li> <li>- EVA</li> <li>- Folie opak</li> </ul>	<p>Folien-Modul a-Si</p>  <p>L i c h t</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Folie, transparent</li> <li>- EVA</li> <li>- ASI auf opaker Kunststoff oder Stahlfolie,</li> <li>- sehr flexibel</li> </ul>
<p>Farbstoff Solarmodul</p>	<p>OPV-Modul</p>		
 <p>L i c h t</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Weissglass</li> <li>- photoaktiver Farbstoff</li> <li>- Weissglass</li> </ul>	 <p>L i c h t</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einkapselungsfolie</li> <li>- OPV</li> <li>- Einkapselungsfolie</li> </ul>		
<p>Isolierglas mit a-Si / CdTe Modulen</p>	<p>Isolierglas mit a-Si / CdTe Modulen</p>	<p>Großflächiges Isolierglas mit CIS Modulen</p>	
 <p>L i c h t</p> <p>Vorsatzbauweise:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Weissglass mit a-Si- / CdTe-Zellen</li> <li>- EVA</li> <li>- Isolierglasmodul</li> </ul>	 <p>L i c h t</p> <p>Einschubbauweise:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Weissglass mit a-Si- / CdTe-Zellen opak oder transparent</li> <li>- Rückseitiges Glas</li> </ul>	 <p>L i c h t</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Weissglass</li> <li>- CIS Modul eingebettet in transparentem Einbettungsmaterial</li> <li>- Glasverbund</li> </ul>	

© Hagemann

Abb. 4.5.1-01: Übersicht Modulaufbauten

Flascherdaten, die ein seriöser Anbieter automatisch oder auf Anfrage oft schon vor dem Kauf zur Verfügung stellt. So kann der Kunde die Einhaltung der Leistungstoleranzen für jedes einzelne Modul überprüfen und gegebenenfalls Systemplanung und die Wechselrichterkonfiguration an die tatsächlich gemessenen Daten anpassen.

Die vorgenannten elektrotechnischen Überlegungen bei der Modulauswahl bzw. bei der Auswahl der PV-Bauprodukte liegen jedoch nicht in der primären Entscheidungskompetenz des Architekten oder Bautechnikers. Hier ist vor allem der erfahrene PV-Ingenieur gefordert, um bei einer projektspezifisch optimalen Komponentenauswahl zu beraten und eine elektrotechnische PV-Systemauslegung entsprechend vornehmen zu können.

### Modulaufbauten

Abhängig von dem Aufbau, dem verwendeten Zellenmaterial und der Verkapselungsart besitzen die PV-Module unterschiedliche Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten am Bau.

Auch können PV-Module zu Isolierglaseinheiten erweitert werden (Abb. 4.5.1-01 und Abb. 4.5.1-02). Dann übernehmen sie auch zusätzliche bautechnische Aufgaben, wie z. B. Schallschutz, Wärmeschutz etc. Die Grenzen werden durch die Glasindustrie gesetzt und nicht durch die Photovoltaik, die in den Scheibenverbund integriert wird. Eine beispielhafte Übersicht verschiedener Modulaufbauten zeigt Abb. 4.5.1-01.

### 4.5.2 Wechselrichter

Hauptaufgabe des Wechselrichters ist es, den von einem PV-System erzeugten Gleichstrom (DC = engl. „Direct Current“) in Wechselstrom (AC = engl. „Alternating Current“) umzuwandeln.

Entscheidendes Qualitätskriterium eines Wechselrichters ist sein Umwandlungswirkungsgrad ausgedrückt in Prozent. Der Umwandlungswirkungsgrad gibt Auskunft darüber, wie viel der Eingangsleistung auf der Gleichstromseite als Leistung auf der Wechselstromseite abgegeben wird. Die Definition des Wirkungsgrads hängt damit von der aktuellen Eingangsleistung ab, die sich jedoch im Tages- und Jahresverlauf ändert und auch vom Wetter beeinflusst wird. Gleichzeitig führt der Umwandlungsprozess von Gleichstrom in Wechselstrom zu Verlusten, die abhängig vom Lastfall Schwankungen unterliegen. Es gibt verschiedene Definitionen eines Wirkungsgrades für Wechselrichter:

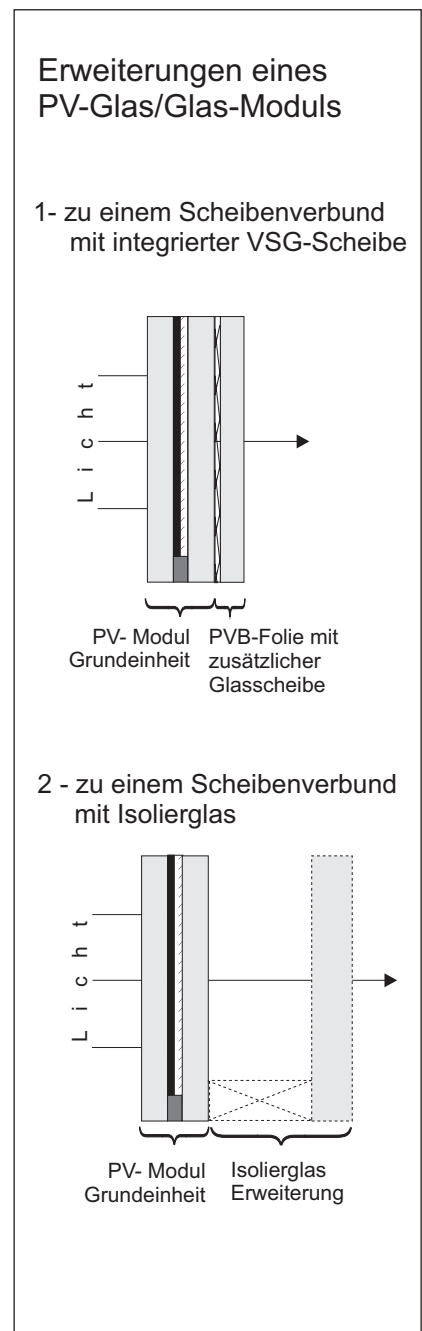


Abb. 4.5.1-02: Erweiterung eines PV-Modules in Glas/Glas-Bauweise

- **Spitzenwirkungsgrad**

Der Spitzenwirkungsgrad ist eine Angabe eines maximalen Wirkungsgrads eines Wechselrichters unter Idealbedingungen. Bei heutigen Wechselrichtern liegt dieser Wert für Wechselrichter ohne Trafo bei ca. 98 %. Wechselrichter mit Trafo erreichen etwas geringere Werte von bis zu 96 %. Verantwortlich dafür sind durch den Trafo bedingte zusätzliche Energieverluste beim Umwandlungsprozess.

Der Spitzenwirkungsgrad ist jedoch nur begrenzt aussagekräftig und erlaubt keine zuverlässige Ertragsprognose einer PV-Anlage unter realen Einstrahlungsbedingungen. Besser eignet sich hierfür der „Europäische Wirkungsgrad“.

- **Europäischer Wirkungsgrad**

Das mitteleuropäische Klima ist geprägt von einem im Tages- und Jahresverlauf wechselnden Strahlungsangebot. Ein in diesen Breiten aufgestellter Wechselrichter arbeitet daher nicht dauerhaft unter Volllast, sondern meist in einem Teillastbereich. Der Europäische Wirkungsgrad berücksichtigt dies, indem er durchschnittliche Wirkungsgrade für verschiedene definierte Teillastbereiche (5, 10, 20, 30, 50 und 100 %) unter typischen mitteleuropäischen Wetterbedingungen ermittelt und in einem Wert zusammenfasst. Die Gewichtung der definierten Teillastbereiche für den Europäischen Wirkungsgrad sind: 3, 6, 13, 10, 48 und 20 %. Dieser Gewichtung liegt die Annahme zugrunde, dass ein Wechselrichter in Mitteleuropa in der Hälfte der Zeit nur mit 50 % seiner Leistung operiert und seine volle Leistung nur für 20 % seiner Betriebszeit nutzen kann.

- **Gesamtwirkungsgrad**

Unter Fachleuten ist auch der „Europäische Wirkungsgrad“ nicht exakt genug, um verlässliche Ertragsprognosen treffen zu können. Daher wurde eine einheitliche DIN-Norm entwickelt, die einen sogenannten „Gesamtwirkungsgrad“ definiert. Dieser setzt sich aus dem Umwandlungs- und Anpassungswirkungsgrad zusammen. Der Anpassungswirkungsgrad beschreibt die Geschwindigkeit und Anpassungsfähigkeit des MPP-Trackings eines Wechselrichters unter wechselnden Einstrahlungsbedingungen. Für weitere Details vgl. „DIN EN 50530: 2013-12 Gesamtwirkungsgrad von Photovoltaik-Wechselrichtern“.

Abhängig vom elektrischen Verschaltungskonzept unterscheidet man prinzipiell drei Arten von Wechselrichtern. Insbesondere die

Grenzen der Nutzung zwischen einem Zentral- und Stringwechselrichter weichen jedoch auf.

- **Zentralwechselrichter**

Er übernimmt die Leistungsumwandlung der gesamten Anlage. Die einzelnen Stränge werden in Generatoranschlusskästen zusammengeführt. Zentralwechselrichter werden zumeist bei großen Freiland PV-Anlagen verwendet (Abb. 4.5.2-01).

- **Stringwechselrichter**

Der Solargenerator wird in mehrere Stränge aufgeteilt. Die einzelnen Stränge werden dann an einem oder mehreren String-Wechselrichtern, die ihrerseits mehrere String-Eingänge (häufig mit eigenem MPP-Regler) besitzen, aufgelegt (Abb. 4.5.2-01). Dieses Wechselrichterkonzept hat sich für GIPV-Anlagen durchgesetzt.

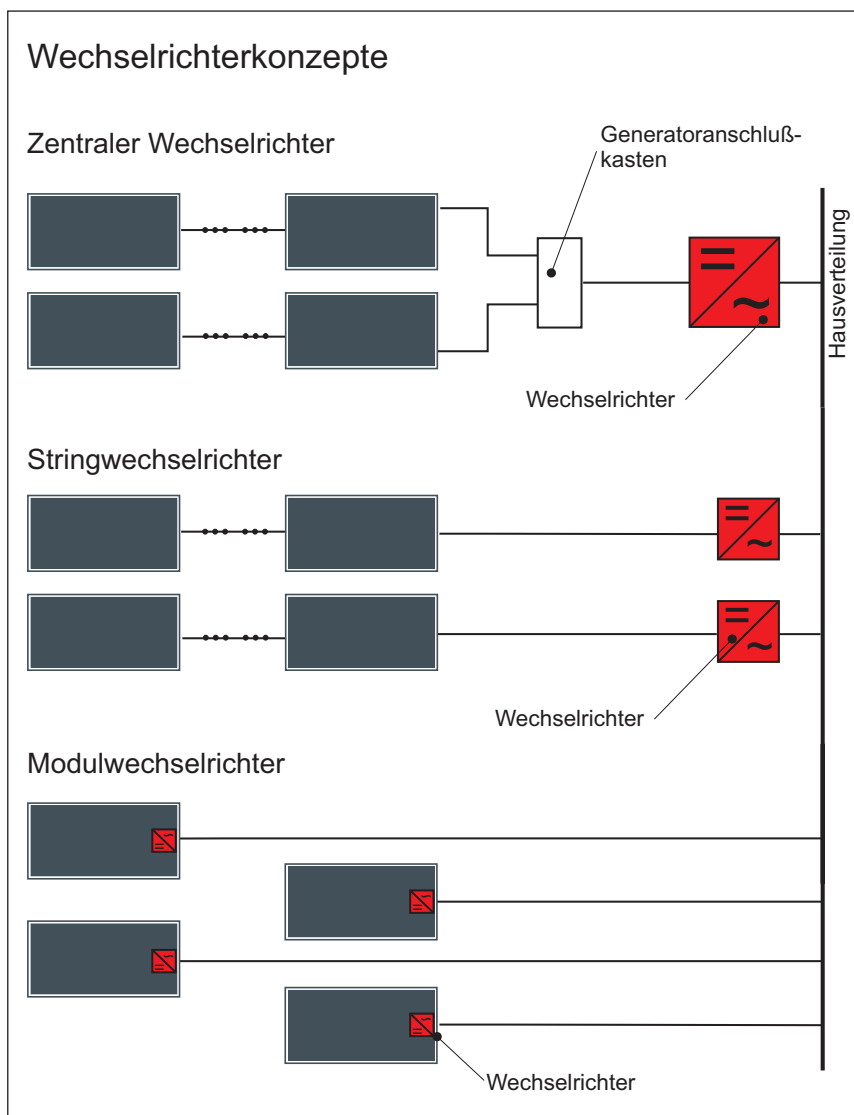


Abb. 4.5.2-01: Verschiedene Wechselrichterkonzepte

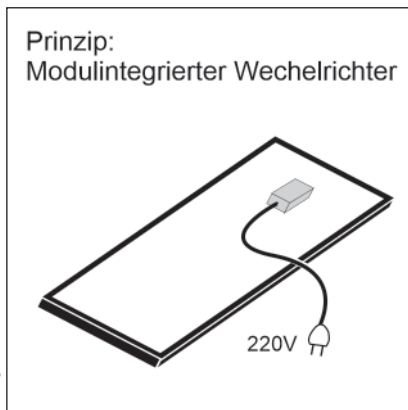


Abb. 4.5.2-02: Modulintegrierter Wechselrichter

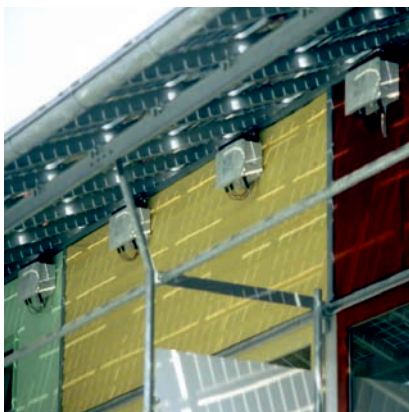


Abb. 4.5.2-03: Anordnung String Wechselrichter direkt unter der Dachtraufe

- **Modulwechselrichter**

Jedes Modul besitzt seinen eigenen Wechselrichter. Die Verkabelung besteht nur aus einer am Bau üblichen Wechselstromverkabelung.

Der Vorteil bei diesem Konzept ist, dass die eventuell verschatteten Module einfach inaktiv sind und so keinen Einfluss auf den Rest der Anlagenleistung haben (Abb. 4.5.2-01 und Abb. 4.5.2-02). Genutzt werden sie z. B. für „Balkonkraftwerke“, die in Deutschland bis zu einer Gesamtleistung von 600W direkt an eine Steckdose angeschlossen werden dürfen.

Das ideale Wechselrichterkonzept und den dazu passenden idealen Wechselrichter für alle Anwendungsfälle gibt es nicht. In der Praxis müssen bei der Planung der PV-Anlage immer die örtliche Situation und die einzusetzenden Bauteile aufeinander abgestimmt werden. Jeder einzelne Anwendungsfall hat sein optimales Wechselrichterkonzept und die dazu passenden Komponenten.

Bei Anlagen, die aus Teilgeneratorflächen mit unterschiedlichen Ausrichtungen bestehen, oder bei Anlagen, die teilweise verschattet sind, sollten String- oder Modulwechselrichter eingesetzt werden. Der Aufstellungsort eines Wechselrichters sollte trocken, gut durchlüftet, witterungsgeschützt und zugänglich sein, z. B. einen Wechselrichterstandort direkt unter der Dachtraufe (Abb. 4.5.2-03).

Neben dieser ureigenen Aufgabe eines Solarstrom-Wechselrichters, der Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom, kommen heute noch weitere Funktionen hinzu:

- Leistungsoptimierung
- Netzüberwachung
- Ertrags- & Anlagenüberwachung
- Netzkommunikation
- Energiemanagement
- ggf. Batteriemangement
- Sicherheit

Die heutige Wechselrichtergeneration kann grundsätzlich als zuverlässig angesehen werden. Hersteller geben über die gesetzliche Gewährleistung hinaus heute Produktgarantien von ca. 5 Jahren, die dann je nach Hersteller um Leistungsgarantien von 10 bis 20 Jahren erweitert werden können.



### 4.5.3 Verkabelung

Die Anordnung und das elektrische Verschaltungslayout der PV-Module untereinander beeinflussen die Verkabelung einer PV-Anlage.

Insbesondere ist auf die Auslegung und den Verlauf der Gleichstromleitungen zu achten, die bei unsachgemäßem Einsatz und Gebrauch im Vergleich zu einer Wechselstromverkabelung ein höheres Gefahrenpotential bergen. Die Gleichstromleitungen sollten deswegen so kurz wie möglich gehalten werden. Eine Anordnung in der Nähe des PV-Generator ist von Vorteil (Abb. 4.5.2-03).

Um hohe Energieverluste zu vermeiden, müssen die Leitungsquerschnitte ausreichend groß dimensioniert werden. Die Spannungsverluste der Leitungen eines Generators sollten, wenn möglich, unter 1% liegen. Bei Verlegung im Freien müssen die Leitungen UV- und ozonbeständig sowie wärme- und kältebeständig sein. Es sollten dazu spezielle, doppelt isolierte Solarleitungen eingesetzt werden.

Die Leitungsverlegung erfolgt in der Regel vor der Montage der PV-Module oder der Baukomponenten mit PV und sollte nur mit Hilfe von geeigneten Befestigungsmaterialien erfolgen, z. B. Kabelkanälen, Rippenrohr etc. Diese fixieren die Leitungen in sicherer Lage und schützen vor mechanischen Beanspruchungen. Die Leitungsenden sollten genügend lang gewählt werden, um einen bequemen Anschluss und Einbau der PV-Module bzw. PV-Baukomponenten zu ermöglichen. Jedoch ist gleichzeitig darauf zu achten, dass keine Leitungen nach der Endmontage wegen Überlänge lose herumhängen. Die Leitungsanschlüsse der Module selbst variieren je nach Hersteller und Anwendung. Die Abbildungen 4.5.3-01 bis 4.5.3-03 zeigen verschiedene Beispiele.

Für die Verbindung der Modulleitungen untereinander sollten berührungssichere Steckverbindungen verwendet werden (z. B. Multi-Contact MC4). Unbedingt ist zu beachten, dass PV-Steckverbinder zwar unter Spannung, aber niemals unter Last – niemals stromführend – getrennt werden dürfen. Andernfalls ist es möglich, dass ein Lichtbogen gezogen wird, der nicht nur den Steckverbinder beschädigt oder zerstört, sondern auch lebensbedrohlich sein kann. Zusätzlich sollten die PV-Steckverbinder daher eine sichere Arretierung besitzen, welche nur mit einem Werkzeug oder zumindest mit einer bewussten Betätigung per Hand gelöst werden kann. Auf diese Weise wird ein irrtümliches Trennen der Leitungsenden vermieden (Abb. 4.5.3-04).



Abb. 4.5.3-01: Kabel eines CIGS Solardachziegels (Etherbright)



Abb. 4.5.3-02: Verkabelung OPV-Module auf einem Dach



Abb. 4.5.3-03: Verkabelung Modulrückseite



Abb. 4.5.3-04: Varianten von Solarstecker-Verbinder

Um Materialkosten und Leistungsverluste zu minimieren, sollte die Verkabelung sorgfältig vor dem Aufbau der PV-Anlage geplant werden. Bautechnisch besonderes Augenmerk benötigen Kabeldurchführungen in der Außenhülle eines Gebäudes oder in Brandwänden.

#### 4.5.4 Batteriespeicher

Als Teil einer PV-Anlage verwendet man Batteriespeicher zur Zwischenspeicherung von momentan nicht benötigtem Solarstrom. Der solar erzeugte Strom kann dann phasenversetzt zu einem anderen Zeitpunkt, wenn die PV-Anlage selbst keinen oder nicht ausreichend Strom produziert, aus dem Speicher wieder abgerufen und genutzt werden.

Gemäß der technischen Klassifizierung werden Speicherkonzepte nach dem Anschlusspunkt der Batterie innerhalb des PV-Systems unterschieden.

- **Speicherkonzept A: AC-gekoppeltes Batteriesystem**

Der Anschluss des AC-gekoppeltes Batteriesystems (Abb. 4.5.4-01) erfolgt an dem Wechselstromkreislauf des Gebäudes. Ein handelsüblicher Wechselrichter kann weiterhin den solar erzeugten Strom in Wechselstrom umformen. Anschließend wandelt ein Batteriewechselrichter den Wechselstrom wieder in Gleichstrom um, um diesen dann in einer Batterie zu speichern.

**Vorteile:**

- Diese Lösung bietet sich gut zur Nachrüstung einer bestehenden PV-Anlage an. Unabhängig von einem Speichersystem kann ein handelsüblicher Wechselrichter verwendet bzw. bei Defekt auch ausgetauscht werden.
- Kostengünstige Lösung für Bestandsanlagen, die nachgerüstet werden sollen.

**Nachteile:**

- Wechselrichter, Laderegler und Batteriesystem bestehen aus einzelnen Komponenten. Sie bilden nicht wie bei dem „Speicherkonzept 2“ eine Einheit.
- Durch die doppelte Umwandlung, von DC nach AC und dann zurück von AC nach DC, entstehen höhere Verluste als bei „Speicherkonzept B oder C“.

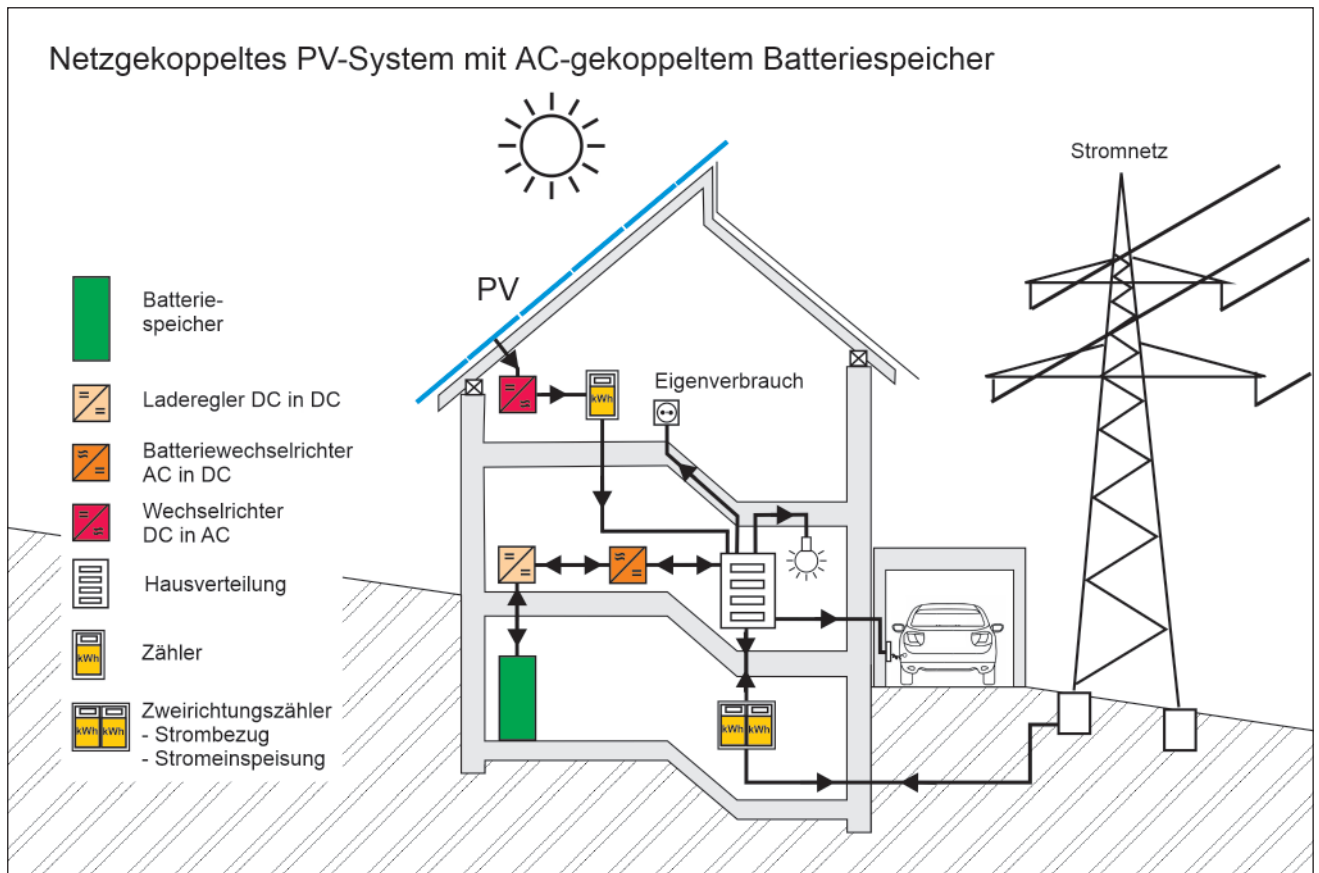


Abb. 4.5.4-01: Netzgekoppeltes PV-System mit AC-gekoppeltem Batteriespeicher

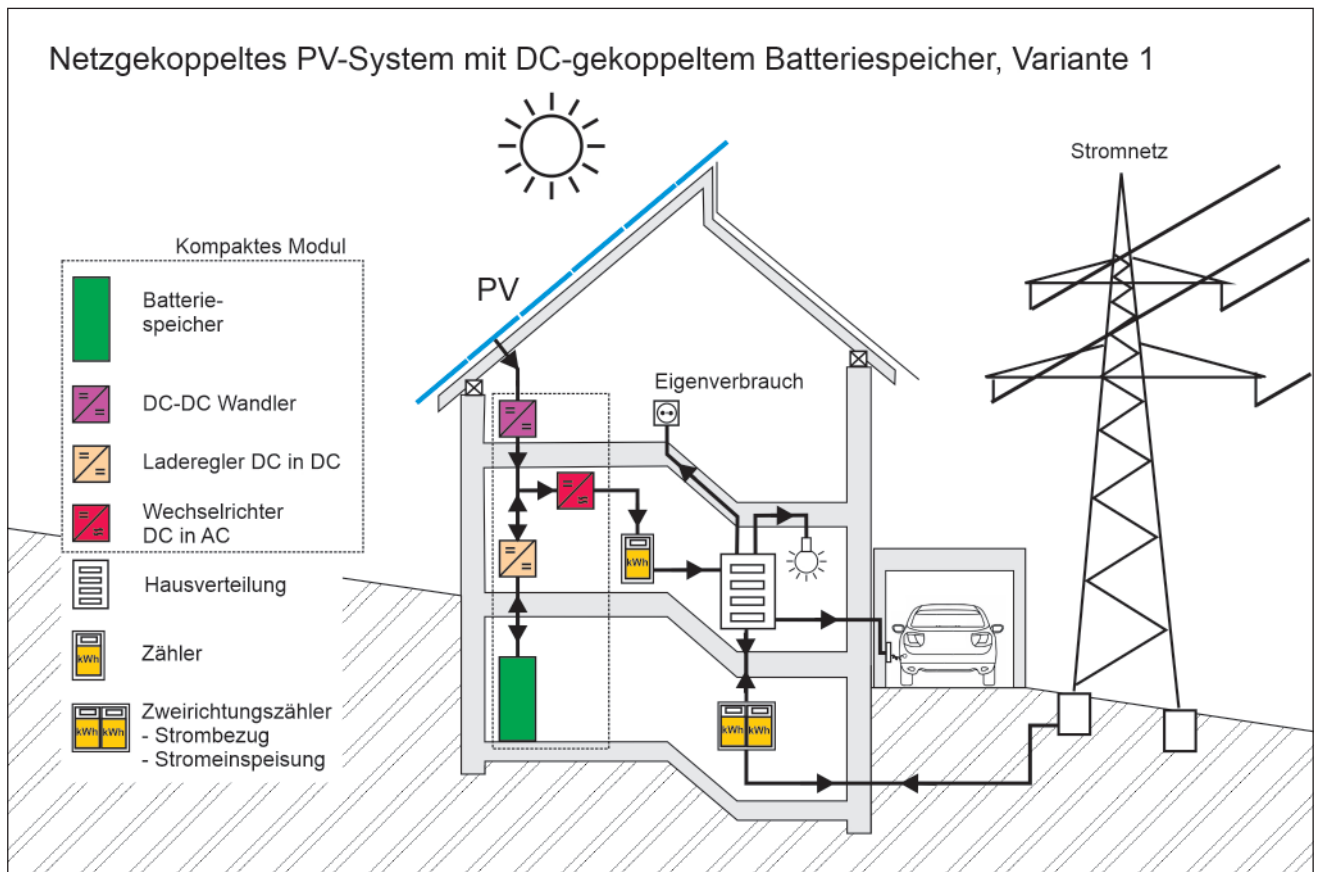


Abb. 4.5.4-02: Netzgekoppeltes PV-System mit DC-gekoppeltem Batteriespeicher, Variante 1

- **Speicherkonzept B: „DC-gekoppeltes Batteriesystem, Variante 1“**

Der Anschluss der Batterie bei „Speicherkonzept B“ (Abb. 4.5.4-02) erfolgt auf der Gleichstromseite. Der von einer PV-Anlage erzeugte Solarstrom wird durch einen speziellen Wechselrichter für die Netzeinspeisung in Wechselstrom umgewandelt. Bei Bedarf speist jedoch ein integrierter Laderegler, der im Zwischenkreis des Wechselrichters eingebunden ist, vorab den DC-PV-Strom in eine Batterie ein. Wechselrichter, Laderegler und Speichersystem sind bei diesem System in einem kompakten Modul zusammengefasst.

**Vorteile:**

- All-in-One Konzept: Wechselrichter, Laderegler und Speichersystem sind in einem Bauteil zusammengefasst.
- Das DC gekoppelte Speichersystem eignet sich als kostengünstige Lösung für Neuanlagen.
- Überschüssiger Solarstrom durchläuft vor seiner Zwischenspeicherung nur *eine* Spannungsanpassung im Vergleich zu „Speicherkonzept A“.

- **Speicherkonzept C: „DC-gekoppeltes Batteriesystem, Variante 2“**

Der Anschluss des Batteriesystems erfolgt zwischen den Solarmodulen und dem vorhandenen Wechselrichter auf der Gleichstromseite der Photovoltaik Anlage.

Bei diesem Systemtyp werden auf der Generatorseite des Wechselrichters die Batterie und ein dazugehöriger Laderegler angeschlossen. Im Gegensatz zu Variante 1 kann ein vorhandener Wechselrichter weiter genutzt werden. Ein Vorteil gegenüber einem AC-gekoppeltes Batteriesystem ist, dass zusätzliche Umwandlungsschritte und damit -verluste vermieden werden.

**Vorteil:**

- Weniger Umwandlungsschritte als bei einem AC-gekoppelten Batteriesystem
- Ein vorhandener Wechselrichter kann weiter genutzt werden.

**Nachteil:**

- Ein vorhandener Wechselrichter ist ggf. nicht optimal auf das PV-System, dass um einen Speicher erweitert wurde, angepasst.

Bei der Speicherung in einer Batterie wird solar erzeugte elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt. Sowohl bei der Speicherung als auch bei der damit verbundenen Energieumwandlung kommt es zu thermischen Verlusten. Diese äußern sich in einer Erwärmung des Batteriespeichers bzw. seiner Umgebung.

Auf dem Markt gibt es verschiedene Arten von Batteriespeichern. Am verbreitetsten sind Lithium-Ionen-Batterien, die sich bei den Hausspeicher-Systemen durchgesetzt haben. Die Vorteile der Lithiumbatterien sind vor allem der hohe Wirkungsgrad, die hohe Energiedichte und die vergleichsweise lange Lebensdauer auch bei intensiver Nutzung.

Lithium-Ionen-Batterien für Einfamilienhäuser besitzen die Größe eines Kühlschranks (Abb. 4.5.4-03). Der Temperaturbereich ihres Aufstellungsort sollte zwischen 5 - 30 °C liegen. Zu hohe oder zu niedrige Temperaturen wirken sich negativ auf die Leistungsfähigkeit aus. Sie führen ggf. auch zu einer deutlich verkürzten Lebensdauer des Batteriespeichers. Unbeheizte, frostgefährdete Garagen eignen sich aus diesem Grunde nicht als Aufstellungsort für einen Batteriespeicher.

Batteriespeicher erfreuen sich derzeit großer Beliebtheit. Der Markt für Batteriespeicher von Solarstrom wuchs das dritte Jahr in Folge um rund 50 Prozent laut Bundesverband Solarwirtschaft (BSW). Inzwischen investiert jeder zweite Eigenheimbesitzer, der sich eine PV-Anlage anschafft, auch in einen Batteriespeicher. Man möchte den selbst erzeugten Solarstrom auch zeitversetzt in den Abend- und Nachtstunden nutzen können. Zunehmend werden auch immer mehr Ladestationen zum Laden von E-Autos installiert.



Abb. 4.5.3-03: Batteriespeicher der Firma Sonnen für ein Einfamilienhaus (vgl. weiße Box unten), Wechselrichter der Firma Fronius (vgl. graue Box oben)

© Friese & Röver GmbH & Co.KG

## 4.6 Ökologie

Die gebäudeintegrierte Photovoltaik ist eine überaus umweltfreundliche Energiequelle! Für Diskussionen über ihre ökologische Verträglichkeit sind von Bedeutung:

- **Ressourcenverfügbarkeit**  
Der Rohstoff der meisten PV-Zellen ist quasi unbegrenzt verfügbar.
- **Umweltbelastung durch toxische Inhaltsstoffe**  
Bei der Produktion von PV-Zellen treten umweltschädliche Stoffe vergleichbar mit der Halbleiterindustrie auf, sie verbleiben jedoch in geschlossenen Kreisläufen. Eine Belastung der Umwelt hierdurch wird als unerheblich eingestuft. Während des Betriebs eines PV- Systems entstehen weder Schadstoffe noch Lärm. Auch bei einem Störfall oder mutwilliger Zerstörung ist keine Gefahr für Mensch und Umwelt zu erwarten.
- **Energierücklaufzeit**  
Die Energierücklaufzeit oder energetische Amortisationszeit (engl.: Energy Payback Time, EPBT) beschreibt den Zeitraum, der gebraucht wird, um die Primärenergie, die zur Herstellung eines PV-Moduls bzw. eines PV-Systems benötigte wurde, wieder mit der PV zu erzeugen. Der Berechnung der Energierücklaufzeit liegen je nach Studie unterschiedliche Annahmen zu Grunde, die ggf. im Einzelfall genau betrachtet werden müssen, um die Ergebnisse richtig einzuordnen zu können. Lokale Einstrahlungsverhältnisse beeinflussen ebenso wie der Produktionsstandort und damit verbundene Transportwege zu einem Aufstellungsort einer PV-Anlage die Länge der berechneten Energierücklaufzeit.

Moderne, energiesparendere Produktionsprozesse, ein geringerer Materialverbrauch pro Zelle aber auch steigende Wirkungsgrade der PV-Zellen selbst tragen dazu bei, dass die Energierücklaufzeiten für PV-Module und PV-Systeme sich in den letzten 15 Jahren deutlich reduziert haben. Abbildung 4.6-01 zeigt eine Gegenüberstellung der aktueller Energierücklaufzeiten von CIGS- und CdTe-Dünnschichtmodulen mit den mono- und polykristallinen PV-Modulen.

Belastbare Energierücklaufzeiten von PV-Modulen mit Farbstoffsolarzellen oder Organischen Solarzellen sind nicht bekannt. Es

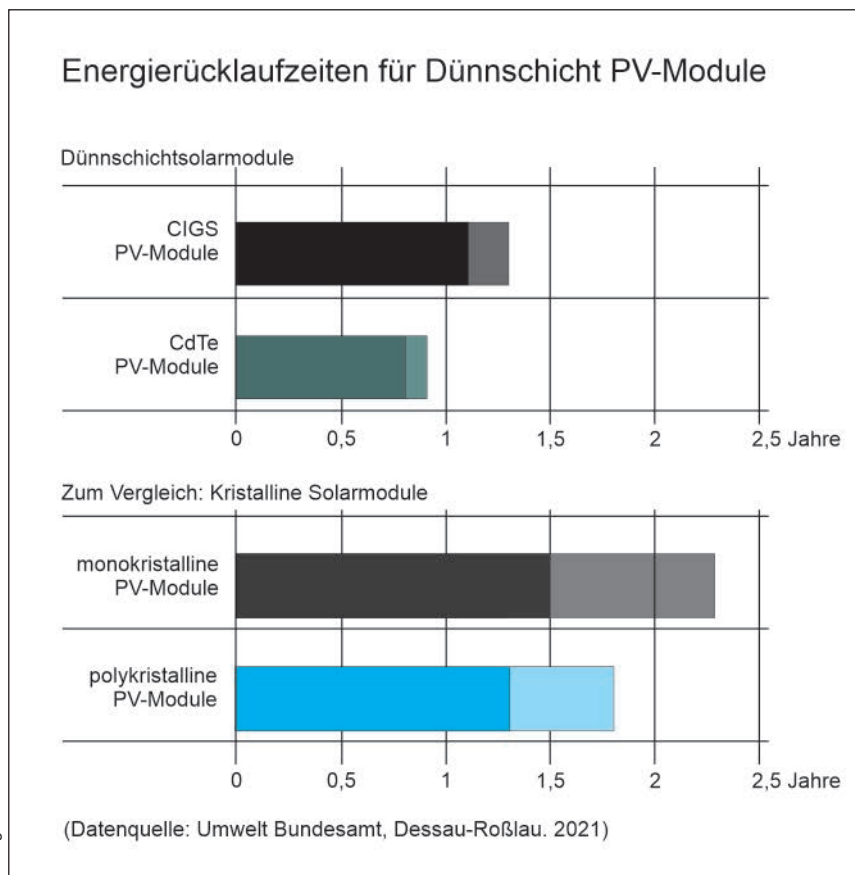


Abb. 4.6-01: Energierücklaufzeit für verschiedene PV-Dünnschichtmodule

wird jedoch angenommen, dass aufgrund einfacher und energiearmer Produktionsprozesse für PV-Module aus organischen Materialien die möglichen Energierücklaufzeiten unter denen von CdTe-Dünnschichtzellen liegen.

Vereinfacht kann in jedem Fall angenommen werden, dass die Energierücklaufzeit von PV-Modulen mit < 2,5 Jahren beziffert werden kann. Die PV-Module liefern damit während ihrer Lebenszeit ein Vielfaches der Energie zurück, die ursprünglich zu ihrer Herstellung verwendet wurde. Kraftwerke zur Verbrennung fossiler Energieträger wie Uran, Kohle etc. besitzen im Vergleich hierzu überhaupt keine Energierücklaufzeit, da sie nur die ihnen zugeführte gespeicherte Energie mit Verlust umwandeln.

- **Landverbrauch**

Der Einsatz der PV an Gebäuden führt nicht zu einem zusätzlichen Flächenverbrauch, da nur eine Sekundärnutzung bereits anderweitig genutzter Flächen erfolgt.

- **Recycling**

Die PV-Module selbst sind ein dauerhaftes Produkt, auf das Modulhersteller bereits heute Garantiezeiten von bis zu 26 Jahren geben. Kaum einem anderen Konsumprodukt werden ähnlich lange Garantiezeiten gewährt. Die eingesetzten Materialien können am Ende ihrer Verwendungszeit recycelt werden. Entsprechende Recyclingstrategien liegen vor.

*Weiterführende Informationen*

*[1] Umwelt Bundesamt (Hg.). 2021. Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen. Climate Change 25/2021 Abschlussbericht. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau*

*[2] Fraunhofer ISE (Hg.) 2022. Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Freiburg.*

→ [www.pv-fakten.de](http://www.pv-fakten.de) (12/2022)



## 5. Farbgestaltungsmöglichkeiten der GIPV

### Merke

- PV-Module können heute optisch in vielen Farben gestaltet werden
- Jede Farbveränderung führt zu einer Leistungseinbuße, abhängig von der gewählten Farbe und Farbtechnologie

Farbigkeit in der Gestaltung mit PV-Modulen kann heute auf unterschiedliche Weise erzeugt werden (Abb. 5-01). In der Regel werden Schichten dem Modulaufbau hinzugefügt oder mit unterschiedlichen Methoden verfeinert. Die einfachste Modifikation, die keinen nennenswerten Einfluss auf den Modulertrag hat sind Schichten die hinter der solaraktiven Schicht angeordnet sind, da diese den Einfall der Solarstrahlung auf die PV-Zellen nicht beeinflussen.

Nachfolgend eine detaillierte Zusammenstellung farblicher Gestaltungsmöglichkeiten von Dünnschichtsolarmodulen:

- Farbige Polymerfolien
- Farbige Gläser
- Sandstrahlen
- Tieftexturierte Frontgläser
- Keramischer Siebdruck
- Keramischer Digitaldruck
- Optische Filter I: Spektral selektive Glasbeschichtung (Kromatix)
- Optische Filter II: Spektral selektive Glasbeschichtung (Color-Quant)
- Optische Filter III: Folie mit Nanopartikeln (Solaxess)
- Optische Filter IV: OMO-Elektroden
- Farbstoffsolarzellen
- Organische PV-Module

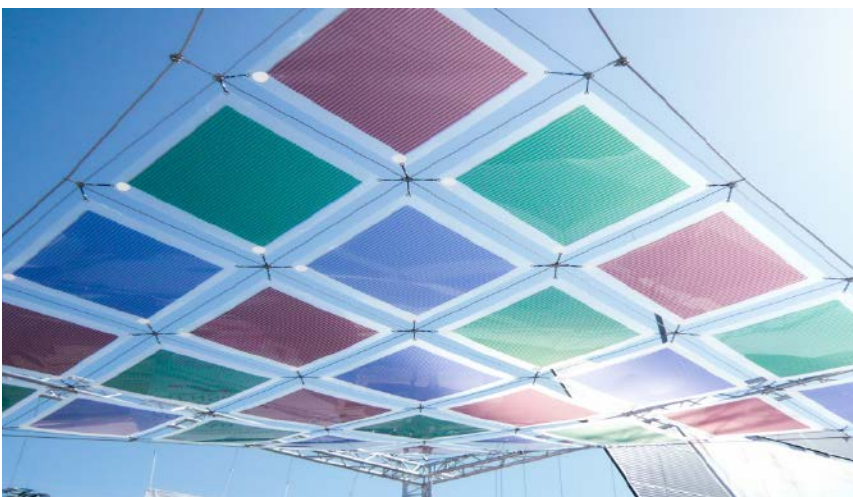


Abb. 5-01: Farbige, semitransparente OPV-Module, Messestand Konarka, Intersolar 2010

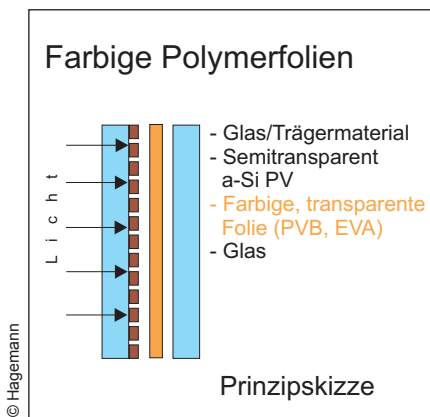


Abb. 5.1-01: Farbige Polymerfolien

## 5.1 Farbige Polymerfolien

Polyvinylbutyral (PVB) wird vor allem als Schmelzklebstoff in Form von Zwischenfolien für Verbund-Sicherheitsglas im Bausektor verwendet. Es wird, neben Ethylvinylacetat-Folien (kurz: EVA-Folie oder nur EVA), auch als Einbettungsmaterial für Solarzellen verwendet. Beide Folien gibt es auch als eingefärbte Folien. In Kombination mit entfärbtem, extraweißem Floatglas, wie es für die Deckgläser von PV-Modulen verwendet wird, entsteht ein brillanter Farbeindruck. Es ist jedoch auf eine gute UV-Stabilität der verwendeten Folien zu achten, da ansonsten der Farbeindruck mit der Zeit verblasst (Abb. 5.1-01 und 5.1-02).

Hersteller, wie z. B. OnyxSolar, verwenden bei Ihren semitransparenten amorphen PV-Modulen eingefärbte Polyvinylbutyral (PVB) als Verkapselungsmaterial auf der Zellenrückseite. Auf diese Weise lassen sich farbige Module bauen.

Der schwedische Hersteller SolTech Energy Sweden AB baut semitransparente CdTe-Module mit farbiger PVB-Folie, die hinter den Solarzellen angeordnet ist. Ein schönes, ausgeführtes Projekt mit seinen farbigen gestalteten PV-Modulen ist die Fassade des Parkhauses in Vallastaden (Abb. 5.1-03).

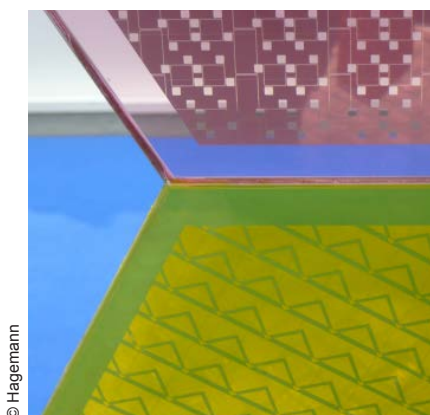


Abb. 5.1-02: Farbige PVB-Folie

### Weiterführende Informationen

[1] **Onyx Solar Energy S.L., Ávila, Spanien**

→ [www.onyxsolar.com](http://www.onyxsolar.com) (12/2022)

[2] **SolTech Energy Sweden AB, Stockholm, Schweden**

→ [www.soltechenergy.com](http://www.soltechenergy.com) (12/2022)

[3] **Soltech Sales & Support AB (Hg.). 2021. Soltech Façade – Semitransparent. Fassaden som producerar el.**

→ [https://soltechenergy.com/uploads/2020/01/Facade-semitransp\\_produkblad\\_2019.pdf](https://soltechenergy.com/uploads/2020/01/Facade-semitransp_produkblad_2019.pdf) (12/2022)



© Photo Jansin & Hammarling

Abb. 5.1-03: Farbige, semitransparente CdTe-Module, Parkhaus, Vallastaden, Schweden / Produkt: „Soltech Facade - Semitransparent“, Soltech

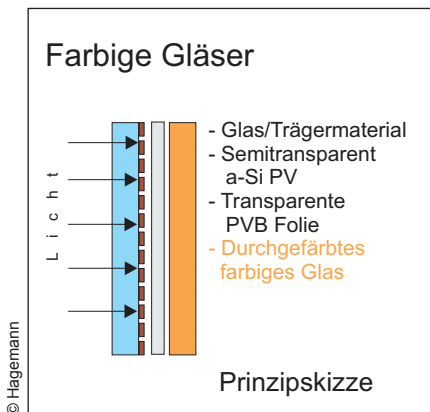


Abb. 5.2-01: Farbige Gläser

## 5.2 Farbige Gläser

Maschinengezogene, durchgefärbte Gläser ohne Oberflächenstruktur können gut zu Verbundgläsern, Isoliergläsern und Glas-Glas PV-Modulen verarbeitet werden. Mit zunehmender Glasdicke verringert sich der Transmissionsgrad solcher durchgefärbten Gläser. Der visuelle Farbeindruck wird dadurch dunkler. Angeordnet hinter einer solaraktiven PV-Schicht, geben sie den PV-Modulen einen farbigen Eindruck ohne jedoch die Solarstromproduktion selbst zu beeinflussen. Die Gefahr des Verblässens des Farbeindrucks besteht nicht (Abb. 5.2-01).

Ein schönes Projektbeispiel ist die bunte PV-Glassassade eines Treppenhausturm in der Nähe von Barcelona. Für dieses Projekt wurden amorphe PV-Module mit dem heute nicht mehr angebotenen Schott IMERA™ Farbglas zu einer Fassadeneinheit verbaut. Diese Flachglasscheiben mit extrem glatter, feuerpolierter Oberfläche und gleichmäßiger Färbung ließen sich sowohl zu Verbundsicherheitsglas als auch zu Isolierglas verarbeiten. In diesem Projekt ist dieses Glas hinter der solaraktiven Schicht im Scheibenverbund angeordnet. (Abb. 5.2-02 bis Abb.5.2-04).

### Weiterführende Informationen

- [1] Masseck, Torsten. 2005. *Transparent Amorphous Silicon PV-Façade as part of an Integrated Concept for the Energetic Rehabilitation of an Office Building in Barcelona*. In: *Proceedings of the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona*
- [2] Masseck, Torsten. 2006. *Monitoring Results and Overall Evaluation of a Multifunctional, Transparent, Coloured PV-Façade for the Energetic Rehabilitation of an Office Building in Barcelona*
- [3] Masseck, Torsten. 2006. *Fachada Solar como pieza singular de arquitectura sostenible*. In: *Arquitectura Bioclimática, Juni 2006*.
- [4] RWE Schott Solar / SCHOTT Ibérica S.A. (Hg.). *Fachada solar SCHOTT Ibérica. Arquitectura innovadora hacia la sostenibilidad*.



Abb. 5.2-02: Außenansicht des Treppenhaus mit farbigen a-Si Isolierglasmodulen, Betriebsgebäude Schott Iberica



Abb. 5.2-03: Isolierglasfassade mit integrierten a-Si-Modulen, Treppenhaus Betriebsgebäude Schott Iberica

© Hagemann

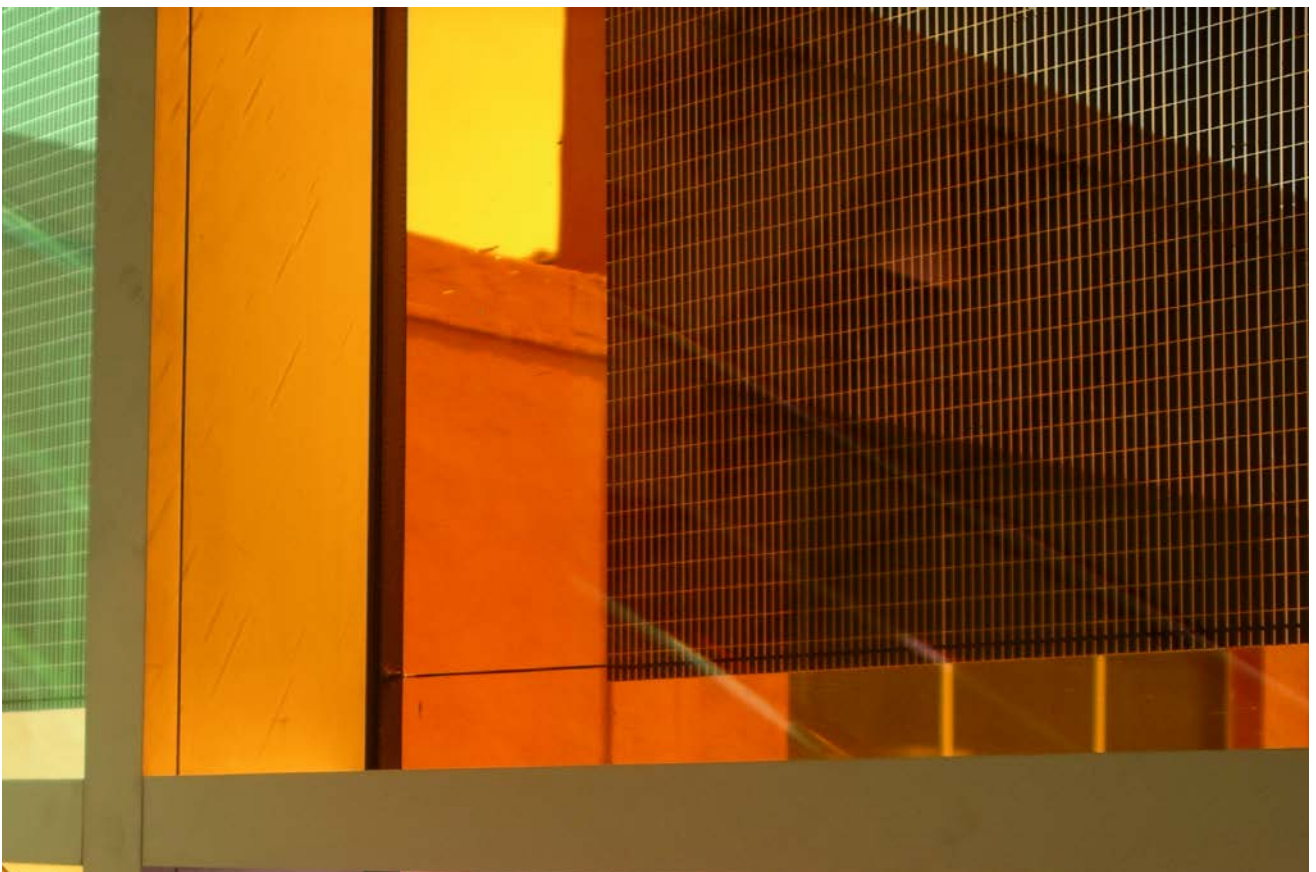


Abb. 5.2-04: Detail a-Si Module als Teil eines Isolierglasscheibenverbunds, Treppenhaus Betriebsgebäude Schott Iberica

© Hagemann

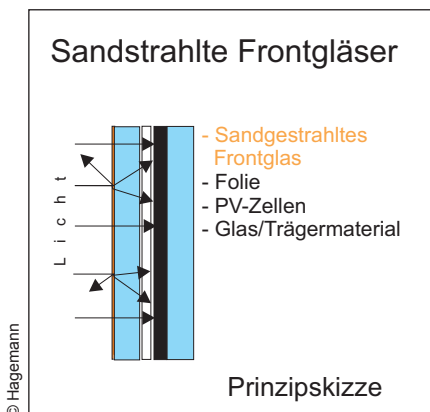


Abb. 5.3-01: Sandgestrahlte Frontgläser

### 5.3 Sandgestrahlte Frontgläser

Das Sandstrahlen der äußeren Frontglasscheibe eines PV-Modules verändert sein Aussehen (Abb. 5.3-01). Eine ursprünglich glänzende PV-Moduloberfläche erhält so ein mattes Aussehen. Es sind keine Reflexionen im Glas mehr sichtbar, wenn mit dem richtigen Druck von 5 bar gesandstrahlt wurde. Im Vergleich zu anderen Methoden der Oberflächenbearbeitung kann durch das Sandstrahlen eine stärkere Entspiegelung und Mattierung erreicht werden. Die ursprüngliche Farbe des PV-Moduls verändert sich. Die Gesamtleistung nimmt ein wenig ab. Die Kosten für das Verfahren sind niedrig [1].

Bei dem in Abbildungen 5.3-02 und 5.3-03 gezeigten Mehrfamilienhaus in Brütten, Schweiz, wurden ursprünglich schwarze Dünnschichtmodule mit einer glänzenden Oberfläche des taiwanesischen Firma Next Power durch eine Sandstrahlbehandlung in anthrazitfarbene Module mit einem matten und angenehmen Farbeindruck verwandelt. Gestalterisch war dies ausdrücklich erwünscht. Der Eindruck glänzender Module wurden subjektiv als unpersönlich und die ursprünglich schwarze Modulfarbe als kalt empfunden. Das Sandstrahlen dieser vom Fließband kommenden kostengünstigen Module war jedoch nur möglich, weil das Frontglas der PV-Module von Next Power aus Floatglas besteht und nicht, wie üblich, aus gehärtetem Glas. Für PV-Module mit gehärteten Frontgläsern liegt es nahe, ggf. eine sandgestrahlte Glasscheibe als zusätzliche, äußere Schicht mit in den Modulverbund aufzunehmen.

Die Tagesleistung der sandgestrahlten Module lag bei Tests ca. 5 % unter den Leistungen vergleichbarer, unbehandelten Module. Gleichwohl waren in den Morgen- und Abendstunden bei tiefstehender Sonne die Erträge um 20–30 % höher als bei unbehandelten Modulen [1].

Funktional ist ein geringes Reflexionsverhalten matter Moduloberflächen von Vorteil, wenn störende Reflexionen eines Modulfeldes vermieden werden müssen, z. B. wenn diese den Straßenverkehr beeinträchtigen.

#### Weiterführende Informationen

[1] Bundesamt für Energiewirtschaft BFE (Hg.). 2018. *PV-Gebäudehülle mit warmem Erscheinungsbild im Wohnquartier. Schlussbericht vom 2. Februar 2018*

→ <https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=46029&Load=true> (12/2022)



© Hagemann

Abb. 5.3-02: Mehrfamilienhaus Brütten, Schweiz, mit einer Fassadenverkleidung aus rahmenlosen micromorphe Dünnschichtsolarmodule (Fassade: 47 kWp, 485 m<sup>2</sup>) und einer Dacheindeckung mit Monokristallinen PV-Modulen (80 kWp, 512 m<sup>2</sup>)



© Hagemann

Abb. 5.3-03: Detail Fassadenverkleidung mit gesandstrahlten Dünnschichtmodulen

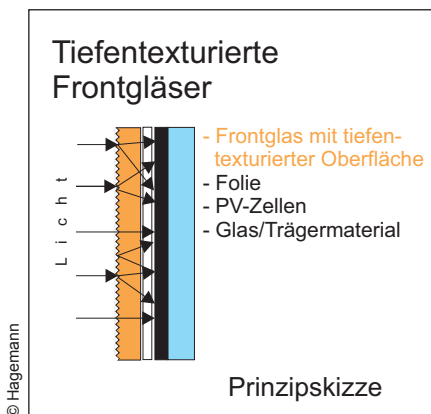


Abb. 5.4-01: Tiefentexturierte Frontgläser

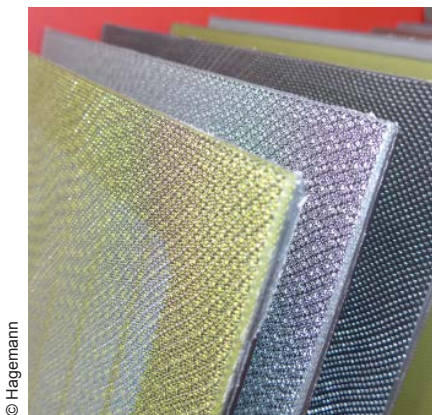


Abb. 5.4-02: Texturierte Frontgläser

## 5.4 Tiefentexturierte Frontgläser

Um Solarstromerträge von PV-Modulen zu optimieren werden auch Frontgläser aus tiefentexturierten, extraweißen Gussgläsern verwendet, z. B. die extra-weißen Gussgläser des Typs „SGG Securit Albarino P/G“ (Abb. 5.4-01).

Die circa einen Millimeter tiefen Strukturen sind auf der nach außen gerichteten Glasoberfläche deutlich sichtbar. Diese Oberflächenstrukturen bestehen meist aus abgerundeten Wellen oder Pyramiden. Sie werden im Glasherstellungsprozess in das noch flüssige Glas eingewalzt.

Diese Vertiefungen in der Glasoberfläche haben den Effekt einer Lichtfalle. Licht, was ansonsten von der Moduloberfläche reflektiert würde, wird nun so umgelenkt, dass es zusätzlich auf der aktiven PV-Zellschicht auftrifft. Mehr Sonnenlicht wird für Solarstromproduktion nutzbar. Dies führt zu Ertragssteigerungen, die mit ca. 3% für kristalline PV-Module angegeben werden. Interessant ist, dass bei niedrigen Einstrahlungswinkeln, wie sie in den Morgen- und Abendstunden, bzw. bei nicht optimaler Ausrichtung vorkommen, diese Ertragssteigerungen noch günstiger ausfallen können. Das strukturierte Glas nutzt einfallendes Schrägllicht effektiver (Abb. 5.4-02).

Tiefentexturierte Frontgläser von PV-Modulen sind von weitem erkennbar. Dahinter liegende Zellen und Farben verändern ihr Erscheinungsbild im Vergleich zu einer konventionellen Solarverglasung aufgrund des veränderten Reflexionsverhaltens. Sie können damit auch als Gestaltungselement eingesetzt werden.

Die tiefentexturierten Gläser sollen zudem weniger verschmutzungsanfällig sein als konventionelles Solarglas. Ursache dafür ist eine erhöhte Fließgeschwindigkeit des ablaufenden Wassers, verursacht durch die abgerundeten Tiefenstrukturen der Glasoberfläche (Details vgl. [1]).

### Weiterführende Informationen

[1] Hemke, Ole. 2010. Ertragssteigerungen für Photovoltaik-Module durch strukturiertes Front-Glas. Solarmodule können mehr: Leistung und Rendite durch Innovationen im Detail. In: IHKS FACH.JOURNAL 2010, S.167–169

→ <https://www.ihks-fachjournal.de/fachartikel/download.php?title=ertragssteigerung-fuer-photovoltaik-module-durch-strukturiertes-front-glas> (12/2022)

[2] SGG Albarino® Extraweißes Gussglas, Saint-Gobain Glass, Frankreich

→ <https://www.saint-gobain-glass.de/de/sgg-albarino> (12/2022)



## 5.5 Keramischer Siebdruck

Klassische Siebdruckverfahren können verwendet werden, um die Frontglasscheibe eines PV-Modules farblich zu gestalten (Abb. 5.5-01).

Bei diesem in der Glasindustrie erprobten Druckverfahren können einzelne Farbflächen oder Bildmotive gedruckt werden. Für den Motivdruck werden Fotos digitalisiert. Die digitalisierten Daten werden direkt auf ein Drucksieb belichtet. Anschließend wird nacheinander jede einzelne Farbe auf das Glas übertragen. Nach dem Siebdruck wird das Glas thermisch behandelt. Dabei werden die Farben fixiert und das PV-Glas zu ESG oder TVG weiterbehandelt. Durch den Siebdruck wird die Frontglasscheibe eines farbig gestalteten PV-Modules nicht vollflächig emailliert, sondern mit einem Muster versehen, das sich aus dem gewählten Siebdruck ergibt. Es besteht in der Regel aus einem gleichmäßigen Punktraster (Abb. 5.5-02) oder Linienraster. Das Raster kann aber auch individuell gestaltet werden.

Neben der optischen Veränderung beeinflusst der aufgebrauchte Siebdruck die lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Eigenschaften speziell von mehrschichtig aufgebauten Gläsern sowie auch PV-Modulen. Grundsätzlich gilt, dass die Lichttransmission und damit der Solarstromertrag mit steigendem Bedruckungsgrad linear sinken. Die Anordnung des Siebdrucks im Isolierglas hat dabei keine, bzw. nur unwesentliche Auswirkungen.

Bezüglich des Wärmedurchgangskoeffizienten ist es zu empfehlen, die Bedruckung auf Position 1 (Außenseite Außenscheibe) statt auf Position 2 (Innenseite Außenscheibe) anzuordnen, da sich der Wärmedurchgangskoeffizient für die Verglasung (Ug-Wert) bei Bedruckungen auf der innen liegenden Position deutlich verschlechtert. Eine Möglichkeit, diesem Effekt entgegenzuwirken, ist das Aufbringen einer zusätzlichen Sonnenschutzbeschichtung auf dem Siebdruck.

Die ersten PV-Module, die so farblich gestaltet wurden, entwickelte die Firma Würth Solar. Später wurde diese Firma von der Nice Solar Energy GmbH übernommen. Schwarze CIS-Module erhielten mit diesem Verfahren aus der Entfernung betrachtet ein einheitliches gelbes, rotes, grünes oder blaues Erscheinungsbild (Abb. 5.5-03).

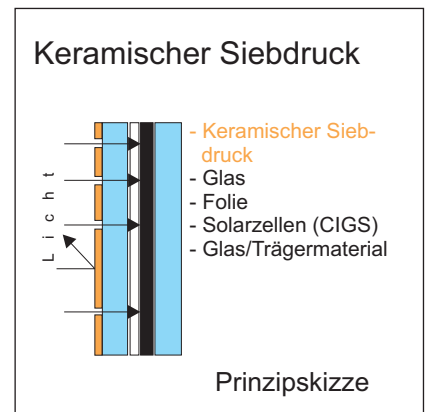


Abb. 5.5-01: Keramischer Siebdruck

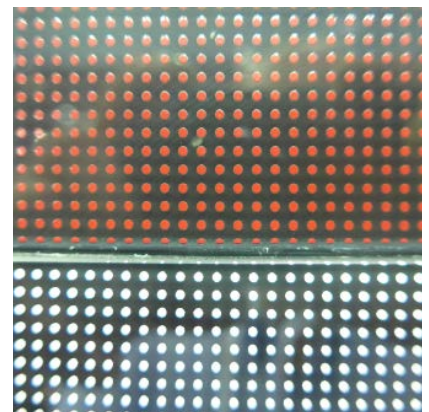


Abb. 5.5-02: Detail Punktraster, Keramischer Siebdruck auf der Vorderseite eines PV-Moduls



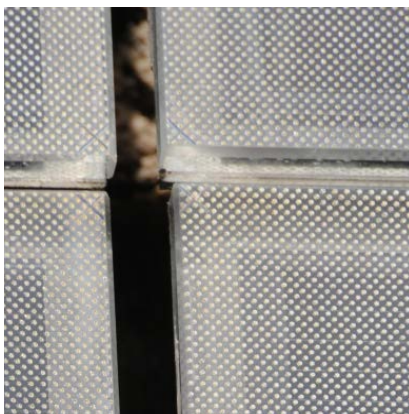
© Hagemann

Abb. 5.5-03: Farbige CIGS-Module mit Siebdruck in Rot, Gelb, Blau und Grün



© Hagemann

Abb. 5.5-04: CIGS-Module mit Siebdruck, Schiller-Zitat-Tafel, Marbach am Neckar,



© Hagemann

Abb. 5.5-05: Detail Siebdurckraster Schiller-Zitat-Tafel

Ein Anwendungsbeispiel, ist die Schiller-Zitat-Tafel an der Stadtmauer in Marbach am Neckar. Die Zitat-Tafel mit einer Größe von ca. 3,61 m x 3,61 m besteht aus neun Dünnschicht-PV-Modulen von Würth Solar. Die teilvorgespannten Frontgläser der einzelnen Module haben eine Größe von 1,2 x 1,2 m. Der Siebdruck mit witterungsbeständigen Farben befindet sich auf der Modulvorderseite (Abb. 5.5-04 und 5.5-05).

#### Weiterführende Informationen

[1] *Hermannsdörfer, Ingrid u. Rüb, Christine Rüb (Hg.). 2005. PVACCEPT. Final Report. 01.07.01 - 31.12.04, UdK - Universität der Künste Berlin, Fakultät Gestaltung – Architektur, Berlin.*

→ <http://www.pvaccept.de/> (12/2022)

## 5.6 Keramischer Digitaldruck

Keramischer Digitaldruck (Abb. 5.6-01) ist eine moderne Drucktechnologie die eine individuelle Gestaltung für Flachgläser ermöglicht. Sie ermöglicht es, fotorealistische Motive gemäß Kundenwunsch auf Flachglas zu drucken. Die erzeugten Motive werden auf dem Trägermaterial, das sowohl Glas aber auch Keramik oder Beton sein kann, eingebrannt und können schon ab einer Auflage von einem Stück produziert werden. Genau wie im keramischen Siebdruck verbinden sich die anorganischen Farbpigmente mit den Substraten. Die aufgebrauchte Farbe erhält durch diesen Prozess eine dauerhafte Brillanz hinsichtlich der Farbwiedergabe und Lichtechtheit. Diese Technik wird im Bauwesen an verschiedenen Stellen zur Veredelung von Architekturmaterialien für den Innen- und Außenbereich eingesetzt.

Im Zusammenhang mit PV-Modulen hat ein Team um Prof. Stephen Wittkopf von der Hochschule Luzern Prozessschritte dieser Technik für den Einsatz bei mehrfarbig gestalteten PV-Modulen modifiziert. Kern der Entwicklung ist die an der Hochschule Luzern entwickelte sogenannte „Meta-C-Print“-Methode. Sie verfolgt das Ziel, dass sich trotz Mehrfarbigkeit keine Teil-Verschattungen und Verluste über 20 Prozent für derart gestaltete, farbige PV-Module ergeben. Erreicht wird dies, indem Bereiche unterschiedlicher Transparenzgrade so angepasst werden, dass eine einheitliche Lichttransmission gewährleistet wird und Hot-Spots auf den Solarzellen vermieden werden.

Auf diese Weise entstehen mehrfarbig gestaltete Einscheibensicherheitsgläser (ESG) oder teilvorgespannte Gläser (TVG), die zu PV-Modulen verbaut, auch für den Einsatz in der Fassade geeignet sind. Der Digitaldruck ist auf der Rückseite des Frontglases eines PV-Moduls, d. h. Position 2, angeordnet. Somit ist er besser vor den Witterungseinflüssen geschützt. Ein erfolgreiches Ergebnis dieser Entwicklung ist die PV-Fassade Swissness mit den Kantonsfahnen als farbige PV-Module (Abb. 5.6-02).

Bislang wurde dieses modifizierte keramische Digitaldruckverfahren nur in Kombination mit kristallinen PV-Modulen eingesetzt. Grundsätzlich können jedoch auch Dünnschichttechnologien hierfür verwendet werden, die das Frontglas nicht als Trägermaterial nutzen, wie z. B. die CIS/CIGS Technologie. Konkrete Praxiserfahrungen hierzu stehen zum aktuellen Zeitpunkt noch aus.

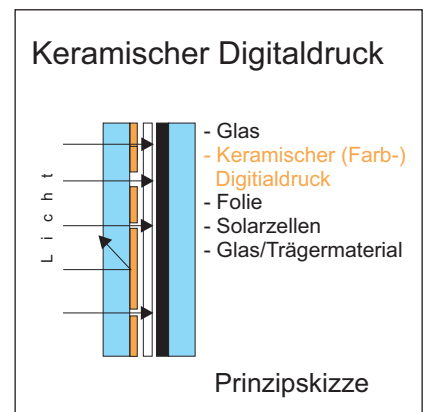


Abb. 5.6-01: Keramischer Digitaldruck

© Hagemann

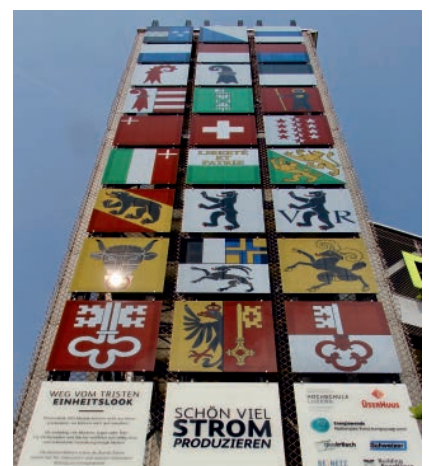
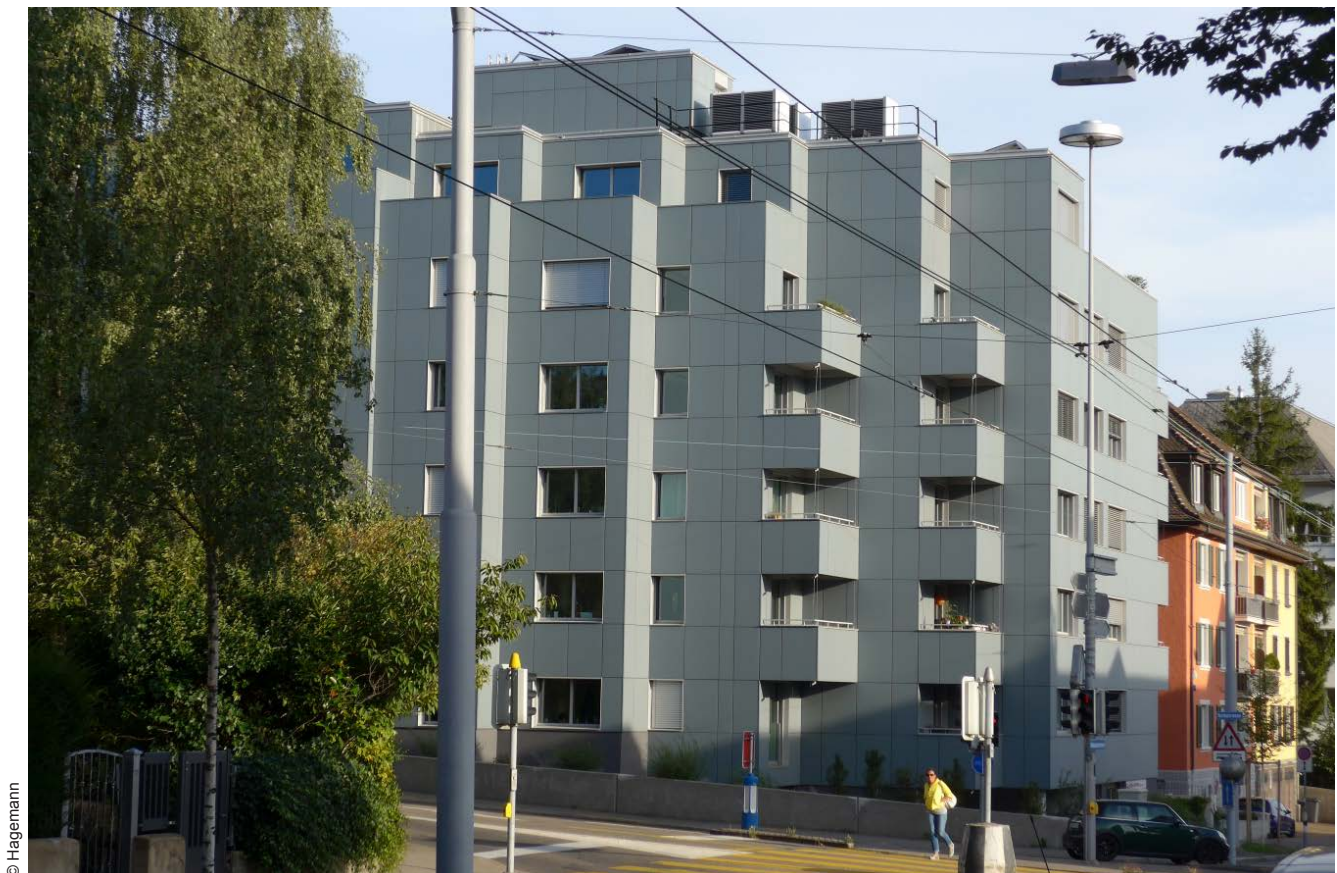


Abb. 5.6-02: Digitaldruck, PV-Fassade Swissness mit Kantonsfahnen

© Stephen Wittkopf, Hochschule Luzern



© Hagemann

Abb. 5.6-03: Einfarbiger Digitaldruck der PV-Fassadenverkleidung in einem blaugrauen Farbton, Mehrfamilienhaus, Zürich



© Hagemann

Abb. 5.6-04: Detail Brüstung. Das dahinter liegende PV-Zellenmaterial kann man auch aus der Nähe nicht erkennen

Ein Beispiel für einen einfarbigen Farbdruck zeigt ein Sanierungsprojekt eines Mehrfamilienhauses in Zürich (Abb. 5.6-03 und Abb. 5.6-04). Auf den ersten Blick nicht erkennbar, bestehen alle Fassadenplatten aus PV-Glasmodulen. Das 4 mm dicke Frontglas (TVG) der Module ist auf der Frontseite satiniert und besitzt auf seiner Rückseite einen einfarbigen Digitaldruck. Die Überdeckung mit einem blaugrauen Farbton beträgt 100 %. Die im Modulaufbau dahinter liegenden kristallinen Zellen sind auch auf kurze Entfernung nicht erkennbar. Die Leistungsreduktion beträgt deshalb 39 % (vgl. [4]).

#### **Weiterführende Informationen**

- [1] **Grobe, Lars O. u. Terwilliger Michaela u. Wittkopf, Stephen (2020). *Designing the colour, pattern and specularity of building integrated photovoltaics. In: Proceedings ATI 2020: Smart Buildings, Smart Cities, Izmir, pp. 44 – 53. DOI:10.5281/zenodo.4049446***
- [2] **Wittkopf, Stephen (20. Juni 2017): „Begrüssung und Erläuterung Einweihung PV-Fassade Umwelt Arena, Prof. Stephen Wittkopf“**
- [3] **Umweltarena Photovoltaik-Fassade „Swissness“ in der Umweltarena Schweiz.**  
→ [www.hslu.ch/umweltarena](http://www.hslu.ch/umweltarena) (12/2022)
- [4] **Bundesamt für Energie BFE (Hg.). 2016. Jahresbericht vom 15.09.2016. Leuchtturmprojekt Photovoltaik Fassade an Plus Energie-Bau Sanierung Zürich. Bern**

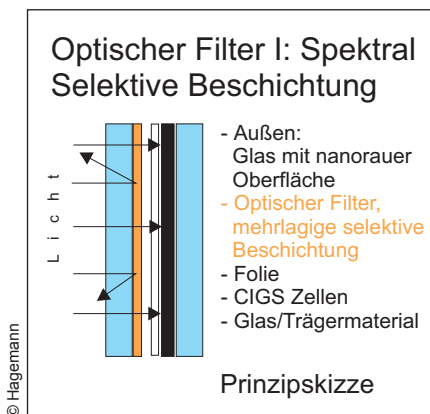


Abb. 5.7-01: Optischer Filter I: Spektral Selektive Beschichtung

## 5.7 Optische Filter I: Spektral selektive Glasbeschichtung (Kromatix)

Kromatix ist ein farbiges Solarglas, dass von der Firma SwissINSO vertrieben wird. Es kann sowohl für Dünnschichtsolarmodule als auch in der Solarthermie eingesetzt werden. Es besitzt eine undurchsichtige matte, äußere Oberfläche, die das dahinter sich befindende Innenleben, z. B. eines Solarmoduls, unsichtbar macht (Abb. 5.7-01). Man kann nicht erkennen, welche PV-Zellen verbaut sind (Abb. 5.7-02).

