


Risk-Management.  
Ein Service für unsere Kunden.

# Photovoltaik

Energiequelle mit Zukunft.  
Anforderungen und Schadenverhütung



VER | SICHER | UNGS  
KAMMER  
BAYERN

 Finanzgruppe

## Vorwort

Diese Broschüre gibt denjenigen, die sich mit dem Thema Photovoltaikanlagen als Betreiber oder auch im Versicherungsgeschäft befassen, einen Überblick über die technischen Grundlagen der Photovoltaik sowie die Anforderungen, die in rechtlicher und technischer Hinsicht an diese Anlagen gestellt werden.



# Inhalt

Mit der Kraft der Sonne	4
Grundlagen und Funktion einer Photovoltaikanlage	6
Der ideale Standort	10
Anforderungen zur Genehmigung	11
Die Montage der Photovoltaikanlage	12
Die Elektrik der Photovoltaikanlage	15
Blitz- und Überspannungsschutz	17
Standsicherheit und Statik	20
Diebstahlschutz	22
Baulicher Brandschutz	24
Überwachung und Wartung	25
Versicherung	26
Anhang	27

# Mit der Kraft der Sonne

Gemessen an menschlichen Maßstäben, besitzt die Sonne als Energiequelle ein schier unbegrenztes Potenzial. Sie strahlt im Jahr bis zu 10 000 mal mehr Energie auf die Erde, als die Weltbevölkerung verbrauchen kann. Diese Energie können wir mit verschiedenen technischen Systemen – Photovoltaik für Strom und Solarthermie für Wärme – für uns nutzbar machen.

So wandeln solarthermische Anlagen über Kollektoren die eingestrahlte Lichtenergie der Sonne direkt in Wärmeenergie um und erwärmen unser Brauchwarmwasser und die Heizungsstränge unserer Häuser mittels Wärmetauscher.

Eine andere Möglichkeit der Sonnenenergienutzung stellt die Photovoltaik dar, bei der auf umweltfreundliche Weise Strom produziert wird. Jede Kilowattstunde Strom aus einer Photovoltaikanlage erspart der Umwelt den Ausstoß von 530 g Kohlendioxid im Vergleich zum herkömmlichen Mix der Stromerzeugung mit Öl, Gas oder Kohle.

Ökonomische Anreize wie das EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) sowie die Entwicklung der Preise für fossile Energieträger (Öl und Gas) haben zu einer großen Akzeptanz und einer dynamischen Entwicklung der Photovoltaik geführt. Allein 2005 sind Solarstromanlagen mit einer Leistung von 600 MW in Deutschland ans Netz gegangen bei einer Gesamtleistung von mittlerweile 1 400 MW.

## Sonnenstrom

Der Begriff Photovoltaik setzt sich aus dem griechischen Wort für Licht „Phos“ und dem Namen des Physikers Alessandro Volta (Volt) zusammen. **Eine Photovoltaikanlage wandelt Lichtenergie direkt in elektrische Energie um durch Nutzung des „photovoltaischen Effekts“.** Unter dem photovoltaischen Effekt versteht man die Freisetzung von positiven und negativen Ladungsträgern in einem Festkörper durch Lichteinstrahlung.



Auf diesem Dach ist links eine Photovoltaikanlage (PV-Generator mit monokristallinen Modulen) zur Stromerzeugung montiert, rechts sind zwei Solarkollektoren zur Warmwasserproduktion installiert.



Photovoltaikmodule





### Sonneneinstrahlung

Die Intensität der Sonneneinstrahlung außerhalb der Erdatmosphäre ist abhängig vom im Jahresverlauf schwankenden Abstand der Erde zur Sonne. Der Mittelwert der Bestrahlungsstärke liegt bei  $1\,367\text{ W/m}^2$  und wird Solarkonstante genannt. Durch Absorption, Reflexion und Streuung in der Atmosphäre reduziert sich dieser Wert. So wird bei schönem Wetter um die Mittagszeit nur noch eine Bestrahlungsstärke von  $1\,000\text{ W/m}^2$  erreicht. Reflexion durch vorbeiziehende Wolken kann kurzzeitige Einstrahlungsspitzen von bis zu  $1\,400\text{ W/m}^2$  erzeugen.

Übers Jahr summiert erhält man die jährliche Globalstrahlung in  $\text{kWh/m}^2$ . Dieser Wert ist regional sehr verschieden, in Nordeuropa niedriger, Richtung Äquator werden Werte von  $2\,300\text{ kWh/m}^2$  erreicht, während wir in Deutschland einen Mittelwert von  $1\,040\text{ kWh/m}^2$  haben.

### Sonnenstand und Strahlungsintensität

Die Intensität der Sonnenstrahlung wird neben anderen Parametern auch durch den Sonnenhöhenwinkel beeinflusst. Dieser verändert sich sowohl während des Tages als auch im Jahresverlauf. Je senkrechter die Sonne steht, umso ungehinderter nimmt das Sonnenlicht den kürzesten Weg durch die Atmosphäre. Steht die Sonne in einem flacheren Winkel, hat das Licht einen längeren Weg durch die Atmosphäre, das Licht wird mehr gestreut und absorbiert, die Strahlungsintensität ist geringer. Diese Zusammenhänge werden mit dem Faktor AM (Air Mass, Luftmasse) dargestellt.

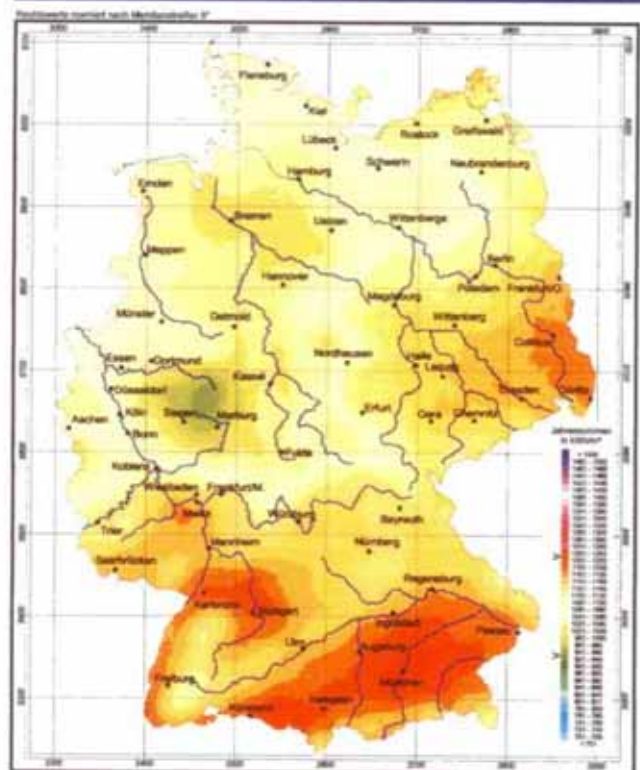
### STC

Die Standard-Testbedingungen (Standard Test Conditions; STC) sind für Deutschland

- ein AM von 1,5 (Jahresmittel für Deutschland)
- eine Einstrahlung von  $1\,000\text{ Watt}$  pro Quadratmeter
- eine Zelltemperatur von  $25\text{ °C}$ .



### Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland



Deutscher Wetterdienst



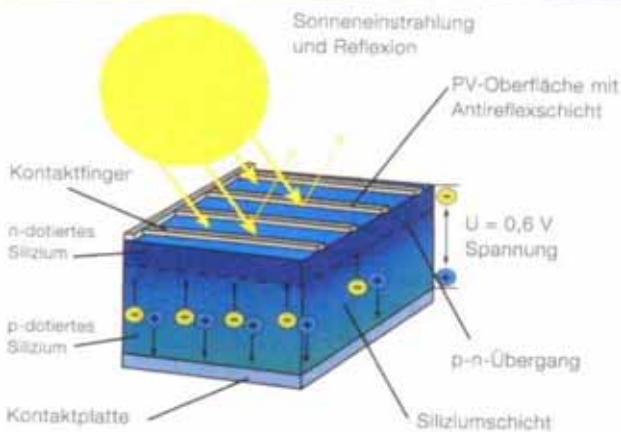
Auf Basis dieser Bedingungen werden die Wirkungsgrade der Solarzellen und Solarmodule gemessen. Diese Testbedingungen treten im wirklichen Betrieb selten oder nie auf, da zum Beispiel bei einer hohen Einstrahlung die Temperaturen am Modul über  $25\text{ °C}$  liegen. Die Leistungsfähigkeit der Module sinkt dabei in der Regel um ca. 4 % pro 10 Grad Temperaturanstieg.

# Grundlagen und Funktion einer Photovoltaikanlage



Die kleinste und wichtigste Einheit einer PV-Anlage ist die Solarzelle. Mehrere Solarzellen werden zu einem PV-Modul zusammengefügt.

## Funktion einer Solarzelle



Eine  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  große Solarzelle liefert bei direkter Sonneneinstrahlung (ca.  $900 \text{ Watt/m}^2$ ) etwa 3 Ampere

Eine kristalline Silizium-Solarzelle hat eine positiv und eine negativ geladene Schicht. Dafür sind bei der Herstellung gezielt Fremdatome in das Kristallgitter des Siliziums eingebracht – dotiert – worden. Die dem Sonnenlicht zugewandte Schicht der Solarzelle ist mit Phosphor negativ geladen (n-dotiert), die darunter liegende Schicht ist mit Bor positiv dotiert (p-dotiert). An der Grenzschicht (p-n-Übergang) entsteht ein elektrisches Feld.

Die Zelle verhält sich zunächst nach außen elektrisch neutral. Trifft jedoch Licht auf die Solarzelle, werden Elektronen aus ihren Bindungen geschlagen und über das innere elektrische Feld hin zur Oberfläche transportiert, während sich auf der Unterseite gleichzeitig positiv geladene „Löcher“ bilden. Dazwischen baut sich eine Spannung von ca. 0,6 Volt auf. Um einer Solarzelle Strom zu entnehmen, werden Metallkontakte aufgebracht und elektrisch verbunden.

## Herstellung von Silizium

Das Grundmaterial von Solarzellen ist Silizium, ein Halbmetall, das in großen Mengen im Quarzsand auf der Erde vorhanden ist. In einem Hochofenverfahren wird Quarzkies mit einer bestimmten Körnung mit Holz und Kohle vorgemischt und für die chemische Reaktion, in der Sauerstoff abgetrennt wird, auf  $1\,650^\circ\text{C}$  erhitzt. Das daraus entstehende Rohsilizium wird in Tiegel abgelassen. Dieses harte und spröde Metall hat eine Reinheit von 98 % und muss für die Herstellung von Solarzellen weitere hochtechnisierte und energieintensive Reinigungsprozesse (Destillationen) durchlaufen. Das schließlich abgeschiedene **Polysilizium** hat eine fast hundertprozentige Reinheit und ist Ausgangsmaterial für monokristalline oder polykristalline Siliziumscheiben (Wafer), die zu Solarzellen weiterverarbeitet werden.

## Weiterverarbeitung zu kristallinen Siliziumzellen

### Polykristalline Siliziumzellen

Das Ausgangsmaterial Polysilizium wird in Quarztiegeln aufgeschmolzen und in Quader-Formen gegossen. Bei der Erstarrung des Materials bilden sich unterschiedlich große Kristallstrukturen aus, an deren Grenzen Defekte auftreten. Diese Kristalldefekte haben einen geringeren Wirkungsgrad der Solarzelle von 12 bis 16 % zur Folge. Die Färbung der Zellen ist blau oder silbergrau mit gut erkennbarer Eisblumenstruktur.

