

Planungsunterlagen Roto Sunroof/Roto Sundeck

Grundlagen, Systemübersicht, Systemtechnik,
Anlagenkomponenten, Auslegung



Einleitung

Die Sonne ist nicht nur Voraussetzung für die Existenz von Leben auf der Erde, sondern auch eine (quasi) unerschöpfliche und zudem kostenlose Energiequelle, die noch für etwa fünf Milliarden Jahre zur Verfügung stehen wird. Im Sonneninneren finden Kernfusionen statt, bei denen Wasserstoff in Helium umgewandelt wird. Dabei kommt es zur Abstrahlung von Energie, welche die Erde in Form von Licht und Wärme erreicht. Innerhalb von einer Stunde strahlt die Sonne mehr Energie auf die Erde ein, als die gesamte Weltbevölkerung in einem Jahr verbraucht.

Das solare Strahlungsangebot kann sowohl passiv als auch aktiv genutzt werden. Durch die passive Solarenergienutzung lässt sich der Wärme- und Kunstlichtbedarf eines Gebäudes reduzieren. Dies kann im Rahmen der Planung durch Südausrichtung des Gebäudes und eine entsprechende Gestaltung des Baukörpers sowie durch die Anordnung der verglasten Flächen erreicht werden. Fenster und Glasvorbauten, lichtlenkende Elemente, transparente Wärmedämmungen und thermische Speichermassen sind geeignete Bauelemente zur passiven Nutzung der Solarstrahlung.

Im Gegensatz dazu werden bei der aktiven Solarenergienutzung gezielt technische Hilfsmittel und Komponenten eingesetzt, wobei es grundsätzlich zwei verschiedene Systeme gibt. Bei solarthermischen Anlagen wird mit Hilfe von Kollektoren Wärme gewonnen, wohingegen die Module von Photovoltaikanlagen das Sonnenlicht direkt in elektrischen

Strom umwandeln. Mit derartigen Systemen zur aktiven Nutzung der Solarstrahlung sind auch in unseren Breiten durchaus beachtliche Energieerträge zu erzielen.

Solarenergie ersetzt konventionelle Energieträger wie Kohle, Öl und Gas und vermindert somit Umweltbelastungen z. B. durch CO₂-Emissionen, die den Treibhauseffekt verursachen; zudem ist die Solartechnik nicht mit den Risiken der Kernenergie behaftet. Begrenzt vorhandene fossile Ressourcen können durch Solarenergienutzung wirkungsvoll geschont werden, so dass sie auch zukünftig für andere Verwendungszwecke als den der bloßen Energiegewinnung durch Verbrennung zur Verfügung stehen. Im Vergleich zur konventionellen Energieerzeugung entfallen bei der Solartechnik auch die Kosten, Risiken und Verluste von Transport und Verteilung, da die dezentral solarerzeugte Energie unmittelbar vor Ort genutzt werden kann.

Solaranlagen haben ein erhebliches Marktpotential: Allein auf den in Deutschland zur Verfügung stehenden Dachflächen könnten mehrere Millionen Solarsysteme installiert werden. Für die Nutzung von Solarenergie eignen sich insbesondere geneigte Dachflächen, wobei das Dach dann nicht mehr nur die Funktion des Witterungsschutzes übernimmt, sondern gleichzeitig der umweltfreundlichen Energieerzeugung dient.

Roto bietet neben den bekannten Wohndachfenstern auch innovative Solarsysteme an. Das Roto Sunroof ist ein Solarsystem zur Integration

in das Dach. Durch ein einheitliches Rastermaß der Funktionselemente wie Photovoltaik-Module, Solar Kollektoren und Wohndachfenster entsteht eine optisch ansprechende Einheit am Dach. Das Energiedach Sunroof ersetzt das herkömmliche Ziegeldach mit reiner Schutzfunktion und wird zum attraktiven Nutzdach.

Mit dem Roto Sundeck bietet Roto auch ein Photovoltaiksystem zur Aufdachmontage an. Die Photovoltaik-Module werden bei dieser Montageart mit sog. Dachhaken und Schienen über der Dacheindeckung installiert. Die Dacheindeckung behält ihre originäre Schutzfunktion u.a. als wasserführende Ebene. Neben den Photovoltaik-Modulen liefert Roto alle wichtigen Komponenten und damit die jeweilige Solarstromanlage maßgeschneidert aus einer Hand. Roto bietet bei allen Komponenten Premiumqualität „made in Germany“. Dadurch kann ein Höchstmaß an technischer und wirtschaftlicher Sicherheit gewährleistet werden.



	Solarstrahlung	1.1	Begriffsdefinitionen und Einheiten	4
		1.2	Standortabhängigkeit der Einstrahlung	
		1.3	Einfluss von Neigung und Ausrichtung	5
		1.4	Vermeidung von Verschattungen	6
		<hr/>		
	Systemübersicht und Anwendungs- beispiele	2.1	Anlagen zur aktiven Solarenergienutzung	8
		2.2	Photovoltaische Solaranlagen	9
		2.3	Installationsmöglichkeiten für gebäudegestützte Solaranlagen	11
		<hr/>		
	Solarsystem Roto	3.1	Roto Sunroof Photovoltaik	16
		3.2	Dachintegration	18
		3.3	Roto Sundeck Photovoltaik	20
		3.4	Aufdachmontage	21
		<hr/>		
	Systemtechnik und Anlagen- komponenten	4.1	Systemtechnik	22
		4.2	Grundsätzlicher Systemaufbau	23
		4.3	Photovoltaik-Module	24
		4.4	Wechselrichter für netzgekoppelte PV-Anlagen	30
		4.5	Netzanschluss	33
		<hr/>		
	Basisregeln zur Auslegung einer Photovoltaikanlage	5.1	Dimensionierung	36
		5.2	Planungsschritte	37
		5.3	Simulationsprogramme	38
		5.4	Abschätzung des Energieertrags	
		5.5	Baugenehmigung	39
		5.6	Eckdaten und Faustregeln	40
		<hr/>		
	Anhang	6.1	Fachzeitschriften	41
		6.2	Ausgewählte Internetadressen	
		6.3	Glossar	42
		<hr/>		

1 Solarstrahlung

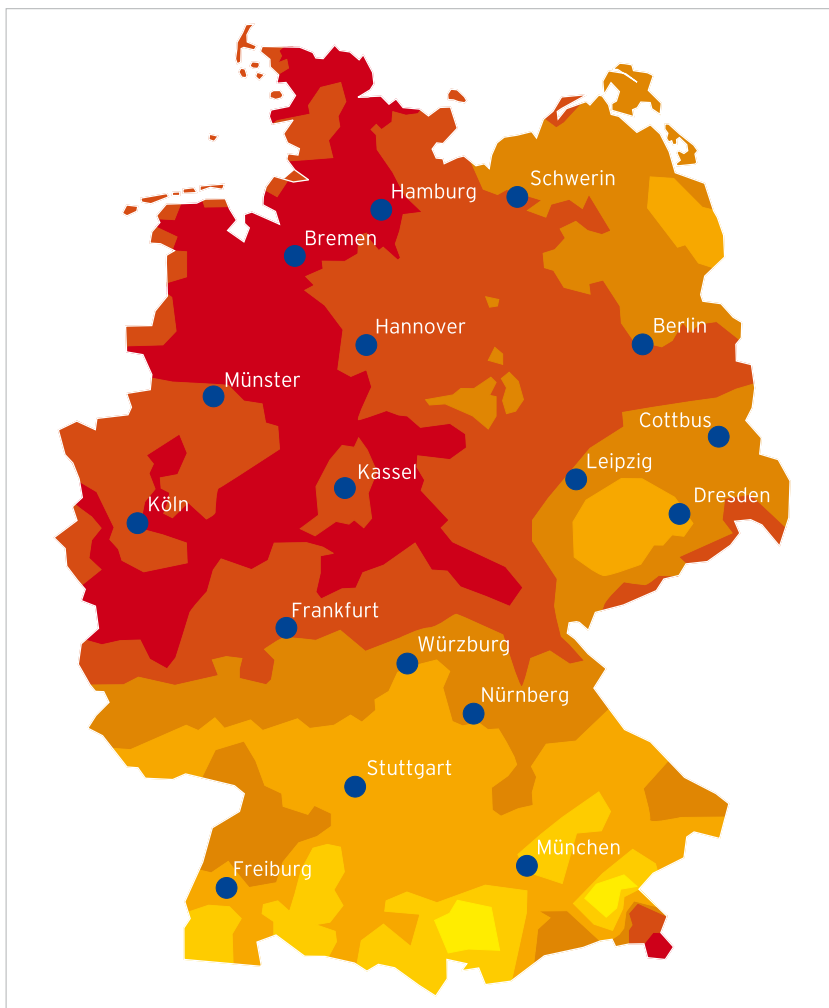
1.1 Begriffsdefinitionen und Einheiten

Die gesamte, auf eine horizontale oder geneigte Fläche auftreffende terrestrische Solarstrahlung bezeichnet man allgemein als Globalstrahlung. Bezüglich einer horizontalen Fläche ist die Globalstrahlung die Summe aus direkter Sonnenstrahlung und diffuser Himmelsstrahlung; eine gegenüber der Horizontalen geneigte Fläche empfängt zudem noch die vom Erdboden reflektierte Solarstrahlung.

Die flächenspezifische Leistung der Solarstrahlung wird als Bestrahlungsstärke bezeichnet und in Watt pro Quadratmeter (W/m^2) angegeben. Werden die Momentanwerte der Bestrahlungsstärke über einen bestimmten Zeitraum aufsummiert, ergibt sich die flächenbezogene Energie der Solarstrahlung. Diese Größe wird Einstrahlung genannt, in Kilowattstunde pro Quadratmeter (kWh/m^2) gemessen und üblicher

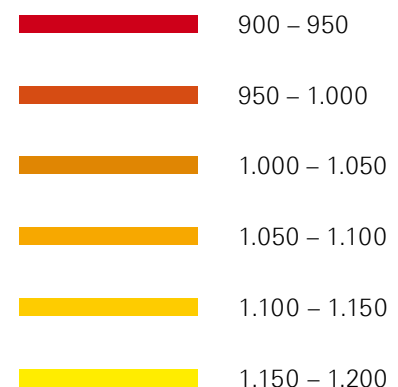
weise als Tages-, Monats- oder Jahressumme angegeben. Die Globalbestrahlungsstärke auf die Horizontale und die zugehörigen Einstrahlungssummen ermöglichen den Vergleich verschiedener Anlagenstandorte aus meteorologischer Sicht. Hiervon zu unterscheiden sind die zur Beurteilung von Solaranlagen wichtigen Größen Bestrahlungsstärke und Einstrahlung in Modul- bzw. Kollektorebene.

1.2 Standortabhängigkeit der Einstrahlung



Die Summe der jährlichen Sonneneinstrahlung auf eine horizontale Fläche beträgt in Deutschland im Mittel etwa $1.000 kWh/m^2$, wobei regionale Abweichungen von bis zu 20% auftreten können. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die solare Einstrahlung in Süddeutschland um 10 – 20% höher ausfällt.

Jährliche mittlere Einstrahlung auf die Horizontale in kWh/m^2



Sonneneinstrahlung in verschiedenen Regionen Deutschlands (Quelle: DWD/Solarpraxis)



Die Karte auf Seite 6 zeigt eine Strahlungskarte mit mittleren Jahressummen der Solarstrahlung auf die Horizontale in Deutschland. Die Werte reichen von ca. 900 kWh/m² Jahr (z.B. im Harz) bis über 1.150 kWh/m² Jahr (z.B. im Allgäu), wobei die Jahressumme für eine

bestimmte Region leicht anhand der Farbgebung ermittelt werden kann. Auch wenn das Wetter im Jahresvergleich subjektiv betrachtet unterschiedlich gut erscheint, betragen die Abweichungen in der Einstrahlung gegenüber dem relativ konstanten langjährigen Mittel nur

etwa $\pm 10\%$. Mit Hilfe der Strahlungskarte, die auf langjährigen Messungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) basiert, können das Potential der Sonnenenergie und die möglichen Energieerträge von Solaranlagen für verschiedene Standorte abgeschätzt werden.

