



Studiengemeinschaft
für Fertigtbau e.V.

Gebäudeintegrierte Photovoltaik bei der Sanierung und Modernisierung



Christian Bendel
Heinz Hullmann



PV + Bau 05

Technisches Merkblatt des Arbeitskreises „Photovoltaik in Gebäuden“

Inhalt

1.	Ausgangslage und Ziele	1
1.1	Gebäudetypen im Baubestand	1
1.2	Mögliche und sinnvolle Funktionen der Photovoltaik	2
1.3	Photovoltaik bei der energetischen Modernisierung	3
2.	Bauliche Randbedingungen zur Integration	4
2.1	Wohnbauten der Gründerzeit	4
2.2	Wohnbauten der 20er und 30er Jahre	5
2.3	Wohnbauten der 50er Jahre	6
2.4	Wohnbauten der 60er und 70er Jahre	7
3.	Strategien zur Integration der Photovoltaikanlage	8
3.1	Haustechnische Integration	8
3.2	Konstruktive Integration	9
3.3	Gestalterische Integration	12
4.	Kostenaspekte	16
4.1	Kosten	16
4.2	Nutzen	16
4.3	Finanzierung	17
4.4	Amortisation	17
5.	Ausblick	17
6.	Anhang	18
6.1	Ergänzende Literatur	18
6.2	Verbände und Forschungsinstitute	19
6.3	Glossar	19

1. Ausgangslage und Ziele

In zunehmendem Maße bestimmen Sanierungen und Modernisierungen von Gebäuden das Baugeschehen. Mehr als die Hälfte der Bautätigkeiten betreffen heute die Sanierung und Modernisierung bereits vorhandener Bausubstanz.

Dabei geht es neben der Erhaltung der Substanz ganz wesentlich um deren Anpassung an neue Funktionen sowie deren bautechnische und bauphysikalische Qualifizierung nach heutigen Anforderungen. Insbesondere gilt dies im Hinblick auf die energetischen Qualitäten. Es geht aber in vielen Fällen auch um ein geändertes Erscheinungsbild der Gebäude, sozusagen um einen „new look“. Hier unterscheidet sich das Bauen im Bestand deutlich von den Arbeiten an historischer Bausubstanz, wie sie in dem Merkblatt „Photovoltaik in historischer Bausubstanz“ dargestellt sind.

Bei historischer Bausubstanz steht die Erhaltung sowohl der Substanz als auch des Erscheinungsbildes im Vordergrund. Beim Bauen im Bestand, also bei der Sanierung und Modernisierung, geht es hingegen wesentlich um „Alltagsarchitektur“ aus dem 20. Jahrhundert, insbesondere aus dessen zweiter Hälfte. Hier ist neben der funktionalen und technischen Verbesserung auch ein neues Gesicht in vielen Fällen durchaus erwünscht.

Der Integration von photovoltaischen Anlagen¹ im Rahmen von Sanierungs- und Modernisierungsarbeiten liegen Kriterien zugrunde, die sich je nach Gebäudetyp, Funktion und Konstruktion durchaus unterscheiden. Die Hinweise in diesem Merkblatt sind entsprechend aufgebaut. Sie werden für Gebäudetypen und Baualtersgruppen gegeben, die in der Praxis besonders häufig vorzufinden sind. Dabei orientieren sie sich an Arbeiten zur thermischen Qualifizierung der Gebäudesubstanz².

Mit diesem Merkblatt sollen Orientierungshilfen gegeben werden, die sowohl dem Bauherrn und dem planenden Architekten als auch dem für die ingenieurtechnische Planung verantwortlichen Fachingenieur helfen, diese anspruchsvolle und nur interdisziplinär lösbare Aufgabe erfolgreich zu bearbeiten.

1.1 Gebäudetypen im Baubestand

Wenn im Kapitel 2 die Randbedingungen für eine Integration von Photovoltaikanlagen in vorhandene Gebäude dargestellt werden, dann geschieht das an Gebäudetypen, wie sie in den verschiedenen Epochen des vergangenen Jahrhunderts erstellt wurden. Selbstverständlich ist das nur eine grobe Einteilung, die der Vielfalt der Gebäude nur unzureichend Rechnung trägt. Sie kann aber dennoch helfen, einige grundsätzliche Lösungsprinzipien funktionaler, konstruktiver und nicht zuletzt auch gestalterischer Art zu verdeutlichen. Darüber hinaus können so Hilfen für die Problemlösung im konkreten Einzelfall gegeben werden.

Die folgenden Gebäudetypen sollen im Hinblick auf ihre Randbedingungen für eine Integration photovoltaischer Anlagen näher beschrieben werden:

- Wohnbauten aus der Gründerzeit, also um die Jahrhundertwende 1900, in der Regel in Blockrandbebauung,
- Wohnbauten der 20er und 30er Jahre als Blockrandbebauung, freistehende Wohnblöcke, Siedlungsbauten, traditionelle und moderne Konzepte,
- Wohnbauten der 50er Jahre, Wiederaufbauzeit, sparsame Bauweisen, schlichte Gestaltung, Zeilen- und Blockrandbebauung,
- Wohnbauten der 60er und 70er Jahre, freistehende Blockbebauung, Scheiben, Hochhäuser, Betonfassaden, große Fensterflächen, Siedlungen in verdichteter Bauweise.

¹ Eine Erläuterung der wichtigsten Fachbegriffe findet sich in einem Glossar im Anhang zu diesem Merkblatt.

² Vgl. z.B. Bundesarchitektenkammer: Energiegerechtes Bauen, und Hulmann: Praxishinweise

Betrachtet man die Anzahl der Gebäude, die zu Modernisierungen anstehen, so überwiegen die Wohnbauten der 60er und 70er Jahre. Sie weisen in vielen Fällen auch ein gestalterisches Konzept auf, das bewusst neue Materialien (z.B. Stahlbeton), neue Herstellungsmethoden (z.B. Vorfertigung) und neue Wohnformen (z.B. große Mehrfamilienhäuser als Hochhäuser oder Scheiben) einbezieht.

Die Aussagen werden sich im wesentlichen auf Mehrfamilienhäuser beziehen, wie sie als Mietshäuser oder auch als Häuser mit Eigentumswohnungen unterhalten werden. Diese Unterscheidung hat kaum eine Bedeutung in technischer oder gestalterischer Hinsicht, sehr wohl aber, wenn es um die Konzeption und die Finanzierung photovoltaischer Anlagen geht.

Einen großen Anteil an der Installation von photovoltaischen Anlagen hatten und haben Besitzer von Ein- und Zweifamilienhäusern. Diese Gebäude sollen hier am Rande mit behandelt werden, weil die technischen und gestalterischen Fragestellungen denen bei Mehrfamilienhäusern ähnlich sind. In der städtebaulichen Wahrnehmung sind sie allerdings weniger bedeutsam.

Nichtwohnungsbauten, insbesondere Büro-, Schul- und Gewerbebauten werden bei den einzelnen Baualtersgruppen mit behandelt, soweit sich für diese Gebäude auf Grund ihrer Konzeption auch besondere Lösungen bei der Integration anbieten.

1.2 Mögliche und sinnvolle Funktionen der Photovoltaik

Photovoltaikanlagen haben, vordergründig betrachtet, die Funktion, Tageslicht in elektrische Energie zu wandeln. Dies gilt auch für gebäudeintegrierte Anlagen. Wenig bekannt ist, dass sie gleichzeitig auch weitere Funktionen ausführen können. Diese Multifunktionalität ist ausführlich in einem eigenen Merkblatt dargestellt und soll daher hier nur kurz erwähnt werden³. Die genannten Funktionen, wie sie im folgenden aufgeführt sind, werden nicht immer bewusst mit genutzt, obgleich sie auch im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage eine bedeutende Rolle spielen – oder spielen könnten, wenn sie entsprechend genutzt würden.

- PV-Module übernehmen als wasser- und winddichte Außenhaut den **Witterungsschutz** von Dächern und Fassaden. Ihre Eindichtung unterscheidet sich nicht von derjenigen, die bei der Eindichtung von Gläsern angewandt wird.
- In hinterlüfteten Konstruktionen ebenso wie in Isolierglasscheiben sind PV-Module Bauteile, die den **Wärmeschutz** der Konstruktion ganz übernehmen (wie beispielsweise in Fenstern) oder die zumindest zum Wärmeschutz beitragen (wie bei hinterlüfteten Konstruktionen).
- In Verglasungen übernehmen PV-Module die Funktion der **Abschattung**. Der Grad der Abschattung kann durch unterschiedlich enge Anordnung der Zellen im Modul und durch den Einsatz mehr oder weniger transparenter Zellen bestimmt werden.
- Durch den mehrschichtigen Aufbau können PV-Module die Funktion von **Sicherheitsgläsern** übernehmen. Das Netzwerk des Zellenverbundes bildet eine elektrische Schleife und kann dadurch zusätzlich als Einbruchsensor genutzt werden.
- Ebenfalls auf Grund des mehrschichtigen Aufbaus tragen die PV-Module auch zum **Schallschutz** der Fassade oder des Fensters bei.
- Durch die elektrisch leitfähige Unterkonstruktion und das elektrische Netzwerk des Zellenverbundes ergibt sich eine **elektromagnetische Schirmdämpfung** (Faradayscher Käfig). Sie wird zum Schutz elektrisch sensibler Bereiche beispielsweise in Krankenhäusern, Computerzentralen oder Flughafengebäuden erforderlich.

³ Bendel et al.: Multifunktionale Nutzung, s.a. Merkblatt PV+Bau 02

- In besonderer Ausführung können PV-Module gleichzeitig zur photovoltaischen Stromerzeugung und zur **elektromagnetischen Energie-wandlung** eingesetzt werden. So kann man hochfrequente Signale beispielsweise für die Kommunikation über Mobiltelefone senden bzw. empfangen.
- In PV-Modulen wird ein Teil der eingestrahelten Energie in Elektrizität umgewandelt. Aus der restlichen Strahlungsenergie entsteht **Wärme**, die bei entsprechender Konstruktion aus der Hinterlüftung der Fassade oder des Daches gewonnen und genutzt werden kann.

