

Ein Stück Sicherheit.

Photovoltaik

Energiequelle mit Zukunft.
Anforderungen und Schadenverhütung.

Risk-Management – ein Service für unsere Kunden.





Vorwort

Diese Broschüre gibt einen Überblick zu Grundlagen der Photovoltaik. Es werden die Anforderungen, die in rechtlicher und technischer Hinsicht an diese Anlagen gestellt werden, aufgeführt.

Außerdem sind Schadenverhütungsempfehlungen zu den Gefahren Feuer, Elementar, Diebstahl und Haftpflicht genannt. Schadenbilder verdeutlichen die Beispiele.

Bei einem Brandschutz-Workshop mit 120 Teilnehmenden, den das Fraunhofer ISE und der TÜV Rheinland in Freiburg durchführten, wurde das Fazit gezogen, dass **„Photovoltaikanlagen anders sind als herkömmliche Elektroinstallationen, aber nicht gefährlicher!“**

Herausgeber: Versicherungskammer Bayern, Risk-Management, Maximilianstraße 53, 80530 München.

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.

Nachdruck nur mit Genehmigung der Versicherungskammer Bayern.

Bildquellen

Seite 4: Thiem, Berufsfeuerwehr München, www.feuerwehr.muenchen.de
Seite 2, S. 11, S. 16: www.schletter.de
Seite 5: Sharp, www.sharp.de
Seite 11: SCHOTT Solar GmbH
Seite 14: <http://www.dehn.de/de/branchenloesungen-und-anwendungen>



Literatur, Quellen und informative Links

- Leitfaden Photovoltaische Anlagen. DGS Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, ISBN 3-9805738-3-4, 5. Auflage 2012, http://www.dgs.de/fileadmin/bilder/Dokumente/PV-Brandschutz_DRUCK_24_02_2011.pdf
- Vds 3145, VdS 2010, <http://vds.de/de/infotehek/suche/>
- www.feuerwehrverband.de/photovoltaik.html
- www.solarwirtschaft.de/
- www.photovoltalkforum.com
- www.vde.com
- www.photovoltalk-anlagenpass.de
- Photovoltaik-Anlagen-Meldepflicht: www.bundesnetzagentur.de
- DIN EN 1991-1-3/NA Einwirkungen auf Tragwerke; www.dibt.de
- Diebstahlschutz: Bayerisches LKA, www.polizei.bayern.de/schuetzen-vorbeugen/beratung/technik/index.html

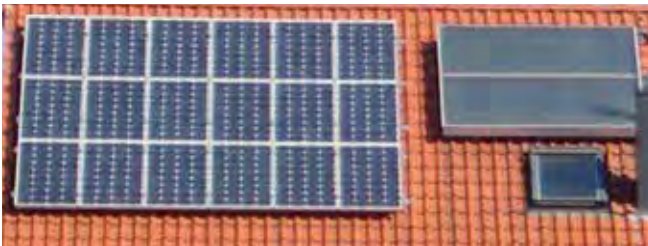
Photovoltaik

Inhalt

4	Stromherstellung mit der Kraft der Sonne
6	Herstellung von Solarmodulen Grundlagen und Funktion einer Photovoltaikanlage
7	Kenndaten, Qualität
8	Idealer Standort/Genehmigungsanforderungen
9	Baulicher Brandschutz
10	Die Montage der Photovoltaikanlage
12	Die Elektrik der Photovoltaikanlage
14	Blitz- und Überspannungsschutz
16	Standsicherheit und Naturgefahren
18	Diebstahlschutz
19	Überwachung und Wartung

Photovoltaik – Stromherstellung mit der Kraft der Sonne

Die Sonne als Energiequelle hat ein schier unbegrenztes Potenzial. Diese Energie können wir durch Photovoltaik und Solarthermie nutzen. So wandeln solarthermische Anlagen über Kollektoren die eingestrahlte Lichtenergie direkt in Wärmeenergie um. Die andere Möglichkeit der Sonnenenergienutzung ist die Photovoltaik, bei der auf nachhaltige Weise Strom produziert wird.



Auf diesem Dach befinden sich links Photovoltaikmodule zur Stromerzeugung und rechts Solarkollektoren zur Warmwasserproduktion.

Die Entwicklung der Preise für fossile Energieträger und Abhängigkeiten von eventuell instabilen Ländern hatten zur Akzeptanz und bis 2013 zu einer blühenden Photovoltaikindustrie geführt. Ende 2016 waren in Deutschland Solarstromanlagen mit der Gesamtleistung von 42 GW am Netz. Aufgrund von EEG-Änderungen mit halbierten Einspeisevergütungen seit Mai 2013 gingen die Neuinstallierungen um über 60 Prozent zurück. Bei Eigenverbrauch ist bei Anlagen über 10 kWp die EEG-Umlage abzuführen. Weitere Restriktionen sind Eigenvermarktungsauflagen und Einspeisegrenzen. Zu den Entwicklungen siehe z. B. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>

Begriffe

Die Intensität der **Sonneneinstrahlung** ist abhängig vom Abstand der Erde zur Sonne. Der Mittelwert der Bestrahlungsstärke liegt bei 1367 W/m^2 (Watt pro Quadratmeter) und wird Solarkonstante genannt. Durch Absorption, Reflexion und Streuung in der Atmosphäre ändert sich dieser Wert und ergibt die jährliche **Globalstrahlung**. Dieser Wert ist regional verschieden (s. Abbildung).

Die Sonneneinstrahlung ist auch durch den **Sonnenhöhenwinkel** beeinflusst. Je senkrechter die Sonne

steht, umso ungehinderter geht das Sonnenlicht durch die Atmosphäre. Steht die Sonne flacher, wird das Licht durch die Atmosphäre gestreut und absorbiert, die Strahlungsintensität ist geringer. Dieser Aspekt wird mit dem Faktor **AM** (Air Mass, Luftmasse) dargestellt.

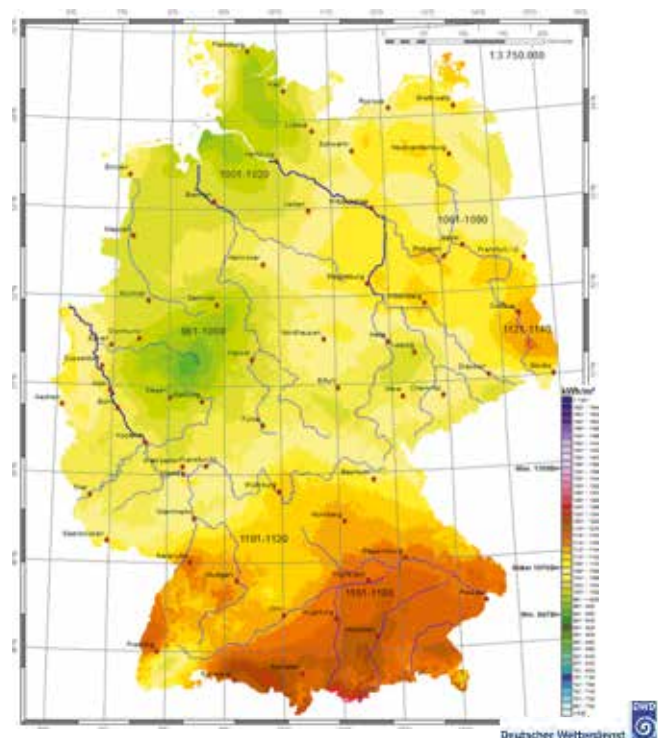
Die **STC** Standard-Testbedingungen (Standard Test Conditions) sind für Deutschland

- ein AM von 1,5 (Jahresmittel für Deutschland)
- eine Einstrahlung von 1000 W/m^2
- eine Zelltemperatur von $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Auf dieser Basis werden die Wirkungsgrade gemessen. Die STC treten im wirklichen Betrieb selten oder nie auf.

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 in elektrische Energie um durch Nutzung des „photovoltaischen Effekts“, der Freisetzung von positiven und negativen Ladungsträgern.