Als Rohmaterial wird extra-weißes Floatglas verwendet. Das Glas ist typischerweise 3,2 mm dünn, in einigen Fällen kann aber auch 4 mm bis 6 mm dickes Glas produziert werden.

Die äußere Oberfläche wird so behandelt, dass sie matt wird. Diese Nanorauigkeit der äußeren Glasoberfläche soll die Glastransmission des Lichtes verbessern und auch zu einem geringeren Reinigungsbedarf des Solarmoduls beitragen. Auf der inneren Glasoberfläche wird durch Niederdruck-Plasmaverfahren eine mehrschichtige, spektral selektive Beschichtung aufgebracht. Es werden keine Pigmente oder Farbstoffe verwendet, so dass der Farbeindruck im Laufe der Zeit durch Sonneneinstrahlung nicht verblasst.

Das farbige Aussehen der Module entsteht durch die Reflexion eines schmalen Spektralbandes im sichtbaren Teil des Sonnenspektrums. Der Rest der Sonnenstrahlung (85%–90%) wird an das Solarmodul weitergeleitet, um in Solarstrom umgewandelt zu werden. Die farbige, mehrlagige Beschichtung ist so optimiert, dass sie den besten Kompromiss zwischen Farbintensität und Wirkungsgrad des Solarmoduls bietet.

Gegenwärtig werden standardmäßig sechs Farben angeboten: Grau, Blau, Grün, Orange, Bronze und Messing. Abhängig vom Farbton schwankt die Ertragseinbuße des PV-Moduls zwischen 9%–4% relativ zum optimalen Wirkungsgrad vergleichbaren PV-Moduls ohne Kromatix-Beschichtung. Individuelle Glassorten, Farben oder gar Motive für einzelne Projekte sind nicht möglich. Der Herstellungsprozess ist technisch aufwendig und nur in großen Stückzahlen wirtschaftlich. Abbildung 5.7-03 zeigt eine Fassadenverkleidung eines ehemaligen Kohlesilos mit Kromatix beschichteten PV-Modulen.

### Weiterführende Informationen

[1] SwissINSO.

→ <https://www.swissinso.com/technology> (12/2022)

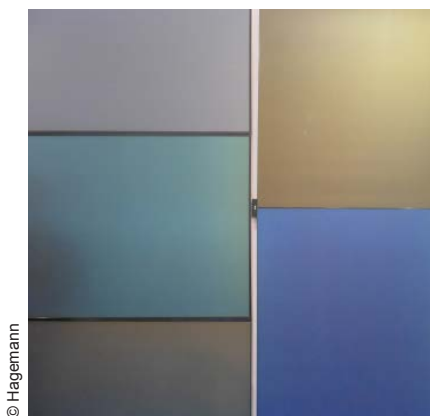


Abb. 5.7-02: Farben verschiedener Kromatix Module



Abb. 5.7-03: Ehemaliges Kohlesilo, Basel, mit PV-Wandverkleidung

## 5.8 Optische Filter II: Spektral selektive Glasbeschichtung (ColorQuant)

ColorQuant™ Glasfarben (Abb. 5.8-01) für PV-Module basieren auf der Farbgebung durch Interferenz. Einfallendes Sonnenlicht wird wie in einem Prisma aufgespalten. Der größte Teil des Sonnenlichtes passiert das Glas und seine Farbschicht und steht für die Solarstromerzeugung zur Verfügung. Für den optischen Farbeindruck werden selektiv die Wellenlängen des Sonnenlichtes reflektiert, die für den jeweils gewünschten Farbeindruck erforderlich sind. Die ColorQuant™ Glasfarben selbst sind zum Teil farblos und verleihen dem Glasträger ein transluzentes Aussehen (Abb. 5.8-02). Der Farbeindruck zeigt sich erst vor einem schwarzen Hintergrund.

Hergestellt wird dieser Farbeffekt durch das Auftragen einer wasserlöslichen, umweltfreundlichen keramischen Paste. Sie wird auf Pos.2, daher auf der innen liegenden Seite eines Frontglases eines Solarmoduls appliziert. Der Auftrag erfolgt durch Siebdruck, Roller Coating oder Spritzauftrag. Auch eine unterschiedliche Farbverteilung ist möglich und erlaubt es, bei Bedarf monochromatische Muster (Abb. 5.8-03) und Bilder mit dem Farbauftrag zu erzeugen.

Die keramische Paste besteht aus Pigmenten und gemahlenem Glas als Bindemittel. Nach Ihrem Auftragen wird durch den anschließenden Einbrennprozess bei 600-640°C eine chemische Verbindung mit dem Substratglas hergestellt. Für diesen Prozess werden temperaturbeständige Pigmente benötigt. Grelle Farben, wie z. B. das „Magenta“ der Deutschen Telekom oder das „Rot“ von Coca-Cola, sind daher nicht möglich. Die angebotene Farbpalette besteht primär aus gedeckten Farben (Abb. 5.8-04). Farbmischungen auf der Basis des RGB-Farbsystems vermindern in Abhängigkeit von dem verwendeten Glas und dem Farbton den Wirkungsgrad eines PV-Moduls um nur ca. 5–10%. Farbmischungen außerhalb des RGB-Farbraums führen zu Wirkungsgradverlusten von bis zu 5–20%.

Die Vorteile des Farbgebungsverfahrens mit ColorQuant™ Glasfarben sind:

- Die Produktion erfolgt nach Bedarf und in dem Farbton, der benötigt wird. Der Farbton kann nach Kundenwunsch bzw. Vorlagemuster auch in kleinen Mengen ab einer Projektgröße von ca. 100 m<sup>2</sup> individuell produziert werden.
- Reproduzierbarkeit der Farben



Abb. 5.8-01: Optische Filter II: Spektral selektive Beschichtung



Abb. 5.8-02: ColorQuant Glasfarbe mit und ohne schwarzen Hintergrund

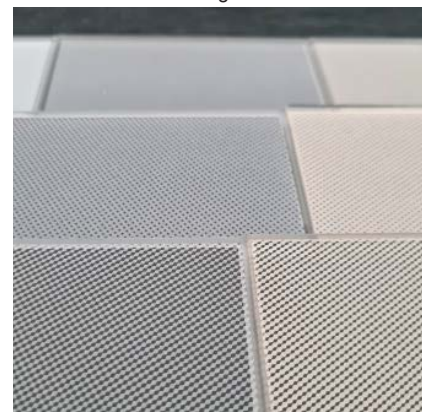


Abb. 5.8-03: ColorQuant PV-Farben grau mit 60-80-100% Überdeckung



Abb. 5.8-04: ColorQuant Farbmusterwahl



© Lehner Versand AG

Abb. 5.8-05: Lagerhaus Lehner Versand AG, Schweiz



© Felix & Co. AG

Abb. 5.8-06: Detail PV-Fassadenverkleidung im Farbton „Blau - Grau - Grün“, Lehner Versand AG, Schweiz



- Bei projektspezifischen Farbmischungen werden Rückstellungsproben mit Richtrezepturen archiviert.
- Anhand dieser Proben lässt sich der Farbton exakt wieder herstellen.
- Vielfalt der einsetzbaren Gläser  
Die ColorQuant™ Glasfarben können auf unterschiedlichen Gläsern appliziert werden, unabhängig von der Glasgröße, -dicke oder -art.

Die projektspezifische Kooperation mit den Baufachleuten erfolgt in der Regel wie folgt:

- **Schritt 1:** Anfrage eines Architekten, Fassadenbauer oder Glasveredlers
- **Schritt 2:** Herstellung von Glasmustern 10x10cm bzw. auch 20x20cm, so dass Testmodule gebaut werden können.
- **Schritt 3:** Kunde bemustert die Farbe; dann ggf. 2. Runde der Farbanpassung und Bemusterung.
- **Schritt 4:** Archivierung der projektspezifisch verwendeten Farbmischungen

Die Abbildung 5.8-05 bis 5.8-07 zeigen das Lagerhaus der Firma Lehner Versand AG aus der Schweiz. Für die Aufstockung des Lagerhauses wurde eine farbige PV-Fassadenverkleidung mit Glas-Glas-PV-Modulen in dem Farbton „Blau – Grün – Grau“ verwendet. Die PV-Module produzierte die Firma ERTEX Solartechnik GmbH.

Die Firma Ceramic Colors Wolbring GmbH entwickelte in Zusammenarbeit mit der Firma Merck KGaA Darmstadt Germany die ColorQuant™ Glasfarben und vertreibt diese auch.

#### Weiterführende Informationen:

- [1] Rehberger, Matthias. 2022. „Schöne Farben für PV-Fassaden“. In: *Glaswelt* 06.2022, S.56-57
- [2] Rehberger, Matthias. 2022. „Farbige PV-Gläser für die Fassade“. In: *Glaswelt* 09.2022, S.78-79
- [3] Barth, Sebastian, Hunger, Marc. 04.05.2022. „Aesthetics and efficiency combined“. In: *PES.eu.com*.  
→ <https://pes.eu.com/wp-content/uploads/2022/05/PES-S-1-22-Merck.pdf> (12/2022)
- [4] Barth, Sebastian Interview. 27.08.2022. „Living life in full colour“. In: *PES.eu.com*.  
→ <https://pes.eu.com/wp-content/uploads/2022/08/PES-S-2-22-Merck.pdf> (12/2022)
- [5] Ceramic Colors Wolbring GmbH (Hg.): *ColorQuant™. Glasfarben für farbige PV-Module (Flyer)*. → <https://colorquant.ceramic-colors.de/de> (12/2022)



Abb. 5.8-07: Vogelperspektive Lagerhaus Lehner Versand AG, Schweiz

© Lehner Versand AG

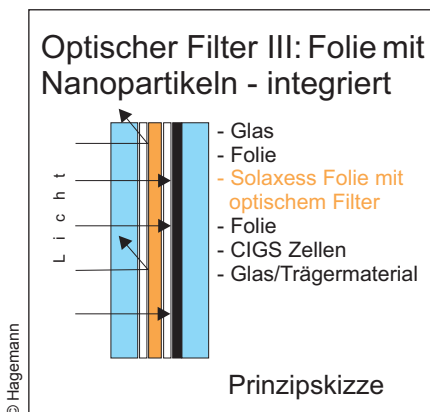


Abb. 5.9-01: Optischer Filter III: Folie mit Nanopartikel - integriert

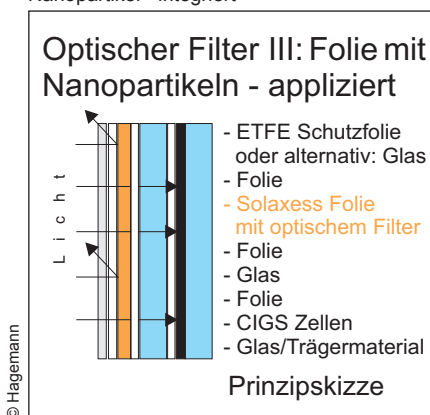


Abb. 5.9-02: Optischer Filter III: Folie mit Nanopartikel - appliziert

## 5.9 Optische Filter III: Folie mit Nanopartikeln (Solaxess)

Dieser selektive optische Filter auf der Basis von Nanopartikeln, Perovskite und anderen Technologien reflektiert teilweise sichtbares Licht und lässt die Strahlung durch, die in der Solarzelle für die Energieumwandlung benötigt wird. Der optische Filter besteht aus einer Folie, die zwischen dem Sonnenlicht und den PV-Zellen angeordnet wird. Sie reflektiert einen Teil des sichtbaren Lichts und lässt gleichzeitig das nicht sichtbare Licht passieren. Durch die Lichtreflexion wie auch durch die Beimischung von speziellen Farbsegmenten können PV-Module für das menschliche Auge weiß oder auch unterschiedlich farbig erscheinen. Für den Extremfall eines „weißen Solarmoduls“ geht man bei kristallinen Zellen im Vergleich zu einem Standardmodul von einer Ertragseinbuße von ca. 40 % aus. Bei anderen, dunkleren Farben, beträgt der Leistungsverlust lediglich rund 12 bis 15 %. Diese Technik, die am CSEM SA, Schweiz, entwickelt wurde, wurde von der Schweizer Firma Solaxess in Form eines Folienproduktes zu einem seriellen Produkt weiterentwickelt. Solaxess bietet drei Arten der Verwendung ihrer selektiven Folie an:

- Integration der Solaxess-Folie in den Modulaufbau. Da diese Solaxess Folie nicht selbstklebend ist, wird sie bei der Position innerhalb des Modulaufbau zwischen zwei EVA- oder POE-Folien einlaminiert (Abb. 5.9-01).
- Aufbringen der Solaxess-Folie auf der Frontglasscheibe eines fertigen PV-Moduls und Schutz der Folie durch eine ETFE-Folie vor Witterungseinflüssen (Abb. 5.9-02).
- Aufbringen der Solaxess-Folie auf der Frontglasscheibe eines fertigen PV-Moduls und Schutz der Folie durch eine zusätzliche Glasscheibe vor Witterungseinflüssen (Abb. 5.9-02).

Der selektive optische Filter von SOLAXESS funktioniert sowohl auf glatten als auch gekrümmten Flächen. Er kann auch bei dünnen



Abb. 5.9-03: Verkleidung der gesamten Gebäudehülle mit weißen PV-Modulen mit Solaxess Technologie, Villa, Quzhou, China



Abb. 5.9-04: Weiße PV-Fassadenmodule mit Solaxess Technologie, CO<sub>2</sub>-neutrale Wohnsiedlung, Männedorf, Schweiz

und leichten PV-Modulen eingesetzt werden. Bisher wurde jedoch primär Glas als favorisierte Modulmaterial verwendet. Die Solaxess Folie kann in jeden Modulverbund integriert werden bzw. auf jede Art von PV-Modul appliziert werden.

Grundsätzlich sind alle Farben und auch Weiß möglich. Das ist das Besondere an dieser Technik. Aktuell werden nachfolgende Standardfarben angeboten (Stand 10/2020).

- Extra white, RAL Design 260 90 05
- Regular white, NCS S 1005-R808 (Abb. 5.9-03 u. Abb. 5.9-04)
- Light grey, RAL Design 260 80 05
- Dark terracotta / Signal brown, RAL Classic 8002
- Light terracotta / Copper brown, RAL Classic 8004
- Ivory, RAL Classic 1014

Höhere PV-Modulleistungen werden mit dunkleren Tönen erzielt, da für ein helleres farbiges Erscheinungsbild mehr Anteile des sichtbaren Lichtspektrum reflektiert werden. Der Farbeindruck lässt sich steuern und kann passend zum Projektdesign entwickelt werden. Weitere Farbtöne sind in der Entwicklung. Grundsätzlich sind alle Farben auf Kundenwunsch möglich (Abb. 5.9-05).

Ein weißes PV-Modul produziert nicht so viel Wärme, wie ein dunkelblaues oder schwarzes PV-Standardmodul. Da das sichtbare Licht vollständig reflektiert wird, liegen dementsprechend die gemessenen Modultemperaturen 20–30° Celsius tiefer als bei herkömmlichen PV-Modulen. Der Einsatz von weißen Solarmodulen im städtebaulichen Umfeld ist damit auch ein Beitrag zur Reduktion städtischer Wärmeinseln (Urban Heat Island, UHI) und zur Energieeinsparung im urbanen Kontext.

#### Weiterführende Informationen:

[1] Solaxess SA, Marin, Schweiz. → [www.solaxess.com](http://www.solaxess.com) (12/2022)

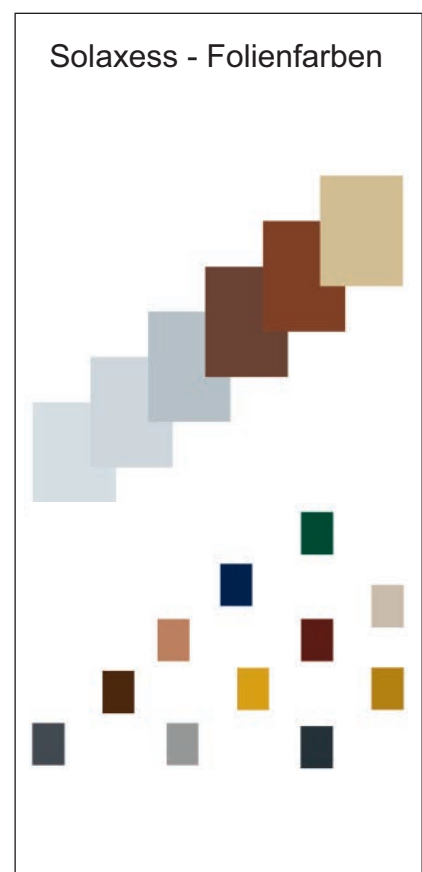


Abb. 5.9-05: Solaxess Folienfarben (2020)

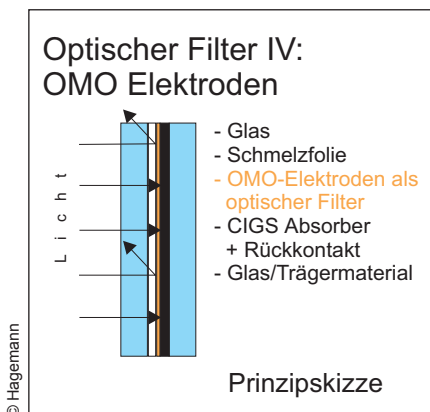


Abb. 5.10-01: Optischer Filter IV: OMO Elektroden

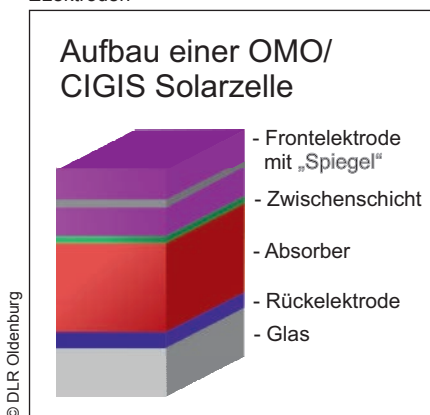


Abb. 5.10-02: Aufbau einer OMO/CIGS Solarzelle

## 5.10 Optische Filter IV: OMO Elektroden

Dünnschichtsolarmodule die auf CIGS-Technologie basieren, haben eine absorbierende Schicht aus den Elementen Kupfer, Indium, Gallium und Selen. Sie besitzen zwei Kontakte zum Transport der im Absorber erzeugten Ladungsträger. Der Rückkontakt ist dabei ein undurchsichtiges Metall, zumeist Molybdän. Der Frontkontakt muss jedoch transparent sein, damit das Licht in die Solarzelle gelangen kann, um dort in Strom umgewandelt werden zu können.

Konventionelle CIGS-Solarmodule verwenden typischerweise eine verhältnismäßig dicke Schicht (1 Mikrometer) aus Aluminium-dotiertem Zinkoxid als Frontkontakt, durch die eine für den Absorber typische schwarze Farbe sichtbar ist.

Um stattdessen farbige PV-Module herzustellen, kann der Frontkontakt als Farbfilter ausgestaltet werden. Hierzu wird eine sehr dünne Metallschicht aus Silber (ca. 5–15 Nanometer Dicke) in den Schichtaufbau des Frontkontaktes integriert, so dass ausgewählte Teile des einfallenden Sonnenlichtspektrums, gleich einem Spiegel reflektiert werden. Welche Teile des Lichts reflektiert werden, hängt dabei maßgeblich von der Position der Silberschicht in dem Frontkontakt ab. Somit kann bei Einsatz der OMO-Technologie über eine einfache Änderung der Schichtdicke des Frontkontaktes, die die Silberschicht umgibt, die Farbe des PV-Modul gewählt werden (Abb. 5.10-01 bis Abb. 5.10-04).

Diese Methode der Farbgestaltung von CIGS-Modulen wurde im Rahmen des BIPVpod Projektes (2017–2020) entwickelt. Das Produkt ist noch nicht am Markt erhältlich. Detailinformationen vgl. [1,2].

### Weiterführende Informationen

[1] Neugebohrn, N. u. Osterthun, N. u. Götz-Köhler, M. u. Gehrke, u. Agert, C. 2021. *Improved Metal Oxide Electrode for CIGS Solar Cells: The Application of an AgOX Wetting Layer*. In: *Nanoscale research letters* 16 (2021) 50.

→ <https://doi.org/10.1186/s11671-021-03506-1> (12/2022)

[2] Neugebohrn, N. u. Gehrke, K. u. Brucke, K. u. Götz, M. u. Vehse, M. 2019. *Multifunctional metal oxide electrodes: Colour for thin film solar cells*, *Thin solid films* 685 (2019) 131–135.

→ <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2019.06.012> (12/2022)



Abb. 5.10-03: Farbiger OMO/CIGS-Minimodule, Größe 30x30cm<sup>2</sup>

© DLR Oldenburg

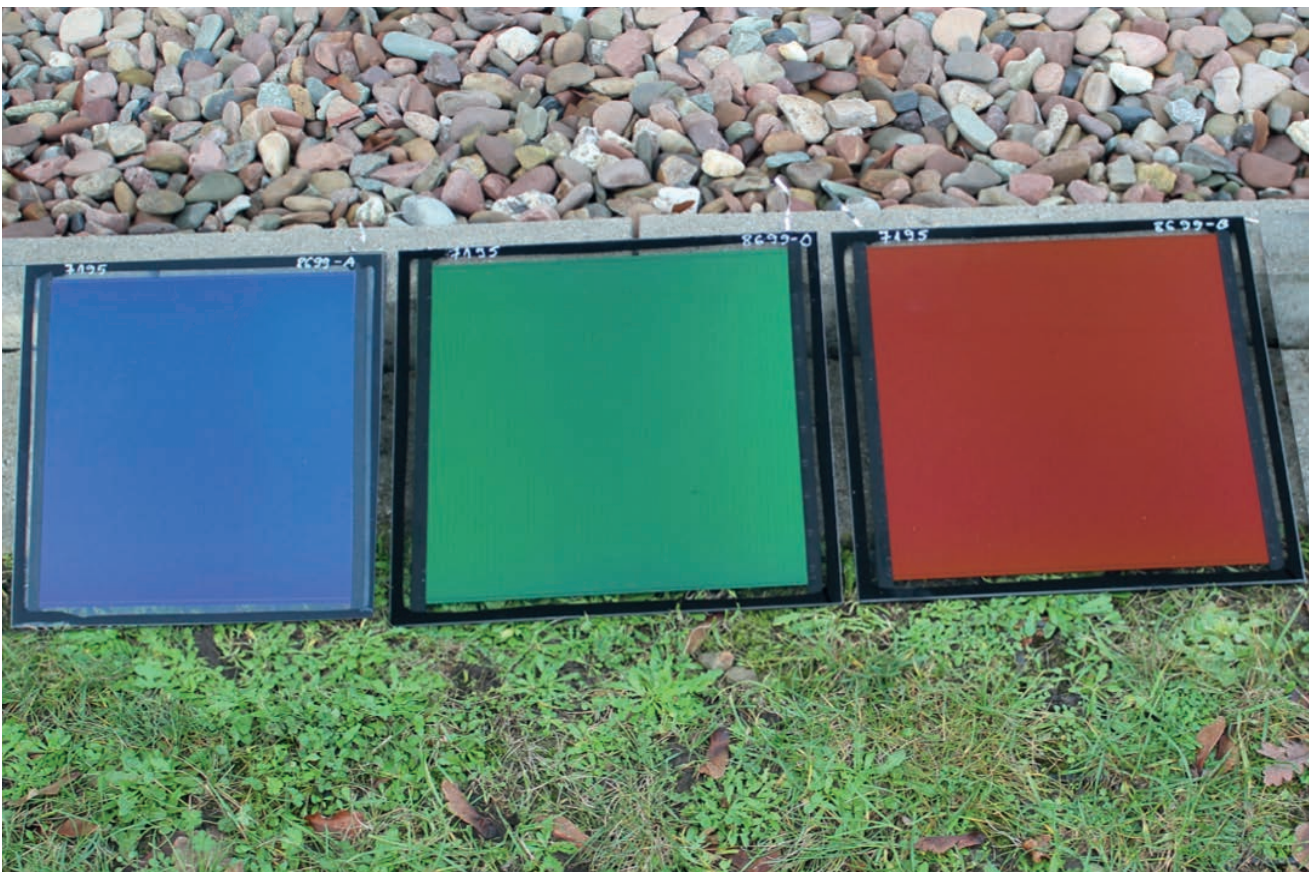


Abb. 5.10-04: Farbiger OMO/CIGS-Minimodule, Größe 30x30 cm<sup>2</sup>

© DLR Oldenburg

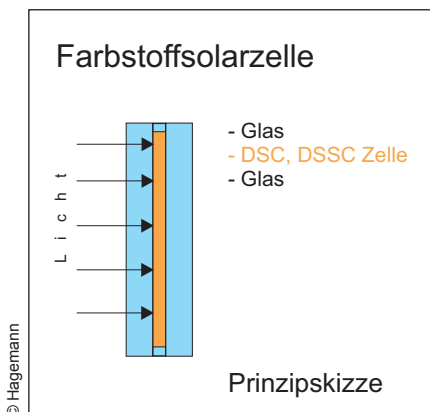


Abb. 5.11-01: Farbstoffsolarzelle

## 5.11 Farbstoffsolarzellen

Die „Farbstoffsolarzelle“, auch „Grätzel Solarzelle“ oder im Englischen „Dye-sensitized solar cell“ genannt, ist eine photochemische Energiequelle. Zur Absorption des Lichtes werden keine Halbleitermaterialien, sondern organische Farbstoffe verwendet (Details vgl. Kapitel 4.3.4, vgl. Abb.: 5.11-01).

Abhängig von der Art des organischen Farbstoffes verändert sich die Farbe der zumeist transparenten PV-Module. Die Farbauswahl ist jedoch begrenzt. Im Augenblick sind diese DSC-Module nur als Sonderanfertigung für BIPV-Projekte erhältlich.

Ein Beispiel für den Einsatz solcher transparenten DSC-Module in Grün, Rot, Orange und Gelb der Firma Soloronix SA zeigt das SwissTech Convention Center in Lausanne (Abb.: 5.11-02 bis Abb. 5.11-04). Das Gebäude wurde von RDR architectes, Lausanne, entworfen. Es integriert in seine transparente Glasfassade das als Kunstprojekt „Le Semainier et son double“ deklarierte Objekt, in Form von vertikalen PV-Sonnenschutzlamellen, der Künstler Catherine Bolle & Daniel Schlaepfer.

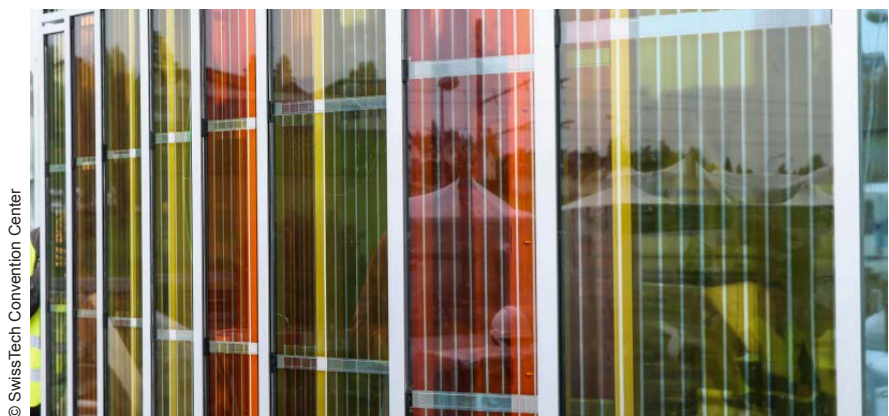


Abb. 5.11-02 Detailansicht Farbstoffsolarzellen, SwissTech Convention Center, Lausanne

### Weiterführende Informationen

#### [1] Soloronix SA

→ [www.soloronix.com](http://www.soloronix.com) (12/ 2022)

#### [2] Soloronix SA (Hg.). 2021. *SOLARINX SOLAR CELLS. Innovative Solutions for solar professionals.*

→ [https://www.soloronix.com/documents/soloronix\\_solar\\_cells.pdf](https://www.soloronix.com/documents/soloronix_solar_cells.pdf) (12/2022)

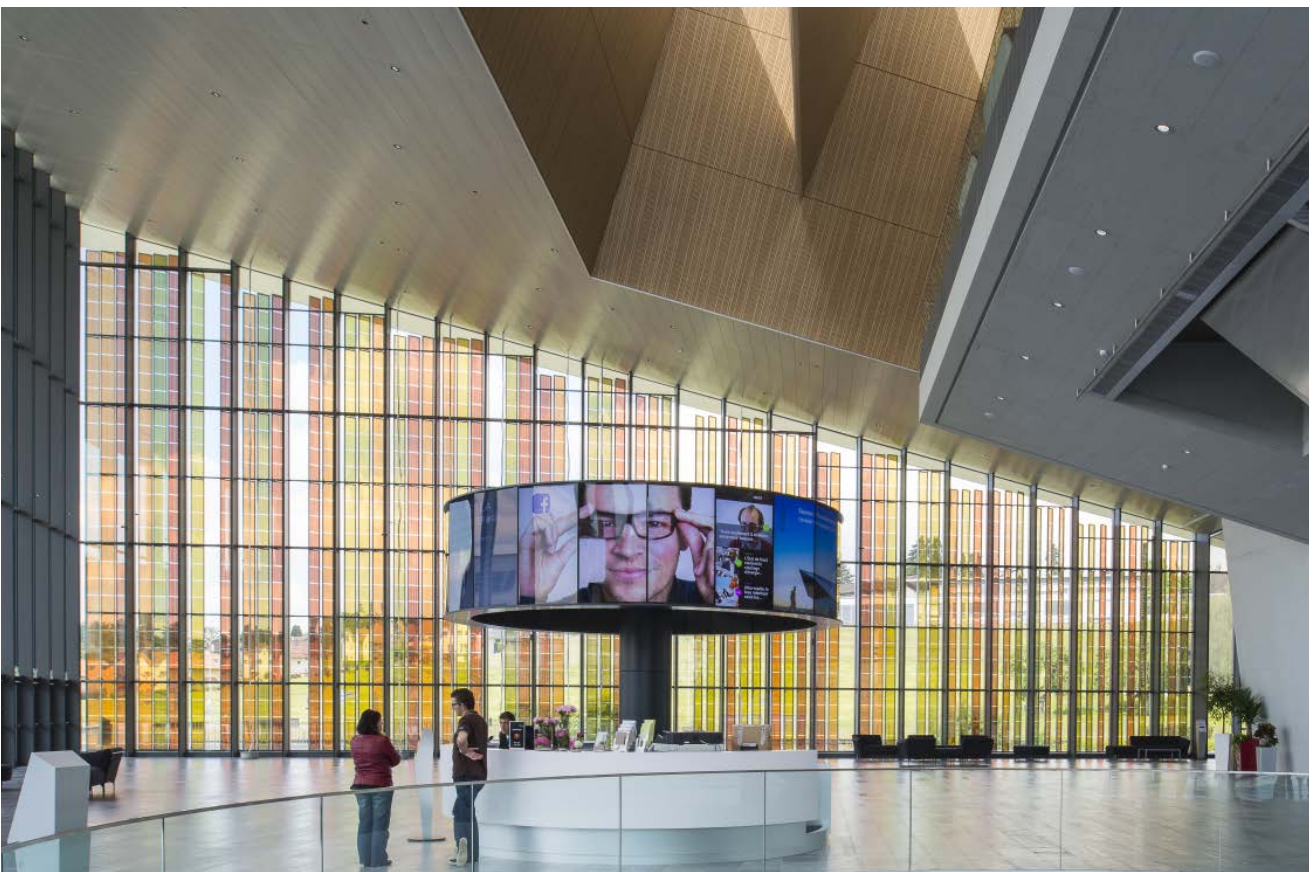
#### [3] RDR architects, Lausanne, Schweiz

→ [www.rdr.ch](http://www.rdr.ch) (12/2022)



© Eung-Jik Lee

Abb. 5.11-03: Fassade mit Sonnenschutzlamellen aus Glas mit integrierten Farbstoffsolarzellen, SwissTech Convention Center, Lausanne,



© Adrien Barakat

Abb. 5.11-04: Innenansicht, Blick auf den Sonnenschutzlamellen aus Glas mit integrierten Farbstoffsolarzellen, SwissTech Convention Center, Lausanne

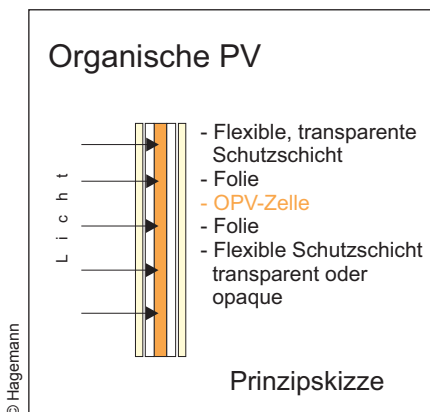


Abb. 5.12-01: Organische PV

## 5.12 Organische PV

Die Farbe und die Transparenz von Organischen PV-Zellen kann durch Modifikation der chemischen Absorber und des Filmaufbaus der Zellen erreicht werden (Abb. 5-01, 5.12-01 bis Abb. 5.12-04).

Im Augenblick werden unterschiedliche Farben jedoch nicht als Option für die Standardprodukte der beiden führenden Hersteller, ARMOR S.A.S. und Heliatek GmbH, angeboten. Kundenspezifische Anfertigungen sind jedoch möglich. Weiteren Informationen zur OPV vgl. Kapitel 4.3.5 Organische Photovoltaik (OPV).

Abbildung 5.12-03 und 5.12-04 zeigen den Beitrag des coLLab Teams der HFT Stuttgart für den Solar Decathlon Europe 21/22 Wettbewerb in Wuppertal. In die äußerer Gebäudehülle ist ein Seilnetztragwerk integriert, dass rautenförmige OPV-Paneele integriert.

### Weiterführende Informationen

#### [1] ASCA SAS SAS

→ <https://www.asca.com/de/> (12/2022)

#### [2] Heliatek GmbH

→ <https://www.heliatek.com/de/> (12/2022)

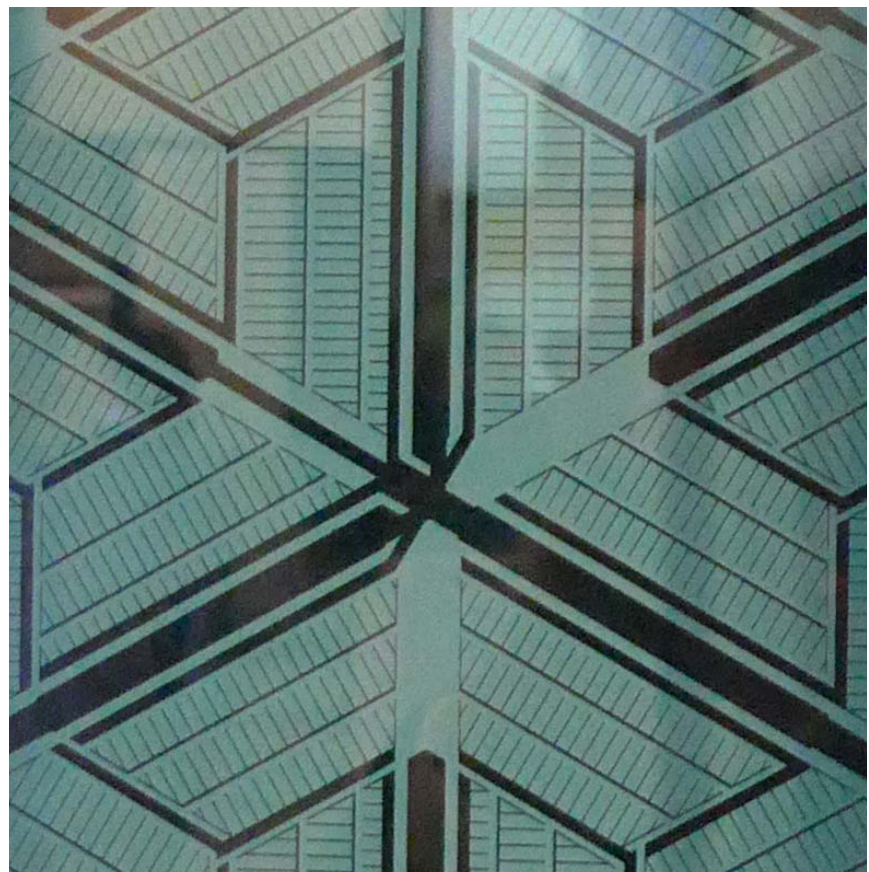


Abb. 5.12-02: Detail einer transparente Organische Photovoltaik Zelle, Messestand Colt International, Bau 2017, München



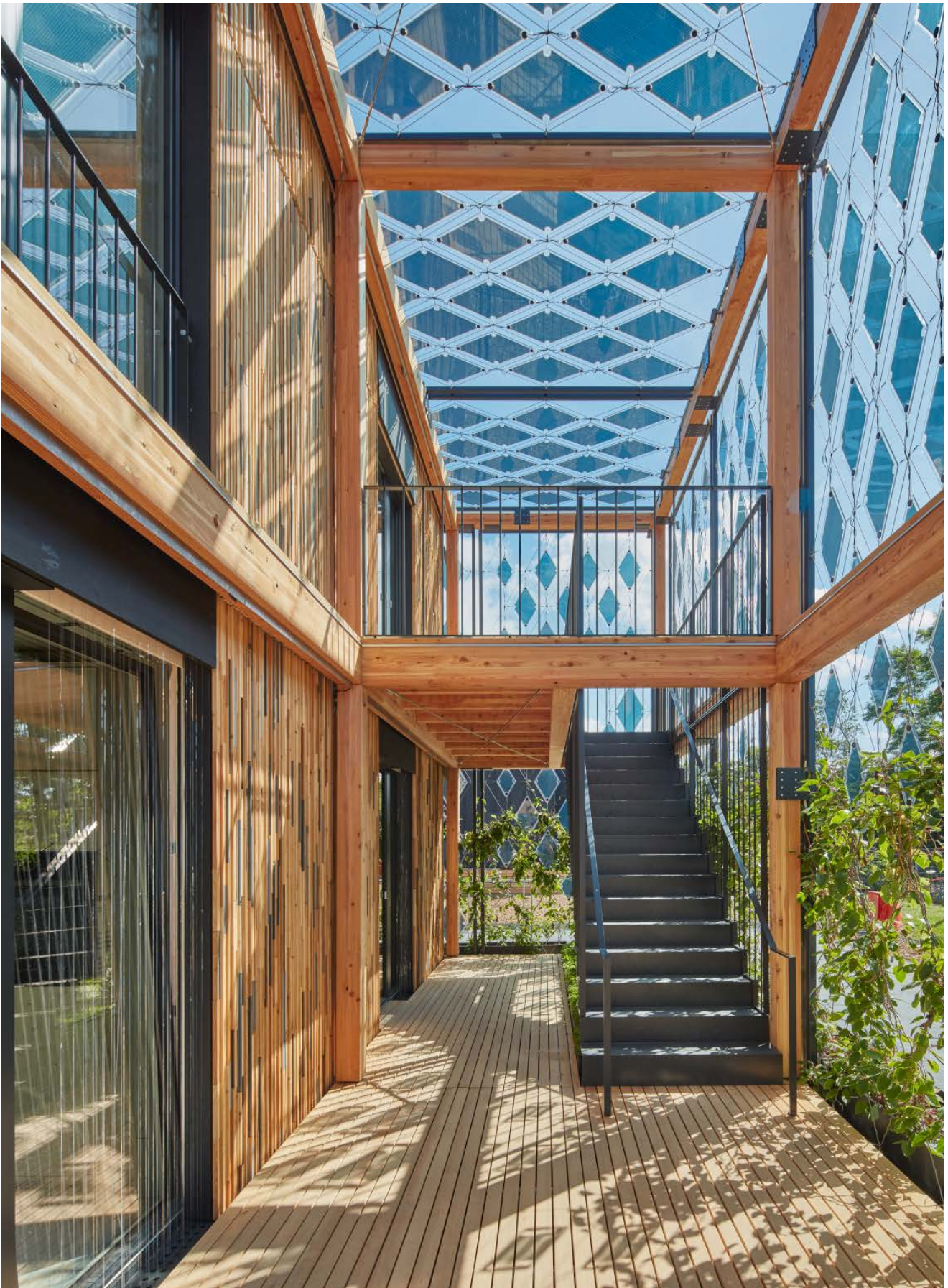
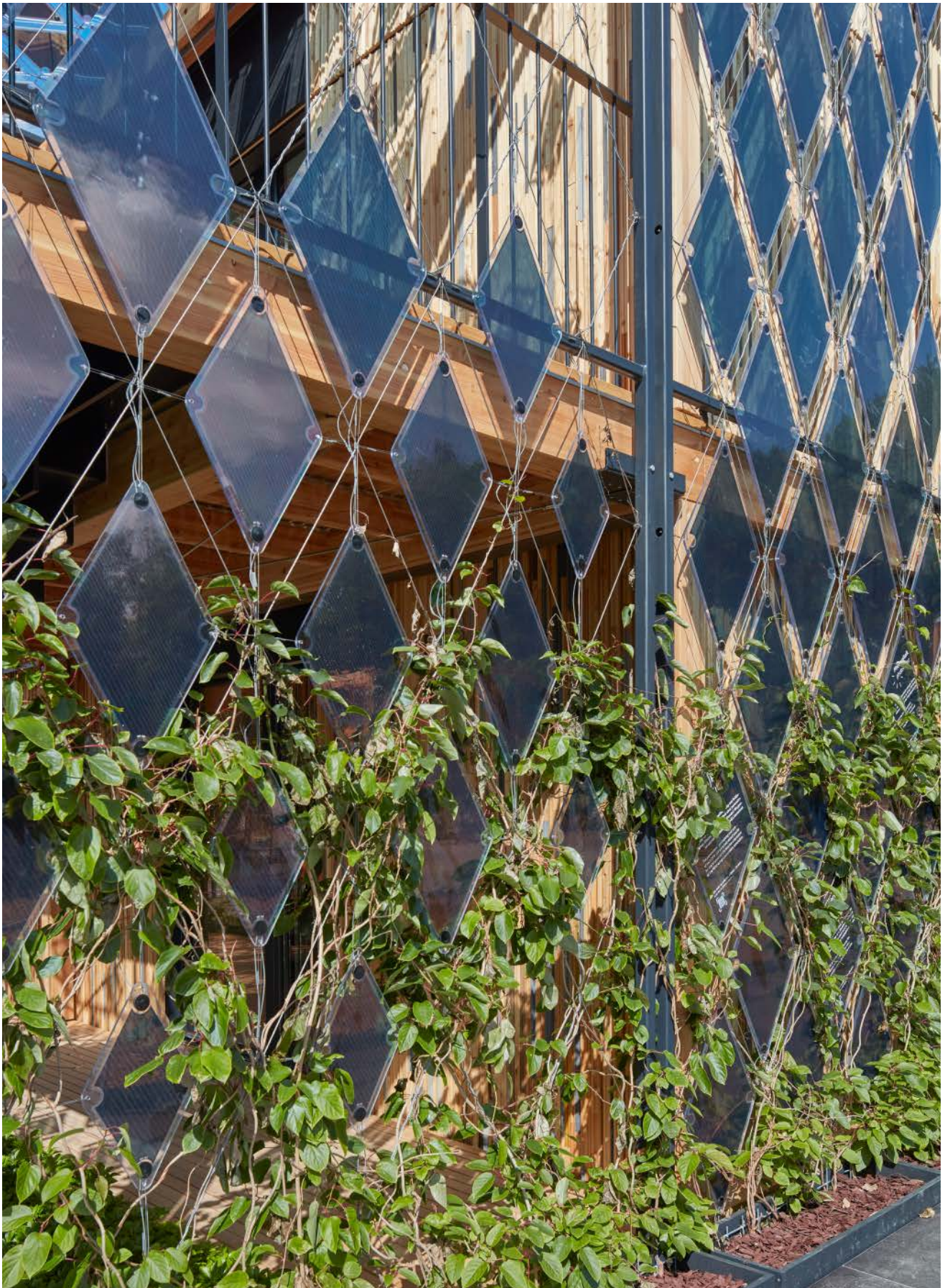


Abb. 5.12-03: Innenansicht, transparente Organische Photovoltaik Module eingehängt in eine Seilnetzkonstruktion, Pavillon des coLLab Team, HFT Stuttgart, Solar Decathlon Europe 21/22, Wuppertal

© Sigurd Steinprinz / Bergische Universität Wuppertal



© Sigurd Steinprinz / Bergische Universität Wuppertal

Abb. 5.12-04: Außenansicht, transparente Organische Photovoltaik Module eingehängt in eine Seilnetzkonstruktion, Pavillon des coLLab Team, HFT Stuttgart, Solar Decathlon Europe 21/22, Wuppertal

## 6. Bautechnische und architektonische Integration der Dünnschicht-PV

### Merke:

- Die Bandbreite der unterschiedlichen am Markt verfügbaren Photovoltaik-Dünnschichtmodule kann gestalterisch abwechslungsreich und technisch variantenreich an verschiedenen Stellen des Gebäudes eingesetzt werden
- Die Photovoltaik kann neben der Stromerzeugung zusätzliche Aufgaben im Dach oder in der Fassade übernehmen
- Die Integration der PV in den Planungsprozess sollte von Anfang an stattfinden
- Die Integration der Photovoltaik ist ein interdisziplinärer Prozess, der eine frühzeitige Konsultation und Einbeziehung der Fachleute erfordert

### 6.1 Integrationsstufen der GIPV

Ziel der architektonischen Gestaltung mit Photovoltaik ist eine möglichst weitreichende konstruktive und gestalterische Einbindung der Solarmodule in die Struktur der Gebäudehüllfläche.

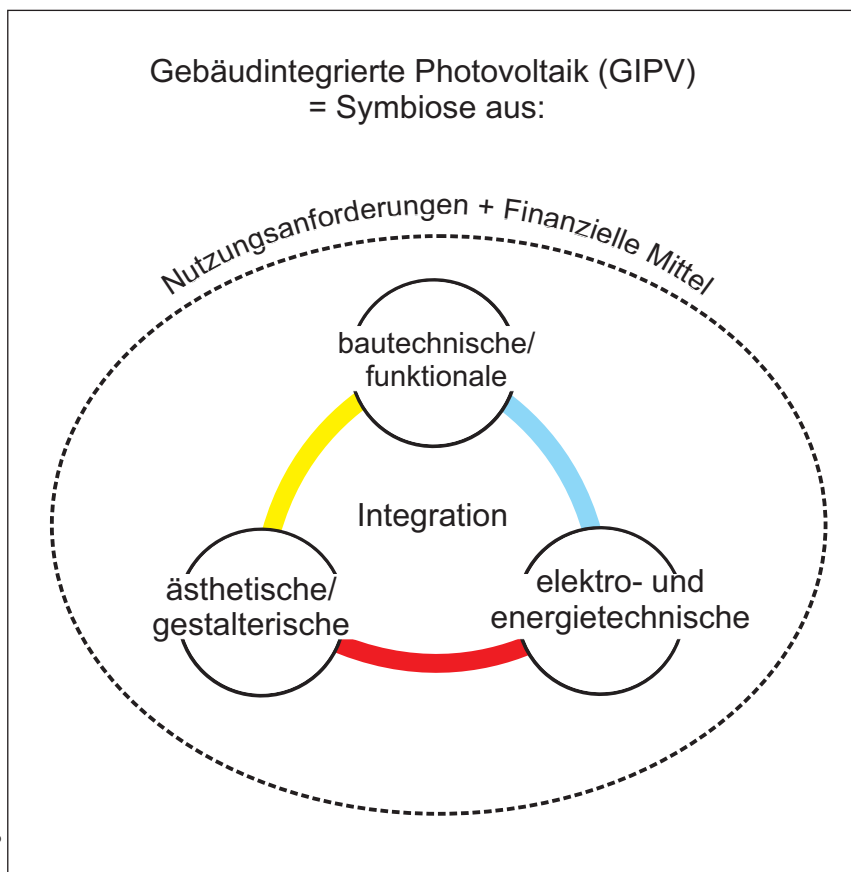


Abb. 6.1-01: Rahmenbedingungen der erfolgreichen GIPV

Eine gelungene Applikation bzw. Integration eines PV-Systems in den Gesamtkontext eines Gebäudes zeichnet sich dadurch aus, dass bei der Planung und Ausführung sowohl gestalterische, bautechnische als auch energietechnische Belange gleichrangig berücksichtigt und zu einem harmonischen Ganzen zusammengeführt werden (Abb. 6.1-01).

Konstruktiv kann man grundsätzlich drei Stufen der Integration, wie die Photovoltaik in die Gebäudehülle integriert wird, unterscheiden:

- **Integrationsstufe 1:**

Sie umfasst alle Konstruktionen, bei denen die PV-Module vor oder über die Gebäudehüllefläche montiert werden. Die PV-Module übernehmen keine konstruktive Aufgabe der Gebäudehülle. Gewährleistungsansprüche und Haftungsfragen von PV-System und Gebäude lassen sich meist klar voneinander trennen. Insbesondere für eine nachträgliche Installation eines PV-Systems eignet sich diese Integrationsstufe.

Diese Integrationsstufe umfasst z. B. alle aufgeständerten PV-Anlagen mit starren Modulen auf Dächer (Abb. 6.1-02) oder Fassaden. Ihr Anteil am gesamten GIPV-Markt beträgt >90 Prozent.

Weit interessanter als diese meist wie Fremdkörper wirkenden Applikationen sind neue Ansätze von PV-Firmen wie z. B. Flisom, Globalsolar, Midsummer AB, Heliatek oder ARMOR SAS. Sie bieten sehr leichte, hochflexible PV-Module an, die sich auf vielfache Weise nachträglich auf bestehende Oberflächen an Gebäuden, meist durch Klebung, befestigen lassen. Abbildung 6.1-03 zeigt z. B. CIGS-eFLex<sup>®</sup>-Module von der Flisom AG, die nachträglich direkt auf das Metaldach eines Blumenmarktes in Kapstadt, Südafrika, aufgeklebt wurden.

- **Integrationsstufe 2:**

In dieser Gruppe ersetzen PV-Module die äußere Schicht der Gebäudehülle, z. B. als PV-Dachziegel oder PV-Fassadenverkleidung (Abb. 6.1-04). Sie übernehmen die Funktion der konventionellen Verkleidungs- und Dachdeckungsmaterialien und sind somit ein notwendiger Bestandteil des Gebäudes. Konventionelle Baumaterialien werden eingespart. Dies reduziert den Verbrauch von Ressourcen, Energie und Kosten.

- **Integrationsstufe 3:**

Bei dieser weitreichendsten Integrationsstufe ersetzen Bauprodukte mit integrierter PV die Gebäudehülle und übernehmen



© Hagemann

Abb. 6.1-02: Dachaufgeständerte CIGS-Module aus Glas



© Flisom AG

Abb. 6.1-03: CIGS-eFLex<sup>®</sup>-Module auf Blechdach aufgeklebt



© Hagemann

Abb. 6.1-04: CIGS-Fassadenverkleidung, Bürogebäude, Berlin



© Prof. Helmut F.O. Müller, Dr. Heide Schuster

Abb. 6.1-05: Testfassade, „Autarc Facade – TEmotion“ mit integrierter Photovoltaik

auch alle ihre Funktionen, z. B. eine Pfosten-Riegelfassade mit PV-Isolierglasselementen, geschosshohe Fassadenelemente oder auch Dachelemente mit integrierten photovoltaisch aktiven Flächen.

Ein Beispiel für eine Entwicklung in dieser Richtung ist z. B. das Projekt „Autarc Facade – TEmotion“ des Lehrstuhls für Klimagerechte Architektur, Prof. Helmut F.O. Müller im Auftrag der Hydro Building Systems. Ein stockwerk Hohes Fassadenelement übernimmt gleichzeitig als dezentrale Einheit die Funktionen Belüftung, Heizung und Kühlung, Tageslichtsteuerung, Sonnenschutz und Stromerzeugung mit Hilfe der PV (Abb. 6.1-05 und 6.1-06 bzw. vgl. → <https://www.wicona.com/en/ie/wicona/news-overview/temotion---facade-for-the-future/> (12/2022)).

Ein anderes Entwicklung aus dem französischsprachigen Raum stellt ein Konzept für die Herstellung und Montage von Fassadenelementen mit Photovoltaik nach Maß vor. Es nennt sich „Facade préfabriquée solar FaceInTec®“, vgl. → [www.faceintec.com](http://www.faceintec.com) (12/2022).

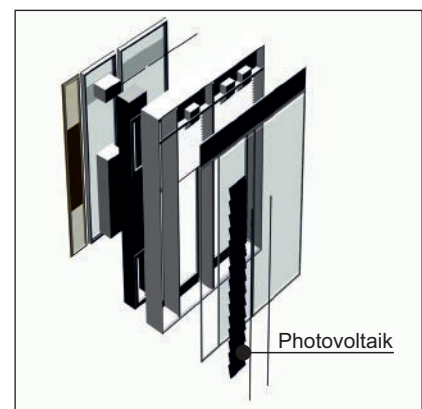


Abb. 6.1-06: Explosionszeichnung „Autarc Facade – TEmotion“

© Prof. Helmut F.O. Müller, Dr. Heide Schuster

Für den Architekten bedeutet die architektonische Integration der Photovoltaik sowohl gestalterische als auch konstruktive Detailarbeit. Neben einer technischen Optimierung muss er sich auch die ästhetische Dimension der PV-Produkte und ihre Relation zur Gesamtgestalt des Gebäudes bewusst machen.

## 6.2 Multifunktionalität der GIPV

Die Einbindung der Solarmodule in das Dach oder die Fassade eines Gebäudes konkurriert mit einer Vielzahl von Anforderungen und Funktionen, die die Gebäudehülle an der Schnittstelle zwischen dem Außen- und Innenbereich übernimmt.

Aufgrund einer wachsenden Vielfalt von Anforderungen wandelt sich die Gebäudehülle im Laufe der letzten 30 Jahre zunehmend in ein komplexes, multifunktionales Bauteil, das eine individuelle, projektspezifische Entwicklung erfordert. Neben der Lösung gestalterischer Fragestellungen wird zunehmend auch eine Beantwortung wissenschaftlicher und ingenieurtechnischer Fragen erforderlich, um ihr auch eine aktive Rolle bei der Energieversorgung eines Gebäudes zuweisen zu können.

Dies bedeutet für die gebäudeintegrierte Photovoltaik, dass es vorteilhaft ist, wenn sie nicht nur zur Stromerzeugung dient, sondern gleichzeitig weitere Funktionen aus dem breiten Anforderungskatalog der Gebäudehülle übernehmen kann.

Folgende Funktionen kann die Photovoltaik bereits heute, neben einer solaren Stromerzeugung, im Dach oder in der Fassade eines Gebäudes übernehmen:

### Witterungsschutz mit PV

PV-Module halten extremen Witterungseinflüssen, Regen, Feuchtigkeit, Eis, Hagel und Schnee dauerhaft stand, ohne ihre elektrische Leistungsfähigkeit einzubüßen. Zusammen mit geeigneten Montagesystemen können sie als Dachdeckung, Fassadenelement, Wandverkleidung (Abb. 6.2-01), Brüstungselement, Ausfachungselement einer Glasfassade oder als Verglasung eines Oberlichtes fungieren.

### Wärmeschutz mit PV

PV-Module haben durch ihren Aufbau und ihre Strahlungsabsorption wärmeisolierende Eigenschaften. Einen zusätzlichen erhöhten Wärmeschutz können sie erfüllen, wenn sie z. B. ausgebaut werden zu einem PV-Isolierglasverbund als Teil einer transparenten Glas-



Abb. 6.2-01: CIGS-Fassadenverkleidung, Ingolstadt

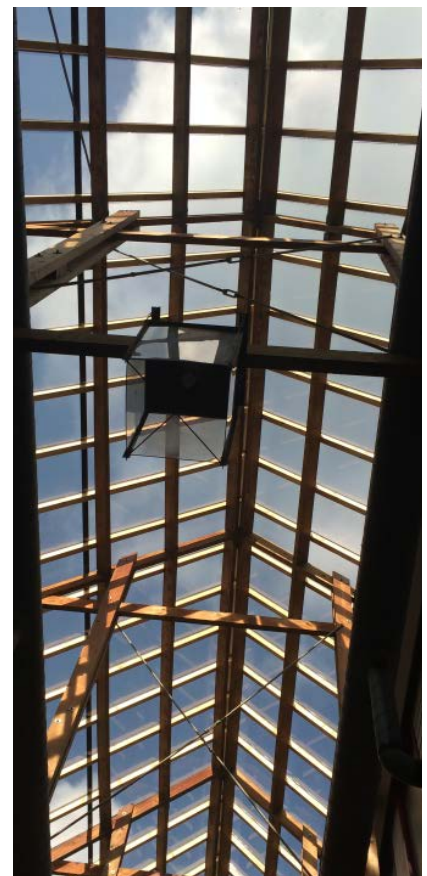
fassade oder eines Oberlichtes (Abb. 6.2-02). Eine andere Möglichkeit ist der Einsatz von PV-Modulen als wetterfeste Verkleidung einer wärmegeämmten opaken Außenwand (Abb. 6.2-03).

**Schallschutz mit PV**

Der Schutz vor Lärm ist Voraussetzung für gesunde Wohn- und Lebensverhältnisse. Die Reduzierung des Geräuschpegels um 10 dB bedeutet eine Halbierung des Lärmeindrucks. Der mehrschichtige Aufbau konventioneller PV-Dachelemente und PV-Fassadenelemente verfügt bereits über ein Schalldämmmaß von 25 dB. Dies es Maß ließe sich durch Veränderungen des Schichtaufbaus auch weiter erhöhen, ohne die PV-Stromproduktion zu beeinträchtigen (Abb. 6.2-04).

**Sonnenschutz mit PV**

Außenliegende Verschattungselemente sind ideal für eine PV-Integration, da sie in gleicher Weise wie die Photovoltaik zum Sonnenlicht ausgerichtet sein müssen. Lichttransmission, Schlagschattenbildung und Grad der Abschattung lassen sich über die Auswahl geeigneter Solarmodule und -zellen festlegen (Abb. 6.2-05).



© Sanko Solar

Abb. 6.2-02: Oberlichtband aus semitransparenten CdTe-Modulen (Sanko Solar), 20 kWp



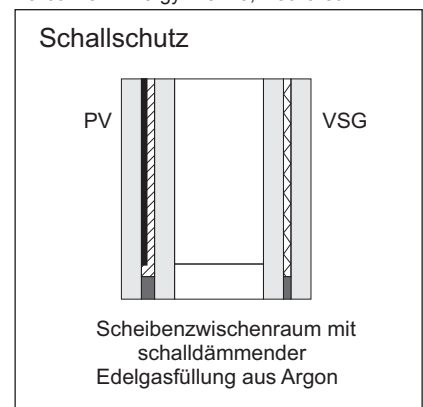
© Hagemann

Abb. 6.2-05: CIGS-Module als feststehender Sonnenschutz



© Hagemann

Abb. 6.2-03: CIGS-Fassadenverkleidung, Karco New Energy Werk 5, Neckarsulm



© Hagemann

Abb. 6.2-04: Schallschutz-Isolierglas mit integriertem PV-Modul

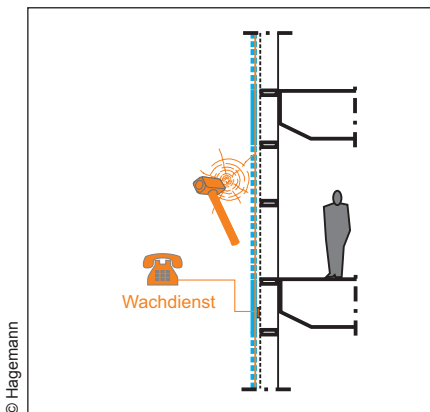


Abb. 6.2-06: PV-Zellenstrings als Einbruchsensor

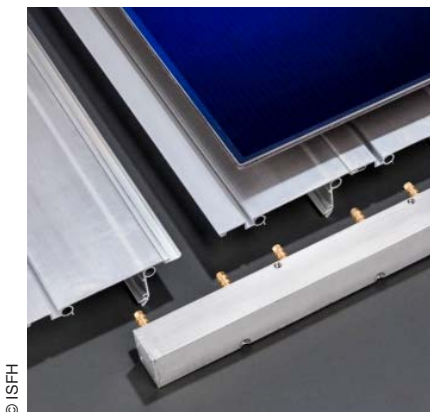


Abb. 6.2-07: PV-T Kollektor



Abb. 6.2-10: Gestaltete PV-Module, Invent Srl, Italien



Abb. 6.2-11: Gestaltetes CIGS-Modul, Etherbright Solar Corporation, Taiwan

### Einbruchschutz mit PV

PV-Glasmodule tragen als Verbundsicherheitsgläser gestiegenen Sicherheitsbedürfnissen Rechnung. Dünnschicht-Module mit einem Trägermaterial aus Stahlfolie und einem Einpackungsmaterial aus Kunststoff besitzen zudem eine hohe Resistenz gegenüber mechanischen Beschädigungen. Zusätzlich könnten PV-Zellenstrings als Einbruchsensor genutzt werden, wie Forschungen gezeigt haben. Die Überwachung und Weiterleitung der Warnmeldung würde mit der Betriebsführung eines Wechselrichters verknüpft (Abb. 6.2-06).

### Kollektornutzung mit PV

Solarstrahlung, die von den PV-Zellen nicht direkt in Strom umgewandelt wird, verwandelt sich in Wärmestrahlung. Diese Wärme verpufft in der Regel ungenutzt. PV-Thermische Kollektoren nutzen dieses Wärmepotential zusätzlich zu einer photovoltaischen Stromerzeugung (Abb. 6.2-07). Anbieter sind z. B. Sanko Solar, vgl. → <https://www.sanko-solar.de> (12/2022) bzw. nD-System GmbH → <https://www.nd-system.de> (12/2022).

### Tageslichtsteuerung mit PV

PV-Module können als Lamellen den Tageslichteinfall und die solare Wärmeeinstrahlung in Fassaden und Oberlichtern abhängig vom Sonnenstand regeln. Ihre Lichttransmissionsrate lässt sich über den Grad der Semitransparenz und den Schichtaufbau eines Moduls festlegen (Abb. 6.2-08).

### Imagewerbung mit PV

Die Photovoltaik ist ein erfolgreicher Imageträger, der es Einzelpersonen und Unternehmen erlaubt, eine verantwortliche, umwelt- und zukunftsorientierte Haltung nach außen zu dokumentieren, wie z. B. das Empfangsgebäude der Sto-Unternehmenszentrale in Weizen (Abb. 6.2-09). In die Fassade wurden rund 380 Photovoltaikmodule des hauseigenen vorgehängten hinterlüfteten Photovoltaik-Fassadensystems integriert. Das Gebäude wurde als Nullenergiegebäude konzipiert und erhielt die DGNB-Platin-Zertifizierung.

### Gestaltung mit PV

Als Designelement hinterlässt die Photovoltaik beim Betrachter einen nachhaltigen Eindruck. Sie kann sich auch an Stadtbildvorgaben und individuelle gestalterische Wünsche anpassen. Die Abbildungen 6.2-10 und 6.2-11 zeigen z. B. zwei Muster von farblich gestalteten PV-Modulen, die auf der Messe Intersolar 2019 ausgestellt wurden.





Abb. 6.2-08: Lichtsteuerung mit beweglichen PV-Lamellen aus Dünnschichtsolarzellen auf dem Dach des Paul-Löbe Hauses, Berlin

© Hagemann



Abb. 6.2-09: Empfangsgebäude Sto-Unternehmenszentrale, Weizen mit hauseigenem vorgehängten hinterlüfteten Photovoltaik-Fassadensystem

© Martin Böttlinger, Böblingen

### 6.3 Planerische Grundregeln der GIPV mit Dünnschichtmodulen

Um eine reibungslose Planung, einen problemlosen Aufbau, eine effiziente Wartung und auch einen erfolgreichen Betrieb eines gebäudeintegrierten PV-Systems zu ermöglichen, sollten nachfolgende Planungsregeln beachtet werden:

#### **Regel 1: Ungehinderter Zugang zu direktem Sonnenlicht**

Stadt- und Bauleitplanung sollten das „Recht auf Sonnenlicht“ dauerhaft sicherstellen, um eine maximale Solarstromproduktion zu ermöglichen.

#### **Regel 2: Maximale Ausnutzung der Solarstrahlung**

Die Position der Sonne verändert sich im Tages- und Jahresrhythmus. Jede feste Anordnung eines PV-Generators stellt daher einen Kompromiss dar. Optimal sind: Südausrichtung und standortabhängiger Neigungswinkel.

Beweglich gelagerte PV-Module können die solare Einstrahlungsdauer verlängern (Abb. 6.3-01). Ob die damit verbundenen Ertragsteigerungen den Mehraufwand der Nachführung rechtfertigen, ist im Einzelfall zu prüfen.



Abb. 6.3-01: Bewegliche „Shadovoltaik - Farbstoffstoffsolarzellen-Lamellen“ aus Glas der Firma COLT International, Merck KGaA, Darmstadt

### Regel 3: Keine (Teil-)Verschattung der PV-Module

Abhängig von der Zellengröße und der Modulverschaltung haben (Teil-)Verschattungen eines PV-Moduls oder PV-Generators Ertrags-einbußen zur Folge. Diese Auswirkungen können in der Planungsphase noch durch angepasste Verschaltungslayouts minimiert werden, später praktisch nicht mehr. Schattengebende Hindernisse am Bau sind z. B. Schornsteine, Dachgauben, Antennenanlagen auf Dächern, Nachbargebäude, Fassadenbegrünung, hochwachsende Bäume und Sträucher (Abb. 6.3-02).

Die in diesem Werk vorgestellten Dünnschicht-PV-Module sind dabei weitaus verschattungstoleranter als die kristallinen PV-Module.

### Regel 4: Hinterlüftung von Dünnschicht-PV-Module nicht zwingend erforderlich

Mit steigender Erwärmung der PV-Module nimmt die photovoltaische Stromerzeugung linear ab. Das trifft für alle PV-Zellen und -Module der 1. und der 2. Generation im unterschiedlichen Maße zu. Um eine solare Stromausbeute zu maximieren ist eine Hinterlüftung und damit Kühlung für diese Zellentechnologien sinnvoll.

Vor allem CdTe- und a-Si-Module besitzen jedoch sehr günstige Temperaturkoeffizienten, so dass dieser negative Effekt bei ihnen deutlich geringer (bis zu zu 50 %) ausfällt, als z. B. bei den konventionellen kristallinen PV-Modulen. Sie eignen sich daher auch für nicht hinterlüftete Sandwichkonstruktionen, genauso wie die OPV, eine Solarzelle der 3. Generation.

### Regel 5: Zugänglichkeit der elektronischen Komponenten

Hauptfehlerquellen eines gebäudeintegrierten PV-Systems waren in der Vergangenheit lose, durch Tiere und UV-Licht zerstörte Kabel sowie Defekte der Wechselrichter. Reparaturmaßnahmen an diesen Komponenten sollten leicht möglich sein.

### Regel 6: PV-Module stehen immer unter elektrischer Spannung

Sie können nicht abgeschaltet werden. Abläufe bei Montage und Installation müssen dies, ebenso wie die Besonderheiten der Gleichstromtechnik, berücksichtigen.

### Regel 7: Montagefreundlichkeit

Eine schnelle und einfache Montage spart Zeit und Kosten. Kriterien sind: Transportfähigkeit sowie die Möglichkeit eines Zusammenbaus ohne Werkzeugeinsatz.

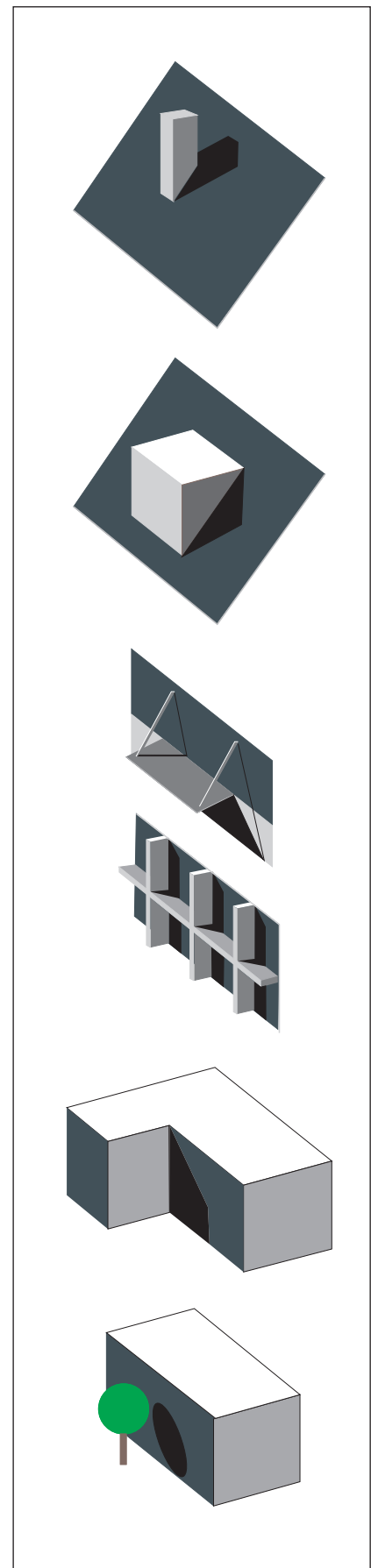


Abb. 6.3-02: Abschattungsfallen

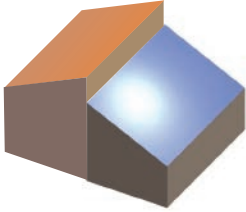
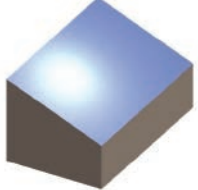
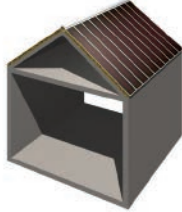

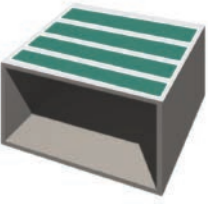
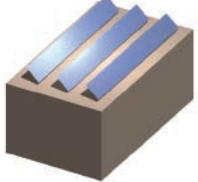


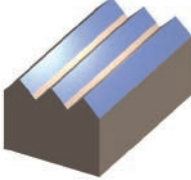
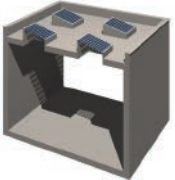
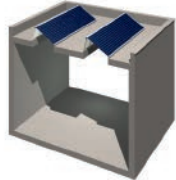
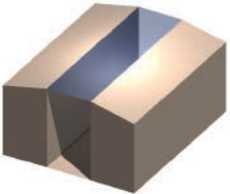
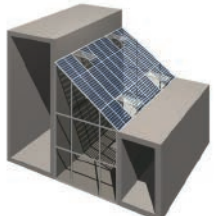
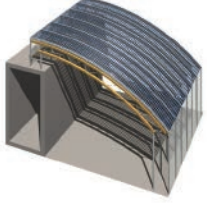
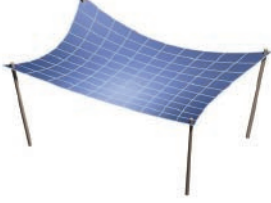
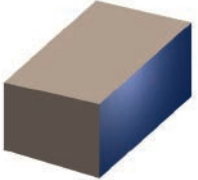
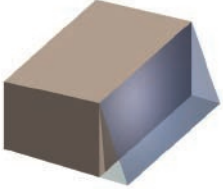
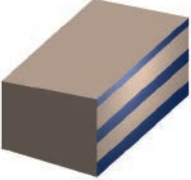
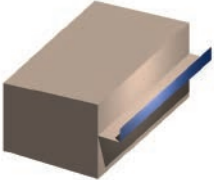
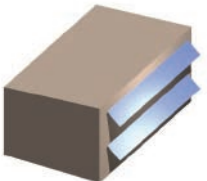
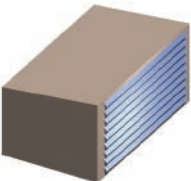
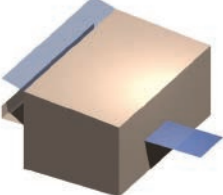
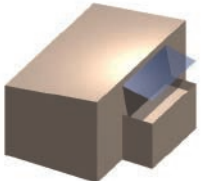
© IEA PVPS Task7 / Hagemann	Schrägdach	 Versetzte Dachflächen	 Pultdach	 Integriert	 Aufgeständert
	Flachdach	 Dachbahnen	 Montageschalen (aufgesetzt)	 Montagegestelle aufgesetzt	 fest verankert
	Oberlicht	 Scheddach	 Oberlicht	 Oberlichtband	
	Atrium	 Oberlicht	 Oberlicht geneigt	 Oberlicht gekrümmt	 Seilnetzkonstruktion
	(Glas-)Fassade	 Fassade mit Wandverkleidung	 Glasfassade	 Brüstung	 Geländer
	Sonnenschutz	 Sonnenschutz	 Lamellenvorhang	 Sonnenschutzdächer	 Überdachung

Abb. 6.4-01: Übersicht Integrationsmöglichkeiten der PV

## 6.4 Geeignete Flächen der Gebäudehülle für die GIPV

Beispiele für Flächen, die für eine Integration der Photovoltaik am Gebäude genutzt werden können, zeigt Abbildung 6.4-01 in einem grafischen Überblick. In der Praxis haben sich einige Gebäudeflächen als besonders geeignet erwiesen:

- **Geneigte Dächer:** Sie sind die bevorzugte Integrationsfläche der PV im europäischen Wohnungsbau. Idealerweise besteht die Dachform aus einem nach Süden ausgerichteten Dach mit einem für die Solarstromerzeugung passenden Neigungswinkel. Geeignet sind auch Scheddächer, mit nach Norden ausgerichteten Lichtbändern und nach Süden ausgerichteten, geneigten Dachflächen für die PV. Es gibt auch erste erfolgreiche Ansätze der Integration der OPV in ETFE-Folien. Dies öffnet den Wege für Flächentragwerke mit PV.
- **Flachdächer:** Sie eignen sich für Abdichtungsbahnen, auf die flexible, leichte PV-Module aufgebracht sind (Abb. 6.4-02). Alternativ können Dünnschichtmodule auch dachparallel aufgeständert oder auf flach geneigten Metallunterdächern aufgeklebt werden. Gründächer eignen sich ebenfalls für die PV-Nutzung. Orientierung und Neigung, sofern zutreffend, lassen sich frei wählen.
- **Fassaden mit Wandverkleidung:** Trotz Einstrahlungsverlusten (ca. 30 %) durch eine nicht optimale Neigung bieten sich insbesondere nach Süden orientierte Flächen an. Eine ausreichende Hinterlüftung ist sinnvoll (vgl. Projektbeispiele Kapitel 7.3). Mit der Entwicklung neuer PV-Technologien, wie z. B. der OPV, die besonders kostengünstig ist, wird die Überlegung nach der optimalen Orientierung der Gebäudeflächen zunehmend verschwinden, da die PV dann primär als Fassaden- oder Wandverkleidungsmaterial dort eingebaut wird, wo der Entwurf das gestalterisch und baukonstruktiv vorsieht.
- **Transparente Glasfassaden, Atriendächer und Oberlichter:** Isoliergläser mit Photovoltaik können abschattende bzw. lichtmodulierende Aufgaben übernehmen. Trotz Einstrahlungseinbußen durch eine nicht optimale Neigung (30 %), bedienen bislang Hersteller von semitransparenten a-Si-Dünnschichtsolarmodulen dieses Anwendungsfeld (Abb. 6.4-03 und 6.4-04). Inzwischen gibt es auch Anwendungen mit semitransparenten CdTe-Modulen in Europa (vgl. Kapitel 7.5).



Abb. 6.4-02: Dachbahnen mit integrierten Dünnschichtsolarmodulen

© Hagemann



Abb. 6.4-03: Isolierglasfassade mit Dünnschicht PV (a-Si)

© Hagemann, Photo: Jutta Rieg

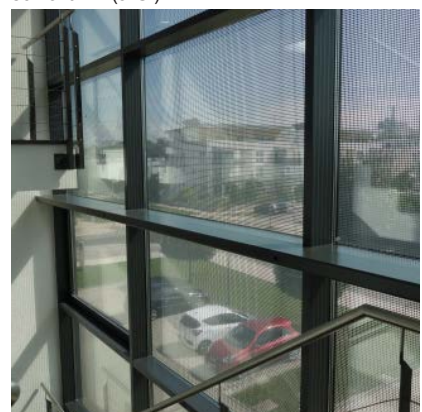


Abb. 6.4-04: Innenansicht Isolierglasfassade mit Dünnschicht PV (a-Si)

© Hagemann, Photo: Jutta Rieg

## 6.5 Einflussfaktoren auf den Energieertrag

### 6.5.1 Technische Einflussfaktoren

Der Betreiber einer gebäudeintegrierten PV-Anlage hat in der Regel ein vitales Interesse an einer leistungsfähigen Anlage. Nur gut geplante, fehlerfrei installierte und über Jahre störungsfrei laufende Anlagen erbringen die erwünschte Solarrendite.