Die Siliziumblöcke werden in quadratische ca. 0,3 mm dicke Scheiben (Wafer) mit üblichen Größen von  $10 \times 10 \text{ cm}$  (4 Zoll) bis  $21 \times 21 \text{ cm}$  (8 Zoll) geschnitten. Anschließend werden die bereits mit Bor p-dotierten Wafer durch Beaufschlagung mit Phosphorgas bei ca.  $900^\circ\text{C}$  n-dotiert.





### Monokristallines Silizium

Für die kostenintensive Herstellung von monokristallinen (einkristallinen) Siliziumzellen durchläuft das Ausgangsmaterial Polysilizium einen erneuten Schmelzprozess bei 1410 °C. Im Tiegeziehverfahren wird ein Kristallkeim in die Siliziumschmelze getaucht und unter langsamem Drehen – dabei werden Kleinstmengen von Boratomen zugesetzt – zylinderförmige Einkristalle mit bis zu 30 cm Durchmesser und mehreren Metern Länge herausgezogen. Diese Zylinder werden in 0,3 mm dünne Scheiben (Wafer) geschnitten, nasschemisch gereinigt, geätzt und n-dotiert. Die runden bzw. semiquadratischen Wafer (Zellen) sind in der Struktur homogen, von der Färbung her dunkelblau bis schwarz und haben einen Wirkungsgrad von 14–18 %.

### Dünnschicht-Solarzellentechnologien

Polykristalline und monokristalline Siliziumzellen hatten 2005 noch die höchsten Marktanteile von zusammen mehr als 90 %. Die Entwicklungen zu anderen Zellarten, wie besonders der Dünnschichttechnologien, gehen aber weiter. Als Halbleitermaterialien dienen hier amorphes (nicht kristallines) Silizium, Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) oder Cadmium-Tellurid (CdTe), die in dünnen Schichten von kleiner als 0,001 mm zum Beispiel auf ein kostengünstiges Trägermaterial (wie Glas) aufgedampft und im Gegensatz zu kristallinen Zellen bereits während der Beschichtung elektrisch verschaltet werden.

### Amorphe Siliziumzellen (4,7 % Marktanteil)

Wirkungsgrad: 5–7 % (im stabilisierten Zustand), rötlich-braun bis schwarz oder blauviolett. Die Zellen erfahren in den ersten 6 bis 12 Monaten eine lichtinduzierte Alterung (Degradation) und damit eine Leistungsabnahme, können aber den diffusen Lichtanteil (Reflexion, Streuung) besser nutzen.

**Kupfer-Indium-Diselenid-Zellen (CIS)** haben einen Wirkungsgrad von 9–11 % und sind dunkelgrau bis schwarz; der Wirkungsgrad der dunkelgrün spiegelnd bis schwarzen **Cadmium-Tellurid-Zellen** liegt bei 7–8,5 %.



### Vom Wafer zur Solarzelle

Auf die Vorderseite der Siliziumwafer wird eine Antireflexschicht aufgedampft, die in verschiedenen Färbungen möglich ist.

Zur Stromabnahme werden dann metallische Kontakte (Linien) auf die Vorder- und Rückseite im Siebdruckverfahren aufgebracht. Auf der sonnenzugewandten Seite wird ein feines Metallgitter mit Linienbreiten von maximal 1 bis 2 mm, auf der Rückseite verdichtete Kontakte, ergänzt mit einer vollflächigen Aluminiumschicht zur Steigerung des Wirkungsgrades, aufgedruckt. In weiterentwickelten Verfahren werden die Frontkontakte gelasert bzw. eingeschnitten und sind dann nur noch 0,02 mm breit. Reflexion und Abschattungen durch die Frontkontakte sowie Verluste durch zu langwelliges oder zu kurzwelliges Licht sind der Grund, dass bei Solarzellen nur 11–18 % der eingestrahlten Sonnenenergie in nutzbaren elektrischen Strom umgewandelt werden (dieser variable Wert ist der **Wirkungsgrad** der Solarzelle). Zum Vergleich: Herkömmliche Glühlampen verwandeln nur 3–4 % der eingesetzten Energie in Licht.

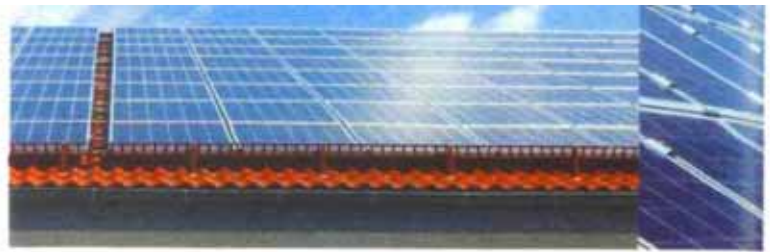
Zum Schluss werden die Kanten der Wafer geätzt, um sauber getrennte p- und n-Schichten zu erhalten und einen seitlichen Kurzschluss auszuschließen.

### Herstellung von Photovoltaikmodulen

#### Standardmodul

Eine einzelne kristalline Solarzelle hat eine zu geringe Leistung zur Stromerzeugung. Solarzellen werden deshalb in Reihe geschaltet (Zellversträngung), indem der Frontseitenkontakt (Minuspol) der einen Zelle mit dem Rückseitenkontakt (Pluspol) der nächsten Zelle verlötet wird. Die meisten Standardmodule mit Leistungen von 100 bis 300 Watt-peak (Wp) bestehen aus bis zu drei parallelen Strings, wobei pro String 36 oder 72 Solarzellen in Reihe geschaltet werden.

Bei Abschattung verhält sich eine in Reihe geschaltete Solarzelle wie ein elektrischer Widerstand und kann sich, wenn der Strom der übrigen Zellen hindurchfließt, bis zur Zerstörung erhitzen (Hot Spot). Um dies zu vermeiden, werden **Bypassdioden** parallel zu den Zellen geschaltet, die den Strom vorbeileiten.



Die verschalteten Zellenstrings werden dann in einer Vakuumkammer unter Einwirkung von Unter- und Überdruck bei einer Temperatur von bis zu 150 °C „verkapselt“. Diese EVA-Verkapselung (Ethylen-Vinyl-Acetat) mit UV-beständigem, gehärtetem, hochtransparentem Weißglas (Solarglas) auf der Frontseite und einer nicht-transparenten (opaken) Verbundfolie auf der Rückseite ist das übliche Verfahren bei der Herstellung von Standardmodulen (etwa 1,46 x 0,8 m groß). Zur Stabilität und zum Schutz der Kanten (das Glas könnte springen, wenn ein Modul auf die Eckkante fällt) werden zurzeit noch etwa 70 % der Module gerahmt.



**Aufbau eines Moduls**  
Weißglas  
kristalline Zellen in EVA  
opake Folie

### Modulanschluss



Die meisten Module werden bereits mit einer Modulanschlussdose inklusive Bypassdiode, Anschlussleitungen sowie verpolungs- und berührungssicheren Steckern geliefert, die bei der Montage nur noch zusammengesteckt werden müssen. Wichtig ist, dass die Modulanschlussdose mindestens

- Schutzgrad IP 54 (gegen Staub und Spritzwasser geschützt) und
- Schutzklasse II (Abdeckung der aktiven Teile mit einer verstärkten Isolierung) aufweist.

### Zusammenschaltung von PV-Modulen

Ein PV-Modul mit einer Leistung von 120 Watt-peak hat etwa eine Fläche von einem Quadratmeter. Durch Reihen- und Parallelschaltungen werden die PV-Module zu einer größeren Einheit, dem PV-Generator, zusammengefügt. Die in Reihe geschalteten Module bezeichnet man als Strang (engl. String). Die Systemspannung und damit die Eingangsspannung des angeschlossenen Wechselrichters wird durch die Anzahl der in Reihe geschalteten Module bestimmt.

**Leistungsgrößen:** Eine 1 000-Watt-Photovoltaikanlage (1 kW) erzeugt im Jahr ca. 800–1 000 kWh. Ein 4-Personen-Haushalt verbraucht im Jahr durchschnittlich 4 000 kWh.

**Watt-peak:** Die maximal mögliche Leistung, die mit einer Anlage bei 1 000 Watt Lichteinstrahlung auf 1 m<sup>2</sup> Fläche erzielt werden kann.

### Elektrische Kenndaten von Solarmodulen

Die elektrischen Kenndaten eines Solarmoduls werden in einer sogenannten Strom-Spannungs-Kennlinie dargestellt, die unter Standard-Testbedingungen (STC = Standard Test Conditions) aufgenommen wird. Unter den STC wird die Stromstärke gemessen, die das Modul bei unterschiedlichen Spannungen liefert. Im Maximum Power Point (MPP, Punkt maximaler Leistung) arbeitet ein Modul dann, wenn das Produkt aus Strom und Spannung maximal ist. Diese maximale Leistung unter STC (Nennleistung) wird in Watt-peak (Wp) angegeben. Diese Normierung macht verschiedene Module vergleichbar. Nach DIN EN 50380 müssen PV-Module mit Datenblatt und Typenschildangaben versehen sein, auf denen neben den elektrischen Kenngrößen wie Nennleistung, Nenn- und Leerlaufspannung, Nenn- und Kurzschlussstrom auch die elektrischen Kennwerte bei geringerer Einstrahlung (Nominal Operating Cell Temperature, NOCT), Angaben über Maße und Gewichte, Temperaturkoeffizienten, Anzahl Bypassdioden, Größen und Garantien sowie Zulassungen und Zertifikate aufgeführt sind.

### Anforderungen an die Qualität der Module

#### IEC-Zertifizierung

Wegen des hohen Anteils der Modulkosten an den Investitionskosten einer PV-Anlage (bis zu 80 %) sollten nur zertifizierte Module eingesetzt werden. Allgemein anerkannt ist die Zertifizierung nach IEC:

- IEC 61215 kristalline Module
- IEC 61646 Dünnschichtmodule

Prüfinstitute wie in Deutschland z. B. der TÜV Rheinland überprüfen nach dieser Prüfvorschrift Konstruktion und Qualität in umfangreichen Labortests, darunter neben

- den Leistungsdaten insbesondere auch
- die mechanische und thermische Beanspruchung der Module (z. B. Schlagfestigkeit gegen Hagelkörner, Luftfeuchte-/Frostprüfung, Windgeschwindigkeiten bis 225 km/h, Temperaturwechsel von -40 bis +85 °C)
- sowie die Fertigungsstätten des Herstellers.

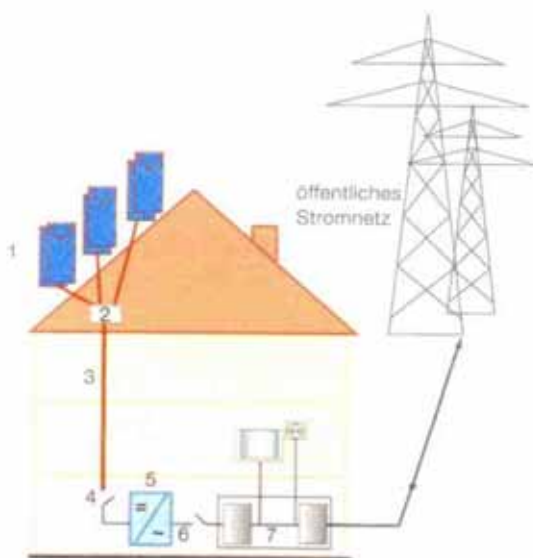


**Tipp:** Eine Liste aller geprüften Module finden Sie auf der Internetseite des TÜV Rheinland [www.de.tuv.com](http://www.de.tuv.com) unter dem Suchbegriff „Photovoltaik“.