Hinzu kommt, dass die Photovoltaik besonders in der Fassade, aber auch in Dächern ein wichtiges Gestaltungselement ist und als solches auch eingesetzt werden sollte. Beispiele hierfür finden sich nicht nur bei Neubauten, sondern in zunehmenden Maße auch im Rahmen von Sanierungen und Modernisierungen von Gebäuden. Sie sind im Kapitel 3 dargestellt.

1.3 Photovoltaik bei der energetischen Modernisierung

Photovoltaikanlagen können sogenannte Inselanlagen sein. Sie übernehmen dann die gesamte Stromversorgung des entsprechenden Verbrauchers. Solche Inselanlagen werden in netzfernen Situationen eingesetzt, beispielsweise in sogenannten „solar homes“, in welchen den Hausbewohnern ein Mindestmaß an elektrischer Energie für den Betrieb von Beleuchtung, Fernseher und Kühlschrank zur Verfügung gestellt wird. Auf See werden Leuchtfeuer als Inselanlagen betrieben. Inselanlagen bilden also autarke Versorgungssysteme. Auch in Mitteleuropa gibt es solche netzfernen Situationen, beispielsweise in abgelegenen Gebirgshütten.

In der Regel sind Photovoltaikanlagen netzgekoppelt, und netzgekoppelte Anlagen sind auch Gegenstand dieses Merkblattes. Diese netzgekoppelten Anlagen speisen den erzeugten elektrischen Strom in das öffentliche Netz ein. Die Verbraucher beziehen den benötigten Strom aus ebendiesem Netz, unabhängig davon, wie viel ihre PV-Anlage einspeist oder eingespeist hat. Die PV-Anlage ist also ein „Kraftwerk“, das in das Gebäude integriert ist. Versorgungstechnisch hat sie mit dem Gebäude nur mittelbar zu tun. Eine Autarkie im Hinblick auf die elektrische Versorgung von Wohnbauten



Abbildung 1

Bei dieser Solarsiedlung in Bremen-Gröpelingen speist jedes Haus mit seinem Generator in das öffentliche Versorgungsnetz ein.

ist angesichts der praktisch flächendeckenden öffentlichen Versorgungsnetze nicht erforderlich. Photovoltaikanlagen in Gebäuden werden eingesetzt, weil Dach- und Fassadenflächen in fast beliebiger Menge vorhanden sind. So kann die Energieversorgung aus der Strahlungsenergie der Sonne neben den anderen regenerativen Energiequellen wie Wind oder Biomasse gefördert werden.

Während sich die energetische Sanierung vorhandener Gebäude zunächst auf die Aspekte der Energieeinsparung und der thermischen Sanierung bezieht – Wärmeschutz, Luftdichtheit und passive Energiegewinne, um nur die wichtigsten Maßnahmen zu benennen – ist die elektrische Funktion einer Photovoltaikanlage die eines Kraftwerkes für die allgemeine Versorgung mit Elektrizität. Sie folgt sinnvoller Weise der thermischen Sanierung des Gebäudes, setzt diese aber nicht voraus.

2. Bauliche Randbedingungen zur Integration

Die folgenden Hinweise beziehen sich auf Gebäudetypen, die für bestimmte Zeiten charakteristisch sind. Sie sind als Anregungen zu verstehen, können aber nicht die sorgfältige Prüfung der Bedingungen eines konkreten Projektes ersetzen.

2.1 Wohnbauten der Gründerzeit

Kennzeichen für Wohnbauten der Gründerzeit sind eine geschlossene Bauweise als Blockrandbebauung ohne bevorzugte Orientierung (sowohl Fassaden als auch Dächer können zu allen Himmelsrichtungen orientiert sein), große Haustiefen, große Geschosshöhen, häufig Hinterhäuser, teilweise enge „Hinterhöfe“, bis zu 6 Vollgeschosse sowie Dachgeschosse mit Nebenräumen (Mansarden).

Entsprechend der üblichen Konzeption sind die Straßenfronten mehr oder weniger aufwändig gestaltet und bieten wegen ihrer kleinteiligen Gliederung eher Gelegenheit für PV-Anlagen als gestalterisches Motiv, während die rückseitigen Fassaden und Dächer sowie die Nebengebäude unterschiedliche Formen von PV-Anlagen zulassen.

Fassaden

Die Straßenfassaden sind mit Stuckornamenten gegliedert, haben bevorzugt Erker, seltener Balkone. Die rückseitigen Fassaden sind schmucklos und teilweise durch Hinterhäuser verwinkelt.

PV-Anlagen in der Straßenfassade setzen eine Neugestaltung der gesamten Fassade voraus (PV als gestalterisches Motiv, z.B. in Brüstungsbereichen, zwischen Fenstern oder auf Dächern von Erkern). Wegen möglicher Verschattung sind sie nur im oberen Bereich sinnvoll. Die oft unterschiedlich großen Flächen zwischen den Fenstern erfordern eher kleinteilige PV-Anlagen. Die rückseitige Fassade ist im oberen Bereich gut nutzbar, hat aber ebenfalls wenige zusammenhängende Flächen.



Abbildung 2

Wohnbauten aus der Gründerzeit und der Zeit vor dem ersten Weltkrieg haben Straßenfassaden mit Stuckornamenten, bevorzugt mit Erkern, selten mit Balkonen. Die rückseitigen Fassaden sind schmucklos, teilweise durch Hinterhäuser verwinkelt. Die geneigten Dächer sind Satteldächer oder Mansarddächer mit Dachgauben zur Belichtung der Nebenräume.

Dächer

Die Dächer sind geneigt und als Satteldächer oder Mansarddächer ausgeführt. Dachgauben dienen zur Belichtung der Nebenräume sowohl zur Straßen- als auch zur Rückseite. Die Deckung besteht aus Ziegeln, seltener auch aus Metall (Zink), flache Bereiche sind oft mit Bitumenbahnen abgedichtet. Es gibt wenige zusammenhängende und nicht durchbrochene Flächen.

Die flachen Bereiche von Mansarddächern sind geeignet für integrierte PV-Anlagen, aufgeständerte Anlagen sind denkbar (im Erscheinungsbild ähnlich Reklameschildern). Bei Satteldächern sind streifenförmige PV-Anlagen unterhalb des Firstes und der schattenwerfenden Kamme möglich.

Nebengebäude

Rückseitige Anbauten (Hinterhäuser), in den Hinterhöfen oft auch gewerbliche Nutzung, oft Flachdächer oder flach geneigte Pult- oder Satteldächer.

Dächer von Nebengebäuden sind für aufgeständerte PV-Anlagen nutzbar, soweit sie nicht verschattet sind.

Arbeitersiedlungen

Ebenfalls aus der Gründerzeit stammen viele Arbeitersiedlungen. Sie sind gekennzeichnet durch 1- bis 2-geschossige Bauweise als Einzel- oder Doppelhäuser. Die Dachgeschosse werden über Gauben belichtet. Die Siedlungshäuser haben in der Regel vergleichsweise große Gärten, ursprünglich zur teilweisen Selbstversorgung.

Die Häuser sind sowohl in den Dachflächen als auch in den Fassaden kleinteilig, so dass zusammenhängende Flächen für PV-Generatoren kaum vorhanden. Ggf. kann der Garten zur Aufstellung einer Pergola oder eines Carports mit PV-Anlage genutzt werden.

Stadtvillen

Stadtvillen aus der Gründerzeit haben oft eine aufwändige Gestaltung, auch der seitlichen und der Rückfassaden. Erker, Türme und Gauben gliedern den Baukörper. Die Grundstücke sind groß, bewusst gestaltet und haben einen hohen Baumbestand. Häufig sind Nebengebäude für Dienstboten oder Garagen vorhanden. Die Gebäude werden angesichts ihrer Größe oft für Büros, Praxen oder öffentliche Einrichtungen genutzt.

Solche Gebäude stehen in der Regel unter Denkmalschutz, so dass hier besondere Anforderungen gelten, wie sie im Merkblatt PV+Bau 06 dargestellt sind. In der Regel wird auch hier am ehesten die Anordnung der PV-Anlage auf einem Nebengebäude, einer Pergola oder einem Carport in Frage kommen.

Industrie- und Gewerbebauten

Industrie- und Gewerbebauten, teilweise auch in Wohngebieten, weisen häufig große Dachflächen auf und werden über Sheddächer oder Lichtbänder belichtet. Oft sind es auch mehrgeschossige Gebäude. Die straßenseitigen Außenwände sind in einfacher, aber bewusster Gestaltung ausgeführt, die Fenster groß mit kleinteiliger Sprossenteilung. Im Zuge von Reaktivierungsmaßnahmen werden solche Gebäude häufig renoviert und neuen Nutzungen zugeführt.

Sheddächer und Lichtbänder eignen sich gut für eine Integration photovoltaischer Module. Auch Integrationen in oder Aufständierungen auf Flachdächern und flach geneigten Dächern sind gut möglich, während sich die Fassaden für eine Integration selten eignen. Diese Gebäude stehen häufig unter Denkmalschutz (s. Merkblatt PV+Bau 06).

2.2 Wohnbauten der 20er und 30er Jahre

Kennzeichnend ist u.a. eine geschlossene Bauweise als Blockrandbebauung oder in Zeilen. Die bevorzugten Orientierungen für die Wohnräume reichen von Ost über Süd bis West, teilweise kommen aber auch Nord-Orientierungen vor. Die Haustiefen und Geschosshöhen sind durch die Funktionen bestimmt. Die Gebäude haben bis zu 6 Vollgeschosse und Dachgeschosse mit Nebenräumen (Mansarden).