Wenn der Anlagenenertrag nicht den Erwartungen entspricht, so muss das nicht an fehlerhaften Ertragsprognosen, einer fehlenden Einstrahlung, den Modulen oder den Wechselrichtern selbst liegen. Manchmal sind die einzelnen PV-Systemkomponenten nicht gut aufeinander abgestimmt. Oder aber ein Fehler ist aufgetaucht, wie z. B., dass sich ein PV-Kabel gelockert hat. Eine Übersicht möglicher Einflussfaktoren für geringe Erträge von PV-Anlagen liefert Abb. 6.5.1-01.

Überraschungen dieser Art lassen sich vermeiden durch:

- **Fehlervermeidung bei Planung und Ausführung**  
Dies kann erreicht werden, indem ein versierter PV-Fachmann die Planung, Angebotsauswahl und Ausführung des PV-Projektes von einem frühen Planungsstadium an begleitet und überwacht.
- **Fehlerdiagnose im laufenden Betrieb**  
Systeme zur laufenden Messung der Anlagenleistungsfähigkeit erlauben es, Fehler schnell zu entdecken und sofort beheben zu können. Sie sind heute meist Standard. Eventuell anfallende Mehrkosten für Messsysteme zahlen sich in doppelter Hinsicht aus, da diese Systeme das Engagement der Hersteller und Fachfirmen merklich steigern. Wer möchte schon mit unzuverlässigen Komponenten oder schlechtem Service entdeckt werden. Entsprechende Überwachungssysteme sind unverzichtbar ab einer Größe des PV-Generators von 10KW.

### 6.5.2 Planerische Einflussfaktoren

Neben den elektrotechnischen Aspekten gibt es ertragsbeeinflussende Planungsfaktoren, auf die der Baufachmann, Planer oder Architekt mit seiner Arbeit Einfluss nimmt:

#### **Ausrichtung**

Die richtige Himmelsausrichtung und Neigung der Gebäudeflächen, die photovoltaisch aktiv werden sollen, sind von grundlegender Bedeutung für die zu generierenden Solarstromerträge einer PV-

### Ursachen für geringe Erträge von PV-Anlagen

	Auswirkung		Ursache		
	Betriebsunterbrechung	Leistungsminderung	Planung	Komponente	Installation
Wechselrichterdefekte	■			■	
Phasenweise oder bereichsweise Verschattung		■			
Mismatch Module wegen verschieden orientierter Modulgruppen		■	■		
Wartezeit auf Austauschkomponenten	■				
Nicht-optimale Orientierung der Module		■	■		
Ungenügende Effizienz Wechselrichter		■		■	
Hohe Modultemperaturen		■	■		■
Verschmutzung der Module		■			■
Gleichstromverkabelung defekt	■	■			■
Schutz-, Schalt- oder Sicherheitseinrichtungen defekt	■	■			■
Mismatch Module aufgrund unbekannter Produktionsstreuung		■		■	
Degradationseffekte an Modulen		■		■	
Module defekt		■		■	
Reparaturarbeiten, Wartungsarbeiten	■	■			■
Schäden durch Unwetter (Sturm, Hagel, Blitz)	■	■			■

(Quelle: BINE Informationsdienst)

© Hagemann

Abb. 6.5.1-01: Ursachen für geringe Erträge von PV-Anlagen

Anlage. Da sich der Sonnenstand im Tages- und Jahresverlauf ändert, variiert der Einfallswinkel der Solarstrahlung auf die Gebäudeflächen ständig. Um abschätzen zu können, ob bestimmte Gebäudeflächen für den Einsatz der Photovoltaik, gleich in welcher Form, taugen, ist es notwendig, die Einstrahlungsverhältnisse über das ganze Jahr zu betrachten.

Der Einfluss von Orientierung und Neigung auf die jährliche Einstrahlungsmenge einer Gebäudefläche wurde bereits in Kapitel 4.1 dargelegt. Das Maximum der solaren Einstrahlung wird bei exakter Südausrichtung und einer Neigung der Generator- bzw. Gebäudefläche von ca. 30° erreicht (Abb. 6.5.2-01). Für den Planer bleibt in der Praxis ein Spielraum: Ein Neigungswinkel des Solargenerators zwischen 20° - 45° führen bei einer Südausrichtung nur zu geringfügigen Einstrahlungsverlusten. Auch ein Abweichen von der exakten Südorientierung des PV-Generators von bis zu 25° nach Osten und Westen hat bei gleicher Neigung nur geringe Einstrahlungsverluste zur Folge. Vertikale Fassaden hingegen weisen eine um ca. ein Drittel geringere Einstrahlung auf als vergleichbare, optimal geneigte Flächen gleicher Himmelsausrichtung.

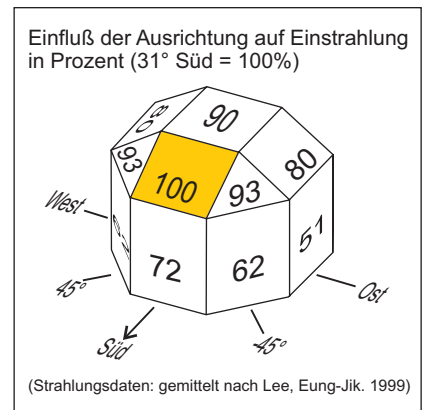


Abb. 6.5.2-01: Einfluss der Ausrichtung auf die Einstrahlung und PV-Erträge

© Hagemann

Bei bestehenden Gebäuden ist die Auswahl der vorhandenen Gebäudeflächen eingeschränkt. Die größte Freiheit hinsichtlich einer PV-Generatoranordnung bieten dann Flachdächer. Allerdings muss man hier auf andere ertragsmindernde Störfaktoren achten, z. B. schattenwerfende Antennenanlagen, Blitzschutzsysteme, Lüftungsöffnungen etc.

### **Hinterlüftung**

Mit steigender Erwärmung eines Solarmoduls nimmt seine Leistung ab (Ausnahme OPV). Daher ist grundsätzlich eine Hinterlüftung der PV-Module von Vorteil. Gleichwohl ist bei Dünnschichtmodulen der 2. Generation die Leistungsabnahme bei Erwärmung im Vergleich zu kristallinen Solarmodulen deutlich geringer. Daher eignen sie sich besser für Einbausituationen bei denen eine Hinterlüftung und Kühlung nicht möglich ist.

Eventuell kann die Modulkühlung auch mit einer kontrollierten Abwärmenutzung kombiniert werden. So genannte PV/T-Kollektoren fassen eine solare Stromerzeugung und Abwärmenutzung in einem Element zusammen.

### **(Temporäre-)Abschattung**

Abschattungen können unterteilt werden in:

- Zufällige Abschattungen  
Dies sind zum einen gleichmäßige Abschattungen (Staub, Schnee, etc.) zum anderen ungleichmäßige Abschattungen (Vogel- exkremente, Laub, abrutschender Schnee, etc.)
- Standortbedingte Abschattungen (Bäume, andere PV-Anlagen, Häuser, Dachaufbauten, etc.)  
Sie sind zum Teil vermeidbar, zum Teil müssen sie als gegebene Rahmenbedingungen hingenommen werden.

Abschattungsverluste führen zu Ertragseinbußen und sollten vermieden werden. Falls sie unvermeidbar sind, sollten sie in der elektrotechnischen Planung berücksichtigt werden.

Da dies aber Aufgabe der Elektroplanung einer PV-Anlage ist, werden an dieser Stelle nur stichpunktartig die Grundprinzipien aufgezeigt.

Technische Möglichkeiten zur Verringerung der Auswirkungen unvermeidbarer Abschattungsverluste bei PV-Anlagen sind:

- schattentolerante Module,
- Modulwechselrichter,
- optimierte Modulausrichtung,
- Änderung der Modulanordnung,



- elektrotechnische Optimierung der Zellverschaltung und
- regelmäßige Reinigung bei PV-Generatoren, die von einer starken Verschmutzung betroffen sind. Die Minderleistung kann bis zu 20 Prozent betragen. Insbesondere gilt dies für PV-Generatoren auf Dächern, die sich in der Nähe von Industriegebieten, von Geflügelmastställen oder Eisenbahntrassen befinden.

## 6.6 Sicherheitsanforderungen

Bauteile mit integrierter Photovoltaik müssen konstruktiv und baurechtlich die gleichen Anforderungen erfüllen wie herkömmliche Bauteile. An PV-Glasmodule werden daher bautechnisch auch die gleichen Anforderungen gestellt wie an vergleichbare Glasbauteile.

Abhängig von der Funktion in der Gebäudehülle müssen wechselnde Anforderungen an die konstruktive Sicherheit und den Brandschutz erfüllt werden.

### 6.6.1 Statische Anforderungen

#### 6.6.1.1 Aufgeständerte PV-Systeme

Das zusätzliche Gewicht der Solarmodule und der dazugehörigen Montagesysteme bedeutet für die meisten Unterkonstruktionen von geneigten Dächern kein statisches Problem. Dies muss jedoch im Einzelfall überprüft werden, da Bauweise und Kalkulation statischer Sicherheiten regional und länderspezifisch unterschiedlich sind.

Montagesystem und Verankerungspunkte zum Dach oder zur Fassade müssen so ausgelegt sein, dass die Standsicherheit des PV-Generators gewährleistet ist.

Insbesondere Wind- und Sogkräfte sind zu berücksichtigen. Dies gilt vor allem für Konstruktionen auf Flachdächern, bei denen geneigte PV-Module angeordnet sind und diese, vergleichbar mit einem Segel, dem Wind eine breite Angriffsfläche bieten. Um diese Gefahr auf Flachdächern zu reduzieren, werden PV-Glasmodule auf Flachdächern zunehmend mit einem geringeren Neigungswinkel und in Bodennähe angeordnet.

### 6.6.1.2 Integrierte PV-Systeme

Besondere Anforderungen an die Sicherheit werden vor allem gestellt an

- PV-Überkopfverglasungen  
(Atriumdächer, Sonnenschutzsysteme, etc.)
- PV-Glasfassaden und PV-Fassadenbekleidungen
- Absturzsichernde PV-Verglasungen

#### PV-Überkopfverglasungen

Für PV-Einfachverglasungen im Überkopfbereich über öffentlichen Flächen hat sich ein Doppelglas-Modulaufbau bewährt, bei dem die innenliegende Scheibe als Verbundglas mit teilvorgespannten Gläsern ausgeführt wird.

Für PV-Überkopfverglasungen mit Isolierglas wird als Absturzsicherung für die innenliegende Glasscheibe ein Verbundsicherheitsglas eingesetzt (vgl. Kapitel 7.5.2.4). Alternativ kann für geringe Stützweiten (< 70cm) auch Drahtglas verwendet werden.

Für PV-Module, die im geneigten Dach die Dachhaut ersetzen und bei denen bei Bruch keine unmittelbare Gefahr durch herabfallende Glasstücke besteht, können konventionelle Glas-Glas-Module oder Glas-Folien-Module verwendet werden.

#### PV-Glasfassaden und PV-Fassadenbekleidungen

Die Sicherheitsbestimmungen und konstruktiven Anforderungen bezüglich des Aufbaus und der Befestigung von Fassaden und Fassadenbauteilen an Gebäuden variieren mit der Absturzhöhe und sind je nach Land unterschiedlich (vgl. Kapitel 7.3 und 7.5).

Beispiel: In einigen Ländern dürfen z. B. Vertikalverglasungen und Verkleidungen durch geklebte Halterungen in der Fassade befestigt sein, in anderen Ländern sind ab einer bestimmten Höhe oder ab einer bestimmten Windbelastung zwingend zusätzliche mechanische Verankerungen erforderlich. Grundsätzlich kann angenommen werden, dass bewährte länderspezifische Anforderungen, die an spezielle Glasbauteile in der Fassade gestellt werden, auf vergleichbare Glasbauteile mit integrierte PV übertragen werden können.

Zu beachten ist, dass es durch die Absorption der Solarstrahlung im Vergleich zu einer konventionellen Verglasung zu einer stärkeren Aufheizung einer PV-Glasfassade kommt. Folge sind höhere Belastungen durch thermische Spannungen, die von den Halterungssystemen der PV konstruktiv aufgefangen werden müssen.

Modulrahmen und Haltevorrichtungen müssen daher z. B. für PV-Fassadenbekleidungen so ausgelegt sein, dass Dehnungen und Verkürzungen nicht zu unzulässig hohen mechanischen Spannungen führen. Die Befestigungen müssen genügend Spiel aufweisen, um die aus unterschiedlichen Wärmeausdehnungen resultierenden relativen Bewegungen der Bauteile untereinander zuzulassen. Handelsübliche Fassadensysteme lösen das Problem durch einseitig fixe Befestigungspunkte kombiniert mit gleitenden Halterungen.

Mechanische Lasten dürfen auf keinen Fall auf die PV-Module übertragen werden, außer bei statisch belastbaren Glasbefestigungen und entsprechenden Gläsern.

### **Absturzsichernde Verglasungen**

Bei Bauteilen mit absturzsichernder Funktion muss gewährleistet sein, dass bei einer stoßartigen Belastung durch deren vorzeitiges oder plötzliches Versagen Menschen nicht gefährdet werden. Dies gilt z. B. für bodentiefe Glaselemente als Teil einer PV-Glasfassade oder für PV-Brüstungselemente. Bislang wurden individuelle Prüfungen im Einzelfall durchgeführt, um die Tauglichkeit einer solchen Konstruktion mit PV-Bauteilen nachzuweisen. Zum Einsatz kamen PV-Module in Kombination mit Verbundsicherheitsgläsern in ausreichender Dicke gemäß statischer Berechnung.

### **6.6.2 Brandschutztechnische Anforderungen**

Der bauliche Brandschutz soll die Entwicklung und Ausbreitung von Feuer am Bau verhindern. Er stellt ein wichtiges Sicherheitskriterium am Bau dar und ist länderspezifisch unterschiedlich geregelt bzw. an unterschiedliche Bautraditionen und Bauweisen angepasst.

PV-Module setzen sich hauptsächlich aus nicht brennbaren Stoffen (Glas, Silizium, Aluminium), aber auch aus normal entflammaren Stoffen (Harz, Kunststoff) zusammen und werden meist der Gruppe „schwer entflammbarer“ Baustoffe zugeordnet. Eine eindeutige Zuordnung zu verschiedenen Gefahrenklassen des Brandschutzes ist nicht möglich und muss für jedes Modul bzw. Bauprodukt mit integrierter PV einzeln festgelegt werden.

Folgendes kann aufgrund bisheriger Erfahrungen festgehalten werden:

- Bedachungen müssen vor Flugfeuer schützen, d. h. nicht leicht entflammbar und widerstandsfähig gegenüber strahlender Wärme sein. PV-Module erfüllen z. B. für Deutschland die diesbezüglichen an Dachdeckungen gestellten Anforderungen.



Abb. 6.6.2-01: Brandtest an einem Dünnschichtmodul



Abb. 6.6.2-02: Dünnschichtmodul nach Brandtest

- PV-Fassadenelemente müssen z. B. in Deutschland die gleichen Brandschutzanforderungen erfüllen, wie sie an nicht tragende und tragende Außenwandbauteile aus Glas gestellt werden. Abhängig vom Anwendungsfall, der Gebäudehöhe und dem Abstand zum Nachbargebäude müssen diese z. B. in Deutschland aus Materialien sein, die als „nicht brennbar“ (z. B. Aluminium, Stahl, Glas etc.) bzw. als „schwer entflammbar“ (z. B. brandschutzbehandelte Holzwerkstoffe, Hartschaumkunststoffe etc.) eingestuft werden.
- Außenwandbekleidungen müssen unterschiedliche Brandschutzanforderungen erfüllen. Abhängig von der Einbausituation, der Gebäudehöhe und dem Abstand zu Nachbargebäuden gelten für Fassadenkonstruktionen und Verkleidungsmaterialien unterschiedlich strenge Brandschutzforderungen. Der Nachweis der Eignung von PV-Modulen ist vom jeweiligen Einzelfall abhängig.

Ein Beispiel für einen Brandtest zeigt Abbildung 6.6.2-01. Die aus Kunststoff bestehende Modulanschlussdose wurde in Brand gesetzt. Das Ergebnis zeigt die Einwirkung auf das zerstörte Dünnschichtmodul (Abb. 6.6.2-02).

## 6.7 Projektpartner und Art der Zusammenarbeit

Die gelungene Einbindung eines PV-Systems in ein Gebäude ist mit einem zusätzlichen Planungs- und Koordinierungsaufwand verbunden. Neben bekannten gestalterischen und konstruktiven Überlegungen müssen zusätzliche technische Belange berücksichtigt werden, die im Allgemeinen die Kompetenz des Architekten überschreiten.

Punkte, die bei der Planung und Ausführung eines netzgekoppelten PV-Systems zu klären sind:

- Lage und Anordnung der PV-Module bzw. Baukomponenten mit PV
- Verschattungssituation
- Belüftungssituation
- Lage und Zuordnung der Modulstränge
- Verschaltungskonzept
- Wechselrichterkonzept
- Montagesystem und Austauschbarkeit im Falle eines Defektes
- Leitungsführung
- Elektrische Anschlüsse
- Blitz- und Überspannungsschutz
- Installationsort: Wechselrichter, Zählerschrank, etc.
- Elektrotechnische Energieertragsoptimierung

Zu beachten ist, dass die Realisierungsphase von gebäudeintegrierten PV-Anlagen gewerkeübergreifend abläuft.

- Bei größeren Baumaßnahmen müssen im Rahmen von Bau-besprechungen die Zeitfenster der verschiedenen Gewerke aufeinander abgestimmt werden. Der PV-Systembau ist in der Regel für die beteiligten Gewerke und Bauleiter unbekanntes Terrain. Dies bedeutet, dass zusätzliche Zeit bzw. Hilfestellungen kalkuliert werden müssen.
- Die Montage und Verkabelung der PV-Anlage verläuft in der Regel parallel zur Montage konventioneller Bauteile der Gebäudehülle oder auch dem Innenausbau. Damit dies reibungslos klappt, müssen der PV-Installateur und die anderen Gewerke sich rechtzeitig in ihren Arbeitsabläufen untereinander abstimmen. Arbeiten auf dem Dach sind für einen Elektriker in der Regel Neuland.

- Der Einsatz zusätzlicher Montagehilfen, wie Kran, Aufzug etc., müssen abgesprochen werden. Dies spart Zeit und Kosten. Zulieferfirmen, die die PV-Produkte bereitstellen, müssen rechtzeitig beauftragt werden.

Für die Konzeption und Umsetzung der gebäudeintegrierten PV-Anlage ist es daher wichtig, dass von Planungsbeginn an ein intensiver Dialog zwischen PV-Fachplanern, ausführenden Handwerkern und dem Architekten gesucht wird. Nur so kann die PV-Anlage sowohl architektonisch und bautechnisch optimal in den Entwurf integriert und energietechnisch optimiert werden.

Voraussetzung ist die Dialogfähigkeit und Bereitschaft aller Projektbeteiligten, persönliche und konkurrierende Zielvorstellungen zugunsten eines gemeinsamen Ziels aufzugeben. Wichtig ist die gemeinsame Anstrengung aller Beteiligten, da keiner der Experten allein in der Lage ist, die bestmögliche Lösung zu finden. Eine erfolgreiche und zukunftsorientierte Architektur mit PV kann demnach nur das Ergebnis einer optimalen interdisziplinären Gruppenarbeit sein, die allerdings an Spielregeln gebunden ist, um zum Erfolg zu führen!

Wird der Fachplaner zu einem späteren Planungszeitpunkt hinzugezogen, führt dies meist zu Kompromissen. Dies hat oftmals geringere Solarstromerträge, unnötige Zusatzkosten oder zusätzliche Zeitaufwendungen für spezielle Anpassungsdetails zur Folge (vgl. Kapitel 3, Abb. 3.2-01 Planungsverantwortlichkeiten). Um dem vorzubeugen, sollten die erforderlichen Rahmenbedingungen von den beteiligten Firmen und Fachleuten frühzeitig erkannt, gemeinsam abgestimmt und bei der Konzeption der PV-Anlage berücksichtigt werden.

Die an der Realisierung beteiligten Firmen können nachfolgenden Bereichen zugeordnet werden. Es kommt jedoch vor, dass einige Firmen mehrere der genannten Bereiche gleichzeitig abdecken bzw. als Generalunternehmen agieren und die komplette Leistung aus einer Hand anbieten:

- Architekt
- PV-Zellenhersteller
- PV-Modulhersteller
- Anbieter PV-Systemtechnik
- PV-Experte
- Anbieter der Montagetechnik bzw. des Fassadensystems

Die Konstellation der Zusammenarbeit der verschiedenen Fachleute wechselt. Mögliche Varianten zeigt Abbildung 6.7-01.

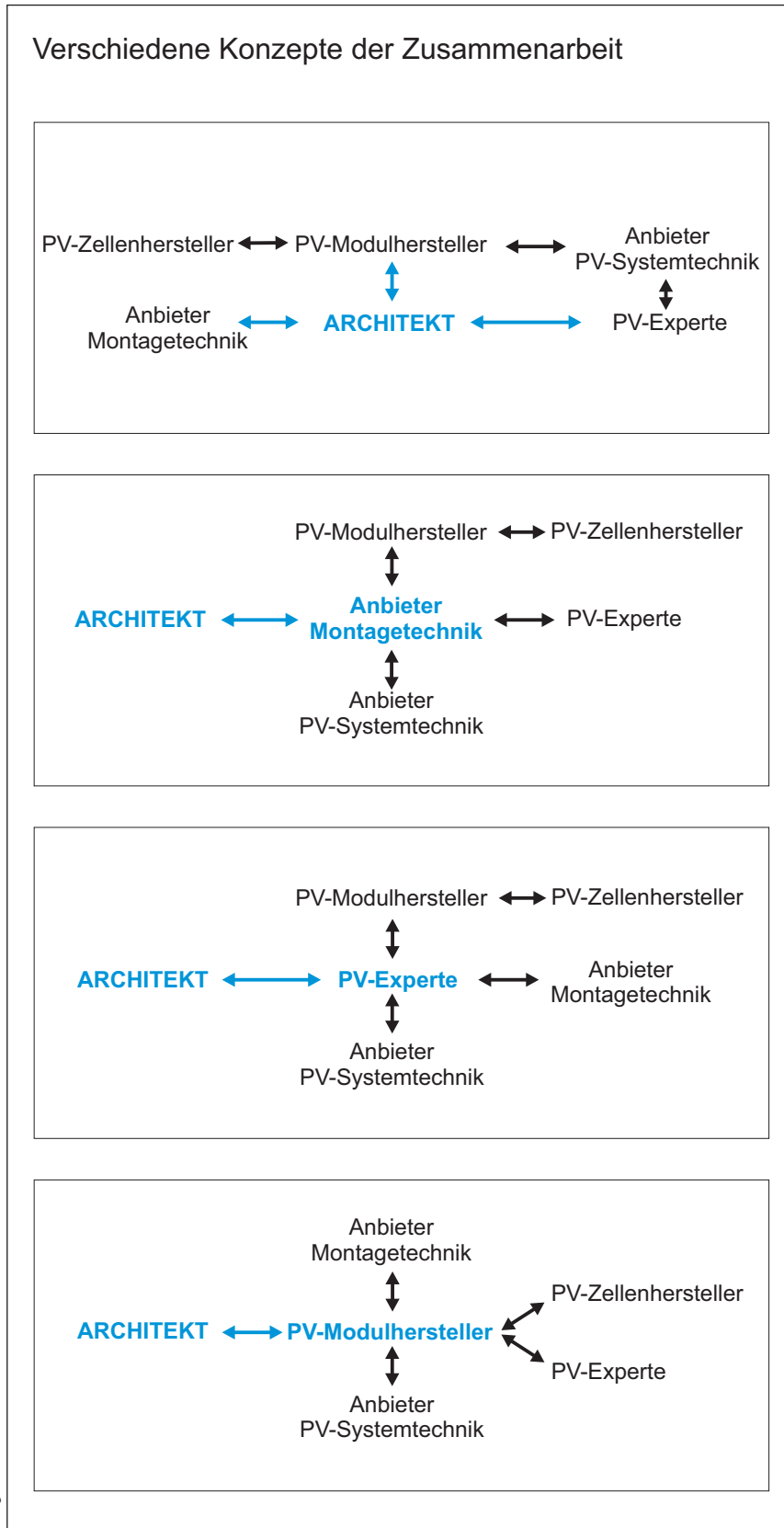


Abb. 6.7-01: Konzepte der Zusammenarbeit

Checkliste für Planung und Ausführung eines gebäudeintegriertes PV-System

Projektbezeichnung:		erforderlich	empfohlen	bei Bedarf
Standort:				
Datum:				
<b>1</b>	<b>Vorbereitung</b>			
1.1	Aufgabenstellung und Zieldefinition klären			
1.2	Vorprojekt, Grundsätze klären			
1.3	Architektonische Entwürfe			
1.4	Finanzierung, Wirtschaftlichkeit klären			
1.5	Födemöglichkeiten und Rahmenbedingen klären			
1.6	Steuerliche Möglichkeiten klären			
<b>2</b>	<b>Genehmigungen / Klärung rechtliche Fragen</b>			
2.1	Baugenehmigung			
2.2	Auflagen des Denkmalschutzes			
2.3	Antrag für Anschluß ans örtliche Stromnetz			
2.4	Versicherung			
<b>3</b>	<b>Architektur</b>			
3.1	Planerische und architektonische Anforderungen			
3.2	Dach- bzw. Fassadengestaltung mit PV			
3.3	Tageslichtnutzung- und -führung ?			
3.4	Befestigung der Module			
3.5	Anschlüsse und Übergänge			
3.6	Kabelführung			
3.7	Statik und Sicherheit			
3.8	Brandschutz			
3.9	Details klären			
<b>4</b>	<b>Elektrotechnische Planung des PV-Systems</b>			
4.1	Verfügbarkeit der Globalstrahlung			
4.2	Festlegung der PV-Flächen und Generatorgrößen			
4.3	Verschattungsanalyse			
4.4	Ertragskalkulation			
4.5	Verschaltungslayout			
4.6	Dimensionierung der Leitungen			
4.7	Generatoranschlusskasten			
4.8	Sicherheitseinrichtungen			
4.9	Erdung, Blitzschutz und Überspannungsschutz			
4.10	Netzanschluss			
4.11	Ausschreibung			
<b>5</b>	<b>Ausführung</b>			
5.1	Modultypen und Montagesystem auswählen und ausschreiben			
5.2	Anlagen und Wechselrichterkonzept auswählen und ausschreiben			
5.3	Detailpläne für Konstruktion und Elektrotechnik anfertigen			
5.4	Zeitplan erstellen für Realisierung des PV-Systems und Abstimmung mit Zeitplan für das			
5.5	Auftragsvergabe für Montage und anderen notwendige Arbeiten			
5.6	PV-Module nach Leistung sortieren			
5.7	Bauüberwachung			
5.8	Einhaltung der Sicherheitsvorkehrungen prüfen			
<b>6</b>	<b>Fertigstellung</b>			
6.1	Abnahme durch das zuständige Energieversorgungsunternehmen			
6.2	Leistungsmessung			
6.3	Übergabe an Bauherren			
6.4	Garantiearbeiten, Revisionspläne			
6.5	Bauabnahme und elektrotechnische Inbetriebnahme			
6.6	Dokumentation			

© Hagemann

Abb. 6.8.1-01: Checkliste



## 6.8 Planungshilfen

### 6.8.1 Checkliste

Abbildung 6.8.1-01 zeigt den gesamten Ablauf der Planung eines gebäudeintegrierten PV-Systems. Ob und inwieweit die einzelnen Projektphasen ausgeführt werden, ist vom einzelnen Projekt und seiner Größenordnung abhängig.

### 6.8.2 Abschätzungshilfe für Solarstromerträge

Erträge einer Solarstromanlage, die sich in der Planung befindet, können mit Hilfe nachfolgender Faustformel überschläglich kalkuliert werden. Sie diente dem Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Erstellung amtlicher Solarstromgutachten (Abb. 6.8.2-01).

Die Formel berücksichtigt die Standortqualität in Bezug auf die solare Einstrahlung und die Anlagenqualität des PV-Systems. Zur Einschätzung der Anlagenqualität dient die so genannte „Performance Ratio (PR)“, eine weitgehend standortunabhängige Kennzahl.

#### Faustformel zur Berechnung des Solarstromertrags

$$E = P_{PV} \text{ (kWp)} * G * PR$$

$E$  = Ertrag = Gewinn an elektrischer Energie der PV-Anlage (in kWh/kWp\*a)

$P_{PV}$  = Nennleistung des PV-Generators (in kWp)  
Dieser Wert ergibt sich aus der Addition der Nennleistung der einzelnen miteinander verschalteten PV-Module

$G$  = Globalstrahlung auf die geneigte und ausgerichtete Generatorfläche (in kWh/m<sup>2</sup>\*a) Dieser Wert wird einer Strahlungsdatenbank entnommen.

Die „METEONORM“ ist eine solche im PV-Sektor weit verbreitete Strahlungsdatenbank, die auch als Berechnungsgrundlage vieler Kalkulationsprogramme von PV-Anlagenerträgen dient.

Ihre Datensätze basieren auf 10-jährigen Messreihen. Vergleiche mit längeren Reihen zeigen, dass Abweichung der mittleren jährlichen Strahlungssumme aufgrund der Wahl der Periode für alle Stationen unter 2% liegt. Die Daten der „METEONORM“ zur Kalkulation der Einstrahlungswerte auf geneigte Flächen basieren auf einem allgemein anerkannten Algorithmus (nach Perez et al., 1987).

$PR$  = Performance Ratio der PV-Anlage. Sie gibt Auskunft über den Anlagen-nutzungsgrad. Dieser gibt die Qualität einer PV-Anlage wieder, unabhängig vom Ort, der Himmelsausrichtung und Neigung. In der Praxis üblich sind PR-Werte zwischen 75% und 80%.

Abb. 6.8.2-01: Faustformel zur Berechnung des Solarstromertrags

Um realistische Ertragsprognosen zu erhalten, muss man z. B. in Deutschland

- Für eine hinterlüftete PV-Aufdachmontage eine Performance Ratio von 76 % ansetzen (inkl. 2,5 % Sicherheitsabschlag).
- Für eine hinterlüftete PV-Indachanlage, die im Vergleich hierzu geringere Solarstromerträge bringt, eine Performance Ratio von 74 % (inkl. 2,5 % Sicherheitsabschlag) berücksichtigen.

### **6.8.3 Programme zur PV-Ertragssimulation**

Spezielle PV-Simulationsprogramme werden in der Planungsphase sowie zur Ertragsüberwachung von PV-Anlagen eingesetzt:

- Ihre Funktion ist die Bestimmung des elektrischen Energieertrags einer in Planung befindlichen PV-Anlage oder die Ermittlung der kostengünstigsten Anlagenvariante bei verschiedenen Alternativen.
- Ihre Ergebnisse dienen auch als Kalkulationsgrundlage für die Kostenanalyse und Kreditvergabe.
- Im laufenden Betrieb werden sie eingesetzt, um festzustellen, ob PV-Anlagen einwandfrei laufen.

Die Programme liefern daher wichtige Eckdaten für die elektrotechnische Planung und die Qualitätskontrolle eines PV-Systems. Anwender von PV-Simulationsprogrammen sind vor allem PV-Fachplaner.

## 7. Anwendungsfelder der Dünnschicht-PV

### Merke

- Flexible und leichte PV-Dünnschichtmodule bieten smarte Lösungen für die PV-Dachintegration und eignen sich besonders für Flachdächern und Dachkonstruktionen mit geringer Traglast
- Für Wandverkleidungen mit PV können geeignete konventionelle Unterkonstruktionen verwendet werden
- Transparente Pfosten-Riegel-Fassaden mit Isolierverglasung sind eine ausgereiftes integrierte PV-Bauprodukt
- Externe Sonnenschutzsysteme eignen sich besonders für eine Integration der PV

Die Dünnschicht-PV kann auf unterschiedliche Weise gestalterisch ansprechend an einem Gebäude appliziert oder in die Gebäudehülle und Baukomponenten integriert werden.

Rechtlich wird die PV durch ihren Einsatz in der Gebäudehülle zu einem Bauprodukt. Mit dem Begriff „Bauprodukt“ werden alle Baustoffe, Bauteile und Anlagen bezeichnet, die hergestellt werden, um dauerhaft in Gebäuden und anderen baulichen Anlagen eingebaut zu werden. Für den Einsatz der Dünnschicht-PV als Bauprodukt müssen daher nicht nur gestalterische und elektrotechnische Fragen geklärt werden, sondern auch gesetzliche Produktbestimmungen eingehalten und bei ihrer Verwendung am Bau bauaufsichtliche Nachweise erbracht werden.

Eine gute Übersicht hierzu, geordnet nach den unterschiedlichen Anwendungsbereichen der PV in der Gebäudehülle, bietet die Veröffentlichung „Technische Baubestimmungen für PV-Module als Bauprodukte und zur Verwendung in Bauarten. Bauordnungsrechtliche Vorgaben zu Produkt- und Anwendungsregeln. Stand 02/ 2022“ (Herausgeber: Allianz Bauwerkintegrierter Photovoltaik), vgl. [1].

Nachfolgend werden in diesem Kapitel, gegliedert nach den Einsatzbereichen der PV in der Gebäudehülle, Anwendungsmöglichkeiten der Dünnschicht-PV vorgestellt und dazugehörige gestalterische, baukonstruktive und elektrotechnische Überlegungen und Informationen bereitgestellt.

### **Weiterführende Informationen**

[1] *Allianz Bauwerkintegrierte Photovoltaik. 2022. Technische Baubestimmungen für PV-Module als Bauprodukte und zur Verwendung von Bauarten. Bauordnungsrechtliche Vorgaben zu Produkt- und Anwendungsregeln. Ausgabe 2022/02*

→ [https://allianz-bipv.org/wp-content/uploads/2022/02/Allianz-BIPV\\_Techn-Baubestimmungen\\_240222.pdf](https://allianz-bipv.org/wp-content/uploads/2022/02/Allianz-BIPV_Techn-Baubestimmungen_240222.pdf) (12/2022)

## **7.1 Schrägdächer und PV**

Gestalterisch bilden Dachflächen den oberen Abschluss eines Gebäudes, konstruktiv sind sie ein Schutzschild gegen Witterungseinflüsse. Sie sind weithin sichtbar und ein prägendes gestalterisches Element bzw. Markenzeichen eines Gebäudes, eines Viertels ja sogar einer ganzen Stadt.

Vor allem großflächige nach Süden geneigte Dachflächen bieten beste Voraussetzungen für eine Integration der PV:

- Ihre exponierte Lage gewährleistet einen ungehinderten Zugang zum direkten Sonnenlicht
- Sie haben in der Regel keine weitere Nutzung
- Sie bieten vorteilhaft zur Sonne geneigte Flächen
- Sie bieten eine schnellere Amortisation der Kosten, da dachintegrierte PV-Anlagen eine höhere Rendite erzielen

### **7.1.1 Planerische Überlegungen**

#### **Dachformen und PV**

Dächer setzen sich aus einer einfachen Dachform oder aus einer Kombination verschiedener Dachformen, -flächen und -neigungen zusammen. Hinzu kommen Gauben und andere Dachaufbauten. Vielfältige Varianten in Abhängigkeit von Bautraditionen sind denkbar. Eine effiziente PV-Nutzung benötigt vor allem klare, großformatige, ununterbrochene, ebene und verschattungsfreie Dachflächen.

Insbesondere wenn PV-Module eine konventionelle Dachdeckung ersetzen, können bereits in der Planungsphase durch die Wahl einer geeigneten Dachform komplizierte Anschluss- und Abdichtungsdetails vermieden und Konflikte bei ihrer handwerklichen Umsetzung ausgeschlossen werden.

Vorteilhaft ist die gestalterische Auflösung des Daches in voneinander getrennte Teilflächen: in einen Bereich mit integriertem PV-

Generator und in einen mit konventioneller Dachdeckung. Versetzt angeordnete Pultdächer bzw. ein einzelnes Pultdach sind Beispiele dafür.

Abbildung 7.1.1-01 zeigt z. B. das große Pultdach des Parkhauses Kinopolis in Hanau mit einer Dacheindeckung aus Trapezblech. Auf diesem sind rahmenlose Dünnschichtmodule mit einer Gesamtleistung von 124,5 kWp dachparallel auf einer Aluminium-Unterkonstruktion montiert. Die einzelnen Module haben die Abmessungen 1.300x1.100x7,5 mm und besitzen auf der Rückseite zwei werkseitig aufgeklebte Streben. Diese verbessern die statischen Eigenschaften der Module. Gleichzeitig ermöglichen sie eine schnelle und sichere Aufdachmontage. Das Ergebnis ist ein optisch geschlossenes, homogenes Modulfeld mit geringen Spaltmaßen.

### Konstruktionsarten von geneigten Dächern und PV

PV-Module und ihre Montagesysteme müssen so am Bauwerk installiert und verankert sein, dass sie einwirkende Kräfte von außen sicher ans Dachtragwerk weiterleiten. Aufgrund einer geringen Bautiefe und einem Flächengewicht, das geringer ist als das vieler Dachdeckungsmaterialien, erfordert die Schrägdachmontage von



Abb. 7.1.1-01: Pultdach mit aufgeständerte Dünnschicht-PV-Anlage, Parkhaus Kinopolis, Hanau

PV-Modulen in der Regel keine besonderen statischen Maßnahmen für das lastableitende Dachtragwerk.

Anders sieht dies bei in Leichtbauweise hergestellten Hallendächern aus. Hohe, zusätzliche Traglasten können solche Dächer in der Regel nicht aufnehmen. Hier kommen bevorzugt flexible Dünnschicht-PV-Module mit einem geringen Flächengewicht zur Anwendung, z. B. die Produkte von Midsummer, Flisom (vgl. Kapitel 4.3.2) oder Heliatek (vgl. Kapitel 4.3.5).

Alle Dächer lassen sich in zwei Konstruktionsprinzipien unterteilen, die wiederum auch die Auswahl der geeigneten PV-Technik beeinflussen:

- **Kaltdach**  
Geneigte Dächer werden in Europa in der Regel als so genannte Kaltdachkonstruktion ausgeführt, das heißt, die äußere Dachendeckung (Dachziegel, Dachschindel etc.) ist hinterlüftet. Dies ist generell von Vorteil für PV-Module, die als Dachdeckungsmaterial eingesetzt werden. Von der Sonne aufgeheizte PV-Module werden durch Hinterlüftung gekühlt. Dies ist vor allem für kristalline PV-Module von Bedeutung wegen ihres Leistungseinbruchs bei zunehmender Erwärmung. Dünnschichtsolarmodule sind diesbezüglich weitaus toleranter. In einem solchen Dachaufbau ist aber für alle PV-Modultypen wichtig, dass das Kondensat, das sich an der Modulrückseite bilden kann, sicher abtransportiert werden kann.
- **Warmdach**  
Für Warmdachkonstruktionen eignen sich ausschließlich Dünnschichtsolarmodule. Sie eröffnen das Feld für wärmegeämmte Sandwichkonstruktionen mit integrierter Photovoltaik. Entsprechende Produkte wurden für die amorphe Dünnschichttechnik in der Vergangenheit von Thyssen-Krupp oder Kaneka (Japan) entwickelt und angeboten. Durchgesetzt hat sich dieser Konstruktionstyp für Dachkonstruktionen mit Photovoltaik in Deutschland jedoch bisher nicht. Dies hat aber weniger mit der Photovoltaik als mit den vorherrschenden Baumethoden zu tun. In Ländern wie Japan oder Skandinavien, die im Wohnungsbau ein hohes Maß an Vorfertigung anwenden, werden Dachkonstruktionen in Sandwichbauweise eingesetzt. Natürlich wird auch mit PV-Modulen für diese Art von Dachbauelementen experimentiert.

### Dachdeckungsarten und PV

Konventionelle Dachdeckungen, d.h. Ziegel-, Betondachstein- oder Schindeldeckungen, bestehen aus überlappenden Einzelelementen, die so übereinander angeordnet sind, dass Regenwasser kontrolliert abgeleitet werden kann. Je kleinteiliger diese Elemente sind, desto besser kann der Dachdecker sie an unterschiedliche Dachformen und Aufbauten des Daches anpassen, ohne auf Sonderformate zurückgreifen zu müssen. Beim Einsatz handwerklicher Montageverfahren können kleine Formate auch leichter von einer Einzelperson gehandhabt werden. Als Konsequenz etablierten sich in der Vergangenheit relativ kleinteilige Abmessungen für konventionelle Dachdeckungsmaterialien in Mitteleuropa (Abb. 7.1.1-02 und 7.1.1-04).

Dies steht jedoch im Widerspruch zu den Anforderungen der PV-Dünnschichttechnik. Diese bevorzugt möglichst große Formate mit möglichst wenigen elektrischen Verschaltungspunkten. Für einen Neubau sind Rahmenbedingungen, die diese spezifische Anforderung der Photovoltaik nicht ausreichend berücksichtigen, als ungeeignet einzustufen, da sie zu unwirtschaftlich, teuer und fehlerträchtig sind.

Diese Nachteile nimmt man in Kauf, wenn die Photovoltaik in vorhandene Dachziegelflächen nachträglich harmonisch integriert werden soll und eine Anpassung an konventionelle Dachdeckungsmaterialien erforderlich ist, z. B. beim Denkmalschutz (7.1.1-05). Relevant ist dies für Länder, z. B. Deutschland, in denen Gebäude im Durchschnitt eine lange Nutzungsdauer von 60-120 Jahren besitzen.

### Planerische Empfehlungen

Aufgrund der spezifischen Eigenschaften der PV-Technik eignen sich für eine Integration besonders Dächer die

- möglichst große, homogene, ebene und nach Süden hin geneigte Flächen besitzen,
- nicht durch ihre Form eine Verschattung bzw. Teilverschattung der eigenen Dachfläche (z. B. durch Gauben etc.) hervorrufen,
- im Bereich des PV-Generators nicht von Aufbauten, wie Kaminen, Entlüftungsschächten und -rohren, Antennenmasten, Dachfenstern etc., unterbrochen werden (Gefahr der Eigenverschattung).

Entscheidungen bezüglich der Eignung von Dachflächen für eine Solarstromproduktion fallen bereits bei städtebaulichen Überlegun-



Abb. 7.1.1-02: Ziegeldeckung, Hindeloopen, Niederlande

© Hagemann



Abb. 7.1.1-03: Schieferdeckung, Abtei, Valloires, Frankreich

© Hagemann



Abb. 7.1.1-04: Steinschindeldeckung, Splügen, Schweiz

© Hagemann



Abb. 7.1.1-05: CIGS-Ziegeldacheindeckung mit Midsummer WAVE

© Midsummer AB, Schweden

gen (vgl. Kapitel 3) und in den ersten Entwurfs- und Planungsphasen eines Gebäudes. Die Praxis zeigt immer wieder, dass kleine Details und Unachtsamkeiten bei der Planung eine konsequente Umsetzung dieser klaren Vorgaben für eine effiziente Nutzung der PV auf dem Dach vereiteln.

### **Baurechtlicher Rahmen**

Aufgrund der geringen Gefährdung, die von PV-Dachanlagen in der Vergangenheit ausging, gewährt das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) in der veröffentlichten „Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MV V TB), Ausgabe 2021/1“ rechtliche Erleichterungen für den Bau von PV-Dachanlagen:

Für PV-Module mit mechanisch gehaltenen Glasdeckflächen mit einer maximalen Einzelmodulfläche von bis zu 2,0m<sup>2</sup> und für eine Einbausituation von >75° Dachneigung bzw. für PV-Module ohne Glasdeckfläche ist kein Standsicherheitsnachweis erforderlich. Gleichwohl müssen die verwendeten Montagesysteme zur Befestigung und Integration dieser PV-Module mit den geltenden technischen Baubestimmungen übereinstimmen.

Baurechtlich betrachtet bedeutet dies, dass auf geneigten Dächern bis 75° Grad Neigung in Deutschland keine PV-Module mit einer Glasdeckfläche verbaut werden dürfen, deren einzelne Modulfläche 2 m<sup>2</sup> übersteigt. Diese vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) vorgegebene Größenbegrenzung für PV-Module auf dem Dach stellt für die gängigen Größen von Dünnschichtmodulen kein Problem dar. Die Module haben in der Regel eine geringere Gesamtfläche je Modul.



Abb. 7.1.2-01: Aufdachmontage mit Avancis PowerMax



### 7.1.2 Schrägdach-Montagesysteme für die PV

Es stehen eine Vielzahl Montage- und Integrationstechniken für eine PV-Dachmontage zur Verfügung. Sie können daher nur exemplarisch vorgestellt werden.

Die am Markt angebotenen Systeme lassen sich in Abhängigkeit von der Integrationsstufe (vgl. Kapitel 6.1) unterteilen in

- Auf-Dach-Montagesysteme
- In-Dach-Montagesysteme
- Komplette PV-Dachsystemlösungen

Die Auswahl eines PV-Montagesystems ist projektspezifisch und abhängig von:

- Dachform, -größe und -aufbauten
- Dachneigung und -ausrichtung
- Dachaufbau und Unterkonstruktion
- Art der Dachdeckung
- Gestaltungsvorstellungen
- Baumethode (handwerklich oder industriell)
- Preis und gewünschter Leistung des PV-Generators
- Lieferfristen (wenn ein Fertigstellungstermin eingehalten werden muss)

#### 7.1.2.1 Auf-Dach-Montagesysteme

Auf-Dach-Montagesysteme können für die PV eine sinnvolle Wahl sein, wenn bereits ein geneigtes Dach vorhanden ist oder die bestehende Dacheindeckung erhalten bleiben soll. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn z. B. Haftungsfragen eine klare Trennung der Gewerke des Dachdeckers und des Solarteurs erfordern (Abb. 7.1.2.1-01 bis Abb. 7.1.2.1-04).

Gestalterisch bietet diese Montagevariante wenige Möglichkeiten. Im konstruktiven Sinne spricht man nicht von einer Integration der PV-Module. In Deutschland werden 95% aller PV-Anlagen an Gebäuden nicht integriert, sondern appliziert.

Ihre entscheidenden Vorteile sind:

- Nutzung auf vorhandenen, eingedeckten Dächern möglich
- Preisgünstig, da Verwendung von Standardmodulen möglich
- Effiziente Stromerzeugung durch eine gute Hinterlüftung des PV-Generators



Abb. 7.1.2.1-02\_Aufgeständerte CIGS-Anlage, Friedenskirche Tübingen

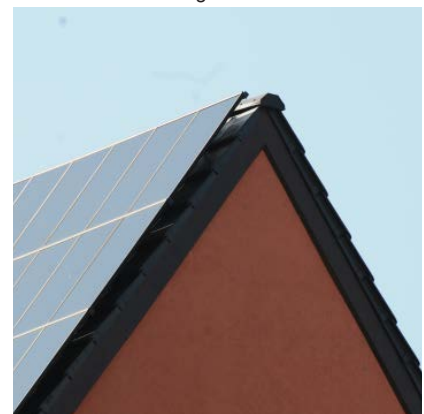


Abb. 7.1.2.1-03\_Firstdetail, Friedenskirche Tübingen

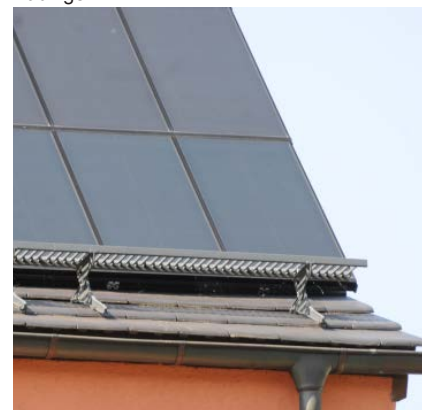


Abb. 7.1.2.1-04\_Traufdetail, Friedenskirche Tübingen

Es gibt unterschiedliche Anbieter für diese Montageart am Markt. Alle Systeme funktionieren vom Bauprinzip her ähnlich: Befestigungshaken werden an Dachlatten, Sparren oder auch lastabtragenden Teilen eines Blechdaches angebracht und über die Dachebene hinausgeführt. An diesen Haken werden dachparallel und mit Luftabstand zur vorhandenen Dachdeckung Profilschienen in einem horizontalen und vertikalen Raster befestigt. Mittels punktueller Befestigungsklammern werden rahmenlose bzw. gerahmte PV-Module an diesen Schienen montiert. Module mit einem Backrail-System, wie AVANCIS sie verwendet, benutzen eigene produktspezifische Befestigungselemente, die eine unsichtbare Montage der PV-Module ermöglichen.

PV-Modulhersteller bieten solche PV-Anlagen bis zu einer Größe von ca. 15 KW häufig auch als Komplettsysteme inklusive Montage-set und Wechselrichtern an, die zu einem Festpreis vom Fachhandel verkauft und installiert werden.

Ein Projektbeispiel für eine PV-Anlage mit aufgeständerten Modulen auf einem Schrägdach ist z. B. das Dach der Landwirtschaftshalle Handewitt mit 1.988 gerahmten CIGS-Modulen und einer Gesamtleistung von 198,9kWp (Abb. 7.1.2.1-05).



Abb.7.1.2.1-05: Dachaufständerung mit gerahmten CIGS-Modulen, Landwirtschaftshalle Handewitt, 198,9kWp



Abb. 7.1.2.1-06: Aufdachanlage mit CdTe-Modulen, Riedel Recycling GmbH, 837 kWp

Eine andere PV-Auf-Dach-Anlage realisierte die Riedel Recycling GmbH auf der Dachfläche der ehemaligen Rohkohlenmischhalle der Zeche Pattberg, die heute auf dem hauseigenen Firmengelände in Moers steht. Insgesamt 11.467 rahmenlose CdTe-Module der Firma First Solar mit einer Gesamtleistung von 837 kWp wurden bei diesem PV-Großprojekt montiert (7.1.2.1-06 bis 7.1.2.1-08).

Der unterschiedlichen Neigung des Daches folgend, wurden die einzelnen Module mit Hilfe des „PV-Light-Systems“-Montagesystems der Firma Schüco in drei Neigungen 35°, 55°, 75° auf dem Dach befestigt. Eine Sisypusarbeit für die beteiligten Installateure!

Die Solarmodule mit gleicher Neigung wurden zusammengefasst und auf vier verschiedene SolarMax-Wechselrichter mit Nennleistungen von 30 Kilowatt, 100 Kilowatt und 300 Kilowatt (zwei Stück) geschaltet. Deutschlands größte CaTe-Dachanlage liefert jährlich einen Stromertrag von ca. 750.000 kWh/Jahr.

#### Weiterführende Informationen

[1] **AVANCIS PowerMax® Dachmontage. Installation eines Moduls in Quermontage.**

→ <https://www.youtube.com/watch?v=CS7LxZEoS-A> (12/2022)

[2] **Avancis PowerMax®: Produktvorteile auf einen Blick.**

→ <https://www.youtube.com/watch?v=8x32BuPQyqk> (12/2022)



Abb. 7.1.2.1-07: Detail. Modulaufständering, Riedel Recycling GmbH



Abb. 7.1.2.1-08: CdTe Modul, Riedel Recycling GmbH

### 7.1.2.2 In-Dach-Montagesysteme

PV-Montagesysteme dieser Gruppe ersetzen die konventionelle Dachdeckung durch PV-Module. Verschiedene Varianten sind am Markt erhältlich.

#### Montagesysteme für PV-Module mit Glasdeckschicht

Diese Montagesysteme greifen auf PV-Lamine oder auch gerahmte PV-Module zurück, die dann auf unterschiedliche Art und Weise in das Dach integriert werden. Sie ersetzen die konventionelle Dachdeckung. Die gängigen Systeme nutzen Module mit kristallinen Zellen. Nachfolgend ein in Deutschland verfügbares Montagesystem, das auch für PV-Dünnschichtmodule genutzt wird:

- nD-Indachsystem, nD-System GmbH  
Das nD-Indachsystem ist ein Montagesystem für rahmenlosen PV-Module (Abb. 7.1.2.2-01). Es eignet sich für Dünnschichtmodule der 2. Generation mit einer Abdeckung aus Glas. Es können aber auch Lamine mit anderen Zellentechnologien mit diesem System verwendet werden. Der Einsatz unterschiedlicher Modultypen, ihre wahlweise Anordnung im Hoch- oder Querformat und die mögliche Verwendung von Blindplatten tragen dazu bei, dass



Abb. 7.1.2.2-01: Dachdeckungselement mit CIGS Modulen, nD-Indachsystem, nD-System GmbH

sich dieses PV-Montagesystem an unterschiedliche Dachabmessungen flexibel anpassen kann.

Das nD-Indachsystem baut auf dem Konstruktionsprinzip konventioneller Ziegeldächer auf. Es ist diffusionsoffen, hinterlüftet und die PV-Module sind schuppenartig auf dem Dach angeordnet. Dies ermöglicht eine dichte Dachdeckung, ohne Verwendung von alternen Abichtungsmaterialien. Gleichzeitig wird möglicher Kondensat, der sich auf der Modulrückseite bilden kann, sicher durch die vorhandene Hinterlüftung abgeleitet.

Die einzelnen Dachdeckungselemente werden an den Dachsparren verschraubt. Trotzdem gewährt ihre schuppenartige Anordnung eine spannungsfreie Lagerung. Eine zwängungsfreie Ausdehnung der einzelnen PV-Dachelemente ist jederzeit möglich. Spannungsrisse in den verbauten PV-Modulen lassen sich so vermeiden.

Ein gelungenes Projektbeispiel einer vollständigen Dacheindeckung aus CdTe-Modulen mit dem nD-Indachsystem Montagesystem ist die Grundschule am Wildfang, Gronau (Leine). Sie wurde als Plusenergiegebäude von dem Architektur- und TGA-Planungsbüro Carsten Grobe Passivhaus entwickelt. Alle vier Pultdächer dieses Gebäudes, auch die nach Norden ausgerichtete Dachfläche, erhielten auf einer Gesamtfläche von 1.700 m<sup>2</sup> eine PV-Dacheindeckung mit 1.639 CdTe-Dünnschichtmodulen. Die Nennleistung der Gesamtanlage beträgt 172,1 kWp.

#### **Weiterführende Informationen**

**[1] nD-Indachsystem, nD-System GmbH**

→ <https://www.nd-system.de> (12/2022)

**[2] Projektbeispiel: Grundschule am Wildfang, Gronau (Leine)**

→ <https://www.youtube.com/watch?v=Wa5bCwbahPg> (12/2022)

**[3] Himstedt, Daniela. 2014. „Steildach. Mehr als genug“.**

**In: dach baumagazin. Unternehmermagazin für Dachdeckerbetriebe. Ausgabe 5 – 6, 2014. S. 12-15**

→ [https://www.dachbaumagazin.de/emag/ausgabe-5-6-2014/#dfliip-df\\_60825//](https://www.dachbaumagazin.de/emag/ausgabe-5-6-2014/#dfliip-df_60825//) (12/2022)

### **PV-Dachziegel und PV-Dachschindel**

Bauprinzip: Eine spezielle, auf das jeweilige Dachdeckungssystem abgestimmte Unterkonstruktion bzw. Rahmenkonstruktion bildet zusammen mit einem integrierten PV-Modul eine Einheit. Diese ist an den Rändern so ausgebildet, dass sie in gleicher Weise wie konventionelle Ziegel oder Schindeln ineinandergreifen. Dadurch erhält man eine regendichte Dacheindeckung mit integrierter PV.

Je kleinformatiger solche PV-Dachelemente sind, desto leichter lassen sie sich in vorhandene Dachdeckungen einfügen. Besonders, wenn sie die Größe eines einzelnen konventionellen Dachziegels nicht übersteigen, wird ihre Verkabelung sehr aufwendig und besteht aus vielen Verbindungspunkten, die eine potentielle Fehlerquelle darstellen. Daher gehen die Produkthanbieter dazu über, PV-Dachziegel und Dachschindelelemente anzubieten, die von der Größe her mehrere konventionelle Dachziegel zusammenfassen.

Trotz ihrer baukonstruktiv und ästhetisch zufriedenstellenden Lösungen konnte sich diese Art von PV-Bauprodukten nicht auf einer breiten Ebene am Markt behaupten. Verantwortlich dafür sind auch ca. 30-40% höhere Kosten im Vergleich zu Standardmodulen in konventioneller PV-Auf-Dach-Montage.

Nachfolgend werden exemplarisch eine Auswahl an Produkten mit integrierten Dünnschichtsolarmodulen vorgestellt:

- Soltech ShingEI®, Firma SolTech Energy Sweden AB  
Dieser CdTe-Solardachschindel ist auf den Dachstein „Carisma“ von der Firma Benders Sverige AB abgestimmt. Der SolTech-ShingEI® ist 1.247 mm breit und ersetzt die Fläche von 5 Carisma Dachsteinen. Er eignet sich für Dächer mit einer Dachneigung von 14°–45°. Die Verlegung des ShingEI erfolgt immer mit versetzter Fuge. Die Fugenbreite liegt zwischen 2 mm und 4 mm. Die Befestigung der SolTech ShingEI-Module erfolgt mittels drei Edelstahlschrauben. Die einzelnen Module werden elektrisch in Reihe untereinander verbunden. Die Kabel dürfen nicht lose sein, sondern müssen gemäß den geltenden elektrischen Sicherheitsvorschriften befestigt werden.  
Benders Dachsteine sind mit einer speziell für Betondachsteine entwickelten Farbbeschichtung (Benderit) 2-fach oberflächenbehandelt. Benders „Carisma“ wird in drei Farben angeboten: „Granit-Benderit“, „Ziegelrot-Benderit“ und „Mittelgrau-Benderit“. Der Farbton „Granit-Benderit“ passt am besten zu den schwarz schimmernden CdTe-Solarzellen der Firma SolTech und ist

auch in den Abbildungen 7.1.2.2-02 und in Kapitel 4.3.3, Abb. 4.3.3-05 und 4.3.3-06 zusammen mit der „ShingEI®“-Dachdeckung zu sehen.

→ *Weiterführende Informationen*

[1] *Montagevideo Soltech ShingEI®*

→ <https://www.youtube.com/watch?v=tl8tNeR0BTE> (12/2022)



Abb. 7.1.2.2-02: Dacheindeckung mit CdTe-Solarschindeln des Typs Soltech ShingEI®



© Soltech Energy Sweden AB

Abb. 7.1.2.2-03: Einfamilienhaus mit einer Dachdeckung aus CdTe-Dachziegeln des Typs soltech RooF®



© Soltech Energy Sweden AB

Abb. 7.1.2.2-04: Detail der Dachdeckung mit CdTe-Dachziegeln des Typs soltech RooF®



- **soltech Roof®**, Firma SolTech Energy Sweden AB  
Dieser CdTe-Solardachziegel besteht aus einer speziellen Aluminium Rahmenkonstruktion und einem PV-Glasmodul, das durch Halteklammern fest mit diesem Rahmen verbunden ist aber bei Defekt auch ausgetauscht werden kann. Das äußere Maß dieses Solardachziegels beträgt 1275x725 mm bei einer Dicke von 32 mm. Bedingt durch die Überlappung der einzelnen Solardachziegel variiert im eingebauten Zustand das Baumaß zwischen 1.245x(620–640) mm. Die solaraktive Fläche hat eine Größe von 0,69 m<sup>2</sup> und die Leistung je PV-Dachziegel beträgt 85 Watt. Der Mindestabstand zwischen einzelnen den einzelnen Roof®-Elementen beträgt 2 mm, der Maximalabstand 4 mm. Die Spaltmaße werden für eine sichere Längenausdehnung des Aluminiumrahmens benötigt und dürfen nicht unterschritten werden.

Zusätzlich gibt es für Randbereiche oder verschattete Bereiche eine optisch baugleiche Soltech-Attrappe. Es wird zudem empfohlen, bei der Montage von Schneefanggittern erst drei Reihen des Dachsteins „Carisma“ von Benders zu verlegen. Das Schneefanggitter wird in Reihe zwei montiert.

Unter dem Solardachziegel Roof® kann sich Kondenswasser bilden, das sicher abgeleitet werden muss. Daher fordert der Hersteller eine Abdichtungsschicht unterhalb der Module. Gleichzeitig weist er auch auf die Notwendigkeit einer ausreichenden Belüftung hin, auch wenn dies das PV-Zellenmaterial selbst nicht zwingend erfordern würde.

Um die Installation des Soltech Roof® zu vereinfachen, ist es ratsam, im Zuge der Planung Dachdurchdringungen, gleich welcher Art (Lüftungsrohre etc.), auf eine andere Dachseite zu legen, die nicht mit den Solardachziegeln eingedeckt wird. Die Abbildungen 7.1.2.2-03 bis 7.1.2.2-05 zeigen ein schwedisches Einfamilienhaus, das im Rahmen einer Sanierung auch eine 5,9 kWp große PV-Dachanlage mit soltech Roof® erhielt.



Abb. 7.1.2.2-05: Einfamilienhaus mit einer Dachdeckung aus CdTe-Dachziegeln des Typs soltech Roof®

© Soltech Energy Sweden AB

#### Weiterführende Informationen

##### [1] Imagevideo soltech Roof®

→ <https://www.youtube.com/watch?v=ryfYvfOleSw> (12/2022)

##### [2] Datenblatt soltech Roof®

→ <https://hemsol.se/wp-content/uploads/SolTech-Energy-Roof-integrerade.pdf> (12/2022)

- **Midsummer WAVE®**

Eine andere Art der PV-Integration bietet das CIGS-Solarmodul „Wave“ von dem CIGS-Hersteller Midsummer (vgl. Kapitel 4.3.2). Das wellenförmige Solarmodul ist nur 2 mm dünn und besteht aus 20 CIGS-Dünnschichtsolarzellen. Es hat eine Länge von 1.510 mm und Breite von 520 mm. Es wiegt nur 2,3 kg und hat eine Leistung von 55 W (Abb. 7.1.2.2-06 bis Abb. 7.1.2.2-08).

Midsummer WAVE® wird direkt auf eine Reihe von fünf vorhandenen Dachziegeln aufgelegt und durch die darüber aufliegende Ziegelreihe und durch Klammern am unteren Ende fixiert. Es deckt fünf konventionelle Dachziegel in der Breite ab und passt auf die beliebtesten Dachziegeltypen Schwedens „Palema“ von Benders, „Jönåker“ von Monier und „Mjöbbäck“ von S:t Eriks. Es ist mit seinen Abmessungen vollständig kompatibel mit diesen Dachdeckungen.

Dank einer einfachen Installation kann Midsummer WAVE® nachträglich auf bestehende Dachziegel angebracht werden oder im Zuge einer kompletten Dacherneuerung mit verlegt werden, ohne dass Löcher in die Dachabdichtungsschicht gebohrt und Dachziegel beschädigt werden müssen. Midsummer WAVE® ersetzt kein konventionelles Dachdeckungsmaterial.

Die Kabelführung erfolgt zwischen und unter den Ziegeln zum Schutz vor UV-Licht etc. Kein Stanzen, Bohren oder schweres Heben von großflächigen Solarmodulen ist bei dieser Montage nötig. Diese Solarmodule wurden speziell auf das schwedische Klima abgestimmt.

Bei dem Baumaterialhersteller Benders Sverige AB wird dieses Produkt unter dem Namen „SUNWAVE“ vermarktet. Er gibt für das Produkt mindestens 18° Dachneigung vor.

#### **Weiterführende Informationen**

##### **[1] Montagevideos Midsummer WAVE®:**

→ <https://www.youtube.com/watch?v=tmvrAauoFb0> (12/2022)

→ <https://www.youtube.com/watch?v=MW2PmTHjwe8> (12/2022)



© Midsummer AB, Schweden

Abb. 7.1.2.2-06: Detail eines einzelnen Midsummer WAVE® Dachelementes



Abb. 7.1.2.2-07: Schwedisches Einfamilienhaus mit integrierten CIGS-Dachelementen des Typs Midsummer WAVE®

© Midsummer AB, Schweden

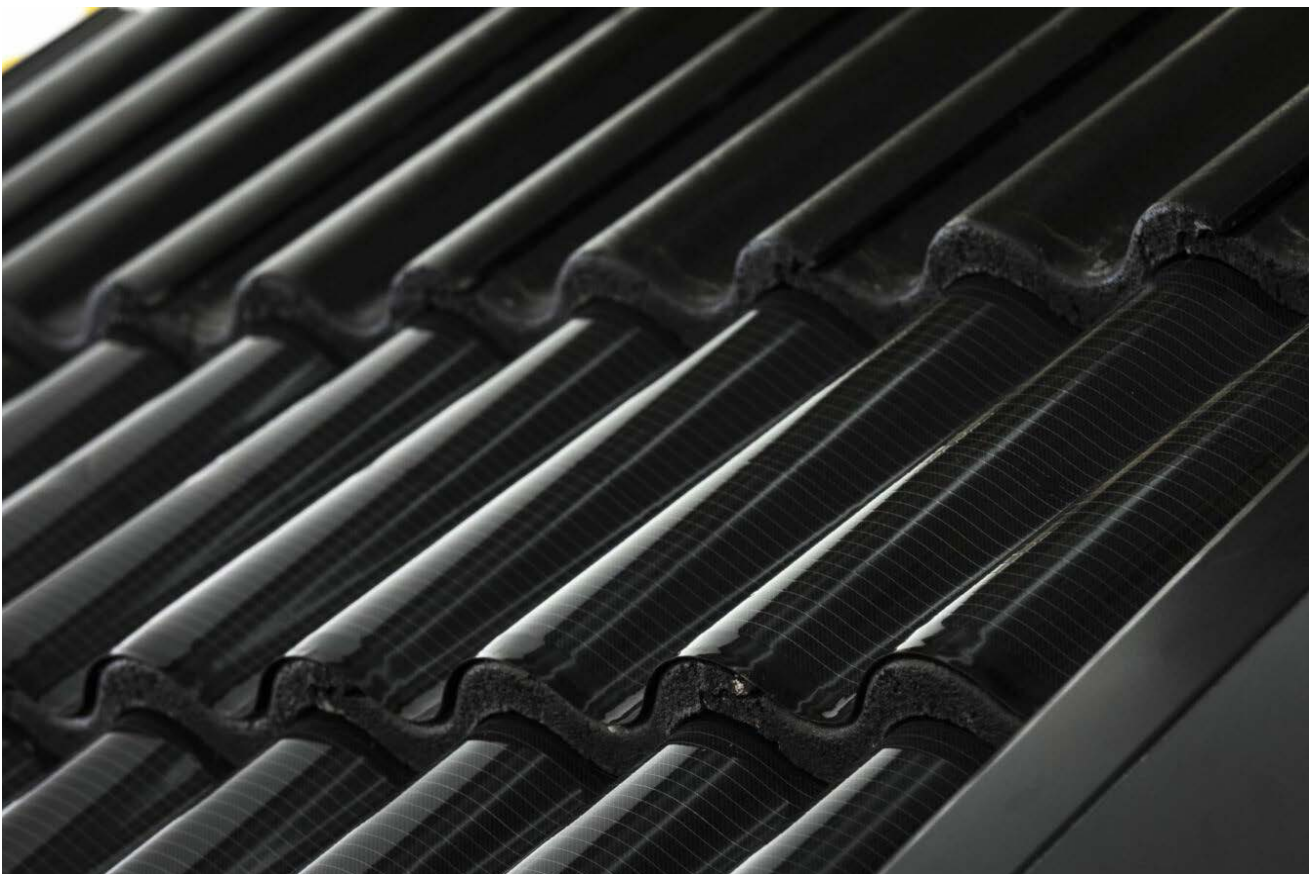
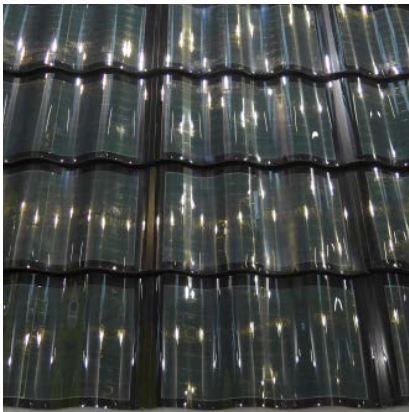


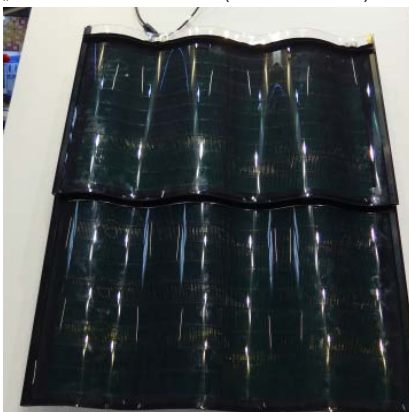
Abb. 7.1.2.2-08: Detail Midsummer WAVE®

© Midsummer AB, Schweden



© Hagemann

Abb. 7.1.2.2-09: Dachdeckung mit Hanergy „Hantile® Solar Roof Tile (Intersolar 2017)



© Hagemann

Abb. 7.1.2.2-10: Einzelne Elemente des Hanergy „Hantile® Solar Roof Tile (Intersolar 2017)



© Hagemann

Abb. 7.1.2.2-11 Rückseite mit Modulanschlussdose, Hantile® Solar Roof Tile

- Hanergy „Hantile® Solar Roof Tile“

Dieser CIGS-Solardachziegel der Firma Hanergy wurde an die Form konventioneller chinesischer Dachziegel angepasst. Er integriert zwischen zwei gewellten Glasscheiben flexible CIGS-Zellen von MiaSolé, einer Tochterfirma von Hanergy. Der Gesamtaufbau des „Hantile® Solar Roof Tile“ von aussen nach innen ist wie folgt:

1. Extraweißes gebogenes Glas
2. POE-Folie (=Polyolefin Encapsulant, eine Alternative zu EVA)
3. Flexible CIGS-Zelle
4. POE-Folie
5. Gebogenes Glas

Seine Abmessungen betragen: Breite 721 mm, Länge 500 mm und Dicke 41 mm. Maßtoleranzen von +/- 1–2 mm sind möglich. Sein Gewicht liegt bei ca. 10 kg. Auf der Rückseite befindet sich eine Modulanschlussdose, die in der Angabe der Dicke nicht berücksichtigt ist. Die Abbildungen (Abb. 7.1.2.2-09 bis Abb. 7.1.2.2-11) zeigen den Solardachziegel bei seiner Vorstellung in Europa auf der Fachmesse „Intersolar 2018“.

Der Einsatz von gebogenem Glas für diesen Dachziegel deutet darauf hin, dass dieser Dachziegel ein sehr aufwendig herzustellendes Produkt sein könnte.

#### Weiterführende Informationen

[1] **Produktinfos und Projektbilder Hanergy „Hantile® Solar Roof Tile“**  
→ <https://www.hanergy.eu/hantile-solar-roof-tiles/> (12/ 2022)

[2] **Video Hanergy „Hantile® Solar Roof Tile“**  
→ <https://www.youtube.com/watch?v=sWmk8ryIC0Y> (12/2022)

### Metalldachdeckungen mit flexiblen PV-Modulen

PV-Metalldachdeckungen bestehen aus konventionellen Metalldachbahnen oder Metallpaneelen. Je nach Anbieter können Zinkblech, Aluminium-Profiltafeln, verzinktes Stahlblech oder auch Edelstahl, z. B. für stark beanspruchte meeresnahe Standorte, als Trägermaterial für die PV verwendet werden.

Solche Metalldacheindeckungen mit PV gibt es in verschiedenen Ausführungen und Profilierungen für eine horizontale bzw. geneigte Verlegung auf dem Dach oder als vertikale Verkleidung in der Fassade. Hersteller von flexiblen CIGS- oder OPV-Modulen bieten interessante Produkte am Markt an.

Verwendet werden sehr leichte, flexible PV-Module, die mit einer rückseitigen Klebeschicht ausgestattet sind. Sie werden werkseitig oder bauseits auf z. B. Stehfalzdächern aufgeklebt. Der Vorteil ist, dass hier ggf. auch nachträglich PV-Module in konventionelle Bauprodukte auf smarte Weise integriert werden können. Diese flexiblen, leichten Module ermöglicht im Vergleich zu konventionellen PV-Glasmodulen neue bzw. andere Anwendungsmöglichkeiten am Bau. Anwendungen sind nicht nur im Dach, sondern auch in Fassadenverkleidungen denkbar. Anbei Produktbeispiele dazu:

- Midsummer „SLIM®“:

Diese leichten, flexiblen CIGS-Module werden direkt in gekantete Blechdächer integriert, die aus Blechen der Firma SSAB AB hergestellt werden. Die Scharenlänge mit integriertem Solarpanel kann bis zu 12 m betragen (Abb. 7.1.2.2-12 und Abb. 7.1.2.2-13). Das System ist für Dachneigungen bis 5° zertifiziert. Jedes flexible Modul wird mit einem hochleistungsfähigen Elastomer-Butyl-Klebeband auf den einzelnen Scharen des Stehfalzdaches befestigt. Das Klebeband ist so konzipiert, dass es unter den Außenbedingungen vor Ort eine hervorragende Klebekraft und Haftung bietet.

- Flisom „eFlex®“

Das eFlex-Modul ist ein flexibles und nur 3,5 kg/m<sup>2</sup> leichtes CIGS-Modul, das sich für die Integration in Dächer sowie in Dachtragwerke mit begrenzter Tragfähigkeit eignet (Abb. 7.1.2.2-14). Es kann nicht nur auf Stehfalzdächern verwendet werden, sondern alternativ auch auf Dächern mit einer EPDM-, TPO- und modifizierten Bitumen-Membranen Abdichtung. Die Montage der leichten Paneele stellt anders als bei sperrigen Glasmodulen kein Sicherheitsrisiko dar. Die Module haben eine hohe Schattentoleranz und sind in sechs verschiedenen Modulgrößen von 28 Wp bis 165 Wp erhältlich.



Abb. 7.1.2.2-12: Dachdeckung mit Midsummer SLIM®

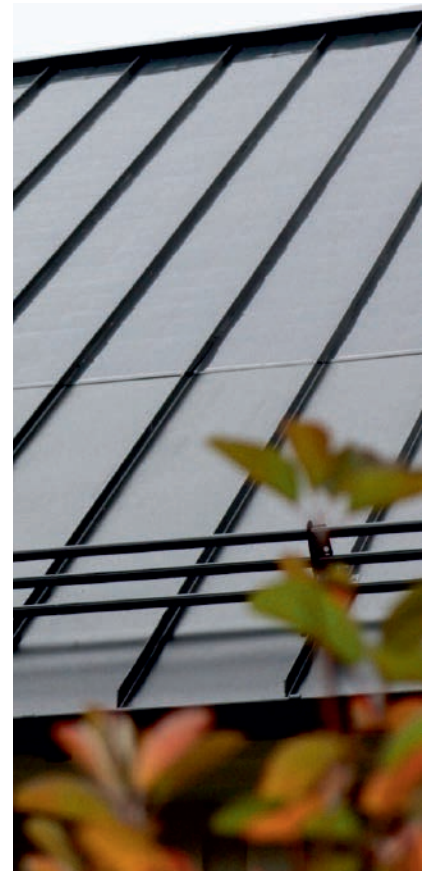
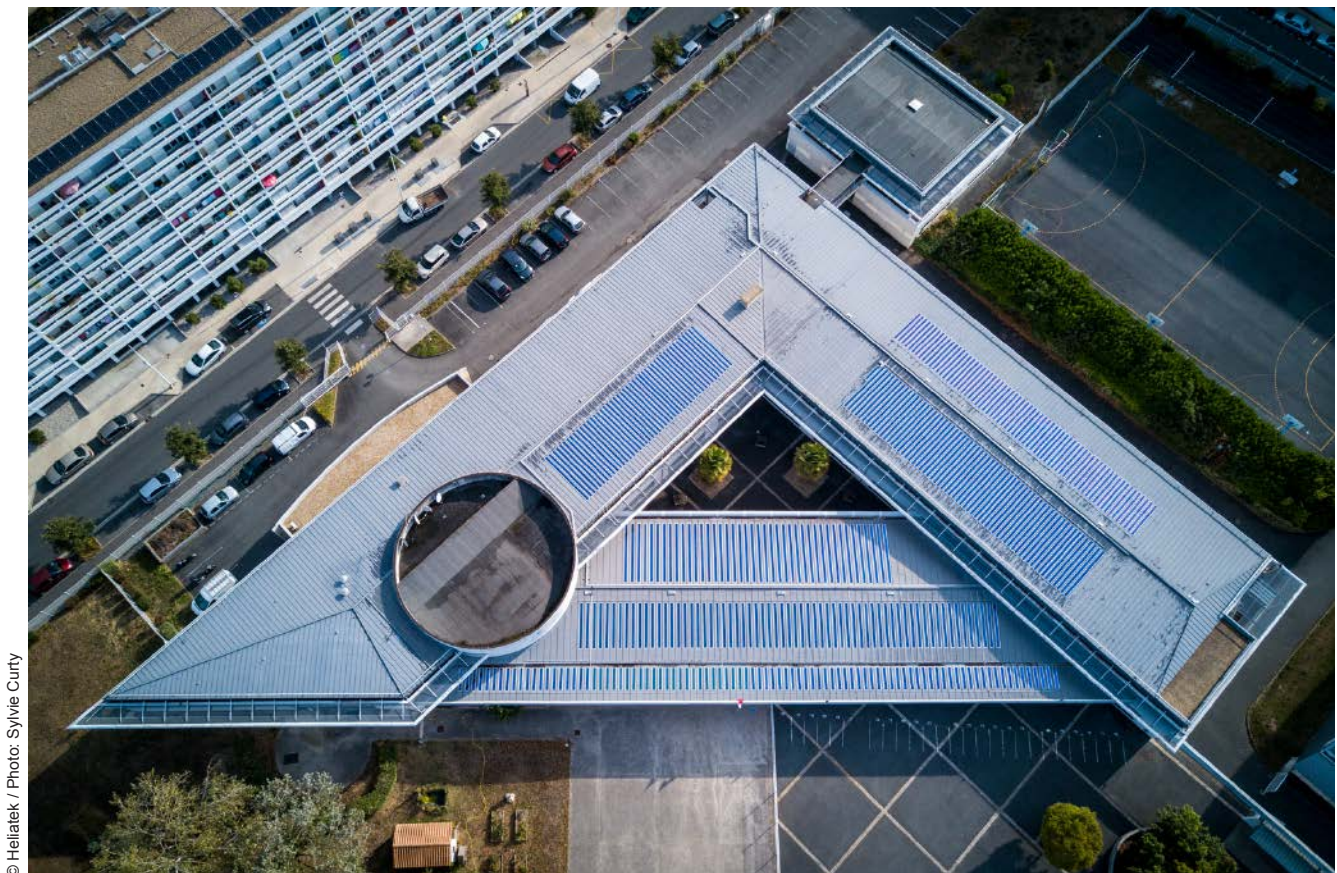


Abb. 7.1.2.2-13: Dach mit integrierten Midsummer SLIM® Modulen



Abb. 7.1.2.2-14: Metalldachdeckung mit Flisom eFlex®



© Heliatek / Photo: Sylvie Curty

Abb. 7.1.2.2-15: Vogelperspektive Dachinstallationen mit HeliaSol®-Modulen, Schuldach, La Rochelle, Frankreich



© Heliatek / Photo: Sylvie Curty

Abb. 7.1.2.2-16: Ansicht der Stehfalzdeckung mit integrierten Dachinstallationen mit HeliaSol®-Modulen, Schuldach, La Rochelle, Frankreich

- Heliatek HeliaSol®

Dies ist eine gebrauchsfertige 1,50 kg/m<sup>2</sup> leichte und <2 mm dicke opake und flexible OPV-Solarfolie mit integrierter Klebefolie auf der Rückseite. Die flexible PV-Folie besitzt einen Biegeradius von bis zu 20 cm. Ihre Anschlussdose ist auf der Modulvorderseite. Sie kann in Länge und Breite an den Kundenwunsch angepasst werden. Aktuelle Standardabmessung ist L/B/H: 2.000 mm x 436 mm x 1,8 mm. Das Modul ist ein zertifiziertes und zugelassenes PV-Element, das direkt auf verschiedene Oberflächen wie Metall, Beton, Glas oder Membranen aufgeklebt werden kann.