## Bestandteile einer Photovoltaikanlage



## Eine Photovoltaikanlage setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- 1 PV-Generator (mehrere PV-Module sind in Reihen- oder Parallelschaltung mit Kabel verbunden und mit einem Montagegestell befestigt)
- 2 Generatoranschlusskasten (mit Schutztechnik)
- 3 Gleichstromverkabelung (Gleichstrom = DC)
- 4 DC-Trennschalter (Pflicht seit Juni 2006)
- 5 Wechselrichter (zur Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom)
- 6 Wechselstromverkabelung
- 7 Zählerschrank mit Einspeise- und Bezugsmesser, Stromkreisverteilung und Hausanschluss)

Photovoltaikanlagen gibt es als

- **netzferne Anlagen** (Inselanlagen), die keine Verbindung zum öffentlichen Stromnetz haben. Sie arbeiten mit Akkumulatoren (Speichern) und werden in abgelegenen Gebieten oder im Freizeitbereich eingesetzt.
- **netzgekoppelte Anlagen**, die den erzeugten Strom direkt in die Netze der Stromversorger einspeisen. Solche Anlagen gibt es als Aufdach-Anlagen, Indach-Anlagen und Freiflächenanlagen.

### Aufdach-Anlagen

Die Solarmodule werden mit einer Metallkonstruktion über der Dacheindeckung montiert. Dies ist bei Schräg- und Flachdächern die übliche Montageart von PV-Anlagen.

### Indach-Anlagen

Die PV-Module werden in die Dachhaut integriert und ermöglichen dadurch optisch ansprechende Dachgestaltungen. Die Indach-Montage ist jedoch anspruchsvoller, da eine gute Hinterlüftung der Module erreicht und eine handwerklich einwandfreie Ausführung erzielt werden muss, damit das Dach dauerhaft dicht bleibt.

### Fassadenanlagen

Photovoltaikanlagen an oder als Ersatz von Fassaden werden in Zukunft eine immer größere Rolle einnehmen.

### Freiflächenanlagen

Häufiger ist die Installation von PV-Anlagen auf Freiflächen wie aufgelassenen Industrie- und Militärbereichen. Derartige Anlagen eignen sich besonders zur Nachführung, dem Drehen mit dem Sonnenstand.

### RAL-Gütesiegel

Von der Gütegemeinschaft Solarenergieanlagen wurde das RAL-Gütesiegel **RAL-GZ 966** entwickelt. Das Gütesiegel umfasst eine Vielzahl bereits vorhandener internationaler, nationaler und regionaler Regelungen aus den Bereichen Baurecht, Unfallverhütung, Elektrotechnik, Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik sowie Umweltschutz. Firmen dürfen das Siegel führen, wenn die Anforderungen erfüllt sind.



**Tipp:** Beim Erwerb einer Solaranlage schützen Sie sich durch die klare Definition eines technischen und rechtlichen Qualitätsstandards mit der Vorgabe:

- **Lieferung und Installation gemäß RAL GZ 966**
- **Schutzklasse II**

# Der ideale Standort

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für einen hohen Energieertrag ist die Wahl eines geeigneten Daches (Steil- oder Flachdach) und dessen Ausrichtung. Bei einem Flachdach erhält man mit Hilfe von Aufständerungen einen günstigen Sonnen-Einfallswinkel für die PV-Module.

Für PV-Anlagen sind Dächer mit einer Neigung von 28 bis 33 Grad ideal, nicht zuletzt auch deshalb, weil ab einer Neigung von 20 Grad davon ausgegangen werden kann, dass ablaufender Regen die Module reinigt. Neben der Dachneigung ist die Lage beziehungsweise die Ausrichtung des Daches nach Süden entscheidend.



## Lage/Verschattung

Die PV-Anlage sollte gantztägig und ganzjährig frei von Verschattungen sein. Treffen Schatten durch Bäume, naheliegende Häuser, Kamine, Antennen, Blitzfangstangen, Überlandleitungen auf ein Dach, sind die Energieeinbußen aus physikalischen Gründen wesentlich höher, als diese Teilabschattungen flächenmäßig darstellen. Bei ungünstiger Anordnung und Verschattung der PV-Module kann eine kleine Verschattung den kompletten Strang der PV-Anlage betreffen.

Es empfiehlt sich deshalb, den Schattenwurf des tiefsten Jahressonnenstandes am 21.12. gegen die Mittagszeit, z. B. anhand eines Sonnenbahndiagramms, zu bestimmen. Alle Objekte, die zu dieser Zeit einen Schatten werfen können, sollten bei der Planung der PV-Anlage hinsichtlich der Platzierung berücksichtigt werden. Übersehen Sie nicht, dass im Laufe von 20 Jahren Bäume wachsen und in der unmittelbaren Nachbarschaft bauliche Veränderungen eintreten können. Eine gute Installationsfirma hat Berechnungsprogramme zur erfolgversprechendsten Ausrichtung und Dimensionierung einer PV-Anlage. Am ertragreichsten ist die Installation des Solargenerators auf Dächern, die nach Süden ausgerichtet sind. Auch Ausrichtungen, die bis zu 45 Grad von Süden abweichen (Südost bis Südwest), ermöglichen noch 95 % des maximalen Ertrages.

# Anforderungen zur Genehmigung

## Bauordnung

Für Photovoltaikanlagen in der Dachfläche, in der Fassade oder auf Flachdächern ist in der Regel keine Baugenehmigung erforderlich, wie die folgenden Auszüge aus einigen Landesbauordnungen zeigen:

Land	Genehmigungsfrei**
Bayern, BayBO Art. 63 Abs. 1 Nr. 2	„Errichtung und Änderung von Sonnenkollektoren und Photovoltaikanlagen in der Dachfläche*, in der Fassade oder auf Flachdächern, im Übrigen bis zu einer Fläche von 9 m <sup>2</sup> .“
Rheinland-Pfalz, LBauO § 62 Abs. 1, 2d	„Solaranlagen auf oder an Gebäuden; ausgenommen sind Solaranlagen auf oder an Kulturdenkmälern sowie in der Umgebung von Kultur- und Naturdenkmälern.“
Berlin, BauOBln § 62 Abs. 1, 2b	„Solaranlagen in und an Dach- oder Außenwandflächen sowie gebäudeunabhängig mit einer Höhe bis zu 3 m und einer Gesamtlänge bis zu 9 m.“

\* Die Bezeichnung „in der Dachfläche“ muss nicht wortgetreu ausgelegt werden, da bei dieser Auslegung nur die Indach-Anlage genehmigungsfrei wäre. Stellenweise wird die Auffassung vertreten, dass PV-Anlagen sich so weit von Dachflächen absetzen dürfen wie Dachflächenfenster, da eine aufgeständerte PV-Anlage optisch stärker beeinträchtigt. Gegen diese Auslegung spricht, dass PV-Anlagen auf Flachdächern aufgeständert werden dürfen, ohne dass sie einer Baugenehmigungspflicht unterliegen.

\*\* **Genehmigungsfrei** bedeutet, dass das Vorhaben, bevor es realisiert wird, nicht von der Behörde auf seine baurechtliche Zulässigkeit geprüft wird. Genehmigungsfrei, aber auch Vorhaben im sogenannten vereinfachten Verfahren oder im Freistellungsverfahren verlagern die Verantwortung für die Einhaltung der baurechtlichen Vorschriften ganz oder teilweise auf den Bauherrn.

## Bebauungsplan/örtliche Bauvorschriften

Ist ein qualifizierter Bebauungsplan vorhanden, muss das Vorhaben diesem entsprechen. So sollte sich derjenige, der die PV-Anlage als ein Gewerbe anmeldet (in der Regel ist dies bei Anlagen geringerer Größe unter 10 kW nicht erforderlich), darüber im Klaren sein, dass in reinen Wohngebieten Gewerbe nicht zulässig sind. Darüber hinaus können örtliche Bauvorschriften, z. B. in Form eigener Gestaltungssatzungen, die Gestaltung von Dachflächen mit PV-Anlagen begrenzen.

## Abstandsflächen

Vor Außenwänden von Gebäuden sind Abstandsflächen freizuhalten. Die Tiefe der Abstandsflächen wird abhängig von der planungsrechtlichen Einstufung des Baugebiets auf Basis der Wandhöhe des Gebäudes ermittelt. PV-Anlagen auf Dächern können formal das Gebäude erhöhen und somit die erforderliche Tiefe der Abstandsfläche beeinflussen. Dies kann im Einzelfall eine bauaufsichtlich erforderliche und genehmigungspflichtige Abweichung nach sich ziehen.

## Denkmalschutzbestimmungen

Soll die PV-Anlage an oder in der Nähe eines Baudenkmals entstehen, ist eine gesonderte denkmalschutzrechtliche Genehmigung erforderlich. Anforderungen des Denkmalschutzes können die Abstimmung auf das typische Dachbild und Anpassungen an die Dachfarbe erforderlich machen.

## Photovoltaik-Anlagen im Außenbereich

Photovoltaik-Freiflächenanlagen (Freilandanlagen) im Außenbereich sind, anders als z. B. Biogasanlagen, keine privilegierten Vorhaben nach § 35 Abs. 1 des Baugesetzbuches (BauGB). Sie können als sogenannte „sonstige Vorhaben“ nach § 35 Abs. 2 BauGB definiert werden. Dies zieht jedoch strenge Genehmigungsvoraussetzungen nach sich, die die öffentlichen Belange wie den Naturschutz, den Erholungswert der Landschaft, die Landschaftspflege, die Einhaltung eines Flächennutzungsplans usw. besonders berücksichtigen.

Nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) sind die Netzbetreiber bei Freiflächenanlagen zur Vergütung nur verpflichtet, wenn sich die Anlagen im Geltungsbereich eines Bebauungsplanes im Sinne des § 30 BauGB oder auf einer Fläche befinden, für die ein Verfahren nach § 38 Satz 1 BauGB (Planfeststellungsverfahren) durchgeführt worden ist.

Werden PV-Anlagen im Außenbereich auf bestehenden Gebäuden (z. B. Scheune, Hofgebäude) errichtet, wird dies Anlagen im Innenbereich gleichgestellt.

# Die Montage der Photovoltaikanlage

## Allgemeine Hinweise zur Montage

### Qualität durch Fachleute

Bevor eine PV-Anlage projektiert wird, sollte das Dach von einem Dachdecker geprüft werden hinsichtlich

- Eignung
- eventuell notwendiger Dachsanierung in den nächsten 25 Jahren sowie
- besonderer Belastungen in Schneedruckgebieten.

Vorteilhaft ist es, wenn bei der Installation einer PV-Anlage Elektriker und Dachdecker zusammenarbeiten. Auf dem Dach sollte noch genügend Platz zum Begehen verbleiben, ohne auf die Solarmodule treten zu müssen. Auflagepunkte auf und neben den Solarmodulen sollten abgepolstert werden. Dachziegel unter den Dachhaken sollten durch geeignete Blechpfannen ersetzt werden, da sie bei Beschädigungen später schlecht ausgetauscht werden können.