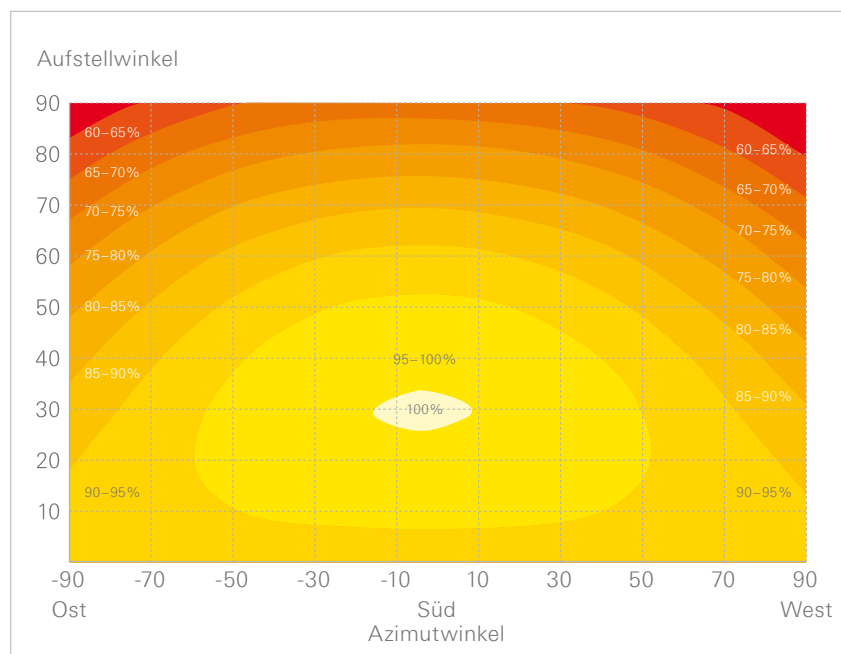
1.3 Einfluss von Neigung und Ausrichtung

Die solare Einstrahlungssumme ist von der Neigung und der azimuthalen Orientierung der Empfangsfläche abhängig. Die maximale Einstrahlung ergibt sich bei einer kontinuierlich der Sonne nachgeführten Solaranlage, die zu jedem Zeitpunkt senkrecht von der Sonne beschienen werden kann. Bei vorgegebenen Flächen wie z. B. Hausdächern variiert der Einfallswinkel der Solarstrahlung ständig, da sich der Sonnenstand (Azimut und Höhenwinkel) im Laufe eines Tages und auch während des Jahres fortlaufend ändert. Um bestehende Flächen bezüglich ihrer Eignung für solare Nutzung zu überprüfen, ist eine Betrachtung des jährlichen Strahlungsangebots hilfreich. Die Abbildung zeigt die relative Jahreseinstrahlung in Abhängigkeit vom Neigungs- und Azimutwinkel der Empfangsfläche.

Die maximale jährliche Einstrahlung ergibt sich in Deutschland für Solaranlagen, die nach Süden ausgerichtet und mit einem Neigungswinkel von rund 30° installiert sind. Bei dieser Ausrichtung ist die solare Einstrahlung etwa 10% höher als bei einer horizontalen Fläche (mit einem Neigungswinkel von 0°). Die Installation von Solaranlagen

auf Schrägdächern mit einer vom Optimum abweichenden Orientierung führt aufgrund der geringeren Einstrahlung zu niedrigeren Erträgen. Dennoch gelten alle Dächer mit Ausrichtungen, die innerhalb der 95%-Markierung liegen, als akzeptabel für die Errichtung einer Solaranlage, da der Minderertrag aufgrund der Abweichung von der optimalen Ausrichtung lediglich 5% betragen wird. Dementsprechend

gibt es ein verhältnismäßig großes Spektrum an Installationsmöglichkeiten, da dieser Bereich alle Flächenorientierungen zwischen Südost (-45°) und Südwest (+45°) und Neigungen zwischen etwa 10° und 50° umfasst. Auch bei stärker von der idealen Lage abweichenden Dächern ist eine solare Nutzung grundsätzlich möglich, wobei dann aber mit entsprechend geringeren Erträgen zu rechnen ist.



Solarertrag in Abhängigkeit von Neigung und Ausrichtung (Quelle: DGS/Solarpraxis)

1.4 Vermeidung von Verschattungen

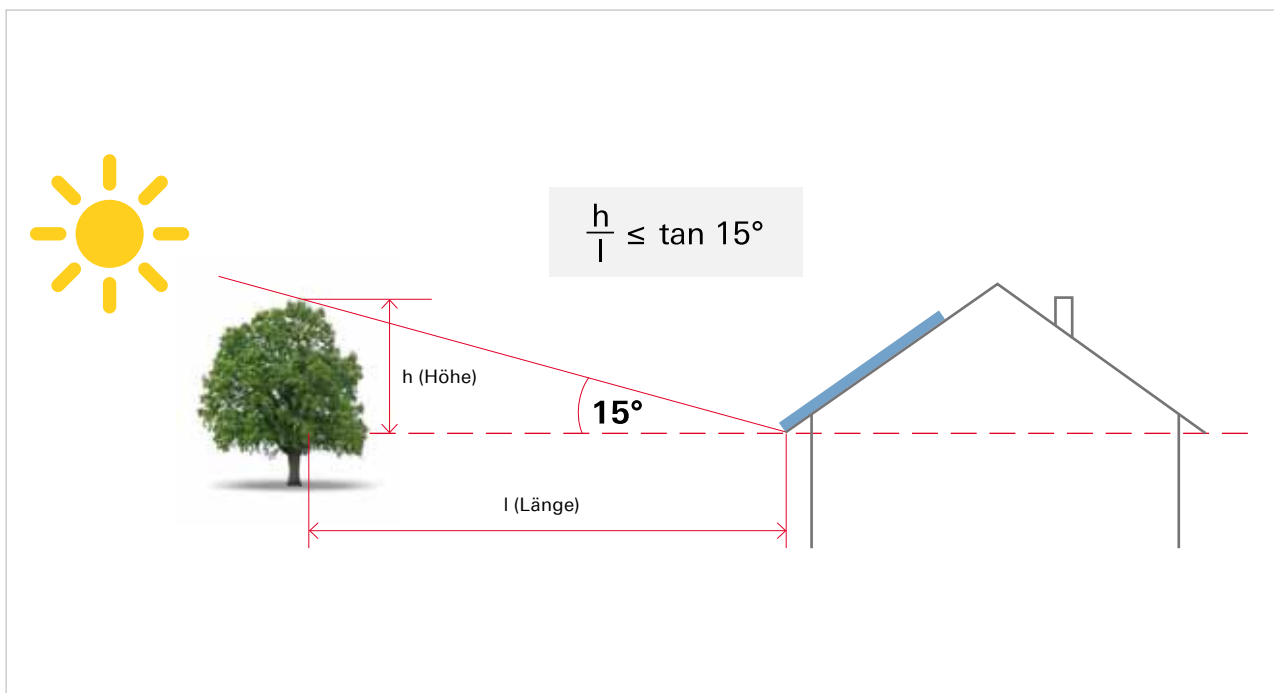
Verschattungen von Solaranlagen bewirken Einstrahlungs- und damit Ertragseinbußen und sollten daher möglichst vermieden werden.

Bei dachintegrierten Solarsystemen ergeben sich jedoch mitunter typische Verschattungssituationen, die z. B. durch Gauben, Schornsteine oder Sanitärentlüfter sowie durch Nachbargebäude verursacht sein können. Häufig wird auch der Einfluss von Bäumen unterschätzt bzw. deren Wachstum nicht in ausreichendem Maße bedacht. Eine am vorgesehenen Installationsort ggf. vorliegende Verschattungssituation kann z. B. mittels einer Fotografie mit einem Fischaugenobjektiv, das

den gesamten Halbraum vor der Kamera aufnimmt, oder mit Hilfe eines so genannten Sonnenbahn-analysators beurteilt werden.

Mit einem derartigen Gerät lässt sich vom Standpunkt der geplanten Solaranlage aus für die verschiedenen Jahreszeiten ermitteln, zu welchen Tageszeiten die Sonnenbahn durch verschattende Objekte verdeckt wird. Die Kenntnis einer konkreten Verschattung der Solaranlage erlaubt allerdings keine Aussage über die Höhe der zu erwartenden Energieeinbuße. Eine entsprechende Ertragsprognose erfordert den Einsatz von geeigneten Simulations-

programmen. Eine Faustregel zur Reduzierung von Verschattungsverlusten besagt, dass die Solaranlage am Tag der Wintersonnenwende (21. Dezember) zur Mittagszeit nicht verschattet sein sollte. Dies bedeutet in unseren Breiten, dass bei einem Sonnenhöhenwinkel von mehr als 15° keine Verschattung an einer nach Süden ausgerichteten Solaranlage auftreten soll. Für das Verhältnis aus Höhe h des Schatten werfenden Objekts und Abstand l zwischen Objekt und Unterkante der Solaranlage (minimaler Abstand entspricht maximaler Schattenlänge) muss daher die in der Abbildung dargestellte Beziehung gelten.



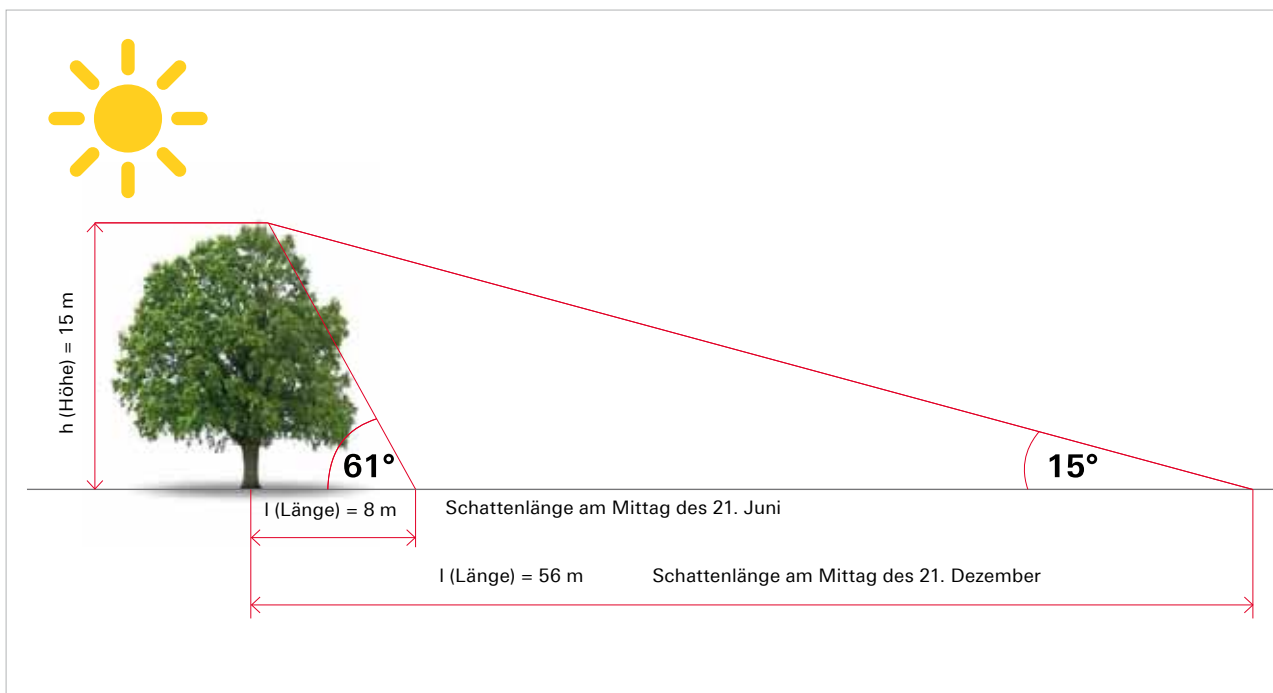
Faustregel zur Reduzierung von Verschattungsverlusten (Quelle: target GmbH)



Im Falle von Photovoltaikanlagen kann bereits eine Teilverschattung des Generators erhebliche Ertragsminderungen verursachen, da bei einer Reihenverschattung das am geringsten bestrahlte PV-Element die Leistung des gesamten Strangs bestimmt. Daher führt bereits die Verschattung eines kleinen Teils des PV-Generators zu einer erheblichen Einbuße an elektrischer Energie, obwohl die verschattete Fläche nur einen geringen Prozentsatz der gesamten Generatorfläche ausmacht. Bei unvermeidbarer Verschattung kann die dadurch bedingte Ertragsminderung durch eine angepasste Strangverschaltung bzw. ein geeig-

netes Systemkonzept zur Energieaufbereitung reduziert werden.