Die Abbildungen 7.1.2.2-15 bis 7.1.2.2-18 zeigen auf einem Schuldach in der Hafenstadt La Rochelle, Frankreich, eine der ersten Dachinstallationen mit HeliaSol®-Modulen. Insgesamt 378 OPV-Folien mit einer Gesamtfläche von 514 m<sup>2</sup> wurden in die Scharen des Metalldachs integriert. Die Gesamtleistung der OPV-Anlage beträgt 22,5 kWp. Da die Anlage bereits Ende 2017 errichtet wurde, hat sich seitdem die Anschlussdose der HeliaSol® Folie weiterentwickelt. Die beiden Pole, Plus und Minus, sind inzwischen in einer mittig sitzenden Anschlussdose auf der Modulvorderseite zusammengefasst.

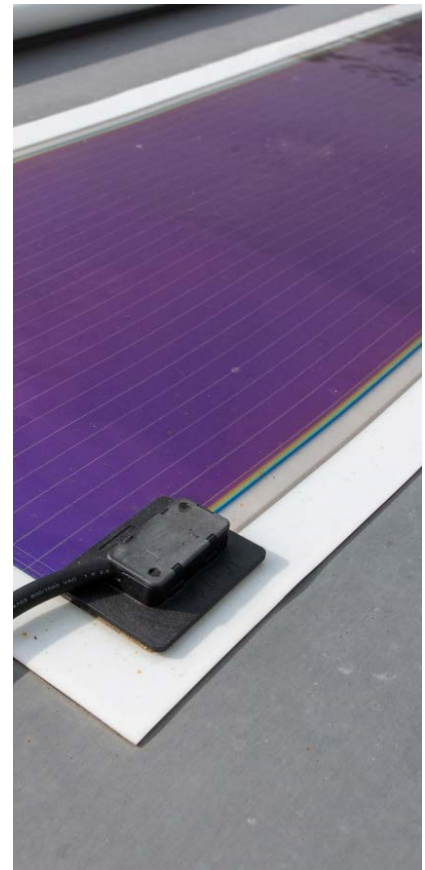


Abb. 7.1.2.2-17: Detail Anschlussdose, HeliaSol®-Modul

© Heliatek / Photo: Sylvie Curty

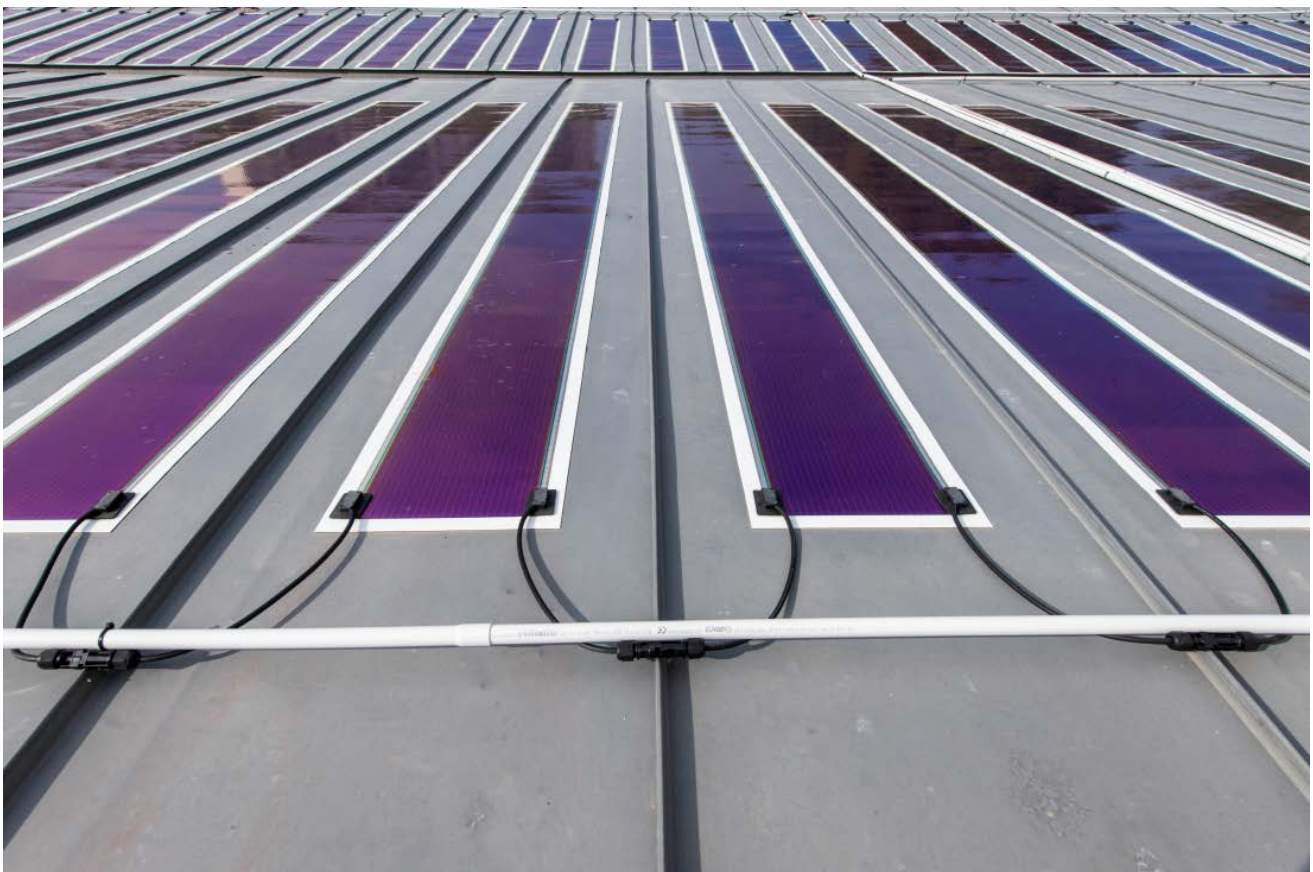


Abb. 7.1.2.2-18: Verkabelung der HeliaSol®-Modulen, Schuldach, La Rochelle, Frankreich

© Heliatek / Photo: Sylvie Curty

### **Bitumendachbahnen mit flexiblen PV-Modulen**

Es gibt erste Anwendungen von der Flisom AG in der Schweiz, flexible CIGS-Module mit der Produktbezeichnung „eFlex<sup>®</sup>“, direkt auf flache oder geneigte Dächer mit einer Dachabdichtung aus modifizierten Bitumen-Membranen aufzukleben.

Abbildungen 7.1.2.2-19 und 7.1.2.2-20 zeigen z. B. das bituminös abgedichtete, gebogene Dach eines historischen Gebäudes in den Niederlanden. Die direkt auf die Bitumenabdichtung aufgeklebten, sehr leichten, flexiblen und schwarzen CIGS-Modulen schmiegen sich dicht an das Dach an. Sie sind aufgrund Ihrer geringen Aufbauhöhe und Farbe von der Straße aus kaum wahrnehmbar. Dies war ein wichtiges Entscheidungskriterium des Bauherrn für die Wahl dieser CIGS-Module. Die PV-Installation hat eine Größe von insgesamt 140 kWp und besteht seit mehr als 2 Jahren.

### **7.1.2.3 Komplett PV-Dachsystemlösungen**

Komplette PV-Dachsystemlösungen mit integrierter Dünnschicht-PV gibt es derzeit noch nicht am Markt. Steigende Anforderungen an Produktivität, Arbeitskomfort und Arbeitssicherheit führen jedoch dazu, dass traditionell auf der Baustelle gefertigte Dächer zunehmend auch in Deutschland von vorfabrizierten Dachelementen aus der Halle abgelöst werden. Je höher der Vorfertigungsgrad der Elemente ist, desto mehr Zeit kann auf der Baustelle für die Montage eingespart werden. Bauseits werden die Dachelemente dann nur noch mit Hilfe eines Krans positioniert. Anschließend werden die Stöße abgedichtet.

Auf der Forschungs- und Entwicklungsebene wird vor allem in den Niederlanden, Japan und Skandinavien an kompletten Dachsystemlösungen mit integrierter PV gearbeitet. Grund hierfür ist unter anderem eine größere Durchdringung des dortigen Bausektors mit Techniken des vorfabrizierten Elementbaus. Abbildung 7.1.2.3-01 zeigt z. B. ein Beispiel solcher Tests mit einem vorfabrizierten, isolierten Dachelement mit integrierter Dünnschicht-PV von der Firma Kaneka aus Japan.





Abb. 7.1.2.2-19: Straßenansicht, Historisches Gebäude, Niederlande

© Flisom AG



Abb. 7.1.2.2-20: Dachdetail mit Bituminös abgedichtete, gebogene Dach mit flexiblen CIGS Modulen, Typ Flisom eFlex®

© Flisom AG



Abb. 7.1.2.3-01: Komplett PV-Dachsystemlösungen mit integrierter a-Si-Modulen von Kaneka, Japan

© Kaneka

## 7.2 Flachdächer mit PV

Flachdächer eignen sich gut für eine Nutzung der Photovoltaik. In vielen Fällen sind es ungenutzte, versiegelte und oft verschattungsfreie Flächen, die auf diese Weise eine Zusatzfunktion erhalten.

Aufgeständerte Solargeneratoren können ertragsoptimiert angeordnet werden, da es keine Begrenzung bezüglich der Himmelsausrichtung eines PV-Generators gibt. Module können direkt nach Süden oder auch nach Ost-West ausgerichtet werden. Natürlich ist der Gesamtertrag einer Ost-West ausgerichteten PV-Anlage geringer als bei einer nach Süden ausgerichteten Anlage. Vorteil einer Ost-West-Ausrichtung ist dagegen, dass z. B. höhere Erträge in den Morgen- und Abendstunden generiert werden. Eine Zeit, in der z. B. in normalen Haushalten mehr Strom benötigt wird als tagsüber, wenn keiner im Haus ist. Diese Anordnungsüberlegungen betreffen primär Standard-PV-Glasmodule.

Eine andere Möglichkeit bieten flexible, leichte Dünnschichtsolarmodule. Sie werden in der Regel flach auf dem Dach montiert bzw. direkt auf die Dachabdichtungsschicht selbst aufgeklebt. Das spart Material und Kosten für eine Unterkonstruktion.

Bestimmende Einflussfaktoren für die Lage, Anordnung und Auswahl der am besten geeigneten PV-Module für eine Flachdach sind:

- Statische Belastbarkeit des Flachdaches  
Welche Lasten kann das Tragwerk aufnehmen?  
Liegt z.B. ein leichtes Industriedach mit großen Spannweiten und geringer Tragfähigkeit oder eine stabile Betondecke vor?
- Nutzung des Flachdaches  
Begehbar; nicht begehbar, Nutzung als Aufenthaltsbereich etc.
- Art des Flachdaches  
Warmdach, Kaltdach, Gründach, Vorhandene Auflasten, z. B. Kies etc.
- Material der Flachdachabdichtung
  - Bitumenbahnen mit Trägereinlage (z. B. aus PYE und PYP),
  - Thermoplastische Kunststoffdachbahnen (z. B. aus FPO/TPO, PVC-P, ECB, PIB, VAE / EVA, PEC)
  - Elastomere Dachbahnen, hergestellt aus synthetischem Kautschuk (z. B. aus EPDM, CSM, NBR und IIR),

- Zeitpunkt der PV-Gebäudeintegration  
Neubau, existierendes, gut erhaltendes Dach, oder Dachsanierung?
- Schattenwerfende Störfaktoren  
Antennen- und Blitzschutzanlagen, Lüftungsöffnungen, Dachluken, Nachbargebäude, etc.

### 7.2.1 PV-Aufständerungen für Flachdächer

Mit Hilfe einer Unterkonstruktion werden PV-Module mit einem für den Standort und Zweck optimierten Neigungswinkel lose auf das Flachdach aufgesetzt. Der Abstand der Modulreihen zueinander wird so gewählt, dass keine Eigenverschattung entsteht (Abb. 7.2.1-01). Sie halten aufgrund des Eigengewichtes der Gesamtkonstruktion bzw. beschwert durch Auflasten, z. B. Kies oder Betonsteine, den anfallenden Wind- und Sogkräften auf dem Flachdach stand. Störanfällige Dachdurchdringungen zur Befestigung einer Verankerung sind nicht erforderlich. Vorzug ist solchen Systemen zu geben, die eine werkzeugfreie Montage der Module ermöglichen.

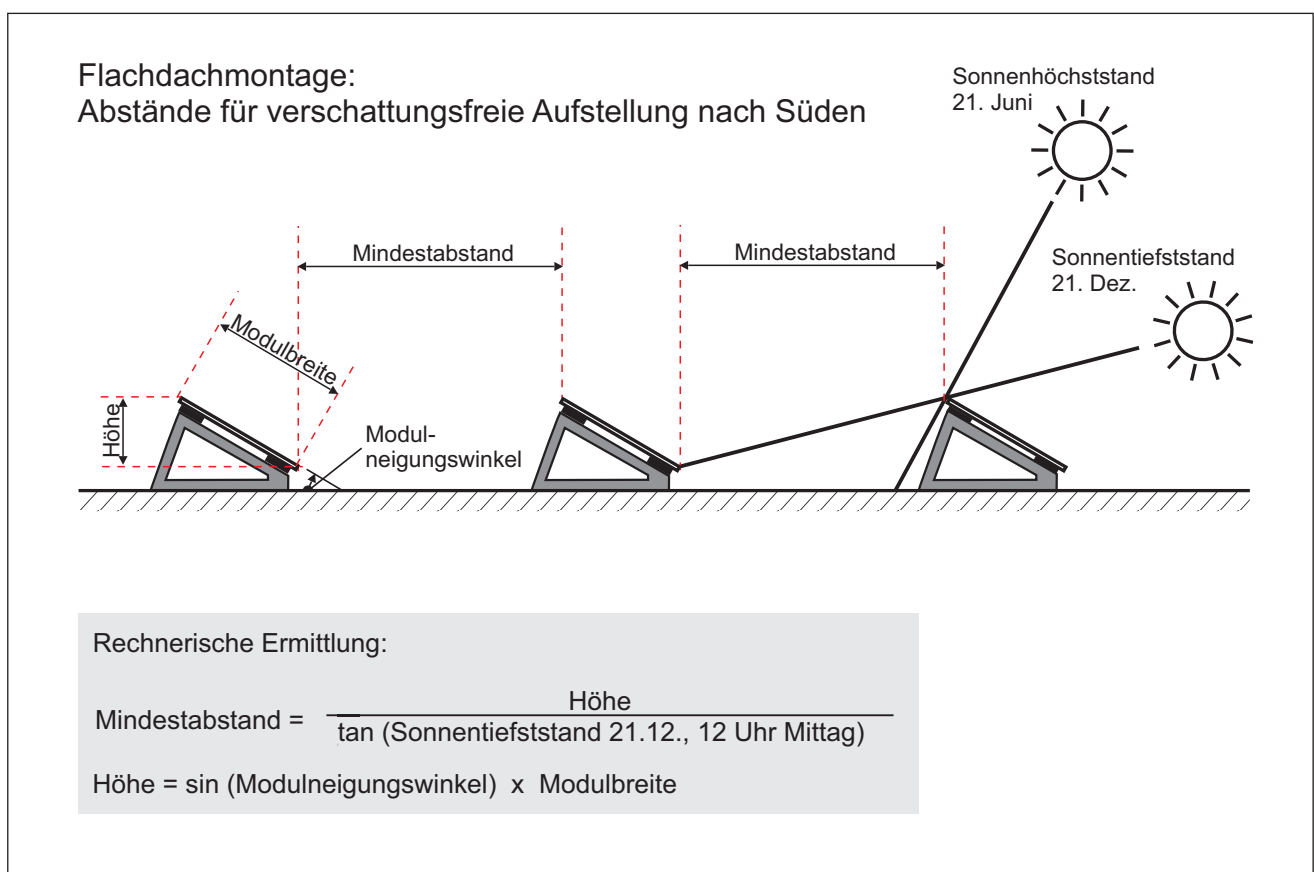


Abb. 7.2.1-01: Flachdachmontage: Abstände für eine verschattungsfreie Anordnung



© Wedler Photovoltaik Berlin

Abb. 7.2.1-02: PV-Dachaufständerung mit nach Süden ausgerichteten a-Si-Glasmodulen

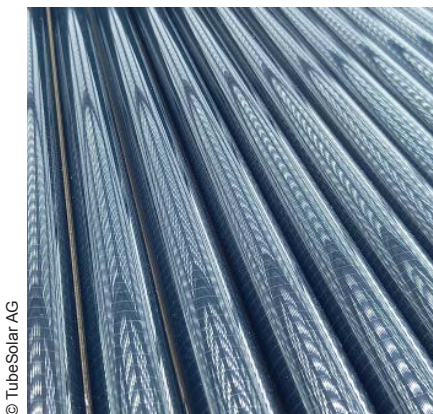


© Arausol-Arau Technik GmbH

Abb. 7.2.1-03: OST-West ausgerichtete PV-Dachaufständerung mit a-Si-Glasmodulen, Flachdach-Montagesysteme der Arausol-Arau Technik GmbH

Module können nach Süden (Abb. 7.2.1-02) oder in Ost-West-Ausrichtung (Abb. 7.2.1-03) angeordnet werden. Beide Beispiele zeigen PV-Anlagen mit amorphen Dünnschichtmodulen aus Glas. Heute werden für diese Montageart meist PV-Module mit kristallinen Zellen verwendet, da diese auch größere Abmessungen haben können als die heute produzierten Dünnschichtsolarmodule auf der Basis von CIGS- oder CdTe-Zellen. Je größer die Module sein können, desto wirtschaftlicher ist eine großflächige Montage auf einem Flachdach.

Alternativ gibt es die Möglichkeit einer verankerungsfreien Aufstellung von Röhrensolarmodulen (Abb. 7.2.1-04) auf einem Flachdach.



© TubeSolar AG

Abb. 7.2.1-04: Nahaufnahme Tubes mit CIGS-Zelle, Tube Solar AG

Die Abbildungen 4.3.2-05 und 4.3.2-06 in Kapitel 4.3.2 vermitteln eine Vorstellung, wie dies aussehen könnte. Die Bilder zeigen Deutschlands bisher größte Dachanlage mit CIGS-Röhrensolarmodulen. Diese Anlage hat eine Leistung von rund 1.023 MW und besteht aus 5.424 Modulen. Die installierte PV-Anlage belegt auf dem Dach eine Fläche von 10.732 m<sup>2</sup> und versorgt ca. 250 Haushalte mit Strom. Insbesondere durch die Kombination mit der weißen, hoch reflektierenden EVA-Dachbahn EVALON® der Trierer alwitra GmbH konnten die Erträge der Röhrensolarmodule (Hersteller: Solyndra LLC, USA) dieser Anlage optimiert werden. Röhrensolarmodule nutzen nicht nur das direkte, sondern auch das vom Untergrund reflektierte Sonnenlicht zur Solarstromproduktion.

#### Weiterführende Informationen

##### [1] Flachdach-Montagesystem FDS, Arausol, Schorndorf

→ <https://arausol.de/> [https://static1.squarespace.com/static/56ba35f2f850828a66dac460/t/5c3dd1e9c2241b7f36d6d150/1547555317543/Pr%C3%A4sentation+Flachdach+FDS\\_deutsch\\_0119-A.pdf](https://static1.squarespace.com/static/56ba35f2f850828a66dac460/t/5c3dd1e9c2241b7f36d6d150/1547555317543/Pr%C3%A4sentation+Flachdach+FDS_deutsch_0119-A.pdf) (12/2022)

### 7.2.2 PV-Aufständerungen für begrünte Flachdächer

Vom konstruktiven Prinzip sind diese PV-Montagesysteme vergleichbar mit „PV-Aufständerungen ohne Verankerung“.

Die durchdringungsfreien Konstruktionen zur Aufnahme der Solarmodule sind jedoch auf den speziellen Konstruktionsaufbau von begrünten Dächern abgestimmt. Auflasten für auf Montagegestelle montierte PV-Module werden durch die Substratschicht des Gründachs hergestellt. Die Abbildung 7.2.2-01 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Solar-Gründachs.

Produktbeispiel für Gründachsysteme, die sich für die Montage von Solarmodulen eignen sind z. B. die Aluminium-Unterkonstruktion des Typs „Bauder SOLAR UK GD“ der Paul Bauder GmbH & Co. KG oder der Systemaufbau „SolarVert“ von ZinCo GmbH. Auf der nächsten Doppelseite zeigen die Abbildungen 7.2.2-03 und 7.2.2-04 exemplarisch den schrittweisen Montageablauf des Systemaufbau SolarVert®.

Abbildung 7.2.2-02 zeigt eine sehr große PV-Gründachanlage auf dem Dach des Möbelhauses Höffner in Hamburg-Eidelstedt mit 8.400 rahmenlosen CdTe-Modulen mit einer Solarmodulfläche von insgesamt 6.048m<sup>2</sup>. Das einzelne PV-Modul hat eine Abmessung

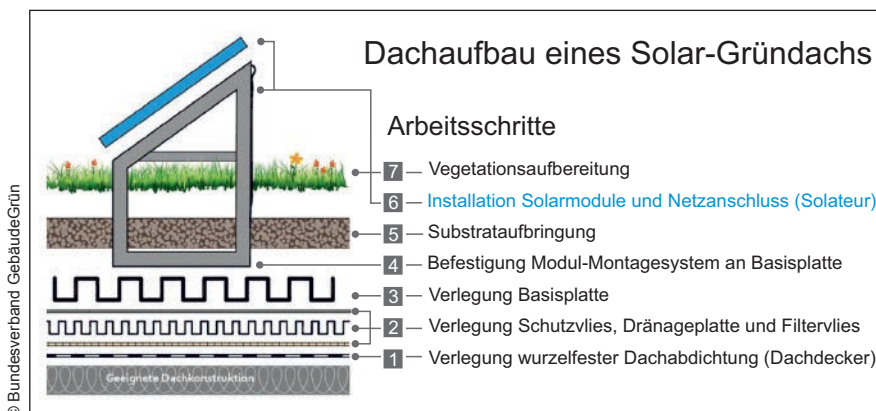
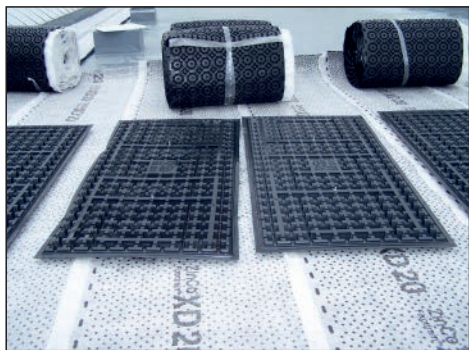
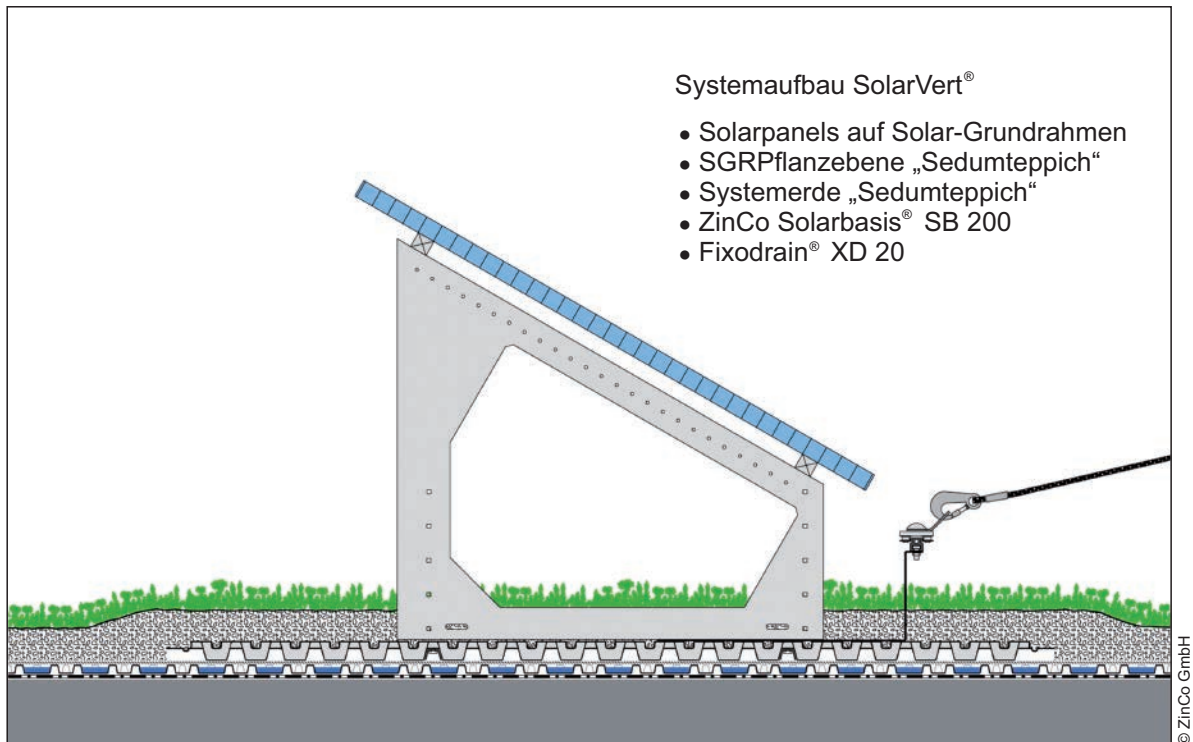


Abb. 7.2.2-01:



Abb. 7.2.2-02: PV-Gründachanlage mit rahmenlosen CdTe-Modulen, Möbelhaus Höffner, Hamburg-Eidelstedt, 672 kWp

### Beispiel Gründachaufbau: ZinCo-Systemaufbau SolarVert® - I



#### Solarbasis® SB 200

- Lose aufgesetzt auf vollflächig verlegter diffusions-offener Drainagebahn Fixodrain® XD 20
- ABS-Kunststoff mit Konter- und Aussteifungsprofilen
- Statisch geprüfte Befestigungsmöglichkeit für Solar- Grundrahmen SGR
- Wasserspeicher- und Verfüllmulden sowie auf der Unterseite ein unterseitiges Kanalsystem
- Abmessungen 100cm x 200cm, Höhe ca.43cm



#### Solar-Grundrahmen SGR

- Aufsetzen des Grundrahmens und Verschraubung an den vorgegebenen Befestigungsstellen der Solarbasis
- Verschiedenen Neigungswinkeln erhältlich SGR 5 (5° Neigung) bis SGR 45 (45° Neigung) Andere Abmessungen und Neigungswinkel auf Anfrage möglich

## Beispiel Gründachaufbau: ZinCo-Systemaufbau SolarVert® - II



© ZinCo GmbH

### Fertig verschraubter Solar-Grundrahmen



© ZinCo GmbH

### Koppelung der Solarbasis Platten mit Aluminiumprofilen

- Zusätzliche Lagesicherung durch Verbinden der Solarbasis-Platten mit Aluminium-Profilen
- Nur notwendig, wenn die Auflast der Substratschicht die man aufbringen kann oder will nicht ausreicht



© ZinCo GmbH

### Aufbringen der Substratschicht

- Dient der Lagesicherung der Solarbasis
- Schütthöhe der Substratschicht entsprechend der statisch erforderlichen Auflast
- Anschließend Montage der Solarmodule



© ZinCo GmbH

### Dachbegrünung mit „Sedumteppich“

- Extensivbegrünung mit Sedum, einer Pflanzengattung der Dickblattgewächse mit genügsamen Pflanzen für trockene Standorte
- Auswahl von flachwüchsige Sedum-Arten
- Hauptblütezeit Frühsommer, Blütenfarben gelb und rot/weiß
- Außerhalb der Blütezeit: verschiedene Grüntöne entsprechend der Sedum Arten
- Fertig montierte Solarmodule

© Hagemann

Abb. 7.2.2-04: Beispiel Gründachaufbau: ZinCo-Systemaufbau SolarVert® - II



Abb. 7.2.2-05: Gründachaufständerung von Röhrenmodulen, Tube Solar AG

© Tube Solar AG

Winddurchlässige Bauform von CIGS-Röhrensolarmodulen  
 Beispiel: TubeSolar AG Module (CIGS)

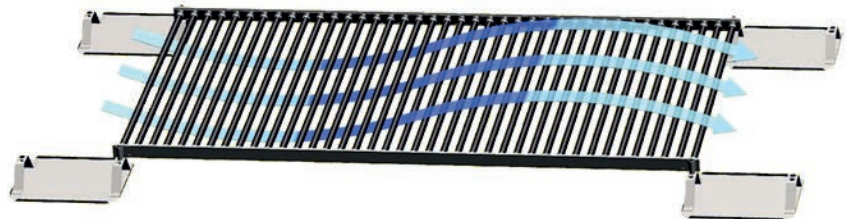


Abb. 7.2.2-06: Winddurchlässigkeit von Röhrensolarmodulen

© Tube Solar AG

von 1.200 x 600 mm. Die Nennleistung der Anlage beträgt 672 kWp. Das Montagesystem „SolRack“ der Schletter GmbH dient als Unterkonstruktion für die Dünnschichtsolarmodule.

Eine interessante Alternative für eine Nutzung der Dünnschicht-PV auf Gründächern bieten aktuell die CIGS-Röhrensolarmodule der deutschen Firma Tube Solar AG (Abb. 7.2.2-05). Über den Gründachhersteller ZinCo wird dieses Produkt zusammen mit einer passenden Aufständerung ab 2023 am Markt angeboten. Die Bauform der Röhrensolarmodule geben dem Wind keine Angriffsfläche (Abb. 7.2.2-06). Sie müssen daher nicht verankert oder mit zusätzlich Lasten beschwert werden. Gleichzeitig kann Sonnenlicht bis zur Bepflanzung des Gründachs vordringen.

#### Weiterführende Informationen

##### [1] ZinCo (Hg.). Planungshilfe Solarenergie und Dachbegrünung

→ [https://www.zinco.de/sites/default/files/2021-03/ZinCo\\_Gruendach\\_Solar.pdf](https://www.zinco.de/sites/default/files/2021-03/ZinCo_Gruendach_Solar.pdf) (12/2022)

##### [2] ZinCo GmbH. Checkliste für Solaranlagen auf Flachdächern

→ [https://www.zinco.de/sites/default/files/2022-01/ZinCo\\_Checkliste\\_Solaranlagen\\_auf\\_Flachdaechern.pdf](https://www.zinco.de/sites/default/files/2022-01/ZinCo_Checkliste_Solaranlagen_auf_Flachdaechern.pdf) (12/2022)



### 7.2.3 Abdichtungsbahnen und -folien mit PV

Mit einer Dachabdichtungsbahn verbundene PV-Dünnschichtmodule sind flexibel und haben ein extrem niedriges Eigengewicht. Vor allem für Leichtdächer im Industrie- und Hallenbau können sie gut eingesetzt werden.

Für diese Art von Dächern werden vor allem lose verlegte thermoplastische Kunststoffdachbahnen als Abdichtungsmaterial verwendet. Die einzelnen Bahnen werden auf dem Flachdach mit einer Überdeckung von ca. 5cm ausgerollt und anschließend zu einer wasserdichten Einheit per Heißluft- oder Quellschweißverfahren verschweißt.

Solche handelsüblichen Kunststoffdachbahnen können werkseitig mit den flexiblen und dünnen Dünnschicht-PV-Modulen zu einer Einheit verbunden und anschließend als Einheit auf die Baustelle geliefert werden. Die aktive Solarzellenfläche ist in diesem Fall etwas schmaler als die einzelne Kunststoffdachbahn selbst, damit ein Rand für das Überlappen und Verschweißen der Bahnen untereinander bleibt (Abb.7.2.3-01 bis Abb.7.2.3-03).

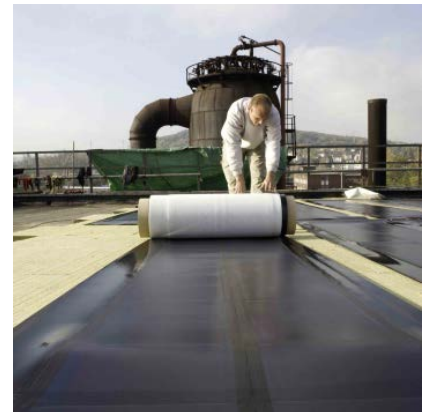


Abb. 7.2.3-01: Ausrollen der schwarzen PV-Abdichtungsbahnen, Voelklinger Huette



Abb. 7.2.3-02: Mechanische Befestigung der PV-Abdichtungsbahnen, Voelklinger Huette



Abb. 7.2.3-03: Denkmalschutz-kompatible schwarze Solardachbahn (a-Si) für das Dach der Gebläsehalle, Völklinger Hütte, Völklingen (UNESCO Weltkulturerbestätte)



© Flisom AG

Abb. 7.2.3-04: Flisom eFlex® mit Membranabdichtung, Öffentliches Schwimmbad, Niederland, 100 kWp

Alternativ ist auch ein Aufkleben der Module vor Ort denkbar. In beiden Fällen ist auf die Materialverträglichkeit des speziellen Dachabdichtungsmaterials mit dem verwendeten Kleber auf der PV-Modulrückseite zu achten.

Bei einer Verlegung der Kunststoffdachbahnen mit integrierter Dünnschicht-PV ist auf eine exakte Ausführung der Naht- und Anschlussverbindungen zu achten. Sie sind technisch eingebunden in ein Baukastensystem, das neben den Dachabdichtungsbahnen selbst, multifunktionale Dachabdichtungslösungen, einschließlich aller An- und Abschlüsse bzw. Durchdringungen, anbietet.

Die Lagesicherung der losen Abdichtungsbahn mit integrierter Dünnschicht-PV erfolgt ausschließlich durch eine mechanische Befestigung am Untergrund, die dann zusätzlich abgedichtet wird (Abb. 7.2.3-02). Eine Fixierung durch eine Auflast ist nicht möglich. Solare Stromerzeugung und Dachabdichtung verschmelzen zu einem Bauelement.

Aktuelle Produkte für diesen Anwendungsfall sind eFlex® Module von Flisom, die auf EPDM-, TPO- und modifizierten Bitumen-Membran-Abdichtungen verwendet werden können (Abb. 7.2.3-04) oder das Produkt HeliaSol® von Heliatek. Beide Produkte wurden bereits in Kapitel 7.1.2.2 unter „Metalldachdeckungen mit aufgeklebten flexiblen Solarmodulen“ vorgestellt.

Ein noch nicht vorgestelltes Produkt, das bisher ausschließlich in Schweden vertrieben wird, ist:

- Midsummer BOLD®

Auf dem skandinavischen Markt bietet der schwedische CIGS-Hersteller Midsummer das Bauprodukt „Midsummer BOLD®“ an (vgl. Kapitel 4.3.2). Die CIGS-Zellen sind auf einer dünnen Edelstahlfolie aufgebracht und verkapselt. Das CIGS-Modul ist 1.685 mm lang und 1.000 mm breit. Es ist 2 mm dünn und wiegt nur 3 kg/m<sup>2</sup>. Es kann im Zuge einer Dachsanierung bzw. nachträglich auf der Dachabdichtung eines vorhandenen Daches aufgebracht und fest mit der Abdichtung verbunden werden. Eine Durchdringung der Abdichtungsschicht ist nicht erforderlich. Alle Kabel werden auf dem Dach unsichtbar hinter einer Blechverkleidung verlegt. Die Module sind begebar.

Anbei ein Beispiel einer 158 kWp PV-Anlage in Schweden. Insgesamt bedecken 800 Midsummer BOLD®-Module das Flachdach eines Industriegebäudes mit einer Dachfläche von 1.700 m<sup>2</sup> (Abb. 7.2.3-05 und 7.2.3-06).



© Midsummer AB, Schweden

Abb. 7.2.3-05: Industriehalle mit Flachdach und 1.700 m<sup>2</sup> integrierten Midsummer BOLD®-Module (CIGS), Schweden, 158 kWp



© Midsummer AB, Schweden

Abb. 7.2.3-06: Detail Midsummer BOLD®-Module (CIGS)

### Weiterführende Informationen

**[1] Produktdatenblatt Midsummer BOLD:**

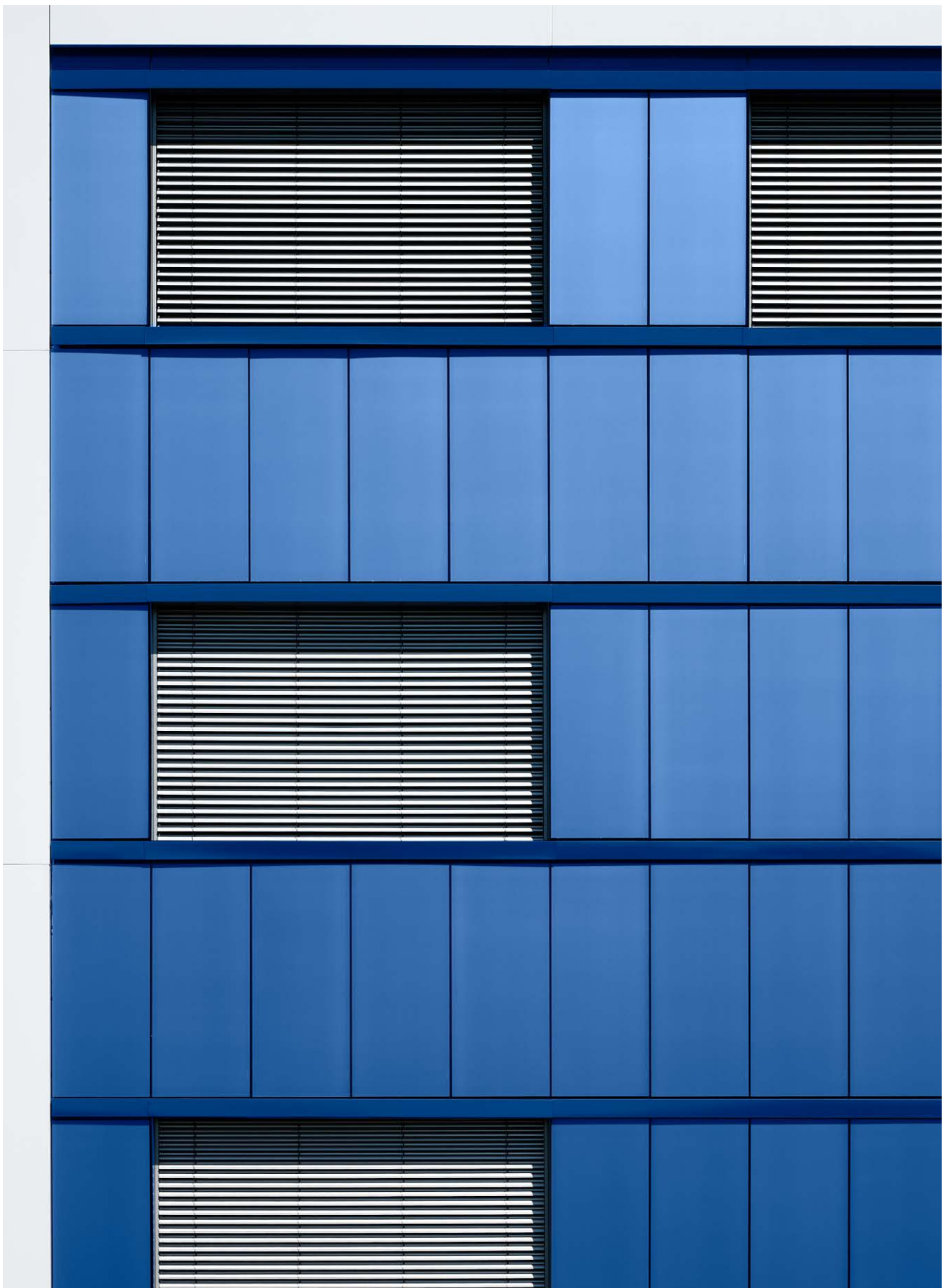
→ <https://midsummersolar.it/wp-content/uploads/2020/07/Product-sheet-BOLD-ENG.pdf> (12/2022)

**[2] Flisom eFlex**

→ [https://www.flisom.com/wp-content/uploads/2021/03/1.-Datasheet\\_eFlex\\_GEN3\\_6x1-BL\\_HU-DE-2.pdf](https://www.flisom.com/wp-content/uploads/2021/03/1.-Datasheet_eFlex_GEN3_6x1-BL_HU-DE-2.pdf) (12/2022)

**[3] HeliaSol® von Heliatek**

→ <https://www.heliatek.com/de/produkte/heliasol/> (12/2022)



©Avancis GmbH / Photo: Albrecht Voss

Abb. 7.3-01: Westfassade, Logistischen Verteilzentrums Volg, Oberbipp, Schweiz, mit PV-Fassadenverkleidung aus 80 SKALA-Architekturmodulen, Farbe SKALA Blau 7001, in vertikaler Montage, 10,25kWp

### 7.3 Außenwände und Brüstungen mit PV

Außenwände und Brüstungen sind ungenutzte Flächen eines Gebäudes, die sich gut für eine Integration der PV eignen (Abb. 7.3-01). Die Photovoltaik steht nicht in Konkurrenz zu anderen Nutzungen, z. B. einer Tageslichtnutzung, einem Blick aus einem Fenster etc., wie dies im Bereich der transparenten Gebäudeflächen der Fall ist.

PV-Module können auf verschiedene Arten gestalterisch bzw. konstruktiv ansprechend in Außenwandflächen oder Brüstungen integriert werden als:

- Additives PV-Element  
PV-Module aus Glas werden, gleich einer Auf-Dach-Montage, an der Gebäudefassade verankert. Leichte, flexible PV-Module werden aufgeklebt. Sie bilden keinen integrativen Bestandteil der Gebäudefassade.
- PV-Wandverkleidung als Teil einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade (VHF)  
PV-Module können als Teil eines vorgehängten, hinterlüfteten Fasadensystems konventionelle Verkleidungsmaterialien aus Glas etc. in einer Außenwand ersetzen.
- Komplette Außenwandeinheit mit integrierter PV  
PV-Module sind Teil eines integrierten Bauproduktes und ersetzen den kompletten Außenwandaufbau ohne oder mit Wärmedämmung (z. B. PUR/PIR-Sandwichenelemente nach DIN EN 14509 für Dach und Wand mit beidseitigen Blechdeckschalen).
- Wärmedämmverbundsystem (WDVS)  
PV-Module sind in den Schichtaufbau einer Putzfassade integriert.

Der häufigste Anwendungsfall ist der Ersatz konventioneller Wandverkleidungsmaterialien durch zumeist rahmenlose PV-Elemente.

Auch wirtschaftlich betrachtet können PV-Fassadenverkleidungen eine interessante Alternative zu konventionellen Fassadenverkleidungen darstellen. Abbildung 7.3-02 zeigt einen schematischen Kostenvergleich verschiedener Fassadenbaumaterialien. Die bei einzelnen Kurven gezeigten Stufen, spiegeln die Kosten für Wartungsintervalle wieder. Unabhängig von der Höhe einzelner Preise, die sich gerade rasant im Bausektor verändern, verdeutlicht

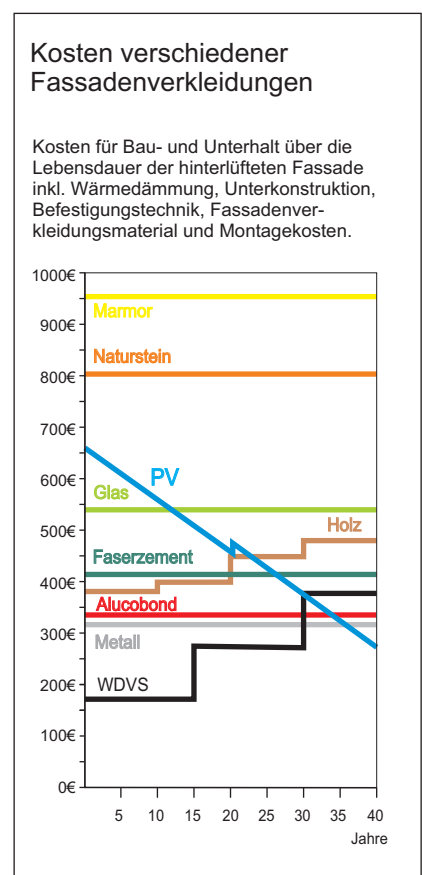


Abb. 7.3-02: Kostenvergleich verschiedener Fassadenverkleidungsmaterialien



© Hagemann

Abb. 7.3.1-01: Künstlerisch gestaltete PV-Fassade mit aufgeklebten flexiblen Dünnschichtmodulen, Thyssen-Krupp Steel Europe AG, Duisburg

die Grafik, dass insbesondere in größeren Zeiträumen betrachtet, eine PV-Fassadenverkleidung kostengünstig sein kann.

### 7.3.1 Nachträglich applizierte PV

#### Montage von Dünnschichtmodulen aus Glas

PV-Standardmodule aus Glas können, wie auch auf einem Dach, an einer Fassade auf einer Unterkonstruktion montiert werden. Sie sind dann ein zusätzliches Element in der Fassade. Sie ersetzen keine konventionellen Fassadenverkleidungsmaterialien.

Ein gestalterisch ansprechendes Beispiel mit CIGS-Standardmodulen aus Glas, als zusätzliches Element auf der Außenfassade eines Gebäudes, stellt die Projektbeschreibung „Stadtarchiv, Depot Amsterdam Nord, Amsterdam“ in Kapitel 8.1 im Detail vor.

#### Aufkleben von flexiblen Dünnschichtmodulen auf Fassadenverkleidungen

Auf Metallbahnen aufgeklebte, flexible Dünnschichtsolarmodule können als äußere Verkleidung einer hinterlüfteten Wandkonstruktion verwendet werden oder sie können weiterverarbeitet werden zu wärmegeämmten Außenwandelementen mit integrierter PV. Solche Sandwichkonstruktionen mit PV können einen kompletten Wand- oder Dachaufbau ersetzen und produzieren gleichzeitig Strom. Ihr Einsatzfeld ist der Sektor des Industriebaus mit seinen Techniken des elementierten und kostensparenden Bauens.

Ein Beispiel ist die PV-Fassade eines Industriekomplexes auf dem Gelände der heutigen Thyssen-Krupp Steel Europe AG (Abb. 7.3.1-01 bis Abb. 7.3.1-03). Auf einer Fläche von zirka 1.400 Quadratmetern wurden PV-Module des Typs Thyssen-Solartec® mit einer Gesamtnennleistung von ca. 50 kWp in die einschalige Kaltfassade integriert. Nach Entwürfen des Farbstudios Friedrich Ernst von Garnier wurden amorphe Dünnschichtmodule farblich und gestalterisch in die Gebäudefront eingebunden. Die Anordnung der Solarmodule in wellenförmiger Struktur bildet ein Spannungsfeld im Kontrast zu den geraden Linien der Architektur des Gebäudes. Das Produkt Thyssen-Solartec® besteht aus gekanteten Metalltafeln einer Breite von 415–474 mm und einer Länge von bis zu 5.800 mm. Auf diese Metalltafeln wurden werksseitig die flexiblen, dünnen a-Si-Module aufgeklebt.

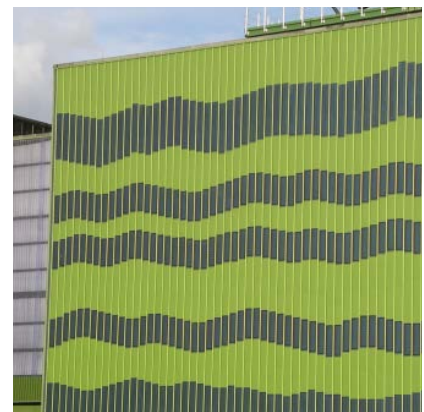


Abb. 7.3.1-02: Wellenförmige Anordnung der Dünnschichtsolarmodule



Abb. 7.3.1-03: Detail der aufgeklebten flexiblen a-Si-Dünnschichtsolarmodule



© RWE

Abb. 7.3.1-04: Fermenter der RWE-Biogasanlage, Bergheim-Pfendorf, mit OPV-Modulen (HeliaFilm, Heliatek), 5,40 kWp



© RWE

Abb. 7.3.1-05 HeliaFilm Folien mit einer Gesamtfläche von 95m<sup>2</sup> wurden direkt auf das profilierte Stahlblech aufgeklebt





© Hagemann

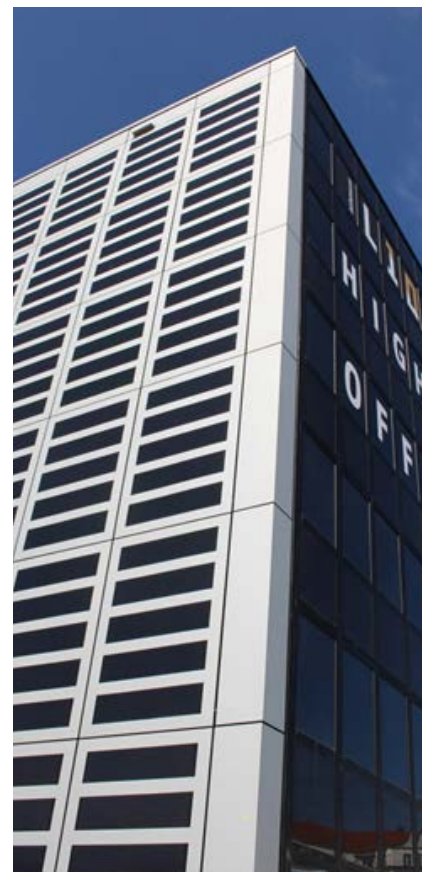
Abb. 7.3.1-06: Detail OPV-Module und Verkabelung

Die für dieses Projekt verwendeten flexiblen Dünnschichtmodule mit a-Si Solarzellen (UniSolar) sind heute am Markt nicht mehr erhältlich. Gleichwohl zeigt dieses Projekt interessante Perspektiven einer Nutzung der PV.

Aktuell bieten Firmen wie Heliatek mit HeliaSol® bzw. Flisom mit eFlex® alternative Produkte an, die vergleichbare oder neue Anwendungslösungen mit flexiblen, leichten OPV-Modulen bzw. CIGS-Modulen ermöglichen.

Die Abbildungen 7.3.1-04 bis 7.3.1-06 zeigen die Fassade der Biogasanlage von RWE in Bergheim-Paffendorf. Auf einer Fläche von 95 m<sup>2</sup> wurden HeliaFilm® Folien von Heliatek direkt auf dem profilierten Stahlblech der Außenfassade von zwei der drei zylindrischen Fermenter aufgeklebt. Diese Folien sind extrem leicht. Sie haben ein Gewicht von nur 0,80 kg/m<sup>2</sup>. Insgesamt wurden 180 HeliaFilm®-Folien mit einer Gesamtleistung von 5,40 kWp montiert.

Abbildung 7.3.1-07 zeigt ein Fassadenprojekt in der Schweiz für das 2,3m lange eFlex®-CIGS-Module von der Flisom AG werksseitig auf Fassadenelemente aufgeklebt und anschließend montiert wurden. Die Modulanschlußdose ist unsichtbar auf der Rückseite integriert. Das Projekt hat eine Leistung von 10 kWp.



© Flisom AG

Abb. 7.3.1-07: Metallfassade mit eFlex Modulen von Flisom, Schweiz, 10 kWp

### 7.3.2 Vorgehängte hinterlüftete Fassaden (VHF) mit PV

Die vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF) ist im Büro- und Industriebau sowie vereinzelt auch im hochwertigen Wohnungsbau weit verbreitet. Der Ersatz konventioneller Verkleidungsmaterialien für eine VHF durch PV-Module ist für sehr unterschiedliche Akteure am Markt ein attraktives und wichtiges Marktsegment. Als zentrales Regelwerk für diesen Fassadentypus befasst sich die DIN 18516 mit hinterlüfteten Außenwandverkleidungen mit und ohne Unterkonstruktion.

Der prinzipielle Wandaufbau einer vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF) ist:

- Verankerungsgrund  
Dies ist in der Regel die tragende Außenhülle des Gebäudes.
- Außenwanddämmung  
Diese sollte lückenlos und dauerhaft befestigt sein.
- Wandkonsolen  
Sie werden am lastabtragenden Tragwerk befestigt und bestehen aus Aluminium oder Edelstahl, manchmal auch aus glasfaserverstärkten Kunststoffen. Ihre Tiefe wird vorgegeben durch die Dicke des Dämmmaterials und die Breite der Luftschicht.
- Luftschicht  
Sie dient zum Abtransport von Kondensat und eindringender Feuchtigkeit von außen und bildet einen thermischen Puffer zwischen Außen- und Innenbereich.
- Tragprofile  
Ihre Befestigung an den Konsolen erfolgt mit Gleit- und Fixpunkten, um Längenausdehnungen frei von Zwängungen aufnehmen zu können.
- Äußere Bekleidung  
Unterschiedliche Materialien und auch starre, nicht flexible PV-Module werden hierfür verwendet. Die Verankerung der PV-Module kann sichtbar oder verdeckt sein.



Abb. 7.3.2-01: Musterfassade aus Metallkassetten mit OPV-Modulen (Heliatec)

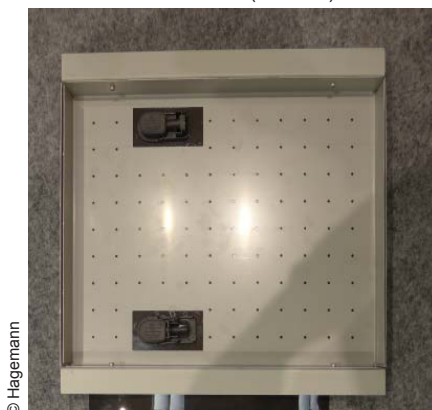


Abb. 7.3.2-02: Rückseite Musterfassadenelement mit Modulanschlussdosen

Aufgrund dieses Aufbaus eignen sich vorgehängte, hinterlüftete Fassade (VHF) besonders gut für den Einsatz der Dünnschicht-PV mit einem Modulaufbau aus Glas. Insbesondere Hersteller von CIGS- und CdTe-Dünnschichtmodulen haben in den zurückliegenden Jahren dieses Anwendungsfeld für sich erschlossen, z. B. Nice Solar Energy oder Avancsis. Alternativ können aber auch flexible, leichtgewichtige Dünnschichtmodule in Fassadenverkleidung integriert werden (Abb. 7.3.2-01 und 7.3.2-02)

Der Mehrwert einer VHF-Fassade mit PV im Vergleich zu anderen Außenwandaufbauten ist durch folgende Aspekte gekennzeichnet:

- Eine solare Stromerzeugung
- Ein guter sommerlicher und winterlicher Wärmeschutz
- Eine einfache wärmebrückenfreie Ausführung der Wärmedämmung
- Langlebigkeit

### **Eigenschaften von Sicherheitsgläsern und ihre Verwendung für PV-Module**

Die Montage- und Konstruktionsbedingungen von PV-Modulen mit einer Deckschicht aus Glas als Teil einer VHF sind vergleichbar mit denen konventioneller Glasbauelementen.

Abhängig von der konkreten Einbausituation, Absturzhöhe, etc. müssen PV-Fassadenelemente aus Glas, wie jedes konventionelle Fassadenelement aus Glas, Sicherheitsanforderungen erfüllen. Für Fassadenverkleidungen aus Glas werden daher Sicherheitsgläser verwendet:

- Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG)  
Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG) wird in seinem Produktionsprozess einer thermischen Behandlung unterzogen. Dadurch erhält das Glas eine hohe Stoß- und Schlagfestigkeit. Deswegen wird es oft auch als „gehärtetes Glas“ oder auch „thermisch vorgespanntes Glas“ bezeichnet. Bei Bruch zerfällt es, vergleichbar einer Autoscheibe, in kleine Stücke und eine mögliche Verletzungsgefahr ist gering. Diese thermische Behandlung führt jedoch dazu, dass ESG-Scheiben nachträglich nicht mehr bearbeitet werden können. Ein nachträgliches Schleifen, Schneiden oder Bohren ist nicht möglich.
- Verbundsicherheitsglas (VSG)  
Verbundsicherheitsglas (VSG) ist ein Glaslaminat, das aus einem Scheibenverbund von zwei oder mehr Gläsern besteht. Die einzelnen Glasscheiben werden durch eine zwischen ihnen liegende, reißfeste Folie miteinander verklebt. Je dicker das Glas, desto dicker und widerstandsfähiger ist in der Regel die Folie, die zwischen zwei Scheiben platziert wird. Meistens handelt es sich dabei um Polyvinylbutyral (PVB) oder SentryGlas® plus (SGP). SentryGlas® ist der Produktname einer Verbundfolie der Firma Dupont. Diese Folie besteht aus einem thermoplastischen Kunststoff (Ionoplast), der bis zu fünfmal fester und hundertmal

steifer ist, als Folien aus Polyvinylbutyral (PVB). Der Vorteil einer VSG-Scheibe ist, dass bei ihrer Zerstörung, keine Scherben herabfallen können, da diese an der reißfesten Folie haften bleiben.

Der Unterschied zwischen beiden Sicherheitsgläsern besteht primär darin, dass sie unterschiedliche Festigkeiten und Eigenschaften bei Glasbruch besitzen. Ein Verbundsicherheitsglas (VSG) kann in allen Bereichen am Bau eingesetzt werden. Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG) darf in Bereichen wo eine Absturzgefahr besteht, bzw. im Falle einer Über-Kopfverglasungen nicht zum Einsatz kommen.

Für Solarmodule wird auch Teilvorgespanntes Glas (TVG) verwendet. Dies zählt nicht zur Gruppe der Sicherheitsgläser.

- Teilvorgespanntes Glas (TVG)

Teilvorgespanntes Glas wird im gleichen Herstellprozess wie Einscheibensicherheitsglas (ESG) hergestellt. Der anschließende Abkühlungsprozess erfolgt jedoch langsamer als beim Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG). Dadurch bilden sich beim TVG geringere Spannungsunterschiede zwischen Glaskern und Glasoberfläche. Folge ist eine geringere Biegefestigkeit des TVG im Vergleich zum ESG. Das Bruchbild der Scheiben ähnelt dem des konventionellen Floatglases. In der Bauglasindustrie wird TVG nur für die Herstellung von VSG verwendet.

In dem Scheibenverbund von CdTe- und CIGS-Standardmodulen wird je nach Hersteller sowohl Teilvorgespanntes Glas (z. B. Nice Solar Energy, Sanko Solar) als auch Einscheiben-Sicherheitsglas (z. B. Avancis) zum Bau des Modulverbundes eingesetzt. Bei den CIGS-Modulen besteht das Frontglas aus TVG oder ESG, bei Cd-Te-Modulen ist dies die innenliegende Scheibe. Module mit ESG-Glas bieten bei ungeschützten Modulkanten einen besseren Kantenschutz.

Als Montagetechnik für die unterschiedlichen Varianten einer PV-Fassadenverkleidungen aus Glas werden verschiedene Systeme angeboten. Sie unterscheiden nach der Art ihrer Befestigung bzw. ihrer Lagerung des Glases.

### 7.3.2.1 Linienförmige Halterungssysteme

Bei diesem Montagetyp werden PV-Fassadenelemente bzw. Standard-PV-Module auf mindestens zwei gegenüberliegenden Seiten linienförmig gelagert. Der Vorteil einer vierseitigen Lagerung ist, dass die Gläser dünner dimensioniert werden können als bei einer



Abb. 7.3.2.1-01: CIGS-Fassadenverkleidung, 4,2kWp

zweiseitigen Lagerung oder bei einer punktförmigen Befestigung. Abbildung 7.3.2.1-01 zeigt ein solches Beispiel. Die CIGS-Fassade hat eine Gesamtfäche von 40m<sup>2</sup> und eine Gesamtleistung von 4.2kWp.

### 7.3.2.2 Punktförmige Halterungssysteme

Punkthalterungen erlauben die Montage von rahmenlosen PV-Modulen. Ihr Vorteil ist, dass die mögliche Eigenverschattung durch Konstruktionsprofile oder Schmutzablagerungen im Vergleich zu linienförmigen Halterungssystemen minimiert wird.

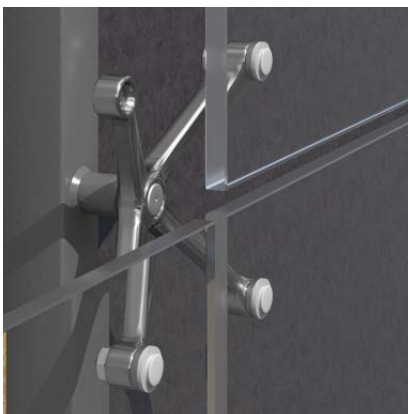
#### **Punktförmige Halterungen mit Hinterschnittanker**

Hinterschnittanker sind eine elegante Montagemethode, die heute auch im konstruktiven Glasbau verwendet wird. Es ist eine sichere und bewährte Montagetechnik für VHF aus Glas in unterschiedlichen Ausprägungen. Hinterschnittanker benötigen keine durchgängigen Bohrungen, sondern nur ein Loch in der Glasscheibe, das mittels CNC-Fräse exakt aus dem Glas herausgefräst wird. Erst nach diesem Schritt des Fräsens wird das Glas vorgespannt und damit zu TVG oder ESG weiterverarbeitet.



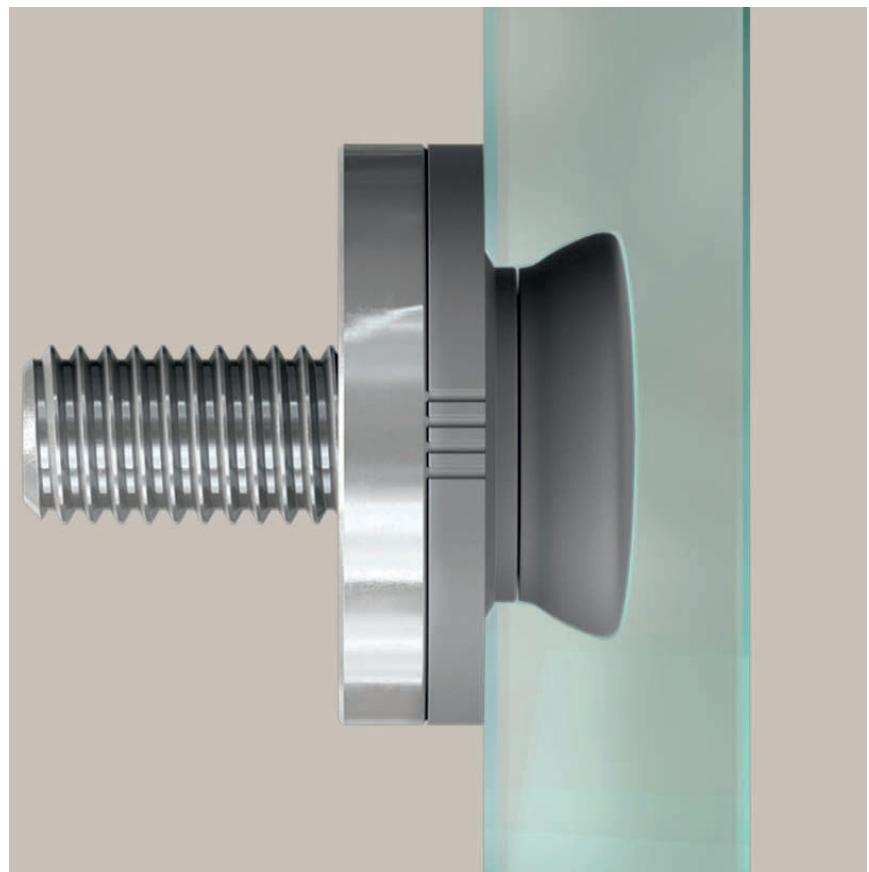
© Hagemann

Abb. 7.3.2.2-01: PV-Doppelglasmodule mit transparenten kristallinen Zellen (Sunways) befestigt mit fischer Hinterschnittankern, 10,7 kWp



© Unternehmensgruppe fischer

Abb. 7.3.2.2-02: Halterung für fischer „Zykon Punkthalter FZP G Z ESG“



© Unternehmensgruppe fischer

Abb. 7.3.2.2-03: Glaspunkthalter, fischer Hinterschnittanker „Zykon Punkthalter FZP G Z ESG“

Hinterschnittanker des Typs „Zykon Punkthalter FZP G Z ESG“ von Fischer wurden z. B. für eine PV-Glasfassade mit kristallinen PV-Zellen an der Bergstation der Kriegerhornbahn in Österreich verwendet (Abb. 7.3.2.2-01).

Die aktuelle Ausführung dieses Montagesystems (12/2022) eignet sich zur Befestigung von ESG, VSG oder Glaskeramik für VHF (Abb. 7.3.2.2-02 und Abb. 7.3.2.2-03). Gut zu erkennen ist die dünne Kunststoffbeschichtung, die die Oberfläche des Hinterschnittankers überzieht. Sie verhindert einen direkten Kontakt zwischen den Hinterschnittankern und dem Glas. Sie trägt auf diese Weise zu einer spreizdruckfreien Befestigung der einzelnen Hinterschnittanker bei.

Standard-Dünnschichtsolarmodule, die schon bei der Auslieferung mit TVG oder ESG ausgestattet sind, eignen sich für diesen Montagetyp erst mal nicht. Sie müssten, um z. B. größere Fassadenelemente herzustellen, zwischen weitere Lagen aus Glas verpackt werden, an denen dann, wie ausgeführt, die Hinterschnittanker befestigt werden könnten.

### Punktförmige Halterungen mit Klammern

Fassadensysteme mit klammerartigen Punkthalterungen eignen sich gut für die Montage von Fassadenverkleidungen aus Standard-Dünnschichtsolarmodulen. Die Klammern sind in den offenen Fugen zwischen den einzelnen PV-Verkleidungselementen angeordnet. Jeweils zwei Klammern oben und unten fixieren in der Regel ein einzelnes viereckiges Modul.

- ALUHIT® P, Wyss Aluhit AG

Das Schweizer Clipsystem „ALUHIT P“ des Herstellers Wyss war das erste System, das speziell für PV-Fassadenverkleidungen angeboten wurde. Die Module werden in der Fuge zwischen zwei Modulfelder durch einzeln herausnehmbare Clips gehalten. Eine Demontage einzelner Module ist jederzeit möglich (Abb. 7.3.2.2-04). Als Herausforderung empfand der Fassadenbauer in diesem Zusammenhang die unterschiedlichen Moduldicken und Abmessungen der einzelnen PV-Fassadenelemente aus Glas. Er musste dafür unterschiedliche Abmessungen seiner Befestigungsclips vorhalten.

Obwohl sich das System bewährt hat und eine ganze Reihe an PV-Projekten mit einer Verkleidung aus Dünnschicht-PV-Modulen und kristallinen PV-Modulen realisiert worden sind, wird es inzwischen nicht mehr am Markt angeboten. Verantwortlich

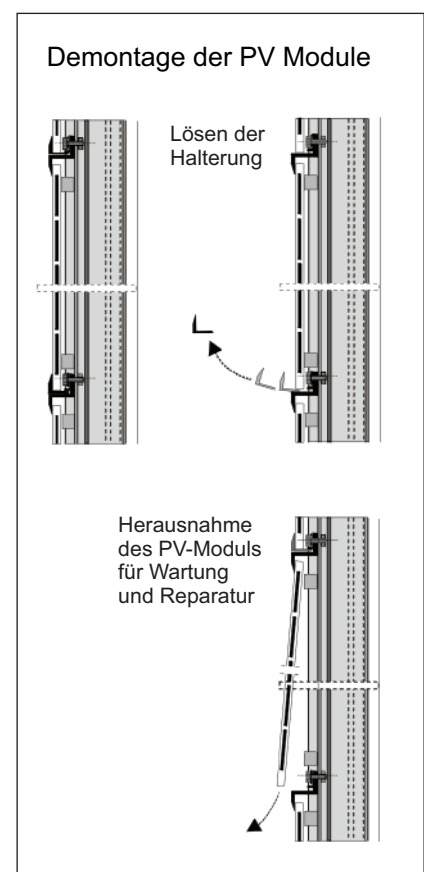
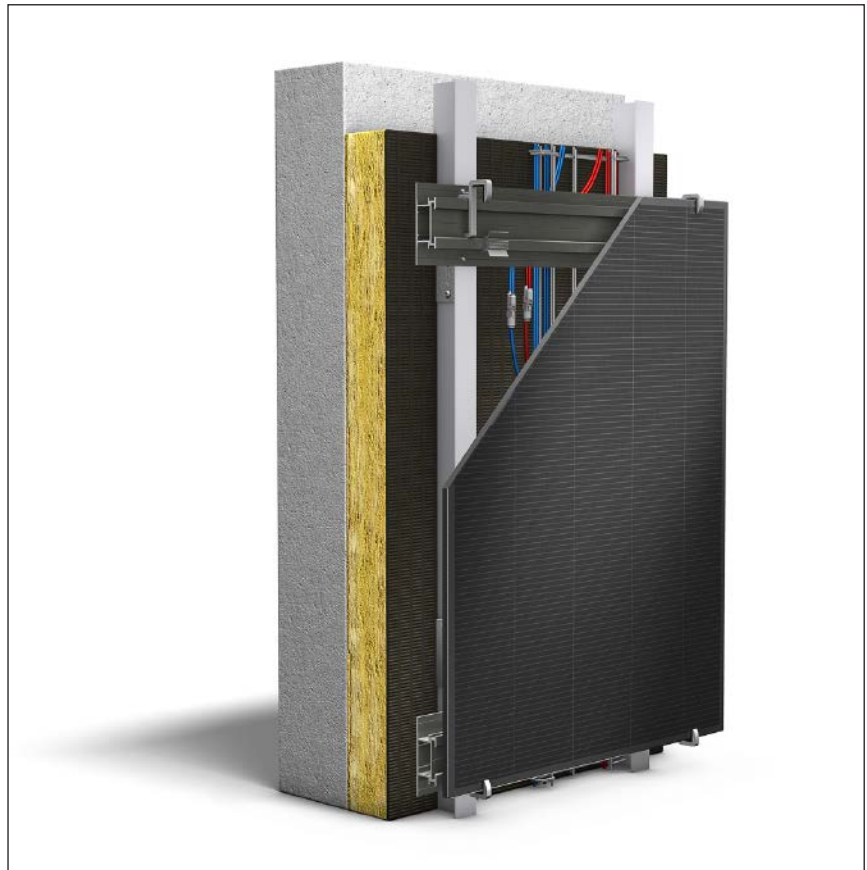
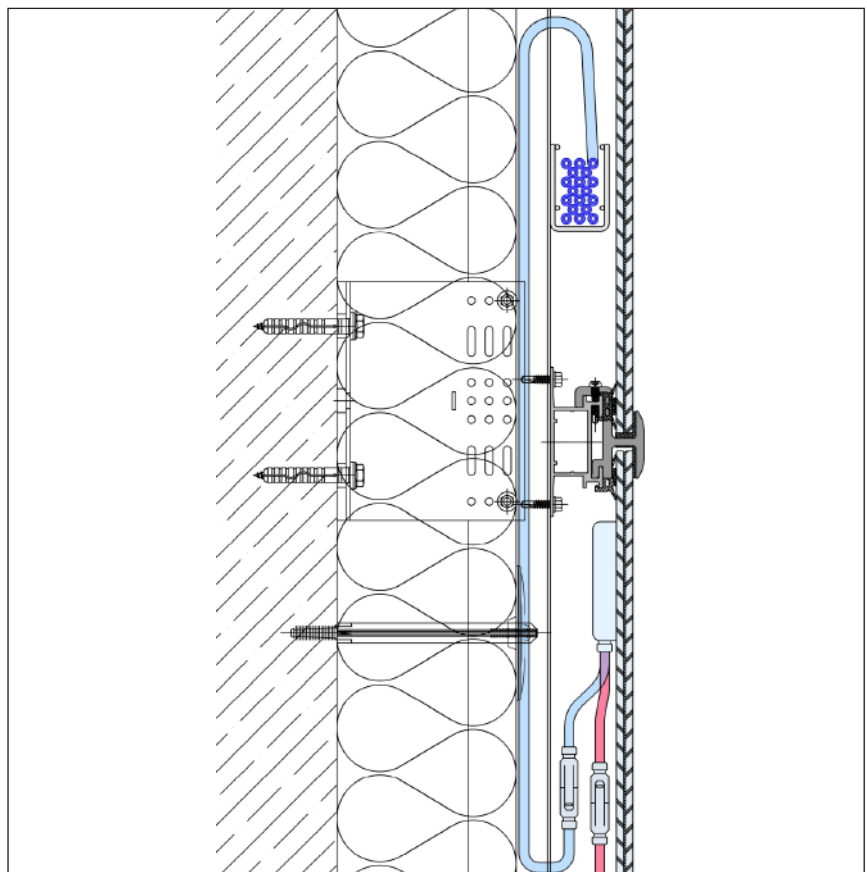


Abb. 7.3.2.2-04: Demontage von PV-Fassadenmodulen mit „ALUHIT P“



© alsecco GmbH

Abb. 7.3.2.2-05: Fassadensystem Airtec® Photovoltaic® für PV-Module



© alsecco GmbH

Abb. 7.3.2.2-07: Vertikalschnitt Airtec® Photovoltaic



dafür war eine insgesamt zu geringe Nachfrage nach PV-Fassaden vor mehr als 10 Jahren, so dass der Hersteller das Fassadensystem aus seinem Programm genommen hat. Hinzu kam, dass der Lieferant der Unterkonstruktion baurechtlich häufig die Verantwortung für die PV-Fassadenelemente und ihre Unterkonstruktion zusammen übernehmen sollte. Ein Haftungsrisiko, welches dieser Fassadenbauer nicht alleine tragen wollte.

Diese Erfahrungen zeigen, dass der Markt immer mehr die Übernahme der Verantwortung für ganze funktionale Systemeinheiten am Bau fordert und nicht nur für einzelne Bauprodukte. Dem tragen vor allem Modulanbieter aber auch Anbieter von VHF-Fassaden Rechnung, in dem Sie Allianzen mit Partner bilden, die es für sie ermöglichen, alles aus einer Hand anbieten zu können.

- Airtec® Photovoltaic“, alsecco GmbH

Dieses Montagesystem für PV-Fassadenverkleidungen (Abb. 7.3.2.2-05) verwendet die gleiche Unterkonstruktion und Montagetechnik wie das Produkt Airtec®Glass (früherer Produktname: Litho Classic) (Abb. 7.3.2.2-06).