Einige Solar-Hersteller schulen Großhändler und Installationsfirmen, zertifizieren sie und geben in der Folge bessere Garantiebedingungen auf ihre Produkte.

### Korrosionsschutz

Bei Aufdach-Modulen sind die Anschlüsse und mechanischen Befestigungen der Witterung und dem UV-Licht ungeschützt ausgesetzt – und das für einen Zeitraum von 25 Jahren und mehr. Deshalb sollte auf die Qualität der Befestigungsmaterialien großer Wert gelegt und nur hochwertige Metalle eingesetzt werden. Verwenden Sie nur Metallkombinationen, bei denen keine elektrochemische Reaktion zu erwarten ist, die wiederum die Korrosion begünstigen würde.

Auf längere Sicht von Korrosion bedroht sind vor allem

- Anschlüsse an vorhandenen metallenen Bauteilen wie Abdichtungen und Dachrinnen
- nachträglich bearbeitetes feuerverzinktes Metall, das dann nur noch kaltverzinkt wurde
- Bereiche, in denen sich z. B. Laub und Schmutz festsetzen oder stehendes Wasser ansammeln kann.

## Montage auf schrägen Dächern (Steildächern)

Das Montagesystem für die Aufnahme der Module besteht aus den folgenden Komponenten:

- Dachbefestigung
- Schienentragsystem
- Modulbefestigung

Die Dachbefestigung dient dazu, das Schienensystem durch die vorhandene Dachdeckung hindurch an der Dachkonstruktion zu befestigen oder direkt an der Dachdeckung zu montieren. Auf dem Schienensystem werden die Module dann mit systemspezifischen Befestigungen fixiert.

### Dachbefestigungen

Entsprechende **Dachhaken** für Dachziegel, Schiefer, Betondachsteine werden zwischen den Dachsteinen durchgeführt und auf den Sparren mit mindestens 80 mm langen Schrauben verschraubt.

**Dachhaken dürfen nicht** – auch nicht bei hoher Schneebelastung:

- auf den Dachsteinen aufliegen,
- gegen diese drücken oder
- sich bei Belastung verbiegen.

Sie sollten mindestens 5 mm Abstand zur Ziegelfläche haben, andernfalls müssen sie auf dem Sparren unterfüttert werden.

Da die Dachsteine für die Haken ausgefräst werden, kann die Stabilität und Regensicherheit des Daches darunter leiden. Häufig werden deshalb spezielle Befestigungsziegel aus Kunststoff oder Aluminium eingesetzt. Entscheidend für die Stabilität der Montage sind

- ausreichende Anzahl
- Qualität und
- Belastungsfähigkeit

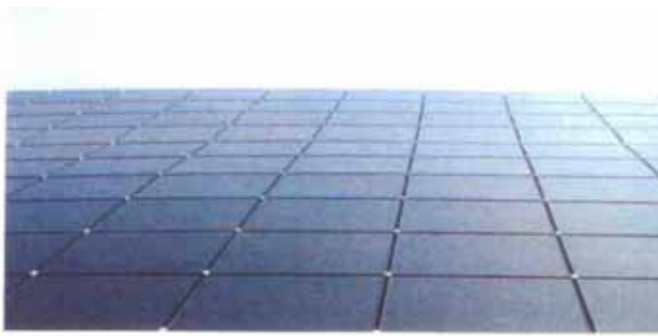
der Dachhaken. Mittlerweile werden Schwerlastdachhaken für besonders belastete Schneegebiete angeboten. Die neue Schneelast-DIN (1055-5), gültig seit Juli 2005, gibt dazu genaue Mindestwerte vor.



Schwerlastdachhaken, Schieter



Verstellbarer Dachhaken, MHH



Bei **Metalldächern**, die ausreichend stabil sind, um auch Windsogkräfte aufzunehmen, können die Montagegestelle direkt auf die Metallprofile geschraubt werden. Es gibt spezielle Falzklappen für Stehfalz- und Rundfalzprofile sowie für Trapezdächer besondere Schellen mit selbstbohrenden Schrauben. Alle diese Schrauben, aber auch die speziell für Welleternit- oder Trapezblechdächer entwickelten Edelstahlschrauben durchbohren die Dachhaut, die danach wieder fachgerecht abgedichtet werden muss.

**Hinweis:** Die Installation von Photovoltaikanlagen auf Asbestzementdächern (Welleternitdächern) ist verboten. Allerdings kann das Gewerbeaufsichtsamt nach Besichtigung eine Ausnahmegenehmigung erteilen, wenn das asbesthaltige Dach länger als die zu erwartende Nutzungsdauer der PV-Anlage hält.



### Schienentragsystem

Auf die Dachbefestigungen (Dachhaken, Befestigungsziegel, Schellen) werden Schienen – überwiegend aus Aluminium – montiert. Unebenheiten eines Daches sollten ausgeglichen sein, um eine möglichst ebene Modulfläche zu erhalten – z. B. mit Unterfütterung, Distanzstücken oder verstellbaren Dachhaken.

Je nach System werden die Schienen direkt auf die Haken montiert. Mehr Sicherheit und eine gleichmäßigere Lastenverteilung erreicht man mit einem Kreuzschienensystem (siehe Abbildung oben). Hier erfolgt die Montage mit einer zweiten Lage Schienen, z. B. wenn die Module in Trägerprofile nur eingelegt werden.

### Modulbefestigungen

Bei einer **punktförmigen** Befestigung der Module werden die möglichst an die Modulrahmenhöhe angepassten Mittel- bzw. Endklappen in die Nuten der Schienenprofile geschraubt.

Eine Befestigung mit **linienförmigen** Klemmleisten hat dagegen den Vorteil, dass die Module nicht mehr einzeln ausgerichtet und befestigt werden müssen, was die Montage vereinfacht. Allerdings ist hier die Unterkonstruktion aufwendiger, da ein Kreuzschienensystem erforderlich wird.

Will man eine Verspannung der Module weitgehend vermeiden, ist dies am besten mit Einlegesystemen zu erreichen. Die Module lassen sich hierbei einfacher montieren, dafür besteht die Gefahr von Schmutzablagerungen und Frost, wenn Wasser nicht durch geeignete konstruktive Maßnahmen ablaufen kann.

Vom Befestigungssystem abhängig ist der Dachabstand der Module zur Dachhaut: Bei Kreuzschienen sind es bis zu 17 mm, bei einfachen Schienen 6 cm bis meist 10 cm. Dies ist entscheidend für die Lüftung (Kaminsog) und wirkt sich auf die Windsogsicherung aus.

Das Befestigungssystem muss für den jeweiligen Einzelfall nach DIN 1055-5 ermittelt werden, um den Anforderungen durch Wind und Schnee gerecht zu werden.



## Indach-Systeme

Bei Indach-Systemen müssen die Module neben der Stromerzeugung auch den Wetterschutz mit erbringen. Dies bedeutet gerade bei flachen Dachneigungen eine erhöhte Anforderung an den Regenschutz. Oft ist eine zusätzliche Dachlattung erforderlich.

Solardachelemente, auch **Solarziegel** genannt, haben wegen ihrer Kleinteiligkeit einen hohen Verkabelungsaufwand. Auch sind reine Solarmodule im Gegensatz zu normalen Dachsteinen wesentlich leichter und müssen zur Sturmsicherheit zusätzlich mechanisch befestigt werden. Ist das Solarmodul in das Dachdeckungselement integriert, kann man eher von der Regensicherheit ausgehen. Solardachelemente eignen sich vor allem für denkmalgeschützte Gebäude oder kleinteilige Flächen.

Die Anforderungen Abdichtung, Entwässerung, Belüftung (wegen möglicher Kondenswasserbildung und zur Kühlung der Module) eines Indach-Systems erfordern eine gute Zusammenarbeit aller beteiligten Gewerke. Letztlich erreichen Indach-Systeme aber wegen des Temperaturstaus niemals die Ertragswerte einer Aufdach-Anlage (nur max. 90 %).

## Flachdach

Es gibt Aufdach-Modelle, aber auch Indach-Systeme sowie Sonderformen für Hallendächer. Neben der Statik gilt der Funktionsfähigkeit des Daches während der langen Lebensdauer der PV-Anlage und den Arbeiten auf der „empfindlichen“ Dachhaut besondere Aufmerksamkeit.

Üblicherweise werden die Module auf eine Metallkonstruktion in der besten Ausrichtung und im günstigsten Neigungswinkel auf das Dach montiert. Die große Angriffsfläche der Generatoren muss den enormen Windkräften standhalten. Ist das Dach zusätzlich belastbar, kann zur Befestigung das **Schwerlastverfahren** gewählt werden. Dabei werden Fundamentplatten oder -streifen aus Beton ohne Befestigung auf das Dach gestellt und darauf die Flachdachgestelle mit Schraubankern montiert. Eine separate Aufständering entfällt, wenn spezielle Betonsockel, z. B. in der Form von L-Steinen, verwendet werden, auf denen die Module direkt befestigt werden.

Eine Kiesschüttung dient oft als Lagesicherung, besonders auch bei den befüllbaren Wannenträgersystemen aus Kunststoff oder Faserzementplatten.

Ist aus statischen Gründen das Schwerlastverfahren nicht möglich, muss der Generator fest mit der **Dachkonstruktion verankert, also verschraubt, werden**. Da dabei die Dachabdichtung durchstoßen wird, ist die sorgfältige Abdichtung der Verankerungspunkte nötig. (Siehe auch die „Flachdachrichtlinie des Dachdeckerhandwerks“, DIN 18195.)

Bei Blechdächern mit geringer Dachneigung, also ähnlich einem Flachdach, werden die entsprechend der gewünschten Neigung aufgeständerten Profile mit Falzdachklammern oder Schellen auf die Falze oder Hochsicken der Dachdeckung geschraubt.

Die **Aufständering** auf Dächern erfordert eine genaue Betrachtung der Statik und der Windkräfte. An den Dachrändern ist die Windbelastung höher, weshalb Randabstände zu den Dachkanten von mindestens 1,2 m an der Gebäudelängsseite bzw. 1,5 m an der Gebäudeschmalseite berücksichtigt werden sollten. Kann der Wind aber ungehindert um die Modulreihen strömen, wird die Belastung geringer.

Die Höhe der Aufständering ist abhängig davon,

- ob die Module querliegend, hochkant oder in mehreren Reihen angeordnet werden
- ob die PV-Anlage von der Straße aus gesehen werden darf
- ob Windlastzonen eine Aufständering erlauben
- ob Abstandsflächen zu beachten sind.

Wichtig für die Ertragskraft ist auch, dass die Reihenabstände der aufgeständerten Module groß genug sind, damit sie sich nicht gegenseitig verschatten. Auch abrutschender Schnee soll zwischen Modulunterkante und Dachhaut Platz haben und nicht wieder verschatten.