Entsprechend der üblichen Konzeption sind die Straßenfronten mehr oder weniger aufwändig gestaltet und bieten wegen ihrer kleinteiligen Gliederung eher Gelegenheit für PV-Anlagen als gestalterisches Motiv, während die rückseitigen Fassaden und Dächer unterschiedliche Formen von PV-Anlagen zulassen.

Fassaden

Die Straßenfassaden sind häufig in Putz mit mehr oder weniger zurückhaltenden Applikationen ausgeführt. Erker oder Balkone sind selten, die rückseitigen Fassaden sind eher schmucklos. Regional unterschiedlich werden auch Klinkerfassaden bevorzugt.

Wie bei den reich gegliederten Bauten der Gründerzeit setzen PV-Anlagen in der Straßenfassade eine Neugestaltung der gesamten Fassade mit der Photovoltaik als gestalterischem Motiv voraus. Wegen möglicher Verschattung kommt dies nur im oberen Bereich in Frage. Die rückseitige Fassade ist im oberen Bereich gut nutzbar, aber auch hier gibt es wenige zusammenhängende Flächen.

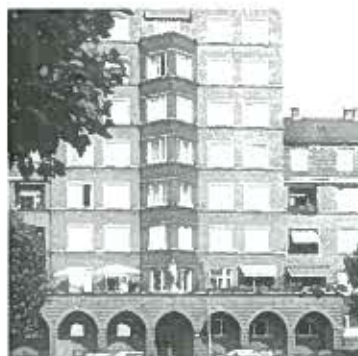


Abbildung 3

Die Wohnbauten aus den 20er und 30er Jahren haben Straßenfassaden in Putz, auch Klinkerfassaden, mit zurückhaltenden Applikationen, selten Erker oder Balkone. Die rückseitigen Fassaden sind schmuckloser. Geneigte Dächer sind in der Regel Satteldächer, Dachgauben dienen zur Belichtung der Nebenräume.

Dächer

Die geneigten Dächer sind in der Regel Satteldächer, Dachgauben dienen zur Belichtung der Nebenräume sowohl an der Straßen- als auch an der Rückseite. Die Eindeckung erfolgt in der Regel mit Ziegeln. Teilweise gibt es zusammenhängende und nicht durch Gauben oder Kamine durchbrochene Flächen.

Bei Satteldächern sind streifenförmige PV-Anlagen unterhalb des Firstes und der Kamine möglich. Die Kamine werden nach Modernisierungen wegen der Umstellung auf Zentralheizung kaum noch benötigt.

Nebengebäude

Es gibt wenige Nebengebäude mit teilweise gewerblicher Nutzung oder als Garagen. Sie haben Flachdächer oder Satteldächer.

Die Dächer von Nebengebäuden sind, soweit nicht verschattet, je nach Dachform für integrierte PV-Anlagen nutzbar.

Neue Gebäudekonzepte

In den 20er und 30er Jahren gibt es vielfach auch neue Gebäudekonzepte, die bereits auf die Formen hinweisen, wie sie sich in aller Breite erst nach dem 2. Weltkrieg durchgesetzt haben. Dazu gehören freistehende Wohnblocks ebenso wie freistehende Einfamilienhäuser und Siedlungsbauten. Sie haben eher kubische Formen, eine bewusster Orientierung der Wohnräume nach Süden und teilweise bereits Flachdächer.

Mit der Südorientierung der Wohnräume sind auch südorientierte Dachflächen verbunden, die sich für eine Integration von PV-Anlagen eignen. Außerdem führt die an der Funktion orientierte Planung oft auch zu größeren zusammenhängenden Flächen in der Fassade, die sich in den nicht verschatteten Bereichen ebenfalls für eine Integration von PV-Anlagen anbieten.

2.3 Wohnbauten der 50er Jahre

Die 50er Jahre waren in Deutschland die Zeit des Wiederaufbaus, gekennzeichnet durch Materialmangel, sehr einfache Gebäudeformen und sehr einfache Bauausführung. Die Fenster sind klein, Balkone werden häufig noch als Wirtschaftsbalkone genutzt. Die Gebäude sind bis 4-geschossig und haben einfache Dachformen als Sattel- oder Walmdächer. Häufig wurde die vorhandene städtebauliche Infrastruktur beibehalten, wodurch auch ungünstige Orientierungen in Kauf genommen wurden. Bei Neuplanungen herrscht eine Ost-West-Orientierung der Wohn- und Schlafräume vor, dadurch ergeben sich dann geschlossene Giebelflächen in Südrichtung. Im Gebiet der neuen Bundesländer setzte sich eine industrielle Herstellung eher durch als in Westdeutschland. Damit war auch eine strenge Typisierung verbunden.

Wegen der heutigen Ansprüchen funktionell und energetisch nicht genügenden Bausubstanz (Wärmeschutz und Fenster extrem schlecht) sind die Gebäude in der Regel sanierungsbedürftig, häufig wurden sie auch bereits verändert. Die sehr sparsame Gestaltung legt gestalterische Akzente durch PV-Anlagen nahe.

Fassaden

Die Putzfassaden werden im Rahmen der immer erforderlichen energetischen Sanierung mit Wärmedämmverbundsystemen oder vorgehängten hinterlüfteten Bekleidungen versehen. An den Gebäudeecken gibt es häufig größere zusammenhängende Wandflächen.

Bei vorgehängten hinterlüfteten Bekleidungen können die PV-Module die Bekleidung ersetzen. Sie müssen damit den Anforderungen entsprechen, die an vorgehängte hinterlüftete Fassaden gestellt werden. Bei Wärmedämmverbundsystemen könnten die PV-Module nur mit Abstand davor angeordnet werden. Die Befestigungen würden dann das WDVS durchdringen, was angesichts entstehen der Wärmebrücken und schwieriger Abdichtung kaum sinnvoll ist.



Abbildung 4
Abbildung 5



In den 50er Jahren gibt es einfache Putzfassaden, die im Rahmen einer energetischen Sanierung mit Wärmedämmverbundsystemen oder vorgehängten hinterlüfteten Bekleidungen versehen werden. An den Gebäudeecken entstehen häufig größere zusammenhängende Flächen. Die Dachformen sind einfach (Sattel- oder Walmdächer), aber häufig unterbrochen (Kamine, Entlüftungen).

In den 60er und 70er Jahren werden häufig Betonfertigteile eingesetzt, die bauphysikalisch unzureichend sind. Die Fassaden werden thermisch durch Wärmedämmverbundsysteme oder äußere Wärmedämmung mit vorgehängter hinterlüfteter Außenhaut saniert. Brüstungen von Balkonen und Loggien werden betont. Es gibt große, kaum durchbrochene Giebelflächen. Die Dächer sind in der Regel Flachdächer, teilweise auch Sonderformen (z.B. Pultdächer).

Dächer

Geneigte Dächer mit Deckungen aus Ziegeln oder Betondachsteinen haben einfache Formen, sind aber häufig durch Kamine und Entlüftungen gestört. Es gibt flache Dachneigungen (unter 40°).

Die Dachflächen sind entsprechend der Orientierung der Gebäude häufig west- und ostorientiert. Zusammenhängende Flächen für PV-Generatoren sind sowohl zwischen First und Traufe als auch parallel zum First vorhanden. Kamine durchdringen das Dach in Firstnähe so dass der PV-Generator am besten unterhalb der Kaminfüße angeordnet wird, wenn nicht mit der Installation moderner Heizsysteme die Kamine ohnehin nicht mehr erforderlich sind und abgetragen werden können.

Nebengebäude

Nebengebäude sind im Bestand kaum vorhanden. Im Rahmen von Modernisierungen können sie, soweit Platz vorhanden ist, für Garagen und andere Funktionen neu errichtet werden.

Bei neu errichteten Nebengebäuden ist eine Integration von PV-Anlagen in das Dach möglich, soweit dieses nicht verschattet wird.

2.4 Wohnbauten der 60er und 70er Jahre

Der Wohnungsbau der 60er Jahre ist durch hohe Verdichtung einerseits und den zunehmenden Einsatz industrieller Herstellungsverfahren andererseits geprägt. Neben Wohnhochhäusern als Punkthäuser dominieren Großsiedlungen mit Hochhäusern, Gebäuden mittlerer Höhe und niedrigen verdichteten Einfamilienhausbereichen. Die Standards im Hinblick auf den Wohnkomfort sind gehoben (Balkone, Loggien, großzügigere Fensterflächen). Neue Gebäudetypen, wie beispielsweise Laubenganghäuser, erlauben reine Südorientierungen.

Die Konzeption der Gebäude kommt durch die Betonung der Elementierung und der Rasterung sowie durch eine industrielle Herstellung der gestalterischen Integration von PV-Anlagen entgegen. Auch hier sollte die Installation der PV-Anlage möglichst mit ohnehin erforderlichen Maßnahmen zur Sanierung und Modernisierung koordiniert werden, um Kosten zu sparen.

Fassaden

Die Betonfertigteile in Sandwichbauweise sind häufig bauphysikalisch unzureichend. Eine energetische Sanierung geschieht durch Wärmedämmverbundsysteme oder äußere Wärmedämmung mit vorgehängter hinterlüfteter Außenhaut. Die Brüstungen von Balkonen und Loggien sind betont. Die Giebelflächen sind groß und kaum durchbrochen. Im Zusammenhang mit Sanierungsmaßnahmen werden die Baukörper teilweise auch verändert, beispielsweise durch einen Rückbau von Geschossen.