Airtec®Glass ist eine rahmenlose und klammergehaltene hinterlüftete Glasfassade mit farbig emaillierten Glasscheiben aus Verbundsicherheitsglas (VSG) oder ESG-H mit geringer Fugenbreite. Die Abkürzung ESG-H steht für Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG), welches zusätzlich erfolgreich einem Heißlagerungstest absolviert hat. Für die verbleibenden Scheiben ist somit sichergestellt, dass für sie nur eine sehr geringe Gefahr des Spontanbruchs, der durch Einschlüsse im Glas entstehen kann, gegeben ist. Dies ist ein zusätzliches Qualitätsmerkmal für die verwendeten Gläser der Fassadenverkleidung. Das System Airtec®Glass und Airtec®Photovoltaic ist nach DIN 18008-3 geregelt.

Der Systemaufbau besteht aus Wandwinkeln, die fest mit dem lastabtragenden Untergrund verschraubt werden. An diesen werden dann vertikal verlaufende Al-Profile der Unterkonstruktion montiert. Anschließend werden horizontal verlaufende profilierte AL-Profile an diesen befestigt. Diese sind so ausgeformt, dass Halterungsklammern für die Montage und Fixierung der PV-Module eingehängt und zusätzlich durch Schrauben gesichert werden können (Abb. 7.3.2.2-07). Die Montage der PV-Fassadenmodule erfolgt von unten nach oben. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass man an die Verschraubung der oberen



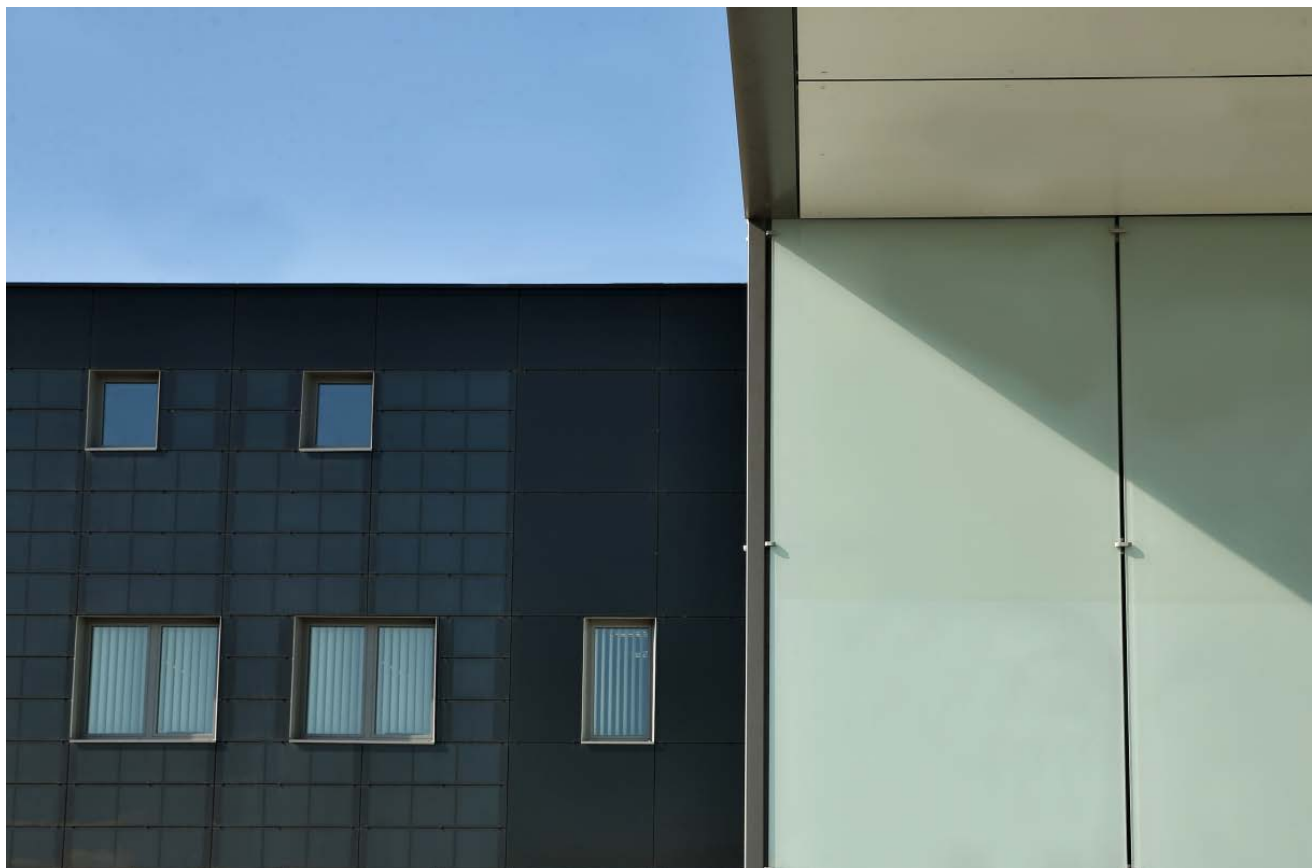
Abb. 7.3.2.2-06: Fassadensystem Airtec®Glass mit Glaselementen

© alsecco GmbH



© aisecco GmbH

Abb. 7.3.2.2-08: Gesamtansicht der Süd-Ostfassade mit PV, Polizeirevier Süd-West, Baunatal



© aisecco GmbH

Abb. 7.3.2.2-09: Ausschnitt Fassade mit sichtbaren Halteklammern, Polizeistation Baunatal

Klammern bei der Montage herankommt. Planmäßig kann das System an jeder Stelle revidiert werden.

Da beide Fassadenverkleidungsmaterialien, PV-Module und Glas, die gleiche Unterkonstruktion verwenden, können Flächen mit PV-Fassadenmodulen direkt neben anderen, konventionell mit Glas verkleideten Flächen angeordnet werden. Der Einsatz von fassadenintegrierten PV-Modulen auch nur in Teilbereichen einer Gebäudefassade wird somit bautechnisch leicht möglich. Auf diese Weise können Flächen, die einer häufigen oder dauerhaften Verschattung ausgesetzt sind, von einer PV-Modulverkleidung ausgespart werden, ohne dass das einheitliche Bild einer Gesamtfassade unterbrochen werden muß. Voraussetzung hierfür ist ein umfangreiches Angebot der Farbgestaltung und Farbanpassungsmöglichkeiten der Glasfassadenelemente von Airtec®Glass.

Dieses Nebeneinander von Glasflächen und photovoltaisch aktiven Flächen zeigt sehr gut der Neubau des Polizeireviere Süd-West in Baunatal (Abb. 7.3.2.2-08 bis 7.3.2.2-09). Bei diesem Projekt wurden insgesamt 260 m<sup>2</sup> PV-Module aus dem Hause Nice Solar Energy mit einer Gesamtleistung von 24,9 kWp mit dem „Airtec®Photovoltaic“-Fassadensystem montiert.

Ein andere Projektbeispiel ist die Brüstungs- und Fassadenverkleidung eines Wohnhochhauses mit 9 Stockwerken in Bremen. Der Eigentümer dieses Objektes ist die GEWOBA. Sie wurde 1924 als gemeinnützige Wohnungsbaugesellschaft der Freien Gewerkschaften gegründet und verfolgt seitdem das Ziel, in Bremen kostengünstigen Wohnraum für breite Schichten der Bevölkerung anzubieten. Im Zuge einer anstehenden Sanierung für dieses Projekt wurden neben anderen Maßnahmen der Energieeinsparung auch 685 m<sup>2</sup> CIGS-Module von Nice Solar Energy mit einer Gesamtleistung von 85 kWp in die wärmegeämmte Gebäudehülle integriert (Abb. 7.3.2.2-10 bis 7.3.2.2-14).

#### **Weiterführende Informationen**

**[1] alsecco: Airtec®Photovoltaic – Objektberichte, Anschlussdetails, Leistungsverzeichnisse**

→ <https://vhf.alsecco.de/de/downloads.html> (12/2022)



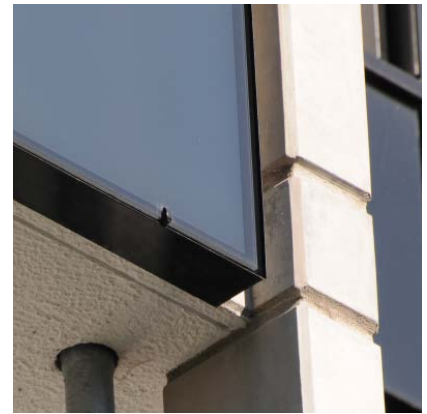
© Hagemann

Abb. 7.3.2.2-10: Gesamtansicht GEWOBA Wohnhochhaus, Bremen



© Hagemann

Abb. 7.3.2.2-11: PV-Brüstungsverkleidung



© Hagemann

Abb. 7.3.2.2-12: Detail PV-Balkonbrüstungsverkleidung



© Hagemann

Abb. 7.3.2.2-13: Spiegelung in der PV-Verkleidung



© Hagemann

Abb. 7.3.2.2-14: Detail PV-Module und Halteklammer

- Konvortec®energy

Die Firma Konvortec GmbH & Co. KG bietet mit dem Produkt „Konvortec®energy“ ebenfalls ein Montagesystem mit Halterungsklammern für ungerahmte PV-Module an. Es basiert auf dem hauseigenen Fassadensystem „Konvortec®“ für vorgehängte, hinterlüftete Glasfassaden mit Glasscheiben aus Einscheibensicherheitsglas (ESG), für das auch eine aktuell gültige Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) vorliegt.

Jedes einzelne PV-Glasfassadenelement oder auch konventionelle Glaselement wird durch filigrane von außen sichtbare Halteklammern an mindestens vier Punkten fixiert (Abb. 7.3.2.2-15). Variable Abstandshalter sorgen für den richtigen Pressdruck. Die Halteklammern besitzen den Standardfarbton RAL 9006 (Silber Metallic). Farblich beschichtete Halteklammern sind gegen Aufpreis erhältlich.

Die Halteklammern der einzelnen PV-Module selbst werden in eine Nut eingehängt, die sich in einem über die ganze Fassade vertikal verlaufenden Hohlkammerprofil befindet. Das Hohlkammerprofil ist über Fix- und Gleitlagerpunkten mit Konsolen verbunden. Diese wiederum werden an der lastabtragenden, gedämmten Außenwand verankert.



Abb. 7.3.2.2-15: PV-Fassadenverkleidung mit Montagesystem Konvortec®Energy

© Konvortec GmbH & Co. KG

#### **Weiterführende Informationen**

**[1] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt). 2019. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung – Glasfassadensystem KONVORTEC®**

→ [https://www.dibt.de/pdf\\_storage/2018/Z-70.2-178%281.70.2-9%2118%29.pdf](https://www.dibt.de/pdf_storage/2018/Z-70.2-178%281.70.2-9%2118%29.pdf) (12/2022)

**[2] Die Solarfassade von KONVORTREC energy – Für eine nachhaltige Zukunft** → <https://youtu.be/2joDEiUmD9c> (12/ 2022)

### 7.3.2.3 Rückseitig aufgeklebte Schienensysteme

Schienensysteme werden meist standardmäßig werkseitig auf der PV-Modulrückseite aufgeklebt und bieten, neben einer Montagehilfe, auch eine zusätzliche Stabilisierung für das PV-Modul.

Die Montage eines rahmenlosen Dünnschicht-Moduls kann auf diese Weise ohne sichtbare Klammern oder Pressleisten etc. erfolgen. Die Moduloberfläche bleibt, vergleichbar mit einer Glasfassade mit Hinterschnittankern, frei von Befestigungselementen. Dies unterstützt die Selbstreinigung der PV-Fassadenfläche. Unerwünschte Schmutzablagerungen und die Bildung von Dreckfahnen in der Fassade werden dank der ununterbrochenen Oberfläche der rahmenlosen Dünnschichtsolarmodule von vornherein vermieden.

- Architekturmodul SKALA®-, Avancis GmbH  
Avancis liefert seine SKALA®-Module mit einer solchen werkseitig fest mit den Modulen verbundenen Montagehilfe aus (Abb. 7.3.2.3-01). Avancis verwendet in seinen Produktbeschreibungen für diese Montagehilfe den englischen Begriff „Backrail-System“.

Die angebotenen SKALA-Architekturmodule besitzen ein Standardformat von 1.587 mm x 664 mm. Jedes Modul kann bei einer gleichbleibenden Breite von 664 mm in der Höhe von 664 mm bis 1.587 mm angepasst werden (Abb. 7.3.2.3-02). Die Dicke der Module inklusive Back-Rail-System beträgt 37 mm. Dies in Kombination mit Standard- und größenangepassten Modulen ermöglicht es, innerhalb der vorgegebenen Rahmenbedingungen bei der Planung flexibel auf kundenspezifische Abmessungen einer PV-Gebäudefassade einzugehen.

Die aktuell gültige allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) gestattet es, die Dünnschicht-Solarmodule SKALA sowohl im Hoch- als auch im Querformat einzubauen. Laut Pressemitteilung der Avancis GmbH sind Fassadenanwendungen mit Windlasten von bis zu 100 m Höhe mit diesen Modulen möglich (vgl. [1]).

Die Neigung der Fassade kann zwischen 0° und 90° liegen. Eine Neigung zur Vertikalen vom Bauwerk weg ist nicht möglich. So sollen Zugkräfte, die aus dem Eigengewicht der Module entstehen könnten, für die Klebefuge des Backrail-Systems ausgeschlossen werden (vgl. [2]).

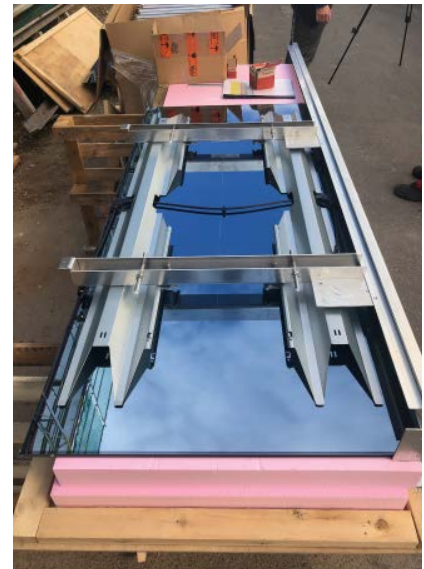


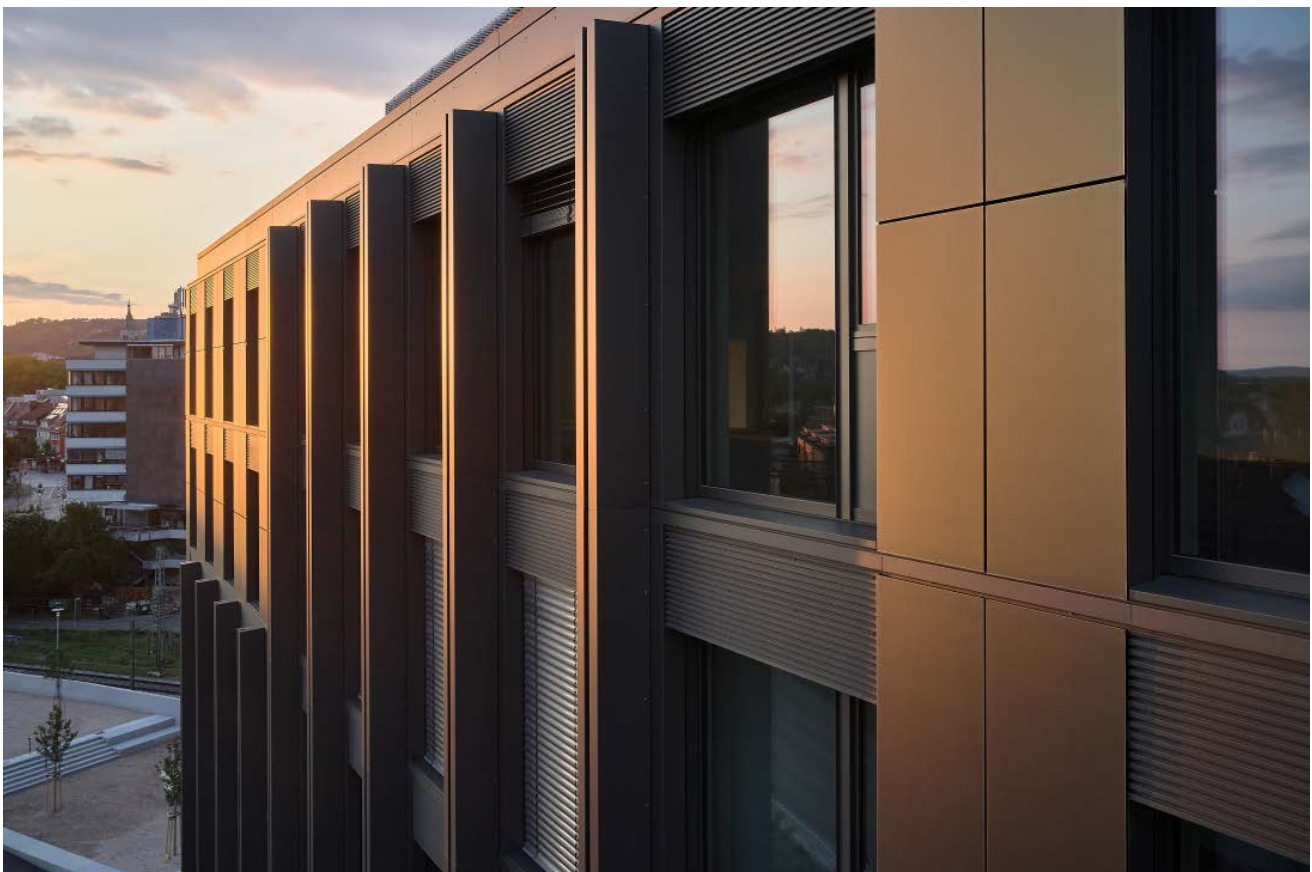
Abb. 7.3.2.3-01: AVANCIS SKALA®-Modul mit Back-Rail-System und vormontierten Agraffen für die horizontale Montage in der Fassade

© Aden/ HZB



© Avancis GmbH

Abb. 7.3.2.3-03: CIGS-Fassadenverkleidung mit SKALA-Modulen im Farbton „SKALA Grün 4002“, Campus Aqua, Büsserach, Schweiz, 146,67 kWp



© Avancis GmbH

Abb. 7.3.2.3-04: CIGS-Fassadenverkleidung mit SKALA-Modulen im Farbton „SKALA Bronze 3001“, WESTSPITZE in Tübingen, 82,42 kWp



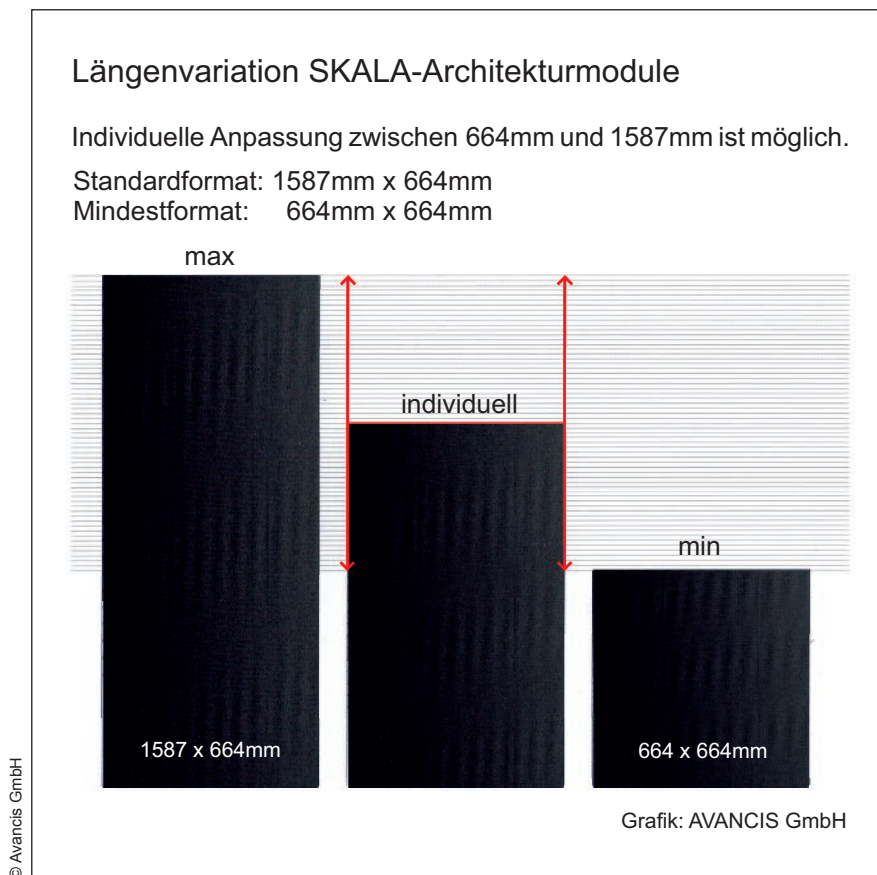


Abb. 7.3.2.3-02: Längenvariationen SKALA-Architekturmodule

Die Unterkonstruktion, an der die Fassadenmodule am Bauwerk befestigt werden, ist nicht Gegenstand der vorliegenden abZ und muss separat nachgewiesen werden. Eine mögliche Überkopf-Anwendung dieser Dünnschichtmodule ist ebenfalls nicht durch diese abZ abgedeckt.

Wie in Kapitel 4.3.2 vorgestellt, sind die SKALA-Module in verschiedenen Farben erhältlich. Nachfolgende Projektbeispiele verdeutlichen dies:

Abbildung 7.3.2.3-03 zeigt die PV-Fassadenverkleidung des Industriegebäudes Campus Aqua in Büsserach, Schweiz. Bei diesem Projekt bilden insgesamt 1.359 PV-Module in dem Farbton „SKALA Grün 4002“ auf einer Fläche von 1432m<sup>2</sup> die äußere Haut des Gebäudes. Die Anlagenleistung beträgt: 146,67 kWp

Die Abbildung 7.3.2.3-04 zeigt einen Fassadenausschnitt des Städtebauprojektes WESTSPITZE in Tübingen mit einer Fassadenverkleidung aus SKALA-Modulen im Farbton „SKALA Bronze 3001“. Insgesamt 634 Module verteilen sich über eine Fläche von 659 m<sup>2</sup>. Die Anlagenleistung ist mit 82,42 kWp angegeben.

Abschließend zeigen die Abbildungen 7.3.2.2-05 bis 7.3.2.2-10 SKALA-Module und ihre Montage als Teil einer vorgehängten hinterlüfteten Fassadenkonstruktion. Auf einer Fläche von 378 m<sup>2</sup> wurden insgesamt 360 SKALA-Module im Farbton „SKALA Blau 7003“ montiert. Die Anlagenleistung der PV-Fassade beträgt 49 kWp. Die Fassade gehört zu dem Erweiterungsbau der so genannten Testinghalle bei BESSY II in Adlershof auf dem Gelände des Helmholtz Zentrums Berlin.

Die Beschreibung zu dem Projektbeispiel „Stadtarchiv, Depot Amsterdam Nord, Amsterdam“ in Kapitel 8.1 geht im Detail auf die Montage der SKALA-Module mit Ihrem Back-Rail-System ein. Die Unterkonstruktion für dieses Projekt lieferte die Swiss Fassaden Technik AG aus Bern.

#### **Weiterführende Produktinformationen**

**[1] Avancis GmbH. 2020. Pressemitteilung vom 12. Juni 2020**

→ [https://www.avancis.de/\\_Resources/Persistent/b/6/b/b/b6bbf0b3bcedbcc1a2295636c90117bfc6570ea8/PM%20AVANCIS%20SKALA%20abz%20100620.pdf](https://www.avancis.de/_Resources/Persistent/b/6/b/b/b6bbf0b3bcedbcc1a2295636c90117bfc6570ea8/PM%20AVANCIS%20SKALA%20abz%20100620.pdf) (12/2022)

**Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt). 2021. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung. Dünnschicht-Solarmodul „PowerMax“, „SKALA“. Berlin**

→ <https://www.dibt.de/de/service/zulassungsdownload/detail/z-701-224> (12/2022)

**[2] SKALA-Module, Avancis GmbH** → <https://www.skalafacade.com/> (12/2022)

#### **Weiterführende Informationen zur VHF**

**[1] Allianz Bauwerkintegrierte Photovoltaik (Hg.). 2017. Richtlinie zur Nutzung von Bauwerkintegrierter Photovoltaik als vorgehängte hinterlüftete Fassade (BIPV-VHF-Richtlinie Ausgabe 2017/02).**

→ <https://allianz-bipv.org/2017/07/18/bipv-vhf-richtlinie/> (12/2022)

**[2] Internationale Föderation des Dachdeckerhandwerks e.V. (IFD). 2018. Fassadenrichtlinie 2018. IFD-Richtlinie für die Planung und Ausführung von vorgehängten, hinterlüfteten Fassaden.**

→ <https://www.fvvhf.de/Fassade-bilder/docs/ifd-fassadenrichtlinie-2017-de.pdf> (12/2022)

**[3] GWT-TUD GmbH und DAW SE (Hg.). 2016. Photovoltaik Fassaden. Leitfaden zur Planung. ISBN 978-3-86780-463-9**



© Avancis GmbH

Abb. 7.3.2.3-05: CIGS-Fassadenverkleidung mit SKALA-Modulen im Farbton „SKALA Blau 7003“, Helmholtz Zentrums Berlin, 49kWp



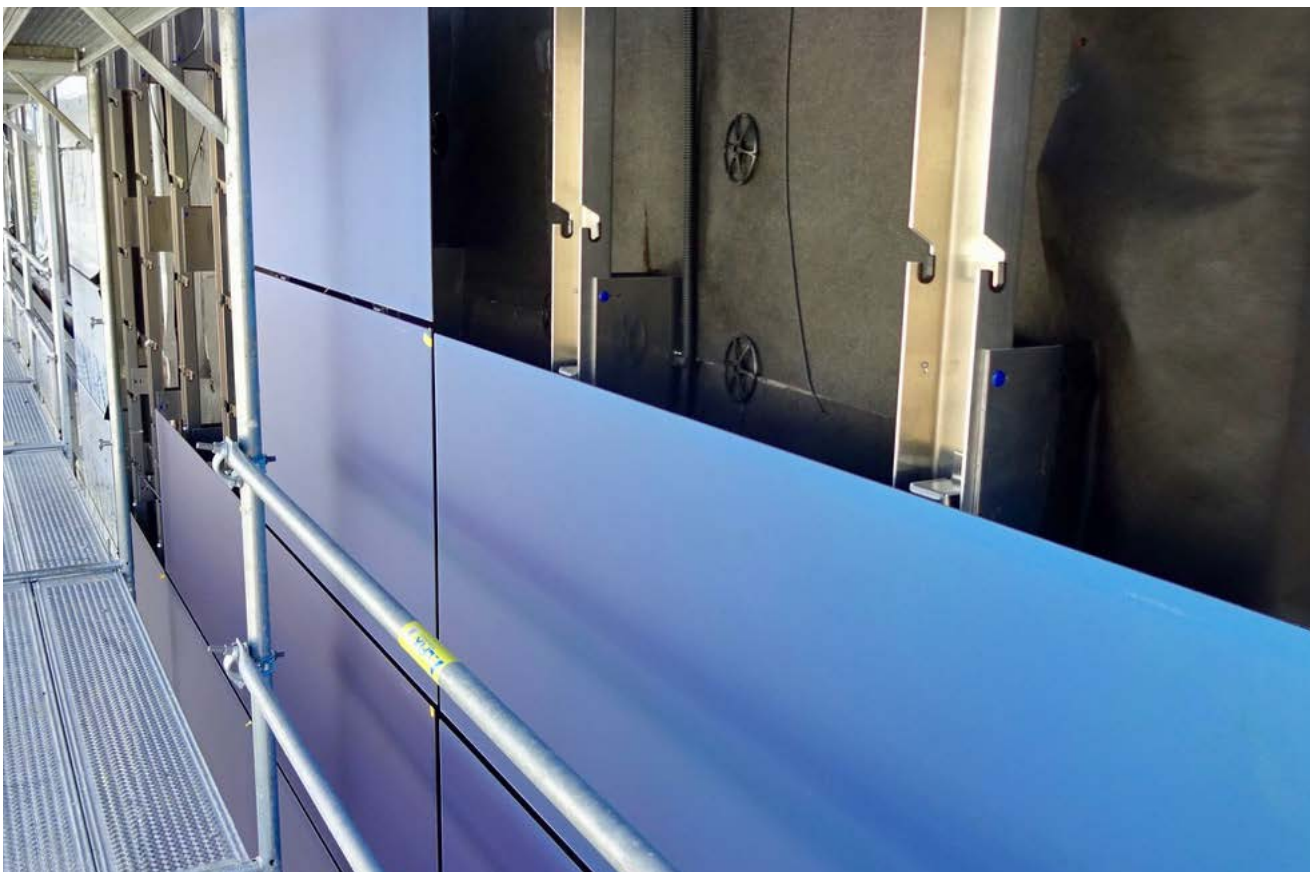
© Antonia Rötger / HBZ

Abb. 7.3.2.3-06: CIGS-Fassadenmodule vor der Montage, Farbton „SKALA Blau 7003“



© Aden/ HZB

Abb. 7.3.2.3-07: Für die Montage vorbereitete CIGS-Fassadenmodule



© T.Kühn/ HZB

Abb. 7.3.2.3-08: Blick „hinter die Kulisse“ der vorgehängten hinterlüfteten Fassade (VHF) mit den vertikalen Tragprofilen der Unterkonstruktion



Abb. 7.3.2.3-09: Montage der vorbereitete CIGS-Fassadenmodule

© Antonia Rötger/ HZB



Abb. 7.3.2.3-10: Fertiggestellte CIGS-Fassadenverkleidung

© Antonia Rötger/ HZB



Abb. 7.3.3-01: Detail Fläche zwischen zwei OPV-Modulen



Abb. 7.3.3-02: Gebäudefassade mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS) und interrierter OPV

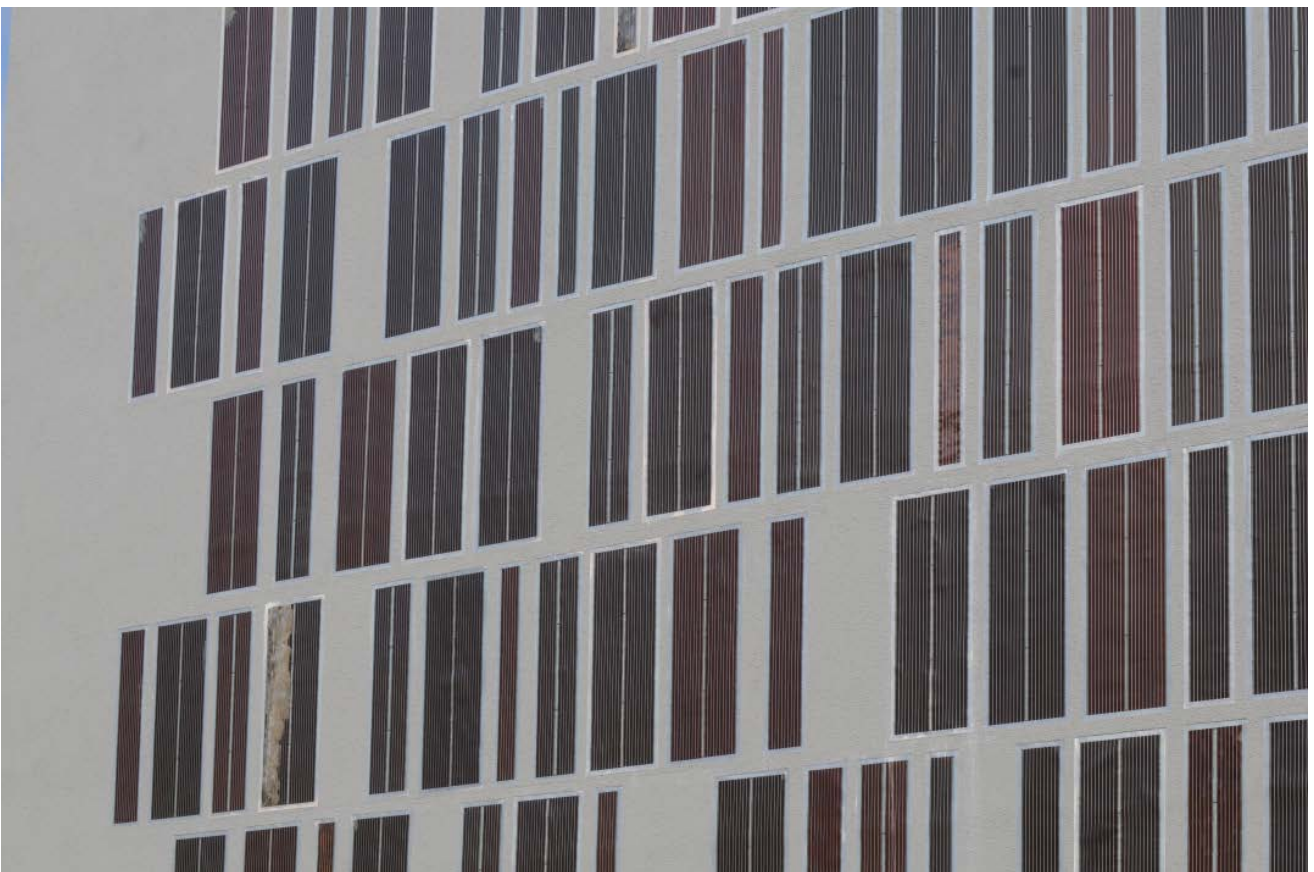


Abb. 7.3.3-03: Fassadenausschnitt mit in die Putzschichten integrierten OPV-Module

### 7.3.3 Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) mit PV

Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) werden sowohl in der energetischen Gebäudesanierung als auch im Neubau eingesetzt. Es bestehen aus einer Abfolge von aufeinander abgestimmten Schichten. Je nachdem, welches Dämmungsmaterial verwendet wird, kommen unterschiedliche Putze und Putzstärken zum Einsatz.

Schichtaufbau: Dämmmatten oder -platten werden direkt auf die lastabtragende Außenwand aufgeklebt und anschließend zusätzlich mit Dübeln mechanisch befestigt. Je geringer die Wärmeleitfähigkeit des Dämmmaterials ist, desto besser ist sein Wärmeschutz. Die Auswahl des Dämmmaterials hängt zudem von den Anforderungen, die an den Brandschutz in der jeweiligen Einbausituation gestellt werden, ab. Polystyrol-Platten werden am häufigsten verwendet. Auf die Dämmebene wird dann eine 1,5 mm bis 5 mm dicke Schicht Armierungsmörtel mit einer Einlage aus Glasfasergewebe, das Spannungen zwischen den äußeren und den inneren Putzschichten ausgleichen kann, aufgetragen. Abschließend kommt der Außenputz.

In einem ersten Projekt wurden in diesen Verbund aus Putzschichten testweise sehr leichte, flexible OPV-Module eingearbeitet (Abb.7.3.3-01 bis 7.3.3-04). Ein entsprechendes Bauprodukt gibt es bisher nicht am Markt. Vermutlich hat das auch damit zu tun, dass die Dauerhaftigkeit der OPV-Module in diesem Kontext noch nicht ausreichend ist.

Zum anderen liegt es auch daran, dass Wärmedämmverbundsysteme der bauaufsichtlichen Zulassungspflicht unterliegen. Dies bedeutet, dass im Rahmen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung, kurz abZ, für den gesamten Schichtaufbau eines WDVSs ein Verwendbarkeitsnachweis vorliegen muss. Dieser beinhaltet auch die Gewährleistung, dass ein WDVS zur Verbesserung der Energieeffizienz des Gebäudes führt. Ein Wärmedurchgangskoeffizient für eine Außenwand von mindestens  $U=0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  muss eingehalten werden.

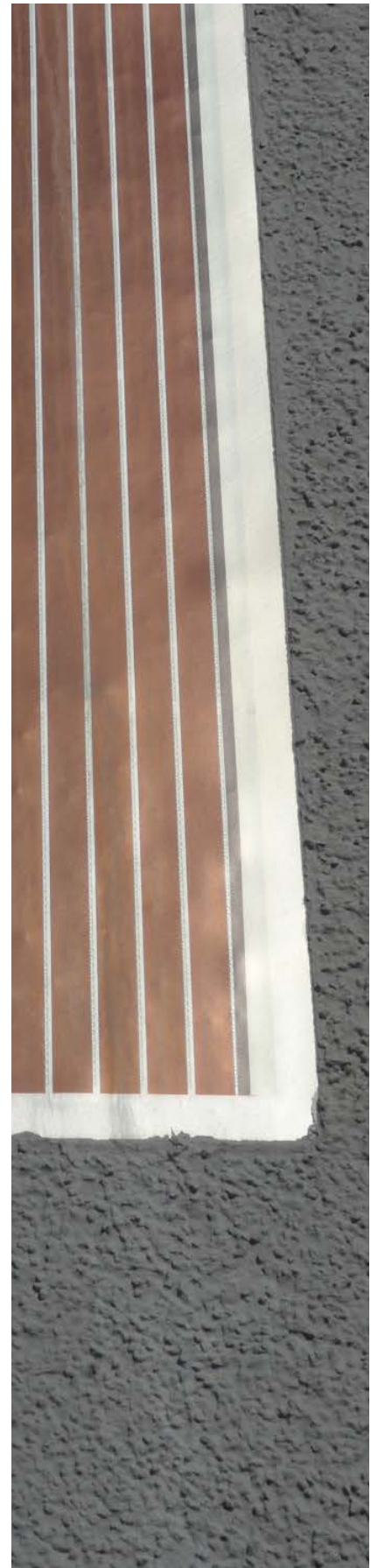


Abb. 7.3.3-04: Detail Übergang OPV zu Putz



© Bietzheimer Wohnbau GmbH

Abb. 7.4-01: Vogelperspektive AktivPLUS-Gebäude „UPTOWN – green living“, Stuttgart



© Bietzheimer Wohnbau GmbH

Abb. 7.4-02: OPV-Brüstungselemente, 10 kWp



## 7.4 Balkonbrüstungen und Brüstungsverkleidungen aus Glas mit PV

Geländer, Balkonbrüstungen und Umwehrungen dienen als bauliche Maßnahme, um Unfälle und Abstürze zu vermeiden. Sie sind überall dort notwendig, wo begehbare Flächen 50 cm bis 100 cm höher als der Untergrund sind. Nicht regelkonforme Ausführung bergen haftungsrechtliche Risiken.

Die Gesetzeslage, die für Deutschland in den verschiedenen Landesbauordnungen geregelt wird, ist nicht einheitlich und auch nicht eindeutig. Eine Orientierungshilfe zu diesem Thema bietet neben der Musterbauverordnung auch der Bundesverband öffentlich bestellter und vereidigter sowie qualifizierter Sachverständiger e.V. (BVS).

Die Höhe von Balkonbrüstungen bzw. Umwehrungen ist abhängig von der Fallhöhe. Für Arbeitsstätten gelten strengere Vorschriften:

- Bis 12 m Absturzhöhe: 90 cm (100 cm in Arbeitsstätten)
- Ab 12 m Absturzhöhe: 110 cm (110 cm in Arbeitsstätten)

Die Höhe von erforderlichen Fensterbrüstungshöhen liegt gemäß § 38 Abs. 4 der Musterbauordnung (MBO) in der Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 27.09.2019, und der Arbeitsstättenrichtlinie ASR 12/1-3 bei mindestens:

- Bis 12 m Absturzhöhe: 80 cm (100 cm in Arbeitsstätten)
- Ab 12 m Absturzhöhe: 90 cm (110 cm in Arbeitsstätten)

Geringere Brüstungshöhen sind zulässig, wenn durch andere Vorrichtungen, wie Geländer, die nach Absatz 4 vorgeschriebenen Mindesthöhen eingehalten werden.

Zusätzlich gibt es Bestimmungen für eine Über- und Durchkletter-Erschwernis für Kleinkinder. Sie regeln die Anordnung und Abstände von Gitterstäben einer Umwehrung, um eine Steighilfe zu vermeiden, die Kleinkinder z.B. zum Überklettern eines Geländers einladen.

Damit ist eine PV-Brüstungsverkleidung aus Glas im Außenbereich ein sicherheitsrelevantes Bauteil. Es erfordert den Einsatz von Sicherheitsglas oder eine Verglasung mit nachgewiesenen gleichwer-

tigen Eigenschaften. Dies ist erforderlich, um Personen, die sich auf Verkehrswegen unterhalb der absturzsichernden Verglasung aufhalten, bei Versagen der Brüstungsverkleidung vor ggf. herunterfallenden Glasbauteilen zu schützen. Hierzu kann auch Acrylglas verwendet werden, ein Kunststoff, der kostengünstiger und einfacher zu verarbeiten ist als Glas. Allerdings verkratzt Acrylglas aufgrund seiner weicheren Oberfläche schneller.

Balkongeländer können auch vollständig aus Glas bestehen. Es gibt keinen Halterahmen mehr für das Glas. Auf der oberen Glas-kante befindet sich oft ein Kantenschutz in Form eines Handlaufs. Solche Ganzglasgeländer sind meist vollständig geschlossen. Sie bieten einen guten Schutz gegen das Herunterfallen von Gegenständen. Gleichzeitig führt Ihre Bauausführung zu besonderen Anforderungen an die Entwässerung eines Balkons. Eine Anwendung solcher Ganzglasgeländer mit integrierten Dünnschichtmodulen gibt es bisher nicht.

Weit häufiger bestehen Balkongeländer aus einer Reihe von Metallpfosten, meist aus Edelstahl, in die Elemente aus Glas eingesetzt werden. Nachfolgend wird ein solches Beispiel mit integrierter OPV vorgestellt.

Die Abbildungen 7.4-01 bis 7.4-02 zeigen das AktivPLUS-Gebäude „UPTOWN - green living“ in Stuttgart. Es besteht aus 22 Wohnungen unterschiedlicher Größen, einer Gewerbeeinheit und einer Tiefgarage.

Ziel des Projektes war es, dass das Gebäude auf das Jahr bezogen in der Summe ebenso viel oder mehr regenerative Energie erzeugt, als es selbst für Heizung, Warmwassererzeugung und Strom verbraucht. Eine ganze Reihe von Maßnahmen tragen dazu bei, dieses Ziel zu erreichen, z. B. auch der Einbau einer Wärmepumpe, die die Abwasser-Wärme des öffentlichen Kanalnetzes nutzt.

Konsequenterweise beinhalten die Strategien des nachhaltigen Bauens auch, dass ungenutzte Dach- und Fassadenflächen für die PV eingesetzt werden. Auf dem Dach steht eine aufgeständerte 70 kWp Anlage aus kristallinen Modulen (Abb. 7.4-03 und Abb. 7.4-04).

In die Brüstungselemente der Balkonverglasung wurden erstmals grüne, transluzente OPV-Module integriert (Abb. 7.4-02, Abb. 7.4-05 bis Abb. 7.5-07). Konstruktiv ausgeführt wurde die OPV-Balkon-



Abb. 7.4-03: PV-Dachanlage mit kristallinen PV-Modulen, Gesamtleistung: 70 kWp



Abb. 7.4-04: Detail Dachaufständerung mit gerahmten kristallinen PV-Modulen



Abb. 7.4-05: Fassadenausschnitt mit Brüstungselementen aus Glas und integrierter OPV

© Biefelheimer Wohnbau GmbH

brüstung als zweiseitig gelagerte, linienförmige Verglasung. Die Glaselemente lieferte der Flachglasverarbeiter BGT Bischoff GmbH aus der Nähe von Karlsruhe. Die OPV-Module stammen von ASCA® und besitzen in der Summe eine Leistung von 10 kWp.

Neben der Herstellung der OPV-Komponenten selbst beteiligte sich ASCA® auch an der Planung der PV-Systemintegration, beginnend bei der Kabelverlegung über die Anschlusstechnik bis hin zum Wechselrichter.

Der Aufbau der OPV-Brüstungselemente besteht aus:

- 8mm TVG eisenoxidarmes Glas
- Sentry-Glas Folie
- OPV-Zellen, eingebettet in ein hochtransparenten PET-Folienpaket
- Sentry Glas Folie
- 8mm TVG eisenoxidarmes Glas

Als Einbettungsfolie für den Scheibenverbund wurden „Sentry-Glas“-Folien verwendet. BGT hatte damit die besten Erfahrungen

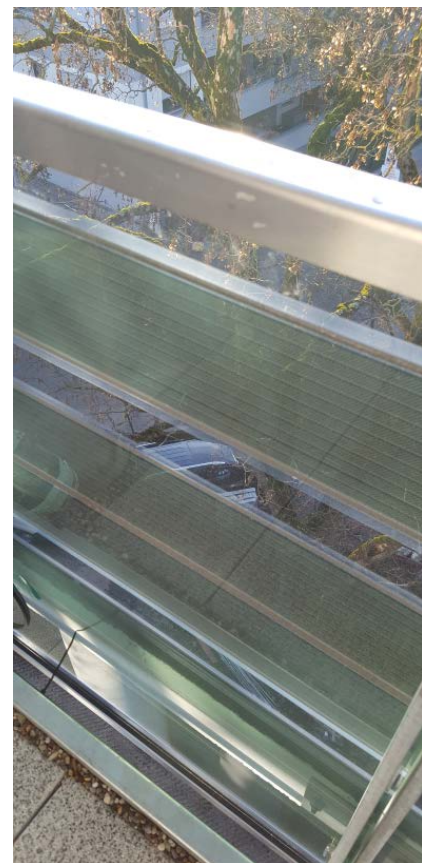


Abb. 7.4-06: Detail OPV-Brüstungselemente

© Stadtwerke Stuttgart

in Zusammenhang mit dem OPV-PET-Folienpaket gemacht. „Sentry-Glas“-Folien sind im Vergleich zu PVB-Folien bis zu fünfmal fester und hundertmal steifer. Ihre Eigenschaften erlauben es daher, VSG-Gläser dünner und leichter zu bauen als mit einer herkömmlichen PVB-Folie. Hinzu kam, dass schon für ein anderes Projekt Vorarbeiten geleistet worden waren, die bei der Beantragung einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) übernommen werden konnten.

Gekoppelt sind die beiden Photovoltaik-Anlagen des Gebäudes mit einem großer Batteriespeicher, der im Keller steht. Er hilft, tageszeitliche Schwankungen des solaren Energieangebots zu überbrücken. Die Firma enisyst GmbH lieferte das Batteriemangementssystem dazu.



Abb. 7.4-07: Je nach Lichtverhältnissen schimmern die grünlich transparenten OPV-Brüstungselemente von außen in einem anderen Farbton.

## 7.5 Glasfassaden und Über-Kopf-Verglasungen mit PV

Transparente Glasfassaden und Über-Kopf-Verglasungen mit PV, z. B. das Glasdach eines Wintergartens oder Atriums (Abb. 7.5-01), setzen sich aus Glaselementen und einem lastableitenden Tragwerk aus Metallprofilen zusammen.

Transparente Glasfassaden mit PV (Abb. 7.5-02) sind für den Architekten eine Herausforderung. Unterschiedliche funktionale Anforderungen an die transparente Gebäudehüllenfläche, z. B. Tageslichtnutzung, Ausblick, Sonnenschutz etc. müssen zusammengeführt werden und stehen unmittelbar in Konkurrenz zu einer solaren Stromerzeugung. Hinzu kommt, dass die Werte der solaren Einstrahlung auf einer vertikalen Fassadenfläche rund 30% geringer sind als bei optimaler Ausrichtung der solaraktiven Flächen. Dies lässt den Schluss zu, dass transparente Glasflächen aus energie-technischer Sicht keine maximale Solarstromerzeugung zulassen.

Jedoch ist die Höhe erzielbarer Solarstromerträge nicht mehr alleiniger Bewertungsmaßstab bei der Kostenkalkulation und Nutzung



Abb. 7.5-01: Wintergartenverglasung mit semitransparenten CdTe-Modulen, Graz



Abb. 7.5-02: Semitransparente CdTe-Glasfassade mit einem Transparenzgrad von 20%, Krankenhaus, Scheemda, Niederlande

dieser Flächen für die PV.

Neben eventuellen Marketingeffekten eines erfolgreich dokumentierten Umweltbewusstseins (vgl. Kapitel 2.3, Abb. 2.3-03, Kapitel 5.2, Abb. 5.2-02 bis 5.2-03 und Kapitel 6.2, Abb. 6.2-09), fordert die aktuelle Gesetzgebung indirekt dazu auf, alle Flächen eines Gebäudes für die solare Stromerzeugung zu nutzen. Zunehmend steht der Bausektor unter Druck, seinen Beitrag zur Erreichung der angestrebten Klimaziele zu leisten. Gebäude sind in Europa der größte Energieverbraucher. Sie verbrauchen 40 % der eingesetzten Energie und verursachen 36 % aller Treibhausgasemissionen in der EU.

Gemäß der geltenden EU-Gebäuderichtlinie „2010/31/EU“ sollten daher bereits heute in der EU alle neuen Gebäude mit einer weitgehend ausgeglichenen Gesamtenergiebilanz, auch als „Nearly Zero Energy Building (NZEB)“ bezeichnet, realisiert werden. Ein eventuell verbleibender Restenergiebedarf eines NZEB soll zu einem sehr großen Teil aus erneuerbaren Energiequellen, die vor Ort oder aus der Nähe stammen, abgedeckt werden. Dies ist eine Einladung und Aufforderung für eine verbrauchernahe Solarstromerzeugung auf den uns zur Verfügung stehenden Gebäudeflächen.

Das Tragwerk der transparenten Gebäudeflächen besteht in der Regel aus einer Pfosten-Riegel-Konstruktion aus Aluminium (Abb. 7.5-03). Es fasst PV-Ausfachungselemente an allen vier Seiten ein und schützt auf diese Weise die empfindlichen Kanten und die Kabelaustrittsöffnungen der PV-Module.

Eine Sonderform ist die Structural-Glazing-Fassade. Bei ihr ist das lastabtragende Tragwerk hinter der Glasebene angeordnet. Die Scheiben werden flächenbündig und ohne schützende Randeinfassung eingesetzt. Der Abstand zwischen zwei Scheiben wird durch Silikonfugen verschlossen.

Konstruktiv unterscheidet man verschiedene Varianten. Diese werden nachfolgend in Bezug auf eine Nutzung mit Dünnschichtmodulen näher vorgestellt:

- Kalt/Warmfassade
- Warmfassade
- Structural-Glazing Fassade
- Doppelfassaden
- Über-Kopf-Verglasungen

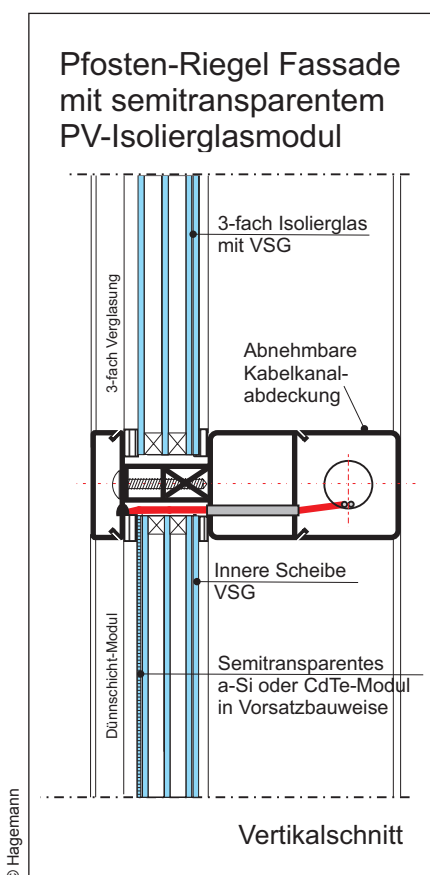


Abb. 7.5-03: Vertikalschnitt Pfosten-Riegelfassade mit Kabelführung für die PV-Module

### 7.5.1 Kalt/Warmfassade mit PV

Dieser Fassadentyp ist eine Kombination aus einer Kalt- und einer Warmfassade. Er findet sich oft bei Gebäuden in Skelettbauweise und aufgemauerten Brüstungen, typischerweise Bürogebäuden etc. Die transparenten Fassadenteile sind als Warmfassadenkonstruktion ausgeführt und die opaken Fassadenteile entsprechen dem Aufbau einer Kaltfassade.

Insbesondere Brüstungsflächen dieses Fassadentyps eignen sich für eine Nutzung von opaken CIS oder CaTe-Dünnschichtmodulen. Sie sind meist als horizontale Bänder in der Fassade angeordnet. Bei durchgehenden Brüstungsbändern ist eine PV-Verkabelung problemlos. Eine vertikale Verkabelung hingegen ist nicht so leicht herzustellen. In der Regel sind dazu spezielle Kabelkanäle und Deckendurchbrüche erforderlich, die bei der Planung berücksichtigt werden müssten. Nach Möglichkeit sollten sie aber vermieden werden.

Bauphysikalisch kritische Wärmebrücken können entstehen, wenn die Verlegung der Kabel innerhalb der Wärmedämmung erfolgt. Bei Kabelführungen ins Gebäudeinnere besteht die Gefahr von Luftlecks und einer möglichen Kondensatbildung. Diese Punkte müssen daher sorgfältig luftdicht verschlossen werden.

Abhängig von der jeweiligen Einbausituation ist bei der Auswahl des geeigneten PV-Brüstungsmaterials zu beachten, dass geltende Bestimmungen des Wärmeschutzes und des Brandschutzes, z. B. zum Feuerüberschlag von Geschoss zu Geschoss, gleichzeitig erfüllt werden müssen. Geeignete PV-Glaselemente sind, abhängig von den jeweils gültigen Anforderungen an den Brandschutz und Personenschutz, in der Regel rahmenlose PV-Module mit Einscheiben-Sicherheitsglas bzw. Doppelglas-Module, für die die Eigenschaften eines Verbundsicherheitsglases nachgewiesen wurden.

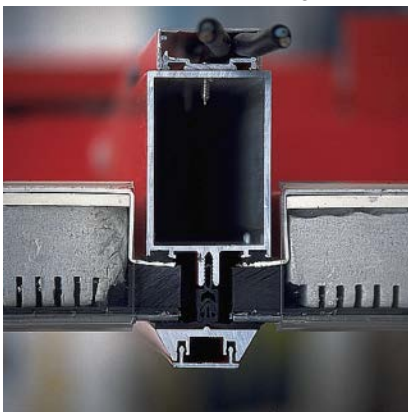
### 7.5.2 Warmfassaden

Transparente Glasflächen im Bauwesen erfüllen alle Anforderungen, die ansonsten ein mehrschichtiger Außenwandaufbau erfüllt, in nur einem einzigen Element. Das Glas übernimmt nicht nur die Funktionen des Witterungsschutzes, des Raumabschlusses, des Kontaktes mit der Außenwelt, sondern auch der Wärmedämmung. Weitere Funktionen, wie Sonnenschutz, Lärmschutz etc. kommen gegebenenfalls dazu. Warmfassaden besitzen keine Hinterlüftung



© Hagemann

Abb. 7.5.2.1-01: Muster Pfosten-Riegel-Fassade aus Edelstahl mit PV-Kabelführung



© Hagemann

Abb. 7.5.2.1-02: Muster Pfosten-Riegel-Fassade aus Aluminium mit wärmegeprägten Brüstungselement und PV-Kabelführung

(Abb. 7.5-03).

### 7.5.2.1 Vorhangfassaden

Vorhangfassaden sind selbsttragend. Sie übernehmen keine anderen statischen Lasten. Dieser Konstruktionstyp besteht in der Regel aus einer durchgehenden Pfosten-Riegel-Konstruktion die meist komplett verglast ist (Abb.7.5.2.1-01). Sie bildet die wärmeisolierte Trennung zwischen dem Innen- und Außenbereich. Teile der Fassade können wahlweise auch aus Fensterelementen zum Öffnen bzw. wärmegeprägten Paneelen, z. B. im Brüstungsbereich, bestehen (Abb. 7.5.2.1-02). Vor allem im Büro und Verwaltungsbau bzw. bei repräsentativen (Hoch-)Häusern kommt dieser Fassadentyp zum Einsatz.

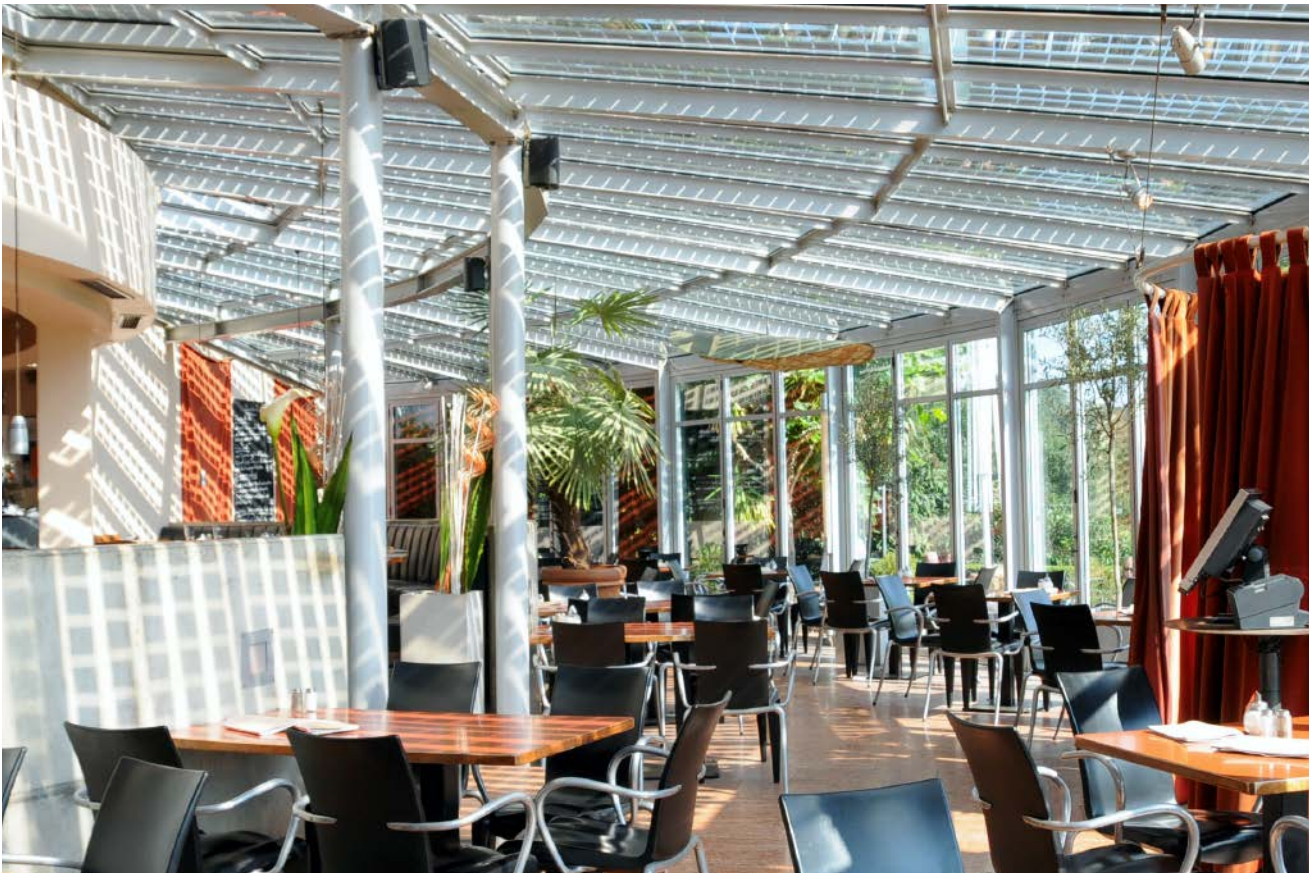
Die Photovoltaik kann für den Architekten konstruktiv leicht integriert werden, da sowohl PV-Modulhersteller als auch Fassadenbauer ausgereifte, speziell auf die PV abgestimmte, Konstruktionslösungen anbieten.

Als semitransparente PV-Fassadenelemente stellen die Module einen Bezug zur Außenwelt her und ermöglichen, in Abhängigkeit von der verwendeten PV-Zellentechnologie, Lichteffekte im Gebäudeinneren.

Diese Lichteffekte, hervorgerufen durch starke Licht- und Schattenkontraste, treten nur bei kristallinen Modulen auf (Abb. 7.5.2.1-03). Transparente Glasfassaden mit a-Si- oder CdTe-Modulen bieten diese Lichteffekte nicht. Solche Lichteffekte können erwünscht sein, weil sie eine interessante Raumstimmung schaffen, stehen aber möglicherweise auch in Konkurrenz zu einem freien Ausblick bzw. einer Tageslichtnutzung in einem Büro. In der Planung müssen entsprechende Überlegungen bei der Auswahl der Zellentechnologie und des Modulaufbaus berücksichtigt werden. Harte Licht- und Schattenkontraste können z.B. auch durch eine lichtstreuende Folie im Scheibenverbund unterbunden werden

Die PV-Glaselemente können die ganze Fassade bedecken bzw. im Wechselspiel mit Flächen, die mit einer konventionellen Verglasung ausgefacht sind, in einer Fassade eingesetzt werden (vgl. Kapitel 2.3, Abb. 2.3-03). Die angrenzende Raumnutzung ist bei der Anordnung der Solarmodule zu berücksichtigen. Als Teil einer raumabschließenden Vorhangfassade müssen PV-Glaselemente nicht nur für die Stromerzeugung taugen, sondern gleichzeitig auch alle sonstigen Anforderungen, die an eine konventionelle Verglasung in der Einbausituation gestellt werden, erfüllen.





© Hagemann

Abb. 7.5.2.1-03: Stimmungsvolle Licht- und Schattenkontraste hervorgerufen durch direktes Sonnenlicht - Schön im Café aber ungünstig am PC-Arbeitsplatz



© Sanko Solar

Abb. 7.5.2.1-04: Lichteffekte durch direktes Sonnenlicht bei einer semitransparenten Glasfassade CdTe-Zellen. Schlagschatten wird nur durch die Pfosten-Riegel-Profile geworfen, nicht aber durch die CdTe-Module selbst.

### Modul- und Isolierglasaufbauten für transparente CdTe-Module (Hersteller: Sanko Solar)

- Transparenzgrad: 20%
- Angabe Größenformate (Länge x Breite)
- <sup>2</sup> - Moduleistung: ca.110Wp/m



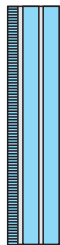
Moduldatenblatt Nr. 1  
Transparenzgrad: 20%  
Gesamtdicke: 9±1 mm  
- 3,2 mm CdTe  
- PVB-Folie  
- 5 mm Glas

Größe Nr. 1: 1200 x 600 mm



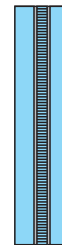
Moduldatenblatt Nr. 18  
Transparenzgrad: 20%  
Gesamtdicke: 7±1 mm  
- 3,2 mm CdTe  
- PVB-Folie  
- 3,2 mm Glas

Größe Nr. 18: 1200 x 600 mm



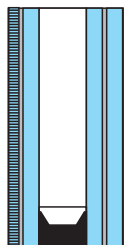
Moduldatenblatt Nr. 2/3  
Gesamtdicke: 16±1 mm  
- 3,2 mm CdTe  
- PVB-Folie  
- 5 mm Glas  
- PVB-Folie  
- 5mm Glas

Größe Nr. 2: 1200 x 600 mm  
Größe Nr. 3: 600 x 600 mm



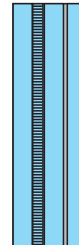
Moduldatenblatt Nr. 6/7/8/9  
Gesamtdicke: 17±1 mm  
- 6 mm TVG  
- PVB-Folie  
- 3,2 mm CdTe  
- PVB-Folie  
- 6 mm TVG

Größe Nr. 6: 3000 x 600 mm  
Größe Nr. 7: 3600 x 600 mm  
Größe Nr. 8: 3000 x 900 mm  
Größe Nr. 9: 3600 x 900 mm



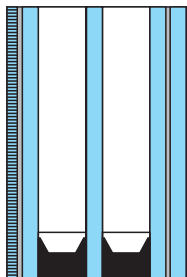
Moduldatenblatt Nr. 4  
Gesamtdicke: 36±1 mm  
- 3,2 mm CdTe  
- PVB-Folie  
- 5 mm Glas  
- 15 mm Luftschicht  
- 5mm Glas  
- PVB-Folie  
- 5mm Glas

Größe Nr. 4: 1200 x 600 mm



Moduldatenblatt Nr. 10/11/12/13  
Gesamtdicke: 23±1 mm  
- 6 mm TVG  
- PVB-Folie  
- 3,2 mm CdTe  
- PVB-Folie  
- 5 mm Glas  
- PVB-Folie  
- 5 mm Glas

Größe Nr. 10: 3000 x 600 mm  
Größe Nr. 11: 3600 x 600 mm  
Größe Nr. 12: 3000 x 900 mm  
Größe Nr. 13: 3600 x 900 mm



Moduldatenblatt Nr. 5  
Gesamtdicke: 36±1 mm  
- 3,2 mm CdTe  
- PVB-Folie  
- 5 mm Glas  
- 15 mm Luftschicht  
- 5mm Glas  
- 15mm Luftschicht  
- 5mm Glas  
- PVB-Folie  
- 5mm Glas

Größe Nr. 5: 1200 x 600 mm

Dies ist möglich, indem der herkömmliche Aufbau eines PV-Glaselementes um spezielle Gläser und Schichten ergänzt wird, abhängig von den spezifischen Anforderungen des Einsatzortes. Anbei ein Beispiel für die Varianten, die Sanko Solar für seine transparenten CdTe-Module mit einem Transparenzgrad von 20% anbietet (Abb. 7.5.2.1-05). Stetig steigende Ansprüche an Komfort und Wärmeschutz führen heute dazu, dass meist nur noch PV-Fassadenelemente mit 3-fach-Isolierglas die geltenden Anforderungen des Wärmeschutzes erfüllen können.

Bauphysikalisch ist bei einer PV-Isolierverglasung zu beachten, dass die hohe Strahlungsabsorption der dunklen Zellen zu einer starken Erwärmung des Isolierglasverbundes führen kann. Um eine daraus resultierende Wärmebelastung des Innenraums so gering wie möglich zu halten, sollte das innenliegende Glas mit einer Beschichtung versehen sein, die den Einfluss der IR-Strahlung auf die Innenscheibe minimiert.

PV-Module, die für eine Integration in Warmfassaden gefertigt werden, besitzen eine Kantenanschlussdose, die eine vollständig verdeckte Kabelführung innerhalb einer Pfosten-Riegel-Fassade erlaubt

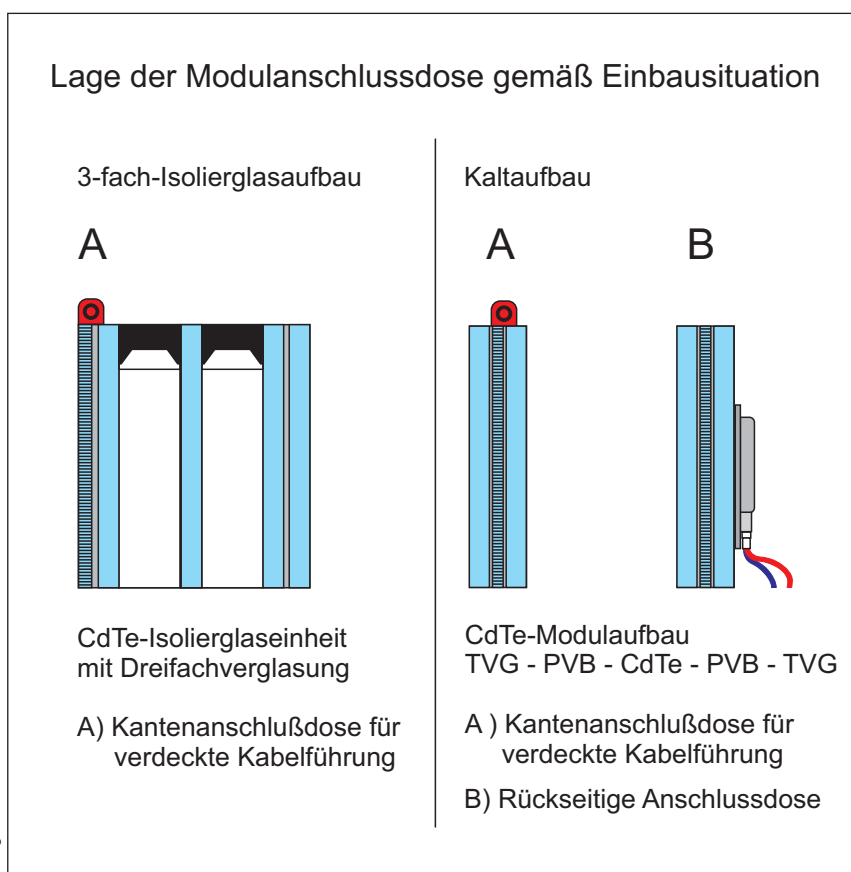
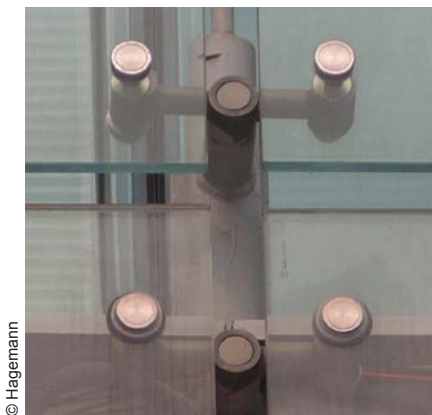


Abb. 7.5.2.1-06: Lage der Modulanschlussdose gemäß Einbausituation

(vgl. Variante A in Abb. 7.5.2.1-06). Die Kabel werden direkt in den Hohlkammerprofilen verlegt bzw. befinden sich hinter abnehmbaren Abdeckungen (Abb. 7.5-03, Abb. 7.5.2.1-01 und Abb. 7.5.2-02). Auf diese Weise verläuft die Kabelführung unsichtbar in Fassadenprofilsystemen aus Aluminium oder Stahl. Der Gebäudenutzer bekommt eine Fassade mit einem ungestörten Ausblick, der frei ist von Kabeln und Anschlussdosen.

Die PV-Verkabelung wird auf die warme Seite der Fassade geführt. Jede dieser Kabeldurchführungen stellt eine Wärmebrücke dar, an der die Gefahr der Kondensatbildung besteht. Vermieden wird dies durch eine luftdichte Ausführung der Durchstoßpunkte. Erforderliche Bohrungen in den Fassadenprofilen sollten nur in Abstimmung mit dem Fassadenhersteller erfolgen, da diese zu einer statischen Schwächung der Konstruktion führen könnten. Fassadenprofilhersteller bieten heute spezielle modifizierte Fassadenprofile für den Bau von PV-Fassaden an.

Für die Außenseite der Fassade sollten möglichst flache Profile verwendet werden. Dies minimiert die Gefahr einer möglichen Eigenverschattung der angrenzenden PV-Module.



© Hagemann

Abb. 7.5.2.2-01: Punktförmige Halter mit durchgehender Bohrung

### 7.5.2.2 Structural-Glazing-Fassaden

Sie eignen sich prinzipiell gut für eine Integration der PV. Es gibt keine Glasleisten, Fassadenprofile oder sonstigen vorspringenden Elemente auf der sonnenzugewandten Seite der Fassade. Ein Maximum der Fassadenoberfläche steht für eine solare Stromerzeugung zur Verfügung.

Die einzelnen Fassadenelemente aus Glas können in Position gehalten werden durch

- punktförmige Halter, die durch durchgehende Bohrungen im Glas gesetzt werden (Abb. 7.5.2.2-01 und Abb. 7.5.2.3-01)
- Hinterschnittanker (vgl. Kapitel 7.3.2.2, Abschnitt „Punktförmige Halterungen mit Hinterschnittanker“)
- Klebeverbindungen mit einer dahinterliegenden, lastabtragenden Unterkonstruktion“

Geeignete Verglasungselemente für Structural-Glazing-Fassaden sind semitransparente PV-Doppelglasmodule oder Isoliergläser mit integrierter Photovoltaik. PV-Lamine hingegen werden nicht verarbeitet, da die zugelassenen Structural-Glazing-Techniken allein auf die direkte Verklebung von Glas und Metall abgestimmt sind.

Aufgrund dieses aufwendigen Sandwichaufbaus wurden diese Konstruktionen bisher nicht für Dünnschichtmodule verwendet. Es wird aber erwartet, dass sich mit der Weiterentwicklung der OPV neue, bunte, transparente Fassadenkonstruktionen aus Glas einen Markt erobern könnten. Ein erster Schritt in diese Richtung ist ein Projekt einer Balkonbrüstungsverglasung mit integrierter, transparenter, grüner OPV (vgl. Projektbeschreibung in Kapitel „7.4 Balkonbrüstung aus Glas mit PV“ und Abb. 7.5.2.2-02).

Im Vergleich zu einer konventionellen Verglasung stellen Glaselemente mit integrierter PV prinzipiell keine zusätzlichen Anforderungen an die Statik einer Structural-Glazing-Fassadenkonstruktion. Bei sehr großen Fassadenelementen sind jedoch Frontgläser von mehr als 6 mm Dicke erforderlich. Die erhöhte Lichtabsorption und -streuung dieser dicken Gläser sind nicht optimal für eine PV-Nutzung.

Es ist jedoch festzuhalten, dass es bei geklebten Structural-Glazing Fassaden mit kristallinen PV-Zellen schon vorgekommen ist, dass sich Risse in der PV-Verglasung gebildet haben. Es wird vermutet, dass hierfür thermisch Spannungen verantwortlich sind. Die dies-



Abb. 7.5.2.2-02: OPV-Balkonverglasung als erster Schritt in die Richtung von ganzen Glassfassaden mit integrierter OPV

bezügliche Belastung der Fassadenmodule ist hoch. Neben einer saisonalen Änderung der Lufttemperatur ist hierfür vor allem die Absorption der solaren Einstrahlung durch die dunkelfarbigen Solarzellen verantwortlich.

### 7.5.2.3 Doppelfassaden

Merkmal einer Doppelfassade ist, dass vor eine vorhandene Fassade eine zweite, hinterlüftete, transparente Glasfassade gesetzt wird (Abb. 7.5.2.3-01). Die zusätzliche Fassadenschicht erlaubt es, höhere Anforderungen an Witterungs- und Windschutz sowie Lärmschutz zu erfüllen. Vor allem bei repräsentativen Büro- und Verwaltungsgebäuden in dicht besiedelten Städten bzw. bei Hochhäusern kommt dieser Fassadentyp zum Einsatz.

Der Abstand zwischen innerer und äußerer Fassade beträgt 20–120 cm. Die innere Glasfassade übernimmt die Funktion des Wärmeschutzes, die äußere die des Witterungsschutzes. Der Zwischenraum kann zur Klimatisierung verwendet werden, einen Sonnenschutz witterungsgeschützt aufnehmen oder erlaubt es, Fenster der inneren Fassade auch in großen Gebäudehöhen zu öffnen.



Abb. 7.5.3-01: Structural-Glazing-Doppelfassade mit Punkthaltern und kristallinen Solarmodulen

PV-Glaselemente können sinnvollerweise nur in die äußere Fassade integriert werden. Konventionelle Glasscheiben für die äußere Haut einer Doppelfassade bestehen in der Regel aus 10–15 mm dickem Einscheibensicherheitsglas. Denkbar sind z. B. am Markt verfügbare Einscheibensicherheitsgläser mit CdTe-Zellen.

Befestigt wird die äußere Glashülle meist durch speziell entwickelte Montagesysteme, die eine großflächige Verglasung erlauben. Häufig werden auch rahmenlose Konstruktionen mit punktförmigen Halterungen eingesetzt. Die Kabel der Module können im Stoßbereich der PV-Glaselemente in den Scheibenzwischenraum geführt werden. Dort erfolgt dann die Verkabelung horizontal und vertikal. Eine sorgsame Planung und Ausbildung der Details sind erforderlich.

Im Vergleich zu einer Warmfassade besteht der Vorteil, dass die PV-Module hinterlüftet sind und sich damit nicht so aufheizen. Insgesamt gibt es aber bisher kaum Erfahrungen für diesen Fassadentyp in Kombination mit PV. Es gibt bisher kein Anwendungsbeispiel mit Dünnschichtsolarzellen.

#### 7.5.2.4 Über-Kopf-Verglasungen

Im Vergleich zu den senkrechten Fassadenflächen bieten Über-Kopf-Verglasungen bessere Einstrahlungsbedingungen für eine PV-Nutzung. Insbesondere nach Süden geneigte Flächen eignen sich gut. Typische Gebäudenutzungen sind die Verglasung von Atrien, Wintergärten und witterungsgeschützten Aufenthaltszonen, z. B. eine Bahnsteigüberdachung sowie Lichtbänder und Scheds (Abb. 7.5.2.4-01 bis 7.5.2.4-03).

Semitransparente amorphe Module oder CaTe-Module werden gerne für diese Einbausituation eingesetzt, weil sie neben einer solaren Stromproduktion die Funktion eines Sonnenschutzes übernehmen können (vgl. Abb. 7.5.2.4-04 und 7.5.2.4-05). Ihr Einsatz trägt dazu bei, dass die Gefahr einer Überhitzung der dahinter liegenden Räume vermieden wird.