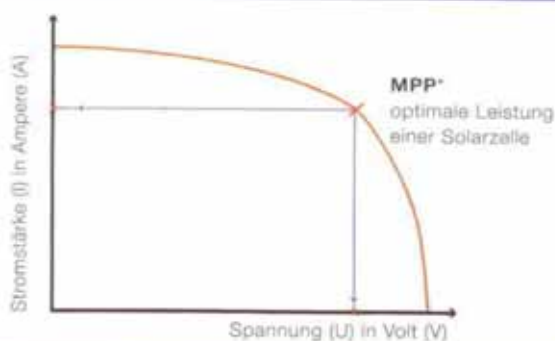
# Die Elektrik der Photovoltaikanlage

## Wechselrichter (Inverter)

### Moderne Solarwechselrichter erfüllen folgende Funktionen:

- Umwandlung der im PV-Generator entstandenen Gleichspannung (Direct Current, DC) in Wechselspannung (Alternating Current, AC) (230 V, 50 Hz)
- Übergabe des AC-Stroms über den Einspeisezähler in das öffentliche Stromnetz
- Steuerung (selbsttätiges Ein- und Ausschalten) und Ermittlung des optimalen Arbeitspunktes mit MPP-Tracking
- Überwachung (bei Störungen oder Fehlern, wie z. B. Ausfall des öffentlichen Stromnetzes, schaltet der Wechselrichter sekundenschnell ab = ENS-Schaltung)
- Betriebsdatenerfassung und Signalisierung (z. B. Anzeige, Datenspeicherung, Datenübertragung)
- DC- und AC-Schutzeinrichtung (z. B. Verpolungsschutz, Überspannungs- und Überlastschutz, Überwachungs- und Schutzeinrichtungen zur Einhaltung der VDEW-Richtlinien für Eigenerzeugungsanlagen).

### Strom-Spannungs-Diagramm einer Solarzelle



\* **MPP (Maximum Power Point):** Der Punkt des Strom-Spannungs-Diagramms einer Solarzelle, an der die größte Energieausbeute erreicht werden kann.

**MPP-Tracking:** Ein Wechselrichter soll einen hohen Wirkungsgrad nicht nur im Vollastbereich, sondern auch im Teillastbereich, wie bei bedecktem Himmel oder im Winter, gewährleisten und die unterschiedlichen Leistungen mit minimalen Verlusten immer schnell und genau im MPP (Maximum Power Point) regeln. Das MPP-Tracking, also das Ermitteln und gegebenenfalls Nachstellen des MPP auf die optimale Strom-Spannungs-Kombination, sichert die maximale Leistung des PV-Generators.

**Mismatch-Verlust:** Solarzellen haben Wirkungsgradunterschiede, darum haben auch die Module eine Leistungstoleranz von +/- 3 bis 5 oder mehr Prozent. Kommen in einem Strang Module mit sehr unterschiedlichen Wirkungsgraden (evtl. auch, weil von unterschiedlichen Herstellern) zusammen (Mismatch), können sich Verluste ergeben, da der niedrigste Wirkungsgrad den Ertrag bestimmt. Die Module sollten deshalb nach dem MPP-Strom (Betriebsstrom) sortiert werden.

## Qualität

Wechselrichter haben inzwischen einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 93 bis 98 %. Damit ein hoher Wirkungsgrad erreicht wird, muss der Wechselrichter

- optimal ausgelegt und
- korrekt dimensioniert werden (Eingangsspannung),
- einen geeigneten Standort (kühl, trocken, staubfrei und vor Dämpfen geschützt) und
- die richtige Schutzart haben
  - bei Montage im Innenbereich: **IP 21**
  - bei Außeninstallation: ab **IP 54, IP 65**

Die Lebensdauer eines Wechselrichters beträgt etwa 5 bis 8 Jahre. Mit 10 Betriebsjahren ist meist ein Austausch bzw. eine aufwendige Reparatur erforderlich. Hersteller bieten Garantieverlängerungen bis zu 20 Jahren an. Ein Servicevertrag für den Wechselrichter minimiert Ertragsverluste durch Ausfall und Reparatur des Geräts.

**Dimensionierung und Auswahl des – auf den PV-Generator unter Beachtung des Temperaturkoeffizienten abgestimmten – Wechselrichters nur durch eine Fachkraft. Meist wird dazu eines der Berechnungsprogramme der Hersteller genutzt.**

## Tipps zum Wechselrichter

- Die Nennleistung des Wechselrichters sollte ca. 10 Prozent geringer sein als die des Solargenerators.
- Modulstränge und -flächen auf mehrere Wechselrichter schalten, falls Verschattungen sind oder verschiedene Flächen (wegen Brandwand oder Ausrichtungen) belegt werden.
- Möglichst kühler Standort: Höhere Betriebstemperaturen verkürzen die Lebensdauer elektronischer Komponenten. Bei Überlastung erwärmt sich der Wechselrichter und regelt deshalb ab, um Bauteile zu schonen. Es wird dadurch weniger Strom eingespeist, Wechselrichter haben deshalb zusätzliche Lüfter, die die Abregelungsgrenze nach oben verschieben.
- Wird der Wechselrichter im Freien angebracht, muss die Frostgefahr bei Feuchtigkeit und die Möglichkeit von Betauung bedacht werden.



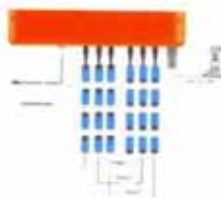
### Brandschutz

Wechselrichter sollten auf nichtbrennbarer Oberfläche montiert werden. Angaben des Herstellers über die Belüftung des Raumes, in dem Wechselrichter stehen, sowie die Einhaltung von Mindestabständen zu brennbaren Baustoffen oder Bauteilen sind hier zu beachten.

### Verkabelung und Einspeisung

Ein sorgfältiger Dachplan erleichtert die Konzeption und Installation der PV-Anlage und umfasst

- den elektrischen Schaltplan mit Strangverschaltungen,
- die Position des Wechselrichters und Generatoranschlusskastens,
- Verkabelung zwischen den Modulen und dem Wechselrichter sowie die ungefähren Leitungslängen.



### Durchführung der Installationen

Ein Dachdecker darf z. B. die DC-Installation vornehmen, wenn er von einem Elektriker eingewiesen wurde. Dagegen darf nur ein Elektroinstallateur auf der AC-Seite installieren. Der örtliche Energienetzbetreiber hat dazu ein Installateurverzeichnis vorliegen.

### Hinweise zur Leitungsverlegung

Die in einer Photovoltaikanlage verwendeten Gleichstromleitungen müssen

- über einen ausreichenden Querschnitt verfügen,
- wetterfest und UV-beständig ummantelt sein sowie
- ausreichende mechanische Festigkeit besitzen und
- erd- und kurzschlussicher verlegt werden, was z. B. durch einadrige Kabel mit doppelter Isolierung gewährleistet wird.

Auch Befestigungsmaterial (z. B. Kabelbinder) im Außenbereich sollte witterungsbeständig sein.

- Leitungen und Kabel so verlegen, dass sie nicht an Kanten scheuern (Kantenschutz).
- Leitungen und Kabel, die durch feuerbeständige Wände oder Brandwände führen, müssen vorschriftsmäßig geschlossen werden.
- In landwirtschaftlichen Betrieben müssen die Kabel vor Tierverschleiß (Nagetiere), z. B. durch Ummantelung mit einem Metallgeflecht, geschützt sein.

### DC-Freischalter nach DIN VDE 0100-7-712

Dieser ermöglicht im Fehlerfall sowie bei Wartungs- oder Reparaturarbeiten die Trennung der Gleichspannungsseite. Damit kann bei weiteren Arbeiten das Entstehen eines Lichtbogens verhindert werden, der Brand- und Personenschäden verursachen könnte.

Generatoranschlusskästen sind mit der Funktion einer DC-Freisaltung auszustatten.

Die meisten Hersteller bieten mittlerweile in Wechselrichter integrierte DC-Freischalter an, die DC-Leitungen spannungsfrei schalten können.

Eine Trennung der Stecker unter Last kann das Abbrennen der Steckkontakte und lebensgefährliche Verletzungen durch Stromschlag zur Folge haben.

### Schutzeinrichtungen auf der Wechselstromseite

- Leitungsschutzschalter, die als sogenannte Überstromschutzeinrichtungen bei Kurzschluss oder Überlastung die PV-Anlage selbständig vom Netz trennen.
- Fehlerstromschutzschalter (RCD), die bei Isolationsfehler oder Erd- bzw. Körperschluss auslösen.

Von den Netzbetreibern wird auf der Wechselstromseite (AC-Seite) in der Regel eine selbsttätige Freischnittstelle gefordert, um die Personensicherheit auf der Netzseite zu gewährleisten. Diese automatische Netzüberwachungseinrichtung ist eigensicher ausgelegt und trennt die PV-Anlage bei Störungen, wie z. B. Spannungsabweichungen oder Frequenzänderungen, vom Stromnetz.

### Übergabe an das öffentliche Stromnetz (Energieversorgungsunternehmen, EVU)

Empfehlenswert ist, bereits bei der Planung der PV-Anlage mit dem zuständigen EVU Kontakt aufzunehmen. Dieses stellt den

- Einspeisezähler (von der Physikalisch-Technischen-Bundesanstalt zugelassen) zur Verfügung und sorgt für die
- Eichung (mindestens einmal im Jahr während der 20-jährigen Laufzeit).

### Stromeinspeisevertrag

Tipp: Nach dem EEG ist ein Netzbetreiber auch ohne schriftlichen Vertrag verpflichtet, den Strom des Anlagenbetreibers zu festgelegten Preisen abzunehmen.





Bauliche Anlagen müssen nach den Länderbauordnungen mit einer Blitzschutzanlage ausgestattet werden, wenn ein Blitzschlag entweder aufgrund der Lage, Bauart oder Nutzung leicht eintreten kann oder zu schweren Folgen führen würde. In manchen Sonderbauverordnungen (z. B. Verkaufsstättenverordnung) wird die Installation einer Blitzschutzanlage ohne weitere Risikoabschätzung unmittelbar vorgeschrieben.

Nach allgemeinen wissenschaftlichen Erkenntnissen erhöht die Errichtung einer PV-Anlage nicht die Wahrscheinlichkeit eines Blitzeinschlages in das Gebäude, soweit sich nicht die Gebäudehöhe durch Aufbauten erhöht. Denn je höher ein Gebäude, desto wahrscheinlicher ist ein Blitzeinschlag.

**Der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) fordert in der VdS-Richtlinie 2010 für Gebäude mit einer PV-Anlage > 10 kW äußeren Blitzschutz der Schutzklasse III sowie inneren Blitzschutz.**

Für die Elektronik-Versicherung bei der Versicherungskammer Bayern ist bei PV-Anlagen ab 30 kW ein Überspannungsschutz erforderlich, bei exponierter, blitzgefährdeter Lage auch eine Blitzschutzanlage.

## Normen und Vorschriften zu Blitzschutzanlagen

- Neue Blitzschutznorm DIN V VDE V 0185 Teil 1-4
- DIN VDE 0100 Teil 712 (Photovoltaik-Versorgungssysteme)
- DIN VDE 0100 Teil 540
- VdS-Richtlinie 2010

**Ist keine Blitzschutzanlage vorgeschrieben und auch nicht nötig, muss besonderer Wert gelegt werden auf den Überspannungsschutz und den Potenzialausgleich.**

## Gebäude mit vorhandener Blitzschutzanlage

Besonders öffentliche Gebäude mit ihrem hohen Schutzbedarf (Schulen, Versammlungsstätten etc.) haben bereits eine Blitzschutzanlage und werden gerne für die Installation von PV-Anlagen zur Verfügung gestellt.