Bei Wärmedämmverbundsystemen können die PV-Module – wie oben bereits dargestellt – nur mit Abstand davor angeordnet werden. Die Befestigungen würden dann das WDVS durchdringen, was wegen möglicher Wärmebrücken und schwieriger Abdichtung möglichst vermieden werden sollte. Bei vorgehängten hinterlüfteten Bekleidungen werden die PV-Module selbst zur Bekleidung. Die Balkonbrüstungen können PV-Generatoren aufnehmen, wobei auch eine unmittelbare Zuordnung der PV-Anlage zu einer Wohnung möglich wird. Häufig wird ein zusätzlicher Sonnenschutz über Balkonen gewünscht. Dieser kann als PV-Generator ausgebildet werden. Bei der Umwandlung von Balkonen und Loggien in Wintergärten bieten sich zusätzliche Flächen zur Integration von PV-Anlagen an.

Dächer

Flachdächer sind die Regel, teilweise gibt es auch Sonderformen wie beispielsweise Pultdächer.

Auf den Flachdächern sind aufgeständerte oder integrierte PV-Anlagen möglich. Im Falle von Rückbau oder Aufstockungen können besondere Bauformen mit integrierter Photovoltaik entwickelt werden.

Nebengebäude

Für Garagen und andere Nebenfunktionen gibt es oft eigene Gebäude, die üblicherweise ebenfalls teilweise begehbare Flachdächer haben.

Eine Integration von PV-Anlagen in das Dach von Nebengebäuden ist möglich. Bei begehbaren Flachdächern kann dies auch in Form von Pergolen o.ä. geschehen (Verschattungsfreiheit beachten).

3. Strategien zur Integration der Photovoltaikanlage

3.1 Haustechnische Integration

Netzgekoppelte Photovoltaikanlagen speisen unmittelbar in das öffentliche Versorgungsnetz ein, sie haben also lediglich am Hausanschluss eine Verbindung mit dem Hausnetz, das aus dem öffentlichen Netz versorgt wird. Von den Komponenten einer Photovoltaikanlage – Generator, Wechselrichter und Einspeisezähler – ist der aus mehreren Modulen bestehende Generator in das Dach oder die Fassade integriert, während Wechselrichter und Einspeisezähler üblicherweise in der Nähe des Hausanschlusses, also in einem Nebenraum im Keller untergebracht sind.

Die Verbindung zwischen Generator und Wechselrichter erfolgt über ein Gleichstromkabel, das neu verlegt werden muss. Im Baubestand kommen für die Kabelführung – soweit vorhanden – senkrechte Kabelschächte oder Versorgungsschächte in Frage, ggf. auch nicht mehr benötigte Schornsteine oder Lüftungsschächte. Sind, besonders bei älteren Gebäuden, solche Schächte nicht vorhanden, dann wird man am zweckmäßigsten die Kabel im Treppenhaus führen.



Abbildung 6

Bei vorgehängten hinterlüfteten Fassadenbekleidungen ersetzen die PV-Module die Bekleidung (z.B. aus Schiefer, Faserzement oder Metall). Die Bekleidung gilt als Schlagregendicht.

Entwurf und Photo: rolf + hotz architekten

3.2 Konstruktive Integration

Photovoltaische Module sollten in die Außenhaut des Gebäudes integriert sein und zusätzlich zu der Gewinnung von Elektrizität auch weitere Funktionen übernehmen (s. Kap. 1.2). Dazu muss ihre Einbindung zunächst den gleichen Anforderungen genügen, die auch an die substituierten Bauteile gestellt werden – beispielsweise Wasserableitung bei Dachziegeln oder Schindeln, Wasserdichtigkeit bei Dichtungsbahnen für Flachdächer, Luftdichtheit bei Glasfassaden. Die Module können auch außerhalb der sogenannten wasserführenden Schicht angebracht werden, wenn eine konstruktive Integration besonders aufwändig oder aus anderen Gründen nicht sinnvoll wäre.

3.2.1 Fassaden

Bei vorgehängten hinterlüfteten Fassadenbekleidungen ersetzen die PV-Module die Bekleidung (z.B. aus Schiefer, Faserzement oder Metall). Die Fassadenbekleidung gilt als schlagregendicht (DIN 4108-3). Die Unterkonstruktion für die Module kann die gleiche sein, wie sie auch für die Bekleidung verwendet wird (Befestigungssysteme aus Metall). Die Kabel werden in dem für die Hinterlüftung erforderlichen Zwischenraum geführt. Es können Glasmodule mit Überlappung, ggf. auch stumpf gestoßen, eingesetzt werden. Besonders geeignet sind Module, deren Konzept bereits auf Bausystemen für vorgehängte hinterlüftete

Fassaden beruht. Solche Systeme werden beispielsweise als Module mit amorphen Zellen angeboten, die auf Zink- oder Stahlbleche laminiert sind.

Sollen photovoltaische Generatoren an Fassaden mit Wärmedämmverbundsystemen angebracht werden, so ist es aus konstruktiven und bauphysikalischen Gründen sinnvoll, die Module völlig getrennt von dem WDVS auf eigenen Unterkonstruktionen zu installieren. Ein Durchdringen des WDVS mit Verankerungselementen ist zu vermeiden. Die Dämmung darf im Bereich der PV-Module nicht unterbrochen werden.

Pfosten-Riegel-Konstruktionen werden im Wohnungsbau eingesetzt, wenn großflächige Verglasungen erwünscht sind, beim Bauen im Bestand beispielsweise bei der Umwandlung von Loggien in Wintergärten. Die hierfür üblichen Konstruktionen sind für Verglasungen vorgesehen (einfache Verglasung bei Gewächshäusern, Isolierverglasung für Fenster), so dass auch rahmenlose PV-Module anstelle von Glas eingesetzt werden können. Die Kabelführung erfolgt innerhalb der Profile.

PV-Module mit beidseitigen Abdeckungen aus Glas können grundsätzlich mit allen Techniken gehalten werden, die für die Halterung von Gläsern entwickelt worden sind. Hierzu gehören auch die Technik des Structural Glazing mit Verklebungen, die Halterung in Agraffen sowie die punktförmige Befestigung durch Verschraubungen.



Abbildung 7

Abbildung 8



Pfosten-Riegel-Konstruktionen werden im Wohnungsbau eingesetzt, wenn großflächige Verglasungen erwünscht sind, beim Bauen im Bestand beispielsweise bei der Umwandlung von Loggien in Wintergärten. Die hierfür üblichen Konstruktionen sind für Verglasungen vorgesehen, so dass auch rahmenlose PV-Module anstelle von Glas eingesetzt werden können. Photo: solarnova

PV-Module aus Glas können grundsätzlich mit allen Techniken gehalten werden, die für die Halterung von Gläsern entwickelt worden sind. Hierzu gehört auch die Technik des **Structural Glazing**.

3.2.2 Geneigte Dächer

Nach Süden geneigte Dächer bieten die ideale Orientierung für Photovoltaikanlagen. Da die Dächer außerdem die höchste Stelle des Hauses bilden, sind die in sie integrierten Anlagen auch am ehesten verschattungsfrei. Die PV-Module können hier die Funktion der hinterlüfteten und wasserableitenden Schicht übernehmen, also anstelle von Dachziegeln, Dachsteinen, Schiefer oder auch Metall eingesetzt werden⁴. Wie bei anderen Modernisierungsmaßnahmen empfiehlt es sich auch hier, die Installation im Zuge einer ohnehin anstehenden Sanierung des Daches (Wärmedämmung, Eindeckung) vorzunehmen, um Kosten zu sparen.

Für die Befestigung von PV-Modulen oberhalb der wasserableitenden Schicht gibt es besondere Befestigungssysteme. Bei diesen werden Dachhaken zwischen den Dachsteinen durchgeführt und auf den Sparren oder der Lattung befestigt. An den Haken wiederum befestigt man Profile, die dann die Module tragen. Die Verkabelung erfolgt zwischen Modulen und Dachsteinen. Sie wird an geeigneter Stelle ins Innere des Daches geführt⁵.

Für eine Integration von PV-Modulen werden Systeme angeboten, die an den Seiten mit Anschlusssteilen ausgestattet sind und so einen Anschluss an übliche Dachdeckungsmaterialien erlauben. Aus dem PV-Generator wird eine wasserableitende oder auch wasserdichte Fläche, die sich allerdings in ihrer Farbe und Proportion deutlich von der übrigen Dachfläche unterscheiden kann.

Für bestimmte Formen von Dachziegeln und Betondachsteinen wurden PV-Module entwickelt, die in ihren Abmessungen und Randanschlüssen diesen angepasst sind. Die Anschlussdetails entsprechen den gebräuchlichen Bauteilen, mit denen auch die Anschlüsse an First, Traufe, Ortgang und Durchdringungen ausgeführt werden können. Die Dachfläche wirkt in ihrer Proportionierung einheitlich, die photovoltaisch aktiven Bauteile unterscheiden sich in der Regel nur durch ihre Farbe und Oberfläche von der nicht aktiven Dachfläche.

Auch für Schieferdeckungen wurden Module entwickelt, die ähnlich den Schieferplatten verlegt werden und die in Proportion und Anschlussbedingungen den Schieferplatten angepasst sind. Auch ihre Farbe kommt der des Schiefers nahe.

Für Metalldeckungen gibt es Module, die den Metallbauteilen für eine übliche Eindeckung voll entsprechen. Bei ihnen werden flexible amorphe und auch kristalline Module mit Glasabdeckung auf die Metallbauteile auf laminiert. So können alle Anschlüsse in derselben Weise hergestellt werden, wie bei den nicht aktiven Bauteilen. Die gesamte

4 Eine Übersicht über entsprechende Produkte in PHOTON SPECIAL Netzgekoppelte Solarstromanlagen 2002 und in der Marktübersicht in PHOTON 2/2003

5 Eine Übersicht über entsprechende Produkte in PHOTON 1/2003

Abbildung 10



Abbildung 9



Für die Befestigung von PV-Modulen oberhalb der wasserableitenden Schicht, gibt es besondere Befestigungssysteme. Bei diesen werden Dachhaken zwischen den Dachsteinen durchgeführt und auf den Sparren oder der Lattung befestigt. An den Haken befestigt man Profile, die dann die Module tragen.