Konstruktiv gelten für PV-Verglasungen die gleichen Ausführungen, wie sie für Glasfassaden dargelegt wurden. Besonders zu beachten ist bei diesem Einsatzfeld der Photovoltaik, dass

- die speziellen Anforderungen einer absturzsichernden Verglasung im Über-Kopf-Bereich durch einen Schichtaufbau mit den Eigenschaften eines Verbundsicherheitsglases erfüllt werden müssen



Abb. 7.5.2.4-01: CdTe-Überkopfverglasung, Objekt Grijpskerk, Niederlande, 3,24 kWp



Abb. 7.5.2.4-02: Ansicht von unten, Objekt Grijpskerk, Niederlande



Abb. 7.5.2.4-03: Detail CdTe-Verglasung, Transparenzgrad 20 %



© Sanko Solar

Abb. 7.5.2.4-04: Über-Kopf-Verglasung mit semitransparenten CdTe-Modulen, Transparenzgrad 20%, Objekt



© Sanko Solar

Abb. 7.5.2.4-05: Ansicht von Innen, Über-Kopf-Verglasung mit semitransparenten CdTe-Modulen, Transparenzgrad 20%, Objekt



- einseitig abgeschrägten oder gar keinen Profilen auf der Außenseite der PV-Über-Kopf-Verglasung der Vorzug gegeben wird, da sie einen Abfluss von Regenwasser begünstigen und dazu beitragen, Schmutzablagerungen zu minimieren (Abb. 7.5.2.4-08)
- Vorkehrungen für eine Reinigungsmöglichkeit der PV-Über-Kopf-Verglasung eingeplant werden. Ab ca. 60° Neigung aus der Vertikalen können sich Schmutzablagerungen an horizontal verlaufenden Profilen bilden, die mit der Zeit bis in den Bereich der aktiven Zellenfläche eines PV-Moduls reichen.

Die Abbildungen 7.5.2.4-06 bis Abb. 7.5.2.4-08 zeigen ein Oberlicht in dem Sitzungssaal der EVU Minden-Ravensburg in Bad Oenhausen. Das Gebäude wurde von dem Architekten Frank O. Gehry entworfen. Die Gesamtleistung der PV-Verglasung beträgt 2,4 kWp.

Die Abbildung 7.5.2.4-10 bis 7.5.2.4-12 zeigen ein Projektbeispiel von Sanko Solar mit einer Oberlichtverglasung mit 3-fach-Isolierglas und integrierten CdTe-Modulen. Der Transparenzgrad der CdTe-Module beträgt 20%. Für Details zum Modulaufbau vgl. Abbildung



Abb. 7.5.2.4-06: EVU Minden-Ravensburg, Bad Oenhausen, Architekt: Frank O. Gehry

© Hagemann



Abb. 7.5.2.4-07: Innenansicht Oberlicht mit a-Si-Isolierglasmodulen, EVU Minden-Ravensburg, Bad Oenhausen

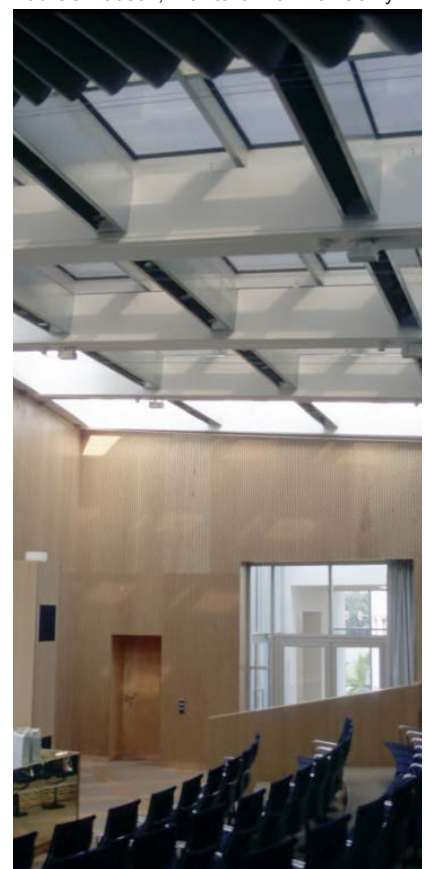


Abb. 7.5.2.4-09: Sitzungssaal mit PV-Oberlicht EVU Minden-Ravensburg, Bad Oenhausen

© Hagemann

© Hagemann

© Hagemann

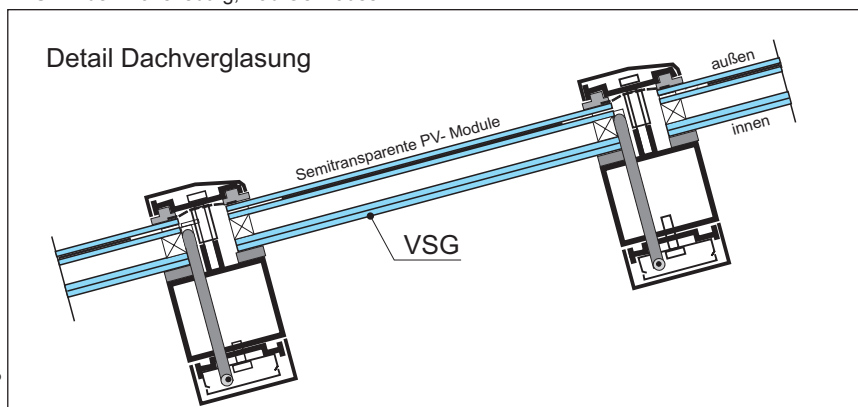


Abb. 7.5.2.4-08: Vertikalschnitt Oberlichtverglasung mit a-Si-Isolierglasmodulen, EVU Minden-Ravensburg, Bad Oenhausen



© Handelsforum Bayern

Abb. 7.5.2.4-10: Außenansicht Oberlichtverglasung mit semitransparenten CdTe-Isolierglasmodulen von Sanko Solar, Objekt Waldstetten



© Handelsforum Bayern

Abb. 7.5.2.4-11: Detail Cd-Te-Verglasung mit 3-fach Isolierglasmodulen von Sanko Solar, Objekt Waldstetten



© Handelsforum Bayern

Abb. 7.5.2.4-12: Innenansicht Oberlichtverglasung mit 3-fach Isolierglas und integrierten Cd-Te-Modulen von Sanko Solar, Transparenzgrad 20%, Objekt Waldstetten



© Hagemann

Abb. 7.5.2.4-13: Innenansicht Oberlichtverglasung mit a-Si-Isolierglasmodulen, 52 m<sup>2</sup>, 2,4 kWp



© Glaswerke Arnold GmbH & Co. KG

Abb. 7.5.2.4-14: Dachansicht Oberlichtverglasung



© Glaswerke Arnold GmbH & Co. KG

Abb. 7.5.2.4-15: Detail Oberlichtverglasung mit in Entwässerungsrichtung unterbrochenen Profilleisten



© Hagemann

Abb. 7.5.2.4-16: Detailsicht Isolierglasmodule mit semitransparenten a-Si Modulen

## 7.5.2.1-05.

Die Abbildungen 7.5.2.4-11 bis 7.2.4-14 zeigen einen Kindergarten mit einer Atriumverglasung aus a-Si-Isolierglasmodulen in München. Die Gesamtfläche der Über-Kopf-Verglasung mit transparenten a-Si-Isolierglasmodulen beträgt 52 m<sup>2</sup>. Die Anlagenleistung ist 2,5 kWp.

**Weiterführende Informationen**

- [1] **Europäische Kommission (Hg.). 2021. Europäischer Grüner Deal: Kommission schlägt vor, die Renovierung und Dekarbonisierung von Gebäuden zu fördern. Pressemitteilung vom 15.12.2021. Brüssel.**  
→ [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip\\_21\\_6683](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_21_6683) (12/2022)
- [2] **Europäische Norm, die die Anforderungen an Vorhangfassaden festlegt, die als Gebäudehülle verwendet werden: DIN EN 13830:2020-11. Vorhangfassaden - Produktnorm; Deutsche Fassung EN 13830:2015+A1:2020**  
→ <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nabau/veroeffentlichungen/wdc-beuth.din21:306849606> (12/2022)
- [3] **DIN 18008. Glas im Bauwesen**  
→ [https://www.din.de/de/meta/suche/62730!search?\\_csrf=c8e6e507-06ff-4b08-882c-e53b3514ed0d&query=DIN+18008](https://www.din.de/de/meta/suche/62730!search?_csrf=c8e6e507-06ff-4b08-882c-e53b3514ed0d&query=DIN+18008) (12/2022)
- [4] **DIN EN 13022-1 Glas im Bauwesen - Geklebte Verglasungen - Teil 1: Glasprodukte für Structural-Sealant-Glazing (SSG-) Glaskonstruktionen für Einfachverglasungen und Mehrfachverglasungen mit oder ohne Abtragung des Eigengewichtes; Deutsche Fassung EN 13022-1:2014**  
→ <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nabau/veroeffentlichungen/wdc-beuth.din21:207178772> (12/2022)
- [5] **DIN EN 13022-2 Glas im Bauwesen - Geklebte Verglasungen - Teil 2: Verglasungsvorschriften für Structural-Sealant-Glazing (SSG-) Glaskonstruktionen; Deutsche Fassung EN 13022-2:2014**  
→ <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nabau/veroeffentlichungen/wdc-beuth.din21:207178826> (12/2022)
- [6] **Musterbauordnung (MBO) in der Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 27.09.2019**  
→ [https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Rechtsgrundlagen/MBO\\_2019.pdf](https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Rechtsgrundlagen/MBO_2019.pdf) (12/2022)
- [7] **Technische Regeln für Arbeitsstätten (ASR)**
- [8] **aktivplus e.V.** → <https://aktivplusev.de> (12/2022)

## 7.6 Sonnenschutz mit PV

Dünnschichtmodule selbst oder als Bauteil eines Sonnenschutzsystems schützen ein Gebäude und seine Bewohner vor übermäßiger Sonneneinstrahlung und Aufheizung. Sie können als prägnantes Gestaltungsmittel eingesetzt werden.

Sie bieten einzelnen Fenstern oder Oberlichtern Schutz oder sind ein Schutzschild für ganze Fassaden. Als Teil einer Pergola mit festen oder beweglichen Lamellen bieten sie auch Schatten für einen Platz im Freien (Abb. 7.6-01).

Eine andere Bauform als Schattenspender bieten CIGS-Solarmodule aus zylindrischen Glasröhren (vgl. Kapitel 4.3.2 CIS/CIGS-Zellen und -Module). Auch sie eignen sich als feststehender Schattenspender für Pergolakonstruktionen (Abb. 7.6.1-08 bis Abb.7.6.1-13).

Aufgaben eines Sonnenschutzsystems am Gebäude sind:

- Schutz vor direktem Sonnenlicht
- Schutz gegen Blendung
- Modulation des Tageslichtes
- Kühlung der Gebäudehülle

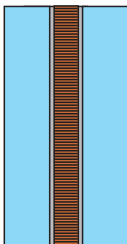
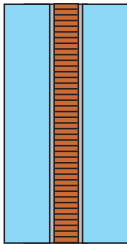
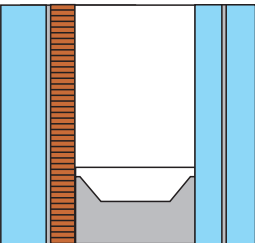


© Hagemann

Abb. 7.6-01: Pergola mit beweglichen Dünnschichtsolarmodulen, Messe Intersolar 2017

## Vergleich g-Werte von Sonnenschutzeinrichtungen mit a-Si-Dünnschichtmodulen

Beispiel: ASI<sup>®</sup>-Glas, Schott Solar GmbH\*

Sonnenschutzsystem	Lichttransmission (Light Transmission) [%]	g-Wert (SHGC)	U-Wert (U-value) [W/m <sup>2</sup> K]
Innenliegendes Rollo, weiß**	40%	0,61	1,4 W/m <sup>2</sup> K
Innenliegende Jalousie, beige**	39%	0,61	1,4 W/m <sup>2</sup> K
außenliegende Fassadenmarkise, hellgraues Acryltuch**	9%	0,61	1,4 W/m <sup>2</sup> K
außenliegender Raffstore, weiß seitliche Führungen durch ummantelten Stahldraht**	12%	0,61	1,4 W/m <sup>2</sup> K
außenliegender Raffstore, weiß seitliche Führungen durch Führungsschiene**	7%	0,61	1,4 W/m <sup>2</sup> K
 <p><u>Modulaufbau „ASI-OPAK-4x-L“ *</u>  - 6 mm TVG  - PVB-Folie  - a-Si Solarzelle (Typ ASI THRU)  - PVB-Folie  - 6 mm TVG  Gesamtdicke: 17 mm</p>	1%	0,23	61 W/m <sup>2</sup> K
 <p><u>Modulaufbau „ASI-THRU-4x-L“ *</u>  - 6 mm TVG  - PVB-Folie  - a-Si Solarzelle (Typ ASI THRU)  - PVB-Folie  - 6 mm TVG  Gesamtdicke: 17 mm</p>	10%	0,27	61 W/m <sup>2</sup> K
 <p><u>Modulaufbau „ASI-THRU-4x-IO“ *</u>  - 6 mm TVG  - PVB-Folie  - a-Si Solarzelle (Typ ASI THRU)  - 16 mm Luftschicht  - 8 mm VSG  Gesamtdicke: 34 mm</p>	10%	0,10	61 W/m <sup>2</sup> K

\* Datenquelle: Schott Solar GmbH (Hg.). 2006. ASI - Glass Modular Sizes.

Beachte: ASI<sup>®</sup>-Glas Produkte werden nicht mehr hergestellt. Die Vorstellung der Daten dient nur dazu einen Eindruck zu vermitteln, welchen Sonnenschutzeffekt transparente PV-Dünnschichtmodule haben könnten.

\*\* Produktinformation Warema, Quelle: Glaswerke Arnold / Dr. Schmidt

Abb. 7.6-02: Vergleich g-Werte von verschiedenen Sonnenschutzeinrichtungen mit der Sonnenschutzwirkung von a-Si-Dünnschichtmodulen

Als Teil einer Über-Kopfverglasung oder auch in der Fassade erfüllen semitransparente Dünnschicht-Module allein durch ihren Aufbau eine Sonnenschutzfunktion.

Projektbeispiele, wie sie in „Kapitel 7.5.2.4 Über-Kopf-Verglasungen“ gezeigt werden, sind ohne eine solche Sonnenschutzwirkung der Dünnschicht-PV nicht denkbar, da sich ansonsten die dahinter befindlichen Räume zu sehr aufheizen würden. Semitransparente Dünnschicht-Module erlauben somit unter bestimmten Rahmenbedingungen den Verzicht auf zusätzliche externe Sonnenschutzvorrichtungen. Sie sind damit ein wichtiger Beitrag zum sommerlichen Wärmeschutz, der aufgrund der zunehmend heißer werdenden Sommer auch in Mitteleuropa an Bedeutung gewinnt. Darüber hinaus muss der sommerliche Wärmeschutz auch baurechtlich nachgewiesen werden.

Abbildung 7.6-02 zeigt die Sonnenschutzwirkung verschiedener konventioneller Sonnenschutzsysteme im Vergleich zu drei unterschiedlich aufgebauten Baugläsern mit integrierter a-Si-Dünnschicht-Gläsern.

Als Maß für die Sonnenschutzwirkung der verschiedenen Systeme wird der Energiedurchlassgrad (auch g-Wert, engl. Solar Heat Gain Coefficient, SHGC) verwendet. Er ist ein Maß für die Durchlässigkeit transparenter Bauteile für Energie und gibt an, welcher Anteil der Energie, z. B. durch Sonneneinstrahlung, von außen nach innen gelangt und dort zur Raumaufheizung beiträgt. Der g-Wert als Gesamtenergiedurchlassgrad ist die Summe aus der direkten Transmission solarer Strahlung sowie der sekundären Wärmeabgabe nach innen durch Strahlung und Konvektion. Verluste entstehen durch Reflexion am oder Absorption vom transparenten Bauteil. Der g-Wert nimmt Werte zwischen 0 und 1 ein. Der für das a-Si-Isolierglasmodul mit einer Zweifachverglasung angegebene g-Wert von 0,1 gibt an, dass 10 % der einstrahlenden Energie durchgelassen wird. Je niedriger der g-Wert ist, desto größer ist die Sonnenschutzwirkung des Bauteils [1].

Von der Vielzahl an Sonnenschutzsystemen, die der Bausektor für Gebäude anbietet, eignen sich für eine Integration von Dünnschichtsolarmodulen nur externe Sonnenschutzsysteme. Sie erscheinen auf den ersten Blick geradezu ideal für eine PV-Nutzung, da sie als Sonnenschutz in gleicher Weise wie die Photovoltaik zum Sonnenlicht ausgerichtet werden, um optimal funktionieren zu können. Dies ist aber nicht immer so.

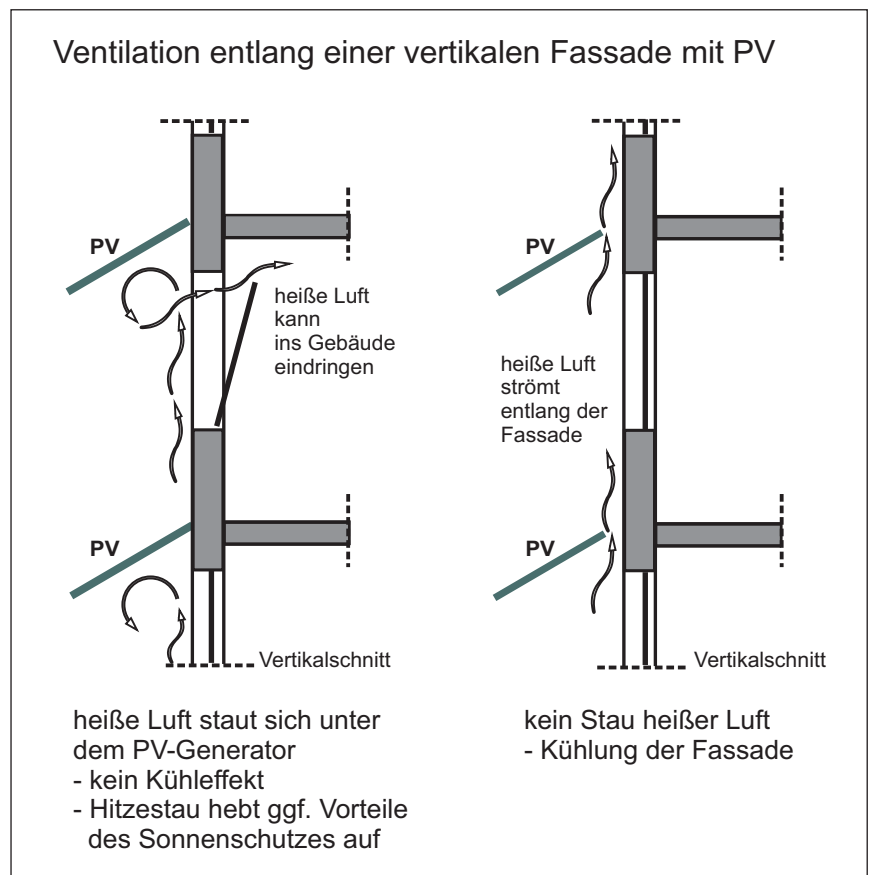


Abb. 7.6-03: Erforderliche Ventilation entlang einer vertikalen Fassade mit PV-Sonnenschutz

Externe PV-Sonnenschutzsysteme gibt es sowohl in starrer als auch in einachsiger beweglicher Ausführung.

Jede Variante eines PV Sonnenschutzes sollte so an der Fassade montiert werden, dass die aufsteigende warme Luft entlang der Fassade nach oben entweichen und so einen Kühleffekt bewirken kann. Staut sich dagegen die Luft vor Fensteröffnungen unterhalb eines PV Sonnenschutzes, der ohne Abstand zur Fassade montiert wurde, führt dies zu dem unerwünschten Effekt einer erhöhten Wärmebelastung der Gebäudefassade und der angrenzenden Räume (Abb. 7.6-03).

Die Verkabelung der PV-Module ist sowohl aus ästhetischen Gründen als auch zum Schutz der PV-Verkabelung selbst sorgfältig zu planen und auszuführen. Unbedingt zu vermeiden sind lose durchhängende Kabel. Sie stören das äußere Erscheinungsbild einer Fassade und sind potentielle Quelle einer Lärmbelästigung.



### 7.6.1 Starre PV-Sonnenschutzsysteme

Bei diesen Systemen werden PV-Module mit einem festgelegten Neigungswinkel an der Fassade montiert oder vor der Fassade angeordnet.

Wenn die PV-Module Sonnenschutz für ein einzelnes Fenster oder Fensterband bieten sollen, dienen in der Regel Konsolen, die an der Fassade befestigt werden, als Montagesystem. Es ist bei der Planung darauf zu achten, dass die Fassade bzw. das dahinter liegende Tragwerk die von der Konsole eingeleiteten Kräfte auch sicher aufnehmen und ableiten kann.

Der Neigungswinkel der PV-Module wird so gewählt, dass eine maximale Solarstromproduktion für den jeweiligen Standort gewährleistet wird. Die Lage vor bzw. über dem Fenster sowie die Tiefe eines starren PV-Sonnenschutzes wird vorgegeben durch die örtlichen Sonnenstände und den Zeitraum, in dem eine maximale Verschattung der Gebäudeflächen erzielt werden soll (Abb. 7.6.1-01).

Gleichzeitig muss beachtet werden, dass für die angrenzenden Räume keine Interessenkonflikte mit der Tageslichtnutzung entstehen. Jedes vor ein Fenster gehängtes starres PV-Sonnenschutz-

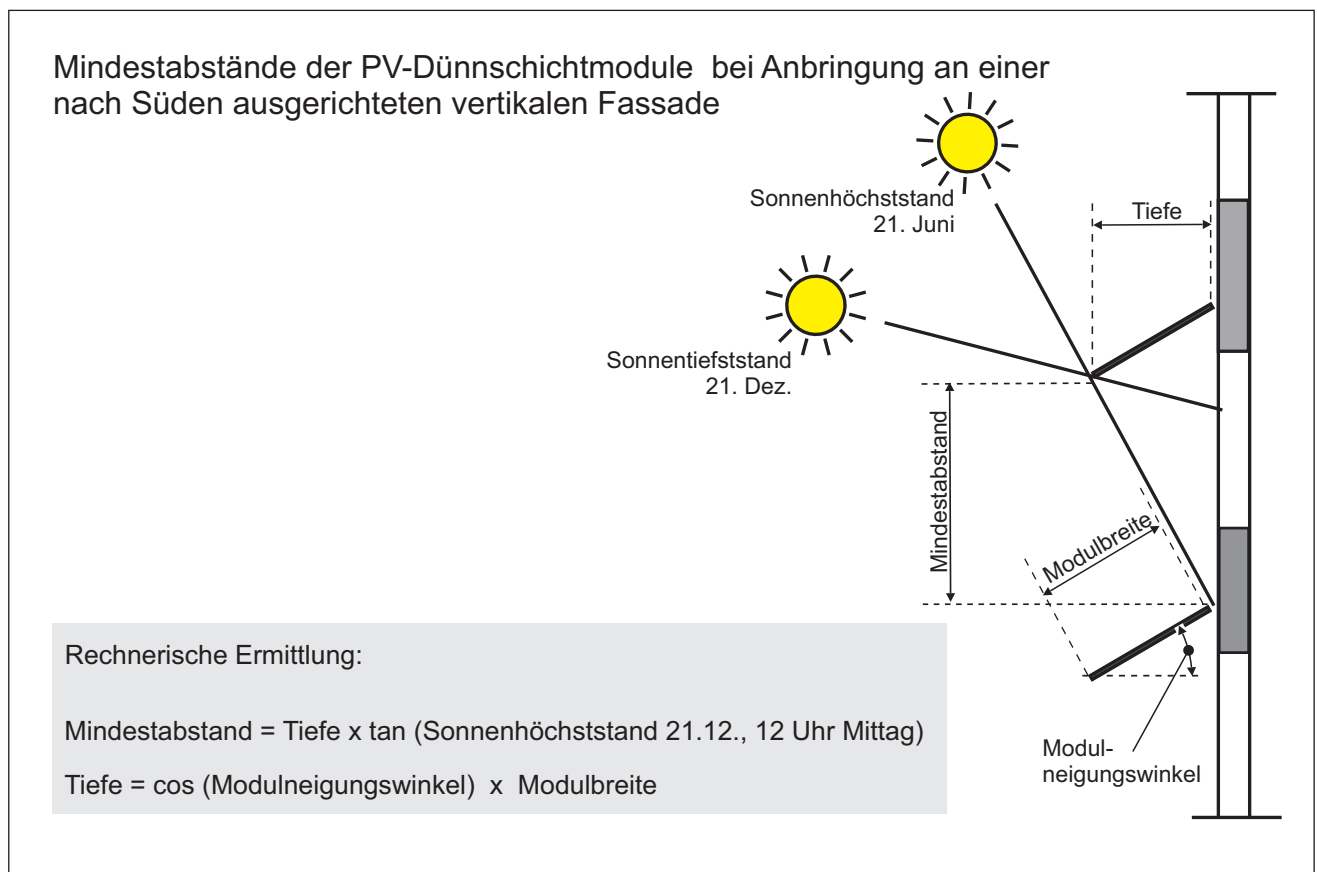


Abb. 7.6.1-01: Mindestabstände der PV-Dünnschichtmodule bei Anbringung an der nach Süden ausgerichteten Fassade

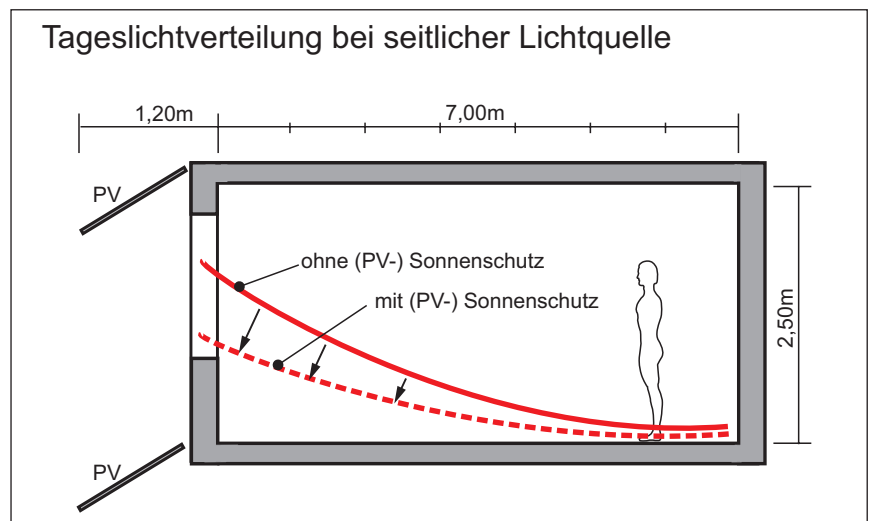


Abb. 7.6.1-02: Tageslichtverteilung bei seitlicher Lichtquelle

system reduziert die natürliche Belichtungstiefe im Gebäudeinneren, abhängig von seiner Bautiefe und dem Transparenzgrad der eingebauten PV-Module (Abb. 7.6.1-02).

Anders als bei semitransparenten PV-Modulen mit kristallinen Zellen besteht beim Einsatz von opaken oder auch semitransparenten Dünnschichtmodulen als Sonnenschutzelement keine Gefahr der Bildung harter Licht-Schattenkontraste bei direktem Sonneneinfall.

#### Zick-Zack-Fassade mit PV

Die Abbildungen 7.6.1-03 – 7.6.1-06 zeigen ein starres Sonnenschutzsystem, das vor eine Gebäudefassade gestellt wurde und den lang gestreckten gläsernen Baukörper gestalterisch gliedert und vor Sonne schützt.

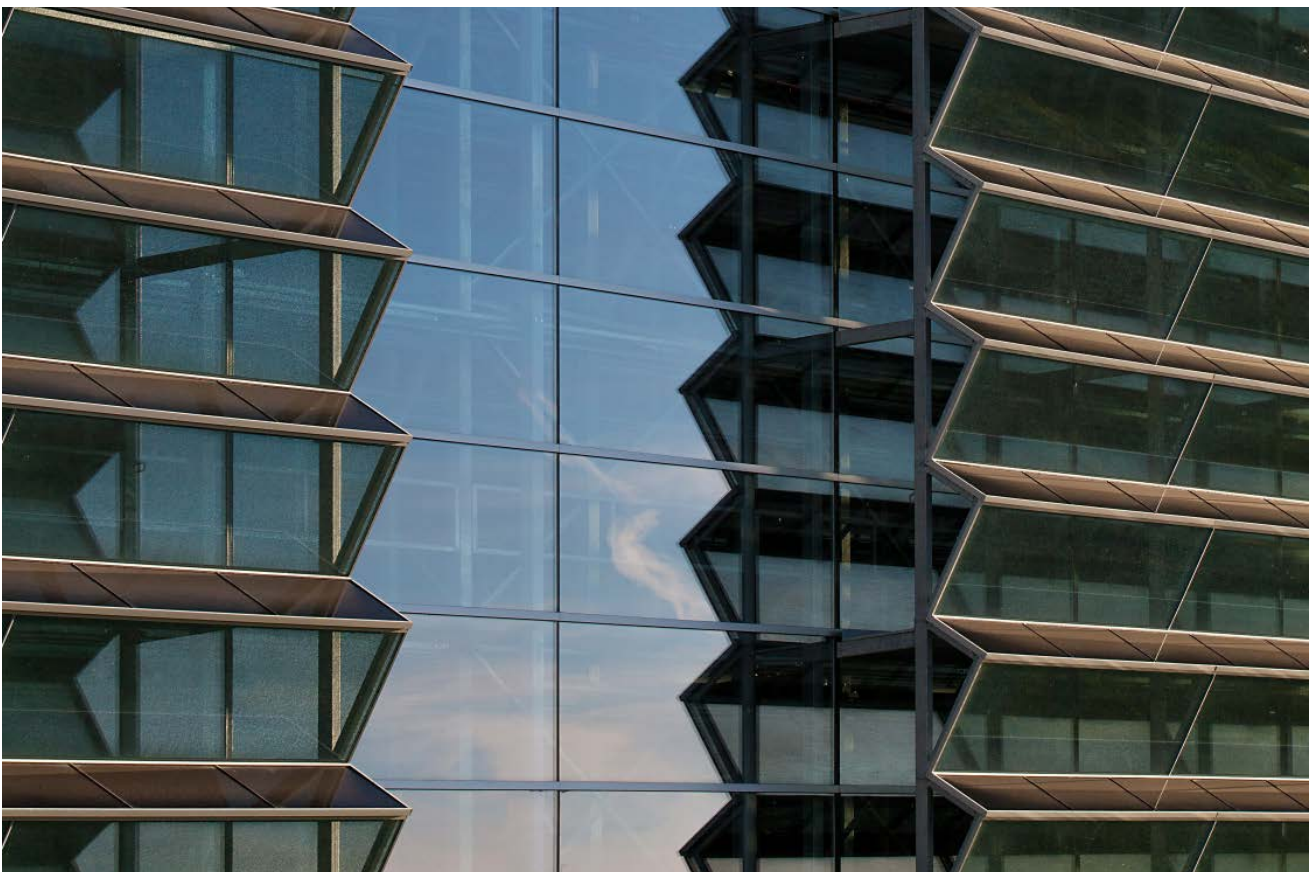
Zu sehen ist eine gefaltete Solarmembran aus opaken CIGS-Standardmodulen im Wechsel mit teilvorgespannten Sicherheitsgläsern (TVG). Die von Nabo Gass 2011 entwickelte zick-zackartige Fassadestruktur optimiert durch ihre Ausrichtung die Solarstromausbeute der geneigt eingebauten CIGS-Solarmodule. Die Flächen zwischen den PV-Modulen wurden aus ästhetischen Gründen mit Crash-Glas geschlossen.

Die gefaltete Solarmembran setzt sich auf dem Dach in Form einer aufgeständerten PV-Anlage fort. Beide Strukturen zusammen bieten einen Sonnenschutz für das dahinterliegende gläserne Hochregallager auf dem Gelände der Ernsting's family GmbH & Co. KG in Coesfeld, die Bauherr dieses Projektes ist. Das Projekt wurde von Nabo Gass in Zusammenarbeit mit Wortmann Architekten umgesetzt.



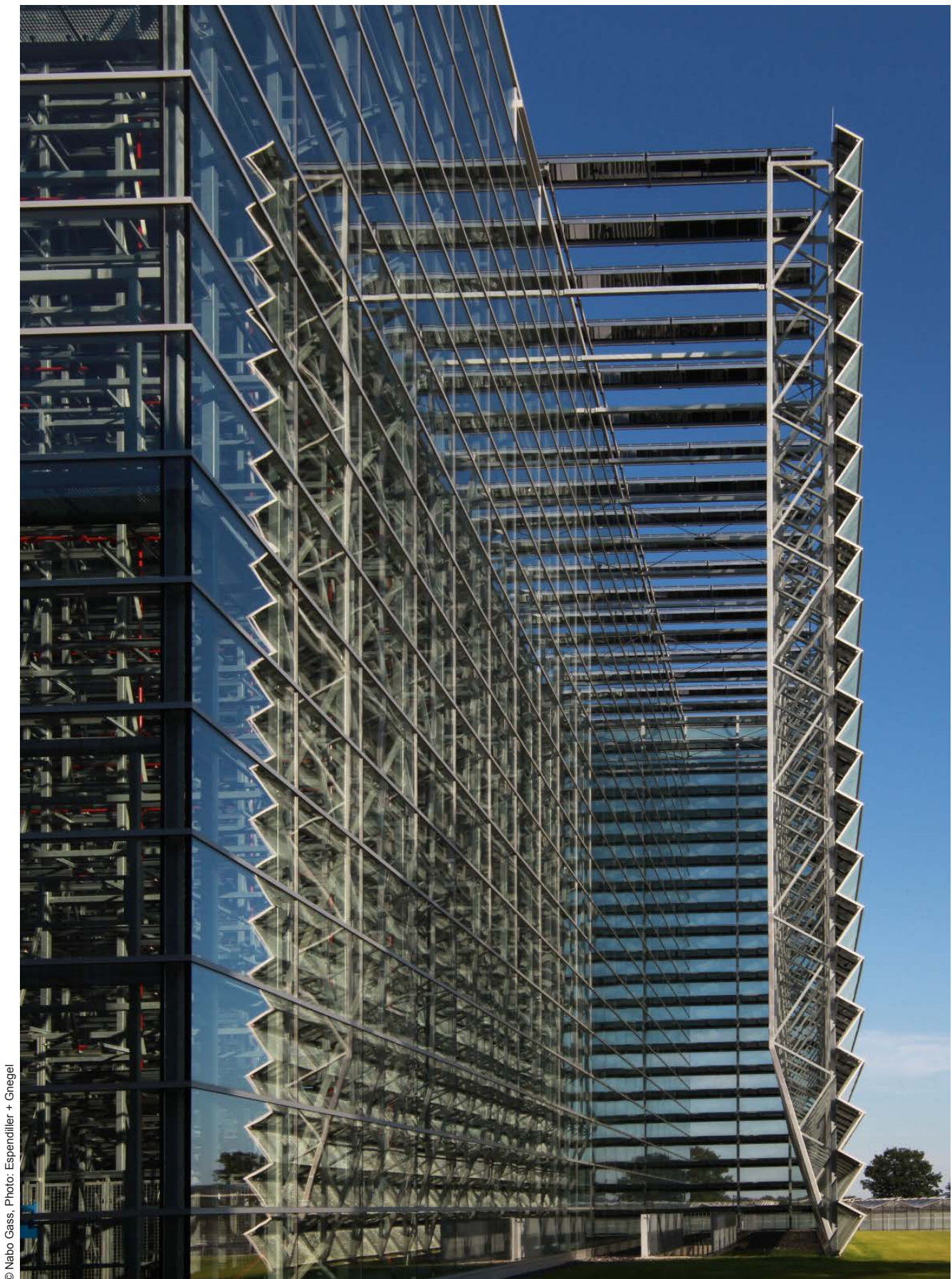
© Nabo Cass, Photo: Espendiller + Gnegel

Abb. 7.6.1-03: Hochregallager mit Zick-Zack-Sonnenschutz aus CIGS-Modulen und Crash-Glas, Ernsting's family GmbH & Co. KG, Coesfeld



© Nabo Cass, Photo: Espendiller + Gnegel

Abb. 7.6.1-04: Zick-Zack-Fassade mit den zur Sonne ausgerichteten Dünnschichtsolarmodule



© Nabo Gass, Photo: Espendiller + Gnegel

Abb. 7.6.1-05: Zick-Zack-Fassade mit integrierten CIGS-Modulen, die sich als aufgeständerte PV-Anlage über einem begrünten Flachdach fortsetzt

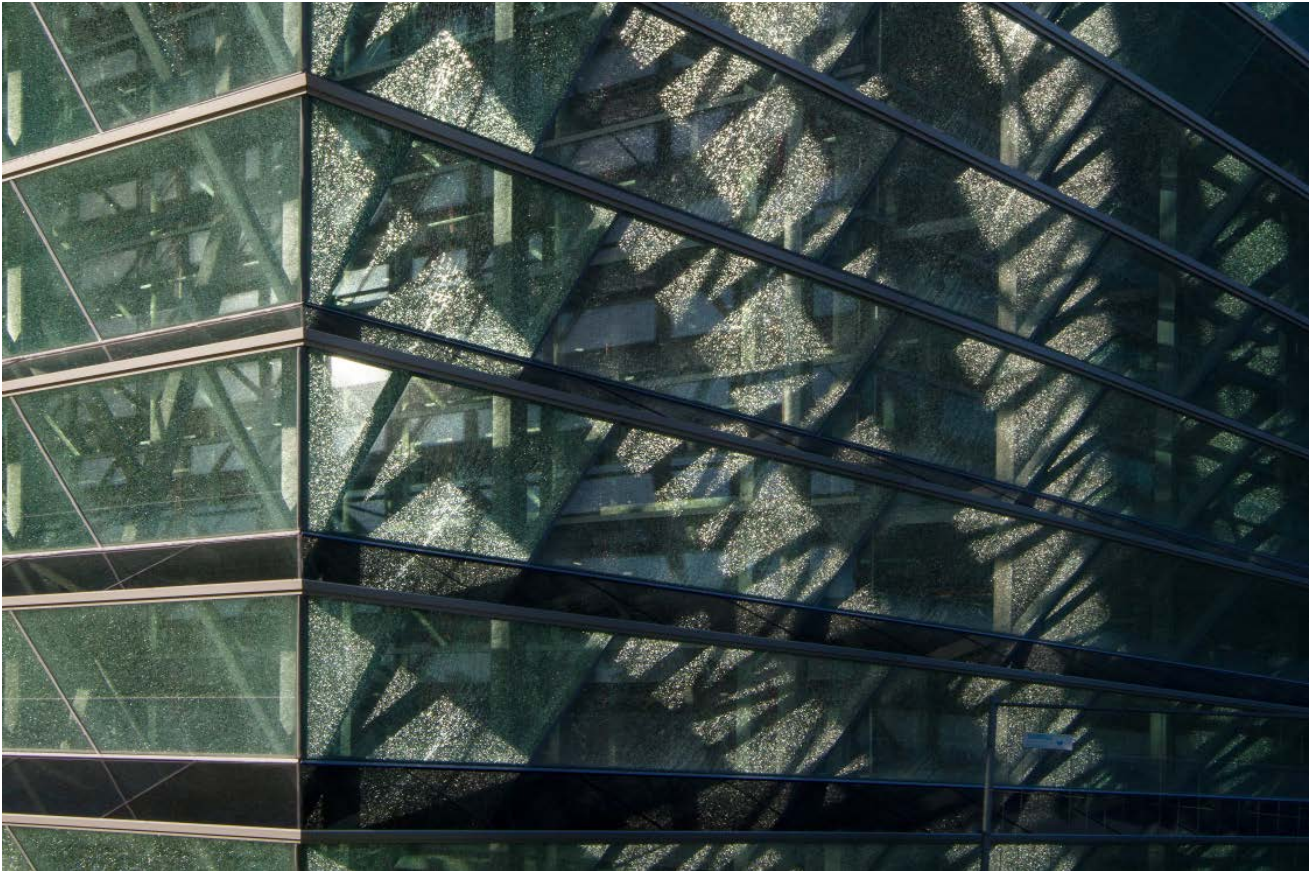


Abb. 7.6.1-06: Eckausbildung der Zick-Zack-Fassade mit den dunklen CIGS-Modulen

© Nabo Gaß, Photo: Esendillier + Gnegel



Abb. 7.6.1-07: Detail Stoßausführung zwischen zwei CIGS-Dünnschichtmodulen, die im Wechsel mit Crash-Glas in der Zick-Zack Fassade montiert sind

© Nabo Gaß, Photo: Esendillier + Gnegel

### Pergola mit PV-Röhrenmodulen

Eine etwas andere Art eines feststehenden Sonnenschutzes ermöglicht die Bauform von CIGS-Röhrensolarmodulen:

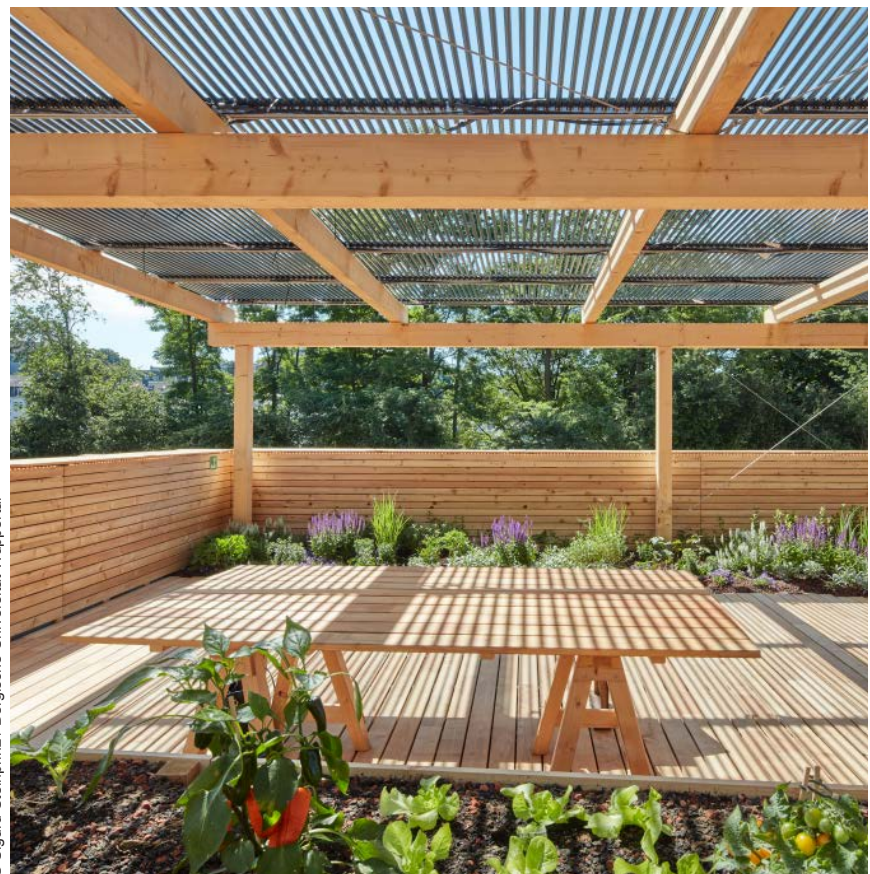
Die röhrenförmigen CIGS-Kollektoren aus Glas sind, von ihrer Bauart her, in gewisser Weise mit Neonröhren vergleichbar, nur dass sie Solarstrom produzieren anstatt ihn zu verbrauchen. Sie werden zu rechteckigen Moduleinheiten zusammengefasst, die dann für unterschiedliche Einsatzbereiche verwendet werden können, z. B. als aufgeständerte PV-Anlage auf einem (begrüntem) Flachdach oder in der Agri-Photovoltaik. Der Vorteil dieser Modulbauform ist, dass sie Schatten spendet aber gleichzeitig Licht und Regen durchlässig ist.

Das „Team X4S“ des Instituts für Gebäude und Energiesysteme von der Hochschule Biberach hat im Rahmen Ihres Wettbewerbsbeitrags für den Solar Decathlon Wettbewerbs 2021 eine Verwendung von CIGS-Röhrenkollektoren als Pergola erstmalig in Deutschland an einem temporären Gebäude demonstriert. Die Abbildungen 7.6.1-08 bis 7.6.1-13 vermitteln einen Eindruck von diesen PV-Röhrenmodulen selbst sowie von der Stimmung, die durch sie erzeugt werden kann.



© Team X4S Hochschule Biberach

Abb. 7.6.1-08: Detail Montageplatte zwischen zwei Modulen sowie Verkabelung



© Sigurd Steinprinz / Bergische Universität Wuppertal

Abb. 7.6.1-09: Schattenspendende PV-Röhrenkollektoren als Teil einer Pergola auf dem begrüntem Flachdach des Wettbewerbsbeitrags des Team X4S, Hochschule Biberach



© Team X4S Hochschule Bielebach

Abb. 7.6.1-10: Transport der relativ leichten Röhrensolarmodule



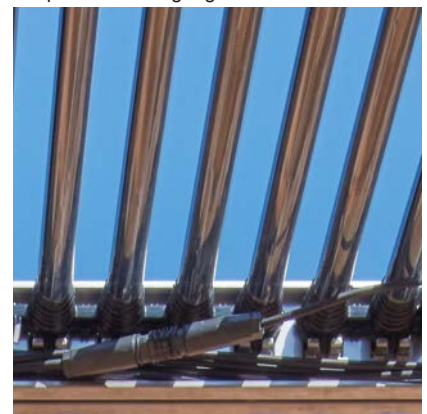
© Team X4S Hochschule Bielebach

Abb. 7.6.1-12: Montageklammern für die temporäre Befestigung der PV-Module



© Sigurd Steinprinz / Bergische Universität Wuppertal

Abb. 7.6.1-11: Vogelperspektive auf das PV-Röhren-Modulfeld, das partiellen Schatten bietet



© Sigurd Steinprinz / Bergische Universität Wuppertal

Abb. 7.6.1-13: Detail Verkabelung

### 7.6.2 Bewegliche PV-Sonnenschutzsysteme

Bewegliche PV-Sonnenschutzsysteme können über einem einzelnen Fenster oder Fensterband montiert sein oder bilden einen Vorhang aus Lamellen, der direkt außen vor der Fassade angeordnet ist.

Die Abbildung 7.6.2-04 und 7.6.2-05 zeigen hydraulisch steuerbare Glaslamellen, die in die Fassade des Industriegebäudes der Firma Heliatek integriert sind. Die Glaslamellen sind in vier Reihen in der Fassade angeordnet. In den beiden unteren Reihen, d.h. bis auf Brüstungshöhe, wurden im Rahmen eines Pilotprojektes opaken



Abb. 7.6.2-02: Dachansicht Oberlichtverglasung



Abb. 7.6.2-01: Tageslichtverteilung bei seitlicher Lichtquelle



Abb. 7.6.2-03: Dachansicht Oberlichtverglasung

OPV-Zellen von Heliatek in die Glaslamellen integriert. Sie bilden einen optischen Schutz für den dahinter liegenden Besprechungsraum. Die oberen zwei Reihen sind aus VSG-Glas. Die Lamellen werden durch Punkthalter, die durch das Glas hindurch gehen, in Position gehalten (vgl. 7.5.2.2 Structural-Glazing-Fassaden).

Ein anderes Beispiel für ein Sonnenschutzsystem über einem Fensterband mit beweglichen opaken CIGS-Modulen zeigt die Süd-West-Fassade des Firmengebäudes der Würth Elektronik eiSos in Waldenburg (Abb. 7.6.2-01 bis Abb. 7.6.2-03). Das PV-Sonnenschutzsystem ist Teil eines Gebäudeklimakonzeptes. Auf einer Länge von rund 50m wurden auf zwei Ebenen jeweils 40 CIS-Module in einer kundenspezifisch angefertigten Größe von 1.150x1.200 mm angeordnet. Die Module werden automatisch nachgeführt, Sie sind linienförmig auf den Trägern des Haltesystems an zwei Seiten aufgelagert und wurden entsprechend den statischen Vorgaben und den örtlich geltenden baurechtlichen Bestimmungen fabriziert. 40 Module wurden mit Verbund-Sicherheitsglas (VSG) ausgeführt und 40 als Standard-Verbundglas. Die Verkabelung erfolgte über die Hohlräume des Montagesystems. Die installierte Nennleistung der Verschattungsanlage beträgt 8 kWp.





© Hagemann

Abb. 7.6.2-04: Nachführbares, CIGS-Sonnenschutzsystem, Würth Elektronik eiSos, Waldenburg



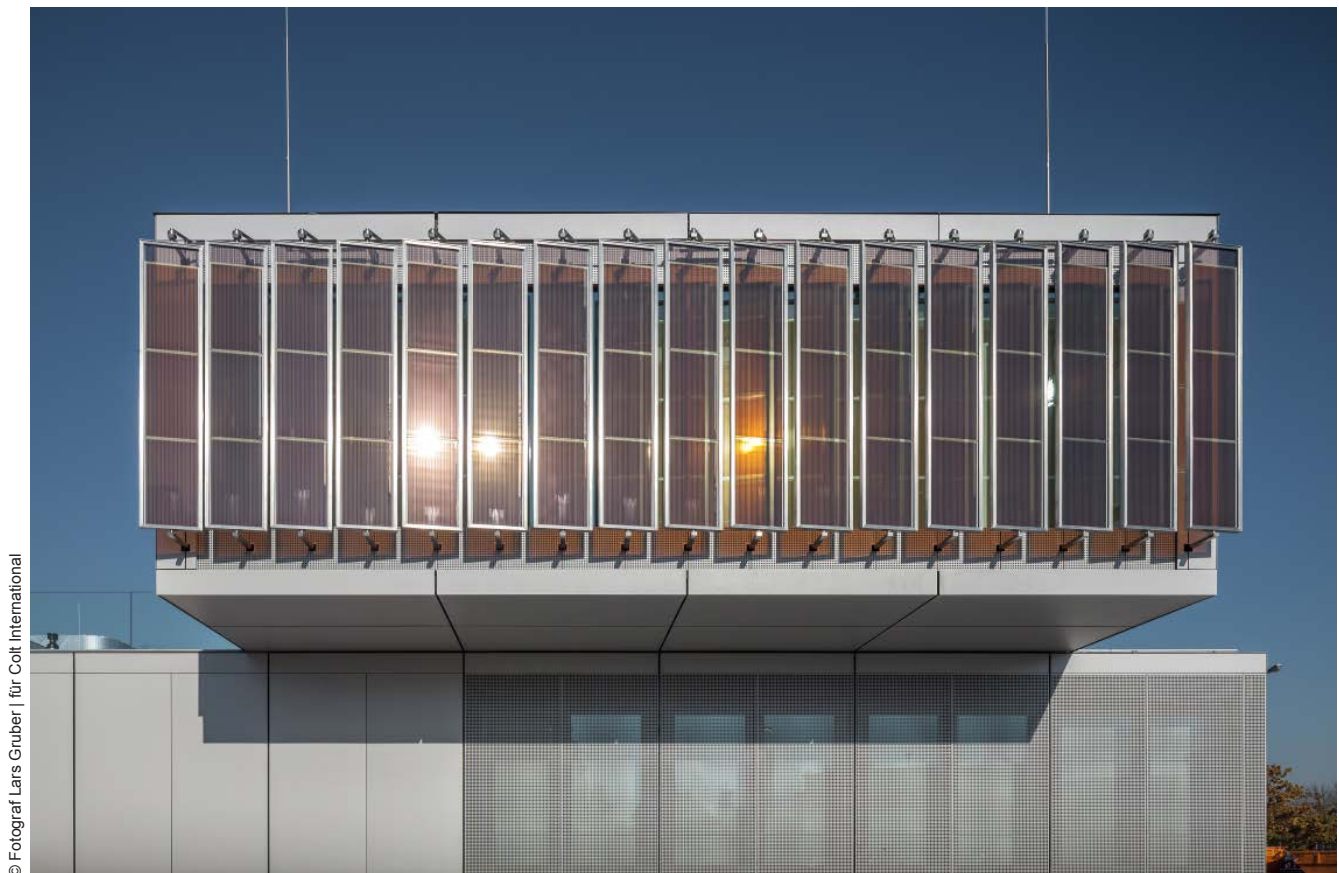
© Hagemann

Abb. 7.6.2-06: Nachführbares, CIGS-Sonnenschutzsystem, Würth Elektronik eiSos, Waldenburg,



© Hagemann

Abb. 7.6.2-05: Fassadenausschnitt mit CIGS-Sonnenschutz in zwei Reihen



© Fotograf Lars Gruber | für Colt International

Abb. 7.6.2-07: Nachführbarer Shadowvoltaic-Lamellenvorhang von Colt International mit Farbstoffsolarzellen, Merck KGaA, Darmstadt



Abb. 7.6.2-08: Detail Edelstahlrahmen und Nachführmechanik des vertikalten Lamellenvorhangs

© Fotograf Lars Gruber | für Colt International

Lamellenvorhänge können aus horizontal oder vertikal angeordneten Sonnenschutzlamellen mit integrierter Photovoltaik, die einachsig um ihre Achse der Sonne nachgeführt werden, bestehen. Die Beweglichkeit der einzelnen PV-Sonnenschutzlamellen erlaubt es, sich den wechselnden Sonnenständen anzupassen und auf diese Weise eine standortabhängige Maximierung der Solarstromerträge zu erzielen.

Als Antriebe für nachgeführte PV-Sonnenschutzsysteme dienen elektrische Stellmotoren. Sie werden über eine Software gesteuert, die die tages- und jahreszeitlich wechselnden Sonnenstände berücksichtigt. Nachteil dieser Art der Steuerung ist es, dass eine aktuelle Tageslichtsituation, z. B. ein wolkenverhangener Himmel, ebenso unberücksichtigt bleibt wie individuelle Nutzerwünsche. Erfahrungen von Nutzern haben gezeigt, dass solche Systeme, wenn sie auf eine maximale Solarstromproduktion programmiert sind, nicht gleichzeitig einen ausreichenden Blendschutz zu jedem Zeitpunkt bieten können. Ein zusätzliches Rollläden ist daher eine empfehlenswerte Ergänzung.

Eine Weiterentwicklung für den Betrieb von beweglichen PV-Sonnenschutzsystemen an Gebäudefassaden sind thermohydraulisch angetriebene Nachführungssysteme. Ihr entscheidender Vorteil ist, dass sie in Abhängigkeit von der tatsächlichen örtlichen Einstrahlungssituation die PV-Sonnenschutzlamellen nachführen.

Insgesamt ist festzuhalten, dass jede Art eines beweglichen Sonnenschutzes in der Gebäudefassade eine komplexe Konstruktion darstellt. Sie erweist sich als fehleranfällig und setzt eine gewisse Expertise für die Installation und Wartung voraus. Bisher rechtfertigten die generierten Mehrerträge nicht den finanziell Einsatz solcher Systeme.

Die Abbildungen 7.6.2-04 bis 7.6.2-06 zeigen einen vertikalen Lamellenvorhang aus Glaselementen mit integrierten Farbstoffsolarzellen an der Fassade des modularen Innovationszentrum der Firma Merck KGaA aus Darmstadt.

Als Montagesystem wurde das bereits in verschiedenen PV-Objekten bewährte Shadowvoltaic-System von Colt International verwendet. In der Planungsphase wurden in einem aufwendigen Verfahren Verschattungsstudien vorgenommen. Allerdings fehlt es bisher an Erfahrung im Umgang mit dieser sehr jungen Solarzellentechnologie, die nötig wäre, um die erzielbare Sonnenschutzwirkung einfach zu bestimmen und die Teiltransparenz der Farbstoffzellen entsprechend den gewünschten Vorgaben anpassen zu können. Insgesamt 17 einzelne Sonnenschutzelemente mit einer Abmessung von je



Abb. 7.6.2-09: Detail der in Glas eingebetteten Farbstoffsolarmodule WW

© Fotograf Lars Gruber | für Colt International



Abb. 7.6.2-10: Detail des feststehenden vertikalen Sonnenschutzes

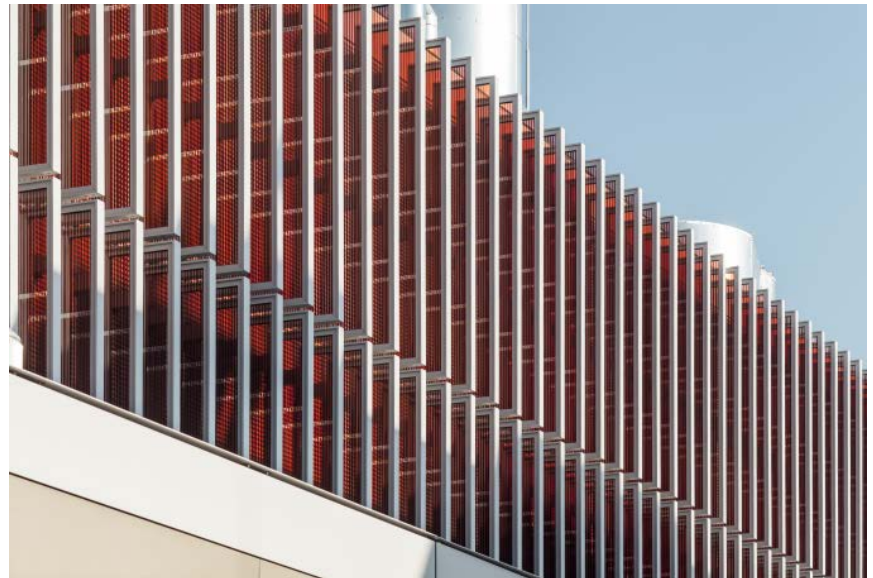


Abb. 7.6.2-11: Feststehende vertikale Sonnenschutzlamellen aus Glas mit integrierten Farbstoffsolarzellen

3.544 mm x 684 mm wurden vor der Südfassade angeordnet und folgen dem Sonnenstand. Die Farbstoffsolarzellen sind zwischen Glasscheiben verpackt. Ein Edelstahlrahmen umfasst jedes einzelne Scheibenpaket und bietet damit den erforderlichen Kantenschutz für die empfindlichen Farbstoffmodule aus Glas. Die Kabelführung erfolgt verdeckt [3, 4].

Neben diesen beweglichen Lamellen sind auf einer anderen Fassadenseite des gleichen Gebäudekomplexes auch feststehende vertikale Sonnenschutzlamellen mit integrierten Farbstoffsolarzellen zu sehen (Abb. 7.6.2-10 und 7.6.2-11).

Eine ganz andere Art von Sonnenschutz bietet die Bauform der Röhrensolarmodule von Tube Solar (Abbildung 7.6.2).

#### **Weiterführende Informationen**

**[1] Quelle, Definition und Informationen zum Energiedurchlassgrad:**

→ <https://de.wikipedia.org/wiki/Energiedurchlassgrad> (12/2022)

**[2] Würth Solar (Hg.). Würth Elektronik eiSos, Waldenburg. Photovoltaik-Beschattungsanlage im Rahmen eines Gebäude-Klimakonzeptes. Projektdatenblatt der Würth Solar GmbH & Co.KG**

**[3] Colt International GmbH. Colt International hat am modularen Innovationszentrum des Merck-Konzerns ein Sonnenschutzsystem mit integrierter Photovoltaik installiert. Projektinformation.**

→ <https://www.colt-info.de/merck-darmstadt-innovative-farbstoffsolarzellen.html> (12/2022)

**[4] Stylepark AG (Hg.). Farbstoffsolarzellen Merck-Konzern in Darmstadt**

→ <https://www.stylepark.com/de/colt/farbstoffsolarzellen-merck-konzern-in-darmstadt> (12/2022)

## 7.7 Membranen mit PV

### 7.7.1 Traglufthallen mit PV

Traglufthallen, auch mit dem englischen Begriff „AirDome“ bezeichnet, sind aufgeblasene, elastische und luftdichte Hüllen. Ein dauerhaft laufendes Gebläse sorgt im Halleninneren für einen Überdruck, damit die äußere Hülle stehen bleibt. Die Traglufthallen können nur über eine Druckschleuse betreten werden, damit im Inneren der Traghalle ein Überdruck erhalten bleibt.

Diese Hallen können in kürzester Zeit auf einem Untergrund aus Rasen, Beton, Sand, Tartan oder Asphalt aufgebaut werden. Traglufthallen sind temporäre Bauten und dienen aushilfsweise z. B. als Lagerhalle, Messehalle, Sportstättenüberdachung, Massenunterkunft oder auch als Notunterkunft für Flüchtlinge.

Im Rahmen eines Pilotprojektes hat PARANET Deutschland GmbH in Zusammenarbeit mit Heliatek in das Dach einer solchen Traglufthalle für die Berliner Stadtmission in Berlin OPV-Solarmodule des Typs HeliaFilm® integriert (Abb. 7.7.1-01). Projektziel war es, zunächst



Abb. 7.7.1-01: Traglufthalle der Berliner Stadtmission mit integrierten OPV-Modulen von Heliatek



© Paranet Deutschland GmbH

Abb. 7.7.1-02: Detail der einzelnen 2x2m großen Modulfelder. Montage der Module mit flexiblen Bändern an den Stahlseilen der Hallenkonstruktion.

5 % des Strombedarfs der Halle durch den selbst erzeugten Solarstrom abzudecken. Längerfristiges Ziel ist die Entwicklung vollständig selbstversorgender Hallen dieses Bautypus.

Die PVC-Membran der Traglufthallen von PARANET haben einen mehrschichtigen Aufbau. Die Membransandwich besteht aus einer farblich anpassbaren Hauptmembran mit hoher Lichtdurchlässigkeit, mindestens einer Isolationsmembran zur Reduktion der Betriebskosten und einer Schutzfolie zum Schutz vor Witterung und Reibung durch das Drahtseilnetz, welches das Traglufthallendach in Position und am Boden hält (vgl. [1]).

Eine direkte Montage auf dieser mehrlagigen PVC-Membran war nicht möglich, da sich das Traglufthallendach grundsätzlich bewegt. Die OPV-Module wurden daher mit elastischen Bändern an dem Drahtseilnetz, das die Halle umspannt, befestigt. Die Montage der OPV-Module erfolgte durch Mitarbeiter von PARANET, die auf das Traglufthallendach, das man grundsätzlich begehen kann, kletterten. Der Einsatz einer mobilen Arbeitsbühne für zukünftige Projekte wird jedoch nach den ersten Montageerfahrungen als vorteilhaft betrachtet.

Insgesamt wurden 12 OPV-Modulfelder montiert. Die Abmessungen der einzelnen Module betragen ist ca. 200 x 30 cm. Jeweils 5 Module bilden ein Feld mit einer Größe von 2 m x 2 m (Abb. 7.7.1-02). Die Begrenzung der Größe des Modulfeldes ergibt sich aus dem Rasterabstand des Drahtseilnetzes, das die Halle zusammenhält. Die installierten 60 OPV-Module bedecken mit Abständen zueinander insgesamt eine Fläche von 48 m<sup>2</sup> und besitzen eine Gesamtleistung von 1,4 kWp.

#### **Weiterführende Informationen**

[1] Paranet Deutschland GmbH → <https://paranet-deutschland.de/> (12/2022)

### 7.7.2 ETFE-Foliendächer und PV

ETFE-Folien werden aufgrund der besonderen Eigenschaften seit ca. 25 Jahren im Bauwesen in Form von Luftkissendächern eingesetzt. ETFE-Folienkissen bestehen aus zwei oder mehreren Folienlagen, die am Rand miteinander verschweißt werden. Am Kissenrand befinden sich Lufteinlassstutzen an denen ein flexibler Schlauch angeschlossen ist. Eine Gebläsestation versorgt die einzelnen Folienkissen mit der notwendigen Stützluft. Als leichte Flächentragwerke eignen sich ETFE-Folienkissen besonders zur Überdachung von großen Flächen.

Im Rahmen der Dachsanierung des alten Carportdachs auf dem Gelände der Zentrale des Abfallwirtschaftsbetriebes München (AWM) entschloss man sich, nach der Prüfung mehrerer Varianten, für den Bau eines pneumatischen Daches mit integrierten, flexiblen Dünnschichtsolarzellen (Abb. 7.7.2-03).

Auf der Basis des bereits vorhandenen Konstruktionsrasters von 10 m x 12 m wurde eine 8.000 m<sup>2</sup> große Dachfläche aus ETFE-Folienkissen entwickelt. Auf einer bogenförmigen, lastabtragenden Unterkonstruktion aus Stahl wurden die einzelnen pneumatisch vorgespannten ETFE-Folienkissen bogenförmig angeordnet. Sie haben eine Abmessung von ca. 11 m x 3,30 m und sind dreilagig aufgebaut. Über Luftdruck zwischen den einzelnen Folienlagen werden die Auflasten auf die jeweils untere Lage abgetragen. Regenwasser wird über das Gefälle der Folienkissen zur Entwässerungsebene weitergeleitet.

Die mittlere Folienlage dient als Tragkonstruktion für die integrierten a-Si-Dünnschichtmodule. Die flexiblen Module sind an ihr punktförmig befestigt, um so Bewegungen der Luftkissen besser aufnehmen und spannungsfrei ableiten zu können. Insgesamt 3500 m<sup>2</sup> beträgt die Fläche der auf dem Dach integrierten Dünnschichtsolarzellen. Das Dach ist damit zu ca. 40 % mit opaken PV-Modulen abgedeckt. Sie dienen zur Verschattung der Carportebene und wirken einer sommerlichen Überhitzung entgegen. Die Gesamtleistung der Anlage beträgt ca. 145 kWp. Der verantwortliche Architekturbüro war Ackermann Architekten BDA aus München.

In Kapitel 4.3.5 zeigen die Abbildungen 4.3.5-08 und 4.3.5-09 eine farbig gestaltete ETFE-Membranfassade mit integrierten, transparenten OPV-Zellen. Sie stellt in gewisser Weise eine Weiterentwick-

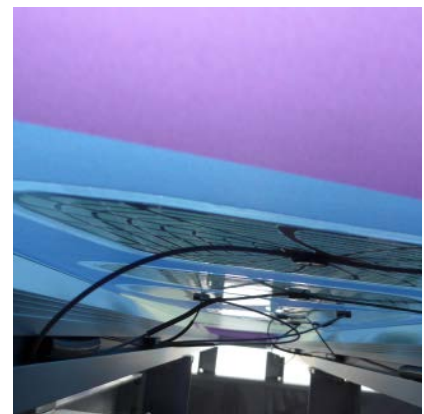


Abb. 7.7.2-01: Rückseite der ETFE Folie und der OPV-Zellen mit Verkabelung



Abb. 7.7.2-02: Vorderseite der in die ETFE Folien integrierten OPV-Zellen



© Hagemann

Abb. 7.7.2-03: Carportdach mit a-Si-Modulen, Zentrale des Abfallwirtschaftsbetriebes München (AWM)



© Hagemann

Abb. 7.7.1-04: ETFE-Luftkissen mit integrierten a-Si-Modulen in der 2. Luftkissenebene, Abfallwirtschaftsbetrieb München (AWM), 145 kWp





© Hagemann

Abb. 7.7.2-05: Detailausschnitt ETFE-Dach mit a-Si-Modulen



© Hagemann

Abb. 7.7.2-06: Detail Modulverkabelung

lung der Nutzung von Dünnschichtsolarzellen auf ETFE-Oberflächen vor. Anders als bei dem Projekt des Abfallwirtschaftsbetriebes München, für das flexible a-Si-Module in einer Zwischenlage der ETFE-Luftkissen appliziert wurden, wurden bei dem Objekt auf dem Betriebsgelände der Merck KGaA OPV-Module direkt auf eine ETFE-Außenhaut montiert. Die Abbildungen 7.7.2-01 und 7.7.2-02 zeigen einen kleinen Ausschnitt von der Vorder- und Rückseite der ETFE-Oberfläche mit den integrierten OPV-Zellen.

#### Weiterführende Informationen

**[1] Ackermann + Partner aus München**

→ <https://www.ackermannarchitekten.com> (12/ 2022)

**[2] Abfallwirtschaftsbetrieb München**

→ <https://www.awm-muenchen.de> (12/2022)

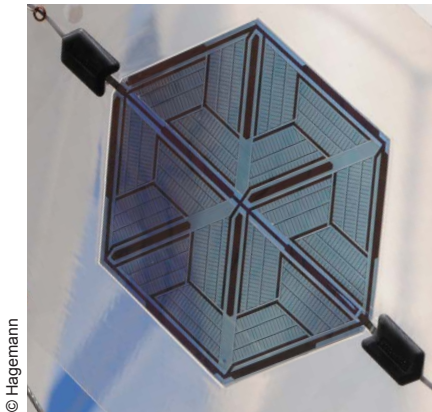


Abb. 7.8-01: OPV eingekapselt in PET-Folie (ein Kunststoff)

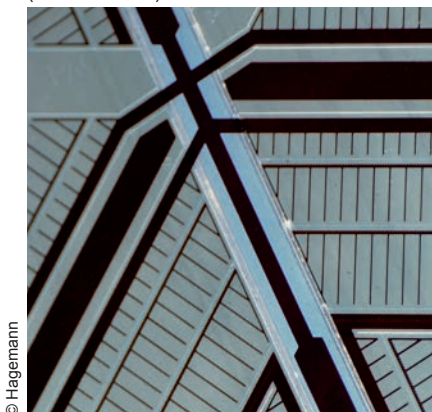


Abb. 7.8-02: Deutlich erkennbar das Kontaktgitterdesign



Abb. 7.8-03: Eine zweite Zellenvarianten auf dem Deutschen Pavillon

## 7.8 Seilnetze mit PV

Der OPV-Hersteller ASCA hat für die Montage seiner OPV-Projekte in Zusammenarbeit mit Carl Stahl ARC GmbH eine eigene Montagemethode entwickelt, die es ermöglicht, die leichten, transparenten und in PET-Folie verkapselten OPV-Zellen auf smarte Weise in Gebäudestrukturen und Gebäudehüllenflächen zu integrieren.

Verwendet werden filigrane Seilnetzkonstruktionen, die die OPV-Bauelemente in Position halten. Das transluzente Lichtspiel der farbigen OPV-Elemente kann so gestalterisch ansprechend inszeniert werden.

Projektbeispiele sind z. B.:

- Pavillon des coLLab Team der HFT Stuttgart für den Solar Decathlon Europe 2021/2022 Wettbewerb (vgl. Kapitel „5.12 Organische PV“, Abb. 5.12-03 und Abb. 5.12-04)
- Deutscher Pavillon Expo Milano 2015

### Deutscher Pavillon Expo Milano 2015

Ein Tragwerk aus „Solarbäumen“ überspannt den Außenbereich des Expo-Pavillons in Mailand auf der Weltausstellung. Es trägt die integrierten transluzenten, blau schimmernden OPV-Bauelemente.

Das speziell von der Carl Stahl ARC GmbH gefertigte Sechsecknetz passt sich an die Anforderungen der in PET eingepackten OPV an und ermöglicht ein interessantes Licht- und Schattenspiel (Abb. 7.8-01 bis Abb. 7.8-07).

Dieses weltweit erste architektonisch vollständig integrierte PV-System mit flexiblen, gedruckten OPV-Bauteilen für den Deutschen Expo Pavillon in Mailand entstand 2015 in Zusammenarbeit mit der OPVIUS GmbH, Merck KGaA, Carl Stahl GmbH, Hager SE, Schmidhuber Architekten und U.I. Lapp GmbH und mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF).

### **Weiterführende Informationen**

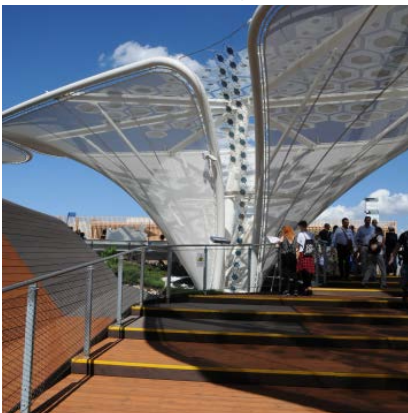
[1] **Carl Stahl ARC GmbH**

→ <https://www.carlstahl-architektur.com/> (12/2022)



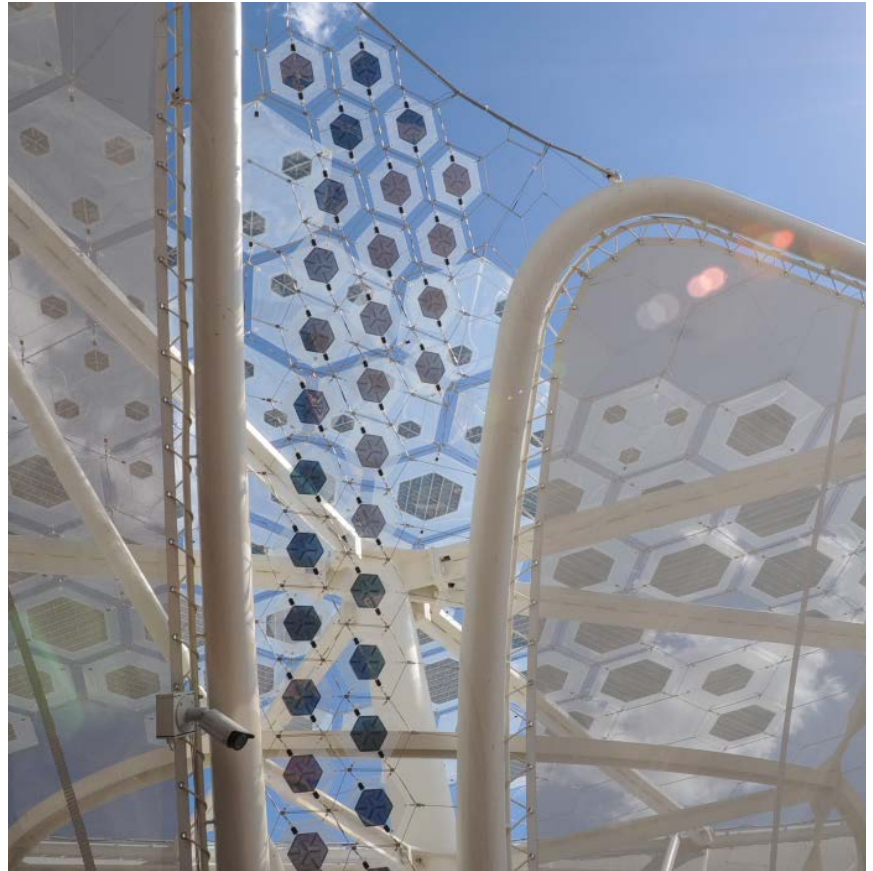
© Hagemann

Abb. 7.8-04: Überschatteter Außenbereich des Deutschen Pavillon Expo Milano 2015



© Hagemann

Abb. 7.8-05: Außenbereich Pavillon



© Hagemann

Abb. 7.8-06: „Solarbäume“, die regenerativ Strom erzeugen mit OPV



© Hagemann

Abb. 7.8-07: Drahtseilnetz mit eingehängten, sechseckigen bläulich transparenten OPV-Bauelementen



## 8. Praxisbeispiele

Nachfolgend werden drei Bauprojekte im Detail vorgestellt, die auf unterschiedliche Weise die Photovoltaik in ihre Gebäudehüllenfläche integrieren:

- Stadtarchiv, Depot Amsterdam Nord, Amsterdam (CIGS)
- South Beach, Singapur (CIGS)
- Novartis Pavillon, Basel (OPV)

### 8.1 Stadtarchiv, Depot Amsterdam Nord, Amsterdam

Projektfertigstellung: 2019

#### Das Gebäude

Das Amsterdamer Stadtarchiv war auf der Suche nach einer geeigneten Erweiterung der auch weiterhin geutzten bestehenden haus-eigenen Depoträume. Das vorhandene, historische Gebäude des Architekten De Bazel in der Amsterdamer Innenstadt bietet mit seinen 40 Regalkilometer nicht mehr genügend Stauraum für das Stadtarchiv. Hinzu kommt, dass dieses Gebäude der Öffentlichkeit zugänglich ist und dort die Akten aus der Zeit vor 1811 gelagert sind. Für die Archivunterlagen aus der Zeit nach 1811, die aufgrund einer anderen Papierbeschaffenheit andere klimatische Bedingungen benötigen als die älteren Unterlagen, wurde ein zusätzliches Archiv gesucht.

Im Rahmen einer Ausschreibung erhielt der Entwurf, den die BAM Bouw & Techniek Regio Noordwest in Zusammenarbeit mit CEPEZED für das Depot Amsterdam Nord eingereicht hatte, den Zuschlag. Im Auftrag der Stadt Amsterdam entwickelte und baute die BAM das „Depot Amsterdam Noord“ und sorgt aktuell für die Bauunterhaltung des Gebäudes für die nächsten 15 Jahren.

Das energieneutrale, viergeschossige Archivgebäude mit Regalen in einer Länge von 45km verdoppelt die bestehende Lagerkapazität des Amsterdamer Stadtarchivs (Abb. 8.1-01). Bis auf einen schmalen, von einer Mauer umschlossenen Innenhof auf der Rückseite füllt das 2.665 m<sup>2</sup> große Gebäude das gesamte Grundstück aus. Der Innenhof ist über ein schweres Tor von der Straße aus zugänglich. Er dient als erste Sicherheitsschleuse des Gebäudes, als Parkplatz für Mitarbeiter und Besucher und als Zugang zum Versandbereich.