Globalstrahlung Deutschland 2016



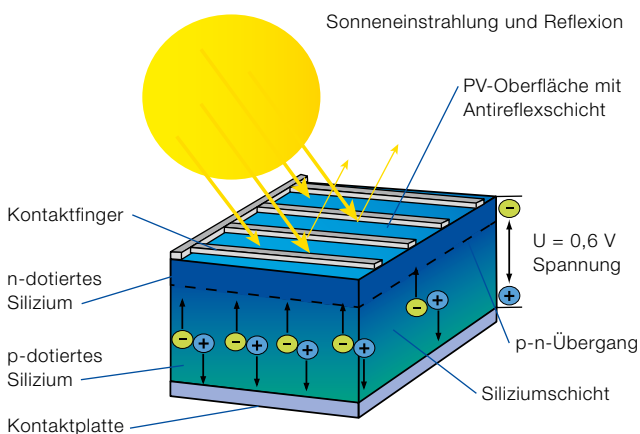
EEG Erneuerbare Energien Gesetz



Funktion einer Solarzelle

Eine kristalline Silizium-Solarzelle hat eine positiv und eine negativ geladene Schicht. Dafür werden bei der Herstellung gezielt Fremdatome in das Silizium eingebracht. Die dem Sonnenlicht zugewandte Schicht der Zelle ist mit Phosphor negativ geladen (n-dotiert), die darunterliegende Schicht ist mit Bor positiv dotiert (p-dotiert). An der Grenzschicht (p-n-Übergang) entsteht das elektrische Feld mit einer Spannung von 0,5 Volt. Zur Stromentnahme sind elektronisch verbundene Metallkontakte aufgebracht.

Die kleinste Einheit einer PV-Anlage ist die Solarzelle



Eine 10 cm² große Solarzelle liefert bei direkter Sonneneinstrahlung (ca. 900Watt/m²) etwa 3 Ampere

Watt-peak: Das ist die maximale Leistung, die bei 1000 Watt senkrechter Lichteinstrahlung auf 1 m² Fläche erzielt werden kann.

Kristalline Solarzellen

Das Grundmaterial von Solarzellen ist Silizium, ein Halbmetall aus Quarzsand (SiO₂). Im Hochofenverfahren wird in einer chemischen Reaktion bei 1650 °C der Sauerstoff abgetrennt. Das entstehende Rohsilizium durchläuft weitere Reinigungsprozesse (Destillationen). Das schließlich abgeschiedene **Polysilizium** ist Ausgangsmaterial für monokristalline oder polykristalline Siliziumscheiben.

Multikristalline Siliziumzellen

Das Ausgangsmaterial Polysilizium wird aufgeschmolzen und in Quader-Formen gegossen. Bei der Erstarrung des Materials bilden sich relativ große Kristalle mit sichtbaren

Korngrenzen. Diese Kristalldefekte bewirken im Vergleich zu monokristallinem Silizium einen geringeren **Wirkungsgrad (η)** der Solarzelle von etwa 15 Prozent. Die blaue oder silbergraue Färbung hat eine gut erkennbare Eisblumenstruktur. Die Siliziumblöcke werden in quadratische ca. 0,25 mm dicke Scheiben (Wafer) mit üblichen Größen von 10 cm² (4 Zoll) bis 21 cm² (8 Zoll) geschnitten.

Monokristallines Silizium (Marktanteil etwa 35 Prozent)

Bei der aufwendigeren Herstellung von monokristallinen Siliziumzellen wird aus der Siliziumschmelze ein Einkristall gezogen. Die daraus geschnittenen Wafer sind in der Struktur homogen mit einem η von ca. 17 Prozent.

Dünnschicht-Solarzellentechnologien

Bei der Dünnschichttechnologie werden Materialien wie a-Si, SiS, CdTe etc. in geringer Schichtdicke auf einen kostengünstigen Träger wie Glas oder Folie aufgedampft. Dünnschicht- und amorphe Siliziumzellen mit einem Wirkungsgrad η von 6–10 Prozent sind etwas besser bei ungünstigerer Dachausrichtung, Schwachlicht, Verschattung sowie hoher Temperatur und bieten zuweilen ein besseres Preis-/Leistungsverhältnis.

- **Amorphe Siliziumzellen (a-Si)**, unterliegen anfangs einer lichtinduzierten Alterung (Degradation).
- **Kupfer-Indium-Diselenid-Zellen (CIS)** sind dunkelgrau bis schwarz.
- **Cadmium-Tellurid-Zellen (CdTe)**, sind dunkelgrün bis schwarz.



Vom Wafer zur Solarzelle

Auf die Vorderseite der Siliziumwafer wird eine Antireflexschicht aufgedampft. Zur Stromabnahme werden metallische Kontakte (Linien) auf die Vorder- und Rückseite gedruckt. Reflexion und Abschattungen durch die Frontkontakte sowie Verluste durch lang- oder kurzwelliges Licht sind der Grund, dass Solarzellen nur 11–18 Prozent der eingestrahlten Sonnenenergie in elektrischen Strom umwandeln (dieser variable Wert ist der Wirkungsgrad η). Zum Schluss werden die Kanten der Wafer geätzt, um sauber getrennte p- und n-Schichten zu erhalten und einen seitlichen Kurzschluss auszuschließen.

Herstellung von Solarmodulen

Grundlagen und Funktion einer Photovoltaikanlage

Herstellung von Photovoltaikmodulen

Standardmodul

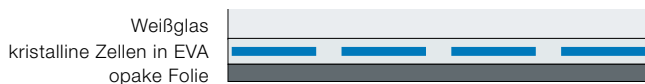
Eine einzelne kristalline Solarzelle hat eine zu geringe Leistung zur Stromerzeugung. Solarzellen werden deshalb in Reihe geschaltet (Zellverstringung), indem der Frontseitenkontakt (Minuspol) der einen Zelle mit dem Rückseitenkontakt (Pluspol) der nächsten Zelle verlötet wird. Standardmodule mit Leistungen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

Bei Teilverschattung 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.

Sind Bypassdioden nicht mit dem Modul vergossen, können sie relativ einfach ausgetauscht werden, wenn sie z. B. bei einer Überspannung beschädigt wurden.

Die verschalteten Zellenstrings werden in einer Vakuumkammer bei einer Temperatur von bis zu 150 °C „verkapselt“. Die EVA-Verkapselung (Ethylen-Vinyl-Acetat) mit dem UV-beständigen, gehärteten, hochtransparenten und eisenarmen Solarglas auf der Frontseite und einer nichttransparenten (opaken) Verbundfolie auf der Rückseite ist üblich bei Standardmodulen. Zur Stabilität der Kanten werden noch etwa 70 Prozent der Module gerahmt.

Aufbau eines Moduls



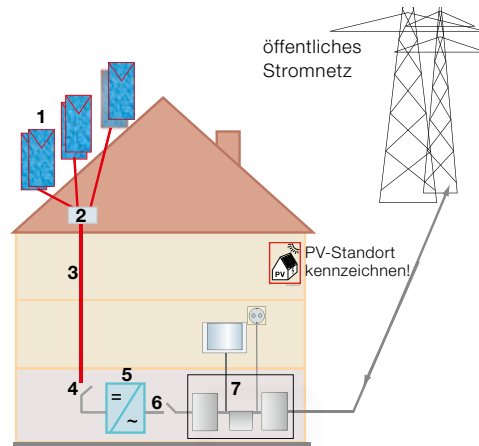
Die Module werden mit einer Modulanschlussdose inklusive Bypassdiode, Anschlussleitungen sowie verpolungs- und berührungssicheren Steckern geliefert und bei der Montage zusammengesteckt. Die **Modulanschlussdose** muss folgende Faktoren erfüllen:

- Schutzgrad IP54 (staub- und spritzwassergeschützt)
- Schutzklasse II (aktive Teile mit verstärkter Isolierung)

Zusammenschaltung von PV-Modulen

Ein typisches PV-Modul mit einer Leistung von 250 Watt-peak hat eine Fläche von etwa 1,6 Quadratmeter. Durch Reihen- **oder** Parallelschaltungen werden die PV-Module zu einer größeren Einheit, dem PV-Generator, zusammengefügt. Die in Reihe geschalteten Module nennt man Strang (engl. String). Die System-(Eingangs-)spannung des angeschlossenen Wechselrichters ergibt sich durch die Anzahl der in Reihe geschalteten Module.