Weiterhin ist zu beachten, dass einzelne verschattete Solarzellen innerhalb eines ansonsten bestrahlten PV-Moduls quasi zu elektrischen Verbrauchern werden und sich dadurch aufheizen können („Hot-Spot-Effekt“). Diese Erwärmung kann bei ungünstigen Betriebsbedingungen soweit führen, dass der Modulverbund und/oder die Zelle irreversibel thermisch geschädigt werden, was durch so genannte Bypass-Dioden zu verhindern ist, die in der Regel in der Modulanschlussdose integriert sind.



Schattenwurf eines Objekts am Beispiel eines Baums (Quelle: target GmbH)

2 Systemübersicht und Anwendungsbeispiele

2.1 Anlagen zur aktiven Solarenergienutzung

Solaranlagen werden eingesetzt, um konventionell erzeugte Energie einzusparen und die bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehenden CO₂-Emissionen zu reduzieren. Die solar erzeugte Energie wird in der Regel herkömmlichen Energiesystemen zur Verfügung gestellt, d. h. es gibt eine Schnittstelle zwischen der Solaranlage und dem bekannten Versorgungsnetz.

Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) erzeugen elektrische Energie und speisen diese in der Regel in das vorhandene Wechselspannungsnetz ein (netzgekoppelte PV-Anlagen);

bei einigen Anwendungen wird die Energie auch direkt einem Verbraucher bzw. einem Speicher zur Verfügung gestellt (autonome PV-Anlagen).

Im Allgemeinen kann unterschieden werden zwischen dem eigentlichen Solarsystem, der Schnittstelle und dem konventionellen System, in das die solar erzeugte Energie eingespeist wird. Über die Schnittstelle werden Solaranlagen dem konventionellen System vorgeschaltet, welches deswegen in der Regel nicht anders zu bemessen ist bzw. ohne Veränderungen beibehalten werden kann.

In den vergangenen Jahren sind für nahezu jede Anwendung ausgereifte Standardlösungen für Solaranlagen und Schnittstellen zur konventionellen Technik erarbeitet worden. Trotz der Vielfalt der angebotenen Produkte und Systeme lassen sich für jede Anwendung Funktionsweise und Baugruppen vereinfacht darstellen.

Das eigentliche Solarsystem setzt sich aus mehreren Komponenten bzw. Baugruppen zusammen:

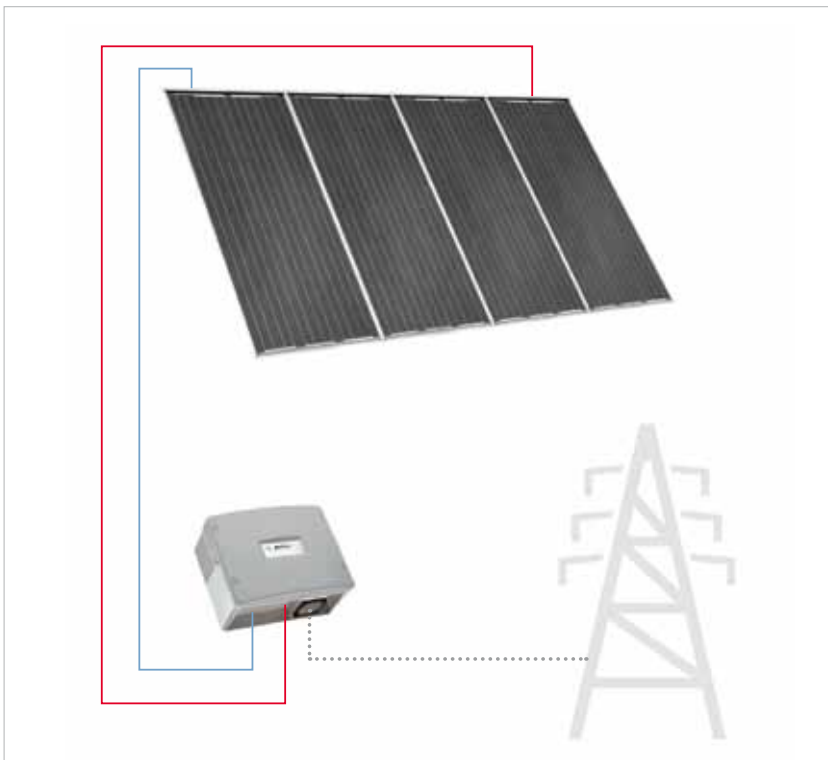
■ PV-Module

Diese Bauteile wandeln die dargebotene Solarenergie in Gleichstrom um. Sie werden auf geeigneten ausgerichtet Flächen montiert, d. h. für die Installation einer Solaranlage ergibt sich ein bestimmter Flächenbedarf

■ Verschaltung und Energiebereitstellung

Die hierunter fallenden Komponenten und Baugruppen transportieren und sammeln die in den Wandlern erzeugte Energie und stellen sie in geeigneter Form für die Schnittstelle bereit. Dazu gehören auch Sicherheitseinrichtungen zum Schutz der Solaranlage und zur Vermeidung von Gefährdungen bei von außen einwirkenden Störungen des Betriebszustands.

Die Schnittstelle zum konventionellen System speist die solar erzeugte elektrische Energie in das herkömmliche Wechselspannungsnetz ein.



Systempaket Photovoltaik Komponenten zur Solarstromerzeugung



Wohnhaus in Vechta

Solaranlage 19,2 m² zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung in Kombination mit 5,7 kWp Photovoltaik

2.2 Photovoltaische Solaranlagen

Die Photovoltaik (PV) beschreibt den physikalischen Vorgang der direkten Umwandlung von Licht bzw. Solarstrahlung in elektrische Leistung. Der photovoltaische Effekt lässt sich mit Solarzellen nutzen, die u.a. aus bestimmten Halbleitermaterialien hergestellt sind. Das bekannteste und am häufigsten verwendete Material ist Silizium. PV-Module enthalten eine bestimmte Anzahl elektrisch verschalteter Solarzellen und bilden die Grundeinheit jeder Photovoltaikanlage.

Aufgrund der tages- und jahreszeitlichen Schwankungen des solaren Strahlungsangebots ist es erforderlich, die von den PV-Modulen erzeugte Energie in geeigneter Weise zu speichern, um die Versorgungssicherheit der angeschlossenen elektrischen Verbraucher zu gewährleisten. PV-Anlagen lassen sich grundsätzlich in netzgekoppelte

und autonome Anlagen einteilen, die deutliche Unterschiede bezüglich der Anwendungsbereiche und der Systemtechnik aufweisen. Photovoltaisch versorgte Kleingeräte wie PV-Leuchten, Teichpumpen, Taschenrechner, Uhren usw. können den autonomen Anlagen zugerechnet werden. Bei diesen Anwendungen ist oftmals ein kleines Modul (bzw. eine Solarzelle) in das Gerätegehäuse integriert.

Netzgekoppelte PV-Anlagen

Netzgekoppelte Photovoltaikanlagen machen den deutlich überwiegenen Anteil der in Deutschland installierten Solarstromanlagen aus. Das wesentliche Merkmal dieser PV-Systeme ist ihre Anbindung an das öffentliche Stromversorgungsnetz, das quasi die Funktion eines unbegrenzten Speichers übernimmt. Autonome PV-Anlagen werden dagegen auch als Inselanlagen

bezeichnet, da sie keine Verbindung zum Stromnetz haben. Netzgekoppelte PV-Anlagen bzw. genauer PV-Anlagen im Netzparallelbetrieb lassen sich überall dort einsetzen, wo ein öffentliches Stromversorgungsnetz existiert.

Der Netzparallelbetrieb besitzt den Vorteil, dass die photovoltaisch erzeugte Energie vollständig genutzt bzw. eingespeist werden kann. Gleichzeitig herrscht Versorgungssicherheit, weil bei nicht ausreichender oder nachts nicht vorhandener PV-Erzeugung der Energiebedarf vom Netz bezogen wird. Seit der Einführung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) und der damit verbundenen Mindestvergütung für sowohl photovoltaisch erzeugten Strom, der in das öffentliche Stromversorgungsnetz eingespeist wird, als auch für photovoltaisch erzeugten Strom, der selbst genutzt wird,

ist eine PV-Anlage wirtschaftlich zu betreiben. Bei stetig steigenden Strompreisen kann der Eigenverbrauch des erzeugten Stroms wirtschaftlich lukrativer sein als die Einspeisung in das Stromnetz

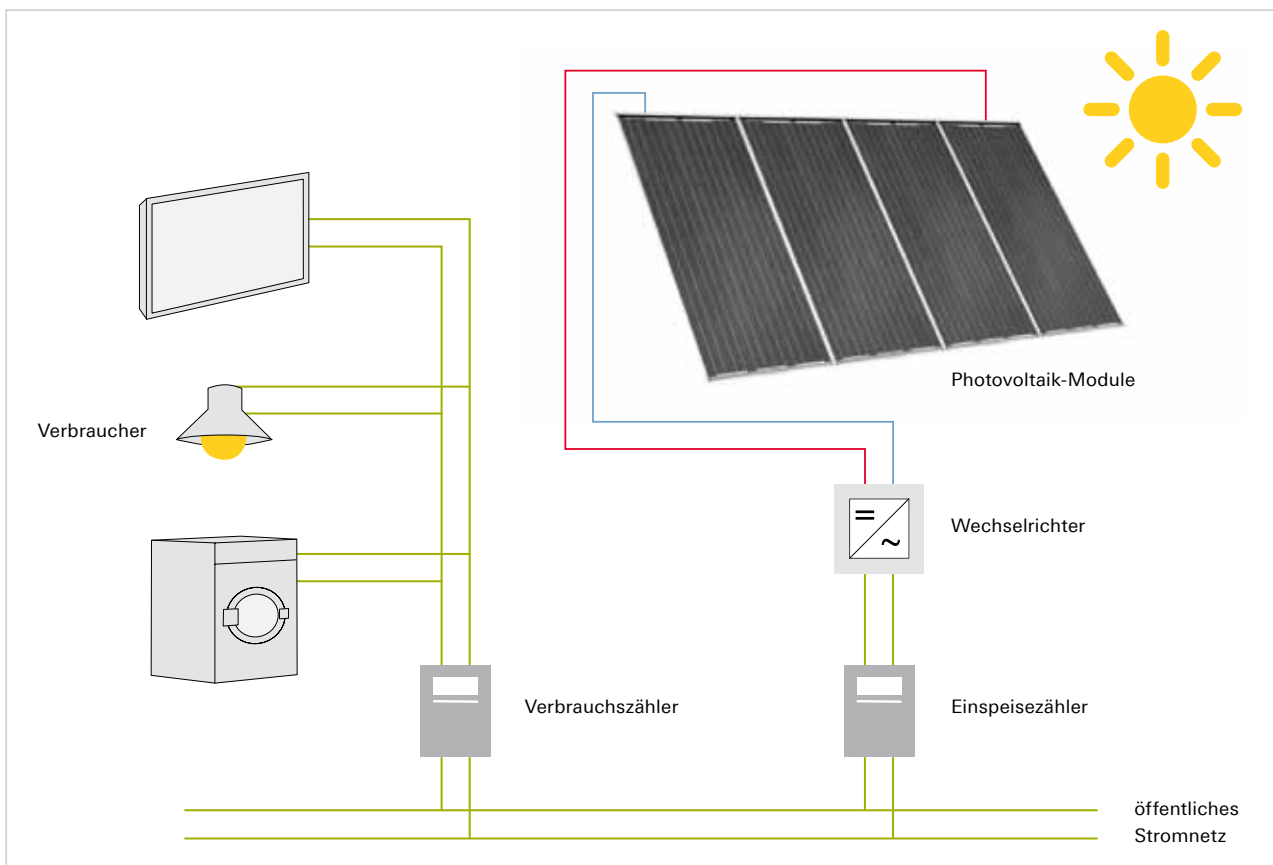
Netzgekoppelte PV-Anlagen bestehen im Wesentlichen aus den folgenden Komponenten:

- PV-Module
- Anschlussleitungen
- Wechselrichter

Das Herzstück der Solaranlage sind die Photovoltaik-Module, die die auftreffende Solarstrahlung in Gleichstrom umwandeln. Um die für den

Wechselrichter erforderliche Systemspannung zu erhalten, werden mehrere PV-Module mittels Modulanschlussleitungen in Reihe zu so genannten Strängen verschaltet. Bei Verwendung eines (großen) Zentralwechselrichters erfolgt eine Parallelschaltung der Stränge zum PV-Generator im Generatoranschlusskasten, in dem sich auch Schutzeinrichtungen befinden. Wenn die photovoltaisch erzeugte Energie mit Strangwechselrichtern aufbereitet wird, ergeben sich einfachere Anlagenkonfigurationen, da der Generatoranschlusskasten entfallen kann. Der PV-Generator bzw. dessen einzelne Stränge sind über Gleichstromleitungen mit dem Wechselrichter verbunden. Die konkrete Ausführung der Verschaltung ist vom jeweiligen Wechselrichtertyp bzw.

vom gewählten Systemkonzept für die Energieaufbereitung abhängig. Die Hauptaufgabe des Wechselrichters besteht darin, die von den Solarmodulen gelieferte Gleichspannung in eine netzkonforme Wechselspannung umzuwandeln. Eine eingebaute Regelung zur maximalen Leistungsauskopplung soll dafür sorgen, dass die an den Wechselrichter angeschlossenen PV-Module im Punkt maximaler Leistung betrieben werden, der mit den Einstrahlungs- und Temperaturverhältnissen variiert. Die erforderliche Netzüberwachung, die im Falle einer Netzabschaltung – bspw. wegen Wartungsarbeiten – eine Einspeisung durch Trennung des Wechselrichters vom Netz verhindert, ist üblicherweise ebenfalls im Wechselrichter integriert.



Prinzipielles Schema einer netzgekoppelten PV-Anlage



Autonome PV-Anlagen

Autonome PV-Systeme (Inselanlagen) haben keine Verbindung zum öffentlichen Stromversorgungsnetz. Dem entsprechend muss die benötigte elektrische Energie vollständig vom PV-Generator erzeugt werden, wobei die Versorgungssicherheit in der Regel durch einen Akkumulator als Energiespeicher für einstrahlungsschwache Zeiten gewährleistet wird. Direkt gekoppelte Systeme wie z. B. photovoltaisch versorgte Wasserpumpen sind jedoch unmittelbar vom Strahlungsangebot abhängig. Die Einsatzmöglichkeiten autonomer PV-Systeme reichen von Kleinanwendungen (Armbanduhren, Taschenrechner) über Parkscheinautomaten bis hin zur Versorgung von netzfernen Almhütten. Oftmals gewinnen

autonom photovoltaisch betriebene Geräte sogar an Funktionalität und Qualität. So sind z. B. netzstromversorgte Signalanlagen im Verkehrswesen weitgehend unverrückbar, wohingegen eine autonome PV-Anlage die erforderliche Flexibilität bei geänderter Verkehrsführung oder Baumaßnahmen mit sich bringt.

Gerade im Verkehrsbereich gibt es vielfältige Anwendungen, für die eine Stromversorgung mit einer autonomen PV-Anlage in Frage kommt. Neben den bereits erwähnten Parkscheinautomaten und Signalanlagen sind dies z. B. Haltestellen- und Fahrplanbeleuchtungen, Notrufsäulen, Verkehrserfassungen, ereignisorientierte Stauwarnungen und Verkehrsinformationen sowie Leit- und Navi-

gationssysteme. Weiterhin gibt es viele Anwendungen, die weit abgelegen und daher ggf. nur schwer zu erreichen sind, so dass beispielsweise der Austausch des Akkumulators einer konventionellen Energieversorgung mit viel Aufwand und demzufolge Kosten verbunden ist. Auch hier bietet sich die zuverlässige und wartungsarme Stromversorgung mittels einer autonomen PV-Anlage an. Derartige Anwendungsfälle können z. B. Umweltmess-Stationen sein, aber auch Leuchttürme, Bojen, Pegel u. ä. Die Kosten für eine autonome PV-Anlage sind bei vielen Anwendungen geringer als die erforderlichen Investitionen für die Bereitstellung eines Netzanschlusses oder die Versorgung mit anderen konventionellen Energietechniken.

2.3 Installationsmöglichkeiten für gebäudegestützte Solaranlagen

Prinzipiell ist die aktive Solarenergienutzung überall dort möglich, wo Sonneneinstrahlung in ausreichendem Maße zur Verfügung steht. Im Vergleich zu Freiflächenanlagen bietet die gebäudegestützte Installation von Solarsystemen den Vorteil, dass vorhandene Flächen mehrfach genutzt werden können. Gebäudeintegrierte Solaranlagen zeichnen sich zudem dadurch aus, dass keine zusätzliche Infrastruktur für die Abführung der Energie erforderlich ist und Kosten für eine Unterkonstruktion ganz oder teilweise eingespart werden können.

Bei gebäudegestützten Solaranlagen kann grundsätzlich unterschieden werden zwischen aufgestän-

derten und in die Gebäudehülle integrierten Elementen. Nachträglich installierte Solaranlagen in Form einer Flachdachaufständerung oder Aufdachmontage auf Schrägdächern benötigen zusätzliche Unterkonstruktionen. Derartigen Anlagen sind aufgrund des günstigeren Systempreises gegenüber dachintegrierten Anlagen meist auf großen Dachflächen zu finden. Die ästhetischen Ansprüche werden ganz klar den wirtschaftlichen Interessen untergeordnet.

Gebäudeintegrierte Solaranlagen bieten demgegenüber den Architekten innovative Gestaltungsmöglichkeiten für „intelligente“ Gebäudehüllen. Dafür muss aber das

Dach optimal ausgerichtet sein. Die Solarelemente zeichnen sich zudem durch ihre Multifunktionalität aus, da sie neben der umweltfreundlichen elektrischen oder thermischen Energiegewinnung weitere Aufgaben wie den Witterungsschutz oder die Wärmedämmung des Gebäudes übernehmen. Durch die Integration werden herkömmliche Bauelemente der Gebäudehülle substituiert, so dass deren Kosten bei den Investitionen für die Solaranlage gutgeschrieben werden können.

PV-Module und Kollektoren haben sich in den letzten Jahren zu einer echten Alternative zu konventionellen Bauelementen der Gebäudehülle entwickelt. Mittlerweile gibt es zahlreiche Möglichkeiten der Gebäudeintegration von Solarelementen, wobei sich sowohl zusammenhängende, großformatige Flächen als auch einzelne, kleinere Segmente realisieren lassen. Die Installation von photovoltaischen und solarthermischen Anlagen sollte nicht nur beim Neubau von Gebäuden in Betracht gezogen werden, sondern auch bei Sanierungsmaßnahmen im Bestand. Bei der Installation von gebäudegestützten Solaranlagen ist zudem die Außenwirkung des Gesamtobjektes zu berücksichtigen, um letztendlich auch die Möglichkeiten und Vorzüge dieser umweltfreundlichen Technologie zu demonstrieren. Gut gelungene Solaranlagen können eine Vorbildfunktion für andere Gebäude bzw. Objekte mit ähnlicher Nutzung aufweisen.

Die Integration von Solarelementen in die Gebäudehülle kann unter drei Gesichtspunkten betrachtet werden:

■ Architektonische Integration

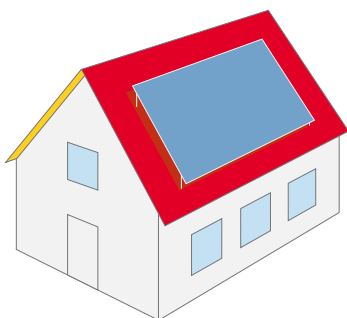
Die Solarelemente sind Teil der architektonischen Gebäudegestaltung und werden bezüglich Abmessungen (Gebäuderaster), Struktur und Farbe an das Bauwerk angepasst. Die solare Belegungsfläche weist einen bestimmten Bezug zur Gesamtfläche von Dach oder Fassade auf. Die Möglichkeiten reichen von zusammenhängenden, großformatigen Flächen über die Belegung von einzelnen Abschnitten (wie Brüstungen, Attiken, Treppenhausverkleidungen etc.) bis hin zur Nutzung von kleinflächigen Segmenten.

■ Funktionale Integration

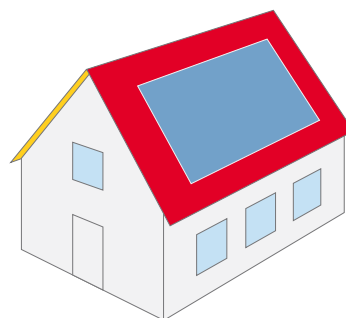
Die Solarelemente übernehmen neben der Energieerzeugung weitere Funktionen wie den Witterungsschutz des Baukörpers (Dachintegration, Kaltfassade, Vordach usw.) oder die Wärmedämmung des Gebäudes (Warmfassade, Oberlichter etc.). Weitere Funktionen können z. B. Sonnenschutz und Schallschutz für die Innenräume sein. Mit semitransparenten PV-Modulen, die auch im Isolierglasverbund ausgeführt sein können, ist zudem eine Tageslichtnutzung möglich.

■ Bautechnische Integration

Bei einigen Einbauarten müssen die Solarelemente bestimmte Anforderungen erfüllen und daher entsprechend spezifiziert sein. Beispielsweise sind bei vertikalen Fassaden und bei im Überkopfbereich installierten PV-Modulen die technischen Regeln des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) zu beachten, wonach in Abhängigkeit von der Lage einer Verglasung (linienförmig oder punktförmig) nur bestimmte Glaserzeugnisse wie z. B. Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG) oder Verbund-Sicherheitsglas (VSG) verwendet werden dürfen – für den Nachweis der Verwendbarkeit ist ggf. auch eine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich. Solarelemente, die die Funktion einer Wärmedämmung übernehmen, sollen einen möglichst kleinen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) aufweisen. Die Befestigung bzw. Unterkonstruktion der Solarelemente muss ebenfalls bestimmten Anforderungen genügen und ist daher für den jeweiligen Anwendungsfall geeignet auszuführen (Korrosionsbeständigkeit, mechanische Beanspruchung durch Wind- und Schneelasten usw.).