Es gibt auch Module, die in ihrer Höhe der von Dachsteinen entsprechen (links und Mitte), oder die sogar so klein sind, daß sie in einen Dachziegel eingeklemmt werden können (rechts). Photos: links BRAAS, Mitte Pfeleiderer, rechts Laumans

Dachfläche kann so in einem einzigen System hergestellt werden – bei Zink oder Kupfer beispielsweise in der klassischen Stehfalztechnik.

3.2.3 Atelierverglasungen

Wenn bei der Modernisierung Atelierverglasungen hergestellt werden, ist der Einsatz von PV-Modulen auch zur Abschattung sinnvoll. Besonders bei Aufstockungen, aber auch bei der Neuanlage von Wintergärten bieten sich solche Lösungen an. Das Maß der Abschattung kann durch den Abstand der Zellen untereinander in den Modulen und durch den Einsatz semitransparenter Zellen bestimmt werden. Isolierglasmodule können mit dem gleichen Wärmeschutz hergestellt werden wie herkömmliche Isolierglasscheiben. Die Abmessungen werden, wie auch die der nicht aktiven Verglasung, durch die tragende Konstruktion bestimmt.

3.2.4 Flachdächer

Nicht nur große Flachdächer von Industrie- und Gewerbebauten, sondern auch Flachdächer von Wohnbauten bieten sich für die Anordnung von PV-Anlagen an. Hierfür gibt es zwei unterschiedliche Arten: die Aufständigung auf dem Flachdach und die Integration in die Dachhaut.



Abbildung 12

Bei Atelierverglasungen – hier das Café Ambiente in Bremen – ist der Einsatz von PV-Modulen auch zur Abschattung sinnvoll. Das Maß der Abschattung wird durch den Abstand der Zellen untereinander in den Modulen bestimmt. Das äußere Bild der „Verglasung“ (links) unterscheidet sich nicht von dem einer üblichen Atelierverglasung. Photos: solarnova

Zur Aufständigung von Standardmodulen wird eine Tragkonstruktion auf dem Flachdach befestigt, die dann die Module trägt. Ihre Anordnung wird so gewählt, dass die Module nach Neigung und Himmelsrichtung optimal ausgerichtet sind. Zur Ableitung der Lasten aus Eigengewicht und Wind muss die Dachhaut durchstoßen und die Tragkonstruktion der PV-Anlage an der Tragkonstruktion des Daches befestigt werden. Bei sehr flach geneigten Dächern, die mit Metallprofilen (z.B. aus Stahl oder Aluminium) eingedeckt sind, kann auch die Tragkonstruktion der PV-Module unmittelbar an den Metallprofilen befestigt werden.

Abbildung 11



Auf Metallbauteilen werden Module mit flexiblen amorphen oder auch mit kristallinen Zellen auflaminiert, so dass alle Anschlüsse hergestellt werden können wie bei den nicht aktiven Bauteilen. Photos: RHEINZINK

Bei einer genügend großen Tragkraftreserve der Dachkonstruktion kann auch die Tragkonstruktion der PV-Anlage so schwer ausgeführt werden – beispielsweise durch Kies in Trögen, auf denen die Module befestigt sind – dass ihr Eigengewicht ausreicht, um die Windlasten aufzunehmen. In diesem Fall muss die Dachhaut nicht durch Konstruktionselemente durchdrungen werden.

Eine Integration der PV-Anlage in Flachdächer geschieht durch die Verwendung von Dachabdichtungsbahnen, die werkseitig bereits mit flexiblen amorphen Modulen ausgestattet sind. Diese Bahnen werden wiederum auf dieselbe Art verlegt und eingedichtet, wie es bei den nicht aktiven Bahnen geschieht.

3.3 Gestalterische Integration

PV-Anlagen werden in die Außenhaut von Gebäuden integriert – sie sind also üblicherweise sichtbar und haben damit auch einen deutlichen Einfluss auf die Gestaltung des Gebäudes. Diese Gestaltungsmöglichkeiten sollten nicht nur bei Neubauten, sondern auch bei Modernisierungen bewusst genutzt werden.

Bei Erweiterungen, Ergänzungen oder Modernisierungen kann eine Integration neuer Bauteile und Technologien durchaus auf unterschiedliche Art geschehen. Dies soll an Beispielen für ein Verbergen des Neuen, für eine zurückhaltende, aber erkennbare Integration und für die Entwicklung eines gestalterischen Motivs aus der PV-Anlage verdeutlicht werden. Im Rahmen von Modernisierungen haben sicher alle drei Arten – in Abhängigkeit von den besonderen Bedingungen des jeweiligen Projektes – ihre Berechtigung. Dennoch: ein selbstbewusster Umgang mit der neuen Technik der Photovoltaik und deren Zeigen auch als gestalterisches Motiv kann nicht nur die Motivation des Bauherrn und des Planers verdeutlichen, sondern auch ein Zeichen für einen bewussten Umgang mit neuen energiepolitischen Gegebenheiten setzen.



Abbildung 13

Zur Aufständigung von Standardmodulen auf Flachdächern wird eine Tragkonstruktion auf dem Flachdach befestigt, die dann die Module trägt (links). Bei ausreichender Tragkraftreserve der Dachkonstruktion kann auch die Tragkonstruktion der PV-Anlage so schwer ausgeführt werden, dass ihr Eigengewicht ausreicht, um die Windlasten aufzunehmen (rechts).

3.3.1 PV-Module

Die PV-Module sind in ihrem Aussehen geprägt durch die Solarzellen, die Abdeckung und den Rahmen.

- Die **Zellen aus kristallinem Silizium** – wegen der bisher höchsten Wirkungsgrade die am häufigsten eingesetzten Zellen – mit Abmessungen von 10 x 10 cm, 15 x 15 cm, seltener auch rund, rechteckig oder sechseckig sind in der Regel blau, grau oder schwarz. Sowohl bei mono- als auch bei multikristallinen Zellen sind auch farbige Ausführungen möglich, wobei die Farbigkeit durch die Dicke der Antireflexschicht erreicht wird.
- **Dünnschichtzellen** aus amorphem Silizium haben eine braun-rote oder auch nahezu schwarze Farbe. Sie können auch semitransparent hergestellt werden. CIS-Module sind schwarz mit einer feinen Struktur, auch als „Nadelstreifen“ bezeichnet.
- Für die **Abdeckung** wird in der Regel Glas eingesetzt, das wie bei anderen Verglasungen auch, in der Regel stark reflektiert. Dadurch passen sich PV-Module besonders gut allen Formen einer „Glasarchitektur“ an, zumal die konstruktiven Bedingungen für die Integration denen für Glasbauteile gleichen (s.o.). Die Verwendung von Antireflexgläsern für die Abdeckung konnte sich bisher wegen der höheren Kosten nur in beschränktem Umfang durchsetzen.

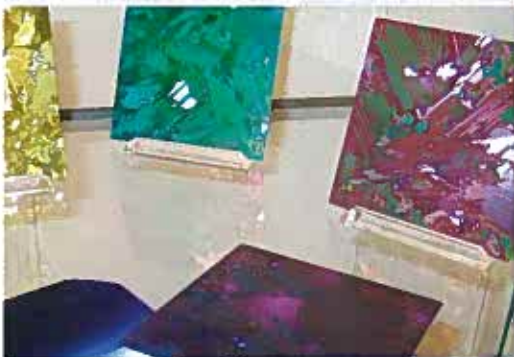
- Die **Rahmen** der Module bestehen aus Aluminium oder Edelstahl. Die metallischen Oberflächen der Rahmen bestimmen deutlich das Aussehen der Module, wie es beispielsweise in der Abbildung 9 zu sehen ist. Um eine homogen erscheinende Fläche des aus vielen Modulen bestehenden PV-Generators zu erreichen, werden auch in der Farbe der Zellen beschichtete Rahmen oder auch rahmenlose Module eingesetzt.

3.3.2 Beispiele für nicht sichtbar integrierte Photovoltaik-Anlagen

Oft werden Photovoltaik-Anlagen auch so diskret installiert, dass sie für einen möglichen Betrachter normalerweise nicht sichtbar sind. Dies kann gestalterische Gründe haben. Man befürchtet, das neue Erscheinungsbild der PV-Anlage harmonisiert nicht mit der sonstigen Gestaltung des Gebäudes. Die verborgene Anordnung kann aber auch dadurch begründet sein, dass das entsprechende Gebäudeteil von außen nicht einsehbar ist. Dies ist häufig bei PV-Anlagen auf Flachdächern der Fall.

Abbildung 15

Abbildung 14



Bei kristallinen Zellen kann eine **Farbigkeit** durch unterschiedliche Ausführung der Antireflexschicht erreicht werden.



Die 1 Megawatt große Photovoltaikanlage auf den Hallen der Messe München ist für den Besucher nicht sichtbar – die neue Technik bleibt verborgen, obgleich es sich um einen Neubau handelt.



3. Strategien zur Integration der Photovoltaikanlage

3.3.3 Beispiele für eine angepasste und angemessen zurückhaltende Integration

Eine Photovoltaik-Anlage kann weitgehend einer vorgegebenen Gebäudegestaltung angepasst werden, beispielsweise durch eine entsprechende Proportionierung (Einsatz besonderer, auf die Proportion anderer Bauteile abgestimmter Module), durch entsprechende Farbwahl, aber auch durch eine bewusste gestalterische Integration des gesamten Generators in eine Fassade oder eine Dachfläche.