Bestandteile einer Photovoltaikanlage



Komponenten einer Photovoltaikanlage:

- 1 PV-Generator (mehrere PV-Module sind in Reihen- oder Parallelschaltung mit Leitungen verbunden und mit einem Montagegestell befestigt)
- 2 Generatoranschlusskasten (mit Schutztechnik wie DC-Freischalter, Überspannungsschutz)
- 3 Gleichstromverkabelung (Gleichstrom = DC): Verlauf kennzeichnen!
- 4 DC-Trennschalter (Pflicht seit Juni 2006)
- 5 Wechselrichter
- 6 Wechselstromverkabelung
- 7 Zählerschrank mit Einspeise- und Bezugsmesser, (Stromkreisverteilung und Hausanschluss); evtl. Speicher

Photovoltaikanlagen gibt es als

- **netzferne Anlagen** (Inselanlagen), die keine Verbindung zum öffentlichen Stromnetz haben. Sie arbeiten mit Akkumulatoren (Blei- oder Lithium-Akkus).
- **netzgekoppelte Anlagen**, die den erzeugten Strom direkt in die Netze der Stromversorger einspeisen oder Teile davon für Eigenverbrauch speichern.

Durch die Senkung der Einspeisevergütung ist der **Eigenverbrauch** interessant, wenn man den Stromverbrauch auf die Haupt-Lieferzeit von PV-Strom abstimmen kann oder sich für Speichersysteme entscheidet. Die dynamische Entwicklung von stationären **Stromspeichersystemen** führt zu einem immer größeren Angebot und auch schon zum Preisrückgang. Wird ein Lithium-Ionen-Speicher eingesetzt, sollte dieser in einem abgeschlossenen, kühlen und nicht brennbaren Raum aufgestellt werden (wenigstens in einem Gehäuse). Genügender Abstand zu Brennbarem ist einzuhalten.

Neu ist ein „Sicherheitsleitfaden Lithium-Ionen-Speicher“ (s. Code). Eingeführt ist die Anwendungsregel VDE-AR-E 2510-2. Weitere Informationen zu Speichern:

- https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/Loeschen_PVLi_SpeicherMerkbl.pdf
- https://vds.de/fileadmin/vds_publikationen/vds_3103_web.pdf





Aufdach-Anlagen bei Schräg- und Flachdächern: Die Solarmodule werden mit einer Metallträgerkonstruktion über der Dacheindeckung montiert.

Bei **Indach-Anlagen** sind die Module in die Dachhaut integriert. Die Indach-Montage ist anspruchsvoll, da eine gute Modul-Hinterlüftung erreicht und eine handwerklich einwandfreie Ausführung erzielt werden muss, damit das Dach dicht bleibt und eine Brandgefahr gebannt ist.

Fassadenanlagen sind Photovoltaikanlagen an oder als Ersatz von Fassaden sowie als Verschattungselemente.

Freiflächenanlagen sind nach neuem EEG nur noch auf Konversionsflächen (militärisch, industriell oder wirtschaftlich genutzte Flächen) oder längs von Autobahnen und Schienenwegen zulässig. Eine genaue Prüfung und Baugenehmigung ist erforderlich.

Elektrische Kenndaten von Solarmodulen

Die elektrischen Kenndaten eines Solarmoduls werden in der „Strom-Spannungs-Kennlinie“ dargestellt, die unter Standard-Testbedingungen (STC) aufgenommen wird. Unter den STC wird die Stromstärke gemessen, die das Modul bei unterschiedlichen Spannungen liefert. Im MPP (Maximum Power Point) arbeitet ein Modul, wenn das Produkt aus Strom und Spannung maximal ist. Die maximale Nennleistung wird in Watt-peak (W_p) angegeben.

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), Maße und Gewichte, **Temperaturkoeffizienten**, Bypassdioden, Garantien sowie Zulassungen und Zertifikate aufgeführt sind.

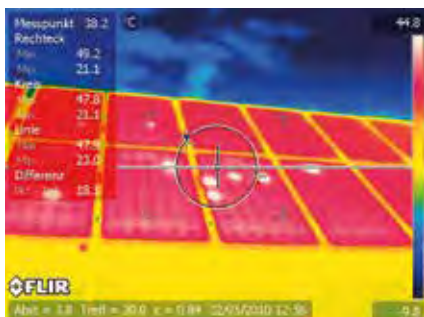


Umwelteinflüsse auf Photovoltaikanlagen

Der Salzgehalt der Luft, Stäube, Stalldunst, Industrieabgase sowie UV-Belastungen bei Höhenlagen – all das hat Auswirkungen auf die Module und das Trägermaterial.

Unter optimalen Bedingungen, wie einer hohen Einstrahlung bei geringen Temperaturen, kann die Nennleistung auch überschritten werden.

Das Bild zeigt Hotspots, die mit einer Wärmebildkamera entdeckt wurden. Bypassdioden vermindern die Gefahren.



Anforderungen an die Qualität der Module

IEC-Zertifizierung und DIN

Die Modulkosten an den Investitionskosten einer PV-Anlage betragen 40 bis 50 Prozent. Deshalb sollten nur zertifizierte Module verwendet werden. Standhalten müssen sie den mechanischen Beanspruchungen nach

- IEC 61215 bei kristallinen Modulen bzw.
- IEC 61646 bei Dünnschichtmodulen.

DIN EN 61730-1 und -2 stellen sicherheitstechnische Anforderungen an PV-Module. Die DIN EN 62446 legt Mindestanforderungen an die Anlagen-Dokumentation sowie die erforderlichen Inbetriebnahme- und Wiederholungsprüfungen fest.

Prüfinstitute wie z. B. der TÜV überprüfen nach diesen Prüfvorschriften Konstruktion, Qualität der Module sowie die Fertigungsstätten des Herstellers.

Eine Liste aller geprüften Module finden Sie auf der Internetseite des TÜV Rheinland <http://www.tuv-pv-cert.de/zertifikate-von-pv-modulen.html>

RAL-Gütezeichen

Von der Gütegemeinschaft Solarenergieanlagen wurde das RAL-Gütezeichen **RAL-GZ 966** entwickelt.

Das Gütezeichen umfasst eine Vielzahl bereits vorhandener internationaler und nationaler Regelungen aus den Bereichen Baurecht, Unfallverhütung, Elektrotechnik, Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik sowie Umweltschutz.

Firmen dürfen das Siegel führen, wenn die Anforderungen gemäß der Erst- und Wiederholungsprüfungen nachgewiesen sind (www.ralsolar.de).



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“

Empfehlenswert ist, sich vom Installateur den **„BSW-Anlagenpass“** ausstellen zu lassen.

Eine abgesicherte Anlagenqualität und eine versierte Qualitätssicherung erhalten Sie bei einer Anlagenabnahme durch einen qualifizierten Sachverständigen.



Idealer Standort Genehmigungsanforderungen

Der ideale Standort

Voraussetzung für einen hohen Energieertrag ist ein geeignetes Dach und dessen Ausrichtung möglichst nach Süden. Ideal sind Dächer mit einer Neigung von 28 bis 33 Grad, auch weil ab einer Neigung von 20 Grad ablaufender Regen die Module optimal reinigen kann.

Lage/Verschattung

Die PV-Anlage sollte ganztägig und ganzjährig frei von Verschattungen sein. Treffen Schatten durch Bäume, naheliegende Häuser, Kamine, Antennen etc. auf, sind die Energieeinbußen aus physikalischen Gründen überproportional 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 und leistungsmäßig nach unten ziehen. In diesem Fall kann es wirtschaftlicher sein, wenn auf ein Modul verzichtet wird.

Verschattungen können auch zu Störungen in der Anlage mit Überhitzungsfolgen bis zur Entzündung führen.

Es empfiehlt sich, den Schattenwurf des tiefsten Jahressonnenstandes am **21.12.** anhand eines Sonnenbahndiagramms zu bestimmen. Bedenken Sie, dass Bäume wachsen und bauliche Veränderungen in der Nachbarschaft eintreten können. Eine gute Installationsfirma hat Berechnungsprogramme zur erfolversprechendsten Ausrichtung und Dimensionierung einer PV-Anlage. Auch Ausrichtungen, die bis zu 45 Grad von Süden abweichen, ermöglichen noch 95 Prozent des maximalen Ertrages.



http://www.casi-web.de/pdf_pool/Sonnenhoechststaende.pdf

Hinweis: Die Installation von Photovoltaikanlagen auf Asbestdächern ist verboten (Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 519).