Aufdachmontage



Dachintegration



Fassadenintegration

Installationsmöglichkeiten für gebäudegestützte Solaranlagen (Quelle: Institut für Solarenergieforschung)



Bei der konventionellen Dachmontage von Solaranlagen kann unterschieden werden zwischen der Aufdachmontage auf Schrägdächern und der Flachdachaufständerung. Flachdächer lassen dem Planer einer Anlage gewisse Freiheiten bezüglich einer möglichst optimalen Ausrichtung und Anordnung der Solarelemente, wohingegen schräge Dächer die Neigung und Orientierung vorgeben. Bei anstehenden Sanierungsmaßnahmen im Bestand und bei Neubauten, die höheren ästhetischen Ansprüchen gerecht werden sollen als Gebäude mit nachträglich installierten Solaranlagen, ist eine Integration der Solarelemente in die Dachhaut anzustreben. Bei Neubauten können zudem für den Anlagenertrag relevante Kriterien wie günstige Neigung und Orientierung der Dachfläche bereits im Planungsstadium des Gebäudes berücksichtigt werden.

Eignung der Installationsflächen

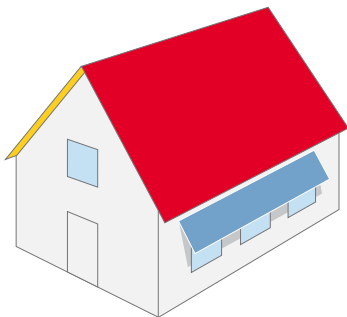
Die Voraussetzung für einen maximalen solaren Energieertrag ist die größtmögliche Einstrahlung an Sonnenlicht. Die Quantität der solaren Einstrahlung ist daher (neben der Gebäudegestaltung) das entschei-

dende Kriterium bei der Auswahl der zu belegenden Flächen. Die Solarelemente sind so anzuordnen, dass sie nicht verschattet werden und annähernd nach Süden ausgerichtet sind, wobei Abweichungen von bis zu $\pm 45^\circ$ aus der exakten Südrichtung unkritisch sind. Größere Abweichungen können für sehr flach liegende Solarelemente (Neigungswinkel kleiner 15°) toleriert werden, bei steiler angestellten PV-Modulen bzw. Kollektoren ergeben sich stärkere Ertragsminderungen. Eine vertikale Südfassade empfängt etwa 70 % der solaren Einstrahlung einer optimal ausgerichteten Fläche.

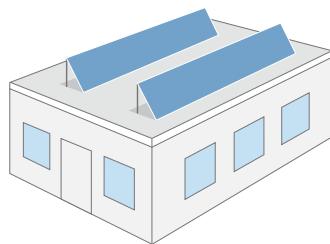
„Nicht verschattet“ heißt, dass die Konturen der Nachbargebäude bzw. der umgebenden Landschaft nicht mehr als 15° über dem von der Solaranlage aus gesehenen Horizont liegen (vgl. Abb. auf Seite 6). Verschattende Konturen, die am Rand des „Sichtbereichs“ liegen (mehr als $\pm 70^\circ$ außerhalb der Südrichtung), können weit (bis zu 45°) über dem Horizont liegen, ohne dass eine wesentliche Ertragsminderung eintritt. Bei PV-Anlagen ist jedoch zu berücksichtigen, dass

Teilverschattungen der Generatorfläche mit überproportionalen Energieeinbußen verbunden sind und daher grundsätzlich vermieden werden sollten. Insbesondere kleinflächige Verschattungen einzelner Solarzellen können zu dem so genannten „Hot-Spot-Effekt“ führen und sind daher möglichst zu vermeiden. Insgesamt sind die Bedingungen für Südausrichtung und (in gewissen Grenzen) für Verschattungsfreiheit jedoch verhältnismäßig „weich“ und bieten ein großes Spektrum von Möglichkeiten.

Die Installationsfläche muss zudem statisch geeignet sein, um die Solarelemente aufzunehmen. Bei Schrägdächern mit Ziegeleindeckung kann diese Anforderung in der Regel einfach erfüllt werden, da die Flächenlasten von PV-Modulen und Kollektoren meist unter denen der Eindeckung liegen. Bei Flachdächern, auf denen die Solarelemente aufgeständert und die Unterkonstruktionen beschwert werden, muss ein statischer Nachweis – sowohl für die Unterkonstruktion als auch für das Dach – geführt werden.



Sonnenschutzelemente



Flachdachaufständerung



Einfamilienhaus in Bad Mergentheim Dachintegrierte Photovoltaik-Anlage 8,7 kWp zur Stromerzeugung

Solaranlagen haben eine Lebensdauer von mind. 20 Jahren. Sie sollen während ihrer Lebensdauer dort verbleiben, wo sie installiert werden. Alle abzusehenden Sanierungsarbeiten, die am Installationsort anfallen können, sind daher vor Anlagenmontage auszuführen. Dies gilt in besonderem Maße für Flachdächer, die unbedingt saniert sein sollten, bevor Solaranlagen dort montiert werden.

Aufdachmontage

Die Aufdachmontage auf Schrägdächern ist die klassische Methode zur Installation von PV-Modulen auf bestehenden Dächern. Dabei werden die PV-Module parallel zur Dachhaut auf einer Unterkonstruktion montiert. Die ursprüngliche Dacheindeckung bleibt erhalten und behält ihre dichtende Funktion. Der vom Dachstuhl vorgegebene Neigungswinkel wird in der Regel nicht durch ein angepasstes Gestell optimiert. Die Befestigung der Unterkonstruktion für die PV-Module erfolgt an Dachhaken oder speziellen Dachpfannen. Die Installation dieser Montagstützpunkte

ist mit besonderer Sorgfalt durchzuführen, da sie dem PV-Generator auch bei Sturm Halt geben und die auftretenden Druck- und Sogkräfte zuverlässig auf das Dachtragwerk übertragen müssen. Auf die Montagstützpunkte werden Profilschienen aus verzinktem Stahl, Edelstahl oder Aluminium montiert, an denen die PV-Module befestigt werden.

Flachdachaufständerung

Flachdächer bieten ein verhältnismäßig großes Potential ungenutzter Flächen, die sich grundsätzlich gut für die Aufstellung von Solaranlagen eignen. Sie haben den Vorteil, dass der PV-Generator unabhängig von der Gebäudeausrichtung in der Regel exakt nach Süden orientiert und mit optimalem Neigungswinkel angestellt werden kann. Die PV-Module werden häufig auf dreieckförmigen Unterkonstruktionen aus Metall befestigt, die von einigen Herstellern montagefertig angeboten werden. Je nach Anlagen- und Dachgröße werden die Module einreihig nebeneinander oder in

mehreren Reihen hintereinander aufgestellt. Bei mehrreihiger Aufstellung muss beachtet werden, dass sich die Modulreihen nicht gegenseitig verschatten. Die Verankerung der Unterkonstruktion hat bei Flachdachaufständerungen eine entscheidende Bedeutung, da bei großflächigen PV-Generatoren beachtliche Windkräfte auftreten können.

Dachintegration

Bei einer Dachintegration ersetzen die Module die sonst übliche Dacheindeckung, so dass die entsprechenden Kosten der PV-Anlage gutgeschrieben werden können. Im Vergleich zur konventionellen Dachmontage (Aufständerung) können zudem die Kosten für eine (allein durch die PV-Anlage bedingte) Unterkonstruktion ganz oder teilweise eingespart werden. Es lassen sich sowohl vollständige Dachflächen als auch nur Teilbereiche mit PV-Modulen belegen, die neben der Stromerzeugung auch den Witterungsschutz übernehmen.



Die wichtigsten Forderungen an eine dachintegrierte PV-Anlage sind daher, dass sie die Dichtigkeit des Daches gewährleistet, damit kein Wasser in den Dachbereich eindringen kann sowie auch statische Voraussetzungen wie Drucklast und Sogkräfte nach DIN 1055 erfüllen. Dies muss insbesondere auch an den Übergangsstellen vom PV-Generator zur herkömmlichen Dacheindeckung sichergestellt werden.

Dachintegrierte PV-Anlagen sind besonders einfach und mit wenig Verkabelungsaufwand mit großflächigen Modulen zu realisieren, die eine gute Flächenausnutzung und damit auch eine hohe spezifische Leistung ermöglichen. Die Integration kann beispielsweise mit Eindeckrahmen oder Profilsystemen erfolgen, die auf der vorhandenen Dachunterkonstruktion befestigt werden. Der Abschluss an Traufe, First und Ortgang bzw. der Anschluss an die vorhandene Dacheindeckung erfolgt mittels spezieller Profile bzw. Bleche.

Für eine optimale Leistungsabgabe des PV-Generators und zur Vermeidung von Kondenswasserbildung auf der Modulrückseite ist eine gute Hinterlüftung der Module erforderlich. Diese kann zum Beispiel durch Lüftungsziegel an der unteren und oberen Kante des Generators oder durch Be- und Entlüftungsöffnungen an Traufe und First realisiert werden.

Sonnenschutzelemente

Eine für PV-Anlagen prädestinierte Anwendung ist die Nutzung von Modulen in Sonnenschutzeinrichtungen. Diese schützen die Innenräume vor zu hoher Sonneneinstrahlung und sind aufgrund ihrer in der Regel optimalen Ausrichtung sehr gut für die Integration von PV-Modulen geeignet. Da Solarmarkisen zudem gut hinterlüftet sind, liefern sie üblicherweise hohe Energieerträge und vermeiden gleichzeitig sommerliche Überhitzungsprobleme z. B. in südseitigen Büroräumen.

Fassadenintegration

PV-Elemente lassen sich auch in vertikale Fassaden integrieren. Im Vergleich zu einem optimal ausgerichteten und gut hinterlüfteten PV-Generator ergeben sich für Fassadenanlagen aufgrund der Neigung und der höheren Modultemperaturen zwar andere Betriebsbedingungen, die zu geringeren Energieerträgen führen. Dennoch bringen fassadenintegrierte PV-Module eine Reihe von Vorteilen mit sich. Die vergleichsweise geringeren Energieerträge können durch eine großflächige Belegung mit PV-Modulen kompensiert werden. Die PV-Elemente zeichnen sich durch ihre Multifunktionalität aus, da sie neben der umweltfreundlichen Energieerzeugung weitere Funktionen wie den Witterungsschutz oder die Wärmedämmung

des Gebäudes übernehmen.

Nicht zu unterschätzen ist auch der Prestigegewinn für den Bauherren bzw. Betreiber einer PV-Fassadenanlage. Schließlich sind PV-Elemente in unterschiedlichsten Bauformen und Abmessungen sowie mit verschiedenen optischen Erscheinungsbildern verfügbar, so dass architektonisch sehr attraktive Gestaltungsmöglichkeiten gegeben sind.

Roto Sunroof

Mit dem dachintegrierten Solar-system Roto Sunroof sind Funktionselemente (Photovoltaik-Module, Solarkollektoren, Wohndachfenster) verfügbar, die optimal für die Integration in Schrägdächer (Installationsmöglichkeit „Dachintegration“) geeignet sind und beliebig miteinander kombiniert werden können – von der Teilbelegung bis zur kompletteindeckung des Daches.

Roto Sundeck

Mit dem Roto Sundeck wird ein reines Photovoltaiksystem beschrieben, das vor allem für mittlere und große Dächer optimiert wurde, um den wirtschaftlichen Aspekten der Investoren Rechnung zu tragen. Es wird über der Dacheindeckung installiert und kann nicht mit den Roto Sunroof Funktionselementen kombiniert werden.

3 Solarsystem Roto

Die Gestaltung von Dächern prägt in nicht unerheblichem Umfang den Gesamteindruck von Häusern. Dabei sind nicht nur Dachform, Neigungswinkel, Ziegelart und -farbe entscheidend, sondern auch die Anordnung und Größe von Dachfenstern.

Die Installation von herkömmlichen Solarelementen in Form einer Aufdachmontage auf Schrägdächern wird häufig als unattraktiv empfunden, da diese oftmals wie aufgesetzte Fremdkörper wirken und somit das positive Erscheinungsbild einer Dachfläche zerstören können.