Abb. 8.1-01: Archivregalsystem des Depot Amsterdam Nord

© Lucas van der Wee | cepezed



Abb. 8.1-02: Blick entlang der Straße mit dem Depot Amsterdam Nord und seinem PV-Band aus fassadenintegrierten CIGIS-Modulen



Abb. 8.1-03: Flur Level 0

Das Gebäude (Abb. 8.1-02 bis 8.1-04, 8.1-09) wirkt von außen kompakt und massiv. Eine flache anthrazitfarbige äußere Verkleidung des Gebäudekomplexes unterstützt dieses Erscheinungsbild. Die sorgfältige Detaillierung der Fassade vermittelt einen hochwertigen Eindruck der Außenhaut des Gebäudes.

Gestaltungsziel des Design Teams war es, ein möglichst einfaches Gebäude zu entwickeln, das trotzdem die gestellten Anforderungen an das neue Archiv erfüllt. Zentral stand bei den Entwurfsüberlegungen rund um das Gebäude die Entscheidung für ein fest montiertes, zehn Meter hohes Archivregalsystem. Seine Regale sind für die Mitarbeitern des Archivs auf vier Ebenen leicht erreichbar. Einzelne Dokumente können manuell gefunden und dem Regal entnommen werden. Dies war auch eine Vorgabe des Auftraggebers.

### Ökologie und Nachhaltigkeit

Das Depot Amsterdam Noord ist energieneutral. Das Depot verfügt über 800 PV-Paneele auf dem Dach und 300 PV-Paneele an der Fassade. Der erzeugte Solarstrom sorgt in Kombination mit Wärmetauschern und anderen Maßnahmen dafür, dass das Gebäude im Jahr mehr Energie erzeugt, als es verbraucht. Solarstromüberschüsse werden direkt ins öffentliche Stromnetz eingespeist.

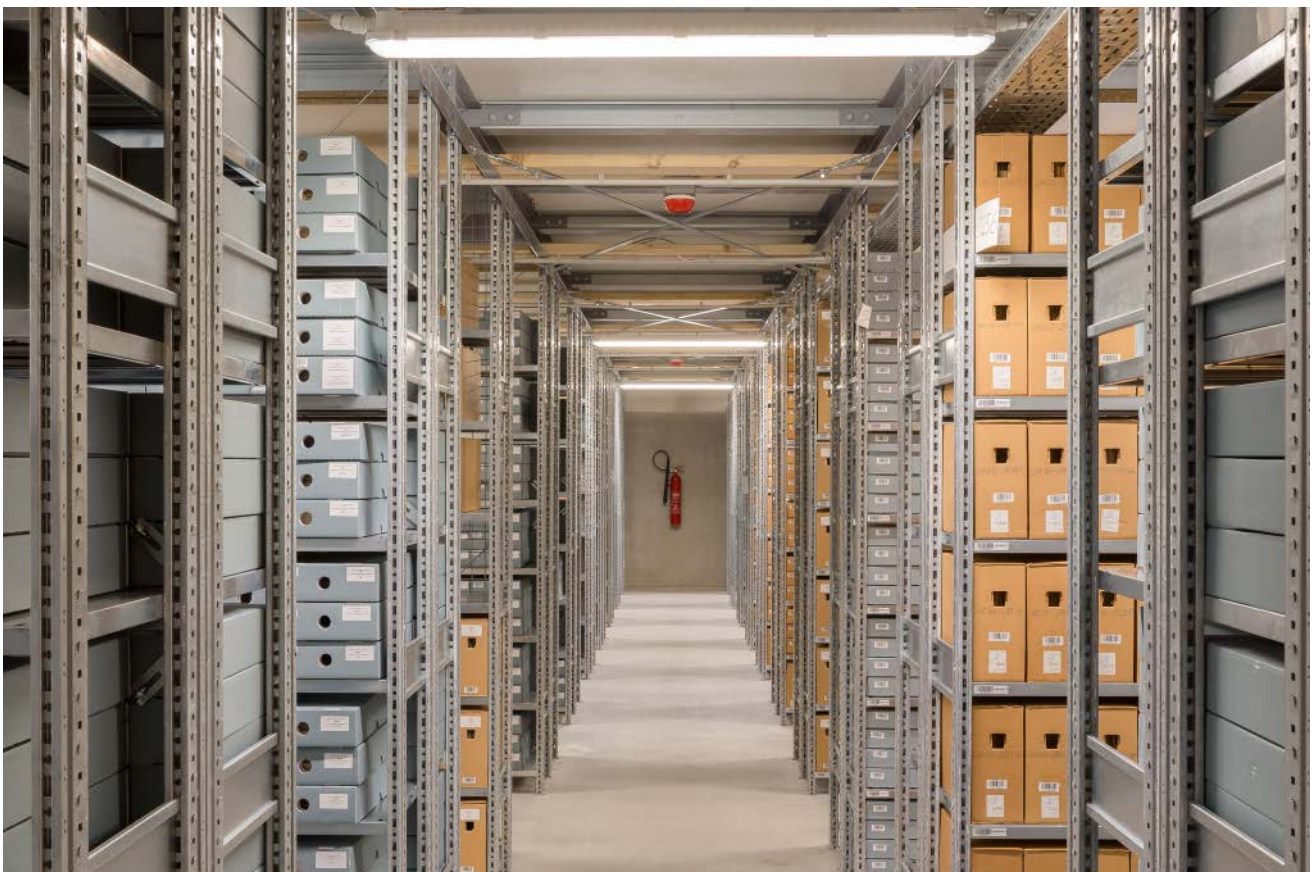
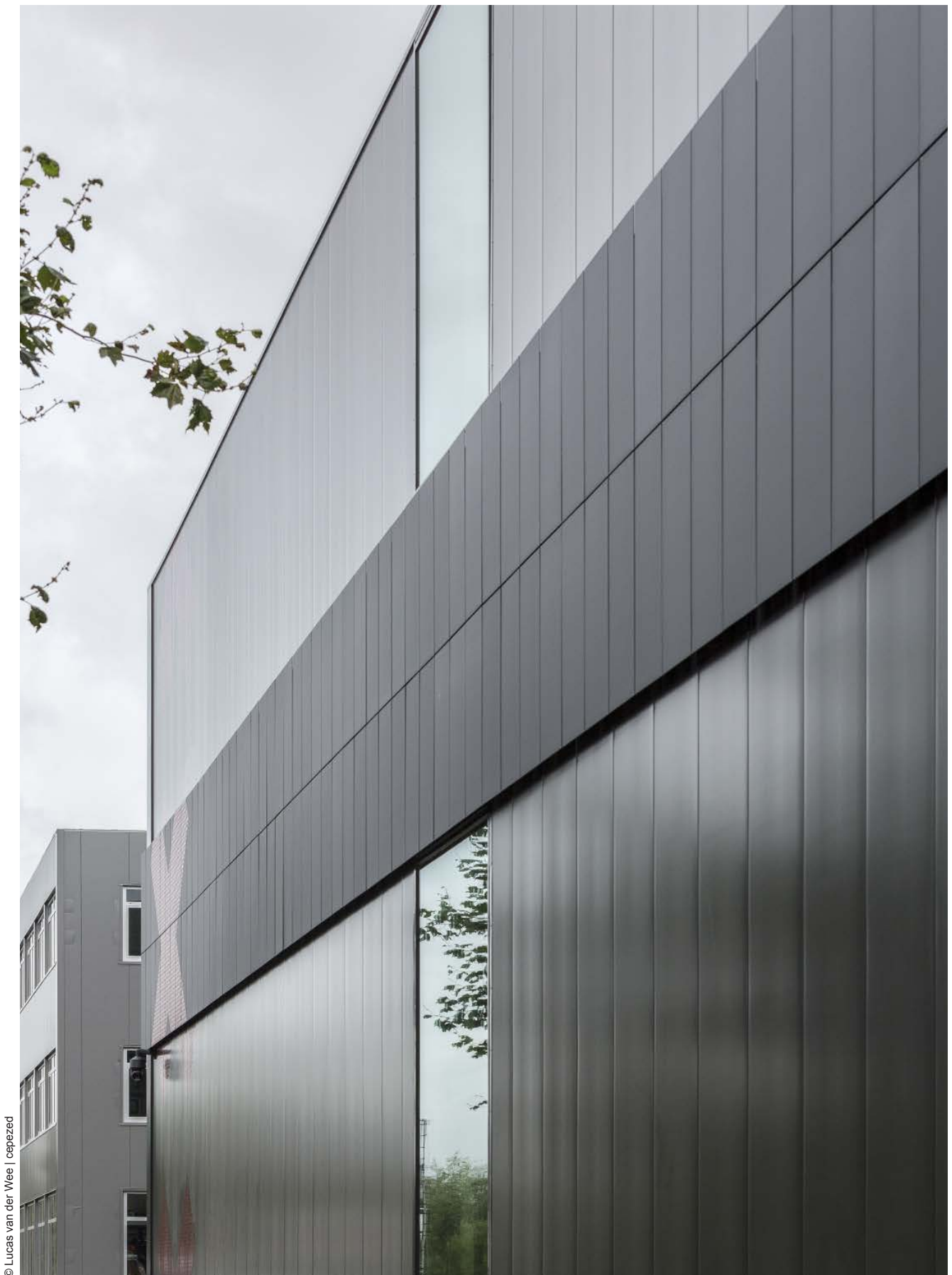


Abb. 8.1-04: Archivraum



© Lucas van der Wee | cepezed

Abb. 8.1-05: Nord-West-Fassade mit dem gestalterisches PV-Band aus Avancis SKALA-Modulen im Farbton „Grau 002“



Das Gebäude ist so konzipiert, dass die Ressource Baumaterial sparsam eingesetzt wurde. Zum Beispiel wurden vorgefertigte Bauteile verwendet und auf Betonzwischenböden verzichtet. Durch die Elementbauweise konnte das Gebäude schnell errichtet werden. Gleichzeitig ist auch eine einfache Demontage am Ende seiner Lebenszeit möglich. Dies entspricht den Ambitionen der Stadt Amsterdam, einen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft zu leisten.

Der Innenhof ist mit Rasensteinen und Bepflanzung angelegt und verfügt über eine Wasserrückhaltekapazität von über 150 m<sup>2</sup> für überschüssiges Regenwasser.

### PV-Fassade

Ein gut 3 m breites Band aus 300 PV-Modulen des Herstellers AVANCIS GmbH wurde an zwei Seiten der Fassade integriert (Abb. 8.1-02 und Abb. 8.1-05). Für dieses Modulband wurden nicht die klassischen schwarzen CIGS-Module des Herstellers verwendet, sondern Module in dem SKALA Farbton „Grau G002“. Gestalterisch wollte man einen Ton-in-Ton-Effekt im Einklang mit dem Farbton der Fassadenverkleidung erzielen.

In dem Modulband sind immer zwei Module senkrecht übereinander angeordnet. Die verbauten Module haben die nachfolgenden bau-relevanten technischen Spezifikationen:

- Modulhersteller: AVANCIS GmbH
- Modultyp: Power Max SKALA, rahmenlos
- Farbton: Grau G002
- Zellenmaterial: CIGS
- Nennleistung: je nach Leistungsklasse zwischen ca. 130–140 Wp
- Abmessungen: 1.587 mm x 664 mm x 38 mm (Standardmaße)
- Gewicht: 17 kg
- Glas/Glas-Scheibenverbund mit einem Frontglas aus 3,2 mm dickem Einscheibensicherheitsglas (ESG)

Die Fläche der in die Fassade integrierten PV-Module beträgt insgesamt ca. 320 m<sup>2</sup>. Durch den gewählten grauen Farbton reduziert sich die Leistung der einzelnen PV-Module im Vergleich zu einem schwarzen Standardmodul ein wenig.

Die Montage der rahmenlosen CIGS-Module erfolgt über die zwei Backrails, die standardmäßig auf der Rückseite aller AVANCIS SKALA-Module aufgeklebt sind (Abb. 8.1-06). An diesen Backrails werden oben und unten Agraffen, Verbindungsstücke, die zwei



Abb. 8.1-06: Backrails und Verkabelung eines AVANCIS SKALA-Moduls

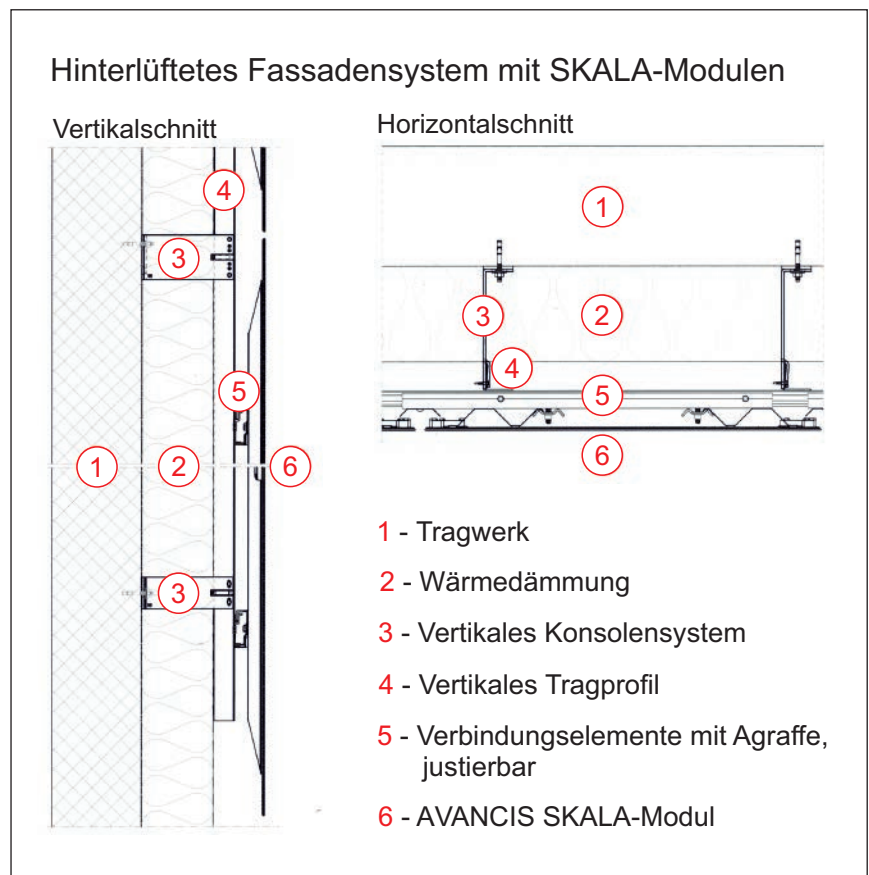


Abb. 8.1-07: Hinterlüftetes Fassadensystem mit SKALA-Modulen

Elemente hakenförmig miteinander verbinden, montiert. Die untere ist starr, die obere erlaubt eine Justierung mittels Schrauben. Die einzelnen Module werden dann mit den vormontierten Agraffen in die vertikalen Tragprofile, die mit Konsolen an der lastabtragenden Außenwand befestigt sind, eingehängt. Anschließend erfolgt eine exakte Ausrichtung der Module mit zwei Justierschrauben. Abschließend werden mittels einer Schraube, die im Spalt zwischen zwei benachbarten PV-Modulen angeordnet ist, die Agraffen der eingehängten Module fixiert. Von außen sind keine Klemmen oder Verschraubungen sichtbar (Abb.8.1-07).

Die Anlagenleistung der PV-Fassade insgesamt wird vom Modulhersteller mit 36,8 kWp angegeben. Wechselrichter der Firma Solar Edge wandeln den in der Fassade produzierten Gleichstrom in Wechselstrom um.

### Andreaskreuze

Die PV-Fassade zeichnet sich durch eine gestalterische Besonderheit aus. Um ein wiedererkennbares Image der Stadt Amsterdam für ihr neues Gebäude zu schaffen, suchten der Architekt und BAM die Zusammenarbeit mit der Markenberatungsfirma RGN Brand

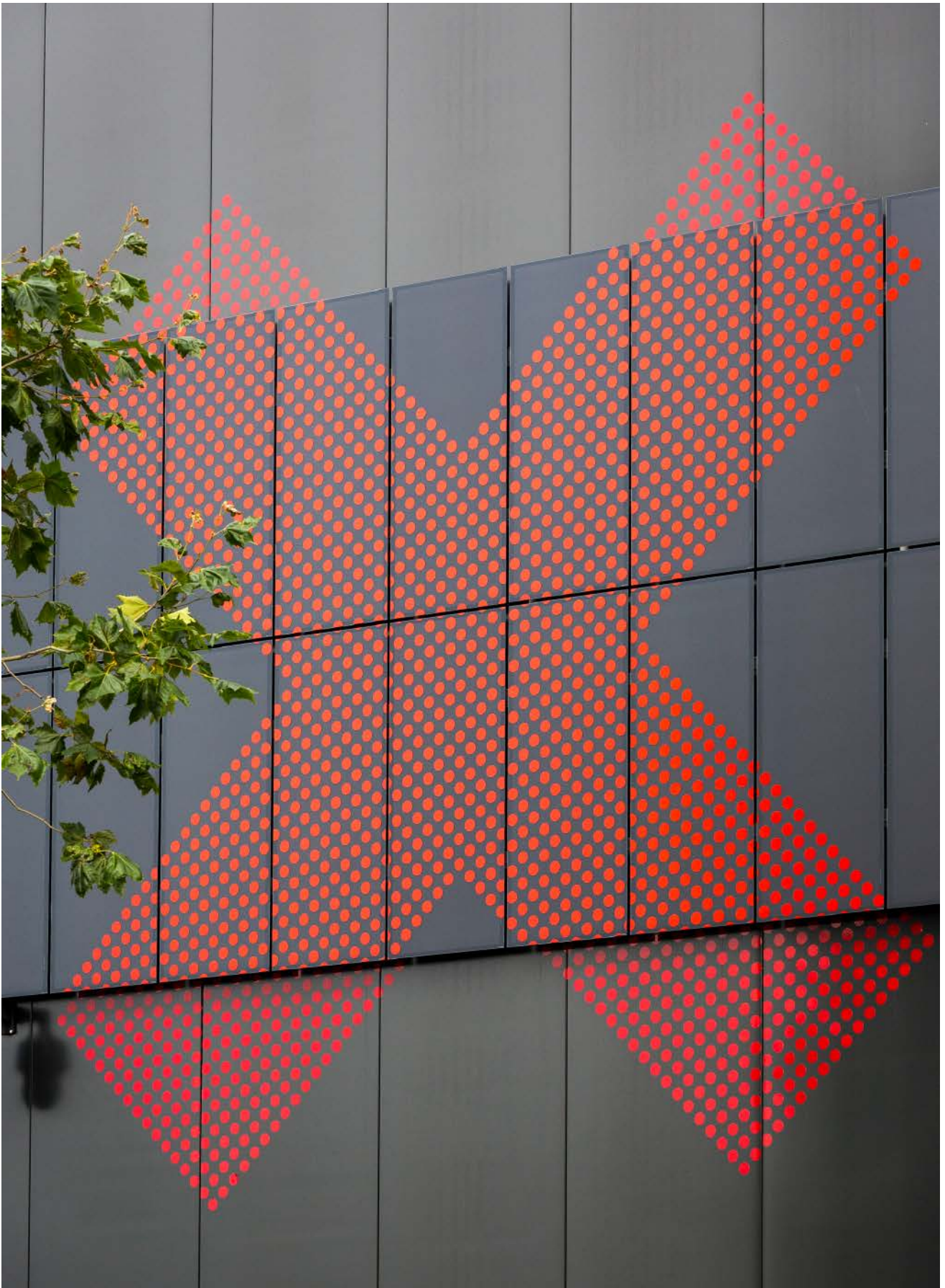


Abb. 8.1-08: Süd-Westfassade, Detail Andreaskreuz mit Punktraster aus retroreflektierender Folie, das über die PV-Modulen hinwegläuft

© Lucas van der Wee | cepezed

Identity Services. Ziel war es, das Gebäude markanter zu gestalten. Man bat daher RGN, drei Andreaskreuze, die sich auch in dem Wappen von Amsterdam wiederfinden, gestalterisch in die Fassade des Depots zu integrieren (Abb.8.1-08).

Die drei Andreaskreuze sind übereinander angeordnet und zusammen ca. 12 m hoch. Sie setzen sich aus zahlreichen einzelnen 8 cm dicken aufgeklebten Punkten zusammen. Die Kreuze sind in der Fassade so angeordnet, dass ein Teil des Punktrasters der Kreuze auch aktive PV-Modulflächen abdeckt.

RGN Brand Identity Services war dafür verantwortlich, Folien zu finden, die die Ertragsverluste der teils abgedeckten PV-Module so gering wie möglich ausfallen ließen. Auch musste vermieden werden, dass es durch die wärmeisolierende Wirkung der aufgeklebten Folienpunkte, zu einem schädlichen Wärmestau innerhalb der PV-Module kommt.

Erfahrungen zum Anbringen von Folie auf Solarmodulen aus gestalterischen Gründen gab es nicht. Die verantwortlichen Experten musste zunächst herausfinden, ob es überhaupt möglich ist, diese Art von Solarpaneelen mit CIGS-Zellen mit Folie zu bekleben. Dann mussten geklärt werden, welche Folie sich am besten für dieses Vorhaben eignet. In dieser Phase wurde die Firma Avery Dennison Corporation, ein Folienspezialist, zu Rate geholt. Nach einigen Tests mit verschiedenen Folientypen konnte eine Folie gefunden werden, die die gewünschten Anforderungen erfüllte und zum angestrebten Gestaltungsziel passte.

Die Wahl fiel auf eine retroreflektierende Folie, die besondere Reflexionseigenschaften besitzt. Allgemein beschreibt Reflexion das Vermögen, Licht in seiner Richtung zu verändern. Bei der Retroreflexion wird auftreffendes Licht eng gebündelt direkt zur jeweils anleuchtenden Lichtquelle zurückgestrahlt. Erreicht wird diese Art der Reflexion mit Hilfe einer großen Anzahl sehr kleiner brechender und spiegelnder Teile, z. B. halbverspiegelter Glaskügelchen. Diese Reflexionseigenschaften unterstützen die gestalterische Lebendigkeit der in die Fassade integrierten Andreaskreuze.

### **PV-Dachanlage**

Auf dem Dach wurden zusätzlich laut den Architekten 800 PV-Module in Standardausführung mit einer Gesamtfläche von 1.644 m<sup>2</sup> montiert. Sie sind an Wechselrichter der Firma SMA angeschlossen.



Abb. 8.1-09: Flur Level 2

© Lucas van der Wee | cepezed

### Projektdaten

- Projektstandort: Amsterdam, Niederlande
- Projektdauer: Oktober 2017 – Juli 2019
- Offizielle Eröffnung: November 2019
- Gebäudetyp: öffentliches Archivgebäude
- Bruttogeschossfläche: 2.665 m<sup>2</sup>
- PV-Fassadenfläche: 320 m<sup>2</sup>
- Anzahl PV-Module in der Fassade: 300 Module
- PV-Modul Fassade: Avancis SKALA, Farbton „Grau G002“
- Anlagenleistung Fassade: 36,8 kWp
- PV-Dachfläche: 1.644 m<sup>2</sup>
- Anlagenleistung Dach: 800 kWp
- Energieertrag: 22,2 MWh/Jahr

### Projektteam

- Bauherr: Gemeinde Amsterdam
- Planung, Bau und Wartung: BAM Bouw & Techniek Regio Noordwest, Amsterdam
- Architekt: architectenbureau cepezed, Delft
- Innenarchitekten: cepezedinterieur, Delft

- Bauingenieur: BAM Bouw & Techniek Regio Noordwest, Amsterdam
- Haustechnik: Halmos Adviseurs, Wassenaar
- Klimakonzept, Bauphysik, Nachhaltigkeit, Akustik und Brandschutz: DGMR Bouw, The Hague
- Stahlbau: Vic Obdam, Obdam
- PV-Fassade: Swiss Fassaden Technik AG, Bern

### Impressum

Diese Projektskizze beruht auf Photos, Zeichnungen, Texten und Informationen, die zur Verfügung gestellt wurden von:

#### Textquellen

- Persönliche Kommunikation mit den am Projekt beteiligten Firmen
- cepezed – press kit – Depot Amsterdam Noord – ENG. E-Mail und Download link von 02.09.2020
- Webseite Cepezed: Stadsarchief depot noord.  
→ <https://www.cepezed.nl/en/project/stadsarchief-depot-amsterdam-noord/9941/> (12/2022)
- AVANCIS GmbH (Hg.). 2022. Neubau öffentliches Bauprojekt. Stadtarchiv Amsterdam. SKALA Projektdatenblatt.  
→ [https://www.avancis.de/\\_Resources/Persistent/6/7/1/0/6710affb95088d460aa6e50109b3c1cb6d7bebf9/SKALA-Reference\\_Stadtarchiv%20Amsterdam\\_2022\\_web.pdf](https://www.avancis.de/_Resources/Persistent/6/7/1/0/6710affb95088d460aa6e50109b3c1cb6d7bebf9/SKALA-Reference_Stadtarchiv%20Amsterdam_2022_web.pdf) (12/2022)
- Webseite BAM: Depot Amsterdam Noord, Amsterdam  
→ <https://www.bambouwentechniek.nl/projecten/depot-amsterdam-noord-amsterdam> (12/2022)
- Webseite RGN brand identity services: News. Sustainable and future-proof solutions for the Amsterdam City Archives  
→ <https://www.rgnbrandidentityservices.com/no/amsterdam-city-archives/> (12/2022)

#### Photos

- Lucas van der Wee | cepezed
- Avancis GmbH

#### Zeichnung

- AVANCIS GmbH

## 8.2 South Beach, Singapur



© South Beach Consortium Pte Ltd. & The Management Corporation Strata Title Plan No. 4622, Singapore

Abb. 8.2-01: South Beach Projekt mit in das Vordach integrierten schwarzen CIGS-Modulen



Abb. 8.2-02: Fußgängerbereich unter dem Vordach aus Lamellen



Abb. 8.2-03: Fußgängerbereich mit historischem Gebäude rechts und Vordach aus Lamellen



## Gestaltungsidee und Gebäudekonzept

Projektzeitraum: 2007–2016

Das South Beach Projekt erstreckt sich über einen ganzen Stadtblock zwischen der Marina und dem Civic District im Herzen der Innenstadt von Singapur (Abb. 8.2-01 bis 8.2-08 und 8.2-13 bis 8.2-16). Das gemischt genutzte, energieeffiziente neue Stadtviertel kombiniert Neubauten mit der Restaurierung bestehender Gebäude und vereint Orte zum Leben und Arbeiten mit Geschäften, Cafés, Restaurants, einem Hotel und öffentlichen Räumen.

Eine breite, landschaftlich gestaltete Fußgängerallee schlängelt sich gleich einem grünen Band durch das Grundstück und wird von einem großen Vordach geschützt, das die darunter liegenden, lichtdurchfluteten öffentlichen Räume vor den Extremen des tropischen Klimas schützt.

Im Norden und im Süden des Geländes stehen zwei miteinander verbundene Turmpaare, die durch das grüne Band untereinander verbunden sind. In den südlichen Türmen befinden sich ein Hotel und Wohnungen, in den nördlichen Türmen Büros. Ihre Fassaden erstrecken sich in einem sanften Bogen, der die gestalterische Sprache des wellenförmigen Vordachs unter ihnen fortsetzt. Sie sind so geneigt, dass sie die vorherrschenden Winde einfangen und den Luftstrom zur Kühlung zu den Bereichen im Erdgeschoss lenken.

Die Türme, die das singapurische Ideal der „Stadt in einem Garten“ in einer Hochhausform neu interpretieren, werden von dicht bepflanzten Himmelsgärten mit beeindruckenden Ausblicken auf die Stadt und den Central Business District durchzogen. Auf den unteren Ebenen nimmt die Gestaltung der umliegenden Gebäude sensibel Rücksicht auf die Größenverhältnisse des Raffles Hotel aus dem 19. Jahrhundert. Die vier angrenzenden ehemaligen Militärgebäude entlang der Beach Road wurden ebenfalls sorgfältig restauriert. Der alte Baumbestand um diese Gebäude herum wurde erhalten und in das Gesamtkonzept integriert.

Das aus Stahl- und Aluminiumlamellen bestehende Vordach überdeckt die wichtigsten Wegverbindungen und öffentlichen Räume des Grundstücks und läuft am Rand zu den Gebäuden der Beach Road hin aus. Die Lamellenkonstruktion wird von schlanken Pfeilern getragen. An den exponierten Ost- und Westfassaden der Türme wölbt sich die geschwungene Vordachkonstruktion nach oben. Auf diese Weise bildet sich eine sorgsam ausgestaltete vertikaler Struktur, die die natürliche Belüftung des Grundstücks unterstützt.



© Nigel Young, Foster + Partners

Abb. 8.2-04: Eingangsbereich im Erdgeschoss



© South Beach Consortium Pte Ltd, Singapore & The Management Corporation Straits Title Plan No. 4622, Singapore

Abb. 8.2-05: Städtebauliche Einbindung South Beach Gebäudekomplex

Im Eingangsbereich erhebt sich das Vordach zu einem Bogen, der als Windfänger fungiert. Die vorherrschenden Winde werden dadurch eingefangen und unterstützen die natürliche Belüftung der öffentlichen Räume auf dem Grundstück. Unter dem Vordach befinden sich eine Reihe kleinerer Gebäude und flexible nutzbare Räume für Veranstaltungen und Events.

Der öffentliche Raum dieses Gebäudekomplexes ist für Fußgänger gut erschlossen. Die Zufahrten zu den Tiefgaragen und Abstellplätze für PKW befinden sich an den Rändern des Geländes. Die Anbindung an das U-Bahnnetz Singapurs erfolgt über eine direkte „grüne“ Verbindung zur U-Bahn-Haltestation „Esplanade“.

Durch die Kombination von Regenwassernutzung und der Umsetzung einer Reihe von Umweltstrategien, wie z. B. auch der Photovoltaiknutzung, erhielt das Projekt den „BCA Green Mark ‚Platinum‘ Award“.

Mit dem „BCA Green Mark Award“ werden Bauträger, Bauherren und Einzelpersonen in Singapore ausgezeichnet, die herausragende Leistungen im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit in der gebauten Umwelt erbracht haben.



© Nigel Young, Foster + Partners

Abb. 8.2-06: Überdachte Fußgängerpassage

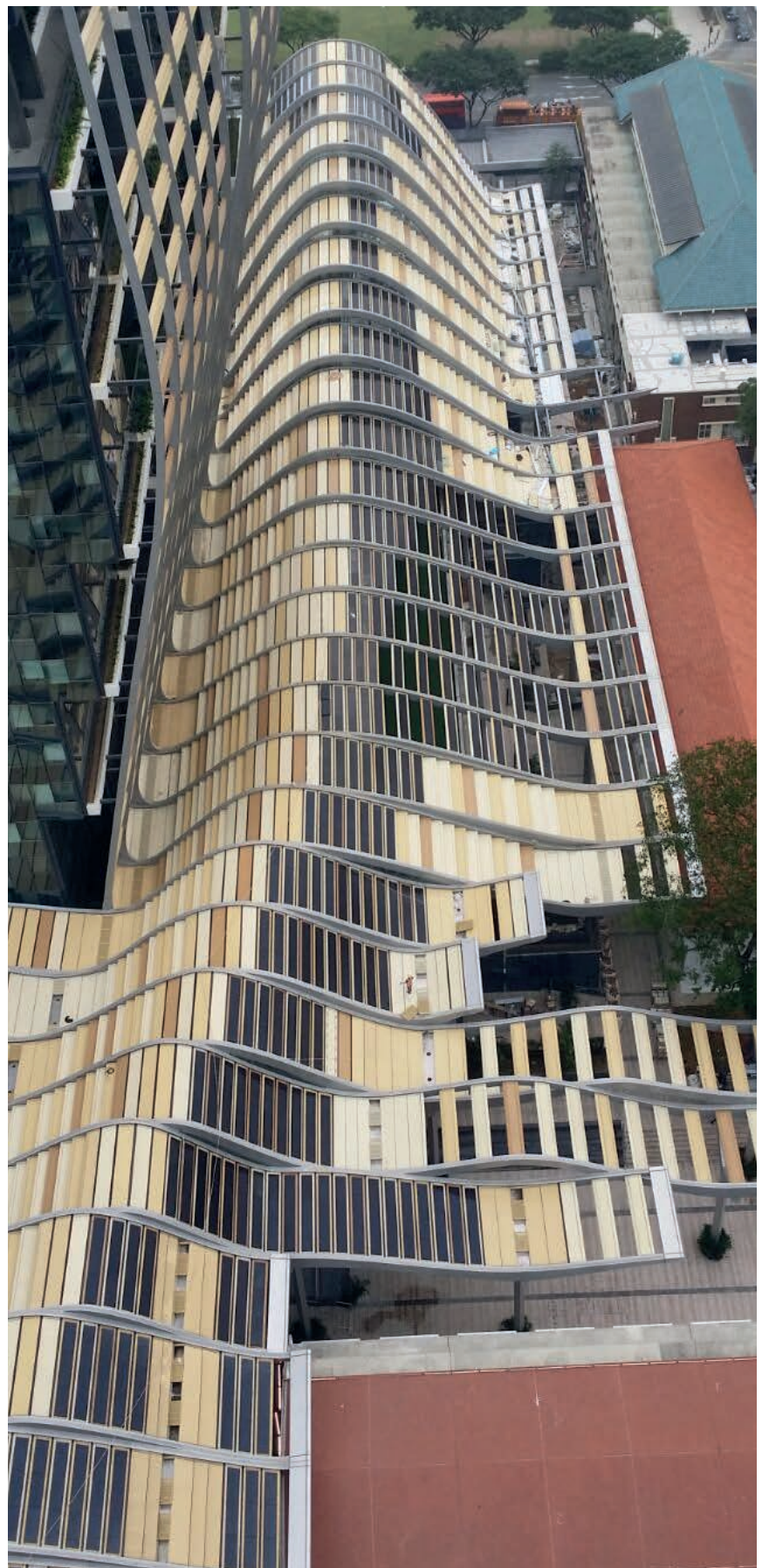


Abb. 8.2-07: PV-Anlage mit CIGS-Modulen auf den Lamellen des Vordaches

© South Beach Consortium Pte Ltd. & The Management Corporation Strata Title Plan No. 4622, Singapore

### Das Photovoltaik-System

In den South Beach Gebäudekomplex sind zwei unterschiedliche netzgekoppelte PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 285 kWp integriert.

Computational Fluid Dynamics (CFD) Software wurde eingesetzt, um die Ausrichtung der PV-Module im Gebäudekomplex so festzulegen, dass die zu erwartenden Solarstromerträge maximiert werden.

Durchschnittlich produzieren beide Anlagen zusammen 212.198 kWh pro Jahr. Der erzeugte Solarstrom wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist und bei der Berechnung des Gesamtenergieverbrauchs des Gebäudes berücksichtigt.

### PV-Anlage „Vordach“

Auf die Lamellenkonstruktion des Vordaches wurden CIGS-Module mit einer Gesamtleistung von insgesamt 206,25 kWp montiert. Jeweils drei PV-Module wurden auf einer Lamelle in einer Reihe hintereinander befestigt. Eine Montagezeichnung dazu zeigt Abbildung 8.2-12.

Zwei Anbieter lieferten die PV-Module mit identischen Abmessungen für diese PV-Anlage. Insgesamt wurden 1.362 gerahmte PV-Module in die Lamellen des Vordaches integriert. Die einzelnen Module haben folgende Spezifikationen:

- Modultyp 1:  
 Modulhersteller: Stion Corp., USA  
 Modultyp: STO-150  
 Zellenmaterial: CIGS  
 Nennleistung: 150 Wp  
 Abmessungen: 1.656 mm x 656 mm x 35 mm  
 Gewicht: 16,8 kg  
 Wirkungsgrad: 13,8 %  
 Rahmen: Schwarz eloxiertes Aluminium
  
- Modultyp 2 und 3:  
 Modulhersteller: TSMC Solar Ltd., Taiwan  
 Modulbezeichnung: TSMC TS-150C1 & TSMC TS-150C2  
 Zellenmaterial: CIGS  
 Nennleistung: 150 Wp & 155 Wp  
 Abmessungen: 1.656 mm x 656 mm x 35 mm  
 Gewicht: 16,6 kg & 17,5 kg  
 Wirkungsgrad: 13,8 % & 14,3 %  
 Rahmen: Schwarz eloxiertes Aluminium

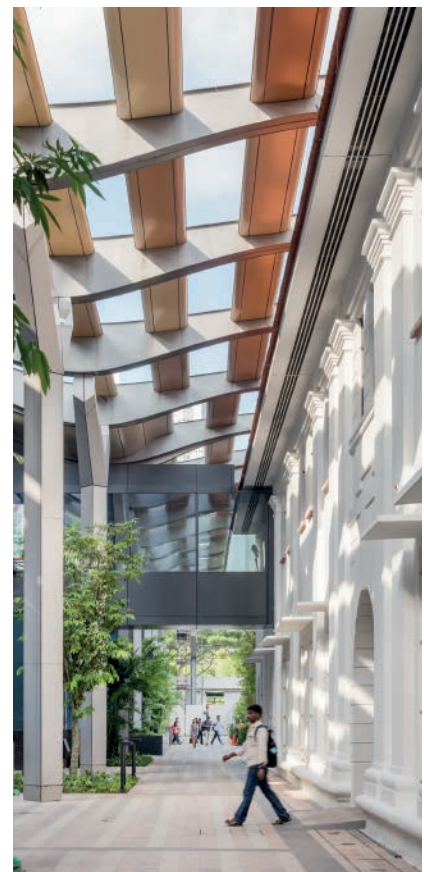


Abb. 8.2-08: Fussgängerpassage

Der Modulrahmen bildet einen zusätzlichen Schutz für die Modulkanten dieser PV-Module aus Glas. Die CIGS-Module erweisen sich als resistent gegen potenzial- und lichtinduzierte Degradation und halten auch rauen Witterungsbedingungen stand.

Der Modulaufbau der Stion CIGS-Module besteht aus 2,1 mm Substratglas und einem ESG-Frontglas aus 3,2mm. Diese als Glas/Glas-Sandwich aufgebauten PV-Module bieten, im Vergleich zu PV-Modulen mit polymerbasierten Rückseitenfolien, wie sie oft auch für kristalline PV-Module verwendet werden, eine deutlich verbesserte Feuchtigkeitsbeständigkeit und Lebensdauer. Dazu trägt auch die Versiegelung des Randverbunds aus Isobuten-Isopren-Kautschuk, kurz auch Butylkautschuk, bei. Butylkautschuk ist ein Synthesekautschuk, der ein hohes elektrisches Isolationsvermögen und eine sehr geringe Gasdurchlässigkeit besitzt. Er weist eine sehr gute Wetter- und Ozonbeständigkeit auf und bleibt auch bei niedrigen Temperaturen elastisch. In der Glasindustrie wird Butylkautschuk für die Versiegelung des Schieborderandverbundes von Isoliergläsern eingesetzt und hat sich bewährt.

Die 1.362 Module sind in 28 Generatorfelder unterteilt, die jeweils an einem SMA Wechselrichter angeschlossen sind (Abb. 8.2-09 bis Abb. 8.2-11).



Abb. 8.2-09: Wechselrichter Wand 1



Abb. 8.2-10: Wechselrichter Wand 2

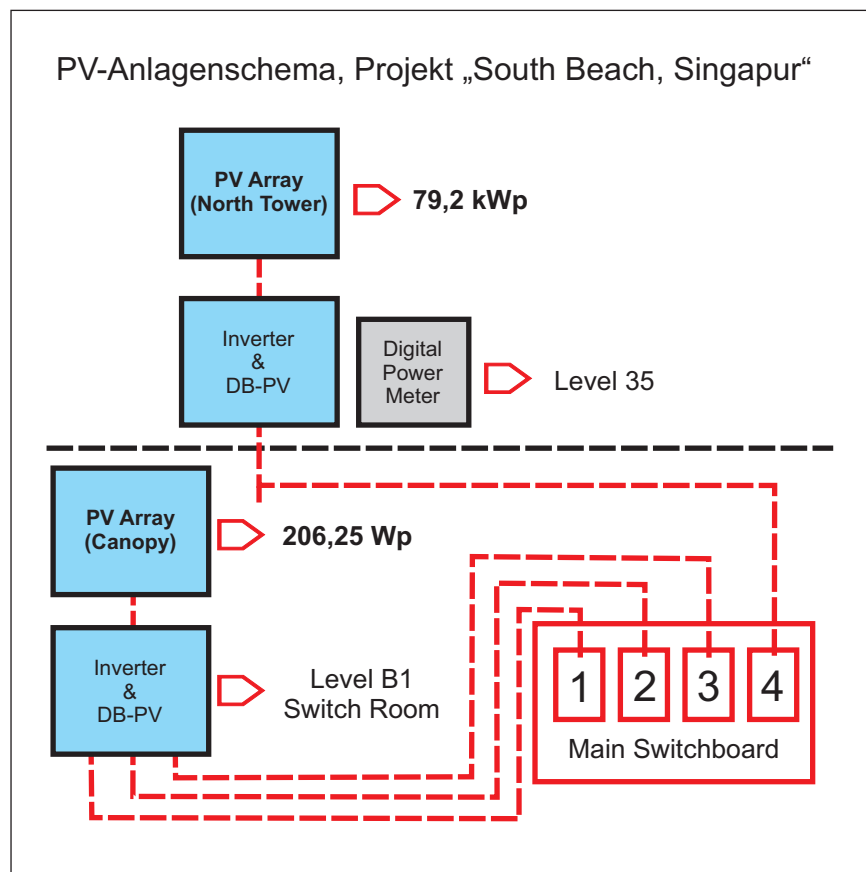


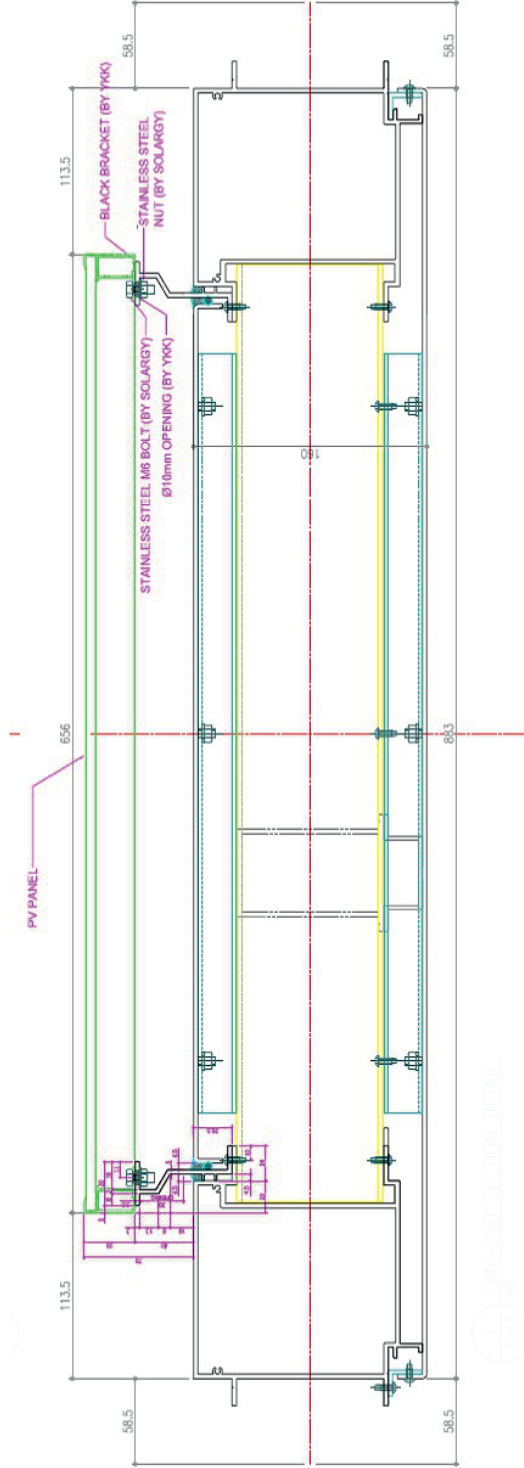
Abb. 8.2-11: PV-Anlagenschema

© South Beach Consortium Pte Ltd & The Management Corporation Strata Title Plan No. 4622, Singapore

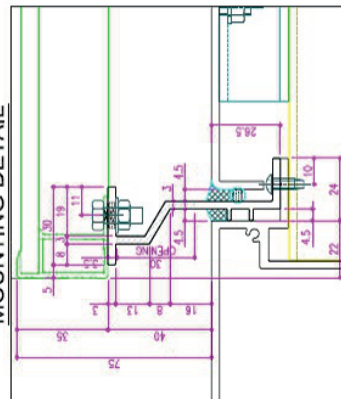
© South Beach Consortium Pte Ltd. & The Management Corporation Strata Title Plan No. 4622, Singapore

© South Beach Consortium Pte Ltd. & The Management Corporation Strata Title Plan No. 4622, Singapore

Vertikalschnitt: Montagedetail der PV-Module auf den Aluminium-Lamellen des Vordaches



MOUNTING DETAIL

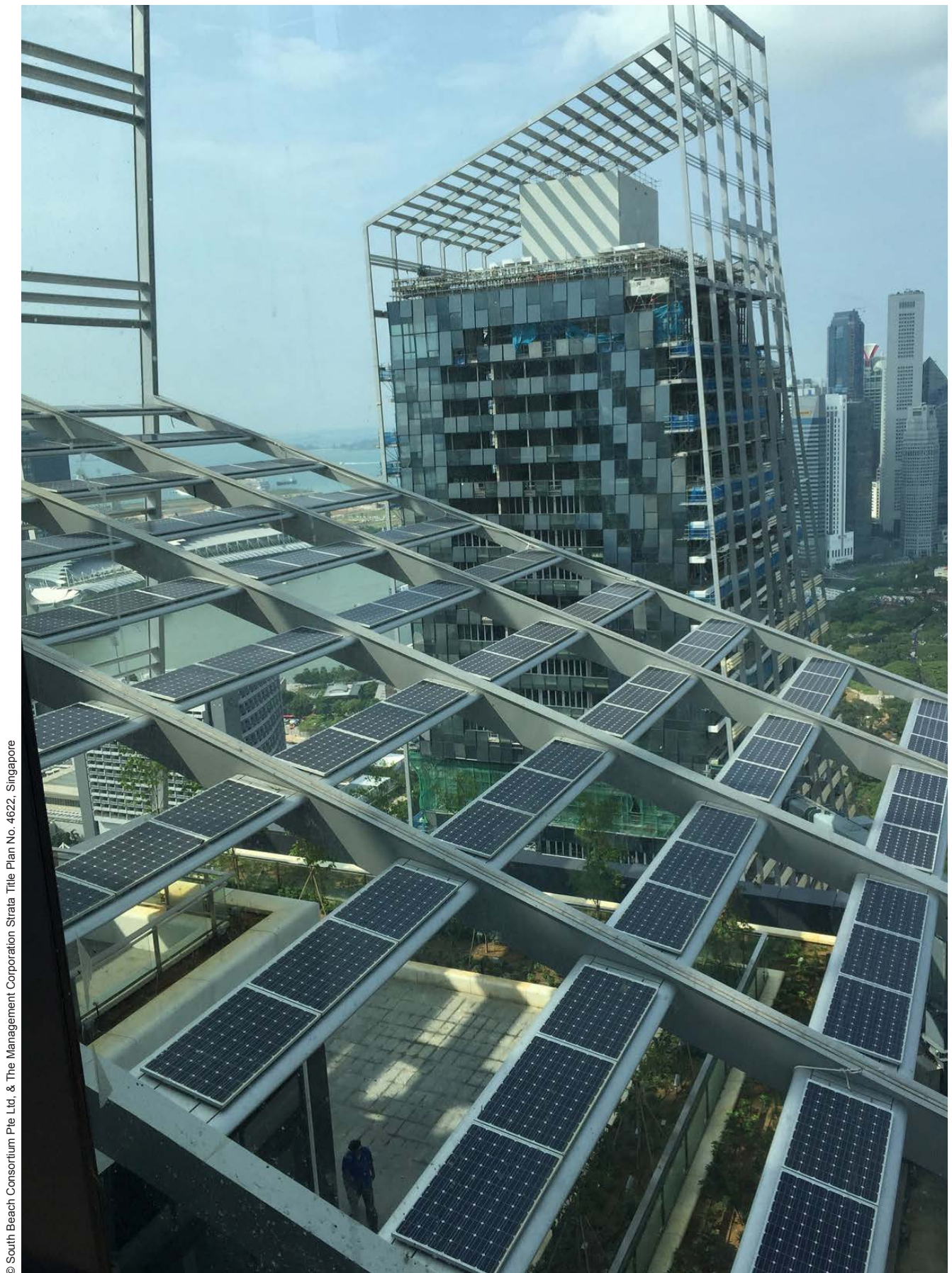


Item	Weight (kg)		Count
Solar Panel	TSMC-C1 (150 W)	TSMC-C2 (155 W) Stion (150 W)	3 Panels Per Lovre
	17.5	17.5	

Total Panel Weight		3 Panels Per Lovre	
TSMC-C1 (150 W)	52.5	TSMC-C2 (155 W) Stion (150 W)	50.4
3 Panels Per Lovre		52.5	50.4

Quelle: South Beach Consortium Pte Ltd & The Management Corporation Strata Title Plan No. 4622

Abb. 8.2-12: Technische Zeichnung mit Montagedetails zur Befestigung der gerahmten PV-Module auf den Lamellen



© South Beach Consortium Pte Ltd. & The Management Corporation Strata Title Plan No. 4622, Singapore

Abb. 8.2-13: PV-Anlage auf dem Dach des „North Tower“ mit monokristallinen PV-Modulen



### PV-Anlage „North Tower“

Zusätzlich wurden in die Dachkonstruktion der „North Towers“ kristalline PV-Module mit einer Gesamtleistung von 79,2 kWp integriert (Abb. 8.2-13). Anders als auf der Vordachkonstruktion wurden an dieser Stelle PV-Module mit monokristalline Zellen eingebaut.

Der Modulaufbau besteht aus einem 3,2 mm dicken, eisenarmen ESG-Frontglas, in EVA (Etheylene Vinyl Acetate) eingebettete 60 monokristalline Zellen und einer wetterfesten Rückseitenfolie in dem Farbton Weiss. PV-Rückseitenfoliens bestehen in der Regel aus Schichten auf der Basis von Polymeren wie Polyethylenterephthalat (PET), Polyvinylfluorid (PVF), Polyvinylidenfluorid (PVDF) und Polyamid (PA) mit einer Dicke von 30 bis 270 µm. Auch diese Module sind gerahmt. Die Modulinformationen dazu sind:

- Modultyp 4:  
 Modulhersteller: Yingli Green Holding Company Ltd., China  
 Modulbezeichnung: Panda 60 Cell 40mm Series  
 Zellenmaterial: monokristallin, 156 x 156 mm  
 Nennleistung: 275 Wp  
 Abmessungen: 1.659 mm x 990 mm x 40 mm  
 Wirkungsgrad: 16,83 %  
 Rahmen: Eloxierte Aluminiumlegierung, farblos

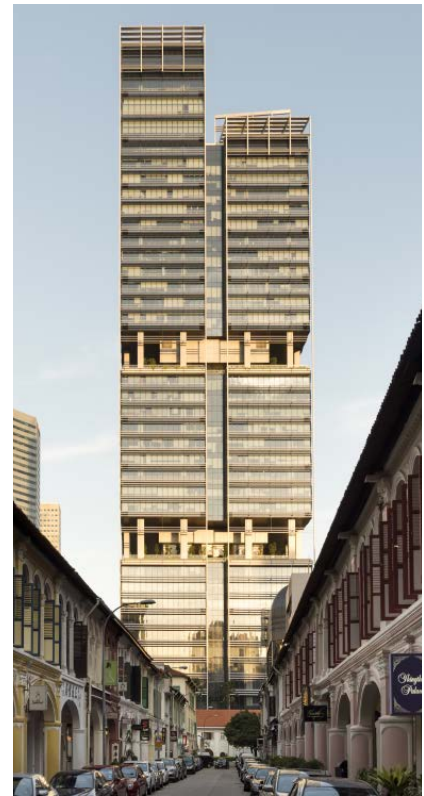


Abb.8.2-14: Blick von Purvis St. auf das nördliche gelegenen Hochhauspaar Hochhaustürme

© Nigel Young, Foster + Partners



Abb. 8.2-15: Himmelsgarten mit Blick über Singapur

© Nigel Young, Foster + Partners



© Nigel Young, Foster + Partners

Abb. 8.2-16: Ausschnitt Glasfassade Hochhäuser

Die insgesamt 288 Module auf dem Dach des „North-Tower“ wurden aufgeteilt in fünf einzelne Generatorfelder, die jeweils an einen Wechselrichter der Firma SMA angeschlossen sind.

### Impressum

Projektpartner des Projektes „South Beach, Singapore“:

- Auftraggeber: South Beach Consortium
- Architekt: Foster + Partners
- Mitwirkender Architekt: AEDAS PTE Ltd
- Bauingenieur: Arup Singapore PTR Ltd
- Maschinenbau- und Elektroingenieure: Parsons Brinckhoff PTE Ltd
- Vermessungsingenieur:  
Davis Langdon + Seah Singapore Pte. Ltd
- Lichttechnik: Lightcibles PtE Ltd
- Brandschutz: Ignesis Consultants PTE Ltd
- Landschaftsgestaltung: ICN Design International
- Nachhaltigkeitsanalyse: OVE ARUP + Partners Hong Kong Ltd
- Windberatung: BMT Fluid Mechanics
- Verkehr und Infrastruktur: MVA Consultants PTE Ltd
- Sicherheitsberatung:  
STET Homeland Security Survicos PTE Ltd
- Akustikberatung: Acviron Acoustics Consultants Pte Ltd
- Fassadenberatung: Arup Singapore PTE Ltd
- Denkmalschutz: Studio Lapis
- PV-System: SolarGy

Diese Projektskizze beruht auf Photos, Zeichnungen, Texten und Informationen, die zur Verfügung gestellt wurden von:

- Englische Textvorlage Kapitel 8.2.1: Foster + Partner, London
- Photos: Nigel Young, Foster + Partners, London
- Technische Informationen zur PV-Anlage und Photos:  
South Beach Consortium Pte Ltd, Singapore & The Management Corporation Strata Title Plan No.4622,Singapore

### 8.3 Novartis Pavillon, Basel

Projektfertigstellung: 2022

#### Entwicklungsgeschichte

Der Pavillon ist das neue Ausstellungs-, Begegnungs- und Veranstaltungszentrum von Novartis auf dem Novartis Campus in Basel (Abb.8.3-01). Er wurde entworfen von AMDL CIRCLE und Michele De Lucchi. Das in Mailand ansässige Architekturbüro wurde nach einem internationalen Designwettbewerb, der 2017 von Novartis unter der Leitung von Vittorio Lampugnani ausgeschrieben wurde, mit der Gestaltung des neuen Gebäudes beauftragt.

Der Novartis Pavillon ist das jüngste Gebäude des Novartis Campus Basel und reiht sich ein in eine Sammlung von Gebäuden, die von namenhaften Architekten wie David Chipperfield, Frank Gehry und Tadao Ando entworfen wurden. AMDL CIRCLE arbeitete eng mit dem ortsansässigen Architekten und Generalplaner Blaser Butscher Architekten AG zusammen. Sie waren für die Planung, die Ausschreibung, die technische Planung, den Bau und die Durchführung des Projekts verantwortlich.



Abb. 8.3-01: Novartis Pavillon mit Blick auf den Rhein



© Novartis

Abb. 8.3-02: Flexibel gestaltetes Erdgeschoss

### Architektur des Gebäudes

Der kreisförmige Grundriss des Gebäudes ist auf zwei Ebenen – Erd- und Obergeschoss – angelegt, die für verschiedene Funktionen genutzt werden können. Im Erdgeschoss sorgt eine 360°-Verglasung für einen fließenden Übergang zwischen dem Innen- und Außenbereich. Der offen gestaltete Raum mit einem weiten Ausblick über den Rhein heißt Besucher willkommen und bietet zugleich ein flexibles Raumkonzept (Abb.8.3-02). Je nach Bedarf können Räume für Lernen, Treffen und Veranstaltungen abgetrennt und genutzt werden. Neben dem Eingangsfoyer befindet sich ein Café und ein Check-in-Bereich mit einem Eventraum.

Der Gedanke der Nachhaltigkeit spielte in der Gestaltung und Ausführung für die Architekten und Novartis eine zentrale Rolle. Das Tragwerk des Novartis Pavillon ist aus Holz gefertigt. Acht Erdsonden stellen die Energie für die Wärme- und die Kälteerzeugung des Gebäudes zur Verfügung. Die Außenhülle besteht aus organischen Photovoltaik-Elementen. Auch bei der Auswahl der anderen Komponenten und Baumaterialien des Gebäudes orientierte man sich an den Prinzipien der Nachhaltigkeit.

### Nullenergie-Medienfassade mit Organischer Photovoltaik

Die sichtbare Außenhülle des Novartis Pavillon setzt sich aus einem Gittertragwerk und einzelnen rautenförmigen, transparenten Bauelementen mit integrierten organischen Photovoltaikzellen und LEDs zusammen. Beide Elemente zusammen bilden eine markante Medienfassade mit einer Gesamtleistung von 36 kWp, die das ringförmige Gebäudehülle umspannt (Abb. 8.3-03 bis 8.3-10). Die Fassade wurde von iart – studio for media architectures in Zusammenarbeit mit den Architekten entworfen und konstruiert. Parametrischer Designstudien der Architekten bildeten die Grundlage für den Entwurf und die Zusammenarbeit an der Medienfassade.

Der OPV-Hersteller ASCA lieferte für die Medienfassade insgesamt 10.680 OPV-Zellen, die projektspezifisch entwickelt, hergestellt und zwischen zwei Schichten aus Polycarbonat zu einem OPV-Fassadenelement zusammengefügt wurden.

Der Schichtaufbau der einzelnen OPV-Fassadenelemente ist im Detail wie folgt:

- 4 mm Polycarbonat, farblos
- Spezielle Laminierfolie für Polycarbonat
- PET (Polyethylenterephthalat)-Folienpaket mit einlamierten farbigen ASCA OPV-Zellen



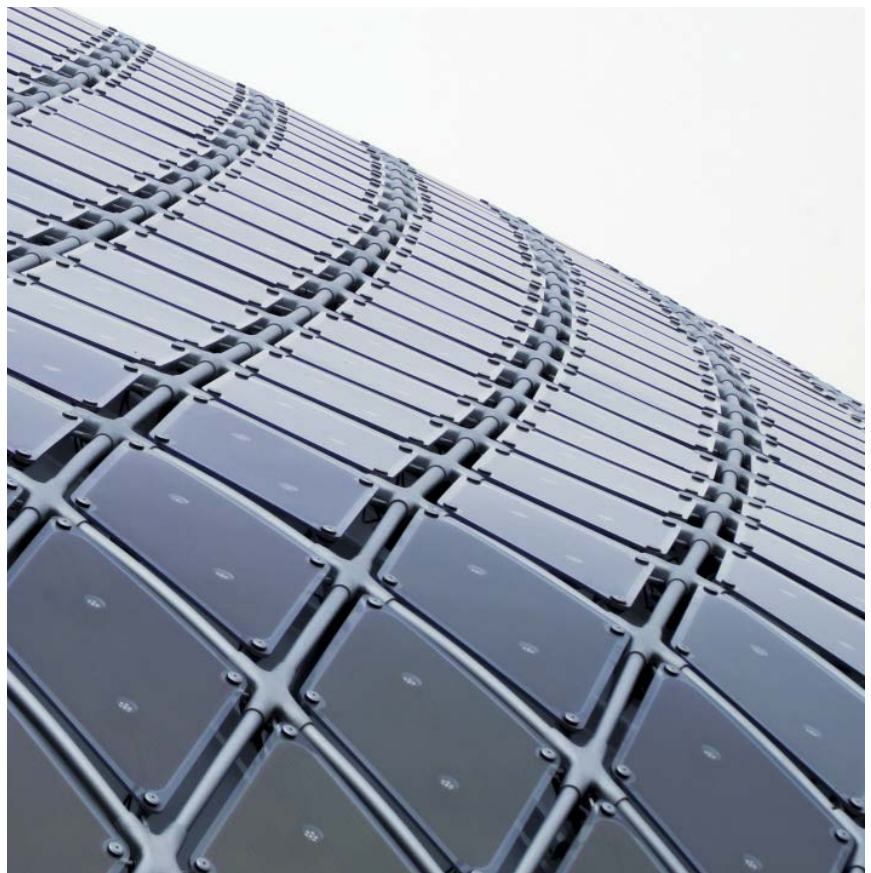
Abb. 8.3-03 Sichtbare Außenhülle des Gebäudes mit sichtbarem Gittertragwerk und OPV

© Novartis



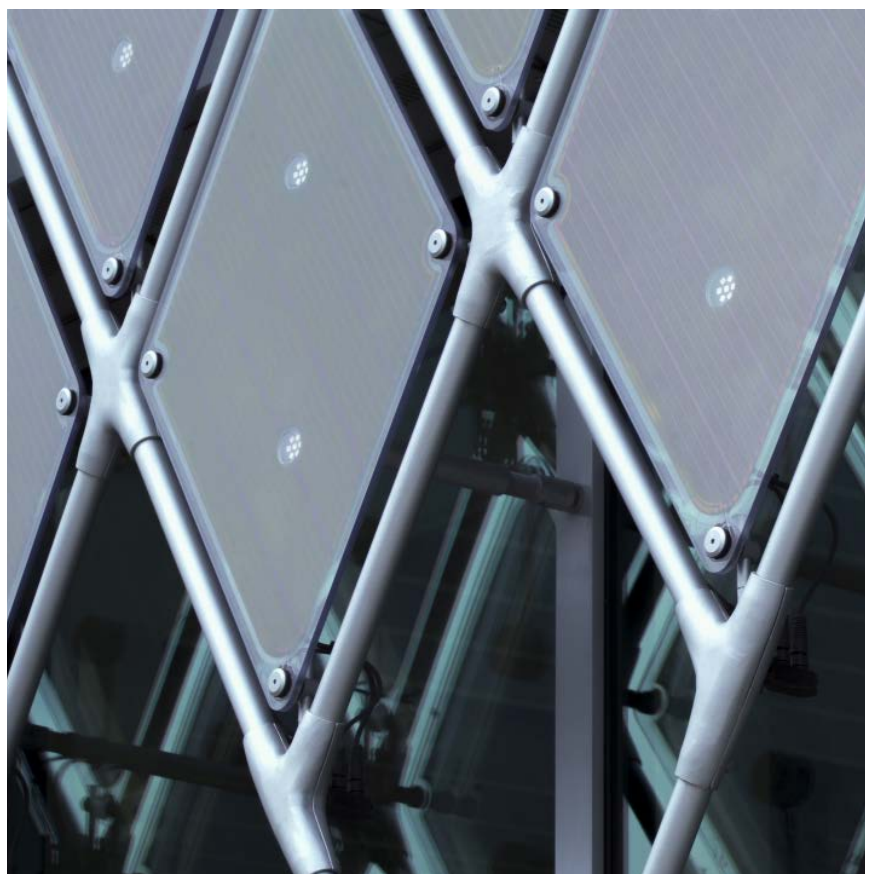
Abb. 8.3-04 Abendliche beleuchtete Medienfassade mit laufender Videoinstallation

© Novartis



© iart - studio for media architecture

Abb. 8.3-05: Gekrümmtes Gittertragwerk im Dachbereich mit OPV-Fassadenelementen



© iart - studio for media architecture

Abb. 8.3-06: Detail Gittertragwerk mit OPV-Fassadenelementen

- Spezielle Laminierfolie für Polycarbonat
- 4 mm Polycarbonat, farblos

Das Gittertragwerk für die OPV-Fassadenelemente der Medienfassade setzt sich aus insgesamt 22.536 Rohren und 11.608 Verbindungsstücken zusammen. Einzelne Montageabschnitte des Gittertragwerks wurden zusammen mit den kaltgebogenen OPV-Fassadenelementen in der Werkstatt vormontiert und anschließend auf der Baustelle mit einem Kran in die richtige Position der Fassade gehievt und befestigt (Abb. 8.3-11).

Der Vorteil des organischen Zellenmaterials im Vergleich zu anderen heute verfügbaren PV-Zellentechnologien ist, dass es in Bauelemente integriert werden kann, die gebogen und gleichzeitig lichtdurchlässig und farbig sein sollen. Außerdem besitzt die OPV ein sehr gutes Schwachlichtverhalten. Ihr Einsatz eignet sich daher auch an Gebäudeflächen, die nicht ideal dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt sind. Das Projekt in dieser Form und Ausführung wäre mit einer anderen PV-Zellentechnik nicht umsetzbar gewesen.



Abb. 8.3-07: Blick vom Erdgeschoss in die Landschaft

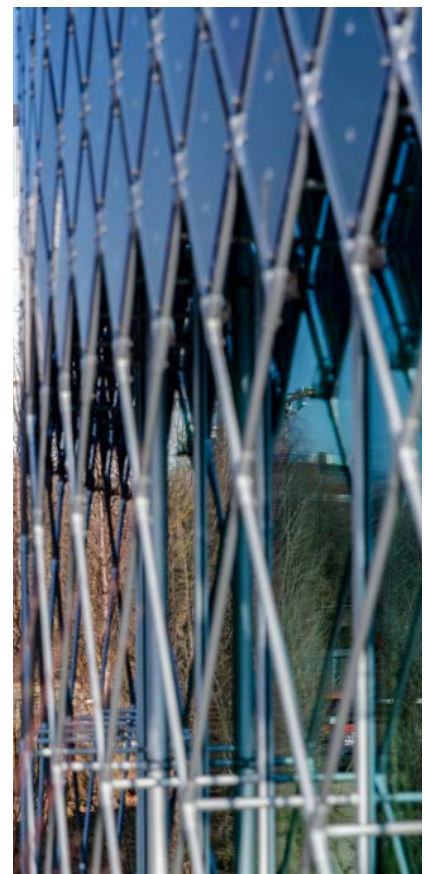
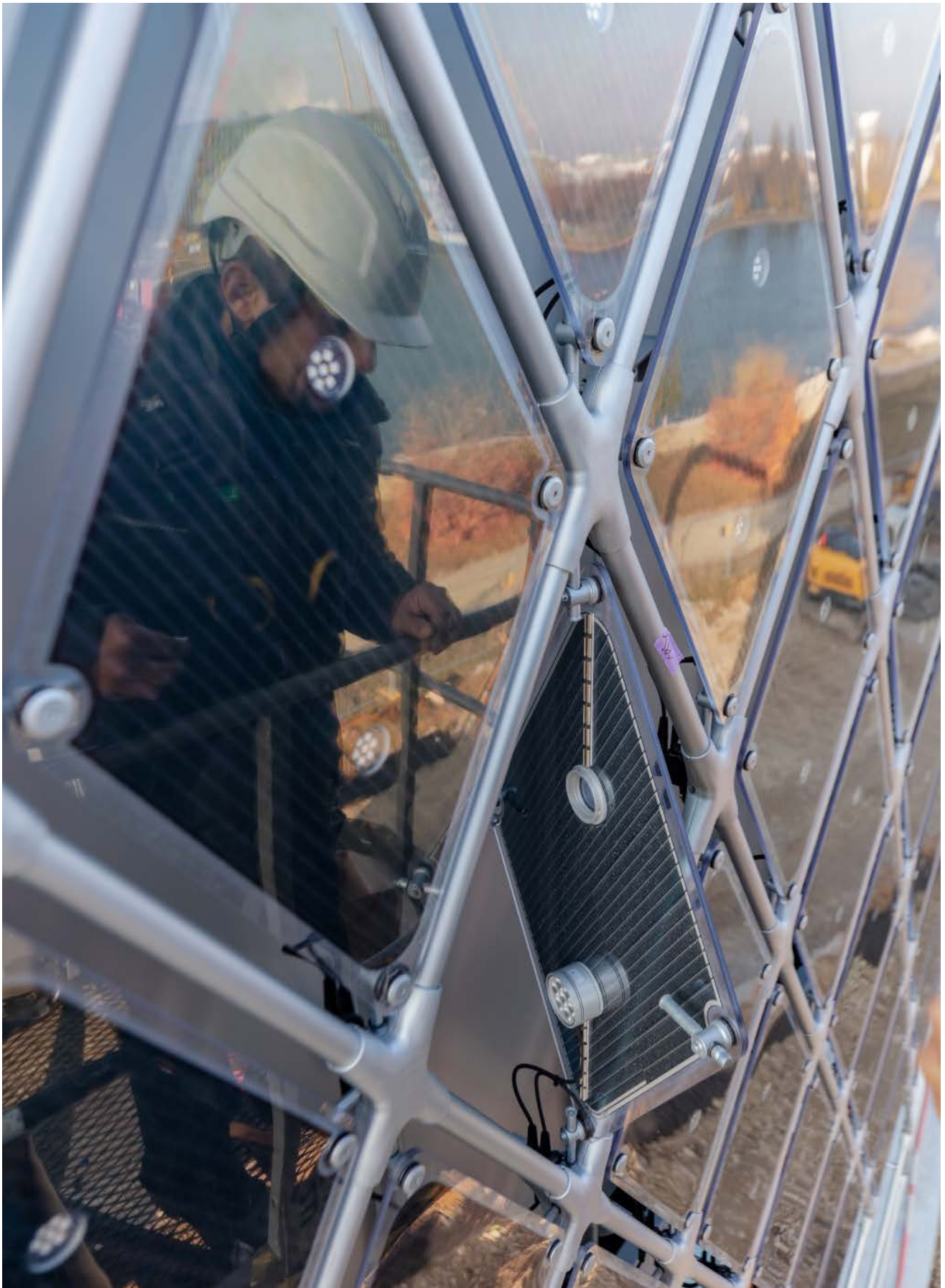


Abb. 8.3-08: Außenansicht Gittertragwerk



© Novartis

Abb. 8.3-09: Detail Medienfassade mit Blick auf ein einzelnes OPV-Fassadenelement



In die einzelnen OPV-Fassadenelemente wurden LED-Kerne eingelassen, die nicht nur Licht nach Außen abstrahlen, sondern auch in Richtung der mit 40 cm Abstand dahinter liegenden eigentlichen Gebäudefassade. An ihr reflektiert das Licht und schillert durch die semitransparenten Solarmodule wieder nach außen. Dadurch entsteht eine visuell mehrschichtige Membran, die einen sequentiellen Übergang zwischen Innen- und Außenbereich herstellt und gleichzeitig mit medialen Inhalten auf unterschiedliche Weise bespielt werden kann.

Gezeigt werden Lichtinstallationen der drei internationalen Künstlern und Künstlerinnen Daniel Canogar, Esther Hunziker und Semiconductor. Ihre Arbeiten für dieses Projekt orientieren sich an den Formen und Farben von Zellen und Molekülen sowie dem Thema Nachhaltigkeit (Abb. 8.3-03 und 8.3-12).

Eine Herausforderung bei diesem Projekt stellte die Kabelführung für 10.680 OPV-Fassadenelemente sowie 15.120 LED-Kerne dar. Um elektrische Gefahren oder Kabelbrüche zu vermeiden, entwarf ASCA ein Bauteil, das die Stromkabel in einer gewünschten Position fixieren konnte. Insgesamt 16.000 maßgeschneiderte Kabelführungen wurden per 3D-Druck-Verfahren für dieses Projekt in kurzer Zeit hergestellt.



Abb. 8.3-10: Ansicht eines OPV-Fassadenelementes von Innen



Abb. 8.3-11: Vormontage der OPV-Fassadenelemente



© Novartis

Abb. 8.3-12: Transluzente schimmernde OPV-Medienfassade bei Nacht

OPV-Elemente bilden das gesamte äußere Kleid des Gebäudes und Solarstromerträge können für alle Himmelsrichtungen erfasst werden. Basierend auf den Daten der ersten Betriebsmonate konnte gezeigt werden, dass die Fassade genügend Strom produziert, um tagsüber eine Bespielung mit bewegter Schrift und nach Sonnenuntergang bis zu zwei Stunden Kunstanimationen zeigen zu können.

#### Zahlen und Fakten Medienfassade

- Hersteller der Solarmodule: ASCA
- Fassadenfläche: 2.471 m<sup>2</sup>
- Davon aktive OPV-Fläche: 1.333 m<sup>2</sup>
- Anzahl Solarmodule: 10.680
- Anzahl LED-Kerne:  
15.120 (bi-direktional, insgesamt 30.240 LEDs)
- Gesamtleistung: 36 kWp
- Ertrag pro Jahr (voraussichtlich): 20 MWh

#### Projektpartner

- Bauherr: Novartis Pharma Schweiz AG
- Designarchitekten: AMDL CIRCLE und Michele De Lucchi
- Projektarchitekt: Nicholas Bewick
- Ausführender Architekt und Bauaufsicht: Blaser Butscher Architekten AG
- Statik: Schnetzer Puskas Ingenieure AG
- Haustechnik: Herrmann & Partner Energietechnik
- Elektrik: Edeco AG
- Fassade: Emmer Pfenninger Partner AG
- Bauphysik: Ehram Beurret Partner AG
- Brandschutz: Gruner AG
- Technische Entwicklung und Montage Medienfassade:  
iart – studio for media architectures
- Landschaftsarchitekt: Vogt Landschaftsarchitekt
- Photovoltaik-Technik: ASCA SAS
- Künstler der Medienfassade: Daniel Canogar, Esther Hunziker und Semiconductor

#### Impressum

Diese Projektskizze basiert auf Photos, Texten und Informationen die zur Verfügung gestellt wurden von:

- iart – studio for media architectures ( (Texte und Photos)
- Novartis (Photos)
- ASCA (Hg.).2002.Self-powered media facade. Basel.
- Recherche im Internet

## 9. Rechtliche Aspekte, Richtlinien und Normen

### Merke:

- Rechtliche Fragestellungen und Vorschriften werden an verschiedenen Punkten bei Bau und Planung eines GIPV-Systems berührt. Sie sind jedoch abhängig von nationalem Recht und Rechtsgewohnheiten
- Einige PV-Spezifische Normen und Zertifizierungsverfahren sind international standardisiert (IEC Norm)
- Garanzzeiten: PV-Module: 20 Jahre, Wechselrichter: 5 Jahre, Kostenpflichtige Garantieverlängerungen sind möglich
- Versicherungsschutz für eine gebäudeintegrierte PV-Anlage ist ratsam, da sie einen hohen Wert besitzt

Fragestellungen bezüglich rechtlicher Aspekte, Richtlinien und Normen stellen sich bei Planung, Bau und Nutzung eines gebäudeintegrierten Photovoltaik Systems an folgenden Punkten:

- **Vergaberichtlinien von Subventionen, Forschungs- und Fördergeldern**
  - nationale und lokale Förderrichtlinien (z. B. Stadtwerken etc.)
- **Dachnutzung** (bei unterschiedlicher Eigentümerschaft von Dach und Gebäude)
  - Gestattungsvertrag zur Dachnutzung
- **Baurechtliche Bestimmungen**
  - Vorgaben des Bebauungsplans
  - Örtliche Gestaltungs-, Stadtbild- und Denkmalschutzsatzungen
  - Baugenehmigungspflicht und Baugenehmigungsverfahren
  - Einhaltung von Baunormen und Baustandards
  - Brandschutzbestimmungen und Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
  - Statische Anforderungen
- **Bauregeln und -richtlinien**
  - Baurechtliche Genehmigung von Bauprodukten und Bauarten
  - Bestimmungen gemäß Stand der Technik/allgemein üblicher Bauregeln
  - Baunormen
- **Überkopfverglasung**
  - Besondere Sicherheitsbestimmungen bei Schräg- bzw. Überkopfverglasungen
  - Eventuelle Sondergenehmigungen einholen

- **Elektrotechnische Normen und Sicherheitsstandards**
  - Bauartzulassungen
  - Normen
  
- **Technische Anschlussbedingungen des Energieversorgungsunternehmens für Anschluss ans öffentliche Stromnetz**
  - Einspeisevertrag mit dem Energieversorgungsunternehmen
  - Anmeldeverfahren
  - Herstellung des Hausanschlusses
  - Ausführung der Zählereinrichtungen
  - Überstromschutz
  
- **Berufsrechtliche Regeln**
  - Personenschutz, der am Bau und Installation beteiligten Gewerke (Unfallschutz Umgang mit elektrischen Anlagen etc.)
  - PV-Spezifische Normen, Zertifizierung und Qualifikationstest
  - Zertifizierung der Prüfinstitute nach IEC
  - Standard-Test-Condition (STC)
  - Leistungstoleranzangaben der PV-Module
  - Zertifizierung und Qualifikationstest von PV-Modulen nach IEC 61215 und IEC 61646
  
- **Gewährleistung**
  - Gewährleistungsfristen für Produkte und Ausführung
  
- **Produktgarantie**
  - Leistungsgarantien für PV-Module und -Systemkomponenten
  - Optische Garantien für PV-Module
  
- **Versicherungsschutz bei Montage und Betrieb**

#### **Weiterführende Informationen**

**[1] Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) (Hg.). 2017. Photovoltaikanlagen. Verlag: VdS Schandenverhütung GmbH. Köln**

→ [https://vds.de/fileadmin/Website\\_Content\\_Images/VdS\\_Publikationen/vds\\_3145\\_web.pdf](https://vds.de/fileadmin/Website_Content_Images/VdS_Publikationen/vds_3145_web.pdf) (12/2022)

**[2] Technische Anschlussbedingungen (TAB) des zuständigen Energieversorgers für den Anschluß an das Niederspannungsnetz**

## 9.1 Normen, Zertifizierungen und Qualifikationstests

Es gibt unterschiedlichen Normen und Richtlinien, die eine Relevanz für Photovoltaikanlagen an Gebäuden haben. In Deutschland handelt es sich meist um DIN Normen sowie VDE- und VDI-Richtlinien.