PV-Anlagen sind verfahrens- bzw. genehmigungsfrei:

Land	Verfahrensfrei/genehmigungsfrei
Bayern, Bayerische Bauordnung BayBO Art. 57 Abs. 1 Nr. 3a „verfahrensfrei“	Verfahrensfrei sind folgende Energiegewinnungsanlagen: a) Solarenergieanlagen und Sonnenkollektoren aa) in, auf und an Dach- und Außenwandflächen sowie, soweit sie in, auf oder an einer bestehenden baulichen Anlage errichtet werden, die damit verbundene Änderung der Nutzung oder der äußeren Gestalt der Anlage, bb) gebäudeunabhängig mit einer Höhe bis zu 3 m und einer Gesamtlänge bis zu 9 m.
Rheinland-Pfalz, LBauO §62 Abs. 1, 2d „genehmigungsfrei“	„Solaranlagen auf oder an Gebäuden; ausgenommen sind Solaranlagen auf oder an 1, 2d „genehmigungsfrei“ Kulturdenkmälern sowie in der Umgebung von Kultur- und Naturdenkmälern.“
Berlin, BauOBl §62 Abs. 1, 3. „verfahrensfrei“	a) „Solaranlagen in, an und auf Dach- oder Außenwandflächen sowie die damit verbundene Änderung der Nutzung, b) gebäudeunabhängig mit einer Höhe bis zu 3 m und einer Gesamtlänge bis zu 9 m.“

Hinweis: Auch bei baugenehmigungsfreien Anlagen sind die baurechtlichen Bestimmungen einzuhalten: Brandschutzanforderungen, Vorschriften zu Bauprodukten und Bauarten, Statik und Standsicherheit, Verkehrssicherheit.

Bebauungsplan/örtliche Bauvorschriften

Ist ein qualifizierter Bebauungsplan vorhanden, muss das Vorhaben diesem entsprechen. Soll eine PV-Anlage mit mehr als 10 kW als ein Gewerbe angemeldet werden, muss man wissen, dass in reinen Wohngebieten Gewerbe nicht zulässig sind. Auch können örtliche Bauvorschriften (Gestaltungssatzungen) PV-Anlagen begrenzen.

Die erforderliche Tiefe von **Abstandsflächen** kann durch PV-Anlagen auf Dächern beeinflusst werden, da diese formal das Gebäude erhöhen. Im Einzelfall kann das eine genehmigungspflichtige Abweichung nach sich ziehen.

Denkmalschutzbestimmungen können eine Genehmigung der PV-Anlage erfordern, wenn sie an oder in der Nähe eines Baudenkmals errichtet werden soll.

Photovoltaik-Anlagen im Außenbereich sind nur noch auf besonderen Flächen (Konversionsflächen und Flächen längs von Verkehrswegen) im Rahmen einer Bauleitplanung zugelassen. PV-Anlagen im Außenbereich auf bestehenden Gebäuden (z. B. Scheune, Hofgebäude) werden Anlagen im Innenbereich gleichgestellt.

Baulicher Brandschutz

Trennung von Brandabschnitten durch Brandwände

Gemäß den Landesbauordnungen dürfen über Brandwände keine brennbaren Stoffe hinweggeführt werden. Darüberhinaus müssen Dachaufbauten aus brennbaren Baustoffen mindestens 1,25 m entfernt sein, es sei denn, die Brandwand ist mindestens 30 cm über Dach geführt. Beide Regelungen gelten auch für PV-Anlagen (mit ihren brennbaren Kabeln, Leitungen und Modulbestandteilen). In der Bay. Bauordnung sind Solaranlagen extra erwähnt.

Schwierige Brandbekämpfung

Eine PV-Anlage (selbst wenn sie aus nichtbrennbaren Stoffen sein sollte) auf dem Dach

- behindert den Abzug von Feuer und Rauch
- erschwert das Öffnen der Dachfläche für Rauchabzüge
- verschlechtert die Löschmöglichkeit bei einem Brand im Dachstuhl, da die Zugänglichkeit über das Dach nur von der PV-abgewandten Seite aus möglich ist.

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

Feuerwehreinsatzplan

Eine PV-Anlage steht unter Spannung, sobald Licht einfällt. Ist ein DC-Freischalter vorhanden, sind immer noch die Gleichspannungsleitung (DC-Leitung) bis zu diesem Schalter sowie die Module unter Spannung. Hilfreich für Feuerwehren ist, wenn Gleichspannungsleitungen besonders gekennzeichnet sind und ein Lageplan vorliegt, damit die Gefahrenlage eingeschätzt und nötige Abstände eingehalten werden können.

Empfehlung:

- Über die o. g. Vorschriften hinaus sollten auch nicht-brennbare PV-Anlagen niemals über Brandwände hinweggeführt werden.
- Auf Qualität achten: Eine mangelhafte Kabelisolierung auf der Gleichstromseite kann, zum Beispiel durch UV-Einwirkung bei Billigware, nach einigen Jahren zu einem Lichtbogen und nachfolgendem Brand führen.
- Die Aufgliederung von großen Modulflächen in kleinere Teilflächen mit Abstand ist praktizierter abwehrender Brandschutz.
- Die Module sollten so verschaltet werden, dass beidseits der Brandwand jeweils ein oder mehrere eigenständige Generatoren angeordnet werden können.



Eine intakte Brandwand kann ein Feuer auf den Brandabschnitt begrenzen. Die vom Brand nicht betroffenen PV-Generatoren könnten ihre Funktion erhalten. Nicht zuletzt bringt die Unterbrechung einer großen Modulfläche auch Vorteile für die Wartung sowie eventuell nötige Reinigungen und Reparaturen. (Die Unfallverhütungsvorschriften sind bei diesen Tätigkeiten einzuhalten.)



Bei Indach-Lösungen

Module, die in die Dachfläche eingebaut werden und somit als wasserführende Schicht ausgebildet sind, müssen den Anforderungen „harte Bedachung“ entsprechen. Weitere Anforderungen, wie schwer entflammbar oder nicht brennbar, können sich, vor allem bei Sonderbauten, aus dem jeweiligen Brandschutzkonzept ergeben. http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/info-pap_bauaufs_zulass.pdf

Versicherung von PV-Anlagen

Zur Absicherung aller Risiken bei einer PV-Anlage wird eine Elektronikversicherung empfohlen. Oft nur mit Zuschlägen oder gar nicht versichert werden PV-Anlagen auf Gebäuden,

- die nicht in massiver Bauweise errichtet sind,
 - in denen feuergefährliche Arbeiten durchgeführt werden
 - in denen feuergefährliche Materialien (Heu, Stroh, Brennmaterial über 50 m³) lagern.
- Der Grund liegt im erhöhten Risiko der Gebäudenutzung.



Schadensursache: Schweißarbeiten in einer Maschinenhalle, deren Dach vermietet war.



Die Montage der Photovoltaikanlage

Allgemeine Hinweise zur Montage

Qualität durch Fachleute

Vor Projektierung einer PV-Anlage sollten ein Statiker sowie ein Dachdecker das Dach prüfen hinsichtlich

- Eignung,
- besonderer Belastungen in Schneedruckgebieten sowie
- einer eventuell erforderlichen Dachsanierung innerhalb der nächsten 25 Jahre.

Vorteilhaft ist, wenn bei der Installation einer PV-Anlage Elektriker und Dachdecker eng zusammenarbeiten.

Auf dem Dach sollte noch genügend Platz zum Begehen verbleiben, ohne auf die Solarmodule treten zu müssen. Zum Begehen sollten Auflagepunkte auf und neben den Solarmodulen abgepolstert werden. Dachziegel unter den Dachhaken sollten durch geeignete Blechpfannen ersetzt werden, da Dachziegel bei Beschädigungen später schlecht ausgetauscht werden können.

Die Installationsvorgaben und Sicherheitshinweise (auch **Unfallverhütungsvorschriften**) bei der Montage sind – auch wegen der Gewährleistung – einzuhalten. Durchbrechen und Beschädigungen von Dachziegeln (Haarrisse) sowie Unfälle durch Stürze (auch beim Betreten von Lichtbändern und -kuppeln) sind häufig. Einige Hersteller schulen Installationsfirmen, zertifizieren sie und geben deshalb bessere Garantiebedingungen auf ihre Produkte. Solarteure, die z. B. die Gerüstkosten schon im Angebot aufführen, nach dem RAL-Gütezeichen arbeiten und den BSW-Anlagenpass ausstellen, sind geeigneter (<http://www.photovoltaik-anlagenpass.de/der-anlagenpass/>).