Als Anbieter von Wohndachfenstern hat Roto die ästhetischen Vorbehalte gegenüber Solaranlagen aufgegriffen und als Konsequenz im Sommer 2000 innovative und optisch ansprechende Sonnenkollektoren vorgestellt, die sich harmonisch in das Gesamtbild eines Daches einfügen und gleichzeitig einen aktiven Beitrag zum Umweltschutz leisten. In Zusammenarbeit mit namhaften Forschungsinstituten und Zulieferern von Komponenten für thermische

Solaranlagen wurde ein Solarsystem für die Trinkwassererwärmung entwickelt. Da die Rastermaße der Kollektoren denen der von Roto angebotenen Wohndachfenster entsprachen, war es möglich, optisch und auch handwerklich perfekte Verbundlösungen von Dachfenstern und Solarkollektoren zu realisieren, die auch gehobene architektonische Ansprüche erfüllen. Im Jahr 2001 wurden die Aktivitäten auf den Photovoltaikbereich ausgeweitet und innovative PV-Module zur Dachintegration in den Markt eingeführt. Damit konnte Roto die drei aufeinander abgestimmten Komponenten Wohndachfenster, Solarkollektoren und PV-Module in Premiumqualität „made in Germany“ anbieten.

Mit der Weiterentwicklung zu Roto Sunroof gibt es nunmehr ein Baukastensystem aus Funktionselementen, die nach individuellen Vorstellungen und entsprechend dem jeweiligen Energiebedarf beliebig miteinander kombiniert werden können. Das Spektrum der Einsatzmöglichkeiten reicht von einer Teilbelegung der

Dachfläche bis zur Komplettdeckung des ganzen Daches.

Im Jahr 2010 wurde der Photovoltaikbereich um eine Aufdachvariante erweitert. Mit Roto Sundeck steht ein Aufdachsystem zur Verfügung, das vor allem durch seine schnelle und einfache Montage besticht.

Es ist für mittlere bis große Dächer ab Anlagenleistungen über 5 kWp optimiert.

Für Energiegewinnung und Tageslichtnutzung stehen beim Sunroof-System drei Funktionselemente zur Verfügung. Das Photovoltaikmodul SRP 10/20 dient der umweltfreundlichen Stromerzeugung. Der Solarkollektor SRK 10/20 ermöglicht die Deckung des Warmwasserbedarfs und eine Heizungsunterstützung. Sollen auch Wohndachfenster integriert werden, finden die gängigen Roto Baureihen Verwendung, die sich bezüglich Design und Größe hervorragend in das System einfügen.

3.1 Roto Sunroof Photovoltaik

Mit dem Photovoltaiksystem Sunroof bietet Roto komplette Photovoltaikanlagen an, die Langlebigkeit, Produktqualität und hohe Energieerträge garantieren. Dabei kommen Solarmodule von deutschen Herstellern und Wechselrichter des Marktführers SMA zum Einsatz. Die Abmessungen der

PV-Module stimmen mit denen der Solarkollektoren überein und entsprechen somit ebenfalls den Rastermaßen der Wohndachfenster. Die drei Komponenten sind auch bezüglich des standardisierten Eindeckrahmen-Systems, der angeglichenen Profile sowie der identischen Blechabdeckungen und Montagewinkel

aufeinander abgestimmt und können daher nach dem Baukastenprinzip problemlos und nahezu beliebig miteinander kombiniert werden. Dadurch ist es möglich, ästhetisch gelungene Anordnungen von PV-Modulen, Solarkollektoren und Wohndachfenstern in vielen Varianten auf dem Dach zu realisieren.



Roto Sunroof Kombination aus PV-Modulen und Solarkollektoren

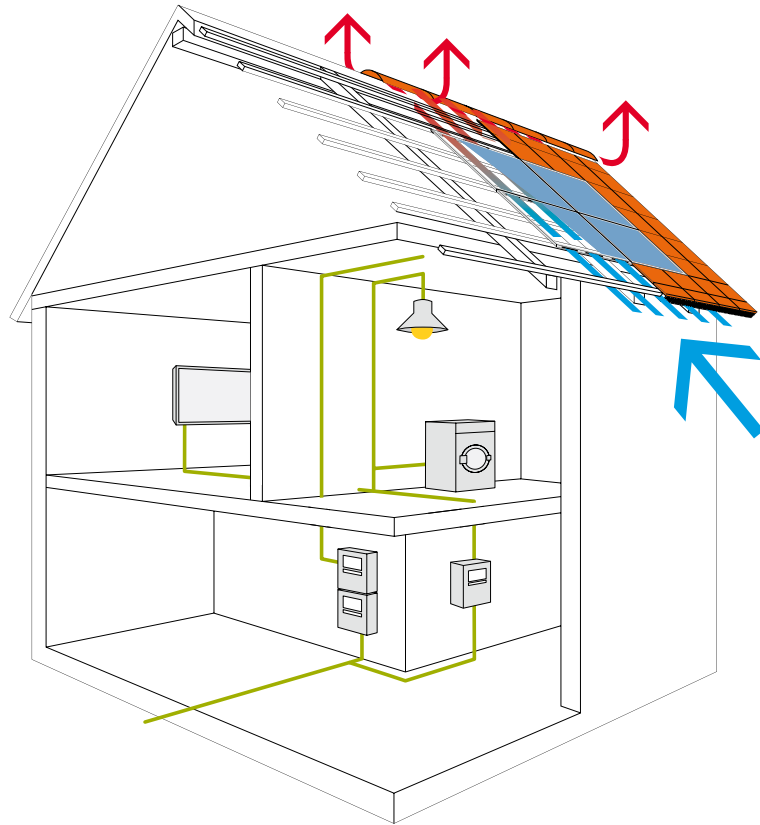
Sunroof Photovoltaik-Modul SRP

Das PV-Modul SRP mit einer Nennleistung von 270–280 Wp besteht aus 72 hocheffizienten monokristallinen Solarzellen, womit eine hohe Leistungsdichte auf dem Dach erreicht wird. Die Verwendung von hochtransparentem Solarglas und die integrierte Hinterlüftung ermöglichen eine optimale Leistungsausbeute. Die standardmäßige Aus-

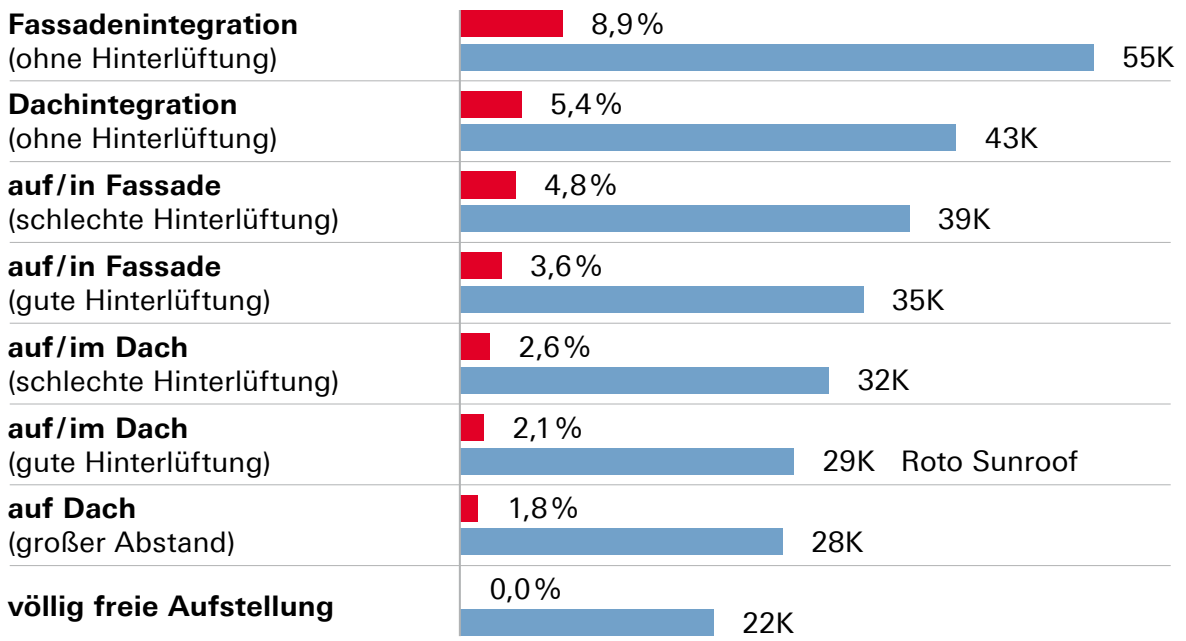
stattung des Photovoltaik-Moduls mit berührungs- und verpolungssicheren Steckverbindern und komplett vorkonfektionierte Modulanschlussleitungen gewährleisten eine einfache elektrische Verschaltung des PV-Generators. Mit den 1,05 m x 2,03 m großen Modulen (Bruttofläche 2,12 m²) lassen sich beliebig große Photovoltaikgeneratoren auf Dachflächen realisieren.

Aufgrund der gleichen Abmessungen bzw. Rastermaße und des einheitlichen Erscheinungsbilds sowie dank der identischen Einbausysteme sind auch vielfältige Kombinationen mit Solarkollektoren und Wohndachfenstern problemlos möglich, die stets eine optisch ansprechende Einheit auf dem Dach bilden.

Hinterlüftung der
Photovoltaik-Module



Temperaturerhöhung und jährliche Energieeinbuße
von Photovoltaik-Modulen im Vergleich



■ Minderung des Energieertrages

■ Temperaturerhöhung

Quelle: Fraunhofer Institut ISE, Freiburg

3.2 Dachintegration

Die auf einem Holzrahmen fixierten PV-Module werden in das Dach integriert, d. h. sie ersetzen die herkömmliche Dacheindeckung und übernehmen somit die Funktion der Dachhaut. Um eine gute Hinterlüftung der Module und damit vergleichbare Energieerträge wie bei Aufdachsystemen zu erzielen, sind die Holzrahmen mehrfach gefräst. Die geringe Aufbauhöhe der Elemente („Superflat“-Bauweise)

gestattet eine sehr gute Integration in die Dachfläche. Üblicherweise erfordert der Einsatz neuer Produkte am Bau von den beauftragten Handwerkern ein ggf. zeitaufwendiges Einarbeiten in neue Arbeitsweisen. Um dies zu verhindern, wurde die von den Wohndachfenstern bekannte Einbautechnik auf die PV-Module übertragen. Die einheitlichen Montagesysteme der Funktionselemente ermöglichen einen Einbau ohne

spezielle solartechnische Fachkenntnisse, so dass die Dachintegration der Photovoltaik-Module für den Dachhandwerker ebenso einfach und damit sicher ist wie die der Wohndachfenster. Das Arbeiten mit identischen Werkstoffen, bewährter Montagetechnik und bekannten Abmessungen gewährleistet darüber hinaus einen zügigen Baufortschritt bei gleichzeitig hoher Verarbeitungsqualität.



Roto Sunroof Montage der Elementabdeckungen

Die PV-Module werden in einbaufertigem Zustand zusammen mit allen erforderlichen Befestigungsteilen und Eindeckrahmen geliefert. In den Holzrahmen vorgegebene Bohrungen für die Montagewinkel ermöglichen eine leichte und schnelle Installation der Module; integrierte Traglaschen gewährleisten den einfachen und sicheren Transport. Die Photovoltaikmodule

werden auf die Dachlattung gelegt und mit Hilfe der Montagewinkel verschraubt, wobei der Einbau kein Schneiden der Dachlattung erfordert. Das standardisierte Eindeckrahmen-System ermöglicht die problemlose Kombination von PV-Modulen, Solarkollektoren und Wohndachfenstern und dient gleichzeitig dem Anschluss an die konventionelle Dacheindeckung.

Da alle Funktionselemente über die bewährte Montagetechnik der Wohndachfenster verfügen, sind Einbau und Austausch besonders einfach und kostengünstig. Leicht zu entfernende, so genannte reversible Verblendungen (Bleche) ermöglichen eine schnelle Überprüfung der Modulanschlüsse und einen unkomplizierten Austausch einzelner Elemente.