Abbildung 16



Die PV-Anlage mit unterschiedlichen Modultypen ist oberhalb der Dachdeckung angeordnet, nimmt aber in ihrer Dimensionierung Bezug auf die Dachfläche. Vor der Modernisierung wurden die nicht mehr benötigten Kamine im Bereich der PV-Anlage abgetragen. Die Wohnbauten gehören zu dem Ensemble „Siedlung Neu-

3.3.4 Beispiele für Photovoltaikanlagen als eigenes gestalterische Motiv

Eine im Rahmen einer Modernisierung installierte Photovoltaikanlage kann auch gestalterisch wie ein Ausrufungszeichen eingesetzt werden. Als eigenes gestalterisches Motiv bestimmt sie so das Bild des modernisierten Gebäudes und wird zum Ausdruck für den selbstbewussten Umgang des Bauherrn und des Architekten mit einer neuen Technologie.

hausen“ in München, so dass für die Realisierung der PV-Anlage eine Erlaubnis nach dem Bayerischen Denkmalschutzgesetz eingeholt werden musste.

Photos: H. Hintersteiner



Abbildung 17

Bei der Modernisierung dieses Mehrfamilienhauses aus den 70er Jahren wurden Proportionen und Farben des PV-Generators in der Südfassade so mit denen der anderen Gebäudeteile gewählt, dass ein einheitliches Gesamtbild entsteht. Das Gebäude vor der Modernisierung ist in Abbildung 5 dargestellt.

Entwurf und Photo: rolf + hotz architekten, Freiburg



Abbildung 18

Obgleich die PV-Anlage konstruktiv unabhängig von dem Dach des Gebäudes ist – durch die Aufnahme der Dachneigung und der Gebäudelänge wird sie zu einem eigenen Motiv, das auf das Gebäude Bezug nimmt (landwirtschaftliches Gebäude in Rohrmoos).

Abbildung 19

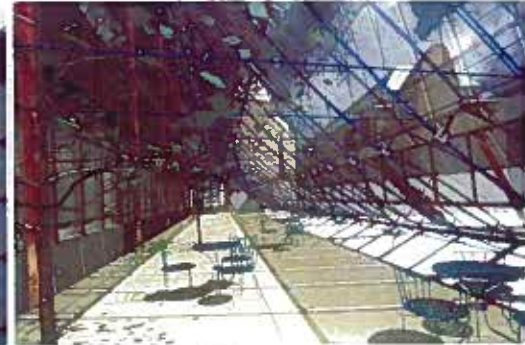


Ein 7-9-geschossiger Gebäudekomplex in Köln-Bocklemünd aus den 70er Jahren mit 92 Wohnungen wurde mit einem innovativen Energiekonzept saniert, das in deutlich präsentierten Photovoltaikanlagen seinen Ausdruck findet. Photos: D. Slawski, Universität Essen

Abbildung 20



Der wenig ansehnliche Bunker in Emden erhält durch die Photovoltaikfassade ein völlig neues Aussehen – und die filigrane Struktur der Module zeigt zugleich gestalterisch ein sensibles Bild, anstatt wie bisher abweisend zu erscheinen. Photos: solarnova



Aus einer vorgehängten Fassade mit PV-Modulen wurde ein neues Motiv geformt. Die Fassade ist im unteren Bereich vom Gebäude gelöst und bildet so einen Wintergarten. Wettbewerbsentwurf Lutz Weißer im Büro Sommer + Partner, Berlin

Abbildung 21

4. Kostenaspekte

Vergleich von Leistungs- und Flächenkosten für unterschiedliche PV-Module

Modultyp Daten nach PHOTON Spezial 2004	Leistungs- Kosten [€/ kWp]	Wirkungs- grad [%]	erforderliche Fläche [m ² / kW _p]	Flächenkosten [€/m ²]
monokristallin, Standardmodul (Beispiel: IBC Solar IBC-220M Megaline)	4.500,-	14,5	6,9	652,-
polykristallin, Standardmodul (Beispiel: Solar-Fabrik SF 100/2)	4.600,-	12,3	8,1	566,-
amorph, Standardmodul (Beispiel: RWE Schott Solar ASI-F 32/12)	6.200,-	5,3	18,9	328,-
amorph, in Metaldachelement (Beispiel: ThyssenKrupp Solartec 128 W)	6.600,-	4,9	20,4	324,-

6
Erneuerbare-Energien-
Gesetz (EEG) vom
29.03.2000, zuletzt
geändert durch Gesetz
vom 22.12.2003 (BGBl.
Teil I 2003, 3074)

Photovoltaikanlagen können nach den Regelungen des EEG⁶ und unterschiedlichen Fördermaßnahmen so ausgelegt werden, dass ein nach betriebswirtschaftlichen Kriterien wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. Dies ist wichtig, weil nur so ein breiter Einsatz erneuerbarer Energien, also auch der mit Hilfe der Photovoltaik gewonnenen elektrischen Energie erreicht werden kann. Wenn im Folgenden Zahlen genannt werden, so sind sie als Beispiele zu verstehen, deren Größenordnung für den Herbst 2004 charakteristisch ist. Im konkreten Einzelfall können sich durchaus wesentlich davon abweichende Größen ergeben, so dass jeweils eine individuelle Ermittlung erforderlich ist.

4.1 Kosten

Die Kosten gebäudeintegrierter Photovoltaikanlagen setzen sich aus den Kosten der Komponenten PV-Generator, Montage, Verkabelung, Wechselrichter und Netzanschluss zusammen. Da der Generator ein anderes Bauteil ersetzt, beispielsweise eine Fassadenbekleidung, können bei Kostenvergleichen die Kosten dieses substituierten Bauteils von den Gesamtkosten abgezogen werden.

Die Kosten des Generators werden üblicherweise auf die Leistung desselben bei einer normierten Einstrahlung bezogen. Je nach dem Wirkungsgrad der Module ergeben sich bei gleicher Leistung also unterschiedlich große Flächen und damit auch unterschiedliche flächenbezogene Kosten. Hierzu sind Beispiele in der obigen Tabelle aufgeführt, die allerdings nur eine begrenzte Auswahl aus einer Vielzahl von am Markt angebotenen Modulen darstellen.

Zu den Flächenkosten des PV-Generators sind jeweils die Kosten der Montage und der bautechnischen Anschlüsse hinzuzuzählen. Diese sind ungefähr flächenproportional. Sie differieren wiederum nach der Art der Module und liegen bei Standardmodulen (Beispiele 1 bis 3 in der Tabelle) deutlich höher als bei Modulen, die bereits als Bauteile konzipiert sind und deren Einbau sich daher kaum von dem üblicher Bauteile unterscheidet (Beispiel 4 in der Tabelle).

Bei Installationen im Rahmen von Sanierungs- und Modernisierungsvorhaben ist es im Hinblick auf die Kosten wichtig, die Installation möglichst zusammen mit weiteren Baumaßnahmen durchzuführen, um Kosten beispielsweise für Baustelleneinrichtung und Gerüste möglichst nur einmal anfallen zu lassen.

Schließlich entstehen Kosten der Gleichstrom- und der Wechselstrom-Verkabelung, des Wechselrichters und ggf. der Geräte zur Überwachung der Anlage. Diese Kosten sind wieder ungefähr abhängig von der Leistung der Anlage und liegen in einer Größenordnung von 1.000,- bis 3.000,- €/kW_p.

4.2 Nutzen

Auf die möglichen und sinnvollen Funktionen, die ein photovoltaischer Generator zusätzlich zur Wandlung von Licht in elektrische Energie übernimmt, wurde bereits unter 1.2 eingegangen. So kann auch in wirtschaftlicher Hinsicht ein deutlicher Vorteil erreicht werden, wenn beispielsweise mit der Installation eines photovoltaischen Generators auf die Errichtung einer sonst erforderlichen Antenne verzichtet werden kann. Ähnlich verhält es sich mit einer ohne den photovoltaischen

Generator erforderlichen Verschattungseinrichtung an einer Fassade.

Ein weiterer Nutzen liegt darin, dass bestehende Gebäude durch neue und in die Außenhaut des Gebäudes integrierte Photovoltaikanlagen deutlich aufgewertet werden. Der hohe Wärmedämmstandard eines thermisch modernisierten Gebäudes ist nicht von außen zu erkennen, ebenso wenig ist es eine auf dem Flachdach installierte thermische oder photovoltaische Solaranlage. Der Zusatznutzen einer in die Fassade integrierten Photovoltaikanlage ergibt sich also daraus, dass das Ziel der Energieeinsparung und der Nutzung regenerativer Energieformen klar und deutlich nach außen gezeigt wird.

4.3 Finanzierung

Nach den Bestimmungen des EEG wird in das öffentliche Netz eingespeister Strom aus im Jahre 2004 installierten PV-Anlagen an oder auf Gebäuden je nach der Anlagengröße mit 0,540 bis 0,574 €/kWh vergütet. Bei Anlagen, die in die Außenhaut des Gebäudes (Dach oder Fassade) integriert sind, beträgt die Vergütung noch einmal zusätzlich 0,05 €/kWh. Für Anlagen, die nach 2004 ans Netz gehen, beträgt die garantierte Einspeisevergütung 5 % weniger für jedes Jahr des späteren Anschlusses.

Verschiedene Institutionen – Bund, Länder, Städte, Gemeinden und Energie-Versorgungsunternehmen – stellen darüber hinaus Fördermittel und zinsgünstige Darlehen bereit, mit denen auch der Kapitalbedarf zum Zeitpunkt der Installation für den Bauherrn ausgeglichen werden kann. Über die aktuellen Finanzierungsbedingungen⁷ für ein konkretes Projekt sollte man sich vorab bei Lieferanten, Stadtwerken und/oder Kreditinstituten erkundigen.

4.4 Amortisation

Die Amortisationszeiten, die sich aus den oben genannten Finanzierungsmöglichkeiten ergeben, liegen in der Größenordnung von 15 bis 20 Jahren. Diese Zeitspanne ist deutlich kleiner als die Lebensdauer der Anlagen, die deutlich über 25 Jahre beträgt – die PV-Module unterliegen keinem Verschleiß und der Austausch einzelner Komponenten entspricht dem, was auch für die Wartung und Instandhaltung anderer Bauteile (Fenster, Dach, Außenwand) üblicherweise angenommen wird.