Korrosionsschutz

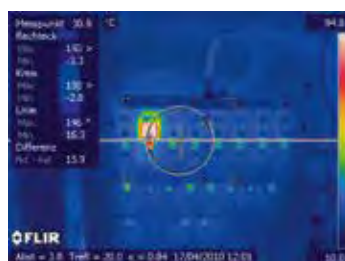
Bei Aufdach-Modulen sind die Anschlüsse und mechanischen Befestigungen der Witterung und dem UV-Licht ungeschützt ausgesetzt – und das für einen Zeitraum von 25 Jahren und mehr. Deshalb muss auf die Qualität der Befestigungsmaterialien großer Wert gelegt und nur hochwertiges Metall eingesetzt werden.

Es müssen Metallkombinationen verwendet werden, 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.

Diodenfehler, entdeckt mithilfe einer Wärmebildkamera



Montage auf schrägen Dächern (Steildächern)

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

- Dachbefestigung (Dachhaken)
- Schienentragsystem
- Modulbefestigung

Die **Dachbefestigung** dient dazu, das Schienentragsystem durch die vorhandene Dachdeckung hindurch an der Dachkonstruktion oder direkt an der Dachdeckung zu befestigen. Entsprechende **Dachhaken*** für Dachziegel, Schiefer, Betondachsteine werden zwischen den Dachsteinen durchgeführt und auf den Sparren mit mindestens 80 mm langen Schrauben verschraubt.

Auf dem Schienensystem werden die Module dann mit systemspezifischen Befestigungen fixiert.

*Dachhaken dürfen nicht

- auf den Dachsteinen aufliegen,
- gegen diese drücken oder
- sich bei Belastung (z. B. Schneedruck) verbiegen (siehe Bild).



Sie müssen mindestens 5 mm Abstand zur Ziegeloberfläche haben, ansonsten sind sie zu unterfüllen. 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. Für den Einsatz in Gebieten, in denen mit hoher **Schneelast** zu rechnen ist, werden Schwerlastdachhaken angeboten, die gleichmäßig auf alle Sparren verteilt sein sollten. Die Schneelast-DIN EN 1991-1-3/NA gibt dazu Mindestwerte vor.

Bei **Metалldächern**, die ausreichend stabil sind, um auch Windsogkräfte aufzunehmen, können die Montagegestelle direkt auf die Metallprofile geschraubt werden. Es gibt spezielle Falzklemmen 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.





Schienentragsystem

Auf die Dachbefestigungen werden Schienen – meist aus Aluminium (Achtung Längenausdehnung der Alu-Schienen bewirkt Zugkräfte auf die Module) – montiert. Unebenheiten eines Daches sollten ausgeglichen werden. 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).

Modulbefestigungen

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



Eine Befestigung mit **linienförmigen** Klemmleisten hat dagegen den Vorteil, dass die Module nicht mehr einzeln ausgerichtet und befestigt werden müssen. 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 ablaufen kann. Die PV-Module müssen hierbei aufgrund der erhöhten Auflage-Spannweite vom Modul-Hersteller dafür freigegeben sein.

Der Dachabstand der Module zur Dachhaut ist vom Befestigungssystem abhängig: Bei Kreuzschienen sind es bis zu 17 cm, bei einfachen Schienen 6 cm bis 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 EN 1991 ermittelt werden, um den Anforderungen durch Wind und Schnee gerecht zu werden.

Auf ausreichende **Schraubenlänge**, besonders bei Konterlattung, ist zu achten.



Indach-Systeme/Solarverglasungen

Bei Indach-Systemen müssen die Module den Witterschutz mit erbringen. Dies ist gerade bei flachen Dachneigungen eine anspruchsvolle Herausforderung. Die Anforderungen Abdichtung, Entwässerung und Belüftung eines Indach-Systems benötigen eine gute Zusammenarbeit der beteiligten Gewerke. Indach-Systeme erzielen wegen des Temperaturstaus kaum die Ertragswerte einer Aufdach-Anlage und sind zudem öfter brandauslösend.

Hersteller bieten zunehmend Solardächer als integrale Gebäudedebestandteile an. Solarverglasungen werden auch an Fassaden und zur Verschattung eingesetzt.

Flachdach

Es gibt Aufdach-Modelle, aber auch gebäudeintegrierte Industriedachlösungen, wie Dachfolien mit Dünnschicht. Neben der Statik gilt während der langen Lebensdauer der PVA der Funktionsfähigkeit des Daches und möglichen Wartungsarbeiten die besondere Aufmerksamkeit.

Üblicherweise werden die Module auf eine Metallkonstruktion 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.

Ist aus statischen Gründen das Schwerlastverfahren nicht möglich, muss die Anlage 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 DIN 18195.)

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

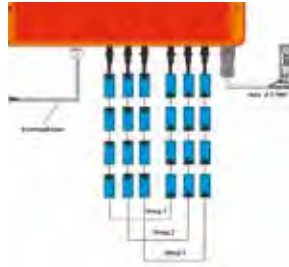
Die Höhe der Aufständering ist abhängig davon,

- ob Windlastzonen eine Aufständering erlauben,
- ob sich die Modulreihen gegenseitig verschatten,
- ob es genug Platz für abrutschenden Schnee gibt und
- ob Gebäude-Abstandsflächen zu beachten sind.

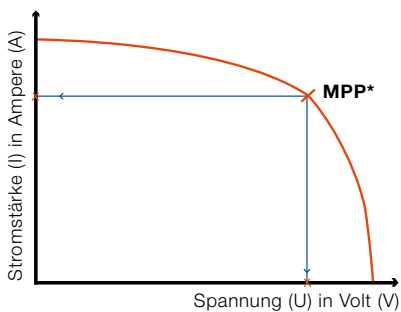
Wechselrichter (Inverter)

Aufgaben von Solarwechselrichtern:

- 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 und Ermittlung des optimalen Arbeitspunktes mit MPP-Tracking
- Überwachung (bei Störungen, wie z. B. Ausfall des öffentlichen Stromnetzes, schaltet der Wechselrichter sekundenschnell ab, z. B. mit der 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



MPP (Maximum Power Point): Der Punkt des Strom-Spannungs-Diagramms einer Solarzelle, bzw. eines Moduls oder eines PV-Generators, an der die größte Energieausbeute erreicht werden kann.

MPP-Tracking: Ein Wechselrichter soll einen hohen Wirkungsgrad nicht nur im Volllastbereich, 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 Nachstellen des MPP auf die optimale Strom-Spannungs-Kombination, sichert die Leistung des PV-Generators.

Mismatch-Verlust: Solarzellen haben Wirkungsgradunterschiede, darum haben auch die Module eine Leistungstoleranz von +/- 3 bis 5 Prozent. Kommen in einem Strang Module mit sehr unterschiedlichen Wirkungsgraden (z. B. unterschiedliche Hersteller) zusammen (Mismatch), können sich Verluste ergeben, da der niedrigste Wirkungsgrad den Ertrag bestimmt.

Siehe auch

- Norm zu Wechselrichtern: DIN EN 62109
- Sicherheitsanforderungen nach IEC 62093 und DIN EN 50178.

Qualität

Wechselrichter (WR) erreichen einen Wirkungsgrad bis 98 Prozent. Für einen hohen Wirkungsgrad muss der WR

- optimal ausgelegt und
- korrekt dimensioniert werden (Eingangsspannung),
- einen geeigneten Standort (kühl, trocken, staubfrei, dampfgeschützt, möglichst nah am Generator) und
- die richtige Schutzart haben
 - bei Montage im Innenbereich: **IP21**
 - bei Außeninstallation: ab IP54, **IP65**

Die Lebensdauer von Wechselrichtern ist endlich. Nach etwa 10 Betriebsjahren ist meistens ein Austausch bzw. eine Reparatur erforderlich. Ein Servicevertrag für den Wechselrichter minimiert Ertragsverluste.