Wird also eine PV-Anlage auf dem Gebäude installiert und ist bereits eine Blitzschutzanlage vorhanden, muss diese in ordnungsgemäßem Zustand und dieser geprüft sein. Werden bei dieser Prüfung Mängel festgestellt, so besteht für den Anlagenerrichter die Pflicht, den Gebäudeeigentümer auf diese Mängel schriftlich hinzuweisen.

Nach der Blitzschutznorm DIN V VDE V 0185 Teil 1-4 empfiehlt sich folgendes Vorgehen:

- Blitzschutzklasse bestimmen: Die Wirksamkeit einer Blitzschutzanlage nimmt von Schutzklasse I auf Schutzklasse IV ab.
- Prüfen, ob die PV-Module im Schutzbereich der äußeren Blitzschutzanlage liegen.
- Prüfen, ob der Trennungsabstand\* zwischen PV-Modulen und Blitzschutzanlage ausreichend ist.

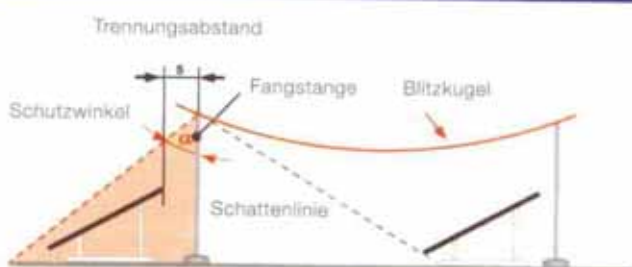
Anhand der festgestellten Klasse kann der nötige Schutzbereich mit einer der folgenden Methoden ermittelt werden:

- Die **Schutzwinkelmethode** überwiegt bei Flachdächern; es werden höhere Fangstangen nötig sein.
- Die **Maschenschutzmethode** wird meist bei Satteldächern angewandt; dabei werden Fangstangen und -leitungen maschenförmig über das Objekt „gelegt“.
- Die **Blitzkugelmethode**: Eine gedachte Kugel wird über das (komplexere) Dach „gerollt“ und überall, wo die Kugel das Dach berührt, muss später eine Fang-einrichtung installiert werden. Der Radius der Kugel ist abhängig von der Schutzklasse (je kleiner der Radius, desto höher die Schutzklasse und desto mehr Fangstangen).

\* **Trennungsabstand**: Die PV-Anlage sollte nicht nur im Schutzbereich der Fangstange(n) montiert werden, sondern muss so weit von der Spitze/Fangstange entfernt sein, dass kein Überschlag stattfinden kann. Diesen Abstand nennt der Blitzschutzfachmann Trennungsabstand. Er wird bei komplexen Gebäuden oder größeren PV-Anlagen nach DIN V VDE V 0185-3 berechnet.



## Planung der Fangeinrichtung



Quelle: Fa. Dehn

### Wichtig:

Die PV-Anlage muss in das bestehende, funktionierende Blitzschutzsystem mit eingebunden werden, sich also vollständig im Schutzbereich der Fangeinrichtungen mit einem Sicherheitsabstand (Trennungsabstand) von mindestens 0,5 bis 1 m (Richtwert) befinden.

Es wird empfohlen, bereits bei der Planung die Position und Größe einer PV-Anlage so auszulegen, dass ein direkter Anschluss an eine bestehende Blitzschutzanlage vermieden werden kann.

Kann der Trennungsabstand nicht eingehalten werden oder liegt die Solaranlage nicht im Schutzbereich der Fangeinrichtungen, müssen direkte, elektrisch leitende Verbindungen zwischen äußerem Blitzschutz und PV-Modul-Gestell hergestellt werden. Diese müssen dort sein, wo der geringste Abstand zwischen Modulfeld und Ableitern ist, damit Blitzströme nicht das ganze Modulfeld durchdringen. Auch muss in diesem Fall der Überspannungsschutz besonders sorgfältig bemessen werden.

Bei einem direkten Blitzschlag in den PV-Generator können hohe Teilblitzströme in das Innere des Gebäudes fließen und Schäden in der gesamten Elektroinstallation, also auch in der PV-Anlage, verursachen.

### Überspannungseinrichtung

Am DC-Eingang (Gleichstromeingang) von modernen Wechselrichtern sind Überspannungsableiter (Varistoren) üblicherweise vorhanden, die auch ausreichen, wenn sich die Auslegung der Varistoren an der Blitzschutznorm orientiert. Zusätzliche Überspannungsableiter sind erforderlich, wenn

- die Varistoren nicht entsprechend der Blitzschutznorm ausgelegt sind,
- die Strangleitungen zum Wechselrichter sehr lang sind (länger als 10 m),
- der Trennungsabstand zur äußeren Blitzschutzanlage nicht eingehalten werden kann und
- die PV-Anlage außerhalb des Schutzbereichs liegt.

Die Betriebsspannung der Überspannungsschutzgeräte ist so zu wählen, dass sie etwas größer ist als die an einem kalten Wintertag bei maximaler Einstrahlung zu erwartende Leerlaufspannung des Solargenerators.



## Innerer Blitzschutz (Überspannungsschutz)

### ohne äußere Blitzschutzanlage

Am Eingang des Wechselrichters sind Überspannungsableiter vorzusehen, die auf die maximale Leerlaufspannung der verschalteten Module abgestimmt sind. Überspannungsmaßnahmen wirken immer nur lokal und sind auf das direkt angeschlossene Gerät begrenzt. Bei Leitungslängen über 10 m (zwischen Modulen und Wechselrichter) sind daher direkt an den Modulen bzw. im Generatoranschlusskasten Überspannungsableiter zu installieren. Die Wechselspannungsseite des Wechselrichters (230 V) ist mit Überspannungsschutzgeräten zu schützen.

### bei vorhandener äußerer Blitzschutzanlage

Überspannungsschutzgeräte sind notwendig an folgenden Stellen:

- Ausgang der verschalteten Module (Generatoranschlusskasten),
- DC-Eingang und 230-V-Ausgang des Wechselrichters. Zusätzlich sollte die NSHV-Einspeisung durch einen mehrpoligen Ableiter beschaltet werden, um den Blitzschutz-Potenzialausgleich realisieren zu können,
- Für die Gleichspannungsleitungen sind geschirmte Leitungen mit einem stromtragfähigen Schirm ( $> 16 \text{ mm}^2$ ) zu verwenden, wenn diese nicht im Schutzbereich der Fangeinrichtungen liegen. Der Schirm ist beidseitig aufzulegen und mit der Erde zu verbinden.

## Potenzialausgleich

### Keine Blitzschutzanlage vorhanden

Die Module müssen geerdet und in den Potenzialausgleich einbezogen werden. Das ist nicht nötig bei

- Modulen mit der Schutzklasse II
- Wechselrichtern mit galvanischer Trennung (Trafogeräte) und Schutzkleinspannungskonzept.

Es wird aber ein genereller Potenzialausgleich, vor allem bei traflosen Wechselrichtern, empfohlen. Dabei sollen nicht nur das Montagegestell, sondern auch die Modulrahmen einbezogen, also geerdet werden. Dies unabhängig davon, ob traflose Wechselrichter oder Trafowechselrichter installiert sind.

Wird der PE-Leiter außerhalb des Gebäudes verlegt, müssen auch die DC-Leiter außerhalb liegen.

### Blitzschutzanlage vorhanden

Das PV-Gestell muss am Potenzialausgleich des Gebäudes angeschlossen werden, wenn sich die PV-Anlage im Schutzbereich befindet und die Trennungsabstände eingehalten werden.

Ist das nicht gegeben und die PV-Anlage mit der äußeren Blitzschutzanlage verbunden, darf keine zusätzliche Potenzialausgleichsleitung an dieses Gestell unmittelbar angeschlossen werden: Blitzströme könnten dann von der äußeren Blitzschutzanlage über die Potenzialausgleichsschiene in das Gebäudeinnere geleitet werden.

## Wartung von Blitzschutzanlagen

Blitzschutzsysteme der Schutzklasse II müssen alle 2 Jahre eine Sichtprüfung und alle 4 Jahre eine vollständige Prüfung erhalten.

# Standsticherheit und Statik



In fast allen Bauordnungen der Länder sind in den vereinfachten Verfahren oder im sogenannten Freistellungsverfahren Standsticherheitsnachweise gefordert, durch die nachgewiesen wird, dass die Anlage im Ganzen, in einzelnen Teilen und für sich allein standsticher ist. Obwohl ein derartiger förmlicher Nachweis bei genehmigungsfreien Vorhaben nicht erforderlich ist, sollte der Bauherr aus haftungsrechtlichen Gründen darauf achten, dass die Standsticherheit in geeigneter Weise dokumentiert ist.

Da eine vorhandene Dachkonstruktion bereits zur Aufnahme von Schneelast, Winddruck und Dachdeckungseigengewicht ausgelegt sein muss, kann bei normalem Zustand und üblichen Gebäuden, vor allem mit einer Zimmermannskonstruktion, von einer ausreichenden Lastannahme ausgegangen werden. Statikberechnungen arbeiten überwiegend mit einer ca. 2fachen Sicherheit.

Die meisten Hersteller haben für ihre Photovoltaik-Montagesysteme Systemstatiken berechnen lassen.

**Vorsicht** ist geboten bei

- statisch ausgereizten Konstruktionen, wie Hallen mit großen Spannweiten, oder
- besonders filigranen Gebäuden.

Hier empfiehlt sich die vorherige Begutachtung durch einen Statiker. Eine statische Berechnung bzw. Überprüfung sollte auf jeden Fall bei einem Flachdach vorgenommen werden.



## Wind, Sturm und Schneelasten

Die Berechnungen zu den Lastannahmen sind anhand der **DIN 1055** durchzuführen. Die überarbeitete DIN 1055 enthält Karten mit 4 Windzonen und 5 Schneelastzonen\* mit den erforderlichen Tabellen zu den Gebäudehöhen, Geländehöhen und Dachneigungsgraden.

Auf ein Dach und somit auch auf die Photovoltaikanlage wirken Windkräfte (Sog- und Druckkräfte), Eigengewicht und Schneelasten, die wiederum besonders von der **Höhenlage** (Lage über dem Meeresspiegel = NN) des Gebäudes abhängen. Bei Gebäuden ab 25 m Höhe sowie Gebäuden an exponierten Lagen müssen die Lastannahmen nach der aktualisierten Norm DIN 1055 (Teil 4 Windlasten, Teil 5 Schnee- und Eislasten) berechnet werden.



*Ungenügende Dachbefestigung*

Grundsätzlich ist die Windbelastung an den Dachrändern und -ecken am höchsten. Besonders starke Sogkräfte wirken darüber hinaus auf eine an der Lee-Seite, also an der dem Wind abgewandten Seite des Daches montierten PV-Anlage.

Die Anzahl der Dachbefestigungen pro m<sup>2</sup> (Dachhaken, die an die Sparren geschraubt werden und die Schienenprofile tragen) muss deshalb in den stark gefährdeten Dachbereichen erhöht werden.