Photovoltaische Anlagen in der Außenhaut von Gebäuden, also in Dächern und Fassaden, werden immer mehr eine normale Erscheinung sein. Die Flächen sind ohnehin vorhanden, die wirklich multifunktionalen Bauteile, wie sie bisher noch eher Ausnahmen sind, werden immer mehr zum Standard.

Damit wird sich auch immer mehr die Erkenntnis durchsetzen, dass die Integration von photovoltaischen Anlagen nicht nur eine Frage der elektrotechnischen Installation ist, sondern dass auch das konstruktive und gestalterische Wissen des Architekten erforderlich ist, wenn eine nach allen Kriterien einwandfreie Anlage entstehen soll, die darüber hinaus auch noch besondere Akzente setzt. Dies gilt in gleichem Maße bei der Sanierung und Modernisierung von Gebäuden, wie es für Neubauten gilt, dies umso mehr, als heute Arbeiten im Bestand ohnehin das Baugeschehen – besonders im Wohnungsbau – beherrschen.

⁷
s.a. PHOTON Spezial 2004,
S. 102 ff

6.1 Ergänzende Literatur

Bendel, Christian; Hullmann, Heinz et al.:
Multifunktionale Nutzung photovoltaischer Anlagen
In: FVS ForschungsVerbund Sonnenenergie, FVS Themen
2003

Bundesarchitektenkammer (Hrsg.):
Energiegerechtes Bauen und Modernisieren
Grundlagen und Beispiele für Architekten, Ingenieure
und Bewohner
Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser, 1995

Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU (Hrsg.):
Kirchengemeinden für die Sonnenenergie
Osnabrück: DBU, 2003

Hagemann, Ingo B.:
Gebäudeintegrierte Photovoltaik
Architektonische Integration der Photovoltaik
in die Gebäudehülle
Köln: Rudolf Müller Verlag, 2002

Hullmann, Heinz (Hrsg.):
Photovoltaik in Gebäuden
Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2000

Hullmann, Heinz:
Praxishinweise zum Wärmeschutz
bei Neubau und Modernisierung im Wohnungsbau
Eschborn: RGBau im RKW, 1997

Landesinitiative Zukunftsenergien NRW
50 Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen
Altbausanierung Köln-Bocklemünd
Köln: Ecofys Energieberatung und Handelsgesellschaft
mbH, o.J.

Rexroth, Susanne (Hrsg.):
Gestalten mit Solarzellen
Photovoltaik in der Gebäudehülle
Heidelberg: C.F. Müller-Verlag, 2002

Schneider, Astrid (Hrsg.), Focus Film:
Solararchitektur für Europa
mit einem Vorwort von Hermann Scheer
Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser, 1996

6.2 Verbände und Forschungsinstitute

BSi
Bundesverband Solarindustrie e.V.
Stralauer Platz 33-34, 10243 Berlin
www.bsi-solar.de

DGS
Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.
Augustenstr. 79, 80333 München
www.dgs-solar.org

FhG ISE
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg
www.ise.fhg.de

FVS
ForschungsVerbund Sonnenenergie c/o Hahn-Meitner-
Institut
Kekuléstr. 5, 12489 Berlin
www.fv-sonnenenergie.de

ISET
Institut für Solare Energieversorgungstechnik
Königstor 59, 34119 Kassel
www.iset.uni-kassel.de

ISFH
Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln /
Emmerthal
Am Ohrberg 1, 31860 Emmerthal
www.isfh.de

SGF
Studiengemeinschaft für Fertigtbau e.V.
Parkstr. 71-73, 65191 Wiesbaden
www.sg-fertigtbau.de

UVS
Unternehmensvereinigung Solarwirtschaft e.V.
Torstr. 177, 10225 Berlin
www.solarwirtschaft.de

ZSW
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
Baden Württemberg
Industriestraße 6, 70565 Stuttgart
www.zsw-bw.de

6.3 Glossar

Ampèrestunde [Ah]

Ampere-hour

Einheit für die Ladung (Produkt aus Stromstärke und Zeit). 1 Ah = 3.600 C (Coulomb).

Anschlussdose

Junction box

Gehäuse, in welchem die ▶ Stränge eines ▶ PV-Generators elektrisch verbunden werden und in dem auch, falls erforderlich, Schutzeinrichtungen angeordnet werden können.

Auf-Dach-Montage

Stand-off mounting

Art der Anordnung von photovoltaischen Modulen mit Abstand oberhalb der wasserführenden Schicht eines geneigten Daches. Dabei kann die Neigung der Module auch von derjenigen der Dachneigung abweichen.

Auskragung

Overhang

Überstand eines Gebäudeteils über das darunterliegende.

Bekleidung

Cladding

Äußere Schicht einer mehrschichtigen Außenwand.

Bypassdiode

Bypass diode

Diode, die „anti-parallel“ zu einem Teil der Zellen eines PV-Moduls geschaltet ist. Sie schützt diese Zellen gegen thermische Zerstörung im Falle einer teilweisen Verschattung einzelner Zellen, während andere Zellen der vollen Strahlung ausgesetzt sind.

Cadmium-Tellurid

CdTe, Halbleitermaterial für photovoltaische Zellen. ▶ Dünnschichttechnik

Deckungsrate, solare

solar fraction

Anteil der photovoltaisch erzeugten Energie am gesamten elektrischen Energiebedarf eines Systems (z.B. eines Wohnhauses)

Dünnschichttechnik

Thin Film technology

Technik zur Herstellung dünner photovoltaischer Zellen durch Abscheiden z.B. auf Glas, Metall oder Kunststoff. Die Dünnschichttechnik wird bei der Herstellung von Zellen aus ▶ Silizium, amorph (a-Si), ▶ Cadmium-Tellurid (CdTe), ▶ Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) und ▶ Gallium-Arsenid (GaAs) eingesetzt.

Energieaufbereitung

Power conditioning equipment

Elektrische Einrichtung zur Umwandlung der in einem photovoltaischen Generator erzeugten elektrischen Energie in die für den Verbraucher geeignete Form. Sammelbezeichnung für Wechselrichter, Gleichrichter, Laderegler und Schutzdiode.

Gallium Arsenid

GaAs, Halbleitermaterial für photovoltaische Zellen. ▶ Dünnschichttechnik

Gebäudehülle

Building envelope

Die Außenhaut eines Gebäudes als Wetterschutz des Innenraumes. Hierzu gehören die Außenwände einschließlich der Fenster und Türen sowie das Dach.

Generator, photovoltaischer

Photovoltaic generator

Photovoltaic array

Verschaltetes System von photovoltaischen ▶ Modulen, das als Elektrizität erzeugende Einheit arbeitet. Die Module sind als eigenständige Struktur auf einem gemeinsamen Traggerüst angeordnet. Bei kleineren Systemen kann das photovoltaische Feld auch aus einem einzelnen Modul und der Tragstruktur bestehen.

Gleichstrom

Direct current

DC, elektrischer Strom, bei welchem die Ladungsträger nur in einer Richtung fließen. Gegensatz zu ▶ Wechselstrom.

Gleichstromwandler

DC to DC Converter

Elektronische Schaltung, die Gleichstrom einer bestimmten Spannung (z.B. Spannung der PV-Module) in eine andere Spannung (z.B. die Ladespannung einer Batterie) wandelt. Kann ein Bestandteil des ▶ MPPT sein.

Halbleiter

Semiconductor

Eine Substanz mit Leitungseigenschaften, die zwischen denen eines Leiters und denen eines Isolators liegen. Im Gegensatz zu Leitern nimmt der Widerstand von Halbleitern mit zunehmender Temperatur ab. Andere Einflüsse, wie z.B. Licht, können die gleiche Wirkung haben.

Hilfsgenerator

Back-up generator

Quelle für elektrische Hilfsenergie zu Sicherstellung einer unterbrechungsfreien wirtschaftlichen elektrischen Stromversorgung, ▶ PV-System, hybrides.

hot-spot-Effekt

hot spot effect

Erhitzung einer einzelnen Zelle dadurch, dass diese zur Last wird; kann z.B. bei Teilabschattungen auftreten.

Inselsystem

Stand-alone PV system,

remote system

Autarkes photovoltaisches System, das nicht mit einem Versorgungsnetz verbunden ist. Es kann über eine Energiespeicherung verfügen, was bei den meisten Inselsystemen, z.B. in Form von Batterien, der Fall ist, oder auch mit weiteren Quellen zur Stromerzeugung zu einem ▶ hybriden PV-System verbunden sein.

Integration

Integration

Einfügen eines neuen Bauteils nach Funktion, Form und/oder Konstruktion in eine vorgegebene Struktur (hier Gebäude oder Gebäudeteil).

Kilowattstunde [kWh]

Kilowatt-hour

Eine Leistung von 1000 Watt [W] über den Zeitraum von einer Stunde [h]. Die Kilowattstunde ist eine Einheit für Energie. 1 kWh = 3.600 kJ

Kupfer-Indium-Diselenid

CIS, Halbleitermaterial für photovoltaische Zellen. ▶ Dünnschichttechnik

Kurzschluss-Strom

Short circuit current ISC

Strom, der von einer beleuchteten photovoltaischen Zelle oder einem Modul durch einen externen Stromkreis ohne Widerstand fließt. Der Kurzschluss-Strom ist der größtmögliche aus einer Zelle oder einem Modul erreichbare Strom.

kW_p (Kilowatt-Peak)

kilowatt peak

Leistung einer photovoltaischen Zelle, eines Moduls oder eines Generators bei standardisierten Einstrahlungsbedingungen (► STC, Standard Test Conditions). 1 kW_p = 1.000 W_p (► Watt-Peak)

Laderegler

Battery charge regulator

Vorrichtung zur Regelung des Ladevorganges einer Speicherbatterie, mit Schutz vor Tiefentladung und Überladung, häufig auch mit ► MPPT.