Auswahl des auf den PV-Generator abgestimmten Wechselrichters nur durch eine Fachkraft:

- Berechnungsprogramme der Hersteller helfen bei der richtigen Auswahl der Wechselrichter.
- Die Nennleistung des WR sollte höchstens 10 Prozent geringer sein als die des Solargenerators.
- Die Leerlaufspannung ist bei niedrigen Temperaturen ($< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) höher. Die Zulässigkeit muss beachtet werden.
- Die höchsten Momentan-Leistungen treten an kühlen, sonnigen Tagen auf. Hierbei werden die härtesten Anforderungen an WR und Kabelmaterial gestellt. WR sollten deshalb leistungsmäßig zur PV-Anlage passen.
- Modulstränge und -flächen auf mehrere Wechselrichter (oder Multi-String-Wechselrichter) schalten, wenn Verschattungen auftreten oder verschiedene Flächen (z. B. wegen einer Brandwand) belegt werden müssen.
- Möglichst kühler Standort: Andauernd höhere Betriebstemperaturen verkürzen die Lebensdauer elektronischer Komponenten. Bei Überlast erwärmt sich der Wechselrichter und regelt ab, um Bauteile zu schonen. Weniger Strom wird eingespeist. Wechselrichter haben deshalb zusätzliche Lüfter, die die Abregelungsgrenze nach oben verschieben.
- Werden Wechselrichter im Freien angebracht, muss an die Frostgefahr bei Feuchtigkeit und die Möglichkeit von Betauung, an Regenschutz und auch an einen Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung gedacht werden.

Brandschutz

Wechselrichter müssen auf einem Untergrund aus **nicht-brennbaren** Baustoffen montiert werden. Dabei ist auf eine verträgliche Kombination der Befestigungsmetalle und der darauf einwirkenden Umgebungsluft (z. B. Ammoniak) zu achten.

Herstellerangaben zur Montage, der Belüftung und den Abständen zu Brennbarem sind einzuhalten

Bild: „Lochfraß“ durch mangelhafte Montageausführung mit inkompatiblen Materialien.





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 des Generatoranschlusskastens,
- die 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 (hochwertige Kabel besitzen eine TÜV- oder VDE-Zertifizierung, die auf dem Kabelmantel aufgedruckt ist),
- bei direkter Sonneneinstrahlung durch Leerrohr geschützt sein sowie
- ausreichende mechanische Festigkeit besitzen und
- erd- und kurzschlussicher verlegt werden, was einadrige Kabel mit doppelter Isolierung gewährleisten.

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

- Die Kabel sind so zu verlegen, dass sie nicht an Kanten und Dachziegeln scheuern (Kantenschutz).
- Öffnungen für Leitungen und Kabel in feuerbeständigen Wänden oder Brandwänden müssen vorschriftsmäßig geschlossen (geschottet) werden.
- Generell sind Hohlräume, geräumige Kabelkanäle und Bereiche hinter Kabelbündeln ein idealer Nist- und Aufenthaltsplatz für Nagetiere. Durch Drahtgeflecht kann hier wirkungsvoll vor Tierverschiss geschützt werden.

Achtung

Im Jahr der Installation bzw. in den ersten fünf Betriebsjahren ist das Brandrisiko durch in der Anlage existierende Mängel am höchsten. Dabei sind die DC-Verkabelung und der Wechselrichter die häufigsten Brandauslöser. Nicht nur darum sind die jeweiligen **Betriebsanleitungen** der Hersteller zu beachten.

DC-Freischnalter 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. Meistens sind in Wechselrichtern DC-Freischnalter integriert, die ab da die DC-Leitungen spannungsfrei schalten können. Können Generatoranschlusskästen mit einer DC-Freischnalteneinrichtung ausgestattet werden (Feuerwehrschnalter), besteht die Möglichkeit, schon ab diesem Punkt die nachfolgende DC-Leitung ebenfalls spannungsfrei zu schalten.

Hinweis: Eine Trennung der Stecker unter Last kann das Abbrennen der Steckkontakte und lebensgefährliche Verletzungen durch Stromschlag zur Folge haben. Weiterhin kann eine Schaltüberspannung entstehen.

Schutzeinrichtungen auf der Wechselstromseite

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

Von den Netzbetreibern wird auf der Wechselstromseite (AC-Seite) in der Regel eine selbsttätige Freischnaltstelle verlangt. Diese automatische Netzüberwachungseinrichtung ist eigensicher ausgelegt und trennt die PV-Anlage bei Störungen, wie z. B. Spannungsabweichungen oder Frequenzänderungen vom Netz.

Übergabe an das öffentliche Stromnetz (Energieversorgungsunternehmen, EVU)

Bereits bei der Planung der PVA sollte das zuständige EVU kontaktiert werden, weil der Anlagenbetreiber nunmehr zum Einspeise- und Netzmanagement verpflichtet ist.

Ein Netzbetreiber ist auch ohne Stromeinspeisevertrag verpflichtet, den Strom des Anlagenbetreibers zu festgelegten Preisen abzunehmen. Allerdings muss er erst zahlen, wenn die Anlage gemeldet ist.

Hinweis

Meldepflicht von PV-Anlagen gemäß § 16 Abs. 2 des EEG: Ab 1.1.2009 neu in Betrieb genommene Anlagen müssen der Bundesnetzagentur mitgeteilt werden: www.bundesnetzagentur.de

Blitz- und Überspannungsschutz

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 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.

Hinweis

Für den Abschluss einer **Elektronik-Versicherung** bei der Versicherungskammer Bayern wird bei Photovoltaikanlagen ab 100 kWp ein **Überspannungsschutz** mit jährlicher Prüfung vorausgesetzt.

Normen und Vorschriften zu Blitzschutzanlagen

- DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) Beiblatt 5
- DIN VDE 0100 Teil 712 (PV-Versorgungssysteme)
- DIN VDE 0100 Teil 540 (Potenzialausgleich)
- VDE V 0675-39-12 (Überspannungsschutz)
- VdS-Richtlinie 2010

Gebäude mit vorhandener Blitzschutzanlage

Besonders öffentliche Gebäude mit ihrem hohen Schutzbedarf (Schulen, Versammlungsstätten etc.) haben eine Blitzschutzanlage. Wird also eine PV-Anlage auf dem Gebäude installiert und ist bereits eine Blitzschutzanlage vorhanden, muss diese geprüft werden und in ordnungsgemäßem Zustand sein. Werden bei dieser Prüfung Mängel festgestellt, muss der Anlagenerrichter den Gebäudeeigner auf diese Mängel schriftlich hinweisen.

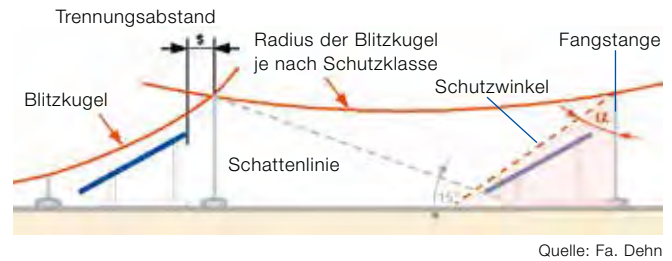
Nach der aktuellen Blitzschutznorm empfiehlt sich folgendes Vorgehen:

- Blitzschutzklasse bestimmen,
- 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 erforderliche Schutzbereich mit verschiedenen Methoden (Schutzwinkelmethode, Maschenschutzmethode, Blitzkugelmethode) ermittelt werden.

* **Trennungsabstand:** Die PV-Anlage sollte nicht nur im Schutzbereich der Fangstange(n) montiert werden, sondern sie muss so weit von der Fangstange entfernt sein, dass kein Überschlag stattfinden kann. Diesen nach DIN VDE 0185-305 zu berechnenden Abstand nennt man Trennungsabstand.

Planung der Fangeinrichtung



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 (Berechnung erforderlich) befinden.

Empfehlung

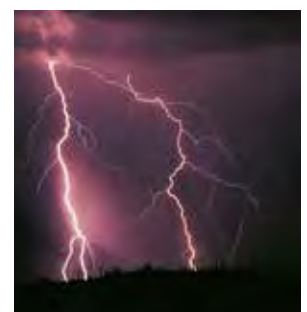
Bereits bei der Planung sollte die Position und Größe einer PV-Anlage so ausgelegt werden, dass ein **direkter Anschluss** an eine bestehende Blitzschutzanlage **vermieden** wird.