3.3 Roto Sundeck Photovoltaik

Mit dem Photovoltaiksystem Sundeck bietet Roto komplette Photovoltaikanlagen an, die Langlebigkeit, Produktqualität und hohe Wirtschaftlichkeit der Investition garantieren. Die PV-Module sind mit Zellen von Q.Cells, einem der größten Zellhersteller der Welt, bestückt. Die Umwandlung des Gleichstroms in netzkonformen Wechselstrom übernehmen Wechselrichter des Marktführers SMA. Und die Unterkonstruktion aus dem Hause HILTI sorgt für zuverlässigen Halt des Solargenerators auf dem Dach. Die Installation der Unterkonstruktion in der bewährten Aufdachtechnik er-

folgt schnell und einfach durch vorkonfektionierte Einheiten. Die Photovoltaik-Module sind aufgrund des hervorragenden Schwach- und Schräglichtverhaltens vielfältig einsetzbar.

Sundeck Photovoltaik-Modul SDP Poly

Das PV-Modul SDP Poly mit einer Nennleistung von 220–235 Wp besteht aus 60 polykristallinen Solarzellen. Es hat ein hervorragendes Schwachlichtverhalten und ist vielfältig einsetzbar. Standardmäßig ist das Modul mit berührungs- und verpolungssicheren Steckverbindern ausgestattet.

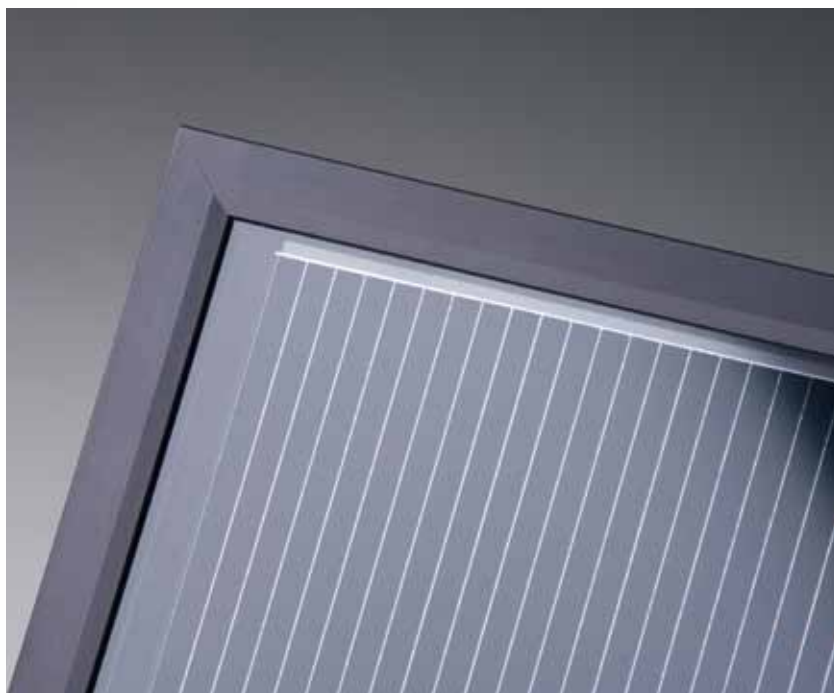
Sundeck Photovoltaik-Modul SDP CIGS

Das PV-Modul SDP CIGS ist ein sogenanntes Dünnschicht Modul. Die Nennleistung beträgt 70–80 Wp. Die stromproduzierende Schicht besteht aus Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid und ist somit frei von toxischen Stoffen.

Das Modul hat ein gutes Schwach- und Schräglichtverhalten, das vor allem beim Einsatz in ungünstiger Objektausrüstung zum Tragen kommt. Dank einer vorteilhaften Zellgeometrie sind Teilverschattungen weniger gravierend wie bei kristallinen Photovoltaik-Modulen.



Sundeck Photovoltaik-Modul SDP Poly



Sundeck Photovoltaik-Modul SDP CIGS

3.4 Aufdachmontage

Bei der Aufdachmontage des Roto Sundeck Photovoltaik greift Roto auf die Unterkonstruktion des Leistungsführers HILTI in der Befestigungstechnik zurück. Das System ist hochgradig vormontiert, d.h. keine Kleinteile wie Muttern und Schrauben können bei der Montage aus der Hand fallen. Alle Teile inkl. Schienen werden von oben ohne

Spezialwerkzeug montiert. Das System besteht aus maximal 4 Komponenten. Dies bedeutet eine schnelle und einfache Montage. Die Komponenten sind statisch aufeinander abgestimmt und bestehen aus Edelstahl bzw. Aluminium. Da die Photovoltaik-Module über der Dacheindeckung montiert werden, erfordert diese Art der

Montage zwingend eine wasserdichte Dacheindeckung. Deshalb sollten die Ziegel relativ neu sein, damit eine eventuelle Sanierung des Daches nach der Nutzungsdauer der Photovoltaikanlage (i.d.R. 25 Jahre) fällt und somit nicht zu Ertragsausfällen durch Demontage des Solargenerators führt.



4 Systemtechnik und Anlagenkomponenten

4.1 Systemtechnik

Eine wichtige Schlüsselkomponente der Solarstromanlage sind die Photovoltaikmodule, die die auftreffende Solarstrahlung in Gleichstrom umwandeln. Für einen effizienten Betrieb ist es jedoch erforderlich, dass alle Anlagenteile optimal aufeinander abgestimmt sind. Daher bietet Roto neben den PV-Modulen auch die zugehörige Systemtechnik an, die für einen zuverlässigen und ertragreichen Betrieb von Solarstromanlagen benötigt wird.

Ziel bei der Konfiguration einer Photovoltaikanlage ist es, eine optimale elektrische (leistungsmäßige) Anpassung von Solargenerator und Wechselrichter zu erreichen. Dazu gehört eine möglichst breite Palette unterschiedlicher Wechselrichtertypen, die Roto mit den Produkten

des Marktführers SMA anbietet. Die Strang- bzw. String-, Multistring und Zentralwechselrichter zeichnen sich durch hohe Wirkungsgrade (bis zu 98%) und ein breites Leistungsspektrum (maximale PV-Leistung von 1.200 W bis 17.000 W) aus.

Um die für den Wechselrichter erforderliche Systemspannung zu erhalten, werden mehrere Photovoltaik-Module mittels vorkonfektionierter Anschlussleitungen in Reihe zu Strängen (Strings) verschaltet. Der ggf. aus einer Parallelschaltung mehrerer Stränge bestehende PV-Generator ist über Gleichstromleitungen mit dem Wechselrichter verbunden. Die konkrete Ausführung der Verschaltung hängt vom jeweiligen Wechselrichtertyp ab. Der an das Niederspannungsnetz ange-

schlossene Wechselrichter wandelt die von den PV-Modulen gelieferte Gleichspannung in eine netzkonforme Wechselspannung um. Außerdem verfügt er über eine Regelung zur maximalen Leistungsauskopplung, damit der PV-Generator bzw. die einzelnen Stränge im Punkt maximaler Leistung betrieben werden. Die erforderliche Netzüberwachung ist ebenfalls im Wechselrichter integriert.

Das Photovoltaiksystem Sunroof von Roto zeichnet sich aufgrund der Vorfertigung und der Systemtechnik mit aufeinander abgestimmten Qualitätskomponenten durch eine einfache, problemlose Montage, hohe Leistungsfähigkeit und Energieerträge sowie durch zuverlässigen und langlebigen Betrieb aus.



Multistring-Wechselrichter von SMA (Quelle: SMA)

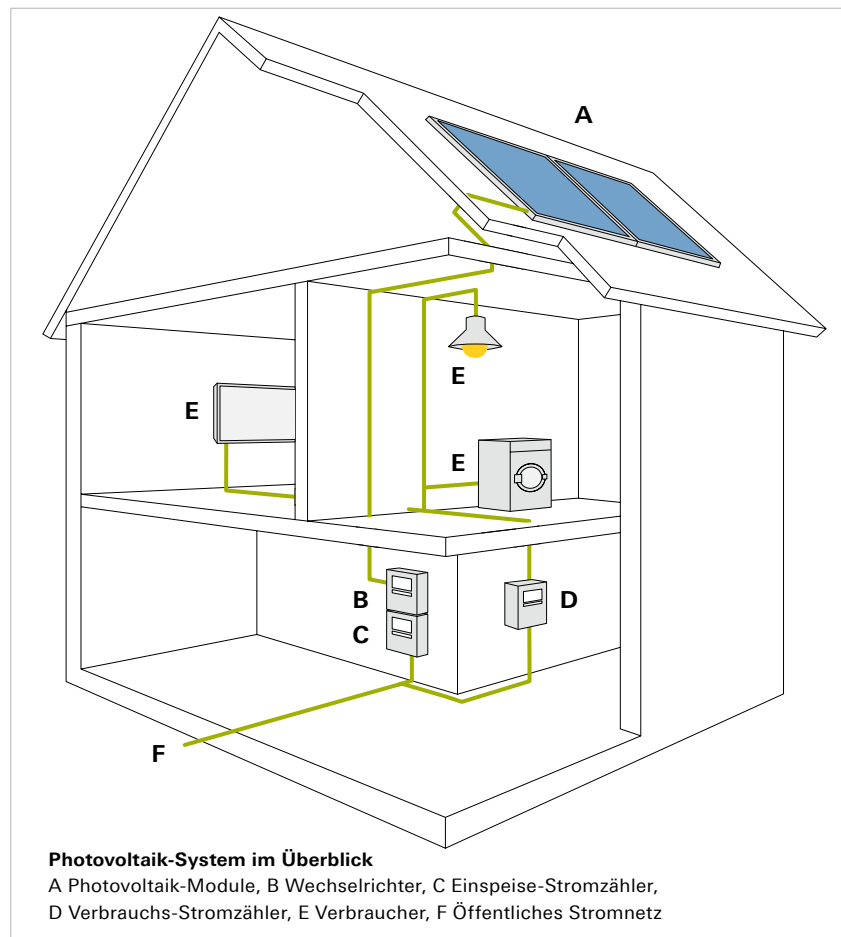


4.2 Grundsätzlicher Systemaufbau

Photovoltaische Anlagensysteme können in netzgekoppelte und autonome Anlagen eingeteilt werden. Bei autonomen PV-Anlagen wird der solare Energieertrag mit dem Energiebedarf abgestimmt und üblicherweise in Akkumulatoren gespeichert, wohingegen netzgekoppelte PV-Anlagen das öffentliche Stromversorgungsnetz als quasi unbegrenzten Energiespeicher nutzen. Dementsprechend unterscheiden sich die Anlagen hinsichtlich der Anwendungsbereiche und der Systemtechnik. Alle weiteren Ausführungen zur Systemtechnik beziehen sich auf netzgekoppelte PV-Anlagen, die den deutlich überwiegenden Anteil der in Deutschland installierten Photovoltaikleistung ausmachen. Das wesentliche Merkmal netzgekoppelter PV-Anlagen ist die Anbindung an das öffentliche Stromversorgungsnetz. Der so genannte Netzparallelbetrieb besitzt den Vorteil, dass die vom Photovoltaikgenerator gelieferte Energie vollständig genutzt bzw. eingespeist werden kann. Bei nicht ausreichender oder nachts nicht vorhandener PV-Erzeugung wird der Energiebedarf vom Netz bezogen, wodurch Versorgungssicherheit für die Verbraucher gewährleistet ist. Seit Einführung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) und damit verbundener Mindestvergütung für sowohl photovoltaisch erzeugten Strom, der in das öffentliche Stromversorgungsnetz eingespeist wird, als auch für photovoltaisch erzeugten Strom, der selbst genutzt wird, ist eine PV-Anlage wirtschaftlich zu betreiben. Bei stetig steigenden Strompreisen kann der Eigenverbrauch des erzeugten Stroms wirtschaftlich lukrativer sein als die Einspeisung in das Stromnetz. Je nach Eingangsspannungsbereich des Wechselrichters werden mehrere PV-Module über

Modulanschlussleitungen seriell zu Strängen (Strings) verschaltet, um die erforderliche Systemspannung zu erreichen. Kommt ein (großer) Zentralwechselrichter zum Einsatz, erfolgt eine Parallelschaltung der Stränge zum PV-Generator im Generatoranschlusskasten, in dem sich auch Schutzeinrichtungen (z. B. Strangdioden, Sicherungen und Überspannungsableiter) befinden. Wird photovoltaisch erzeugte Energie mit Strangwechselrichtern aufbereitet, ergeben sich einfachere Anlagenkonfigurationen, da der Generatoranschlusskasten entfallen kann. Der PV-Generator bzw. dessen einzelne Stränge sind über Gleichstromleitungen mit dem Wechselrichter verbunden. Die

konkrete Ausführung der Verschaltung ist vom Wechselrichtertyp bzw. vom gewählten Systemkonzept der Energieaufbereitung (s. u.) abhängig. Der Wechselrichter spielt eine Schlüsselrolle bei Energieeffizienz und Zuverlässigkeit der Solarstromanlage. Seine Aufgabe besteht nicht nur in Umformung des durch die PV-Module erzeugten Gleichstroms in Wechselstrom mit erforderlicher Spannung und Frequenz (230 V, 50 Hz), sondern auch darin, den angeschlossenen Photovoltaikgenerator im Punkt max. Leistung zu betreiben. Darüber hinaus muss der Wechselrichter das Netz zuverlässig auf Störungen überwachen und bei Netzfehlern die Einspeisung sicher unterbrechen.