\* DIN 1055, Ausgabe 2005: Zonen 1, 1a, 2, 2a, 3



### Einige Tipps zur Planung:

- Abstand zwischen den Modulflächen und der Dacheindeckung nicht zu groß, aber ausreichend zur Kühlung (Richtwert ca. 5 cm)
- Dachhaken an den Rändern auf jeden Sparren montieren, sonst genügt auf jedem zweiten Sparren ein Dachhaken – aber:
- Bei hoher Schneelast auf jeden Sparren ein Dachhaken
- In schneereichen Gebieten die Module waagrecht anordnen (weniger Leistungsausfall durch Schneeverdrängung) – aber:
- Hohe Schneelasten im letzten Winter haben die Montage von zusätzlichen Haken an den Längskanten der Module zur Stabilisierung der Rahmen erfordert
- Module mit kleinem Abstand montieren wegen Ausdehnung des Daches und möglicher Spannungen
- Möglichst gleiche Neigung von Modulen und Dach
- Wegen des Windsogs den Abstand zu den Dachrändern einhalten (empfohlener Randabstand: ein bis zwei Dachziegel)
- Trennung der Montageschienen nach ca. 15–20 m wegen der unterschiedlichen Längenausdehnung bei Temperaturänderungen
- Module mit Rahmen sind stabiler (auch bei der Montage) und schwingen bei Sturm weniger stark als rahmenlose (nur laminierte) Module

Qualifizierte PV-Anlagenhersteller bieten spezielle Befestigungssysteme für entsprechende Höhen- und Schneelastzonen. Statik- und Lastenberechnungen nach der neuen DIN 1055 sind hier die Grundlage.

In den Montageanleitungen sind dabei die Mindestanzahl der Dachbefestigungen pro Quadratmeter sowie die maximalen Abstände der Trägerschienen und Längen der Profile angegeben. Beachtenswert ist, dass oft Durchschnittswerte genannt sind und für die mehr beanspruchten Rand- und Eckbereiche Sicherheitszuschläge berücksichtigt werden sollten.

### Zu bedenken:

**Schneegewicht:** Eine Schneedecke von 10 cm Höhe kann je nach Schneenässe 15 bis 20 kg/m<sup>2</sup> wiegen.

**Modulgewicht:** durchschnittlich 12 bis 19 kg/m<sup>2</sup> zuzüglich ca. 4 bis 6 kg/m<sup>2</sup> für das Befestigungsmaterial.

Das bedeutet, dass z. B. 20 cm nasser Schnee fast doppelt so schwer sein kann wie ein durchschnittliches PV-Modul inkl. Befestigung.



# Diebstahlschutz

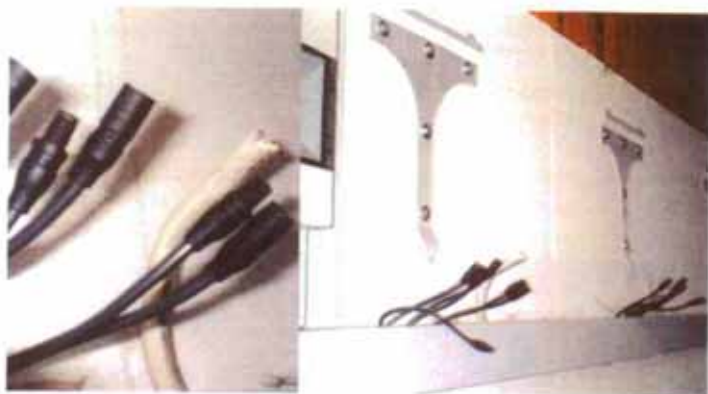
## Information für alle?

Viele Anlagenbetreiber stellen ihre umweltfreundliche Stromerzeugung auf repräsentativen Tafeln oder im Internet dar. Für Interessenten und Nutzer von Solaranlagen sind die vielen Informationsseiten der PV-Betreiber mit Darstellung von Anlagentypen und Größen, Standorten und Erträgen usw. gern besuchte Internetseiten. In der letzten Zeit ist ein Missbrauch dieser Informationen zu beobachten: Betrüger- und Diebesbanden nutzen diese Berichte zu gezielten Raubzügen.

Die detaillierten Angaben ermöglichen genaue Planungen von An- und Abwesenheit der Betreiber, Umfang der Anlage mit entsprechender Berechnung von Transport-, „Demontierkapazitäten“ und „Rentabilität“ des Diebstahlsauftrags.

## Was ich nicht weiß, macht mich nicht heiß ...

Eine mögliche Konsequenz und Diebstahlvorsorge wäre das Geheimhalten von vorhandenen PV-Anlagen.



## Schadenfälle

### Diebstahl von vier Wechselrichtern

Gesamtwert 12 800 Euro; es entstand kein Betriebsunterbrechungsschaden, da schnell Leih-Wechselrichter montiert werden konnten.

Schadenort: In der Durchfahrt am Stall waren die vier Wechselrichter festgeschraubt und verkabelt. Die Diebe zwickten die Kabel durch und öffneten die Schrauben.

Diebstahlvorsorge:

- Wechselrichter mit Metallbügel an die Wand sichern, möglichst mit hochwertigen absperrbaren Vorhängeschlössern;
- ein gesicherter, abschließbarer Raum ohne Fenster mit einbruchhemmender Tür und guten Schlössern.

### Auftragsraub: 30 Siemens-Module SM 110, 12 V

Die Solarmodule im Wert von über 30 000 Euro waren im Internet dargestellt und beschrieben. Zudem konnte man erkennen, dass die Freiflächenanlage leicht zugänglich war. Die Module waren mit Montageschaum in die Trägerrahmen fixiert. Ein leichtes Spiel für Profddiebe, diese zu entfernen.

Diebstahlvorsorge:

- Diebstahlhemmende Verschraubung der Module.
- Abgelegene Anlagengebiete einzäunen und je nach Investitionssumme
- mit einer Meldeanlage überwachen.

## Diebstahlsicherungen

Die momentane Knappheit von Solarzellen und damit Modulen hat den Eindruck erweckt, dass Diebstähle zunehmen. Versicherer fordern deshalb für PV-Anlagen und Wechselrichter qualitätsvolle Sicherungsmaßnahmen abgestimmt auf die entsprechende Gefährdung.



## Aufdach-Anlagen

Zur Sicherung von Aufdach-Anlagen gibt es folgende Möglichkeiten:

### • Seriennummern

Inzwischen ist bekannt, dass gestohlene PV-Module als Inselanlagen in Ost- und Südeuropa sowie in Afrika eingesetzt werden. Besonders große Module mit mehr als 100 Watt sind dafür weniger geeignet (*Photon 2/2006*). Außerdem wird beobachtet, dass gestohlene Module als Hehlerware auch in Deutschland wieder auftauchen. Namhafte Hersteller haben ihre Solarmodule deshalb mit **Seriennummern** versehen, die sich nicht mehr entfernen lassen, was bereits ein guter Diebstahlschutz ist.

*Die Zeitschrift „Photon“ hat auf ihrer Homepage einen Service eingerichtet, mit dem man die Seriennummern von gestohlenen Modulen mit den eigenen oder angebotenen Seriennummern vergleichen kann.*

Schützen Sie sich vor Hehlerware, indem Sie nur Module kaufen, die ihre Herkunft mit einer unzweifelhaften Seriennummer genau belegen können.

### • Mechanischer Schutz

Die relativ wartungsarmen PV-Anlagen können mit den verschiedensten mechanischen Sicherungen, wie Schrauben, Klemmen und Haltegestellen, versehen und damit schwerer lösbar werden. Beispiel sind Stahlkugeln, die in den Inbus der Sechskant-Schrauben eingeschlagen werden, oder Schrauben mit zweiteiligem Schraubkopf und Sollbruchstelle.

Reparaturen, die eine Demontage von Modulen erfordern, werden zwar erschwert (bei diebstahlgesicherten Systemen kann die Flex nötig sein), sind aber bei der Wartungsarmut der Module doch sehr selten.

Eine Beschilderung mit dem Hinweis, dass die Anlage besonders gesichert ist bzw. überwacht wird, kann einen Dieb vertreiben.

## Freiflächenanlagen

Meist sind dies abgelegene Flächen mit oft gut zugänglichen Modulen. Zusätzlich sind diese PV-Anlagen oft deutlich größer und wertvoller als Privatanlagen.

### • Einzäunung

Neben Diebstählen ist die Gefahr von Vandalismus der Grund, dass diese Anlagen eingezäunt werden müssen. Für die Versicherbarkeit wird ein Zaun von mindestens 2 m Höhe mit Übersteig- und Unterkriechschutz vorausgesetzt.

### • Alarmanlagen

Der Investitionsaufwand für PV-Anlagen rechtfertigt den moderaten Kostenumfang von Alarmanlagen. Für weniger aufwendige Anlagen kann bereits ein „Reißdrahtsystem“ mit Alarmierung des Eigentümers oder eines beauftragten Wachunternehmens genügen.

Da PV-Module ohnehin miteinander verschaltet sind (also auch auf den Dächern), werden elektronische „Anwesenheitskontrollen“ der einzelnen Module, z. B. im Rahmen einer „Objektüberwachungssoftware“, bereits angeboten. Auch Überwachungskameras bei Großanlagen sind durchaus im Rahmen der schon eingesetzten ständigen Leistungskontrolle. Es gilt zu beachten, dass intelligente Diebesbanden Kameraattrappen durchschauen und auch „Testübergriffe“ tätigen.

PV-Module werden nicht im Vorbeigehen, sondern mit einigem Aufwand gestohlen. Deshalb sind jegliche Diebstahlsicherungen, die einen Angriff erschweren und sichtbar und/oder hörbar machen, angeraten.



# Baulicher Brandschutz



## Trennung von Brandabschnitten durch Brandwände

„Über Brandwände dürfen keine brennbaren Stoffe hinweggeführt werden“ (Bayerische Bauordnung). Folglich darf auch eine PV-Anlage (mit brennbaren Kabeln, Leitungen und Modulbestandteilen) nicht über eine Brandwand hinweggeführt werden. Dadurch wird eine Brandfortleitung, der sog. „Züandschnureffekt“, verhindert.

## Schwierige Brandbekämpfung

Eine PV-Anlage auf dem Dach

- behindert den Abzug von Feuer und Rauch
- erschwert das Öffnen der Dachfläche für Rauchabzüge
- verschlechtert die Löschmaßnahmen bei einem Brand im Dachstuhl, da die Zugänglichkeit über das Dach erschwert ist (Rutschgefahr).

Zusätzlich besteht für die Feuerwehr immer eine gewisse Gefahr durch die permanent anliegende elektrische Spannung einer PV-Anlage, weswegen DC-Trennschalter zur Unterbrechung des Stromkreises empfohlen sind.

Eine PV-Anlage steht, sobald Licht einfällt (also auch bei Scheinwerfern und Flutlicht) unter Spannung. Ist ein DC-Freischalter vorhanden, sind immer noch die Gleichspannungsleitung (DC-Leitung) bis zu diesem Schalter sowie die Module unter Spannung. Für Feuerwehren wäre es deshalb hilfreich, wenn Gleichspannungsleitungen wenigstens besonders gekennzeichnet (markiert) wären, um die Gefahrenlage besser einschätzen zu können.

## Empfehlung:

- Auf Qualität achten: Beispielsweise kann eine defekte Kabelisolierung auf der Gleichstromseite (z. B. durch UV-Einwirkung bei Billigware) nach einigen Jahren zu einem Lichtbogen und nachfolgendem Brand führen.
- Aufgliederung von großen Modulflächen in kleinere Teilflächen ist praktizierter abwehrender Brandschutz: Im Brandfall kann die Feuerwehr an diesen Stellen das Dach öffnen und einen kombinierten Innen- und Außenangriff zum Löschen eines Feuers im Dach starten.