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 Verbindungen müssen dort platziert sein, wo der Abstand zwischen Modulfeld und Ableitern am geringsten ist, damit Blitzströme nicht das ganze Modulfeld durchdringen. Der in diesem Fall notwendige Überspannungsschutz ist besonders sorgfältig zu bemessen.

Unabhängig von der Notwendigkeit einer äußeren Blitzschutzanlage, muss großer Wert gelegt werden auf den **Überspannungsschutz** und den **Potenzialausgleich**.

Überspannungsschutz

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.



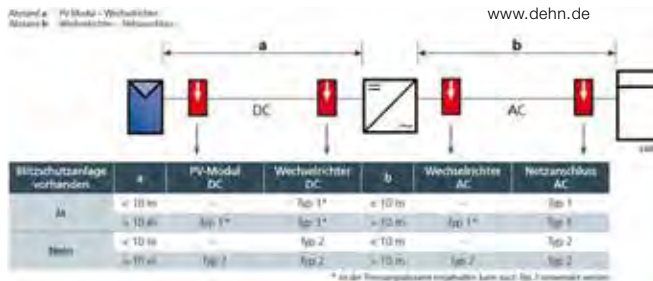


Deshalb sind am DC-Eingang (Gleichstromeingang) und AC-Ausgang (Wechselstromausgang) von Wechselrichtern **Überspannungsableiter** erforderlich, wenn

- die im Wechselrichter integrierten Ableiter nicht entsprechend der Blitzschutznorm ausgelegt sind,
- 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.

Auswahl Überspannungsschutz



Wartung und Prüfung von Blitzschutzanlagen

Die Prüfung von vorgeschriebenen Blitzschutzanlagen muss entsprechend der Sicherheitsanlagen-Prüfverordnung (SPrüfV) spätestens alle 3 Jahre erfolgen.

Empfohlen werden gemäß DIN EN 62305-3 bei

- Blitzschutzklasse I und II eine umfassende Prüfung alle 2 Jahre sowie eine jährliche Sichtprüfung und bei
- Blitzschutzklasse III und IV zwischen den umfassenden Prüfungen alle 2 Jahre eine Sichtprüfung.

Sind besondere Risiken oder Umgebungseinwirkungen vorhanden, sollten häufigere Sichtprüfungen (z. B. auch vom Betreiber selbst) durchgeführt werden. Informieren Sie sich dazu mit unserem Merkblatt „Blitzschutzanlagen“, Mat.-Nr. 310138.

Ohne äußere Blitzschutzanlage

Innerer Blitzschutz (Überspannungsschutz)

Am **Eingang (DC) 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 zusätzlich direkt an den Modulen bzw. im Generatoranschlusskasten **Überspannungsableiter** zu installieren.

Die Wechselspannungsseite des Wechselrichters (230 V) ist mit Überspannungsschutzgeräten zu schützen.

Mit 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 Blitzstromableiter beschaltet werden, um den Blitzschutz-Potenzialausgleich realisieren zu können.
- Für die Gleichspannungsleitungen sind geschirmte Leitungen mit einem stromtragfähigen Schirm (>16 mm²) zu verwenden. Dies ist nicht notwendig, wenn die Gleichspannungsleitungen im Schutzbereich der Fangeinrichtungen liegen.

Potenzialausgleich

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

- die Module Schutzklasse II haben und wenn
- Wechselrichter mit galvanischer Trennung (Trafogeräte) und Schutzkleinspannungskonzept eingesetzt sind.

Es wird aber ein **genereller Potenzialausgleich** empfohlen. Dabei sollen nicht nur das Montagegestell, sondern auch die Modulrahmen einbezogen, also geerdet werden.

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

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.

Standsticherheit und Naturgefahren

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 die Standsticherheit in geeigneter Weise dokumentieren.

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. 2-fachen 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.

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



Zu bedenken

Schneegewicht: Eine Schneedecke von 10 cm Höhe wiegt je nach Schneenässe 15 bis 20 kg/m².
Modulgewicht: durchschnittlich 12 bis 19 kg/m² zuzüglich ca. 4 bis 6 kg/m² 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.

Wind, Sturm und Schneelasten

Die Berechnungen zu den **Lastannahmen** sind anhand der **DIN EN 1991** durchzuführen.

Teil 1–4 enthält Karten mit den Windzonen, Teil 1–3 die 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** des Gebäudes abhängen.

Bei Gebäuden ab 25 m Höhe sowie Gebäuden in exponierten Lagen müssen die Lastannahmen generell berechnet werden.



Ungenügende Dachbefestigung

Wetter wirkt auf die Photovoltaikanlage ein

Wind

Grundsätzlich ist die Windbelastung an den Dachrändern und -ecken am höchsten. Besonders starke Sogkräfte wirken darüber hinaus auf eine PV-Anlage, die auf der dem Wind abgewandten Seite des Daches montiert wurde. Die Anzahl der Dachhaken pro m² muss deshalb in den gefährdeten Dachbereichen erhöht werden.

- Wegen des Windsogs sollten die Generatoren einen Abstand zu den Dachrändern einhalten.
- Möglichst gleiche Neigung von Modulen und Dach.
- Module mit Rahmen sind stabiler (auch bei der Montage) und schwingen bei Sturm weniger stark als rahmenlose (nur laminierte) Module.

Schnee

- Dachhaken an den Rändern auf jeden Sparren montieren, ansonsten die Vorgaben der Hersteller unter Berücksichtigung der vorliegenden Schneelastzone beachten. Dachhaken gleichmäßig setzen.
- In schneereichen Gebieten die Module horizontal (querliegend) anordnen (weniger Leistungsausfall durch Schneeverdichtung) – aber:
 - Bei hohen Schneelasten kann die Montage von zusätzlichen Haken an den Längskanten der Module zur Stabilisierung der Rahmen erforderlich werden.

* <https://www.dibt.de/de/Service/Dokumente-Listen-TBB.html>



- Sollen die Schneemassen von den Modulen geschoben werden, ist äußerste Vorsicht geboten. Fast immer lohnt der Aufwand und die einhergehende Absturzgefahr nicht den dadurch geringfügig erhöhten Ertrag.
- Beachtet werden muss, dass PV-Module abrutschende Schneelawinen beschleunigen können. Der Betreiber muss die Verkehrssicherungspflicht einhalten und deshalb Passanten warnen und schützen.

Qualifizierte PV-Anlagenhersteller bieten spezielle Befestigungssysteme für entsprechende Höhen- und Schneelastzonen. 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.



Auf diesem relativ flachen Dach setzte sich abrutschender Schnee an der Unterkante fest und vereiste. Tauwetter führte zum rapiden Abrutschen und verbog die Unterkante der Module.

Temperatur

- Abstand zwischen den Modulflächen und der Dacheindeckung zur ausreichenden Kühlung mindestens 6 cm.
- Weil sich das Dach ausdehnen kann und deshalb Spannungen möglich sind, sollten die Module mit kleinem Abstand montiert werden.
- Trennung der Montageschienen nach ca. 15–20 m wegen der unterschiedlichen Längenausdehnung bei Temperaturänderungen. Besonders lange Aluschienen können sich stark dehnen, was sich als Zugkräfte belastend für die Module auswirkt.

Bilder oben: Für große Schneelasten ungeeignete Module.

Hochwasser

Bei Standorten in überschwemmungsgefährdeten Gebieten ist der Montageort der Wechselrichter und auch von Speichersystemen überlegt zu wählen.

Wie bei jeder Elektroinstallation sollte bei Überflutungsgefahr die Stromzufuhr unterbunden werden. Vorsorglich sollte ein Sachkundiger – am besten nachts – die PV-Generatoren von der Gleichstromverkabelung (am DC-Freischalter) und dem Wechselrichter trennen.

Ist Wasser in den WR eingedrungen oder liegen DC-Leitungen im Wasser, muss von lebensgefährlicher Spannung ausgegangen werden.

Überschwemmte Räume dürfen in diesem Fall nicht betreten werden, solange nicht ein Elektriker dies erlaubt. Die Wiederinbetriebnahme darf nur durch eine Fachkraft vorgenommen werden.



Das Hochwasser überflutete auch die Wechselrichter im Keller.



Eine Zellverschattung führte zum Hotspot. Regen ließ die Solarglassscheibe und die überhitzte Stelle regelrecht „explodieren“.