Normen können dem nationalen Recht entspringen oder im Rahmen der Europäischen Harmonisierung entstanden sein, um dann in ein deutsches Regelwerk übernommen zu werden.

Für den Bausektor selbst gibt es je nach Bauweise, Art der Anwendung und des Gebäudes eine Vielzahl bautechnischer Normen, die nur anwendungsspezifisch eruiert werden können.

Darüber hinaus gibt es für die Nutzung der Photovoltaik im Bauwesen eine Reihe von Normen und Vorschriften. Die Wichtigsten sind:

### A. Prüfvorschriften für Photovoltaik im Bauwesen

**IEC 63092-1:2020** | Photovoltaics in buildings – Part 1: Requirements for building-integrated photovoltaic modules.

Anmerkung: Diese Norm legt die Anforderungen an BIPV-Module (gebäudeintegrierte Photovoltaik) fest und gilt für Photovoltaikmodule, die als Bauprodukte verwendet werden. Es konzentriert sich auf die Eigenschaften dieser Photovoltaikmodule, die für die grundlegenden Gebäudeanforderungen und die anwendbaren elektrotechnischen Anforderungen relevant sind. Dieses Dokument befasst sich mit den Anforderungen an die BIPV-Module in der spezifischen Art und Weise, in der sie montiert werden sollen, nicht aber mit der Montagestruktur selbst, die in den Anwendungsbereich der IEC 63092-2 fällt. Dieses Dokument basiert auf der EN 50583-1 (Quelle: [www.vde-verlag.de](http://www.vde-verlag.de) (12/2022)).



Abb. 9-01: Defektes CIGS-Modul

© Hagemann

**IEC 63092-2:2020** | Photovoltaics in buildings - Part 2: Requirements for building-integrated photovoltaic systems.

Anmerkung: Diese Norm legt die Anforderungen an BIPV-Systeme fest und gilt für gebäudeintegrierte Photovoltaikanlagen, bei denen die Photovoltaikmodule als Bauprodukte verwendet werden. Es konzentriert sich auf die Eigenschaften dieser Photovoltaiksysteme, die für die grundlegenden Gebäudeanforderungen und die anwendbaren elektrotechnischen Anforderungen relevant sind. Dieses Dokument befasst sich mit den Anforderungen an die BIPV-Systeme in der spezifischen Art und Weise, in der sie montiert werden

sollen, und mit der Montagekonstruktion, nicht aber mit dem BIPV-Modul selbst, das in den Anwendungsbereich von IEC 63092-1 fällt (Quelle: [www.vde-verlag.de](http://www.vde-verlag.de) (12/2022))

**DIN EN 50583-1:2016-10; VDE 0126-210-1:2016-10** | Photovoltaik im Bauwesen – Teil 1: BIPV-Module; Deutsche Fassung EN 50583-1:2016

Anmerkung: Diese Norm gilt für Photovoltaik-Module zur Verwendung in Bauprodukten. Sie richtet sich an Hersteller, Planer, Systementwickler, Errichter, Prüfstellen und Baubehörden. In dieser Norm wird stark auf Internationale Normen, Technische Spezifikationen und Richtlinien verwiesen. In einigen Ländern können zudem je nach Anwendung nationale Normen (oder Vorschriften) für Bauprodukte gelten, für welche noch keine geltenden, harmonisierten Europäischen Normen vorliegen.

Inhalt der Norm sind die Eigenschaften der Photovoltaik-Module, die für grundlegende Gebäudeanforderungen maßgeblich sind. Dies sind Anforderungen an die PV-Module bezüglich der spezifischen Art ihrer bestimmungsgemäßen Befestigung, aber nicht die Stützkonstruktion selbst, welche in den Anwendungsbereich von EN 50583-2 fällt. Diese Norm ist nicht anwendbar auf Konzentrator-Photovoltaik-Module oder auf additive Photovoltaik-Module. Zuständig ist das DKE/K 373 „Photovoltaische Solarenergie-Systeme“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE. (Quelle: [www.din.de](http://www.din.de) (12/2022))

**DIN EN 50583-2:2016-10; VDE 0126-210-2:2016-10** | Photovoltaik im Bauwesen - Teil 2: BIPV-Anlagen; Deutsche Fassung EN 50583-2:2016

Anmerkung: Diese Norm ist anwendbar für in Gebäude integrierte Photovoltaik-Anlagen, bei welchen die Photovoltaik-Module als Bauprodukte verwendet werden. Es sind die Eigenschaften dieser Photovoltaik-Anlagen, die für grundlegende Gebäudeanforderungen maßgeblich sind, angegeben. Es werden Anforderungen an die BIPV-Anlagen in ihrer bestimmungsgemäßen Errichtung behandelt, aber nicht die BIPV-Module als Bauprodukte, was in den Anwendungsbereich von EN 50583-1 fällt.

Sie richtet sich an Hersteller, Planer, Systementwickler, Errichter, Prüfstellen und Baubehörden. Diese Norm verweist auf Internationale Normen, Technische Spezifikationen und Richtlinien. Für manche Anwendungen können in einigen Ländern zusätzlich nationale Normen (oder Vorschriften) für Bauprodukte gelten, für welche noch keine geltenden, harmonisierten Europäischen Normen vorliegen. Diese Norm ist nicht anwendbar auf Konzentrator-Photovoltaik-

Anlagen oder auf additive Photovoltaik-Anlagen. Zuständig ist das DKE/K 373 „Photovoltaische Solarenergie-Systeme“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE. (Quelle: www.din.de (12/2022))

Kundensicherheit bieten zudem individuell vereinbarte und vertraglich zugesicherte Produktgarantien sowie zu erfüllende Anforderungen und Normen, die an Bauelemente im Allgemeinen gestellt werden.

## B. Prüfvorschriften für standardisierte Dünnschicht-PV-Module

**DIN EN IEC 61215-1 VDE 0126-31-1-1:2022-02** | Terrestrische Photovoltaik-(PV)-Module – Bauarteignung und Bauartzulassung – Teil 1: Prüfanforderungen.

**DIN EN IEC 61215-1-2 VDE 0126-31-1-2:2022-02** | Terrestrische Photovoltaik(PV)-Module – Bauarteignung und Bauartzulassung – Teil 1-2: Besondere Anforderungen an die Prüfung von Photovoltaik (PV)-Dünnschichtmodulen aus Cadmiumtellurid (CdTe).

**DIN EN IEC 61215-1-3 VDE 0126-31-1-3:2022-02** | Terrestrische Photovoltaik(PV)-Module – Bauarteignung und Bauartzulassung – Teil 1-3: Besondere Anforderungen an die Prüfung von Photovoltaik (PV)-Dünnschichtmodulen aus amorphem Silizium.

**DIN EN IEC 61215-1-4 VDE 0126-31-1-4:2022-02** | Terrestrische Photovoltaik(PV)-Module – Bauarteignung und Bauartzulassung – Teil 1-4: Besondere Anforderungen an die Prüfung von Photovoltaik (PV)-Dünnschichtmodulen aus  $\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})(\text{S},\text{Se})_2$ .

**DIN EN IEC 61215-2 VDE 0126-31-2:2022-02** | Terrestrische Photovoltaik(PV)-Module – Bauarteignung und Bauartzulassung – Teil 2: Prüfverfahren.

Anmerkung: Die „IEC 61646:2013 Thin-film terrestrial photovoltaic modules. Procedure of tests for the prove of conformity of functional characteristics“ ist nicht mehr gültig. Sie wurde durch die relevanten Teile der DIN EN 61215 ersetzt.

**DIN EN IEC 61730-1:2018-10;VDE 0126-30-1:2018-10** | Photovoltaik (PV)-Module – Sicherheitsqualifikation – Teil 1: Anforderungen an den Aufbau. Anmerkung: vgl. auch Normentwurf 2020-12



Abb. 9-02: Farbstoffsolarmodul mit Problemen der Langzeitstabilität

© Eung-jik Lee

**DIN EN IEC 61730-2:2018-10;VDE 0126-30-2** | Photovoltaik (PV)-Module – Sicherheitsqualifikation – Teil 2: Anforderungen an die Prüfung.

Anmerkung: vgl. auch Normentwurf 2022-05

**DIN EN 50618:2015-11;VDE 0283-618:2015-11** | Kabel und Leitungen – Leitungen für Photovoltaik Systeme.

Anmerkung: Behandelt die Gleichstromkabel der PV

**DIN EN 50521:2013-02;VDE 0126-3:2013-02** | Steckverbinder für Photovoltaik-Systeme – Sicherheitsanforderungen und Prüfungen.

**DIN EN 50380:2018-07;VDE 0126-380:2018-07** | Datenblatt- und Typenschildangaben von Photovoltaik-Modulen.

**DIN EN IEC 62790 VDE 0126-500:2021-12** | Anschlussdosen für Photovoltaik-Module - Sicherheitsanforderungen und Prüfungen.

**DIN EN 50521:2013-02;VDE 0126-3:2013-02** | Steckverbinder für Photovoltaik-Systeme - Sicherheitsanforderungen und Prüfungen.

**DIN EN 50380:2018-07;VDE 0126-380:2018-07** | Datenblatt- und Typenschildangaben von Photovoltaik-Modulen.

Anmerkungen: Die DIN EN 61215 umfaßt (mit Ausnahme der DIN EN 61215-1.1 für kristalline PV-Module) die Betrachtung aller Einflussgrößen, die für die mechanischen und klimatologischen Belastungen und die Alterung von Dünnschicht-PV-Modulen verantwortlich sind.

Der Hauptunterschied zwischen der DIN EN 61215-1-2, DIN EN 61215-1-3, DIN EN 61215-1-4, und der für kristalline Module relevante DIN EN 61215-1.1 besteht in zusätzlichen Testprozeduren, die an die besonderen Eigenschaften der Dünnschichttechnologien angepasst wurden. Diese zusätzlichen Tests berücksichtigen z. B. das Degradationsverhalten aufgrund von thermischen Einflüssen und Bestrahlung.

Die Zertifizierung nach diesen beiden Normen ist heute für Standardmodule üblich und z. B. in Deutschland ein zwingendes Kriterium bei der Kreditvergabe von Banken bzw. Zuweisung von Fördermitteln. Entsprechend zertifizierte PV-Module gelten als zuverlässig und langlebig. Bei Spezial- und Sondermodulen, z. B. für spezielle projektspezifische Anforderungen im Baubereich, ist die Zertifizierung



© Hagemann

Abb. 9-03: Delaminationserscheinungen bei fortschreitender Alterung



wegen der hohen Kosten für eine solche Prüfung und der geringeren Stückzahl der PV-Module eine Ausnahme.

Im Teil 1 der IEC 61730 sind Material-/Ausführungsvorgaben zur Einhaltung von Sicherheitsanforderungen festgelegt. Im Teil 2 dieser Norm werden Prüfsequenzen zum Nachweis dieser Sicherheitsanforderungen dargelegt. Ziel dieser Norm ist, einen sicheren Betrieb des PV-Moduls hinsichtlich mechanischer und elektrischer Verfahren über die zu erwartete Lebensdauer sicherzustellen. So werden z. B. auch materialspezifische Anforderungen hinsichtlich des Brandschutzes gestellt, eine am Bau häufig auftretende Fragestellung.

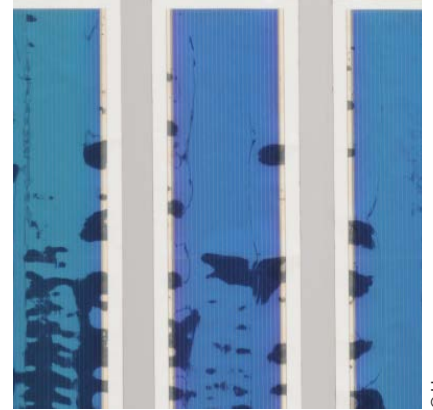


Abb. 9-04: Defektes OPV-Modul

© Hagemann

### C. Elektrotechnisch relevante Regelwerke und Normen

**DIN VDE 0100-712:Oktober 2016** | Errichten von Niederspannungsanlagen- Teil 7-712 Anforderungen für Betriebsstätten Räume und Anlagen besonderer Art – Photovoltaik (PV)-Stromversorgungssysteme.

Anmerkung: Die Norm behandelt alles, was mit der Gleichspannung (DC)- Seite von Photovoltaikanlagen zu tun hat. Stichworte sind: Kabel, Steckverbinder, Schalter, Sicherungen, RCDs (FI Schutzschalter), Überspannungsableiter, Potenzialausgleich und Erdung.

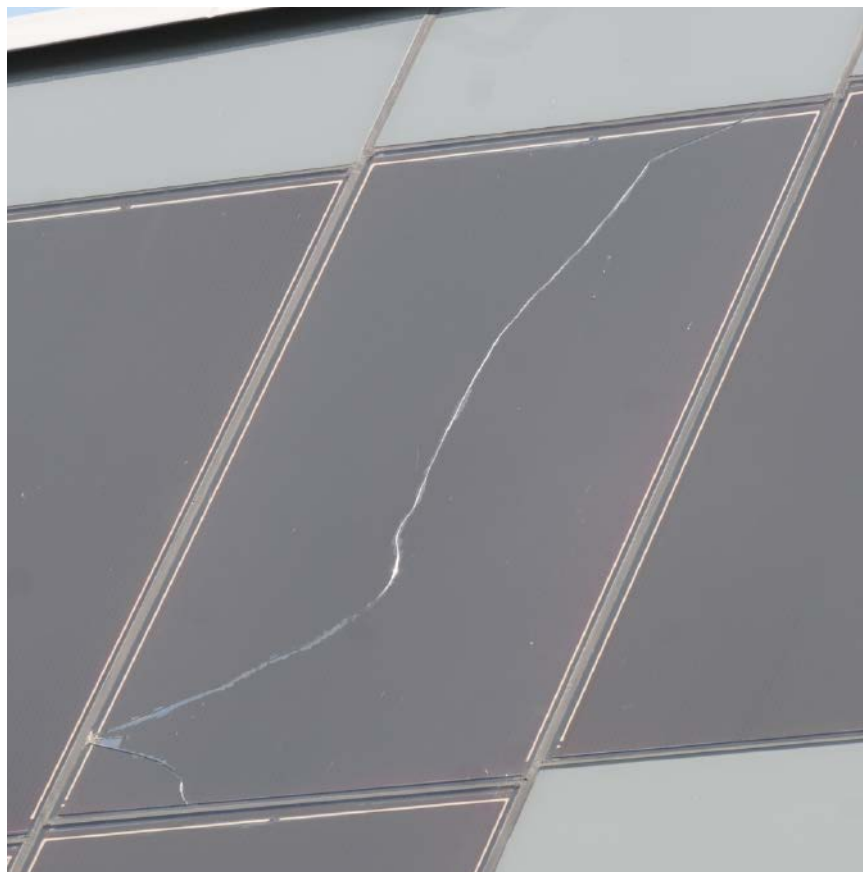
**DDIN EN 62446-1; VDE 0126-23-1:2019-04** | Photovoltaik (PV)-Systeme - Anforderungen an Prüfung, Dokumentation und Instandhaltung - Teil 1: Netzgekoppelte Systeme - Dokumentation, Inbetriebnahmeprüfung und Prüfanforderungen (IEC 62446-1:2016 + A1:2018); Deutsche Fassung EN 62446-1:2016 + A1:2018.

Anmerkung: Netzgekoppelte PV-Systeme haben eine jahrzehntelange Lebensdauer. Das Langzeitbetriebsverhalten und die Sicherheit des PV-Systems sowie Arbeiten an oder direkt neben dem PV-System können nur durch die Bereitstellung einer angemessenen Dokumentation von Anfang an gesichert werden. Diese Norm erweitert daher die Pflichten bei der System- und Prüfdokumentation von PV-Anlagen. In dieser Norm ist alles aufgeführt, was eine Dokumentation einer PV Anlage enthalten muss. Außerdem wird erläutert, welche Messungen an den PV-Anlagen, sowohl bei der Inbetriebnahme als auch bei Wiederholungsprüfungen durchgeführt werden müssen. Insbesondere für den Installateur ist die Kenntnis dieser Norm wichtig.



© Hagemann

Abb. 9-05: Tiroler Fachberufsschule für Handel und Büro, Imst mit aSi-Fassade



© Hagemann

Abb. 9-06: Spannungsriss in einem aSi Modul, Fassade Tiroler Fachberufsschule für Handel und Büro, Imst

**DIN EN 62305-3 Beiblatt 5: Feb 2014** | Blitzschutz. Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen; Beiblatt 5: Blitz- und Überspannungsschutz für PV-Stromversorgungssysteme.

Anmerkung: Diese Norm setzt sich mit "Blitz- und Überspannungsschutz" im Zusammenhang mit PV-Anlagen auseinander. Installateure und Blitzschutzanlagenbauer sollten diese kennen.

**VDI Richtlinie VDI 6012** | Regenerative und dezentrale Energiesysteme für Gebäude. Grundlagen, Befestigung von Solarmodulen und -kollektoren auf Gebäuden.

Anmerkung: Diese Richtlinie setzt sich mit der Statik und Unterkonstruktion von PV-Anlagen auseinander.

**VDE AR-N 4105** | Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz – Technische Mindestanforderungen für Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz.

Anmerkung: Dieses Regelwerk enthält Informationen rund um den Anschluß einer PV Anlage ans öffentliche Stromnetz.

**VDE-AR-E 2100-712 Anwendungsregel:2018-12** | Maßnahmen für den DC Bereich einer Photovoltaikanlage zum Einhalten der elektrischen Sicherheit im Falle einer Brandbekämpfung oder einer technischen Hilfeleistung.

Anmerkung: Hier geht's darum, was zu beachten ist, dass Einsatzkräfte in einem Brandfall nicht durch eine Photovoltaikanlage zu Schaden kommen.

## **D. Auswahl bautechnischer Regelwerke, Normen und Gesetze**

**DIN EN 1991** | Einwirkungen auf Tragwerke

**DIN 4102** | Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen

**DIN EN 13501** | Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten

**DIN 18008** | Glas im Bauwesen - Bemessungs- und Konstruktionsregeln

**DIN 18234** | Baulicher Brandschutz großflächiger Dächer - Brandbeanspruchung von unten

**DIN 18531** | Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen

**DIN EN 14449** | Glas im Bauwesen - Verbundglas und Verbundsicherheitsglas

**DIN EN ISO 13943** | Brandschutz - Vokabular

#### **Muster-Bauordnung - MBO**

Anmerkung: Die Musterbauordnung wird verwendet, um die Regelungen in den Landesbauordnungen weitgehend einheitlich zu gestalten. In diesem Sinne liefert die MBO Orientierungen und Empfehlungen, ohne selbst eine verbindliche Regelung zu sein.

**Muster-Industriebau-Richtlinie - MIndBauRL.2019-05** | Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau.

Anmerkung: Ziel dieser Richtlinie ist es, die Mindestanforderungen an den Brandschutz von Industriebauten zu regeln. Sie wird veröffentlicht von der Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz.

**Muster-Hochhaus-Richtlinie - MHHR. 2008-04** | Muster-Richtlinie über den Bau und Betrieb von Hochhäusern.

Anmerkung: Diese Richtlinie definiert in Deutschland den bauaufsichtlichen Begriff Hochhaus und regelt die Auflagen, die beim Bau und Unterhalt eines Hochhauses zu beachten sind.

**VDI 6012 Blatt 1.4** | Regenerative und dezentrale Energiesysteme für Gebäude; Grundlagen; Befestigung von Solarmodulen und -kollektoren auf Gebäuden.

Anmerkung: Die Richtlinie hilft bei der fach- und sachgerechten Konstruktion und Auswahl von Montagesysteme und Befestigungsmittel.

**Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH) e.V. (Hg.). Fachregel für Abdichtungen. 2020.03**

Anmerkung: Diese Richtlinie wird in Deutschland als „anerkannte Regel der Technik“ im Bauwesen anerkannt. Sie kann über den Rudolf-Müller-Verlag in Köln bezogen werden.

**Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH) e.V. (Hg.). Fachregeln des Dachdeckerhandwerks**

Anmerkung: Das Regelwerk des ZVDH ist unter Berücksichtigung des gegenwärtigen Standes der Bautechnik und gesicherter Ent-

wicklungstendenzen eine Richtschnur sowohl für den ausführenden Dachdecker als auch für den Planer. Sie kann über den Rudolf-Müller-Verlag in Köln bezogen werden.

### **Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen (TRLV). 2006-08**

Anmerkung: Das Dokument wurde durch die DIN 18008 Teil 2 abgelöst. Trotzdem findet es noch Beachtung und kann von der Webseite des Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) herunter geladen werden (vgl. [www.dibt.de](http://www.dibt.de) (12/2022)).

### **Technischen Regeln für die Bemessung und Ausführung punktförmig gelagerter Verglasungen (TRPV). 2006-08**

Anmerkung: Das Dokument wurde durch die DIN 18008 Teil 3 abgelöst

### **Technischen Regeln für die Verwendung von absturzsichernden Verglasungen (TRAV). 2003-01**

Anmerkung: Das Dokument wurde durch die DIN 18008 Teil 4 abgelöst. Trotzdem findet es noch Beachtung und kann von der Webseite des Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) herunter geladen werden (vgl. [www.dibt.de](http://www.dibt.de) (12/2022)).

#### **Weiterführende Informationen**

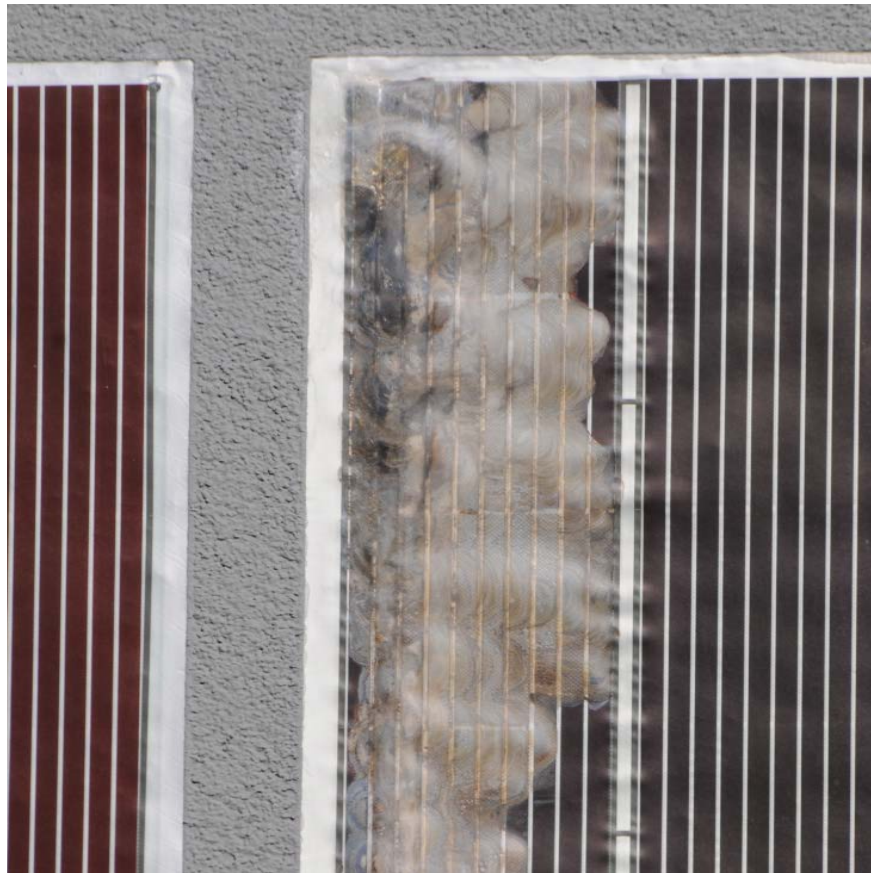
##### **[1] Veröffentlichung der Normen und Regelwerke**

- <https://www.beuth.de/de/regelwerke/normen-bei-beuth> (12/2022)
- <https://www.vde-verlag.de/> (12/2022)
- <https://www.vdi.de/richtlinien> (12/2022)



Abb. 9-07: Gefahrenquelle Modulmontage

© Gerfried Hörbelt



© Hagemann

Abb. 9-08: Defektes OP-Modul



© Mannheimer Versicherung AG

Abb. 9-09: Modulbruch

## 9.2 Produktgarantien

Jeder Hersteller ist gesetzlich verpflichtet, für einen gesetzlich festgelegten Zeitraum das einwandfreie Funktionieren seiner Produkte zu gewährleisten. Diese Sachmängelhaftung richtet sich stets nach dem jeweiligen nationalen Kaufrecht. Die Grundzüge der Gewährleistung sind z. B. in den EU-Staaten einheitlich geregelt. Lediglich die Länge der Fristen für die Gewährleistung sind von Land zu Land unterschiedlich.

### PV-Module

Die Produktgarantien der Modulhersteller umfassen mindestens den Zeitraum der gesetzlichen Gewährleistung. Übliche Produktgaranzzeiten sind 2 bis 5 Jahre. Es gibt aber auch Hersteller, die eine 10-jährige Produktgarantie gewähren.

Zusätzlich zur Produktgarantie räumen die meisten Hersteller Leistungsgarantien ein, die nach einer bestimmten Anzahl von Jahren noch einen festgelegten prozentualen Anteil der ursprünglichen Nennleistung eines PV-Moduls zusichern. Diese Leistungsgarantien liegen zwischen 20 bis 26 Jahren. Üblicherweise wird eine Leistungsgarantie für 10 Jahre über 90 % und für 20 Jahre über 80 % der Modulleistung gewährt. Dies trifft jedoch nicht für die OPV zu.

Eine optische Garantie, die ein gleichbleibendes Aussehen der Solarzellen und Module über den Garantiezeitraum hinweg garantiert, wäre bei erhöhten Ansprüchen an die Gestaltqualität eines gebäudeintegrierten PV-Generators wünschenswert, ist aber bisher nicht üblich.

### Wechselrichter

Die Garantiezeiten bei den Wechselrichtern liegen im Regelfall im Rahmen der gesetzlichen Garantiebedingungen von 2 Jahren oder optional 5 Jahren. Darüber hinaus sind kostenpflichtige Garantierweiterungen möglich. Bei vielen Herstellern kann die Garantie optional verlängert werden. Maximale Garantiezeiten bei den Kleinwechselrichtern bis 10 kW liegen bei 10 Jahren, bei Großwechselrichtern bei 20 Jahren. Sinnvoll kann es sein, eine herstellerunabhängige Verlängerung der Wechselrichtergarantie abzuschließen.

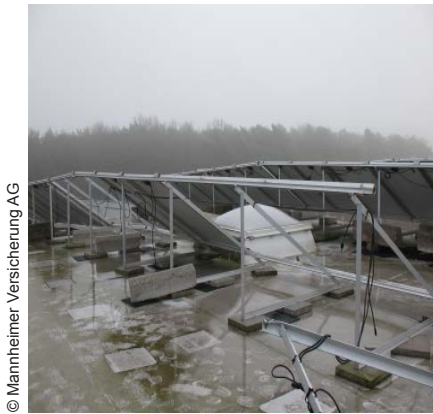


Abb. 9-10: Schaden durch Schnee und Eis

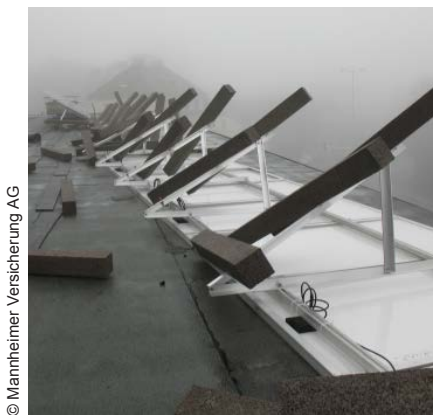


Abb. 9-11: Sturmschaden: Module boten eine zu große Windangriffsfläche

### 9.3 Versicherungsschutz bei Montage und Betrieb

Grundsätzlich ist eine Versicherung ratsam, wenn durch Schäden schwere wirtschaftliche Folgen drohen (Abb. 9.1-01 bis 9.13). Diese Voraussetzung ist aufgrund des hohen Wertes bei einer PV-Anlage auf jeden Fall gegeben.

Neben der Absicherung des Eigentums gegen die bekannten Wind- und Wetter-Risiken und eines möglichen Ertragsausfalles ist die Befriedigung fremder Ansprüche aus einem möglichen Haftpflicht-Schaden versicherbar. Im Einzelnen unterscheidet man folgende Versicherungstypen nach den Gepflogenheiten des deutschen Rechtswesens:

- **Einschluss in die Gebäudeversicherung (kleinere PV-Anlagen)**  
PV-Anlagen gelten heute gemeinhin als wetterfest. Trotzdem können Sturm, Hagel, Blitzschlag oder Regen wichtige Teile beschädigen. Zu den gravierendsten Schäden gehören die Zerstörung der elektrischen Anlage durch Blitzschlag oder Wasser. Die zweite große Gefahr ist der Bruch einer PV-Modulscheibe oder einer PV-Zelle durch Hagel. Auch bei Sturm sowie durch Überspannung oder Feuer kann die PV-Technik in Mitleidenschaft gezogen werden.

PV-Anlagen können hinsichtlich solcher Sachschäden in eine sogenannte „Wohngebäudeversicherung“ mit aufgenommen werden. In diesem Fall wird sie als Teil des Gebäudes angesehen und der Wert des Hauses entsprechend angepasst. Bauherren können die Anlage von Beginn an in die Versicherung einkalkulieren. Für den Besitzer eines mit Solartechnik nachgerüsteten Hauses erhöht sich mit dem erweiterten Schutz die Versicherungsprämie.

- **Spezielle Solarversicherung (insbesondere für größere PV-Anlagen)**  
Einen erweiterten Versicherungsschutz bieten so genannte „Allgefahrenversicherungen“. Sie versichern sämtliche Schäden und Werte, die durch äußere Einwirkungen zu Schaden kommen. Sie decken auch Diebstahl, Vandalismus und Marderbisse ab. Inbegriffen sind zudem Material- und Konstruktionsfehler sowie Mängel bei der Ausführung.

Die Versicherungsleistung lässt sich auf die individuelle Situation anpassen und die gewünschte Höhe der Selbstbeteiligung frei



wählen. So kann der PV-Anlagenbesitzer festlegen, ob es im Schadensfall nur eine Entschädigung für Reparatur oder Wiederbeschaffung gibt, oder ob auch die entgangene Einspeisevergütung ersetzt werden soll.

Weiterer wichtiger Bewertungsmaßstab sind die Kosten für ein Gerüst. Bei einem mehrstöckigen Gebäude ist es sinnvoll, diese in die Police mit aufzunehmen.

Ebenfalls zu klären ist, ob Handwerkerlohn sowie Aufräum- und Entsorgungsgebühren inbegriffen sind.

- **Haftpflicht gegen Schäden bei Dritten (für kleinere PV-Anlagen)**

Richten zum Beispiel vom Sturm losgerissene Teile der PV-Anlage Schäden am Eigentum Dritter an, so zahlt in der Regel die Privathaftpflicht. Voraussetzung ist, dass die Anlage auf dem eigenen Dach vorher gemeldet worden ist. Eventuell erhöht sich dadurch die Prämie.

- **Betreiberhaftpflichtversicherung (relevant insbesondere für größere PV-Anlagen)**

Eine Betreiberhaftpflichtversicherung regelt alle Schäden, die durch die PV-Anlage, z. B. durch ein loses, herabfallendes PV-Modul, Personen oder Sachen zugefügt werden. Dazu gehört auch eine Bauherrenhaftpflichtversicherung, durch die auch Regressansprüche abgedeckt werden.

- **Montageversicherung**

Sie ist eine Sachversicherung, die in erster Linie für Schäden aufkommt, die an der PV Anlage bei Transport und Montage entstehen. Diese muss der Bauherr/PV Anlagenbesitzer nicht abschließen.

Diese Versicherung ist für den örtlichen Handwerker bzw. die Firma, die die PV-Anlage montiert, ratsam. Sie sollte auch Vertragsbestandteil sein, um sicher zu gehen, dass der Anbieter bzw. Installateur der Anlage nicht in Konkurs gerät, wenn Schäden auftreten.

- **Ertragsausfall-Versicherung**

Man kann eine PV-Anlage gegen Stillstand absichern. Dies ist insbesondere dann interessant, wenn dadurch hohe Einnahmen durch eine eventuell vorhandene Einspeisevergütung entgehen.



Abb. 9-12: Schaden durch Schneedruck



Abb. 9-13: Sturmschaden



## 10. Anhang

### 10.1 Webseiten mit weiterführenden Informationen

Alle aufgeführten Webseiten, sofern nicht anders vermerkt, waren in 12/2022 freigeschaltet. Für den Fall, dass verschiedene Sprachversionen der Webseite existierten, wurde die ausgewählt, die die gewünschte Information bietet. Es wurden zum Teil erhebliche Abweichungen zwischen den verschiedenen Sprachversionen festgestellt.

#### Informationen zur Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV)

EU-Projekt PV-Upscale und IEA, PVPS, Task 10 Datenbank

→ <https://www.pvdatabase.org/>

IEA, PVPS, Task 15 „Enabling Framework for the Development of BIPV

→ <https://iea-pvps.org/research-tasks/enabling-framework-for-the-development-of-bipv/>

BiPV, Swiss BIPV Competence Centre ISAAC-DACD-SUPSI

→ <https://www.bipv.ch>

Active interfaces

→ <https://www.activeinterfaces.ch/>

Eurac research

→ <https://bipv.eurac.edu/de>

BIPVNO, Building Integrated Photovoltaics for Norway

→ <http://bipvno.no/>

Pinterest/ bipv architecture

→ <https://www.pinterest.de/smuikas75/bipv-architecture/>

EPJ Photovoltaics (Open Access journal which publishes original, peer-reviewed papers focused in the field of photovoltaic solar energy conversion)

→ <https://www.epj-pv.org/>

Brandschutz bei PV-Anlagen

→ <http://www.pv-brandsicherheit.de/>

BIPV boost. Bringing down the cost of multifunctional Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) Systems

→ <https://bipvboost.eu/>

#### Informationen zur PV allgemein

Fraunhofer ISE (Hg.) 2022. Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Freiburg

→ [www.pv-fakten.de](http://www.pv-fakten.de) (12/2022)

#### Nationale und internationale Organisationen und Verbände

Solar Power Europe (Mitgliedergeführter Verband für die europäische PV-Branche)

→ <https://www.solarpowereurope.org/>

Solar Energy Industries Association SEIA, USA (Nationaler Handelsverband für die US-Solarindustrie)

→ <http://www.seia.org>

IEA Photovoltaics Power Systems Programme (IEA PVPS)

(Präsentation der Ergebnisse internationaler Arbeitsgruppen zum Thema Photovoltaik)

→ <http://www.iea-pvps.org>

Bundesverband Solarwirtschaft e.V., Deutschland  
(Interessengemeinschaft von rund 800 Unternehmen der Solarbranche)  
→ <https://www.solarwirtschaft.de/>

Allianz Bauwerkintegrierte Photovoltaik e. V., Deutschland  
→ <https://allianz-bipv.org/>

### Förderprogramme für PV

Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), Deutschland  
→ <https://www.kfw.de/kfw.de.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Informationsportal Erneuerbare Energien, Deutschland  
→ <https://www.erneuerbare-energien.de>

### Klimaziele und Energie-Standards im Bausektor

#### EU

Europäische Kommission (Hg.). Klima- und energiepolitischer Rahmen bis 2030.  
(Dieser Klima- und Energierahmen 2030 umfasst EU-weite Zielvorgaben und politische Ziele für den Zeitraum von 2021 bis 2030.)  
→ [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_de](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_de)

Europäische Kommission (Hg.). 2018. Richtlinie (EU) 2018/844 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz  
→ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>

Ein europäischer Grüner Deal  
→ [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europeangreen-deal\\_de](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europeangreen-deal_de)

#### Deutschland

Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze (Gebäudeenergiegesetz - GEG)  
→ [https://www.gesetze-im-internet.de/geg/ \(12/2022\)](https://www.gesetze-im-internet.de/geg/ (12/2022))

<https://aktivplusev.de/>  
→ <https://aktivplusev.de/>  
→ *Passivhaus Institut, Deutschland*  
→ [https://passiv.de/downloads/03\\_zertifizierungskriterien\\_gebaeude\\_de.pdf](https://passiv.de/downloads/03_zertifizierungskriterien_gebaeude_de.pdf)

Informationsgemeinschaft Passivhaus Deutschland  
→ <http://www.igpassivhaus.de>

Passivhaus-Datenbank  
→ <https://passivehouse-database.org>

#### Österreich

Innovative Gebäude Österreich (inkl. Passivhaus)  
→ <https://www.innovativegebaeude.at>

#### Schweiz

Schweizer Norm SIA 380/1, Fassung vom 2016  
→ [http://shop.sia.ch/normenwerk/architekt/380-1\\_2016\\_d/D/Product](http://shop.sia.ch/normenwerk/architekt/380-1_2016_d/D/Product)

Schweizerischer Minergie-P – Standard  
→ <http://www.minergie.ch>

## Normen und Standards

International Electrotechnical Commission (IEC)

→ <http://www.iec.ch>

Union Technique de l'Electricité et de la communication (UTE)

→ <http://ute-asso.fr/>

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN)

→ <https://www.din.de>

VDE Verlag

→ <https://www.vde-verlag.de/>

## Hersteller von Dünnschicht-PV

Geringe Transportkosten im Vergleich zu den Investitionskosten für PV-Module führen zu einem weltweiten Handel mit PV-Standard Modulen. Anders sieht es bei spezifischen Bauprodukten mit integrierter Photovoltaik aus. Diese müssen auch bauspezifische Normen erfüllen. Daher werden diese eher räumlich begrenzt angeboten.

### a-Si

KANEKA Corporation, Japan → <http://www.kaneka-solar.com>

ONYX SOLAR ENERGY S.L., Spanien → <https://www.onyx-solar.com>

Polysolar Ltd., England → <https://www.polysolar.co.uk>

### CIS/CIGS

AVANCIS GmbH, Deutschland → <http://www.avancis.de>

eterbright solar corp., Taiwan → <http://www.eterbright.tw>

Flisom AG, Schweiz → <http://www.flisom.com>

Global Solar. A Hanenergy Company, China → <http://www.globalsolar.com>

Hanergy, China → <http://www.hanergy.com/>

Midsummer AB, Schweden → <http://www.midsummer.se>

NICE Solar Energy GmbH, Deutschland → <http://www.nice-solarenergy.com> (01/2022)

Solar Frontier Europe GmbH, Deutschland → <https://www.solar-frontier.eu/>

### CaTe

Advanced Solar Power, Chiwna → <http://www.advsolarpower.com>

CTF SOLAR GmbH, Deutschland → [www.ctf-solar.de](http://www.ctf-solar.de)

First Solar Inc., USA → <http://www.firstsolar.com>

Polysolar Limited, England → <http://www.polysolar.com>

Sanko Solar GmbH, Deutschland → <http://sanko-solar.de>

SolTech Energy Sweden AB, Schweden → <http://sanko-solar.de> <https://www.sanko-solar.nl>

### Farbstoffsolarzellen

Solaronix SA, Aubonne, Schweiz → <http://www.solaronix.com>

### OPV

ASCA SAS, Frankreich → <http://www.asca.com>

Heliatek GmbH, Deutschland → <https://www.heliatek.com>

### Hersteller Wechselrichter bzw. Batteriesysteme

Enphase, USA → <https://enphase.com/de-de/installers/microinverters>  
 Fronius International GmbH, Österreich → <https://www.fronius.com/>  
 Growatt, China → <https://www.growatt.de.com>  
 Huawei, China → <https://solar.huawei.com/de>  
 KACO new energy GmbH – A Siemens Company, Deutschland → <https://kaco-newenergy.com>  
 Kostal Solar Electric, Deutschland → <https://www.kostal-solar-electric.com>  
 Mastervolt, Deutschland → <https://www.mastervolt.de/umwandeln/>  
 SMA Solar Technology AG, Deutschland → <https://www.sma.de/>  
 Sofar Solar, China → <https://www.sofarsolar.com/>  
 SolarEdge, Israel → <https://www.solaredge.com/de>  
 SolarInvert GmbH → <https://www.solarinvert.de/>  
 SolarMax, Schweiz → <https://www.solarmax.com>  
 Solax Power, China → <http://de.solaxpower.com>  
 Sun Grow, China → <https://ger.sungrowpower.com/>  
 Sungrow Power Supply, China → <https://www.sungrowpower.com/de/wechselrichter>

### Hersteller Kabel und -Kabelverbinder für PV

Phoenix Contact Deutschland GmbH, Deutschland → <https://www.phoenixcontact.com>  
 Stäubli Electrical Connectors AG, Schweiz → <https://www.staubli.com>  
 TE Connectivity, Schweiz → <https://www.te.com/>  
 TU.I. Lapp GmbH, Deutschland → <http://www.lappkabel.de>

### Farbgestaltung und PV

„ColorQuant®“, Ceramic Colors Wolbring GmbH, Deutschland  
 → <https://colorquant.ceramic-colors.de/de/>  
 „Kromatix™“, Kromatix SA, Schweiz  
 → <https://kromatix.com/>  
 „SGG Albarino® Extraweisses Gussglas“, Saint-Gobain Glass, Frankreich  
 → <https://www.saint-gobain-glass.de/de/ssgg-albarino>  
 Solaxess® Nanotechnologiefolie, Solaxess SA, Schweiz  
 → [www.solaxess.com](http://www.solaxess.com)  
 SwissINSO, Schweiz  
 → <https://www.swissinso.com/>

### Auf-Dach-Montagesysteme

„Vario ‚FLEX‘ Montagesystem®“, Solarzentrum Allgäu, Deutschland  
 → <http://www.solarzentrum-allgaeu.de>  
 Schletter Solar GmbH, Deutschland  
 → <https://www.schletter-group.com>

### In-Dach-Montagesysteme bzw. Dachelemente mit PV

„CIGS ePower tile®“, Eterbright, Taiwan  
 → <https://www.eterbright.tw/>  
 „ECO2plus Voldachphotovoltaiksystem®“ mit First Solar Modulen, Aktivimmo GmbH, Deutschland  
 → <https://www.aktivimmo.de/>

„Midsummer Wave®“ und „Midsummer Slim“, Midsummer, Schweden

→ <https://midsummer.se/>

„nD-Hybridsystem®“ (PVT-Kollektor), nD-System GmbH, Deutschland

→ <http://www.nd-system.de>

„nD-Inndachsystem®“ (PV), nD-System GmbH, Deutschland

→ <http://www.nd-system.de>

„oryon®“, Soltis, Schweiz

→ [https://www.solstis.ch/images/fiches\\_techniques/FicheOryon\\_Solstis.pdf](https://www.solstis.ch/images/fiches_techniques/FicheOryon_Solstis.pdf)

„solrif“ IndachSystem und andere Montagesysteme, Ernst Schweizer AG, Schweiz

→ <https://www.ernstschweizer.ch/de/kompetenzen/solarsysteme/>

### Flachdachsysteme mit Dünnschicht-PV

„CS+®“, Renusol Europe GmbH, Deutschland

→ <https://www.renusol.com/de/pv-montagesystem/flachdach/cs-roof/>

„DERBISOLAR® – Solar Pannels“, ROTTEAM, Belgien

→ <https://roteam.be/project/derbisolar-solar-pannels/>

„Evalon Solar®“ (nicht mehr lieferbar), Alwitra GmbH, Deutschland

→ <https://alwitra.de/>

„Midsummer Bold®“, Midsummer AB, Schweden

→ <https://midsummer.se/>

### Gründach Montagesysteme für Dünnschicht-PV

„BauderSOLAR® Dachbegrünungssysteme“, Paul Bauder GmbH & Co. KG, Deutschland

→ <https://www.bauder.de/de/gruendach/photovoltaik-fuer-gruendaecher.html>

„SOLAR FKD®“ und „Solar WRB“ SOLARAUFSÄNDERUNG, Optigrün international AG, Deutschland

→ <https://www.optigruen.de/>

„Solarbasis® SB 200“, ZinCo GmbH, Deutschland

→ <https://www.zinco.de/solar>

### Montagesysteme für Wandverkleidungen mit Dünnschicht-PV

„Airtec Photovoltaic®“ (vorher „LITHO Photovoltaic“), alsecco GmbH, Deutschland

→ <https://vhf.alsecco.de/oberflaechen/photovoltaikfassade-airtec-photovoltaic.html>

„Aluhit P®“ (Verkauf eingestellt), Wyss Aluhit AG, Schweiz

→ <http://www.wyssaluhit.ch>

„ENVELON®“, Grenzbach Envelon GmbH, Deutschland

→ <https://www.envelon.net/>

GFT Fassaden AG, St. Gallen, Schweiz

→ <https://www.gft-fassaden.swiss>

Konvortec GmbH & Co. KG, Deutschland

→ <https://www.konvortec-glasfassaden.de/solarfassaden/>

„nD-Fassade®“, nD-System GmbH, Deutschland

→ <http://www.nd-system.de>

SFT+ Swiss Fassaden Technik AG, Schweiz

→ <http://www.swissfassadentechnik.com>

„StoVentec ARTline Inlay®“ (Verkauf eingestellt), Sto SE & Co. KGaA, Deutschland  
→ [https://datamaster.sto-net.com/webdocs/0000/SDB/T\\_09399-006\\_0101\\_DE\\_03\\_01.PDF](https://datamaster.sto-net.com/webdocs/0000/SDB/T_09399-006_0101_DE_03_01.PDF)

„StoVentec ARTline Invisible®“ (Verkauf eingestellt), Sto SE & Co. KGaA, Deutschland  
→ [https://www.stoindustrie.de/webdocs/0000/SDB/T\\_09399-001\\_0101\\_DE\\_05\\_01.PDF](https://www.stoindustrie.de/webdocs/0000/SDB/T_09399-001_0101_DE_05_01.PDF)

„ZIGZAGSOLAR®“, Niederlande  
→ [www.zigzagsolar.com](http://www.zigzagsolar.com)

### Isolierglas mit Dünnschicht-PV

Sanko Solar GmbH, Deutschland → <http://sanko-solar.de>

### Verschattungssysteme mit Dünnschicht-PV

„Shadovoltaic®“, Colt International (Schweiz) AG, Schweiz  
→ <https://www.coltinfor.ch/shadovoltaik-lamellen-mit-photovoltaik.html>

„1600 PowerShade® Sun Shade System“, Kawneer, USA  
→ [https://www.kawneer.com/kawneer/north\\_america/en/product.asp?cat\\_id=&prod\\_id=1850&desc=curtain-wall-sun-shades](https://www.kawneer.com/kawneer/north_america/en/product.asp?cat_id=&prod_id=1850&desc=curtain-wall-sun-shades)

### Versicherungen für PV-Anlagen

Inzwischen bieten viele Versicherer PV-Versicherungen an. Oft gibt es auch eine Gebäudeversicherung, die eine Photovoltaikversicherung einschließt.

Photovoltaikversicherung24.de | Das Vergleichsportal  
→ <https://photovoltaikversicherung-vergleichen.de>

AXA  
→ <https://www.axa.de>

Basler Securitas Versicherungs-AG, Deutschland  
→ <https://www.basler.de>

Gothaer Versicherungsbank VVaG, Deutschland  
→ <https://www.gothaer.de>

Mannheimer Versicherung AG, Deutschland  
→ <http://www.mannheimer.de/privatkunden/lumit>

Oberösterreichische Versicherungs AG, Deutschland  
→ <https://www.keinesorgen.at>

Signal Iduna, Deutschland  
→ <https://www.signal-iduna.de>

VHV, Deutschland  
→ <https://www.vhv.de/versicherungen/hausversicherung/photovoltaik>

VPV, Deutschland  
→ <https://www.vpv.de>

Waldenburger Versicherung AG, Deutschland  
→ <https://waldenburger.com>

Württembergische Versicherung AG, Deutschland  
→ <http://www.wuerttembergische.de>



## 10.2 Literaturverzeichnis

- Alfons S. Genter Verlag/Solarpraxis AG (Hg.). 2007. „Photovoltaik. Das Magazin für Profis. 12-2007“, S.39ff
- Allianz Bauwerkintegrierte Photovoltaik. 2017. „Richtlinie zur Nutzung von bauwerkintegrierter Photovoltaik als vorgehängte hinterlüftete Fassade. BIPV-VHF-Richtlinie“. Ausgabe 2017/02.  
→ <https://allianz-bipv.org/wp-content/uploads/2017/03/BIPV-VHF-Richtlinie-Ausgabe-2017-2-final.pdf>
- Allianz Bauwerkintegrierte Photovoltaik. 2022. „Technische Baubestimmungen für PV-Module als Bauprodukte und zur Verwendung von Bauarten. Bauordnungsrechtliche Vorgaben zu Produkt- und Anwendungsregeln“. Ausgabe 2022/02  
→ [https://allianz-bipv.org/wp-content/uploads/2022/02/Allianz-BIPV\\_Techn-Baubestimmungen\\_240222.pdf](https://allianz-bipv.org/wp-content/uploads/2022/02/Allianz-BIPV_Techn-Baubestimmungen_240222.pdf)
- Avancis GmbH. 2020. „Pressemitteilung vom 12.Juni 2020“  
→ [https://www.avancis.de/\\_Resources/Persistent/b/6/b/b/b6bbf0b3bcedbcc1a2295636c90117bfc6570ea8/](https://www.avancis.de/_Resources/Persistent/b/6/b/b/b6bbf0b3bcedbcc1a2295636c90117bfc6570ea8/)
- Barth, Sebastian Interview. 2022. „Living life in full colour“. In: PES.eu.com.  
→ <https://pes.eu.com/wp-content/uploads/2022/08/PES-S-2-22-Merck.pdf>
- Barth, Sebastian, Hunger, Marc. 2022. „Aesthetics and efficiency combined“. In: PES.eu.com.  
→ <https://pes.eu.com/wp-content/uploads/2022/05/PES-S-1-22-Merck.pdf>
- Baumgartner, Franz P., u.a. 2004. „MPP Voltage Monitoring to Optimize Grid Connected System Design Rules“. In: „Conference Proceeding 19th European PVSEC, 7-11June 2004, Paris, France“.
- Bendel, C.; Henze, N.; Kirchhof, J. 2002. „Energie und Kommunikation - Photovoltaische und elektromagnetische Energieumwandlung in einer Solarzellenanordnung“ (Manuskript).
- Bendel, C.; u.a. 1997. „Photovoltaik\_Fassaden – Technische Aspekte, Qualifizierung und Betriebserfahrungen“. In: Forschungsverbund Sonnenenergie „Themen 96/97“.
- BINE-Informationsdienst (Hg.). 2003. „projektinfo 03/03 - Performance von Photovoltaik-Anlagen“.
- bmvt (Hg.). 2003. „Nachhaltig wirtschaften. Photovoltaik in Gebäuden. IEA TASK 7“. Berichte aus der Energie- und Umweltforschung 7/2003.
- Bopp, G; Schätzle, R. 2002. „Inwieweit tragen PV-Anlagen zum Elektromog bei?“  
In: Berufsverband Deutscher Baubiologen (VDB) e.V. (Hg.). 2002. „Elektromagnetische Verträglichkeit Energieversorgung & Mobilfunk. 1. EMV-Tagung der VDB. Hamm, 19.-20. April 2002“. S. 37-46.
- Bundesamt für Energie BFE (Hg.). 2016. „Leuchturnprojekt Photovoltaik Fassade an Plus EnergieBau Sanierung Zürich. Bern“ Jahresbericht vom 15.09.2016
- Bundesamt für Energiewirtschaft BFE (Hg.). 2021. „PV-Gebäudehülle mit warmem Erscheinungsbild im Wohnquartier“. Schlussbericht vom 2. Februar 2018  
→ <https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=46029&Load=true>
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. 2019. „Klimaschutzplan 2050. Klimapolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung“. 2. Auflage.  
→ [https://ec.europa.eu/clima/sites/its/its\\_de\\_de.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/its/its_de_de.pdf)
- Bundesverband öffentlich bestellter und vereidigter sowie qualifizierter Sachverständiger e.V. (BVS) (Hg.). 2015. „Brüstungs- und Geländerhöhen“. BVS Standpunkt 8-2015. Eine Veröffentlichung des Fachbereich Bau. Berlin  
→ [https://www.bau-sach-verstand.de/wp-content/uploads/2015/10/BVS-Standpunkt\\_Bruestungs-und\\_Gelaenderhoehen\\_2015\\_08.pdf](https://www.bau-sach-verstand.de/wp-content/uploads/2015/10/BVS-Standpunkt_Bruestungs-und_Gelaenderhoehen_2015_08.pdf)
- Ceramic Colors Wolbring GmbH (Hg.). 2022. „ColorQuant™. Glasfarben für farbige PV-Module“ (Flyer).
- Commission Européenne (Hg.). Communication de la Commission. Énergie pour l’avenir: „EU\_Les sources d’énergie renouvelables. \_Livre blanc établissant une stratégie et un plan d’action communautaires.“
- DAW SE und GWT-TUD GmbH (Hg.). 2016. „Photovoltaik Fassaden. Leitfaden zur Planung“. ISBN 978-3-86780-463-9
- Decker, Burkhard. 1998. „Betriebserfahrungen mit PV-Fassaden in Deutschland“.  
In: DGS (Hg.). 1998. Tagungsband „Symposium Energiefassaden“. Berlin, DGS.

- Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt). 2019. „Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung - Glasfassadensystem KONVORTEC®“  
→ [https://www.dibt.de/pdf\\_storage/2018/Z-70.2-178%281.70.2-9%2118%29.pdf](https://www.dibt.de/pdf_storage/2018/Z-70.2-178%281.70.2-9%2118%29.pdf)
- Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt). 2021. „Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung / Allgemeine Bauartgenehmigung. Dünnschicht-Solarmodul „PowerMax“/„SKALA“. Berlin  
→ <https://www.dibt.de/de/service/zulassungsdownload/detail/z-701-224>
- Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt). 2021. Europäische Technische Bewertung. „Bausätze für Dachbegrünungen u.a. ‚Solargründach‘ (Extensive Dachbegrünung) – Typ 10. Optigrün international AG“. ETA-13/0557 vom 8. Juli 2021. Berlin  
→ <https://www.dibt.de/de/service/zulassungsdownload/detail/eta-130557>
- Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt). 2021. „Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MV V TB)“. Ausgabe 2021/1 mit Druckfehlerberichtigung vom 4. März 2022  
→ [https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Technische\\_Bestimmungen/MVVTB\\_2021-1.pdf](https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Referat/P5/Technische_Bestimmungen/MVVTB_2021-1.pdf)
- DIN 18008: „Glas im Bauwesen“. Herausgegeben von DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).  
→ [https://www.din.de/de/meta/suche/62730!search?\\_csrf=c8e6e507-06ff-4b08-882c-e53b3514ed0d&query=DIN+18008](https://www.din.de/de/meta/suche/62730!search?_csrf=c8e6e507-06ff-4b08-882c-e53b3514ed0d&query=DIN+18008)
- DIN EN 13022-1: „Glas im Bauwesen - Geklebte Verglasungen - Teil 1: Glasprodukte für Structural-Sealant-Glazing (SSG-) Glaskonstruktionen für Einfachverglasungen und Mehrfachverglasungen mit oder ohne Abtragung des Eigengewichtes“. Deutsche Fassung EN 13022-1:2014  
→ <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nabau/veroeffentlichungen/>
- DIN EN 13022-2 „Glas im Bauwesen - Geklebte Verglasungen - Teil 2: Verglasungsvorschriften für Structural-Sealant-Glazing (SSG-)Glaskonstruktionen“. Deutsche Fassung EN 13022-2:2014  
→ <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nabau/veroeffentlichungen/>
- DIN EN 13830:2020-11. „Vorhangfassaden – Produktnorm“. Deutsche Fassung EN 13830:2015+A1:2020  
→ <https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nabau/veroeffentlichungen/>
- Europäische Kommission (Hg.). 2021. „Europäischer Grüner Deal: Kommission schlägt vor, die Renovierung und Dekarbonisierung von Gebäuden zu fördern“. Pressemitteilung vom 15.12.2021. Brüssel.  
→ [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip\\_21\\_6683](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_21_6683)
- European Commission (Hg.). 2004. „A Vision for Photovoltaic-Technology“.  
→ <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b73c13d5-5b13-4591-be67-3a70137d7c24>
- European Commission (Hg.). 2010. „RICHTLINIE 2010/31/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung)“.  
→ <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:de:PDF>
- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) (Hg.). 2017. „Photovoltaikanlagen“. Verlag: VdS Schandenverhütung GmbH. Köln  
→ [https://vds.de/fileadmin/Website\\_Content/Images/VdS\\_Publikationen/vds\\_3145\\_web.pdf](https://vds.de/fileadmin/Website_Content/Images/VdS_Publikationen/vds_3145_web.pdf)
- Grobe, Lars O. u. Terwilliger Michaela u. Wittkopf, Stephen (2020). „Designing the colour, pattern and specularity of building integrated photovoltaics“. In: Proceedings ATI 2020: Smart Buildings, Smart Cities, Izmir, pp. 44 – 53. DOI:10.5281/zenodo.4049446
- GWT-TUD GmbH und DAW SE (Hg.).2016. „Photovoltaik Fassaden. Leitfaden zur Planung“. ISBN 978-3-86780-463-9
- Hagemann, Ingo B. 1998. „Shading Systems with PV - A new Market for Prefabricated Building Elements?“. In: Environmentally Friendly Cities. Proceedings of PLEA 98. Passive and Low Energy Architecture. Lisbon, Portugal. S. 373 – 376
- Hagemann, Ingo B. 2002. „Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle“. Köln: Rudolf Müller Verlag.  
→ <http://www.bipv.de>
- Hagemann, Ingo B. 2003. „Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV). Innovative Technik für das Baugewerbe“. In: Tagungsband „18. Symposium Photovoltaische Solarenergie, 12. - 14.3.2003, Kloster Banz, Staffelstein, Deutschland“. ISBN 3-934681-25-5. S. 239 – 247

- Hagemann, Ingo B. 2004. „Building Integrated Photovoltaic (BIPV) in Europe - Achievements and Future Perspectives“. In: „Proceeding International Solar Cities Congress 2004. Solar Cities Business Forum, November 15–16, 2004, Daegu, Korea“. S. 95–100
- Hagemann, Ingo B. 2007. „Solarsiedlung am Schlierberg, Freiburg (Breisgau), Germany - Framework conditions and learned lessons“. Forschungsbericht im Auftrag der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der Angewandten Forschung e.V.
- Haselhuhn, Ralf. 2005. „Photovoltaik. Gebäude liefern Strom“. Bine-Informationspaket. 5. Auflage. Köln. TÜV-Verlag GmbH. ISBN 3-8249-0854-9.
- Hemke, Ole. 2010. „Ertragssteigerungen für Photovoltaik-Module durch strukturiertes Front-Glas. Solarmodule können mehr: Leistung und Rendite durch Innovationen im Detail“. In: IHKS FACH.JOURNAL 2010, S.167–169  
→ <https://www.ihks-fachjournal.de/ertragssteigerung-fuer-photovoltaik-module-durch-strukturiertes-front-glas/>
- Hermannsdörfer, Ingrid u. Rüb, Christine Rüb (Hg.). 2005. „PVACCEPT“. Final Report. 01.07.01 - 31.12.04, UdK - Universität der Künste Berlin, Fakultät Gestaltung – Architektur, Berlin.  
→ <http://www.pvaccept.de/>
- Himstedt, Daniela. 2014. „Steildach. Mehr als genug“. In: dach baumagazin. Unternehmernmagazin für Dachdeckerbetriebe. Ausgabe 5 – 6, 2014. S. 12-15  
→ [https://www.dachbaumagazin.de/emag/ausgabe-5-6-2014/#dfliip-df\\_60825//](https://www.dachbaumagazin.de/emag/ausgabe-5-6-2014/#dfliip-df_60825//)
- IEA, PVPS, Task 1. Strategic PV Analysis and Outreach (Hg.). 2021. „National Survey Report of PV Power Applications in Sweden“. Von: Swedish Energy Agency.  
→ <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2022/10/National-Survey-Report-of-PV-Power-Applications-in-Sweden-2021.pdf>
- IEA, PVPS, Task 13 Performance, Operation and Reliability of Photovoltaic Systems (Hg.). 2021. „Designing New Materials for Photovoltaics: Opportunities for Lowering Cost and Increasing Performance through Advanced Material Innovations“. Report IEA-PVPS T13-13:2021. April 2021. ISBN 978-3-907281-02-4  
→ [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA-PVPS-T13-13\\_2021\\_Designing-new-materials-for-photovoltaics-report.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/04/IEA-PVPS-T13-13_2021_Designing-new-materials-for-photovoltaics-report.pdf)
- IEA, PVPS, Task 7 Photovoltaic power systems in the built environment (Hg.). 2002. „Market development strategies for PV systems in the built environment“. Task 7 Report IEA-PVPS T7-06:2002.  
→ [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/rep7\\_06.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/rep7_06.pdf)
- IEA-PVPS-Task 15 Enabling Framework for the Development of BIPV (Hg.). 2019. „Report: Analysis of requirements, specifications and regulations of BIPV“  
→ [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS\\_15\\_R08\\_Analysis\\_of\\_requirements\\_specifications\\_regulation\\_of\\_BIPV\\_report.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_15_R08_Analysis_of_requirements_specifications_regulation_of_BIPV_report.pdf)
- Internationale Föderation des Dachdeckerhandwerks e.V. (IFD). 2018. „Fassadenrichtlinie 2018. IFD-Richtlinie für die Planung und Ausführung von vorgehängten, hinterlüfteten Fassaden“.  
→ <https://www.fvfh.de/Fassade-bilder/docs/ifd-fassadenrichtlinie-2017-de.pdf>
- Jäger Waldau, Arnulf. 2019. „PV Status Report 2019“. Science for Policy report by the Joint Research Centre (JRC). EUR 29938 EN.  
→ <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/dfa5cde5-05c6-11ea-8c1f-01aa75ed71a1/language-en>
- Korea Institute of Energy Research (Hg.). 1995. “Study of Direct Beam Solar Radiation and Development of Engineering Insolation Data in Korea (IV)“. Dae-jen.
- Lee, Eung-Jik. 1999. „Untersuchung der Anwendungsmöglichkeiten von Photovoltaik an Gebäuden in Südkorea“. Dissertation der Universität Dortmund Abteilung Bauwesen, Lehrstuhl für Klimagerechte Architektur, Prof. Dr. -Ing. H. F. O. Müller  
→ <https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/2871/2/leegesunt.pdf>
- Masseck, Torsten. 2005. „Transparent Amorphous Silicon PV-Façade as part of an Integrated Concept for the Energetic Rehabilitation of an Office Building in Barcelona“. In: Proceedings of the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona
- Masseck, Torsten. 2006. „Fachada Solar como pieza singular de arquitectura sostenible“. In: Arquitectura Bioclimática, Juni 2006.

Masseck, Torsten. 2006. „Monitoring Results and Overall Evaluation of a Multifunctional, Transparent, Coloured PV-Façade for the Energetic Rehabilitation of an Office Building in Barcelona“

Musterbauordnung (MBO) in der Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 27.09.2019

→ [https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Rechtsgrundlagen/MBO\\_2019.pdf](https://www.dibt.de/fileadmin/dibt-website/Dokumente/Rechtsgrundlagen/MBO_2019.pdf)

Neugebohrn, N. u. Gehrke, K. u. Brucke, K. u. Götz, M. u. Vehse, M. 2019. „Multifunctional metal oxide electrodes: Colour for thin film solar cells“, Thin solid films 685 (2019) 131–135.

→ <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2019.06.012>

Neugebohrn, N. u. Osterthun, N. u. Götz-Köhler, M. u. Gehrke, u. Agert, C. 2021. „Improved Metal Oxide Electrode for CIGS Solar Cells: The Application of an AgOX Wetting Layer“. In: Nanoscale research letters 16 (2021) 50.

→ <https://doi.org/10.1186/s11671-021-03506-1>

Osborne, Mark. 2017. „Midsummer offers complete BIPV CIGS thin-film metal roof systems“.

→ <https://www.pv-tech.org/products/midsummer-offers-complete-bipv-cigs-thin-film-metal-roof-systems>

Österreichischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden (Hg.) 2015. „Richtlinie für die Planung und Ausführung von vorgehängten, hinterlüfteten Fassaden.“

→ <https://www.oefhf.at/content/fm/13/852/IFD-Fassadenrichtlinie.pdf>

Passivhaus Institut.2022. „Kriterien für den Passivhaus-, EnerPHit- und PHI-Energiesparhaus-Standard“. Version 10b. Stand Mai 2022

→ [https://passiv.de/downloads/03\\_zertifizierungskriterien\\_gebaeude\\_de.pdf](https://passiv.de/downloads/03_zertifizierungskriterien_gebaeude_de.pdf)

PM%20AVANCIS%20SKALA%20abz%20100620.pdf

Rehberger, Matthias. 2022. „Farbige PV-Gläser für die Fassade“. In: Glaswelt 09.2022, S.78-79

Rehberger, Matthias. 2022. „Schöne Farben für PV-Fassaden“. In: Glaswelt 06.2022, S.56-57

REN21 (Hg.). 2022. „Renewables 2022. Global Status Report“. ISBN 978-3-948393-04-5

→ [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2022_Full_Report.pdf)

RWE Schott Solar / SCHOTT Ibérica S.A. (Hg.). „Fachada solar SCHOTT Ibérica. Arquitectura innovadora hacia la sostenibilidad“.

Solaronix SA (Hg.). 2021.“ SOLARINX SOLAR CELLS. Innovative Solutions for solar professionals“.

→ [https://www.solaronix.com/documents/solaronix\\_solar\\_cells.pdf](https://www.solaronix.com/documents/solaronix_solar_cells.pdf)

Stylepark AG (Hg.). „Farbstoffsolare Zellen Merck-Konzern in Darmstadt“.

→ <https://www.stylepark.com/de/colt/farbstoffsolare-zellen-merck-konzern-in-darmstadt>

SUPSI, University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland (Hg.).2020. „Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders“. Status Report 2020.

TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH (Hg.) 2015. „Leitfaden. Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominderung“. 1. Auflage. Köln

Umwelt Bundesamt (Hg.). 2021. „Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen. Climate Change 25/2021 Abschlussbericht“. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau

WBGU (Hg.). 2003. „Welt im Wandel – Energiewende zur Nachhaltigkeit“. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. ISBN 3-540-40160-1.

→ [http://www.wbgu.de/wbgu\\_jg2003.pdf](http://www.wbgu.de/wbgu_jg2003.pdf)

Wittkopf, Stephen (20. Juni 2017): „Begrüßung und Erläuterung Einweihung PV-Fassade Umwelt Arena, Prof. Stephen Wittkopf“

Würth Solar (Hg.). Würth Elektronik eiSos, Waldenburg. „Photovoltaik-Beschattungsanlage im Rahmen eines Gebäude-Klimakonzeptes“. Projektdatenblatt der Würth Solar GmbH & Co.KG

### 10.3 Bildquellen

- © Aden/ HZB → [www.helmholtz-berlin.de](http://www.helmholtz-berlin.de)
- © Adrien Barakat → [www.dmk-photography.com](http://www.dmk-photography.com)
- © alsecco GmbH → [www.alsecco.de](http://www.alsecco.de)
- © alwiitra Flachdachsysteme - [www.alwiitra.de](http://www.alwiitra.de) → [www.alwiitra.de](http://www.alwiitra.de)
- © Antonia Rötger/ HBZ → [www.helmholtz-berlin.de](http://www.helmholtz-berlin.de)
- © Aorausol-Arau Technik GmbH → [www.aorausol.de](http://www.aorausol.de)
- © Avancis GmbH / Photo: Albrecht Voss → [www.avancis.de](http://www.avancis.de), → [www.albrechtvoss.com](http://www.albrechtvoss.com)
- © Avancis GmbH → [www.avancis.de](http://www.avancis.de)
- © BeteiligungsHolding Hanau GmbH → [www.bhg-hanau.de](http://www.bhg-hanau.de)
- © Bietigheimer Wohnbau GmbH → [www.bietigheimer-wohnbau.de](http://www.bietigheimer-wohnbau.de)
- © Building Research Establishment → [www.bregroup.com](http://www.bregroup.com)
- © Bundesverband GebäudeGrün → [www.gebaeudegruen.info](http://www.gebaeudegruen.info)
- © Ceramic Colors Wolbring → [www.ceramic-colors.de](http://www.ceramic-colors.de)
- © COLT → [www.colt-info.de](http://www.colt-info.de)
- © Denis Bourène, Armor SAS → [www.armor-group.com](http://www.armor-group.com)
- © DLR Oldenburg → [www.dlr.de](http://www.dlr.de)
- © Energieagentur NRW  
Die Energieagentur.NRW GmbH war ein privates Unternehmen, welches von 1990 bis zum Jahr 2021 im Auftrag des Landes Nordrhein-Westfalen zu allen Fragen aus dem Themenkreis Energieeffizienz, erneuerbare Energie und Klimaschutz tätig war.
- © Ependiller + Gnegel Designer → [www.architekturfotografie-muenster.de](http://www.architekturfotografie-muenster.de)
- © Eung-Jik Lee, Prof. Dr.-Ing. Eung-Jik Lee → [www.smae.semyung.ac.kr](http://www.smae.semyung.ac.kr)
- © Felix & Co. AG → [www.felix-co.ch](http://www.felix-co.ch)
- © Flisom AG → [www.flisom.com](http://www.flisom.com)
- © Fotograf Lars Gruber | für Colt International → [www.larsgruber.de](http://www.larsgruber.de), → [www.colt-info.de](http://www.colt-info.de)
- © Fridays for Future Deutschland → [www.fridaysforfuture.de](http://www.fridaysforfuture.de)
- © Friese & Röver GmbH & Co.KG → [www.photovoltaiik-bs.de](http://www.photovoltaiik-bs.de)
- © Gerfried Hörbelt → Gerfried Hörbelt, Ingenieur in Deutschland
- © Glaswerke Arnold GmbH & Co. KG → [www.glaswerke-arnold.de](http://www.glaswerke-arnold.de)
- © Hagemann → [www.bipv.de](http://www.bipv.de)
- © Hagemann, erstellt nach Grafikvorlage des IEA-PVPS-Task 7 → [www.bipv.de](http://www.bipv.de)
- © Hagemann, Photo: Jutta Rieg → [www.bipv.de](http://www.bipv.de)
- © Hagemann, Photo: Jutta Rieg → [www.bipv.de](http://www.bipv.de)
- © Handelsforum Bayern → [www.handelsforum-bayern.de](http://www.handelsforum-bayern.de)
- © Heliatek / Photo: Sylvie Curty → [www.heliatek.com](http://www.heliatek.com)
- © Heliatek → [www.heliatek.com](http://www.heliatek.com)
- © iart - studio for media architecture → [www.iart.ch](http://www.iart.ch)
- © IEA PVPS Task7 / Hagemann  
→ <https://iea-pvps.org/research-tasks/photovoltaic-power-systems-in-the-built-environment/>, → [www.bipv.de](http://www.bipv.de)
- © IEA-PVPS-Task 7 → <https://iea-pvps.org/research-tasks/photovoltaic-power-systems-in-the-built-environment>
- © ISFH → [www.isfh.de](http://www.isfh.de)
- © Kaneka → [www.kaneka.com](http://www.kaneka.com)
- © Konvortec GmbH & Co. KG → [www.konvortec-glasfassaden.de](http://www.konvortec-glasfassaden.de)
- © Lehner Versand AG → [www.lehner-versand.ch](http://www.lehner-versand.ch)
- © Linz AG → [www.linzag.at](http://www.linzag.at)
- © Lucas van der Wee | cepezed → <https://www.cepezed.nl/en/team/lucas-van-der-wee/6277>
- © Mannheimer Versicherung AG → [www.mannheimer.de](http://www.mannheimer.de)
- © Martin Baitinger, Böblingen → [www.martinbaitinger.net](http://www.martinbaitinger.net)
- © Michael Moser Images → [www.michaelmoserimages.de](http://www.michaelmoserimages.de)
- © Midsummer AB, Schweden → [www.midsummer.se](http://www.midsummer.se)
- © Nabo Gass, Photo: Ependiller + Gnegel → [www.nabo.de](http://www.nabo.de), → [www.architekturfotografie-muenster.de](http://www.architekturfotografie-muenster.de)

- © nD-System GmbH → [www.nd-system.de](http://www.nd-system.de)
- © Nigel Young, Foster + Partners → <https://www.fosterandpartners.com/studio/nigel-young>
- © Novartis → [www.novartis.com](http://www.novartis.com)
- © Paranet Deutschland GmbH → [www.paranet-deutschland.de](http://www.paranet-deutschland.de)
- © Photo Jansin & Hammarling → [www.jansinhammarling.se](http://www.jansinhammarling.se)
- © Photograph Lars Gruber | für Colt International → [www.larsgruber.de](http://www.larsgruber.de) | [www.colt-info.de](http://www.colt-info.de)
- © Prof. Dirk Slawski, Technische Hochschule OWL  
→ <https://www.th-owl.de/landschaft/fachbereich/team/dirk-slawski/>
- © Prof. Helmut F.O. Müller, Dr. Heide Schuster → <http://www.greenbuilding-rd.de>
- © Riedel Recycling GmbH → [www.riedel-recycling.de](http://www.riedel-recycling.de)
- © RWE → [www.rwe.com](http://www.rwe.com)
- © Sanko Solar → [www.sanko-solar.de](http://www.sanko-solar.de)
- © Sigurd Steinprinz / Bergische Universität Wuppertal → [www.steinprinz.de](http://www.steinprinz.de) / [www.uni-wuppertal.de](http://www.uni-wuppertal.de)
- © SolarMax Sales and Service GmbH → [www.solarmax.com](http://www.solarmax.com)
- © Solaxess → [www.solaxess.ch](http://www.solaxess.ch)
- © Soltech Energy Sweden AB → [www.soltechenergy.com/en](http://www.soltechenergy.com/en)
- © South Beach Consortium Pte Ltd, &  
The Management Corporation Strata Title Plan No. 4622, Singapore → [www.southbeach-sb.com](http://www.southbeach-sb.com)
- © Stadtwerke Stuttgart → [www.stadtwerke-stuttgart.de](http://www.stadtwerke-stuttgart.de)
- © STAWAG → [www.stawag.de](http://www.stawag.de)
- © Stephen Wittkopf, Hochschule Luzern  
→ <https://www.hslu.ch/de-ch/hochschule-luzern/ueber-uns/personensuche/profile/?pid=1797>
- © SwissTech Convention Center → [www.stcc.ch](http://www.stcc.ch)
- © T.Kühn/ HZB → [www.helmholtz-berlin.de](http://www.helmholtz-berlin.de)
- © Team X4S Hochschule Biberach → [www.team-x4s.de](http://www.team-x4s.de)
- © tritec-winsun AG → [www.tritec.ch](http://www.tritec.ch)
- © Tube Solar AG → [www.tubesolar.de](http://www.tubesolar.de)
- © Unternehmensgruppe fischer → [www.fischer.group](http://www.fischer.group)
- © WBGU, Ergänzungen: Hagemann → [www.wbgu.de](http://www.wbgu.de)
- © Wedler Photovoltaik Berlin → [www.wedler-berlin.de](http://www.wedler-berlin.de)
- © www.gosol.de → [www.gosol.de](http://www.gosol.de)
- © Zambelli RIB-ROOF GmbH & Co. KG → [www.zambelli.com](http://www.zambelli.com)
- © ZinCo GmbH → [www.zinco.de](http://www.zinco.de)
- © ZSW → [www.zsw-bw.de](http://www.zsw-bw.de)

## 10.4 Information zum Autor

Dr. Ingo B. Hagemann ist freischaffender Architekt und Berater in Aachen, Deutschland. Seit 1993 führt er mit seinem Büro Serviceleistungen auf dem Gebiet der Architektur- und Bauplanung, der Bauforschung, der Beratung, der Begutachtung und der Aus- und Weiterbildung aus.

Seit mehr als 30 Jahren ist er national und international aktiv an der Entwicklung und Markteinführung gebäudeintegrierter bzw. bauwerkintegrierter Photovoltaiksysteme beteiligt.

Zahlreiche Vorträge und Lehrveranstaltungen zu den Themen „BIPV“ und „Nachhaltiges Bauen“ hielt er auf Tagungen, Expertentreffen und an Hochschulen in Europa, Asien, Nordamerika und Australien. Seine Bücher, Buchbeiträge und Fachartikel zum Thema „BIPV“ wurden in deutscher, englischer, französischer, italienischer, koreanischer und japanischer Sprache veröffentlicht.

### Kontakt

[www.architekturbuero-hagemann.de](http://www.architekturbuero-hagemann.de)

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

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