- Die Module so verschalten, dass beidseits der Brandwand jeweils ein oder mehrere eigenständige Generatoren angeordnet werden können. Eine intakte Brandwand begrenzt ein Feuer auf einen Brandabschnitt. Die vom Brand nicht betroffenen PV-Generatoren können ihre Funktionsfähigkeit behalten.

Nicht zuletzt bringt die Unterbrechung einer großen Modulfläche auch Vorteile für die Wartung sowie eventuell nötige Reinigungen und Reparaturen. Außerdem kann bei flachen oder flach geneigten Dächern in schneereichen Wintern das Dach sehr viel einfacher von den Schneelasten befreit werden.



## Bei Indach-Lösungen

Module, die in die Dachfläche eingebaut werden und somit als wasserführende Schicht ausgebildet sind, müssen den Anforderungen der Dachhaut (meist handelt es sich um eine „harte Bedachung“) entsprechen.

Der Nachweis über diese Brandschutzeigenschaften erfolgt über ein allgemein bauaufsichtliches Prüfzeugnis bzw. Zulassung (Verwendbarkeitsnachweis), der mit dem Produkt ausgehändigt wird. Dürfen für das Dach nur nichtbrennbare oder schwerentflammbare Baustoffe und Bauteile verwendet werden, müssen für die Module ebenfalls diese Brandschutzeigenschaften durch einen Verwendbarkeitsnachweis bestätigt werden.

## Versicherung von PV-Anlagen

PV-Anlagen werden auf Gebäuden, die Heu- und Strohlagerung und eine offene Seite haben, nicht versichert. Der Grund liegt im erhöhten Risiko der Gebäudenutzung:

- Heu- und Strohlagerung kann Selbstentzündung auslösen oder durch Funkenflug bei der Einlagerung Brandgefährdung bringen.
- Offene Gebäude oder Holzstadel mit Lücken in der Außenwand könnten eine Brandstiftung erleichtern.



# Überwachung und Wartung

## Überwachung

Der Kunde muss ein Abnahme-/Installationsprotokoll vom Installateur verlangen, da ihm dieses Sicherheit zur Gewährleistung/Garantie gibt und als Zertifikat für die Versicherung dient.

Empfehlenswert ist auch eine Inbetriebnahme-Messung mit einem hochwertigen Messgerät, das die Leistungsdaten darstellt und dokumentiert; so können auch Leistungsverluste zum Ende der Garantiezeit hin durch eine zweite (Vergleichs-)Messung eindeutig belegt werden.

## Fehler, Störungen, Gefahren

PV-Anlagen sind wartungsarm und arbeiten in der Regel störungsfrei, wenn sie gut geplant sind und aus Qualitätskomponenten bestehen. Auswertungen ergaben: Die zuverlässigste Komponente einer Anlage ist der PV-Generator mit seinen Modulen, der Gleichstromverkabelung und dem Generatoranschluss. Wenn Störungen daran auftraten, waren das oft Fehler an den Bypass- oder Strangdioden nach Gewittern/Überspannungen. Manchmal lösten sich Leitungsverbindungen, was heute bei den qualitativ hochwertigeren Steckverbindungen als übliche Modulverbindung keine Probleme mehr macht.

Isolationsfehler auf der DC-Seite können bei Defekt zur Bildung eines Lichtbogens und damit zur Brandgefahr führen. Die automatische Isolationsüberwachung, die bei den meisten Wechselrichtern eingebaut ist, würde bei einem Isolationsfehler die Anlage vom Netz trennen. Ist aber die Anlage beleuchtet, fließt weiterhin Gleichstrom und füttert einen möglichen Lichtbogen.

Bei den Modulen könnte es folgende Probleme geben:

- Korrosionserscheinungen an den Montagegestellen, weil falsches Material verwendet wurde (z. B. Messingschrauben bei verzinkten Montagesystemen).
- Auf lange Sicht Verfärbungen beim Kunststoff durch Alterung (Browning-Effekt) wie auch Ablösung des Verkapselungskunststoffs von der Zelle (Delaminierung) möglich.
- Langzeitdegradation: Bei kristallinem Silizium sind das etwa 0,2 Prozent pro Jahr, bei Dünnschichtmodulen etwa 0,25 bis 0,5 Prozent jährlich.

## Wartung

Eine Wartung der PV-Anlage ist nur in größeren Zeitabständen erforderlich, da keine beweglichen Komponenten, die verschleifen können, vorhanden sind (ausgenommen bei Nachführungsanlagen). Trotz des sehr geringen Wartungsaufwandes sichern möglichst jährliche Überprüfungsroulines den ausfallfreien Betrieb und die optimale Energieausbeute.

Folgende Punkte sollten dabei beachtet werden:

- Verschmutzung der Solarmodule bzw. Verschattung durch Fremdkörper
- Beschädigungen an Modulen, Tragegestellen oder der Verkabelung
- Überprüfung der Leistung der Anlage sowie gegebenenfalls einzelner Stränge mit geeigneten Messgeräten
- Untersuchung der Kabelkontakte und Verteilerdosen auf Korrosion
- Überspannungsableiter nach jedem Gewitter prüfen
- Überprüfung der Blitzschutzeinrichtung (eventuell Austausch der Varistoren)
- Isolationswiderstandsmessung bei Anlagen ab 30 kWp

Automatische Störungs- und Betriebsdatenüberwachungen erleichtern dem Betreiber diese Aufgabe und führen auch zwischen den Überprüfungen Fehler zutage.



# Versicherung

Bei der Versicherungskammer Bayern können Photovoltaik-Anlagen mit einer Leistung bis 10 kWp im Rahmen der **klassischen Gebäudeversicherung** mitversichert werden. Das betreffende Gebäude erfährt damit eine Werterhöhung, der Versicherungsbeitrag für die (Feuer-) Gebäudeversicherung erhöht sich entsprechend.

Einen **umfassenden Versicherungsschutz** bietet dagegen die **Elektronikversicherung** für plötzlich eintretende Schäden durch ein unvorhergesehenes Ereignis. Es besteht damit Deckung für Sachschäden durch:

- Vorsatz Dritter, Vandalismus, Diebstahl
- Bedienungsfehler, unsachgemäße Handhabung
- Kurzschluss, Überspannung, Induktion
- Brand, Blitzschlag, Explosion sowie durch Löschen bei diesen Ereignissen
- Sturm, Hagel, Überschwemmung
- Leitungswasser, Wasser, Feuchtigkeit
- Konstruktions-, Material- und Ausführungsfehler
- Bisschäden von Tieren

Nicht versichert sind jedoch Schäden durch reinen Verschleiß oder betriebsbedingte Abnutzung, der Ausfall von Bauteilen ohne äußere Einwirkung sowie der Vorsatz des Versicherungsnehmers.

Darüber hinaus bietet unsere Elektronikversicherung für PV-Anlagen folgende Erweiterungen:

- Zusätzliche Summen für Aufräumungs- und Entsorgungskosten, Gerüstaufstellung etc.
- Unterversicherungsschutz (bis 20 Prozent der Summe)
- Wenn beantragt: Ersatz der durch den Sachschaden verursachten Einspeiseverluste (maximal drei Monate)



Fallbeispiele zum Genehmigungsverfahren finden Sie in der Broschüre „Genehmigung von Photovoltaikanlagen“ des Solarenergiefördervereins Bayern e.V., [www.sev-bayern.de](http://www.sev-bayern.de).

## Betreiberhaftpflicht/Betriebshaftpflicht

Klären muss der Betreiber, ob die PV-Anlage in der bestehenden Betriebshaftpflichtversicherung mit eingeschlossen ist, wenn der eigentliche Unternehmenszweck z. B. die Landwirtschaft ist.

Eine **Bauherrenhaftpflichtversicherung** ist erforderlich bei Selbstmontage bzw. wenn die Montage nicht durch eine Installateurfirma, sondern z. B. durch den Maschinenring vorgenommen wird.



# Anhang

## Literatur, Quellen und Links

Leitfaden Photovoltaische Anlagen, DGS Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, Berlin, ISBN 3-9805738-3-4, 3. Auflage 2005, [www.dgs-berlin.de](http://www.dgs-berlin.de)

Blitzschutzfibel, Strom aus Sonnenlicht, Wagner & Co Verlag, 35091 Cölbe  
[www.wagner-solartechnik.de](http://www.wagner-solartechnik.de)

Internetadressen:

[www.vde.com/VDE/Ausschuesse/Blitzschutz/  
Publikationen/Merkblatt+PV-Anlagen](http://www.vde.com/VDE/Ausschuesse/Blitzschutz/Publikationen/Merkblatt+PV-Anlagen)  
[www.dehn.de/www\\_DE/PDF/DS/DS109.pdf](http://www.dehn.de/www_DE/PDF/DS/DS109.pdf)

Bildquellen:

Titel, Seite 6 unten, S. 7: Sharp, [www.sharp.de](http://www.sharp.de)  
Seite 4: Thiem, Berufsfeuerwehr München  
Titel, Seite 12 links, S. 13 Mitte, S. 14, S. 20, S. 23 oben:  
Fa. Schietter, [www.schietter.de](http://www.schietter.de)  
Seite 12 rechts, S. 16, S. 23 unten: Fa. MHH Technik, [www.mhh.de](http://www.mhh.de)  
Seite 16 Mitte: SMA Technologie AG, [www.sma.de](http://www.sma.de)

Anerkannte Prüfinstitute von Solarzellen und Modulen:

- TÜV Rheinland: [www.de.tuv.com](http://www.de.tuv.com)
- Ispra: <http://iamest.jrc.it/esti/certific/aaindex.htm>
- PTL Arizona State University: [www.east.asu.edu/ptl](http://www.east.asu.edu/ptl)

## Hinweis

Die Inhalte dieser Broschüre wurden sorgfältig und nach bestem Wissen von uns geprüft. Alle Angaben dienen der allgemeinen Information. Sie stellen keine geschäftliche, rechtliche oder sonstige Beratung dar. Eine Gewähr für die Richtigkeit, Aktualität und Vollständigkeit der zusammengestellten Informationen wird nicht übernommen.





## Wir sind, wo Sie sind.

Von Kindheit an brauchen wir Schutz und Sicherheit – und das ein Leben lang. Gut, wenn sich auch später noch jemand darum kümmert.

Seit 1875 schützt die Versicherungskammer Bayern alles, was Ihnen lieb und teuer ist: von A wie Auto bis Z wie Zahnersatz. Ob Hund oder Haus, Mensch oder Firma – wir machen Ihre Sorgen zu unseren.


Über 5 Millionen Menschen haben uns mit ihrem Vertrauen zur Nr. 1 in Bayern und der Pfalz gemacht. Und über 5 000 Mitarbeiter geben sich alle Mühe, Sie auch in Zukunft zufriedenzustellen.

Aus Überzeugung beraten wir persönlich und gründlich. Denn; Versicherungen kauft man nicht nebenbei. Genau deshalb ist eine unserer 4 000 Beratungsstellen in Ihrer Nachbarschaft: genau da, wo Sie sind.

Versicherungskammer Bayern - Risk-Management - 80530 München  
[www.versicherungskammer-bayern.de](http://www.versicherungskammer-bayern.de)

Wir beraten Sie gerne.

VER | SICHER | UNGS  
KAMMER  
BAYERN

 Finanzgruppe