Praktiker geben Tipps und Ratschläge zu PV-Anlagen unter www.photovoltaikforum.de

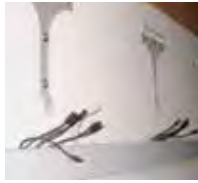
Schadensfälle

Der **Diebstahl** von vier **Wechselrichtern** (WR) verlief glimpflich, da schnell Leih-Wechselrichter montiert werden konnten und keine Betriebsunterbrechung entstand.

Schadenort: Die WR waren in einer Durchfahrt festgeschraubt und verkabelt. Die Diebe zwickten die Kabel durch und öffneten die Schrauben.

Diebstahlvorsorge wäre:

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



Auftragsraub: Die Solaranlage war im Internet dargestellt. Zudem konnte man erkennen, dass die Freiflächenanlage leicht zugänglich war. Die Module waren nur mit Montageschaum in die Trägerrahmen fixiert.

Eine ideale Diebstahlvorsorge wäre

- die diebstahlhemmende Verschraubung der Module,
- abgelegene Anlagengebiete einzäunen und die Zufahrt blockieren sowie
- mit einer Meldeanlage überwachen bzw. durch automatisierte Fernabfrage kontrollieren.

Diebstahlsicherungen

Aufmerksamkeit für das Geschehen in der Nachbarschaft kann durch Nachfragen „Schein-Handwerker, die PV-Module zur Reparatur etc. abbauen“, entlarven. Besonders diebstahlgefährdet sind auch Photovoltaik-Module, die beim Lieferanten bzw. auf der Baustelle noch „schön verpackt“ auf Paletten bereitstehen.

Versicherer fordern für PV-Anlagen und Wechselrichter qualitätsvolle Sicherungsmaßnahmen, abgestimmt auf die entsprechende Gefährdung.

Aufdach-Anlagen können gesichert werden:

- Die relativ wartungsarmen PV-Anlagen können mit verschiedenen **mechanischen Sicherungen**, wie Schrauben und Klemmen 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.
- Zum Schutz vor Fehlerware haben namhafte Hersteller ihre Solarmodule mit unlösbaren **Seriennummern** versehen. Auch eine Kennzeichnung mit künstlicher DNA und dem Hinweis darauf kann Diebe abschrecken.



Freiflächenanlagen

Die meist abgelegeneren Freiflächenanlagen sind zur Versicherbarkeit gegen Diebstahl zu schützen durch:

- **Einzäunung:** Zur Diebstahl- und Vandalismusvorsorge ist eine Umzäunung der Anlage mit mindestens 2 m Höhe mit Übersteigschutz vorzunehmen.
- **Alarmanlagen:** Der Investitionsaufwand für PV-Anlagen rechtfertigt den Kostenumfang von Alarmanlagen. Wir beraten Sie dazu gerne: info@finanz-nsl.de

Tipp

Überwachen Sie regelmäßig den Ertrag Ihrer Photovoltaikanlage (auch automatisiert übers Internet). Ein Diebstahl aber auch Defekte fallen so schneller auf.

Da PV-Module ohnehin miteinander verschaltet sind, werden **elektronische „Anwesenheitskontrollen“** der einzelnen Module, z. B. im Rahmen einer „Objektüberwachungssoftware“, bereits angeboten. Auch Überwachungskameras bei Großanlagen sind empfehlenswert. Für die Versicherbarkeit von Freiflächenanlagen wird meist eine **Fernüberwachung** (idealerweise mit Kontaktgebern) verlangt, die einen Leistungsabfall oder eine Kabelabtrennung sofort alarmiert.

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

Bei der elektronischen Sicherung darf der dafür notwendige **Überspannungsschutz** nicht vergessen werden.

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



Überwachung

Der Betreiber muss ein Abnahme-/Installationsprotokoll vom Installateur verlangen, da ihm dieses Sicherheit zur Gewährleistung/Garantie (Produktgarantie; Leistungsgarantie) gibt und als Zertifikat für die Versicherung dient.

Die **Erst-Inbetriebnahme-Messung** mit einem hochwertigen Messgeräteaufbau einschließlich Temperatur- und Einstrahlungsmessung und Dokumentation der Leistungsdaten ist ein wichtiger Beleg zur Leistungsgarantie. So können mögliche Leistungsverluste gegen Ende der Garantiezeit durch eine zweite (Vergleichs-)Messung eindeutig nachgewiesen werden.

Der „Photovoltaik-Anlagenpass“, der vom BSW (Bundesverband Solarwirtschaft) und ZVEH (Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke) entwickelt wurde, wäre ideal. Mit diesem Anlagenpass (www.photovoltaik-anlagenpass.de) bestätigt der registrierte Handwerker/Installateur, dass er nach den Regeln der Technik gearbeitet hat und damit ein qualitativ hochwertiges Produkt dem Käufer übergibt.

Fehler, Störungen, Gefahren

PV-Anlagen sind relativ wartungsarm und arbeiten meist störungsfrei, wenn sie sorgfältig geplant und installiert sind und aus Qualitätskomponenten bestehen.

Auswertungen ergaben:

Die noch 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 und Klemmen, was jedoch bei qualitativ hochwertigeren Steckverbindungen als übliche Modulverbindung keine Probleme mehr machen sollte.

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),
- mit der Zeit Verfärbung beim Kunststoff durch Alterung (Browning-Effekt) wie auch Ablösung des Verkapselungskunststoffs von der Zelle (Delaminierung),
- Risse in den Glasoberflächen durch Spannungen.

Wartung und Prüfung

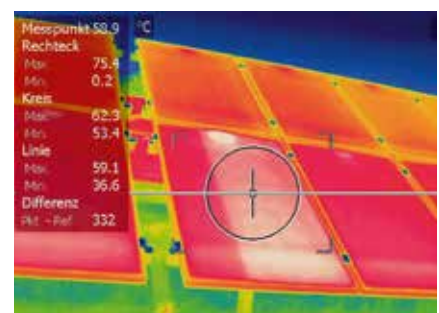
Für eine Wartung bzw. Vollinspektion einer PV-Anlage ist nach berufsgenossenschaftlicher Vorschrift (DGUV Vorschrift 3 (BGV A3), Tabelle 1A) für gewerbliche Anlagen eine **jährliche Inspektionspflicht** auf ordnungsgemäßen Zustand vorgegeben.

Ansonsten sind nur in größeren Zeitabständen Prüfungen erforderlich, da keine beweglichen Komponenten vorhanden sind (ausgenommen bei Nachführanlagen). Trotz des geringen Wartungsaufwandes sichern regelmäßige Sichtkontrollen und möglichst jährliche **Überprüfungsroutinen** den ausfallfreien Betrieb und die optimale Energieausbeute. Folgendes gilt zu beachten:

- Verschmutzung der Solarmodule bzw. Verschattung durch Fremdkörper beseitigen
- Prüfen auf Beschädigungen an Modulen, Tragegestellen oder der Verkabelung
- Überprüfung der Klemmen vor allem bei Alukabeln
- Überprüfen der Leistung der Anlage sowie gegebenenfalls einzelner Stränge mit geeigneten Messgeräten
- Untersuchung der Kabelkontakte und Verteilerdosen auf Korrosion
- Überspannungsableiter nach jedem Gewitter prüfen
- Überprüfen der Blitzschutzeinrichtung (eventuell Austausch der Varistoren)
- Isolationswiderstandsmessung bei Anlagen ab 50 kWp

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

Eine Inspektion mit einer Wärmebildkamera zeigt relativ einfach und effektiv thermische Problemstellen in PV-Modulen an Sicherungen, Klemmstellen



beim Bild – Defekte an Bypassdioden. Diese Überprüfung sollte zu einer verantwortlichen Jahresinspektion gehören. Vorgaben hierzu finden sich in DIN EN 62446, Anhang D.

Wichtige DIN-Normen und Sicherheitsvorschriften:

- DIN EN 62446 „Mindestanforderung an Systemdokumentation, Inbetriebnahme und wiederkehrende Prüfungen“
- DIN VDE 0100-600 „Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 6: Prüfungen“
- Unfallverhütungsvorschrift DGUV Vorschrift 3 „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel“



Ein Stück Sicherheit.

Versicherungskammer Bayern
Risk-Management
80530 München

www.versicherungskammer-bayern.de