Leerlaufspannung U_{OC}

Open-circuit voltage

Spannung [U_{oc}] einer beleuchteten photovoltaischen Zelle oder eines Moduls, wenn kein Strom fließt. Die Leerlaufspannung ist die größtmögliche Spannung der Zelle oder des Moduls.

Luftmasse

Air mass

AM. Die Länge des Weges von Licht durch die Atmosphäre wird durch eine äquivalente relative Luftmasse beschrieben. AM0 entspricht dem Sonnenspektrum im Weltraum. Am Äquator ist das durchschnittliche Spektrum AM1. Das Referenzspektrum für STC (standard test conditions) wurde als AM1,5 definiert und entspricht dem durchschnittlichen Spektrum bei 45° geogr. Breite.

Modul, photovoltaisches

PV-module

Wetterfest gekapselte Grundeinheit eines ► photovoltaischen Generators mit mehreren miteinander verschalteten ► Zellen.

MPP (Maximum power point)

Maximum Power Point

Punkt auf der Strom-Spannungskennlinie, in dem die maximale Leistung produziert wird. Für eine typische Siliziumzelle liegt dieser Punkt ungefähr bei 0,45 V.

MPPT (MPP-Wandler)

Maximum power point tracker MPPT Wandler, der einen PV-Generator unter allen Bedingungen automatisch an seinem ► MPP (maximum power point) betreibt.

Netz, elektrisches

Electrical grid

Integriertes System zur Verteilung von Elektrizität, üblicherweise über große Bereiche ausgelegt.

Netzverbundsystem

Grid connected system

PV-System, das im Verbund mit einem öffentlichen Versorgungssystem arbeitet

Parallelschaltung

Parallel connection

Art der Verbindung mehrerer Elektrizität erzeugender oder verbrauchender Komponenten in der Form, dass die erzeugte oder benötigte Spannung gleich bleibt, der Strom sich aber addiert. Gegensatz zu ► Reihenschaltung.

Pfosten-Riegel-Konstruktion

Mullion/Transom

Häufige Tragkonstruktion bei ► Vorhangfassaden. Sie besteht aus vertikalen Pfosten und horizontalen Riegeln.

Photovoltaik

Photovoltaics

Umwandlung von Licht in Elektrizität.

PV-Generator

Photovoltaic generator

Verschaltetes System von photovoltaischen ► Modulen, das als Elektrizität erzeugende Einheit arbeitet.

PV-System

Photovoltaic system

Photovoltaisches System als Gesamtheit aller Komponenten zur Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie.

PV-System, hybrides

Hybrid PV system

PV-System, in welches neben dem PV-Generator eine oder mehrere weitere Energiequellen eingebunden sind, z.B. Dieselmotor, Windgenerator.

PV-System, netzgekoppelt

Grid-connected PV System

Ein PV-System, bei welchem die Generatorfelder wie zentrale „Kraftwerke“ Leistung an das Netz abgeben. Es können auch einzelne Gebäude mit PV-Anlagen ausgestattet sein, die in das Netz einspeisen, wenn sie Überschussenergie erzeugen. Während der Nacht und in strahlungsarmen Zeiten werden die Haushalte mit Strom aus dem Netz versorgt.

Reihenschaltung

Series connection

(auch: „Serienschaltung“) Art der Verbindung mehrerer Elektrizität erzeugender oder verbrauchender Komponenten in der Form, dass der erzeugte oder benötigte Strom gleich bleibt, die Spannung sich aber addiert. Gegensatz zu ► Parallelschaltung.

Schutzart

Ingress protection IP

Beschreibt mit zwei Kennziffern den Schutz gegen mechanische Beanspruchung und Eindringen von Wasser.

Schutzdiode

Blocking diode

Diode, die in Reihe in einen PV-Strang geschaltet ist; sie dient zur Vermeidung eines Stromflusses in umgekehrter Richtung.

Sheddach

Shed

Dach mit sägezahnähnlich angeordneten Oberlichtern.

Silizium, amorph

amorphous silicon

a-Si, Silizium, bei welchem die Atome unregelmäßig angeordnet sind (► Dünnschichttechnik).

Silizium, monokristallin

Aus Silizium-Einkristallen, z.B. nach dem Czochralsky-Verfahren hergestelltes Silizium. Die Atome sind über den gesamten Materialblock völlig regelmäßig angeordnet.

Silizium, multikristallin

Multicrystalline silicon

Silizium, bei welchem beim Abkühlen der Schmelze viele kleine Kristalle entstehen. Herstellung z.B. nach dem Blockgussverfahren oder nach dem EFG-Verfahren (Edgedefined Film Growth). Die Atome innerhalb eines einzelnen Kristalls sind symmetrisch

angeordnet, während die Lage der Kristalle zueinander unregelmäßig ist. Anstatt der Vorsilbe „multi-“ wird auch die Vorsilbe „poly-“ verwendet.

Solarzelle
Solar cell

▶ Zelle, photovoltaische

Standard-Test-Bedingungen STC
Standard Test Conditions STC
Solare Einstrahlung: 1.000 W/m²
Zellentemperatur: 25 °C
Spektrum: AM1,5

Strang, photovoltaischer
Photovoltaic string

Verbindung einzelner Module oder gleicher Gruppen aus mehreren parallel geschalteten Modulen in Reihe (Serie).

Structural Glazing
Structural glazing

Verglasungssystem für Fassaden, bei welchem die Verglasung auf die tragenden Profile aufgeklebt und die Abdichtung durch Silikon hergestellt wird. Diese Systeme erfordern keine außenliegenden mechanischen Befestigungen, so dass auch keine Profile erforderlich sind, die Teilverschattungen bewirken könnten.

Substrat
substrate

Trägerschicht, z.B. bei Dünnschichtzellen ▶ Dünnschichttechnik

Systemkomponenten
(außer PV-Generator)

Balance of system (BOS)

Alle Komponenten eines photovoltaischen Systems außer dem Photovoltaischen Generatorfeld: Schalter, Regler, Zähler, Energieaufbereitung, Tragstruktur für das Generatorfeld sowie Speichereinrichtungen.

V_{AC}
VAC

Einheit für die Wechselspannung [V_{AC}]

V_{DC}
VDC

Einheit für die Gleichspannung [V_{DC}]

Volt [V]
Volt

Einheit für die elektrische Spannung [V] als Maß für die treibende Kraft der Elektronen in einem Stromkreis. Ein Volt erzeugt einen Strom von einem Ampère bei einem Widerstand von einem Ohm.

Vorhangfassade

Curtain wall

Nichttragende Außenwand eines Gebäudes als Wetterschutz außerhalb der Tragstruktur, üblicherweise aus Glas und Metall.

Watt [W]

Watt

Einheit für die elektrische Leistung [W] oder für die Arbeit pro Zeiteinheit. Ein Strom von einem Ampère, der bei einer Spannung von einem Volt fließt, erzeugt eine Leistung von einem Watt.

Watt-Peak [W_p]

Peak watts

Leistung einer photovoltaischen Zelle, eines Moduls oder eines Generators bei standardisierten Einstrahlungsbedingungen (▶ STC, Standard Test Conditions). ▶ kW_p

Wattstunde [Wh]

Watt-hour

Eine Leistung von einem Watt [W] über den Zeitraum von einer Stunde [h]. ▶ Kilowattstunde

Wechselrichter

Inverter

Ein PV-Wechselrichter wandelt die Gleichspannung und den Gleichstrom des PV-Generators (DC) in ein- oder mehrphasige Wechselspannung oder Wechselstrom (AC).

Wechselstrom

alternating current

AC. Elektrischer Strom, bei dem die Flussrichtung in Intervallen wechselt, üblicherweise 100-mal pro Sekunde (50 Zyklen pro Sekunde oder 50 Hz). Gegensatz zu ▶ Gleichstrom.

Wirkungsgrad

efficiency

bei PV-Modulen das Verhältnis von abgegebener elektrischer Energie zu eingestrahelter Solarenergie unter ▶ Standard-Test-Bedingungen STC, sinngemäß auch für PV-Generatoren und für PV-Systeme.

Zelle, bifaciale

bifacial solar cell

photovoltaische Zelle, bei der sowohl auf die Vorder- als auch auf die Rückseite auftreffendes Licht in elektrische Energie umgewandelt wird.

Zelle, photovoltaische

Photovoltaic cell

Kleinste Halbleiterelement innerhalb eines ▶ Moduls. In ihr findet unmittelbar die Umwandlung von Licht in elektrische Energie statt. Auch als Solarzelle bezeichnet.

Die Schriftenreihe PV + Bau umfaßt

PV + Bau 01

*Solarenergie im Planungs-
und Baurecht*

PV + Bau 02

*Was kann die Photovoltaik
in der Gebäudehülle*

PV + Bau 03

*Anforderungen an Photovoltaik-
Freiflächenüberdachungen*

PV + Bau 05

*Gebäudeintegrierte Photovoltaik
bei Sanierung und Modernisierung*

PV + Bau 06

*Gebäudeintegrierte Photovoltaik
im historischen Baubestand*

In Vorbereitung:

PV + Bau 04

*Anforderungen an Photovoltaik-
Fassaden*

Studiengemeinschaft für Fertigbau e.V.
Josef-Görres-Platz 12
D-56068 Koblenz
Tel.: +49 (0) 261 914 5350
Fax: +49 (0) 261 914 5351
E-Mail: info@sg-fertigbau.de
Internet: www.sg-fertigbau.de

[E-Mail: info@sg-fertigbau.de](mailto:info@sg-fertigbau.de)

Wiesbaden, im Januar 2005

Verfasser

Dr. Christian Bendel, ISET, Kassel
Prof. Dr. Heinz Hullmann, hwp, Hannover

Druck

Rhein Hessische Druckwerkstätte, Alzey

Lithografie

Rhein Hessische Druckwerkstätte, Alzey

Gestaltung

Leu und Leu, Frankfurt