Netzgekoppelte PV-Anlage mit Volleinspeisung gemäß EEG

4.3 Photovoltaik-Module

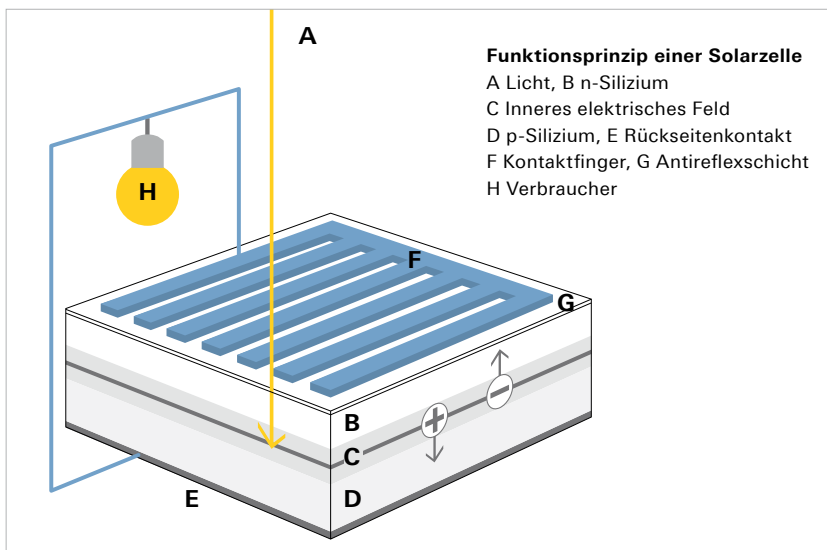
Aufbau und Funktion von Solarzellen

Die Photovoltaik beschreibt den physikalischen Vorgang der direkten Umwandlung von Licht bzw. Solarstrahlung in elektrische Leistung. Der photovoltaische Effekt lässt sich mit Solarzellen nutzen, die aus bestimmten Halbleitermaterialien hergestellt sind. Das bekannteste und am häufigsten verwendete Material ist Silizium (Si). Nach Sauerstoff (O) ist dieses das zweithäufigste Element in der Erdkruste, kommt dort aber nur als Siliziumdioxid (SiO₂) in Form von Quarz bzw. Sand vor.

Die üblicherweise verwendeten Solarzellen aus kristallinem Silizium sind etwa 0,2 – 0,3 mm dick und bestehen aus zwei unterschiedlich dotierten (gezielt chemisch verunreinigten) Schichten. In der Übergangszone zwischen den Schichten existiert ein inneres elektrisches Feld. Bei Bestrahlung der Solarzelle werden frei bewegliche Ladungsträgerpaare (Elektronen und Löcher) erzeugt und durch das elektrische Feld getrennt. Die Elektronen werden dem fingerförmigen, metallischen Frontkontakt (Minuspol) der Solarzelle zugeführt, die Löcher

dem großflächigen Rückseitenkontakt (Pluspol). Verbindet man die Kontakte über einen elektrischen Verbraucher (z. B. eine Lampe), so fließt ein Gleichstrom.

Die in links stehender Abbildung angedeutete Antireflexschicht ist wenige Millionstel Millimeter dünn und transparent. Diese Schicht dient dazu, Reflexionsverluste zu minimieren. Denn Licht, das von der Oberfläche der Solarzelle reflektiert wird, kann nicht absorbiert werden und trägt somit nicht zur Stromerzeugung bei. Die Antireflexschicht erhöht bei Solarzellen also die Lichtausbeute und damit den Wirkungsgrad.



Prinzipieller Aufbau einer kristallinen Silizium-Solarzelle
 (Quelle: TÜV Rheinland, Institut für Solarenergieforschung)

Strom und Spannung und damit auch die Leistung einer Solarzelle sind von der Bestrahlungsstärke und der Zellentemperatur abhängig. Die von einer kristallinen Siliziumzelle abgegebene Leistung verringert sich um etwa 0,4 % bis 0,5 % pro Grad Celsius Temperaturzunahme. Dies muss in der Praxis beachtet und folglich darauf geachtet werden, dass die Solarzellen im Betrieb möglichst kühl bleiben, d. h. mit anderen Worten, dass die PV-Module gut hinterlüftet werden. Weiterhin haben die verschiedenen Solarzellentypen unterschiedliche spektrale Empfindlichkeiten.



Standardtestbedingungen und Wirkungsgrad

Um Solarzellen bzw. PV-Module miteinander vergleichen zu können, wurden Standardtestbedingungen (Standard Test Conditions, STC) eingeführt, bei denen die elektrischen Nenndaten (wie Leistung, Kurzschluss-Strom und Leerlaufspannung) gemessen werden und die folgendermaßen definiert sind:

- Bestrahlungsstärke von 1.000 W/m² bei senkrechtem Lichteinfall
- Strahlungsspektrum entsprechend AM 1,5 (AM: Abk. für Air Mass)
- Zellentemperatur von 25 °C

Im realen Betrieb einer PV-Anlage werden die Standardtestbedingungen nur selten erreicht, da sich beispielsweise bei einer Bestrahlungsstärke von 1.000 W/m² in unseren Breiten Zellentemperaturen von 40 °C bis 50 °C und mehr einstellen können.

Die Nennleistung einer Solarzelle bzw. eines PV-Moduls ist definiert als Spitzenleistung bei STC und wird in Watt peak (W_p) angegeben.

Der Wirkungsgrad einer Solarzelle η_{Zelle} ist das Verhältnis aus abgegebener elektrischer Leistung und eingestrahelter Leistung. Für Standardtestbedingungen berechnet er sich gemäß folgender Gleichung:

$$\eta_{Zelle} [\%] = \frac{P_{Nenn}}{(A_{Zelle} \times 1.000 \text{ W/m}^2)} \times 100\%$$

A_{Zelle} ist die Fläche der Solarzelle und 1.000 W/m² die Bestrahlungsstärke bei STC.

Solarzellentypen

Es sind unterschiedliche Solarzellentypen am Markt verfügbar, die sich bezüglich der Herstellungsverfahren grundsätzlich in zwei Gruppen einteilen lassen: Solarzellen aus kristallinem Silizium und Dünnschicht solarzellen.

Solarzellen aus kristallinem Silizium

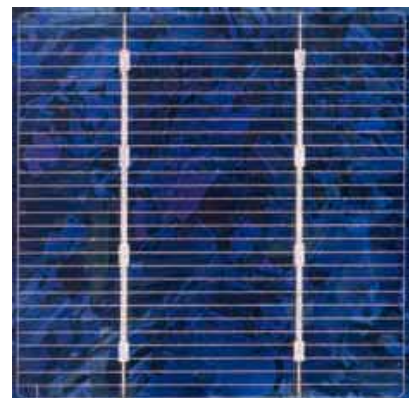
Kristalline Silizium-Solarzellen haben mit etwa 90% den weitaus größten Marktanteil. Sie werden aus kristallinen Siliziumscheiben mit einer Dicke von etwa 0,2 – 0,3 mm hergestellt. In der industriellen Produktion werden die höchsten Zellenwirkungs-

grade von etwa 15% bis 17% mit monokristallinen Solarzellen erreicht, die ein homogenes schwarzes Erscheinungsbild haben. Zur Herstellung dieser Solarzellen wird ein zylindrischer, einkristalliner Siliziumblock aus der Siliziumschmelze gezogen und anschließend in Längsrichtung an vier Seiten abgesägt. Die daraufhin geschnittenen dünnen Scheiben (sogenannte Wafer) weisen eine pseudoquadratische Form (typ. Abmessung: 156 x 156 mm²) auf. Dies ermöglicht eine hohe Packungsdichte der Solarzellen im Modulverbund, bedeutet aber großen Sägeaufwand mit hohen Verlusten des teuren, hochreinen Siliziummaterials.

Polykristalline (multikristalline) Silizium-Solarzellen erreichen Wirkungsgrade von ca. 14% bis 16% und sehen mittel- bis dunkelblau aus, wobei die einzelnen Kristallbereiche einer Zelle an der unterschiedlichen Farberscheinung erkennbar sind. Die quadratischen Wafer werden aus polykristallinen Siliziumblöcken gesägt, so dass auch bei diesem Herstellungsverfahren entsprechende Sägeverluste entstehen.



Solarzellen aus kristallinem Silizium – monokristalline Solarzelle (Quelle: Institut für Solarenergieforschung)



Polykristalline Solarzelle

Solarzellen, die nach dem so genannten EFG-Verfahren (Edge-defined Film-fed Growth – kanten-definiertes Filmwachstum) hergestellt werden, bestehen ebenfalls aus polykristallinem Silizium und weisen Wirkungsgrade von etwa 13% bis 15% auf; diese Solarzellen haben einen homogenen dunkelblauen Farbton. Beim EFG-Verfahren wird ein achteckiges Rohr (hohles Oktagon) aus der Siliziumschmelze gezogen, dessen Kantenlänge beispielsweise 125 mm beträgt und das bis zu 6 m lang sein kann. Die acht Mantelflächen sind bereits so dünn wie die später gefertigten Solarzellen. Mittels Laserstrahl wird das Oktagonprofil z. B. in 125 x 125 mm² oder 125 x 150 mm² große Wafer geschnitten. Der Vorteil dieser Technologie ist der Material schonende Fertigungsprozess.

Mit dem String-Ribbon-Verfahren gibt es eine weitere Technologie zur Herstellung von kristallinen Silizium-Solarzellen. Dabei wird ein dünnes, üblicherweise 80 mm breites Band (Ribbon) zwischen zwei Drähten (Strings) direkt aus der Siliziumschmelze gezogen und anschließend in 150 mm lange Scheiben geschnitten. Auch bei diesem Verfahren liegt der Vorteil gegenüber gesägten Wafern in dem wesentlich geringeren Materialeinsatz.

Dünnschicht-Solarzellen

Mit der Dünnschichttechnik können Solarzellen mit einer Dicke von nur wenigen Mikrometern hergestellt werden, wobei die aufwendige Produktion von Wafern entfällt. Das Halbleitermaterial wird bei der Herstellung großflächig auf ein Trägersubstrat (im Allgemeinen Glas) abgeschieden. Die für ausreichend



Sunroof Photovoltaik-Modul SRP mit 72 in Reihe geschalteten Solarzellen

hohe Modulausgangsspannungen erforderliche Serienschaltung der Solarzellen ist bereits in den Fertigungsprozess integriert. Weitere Vorteile der Dünnschichttechnologie sind insbesondere die Materialeinsparung und die Möglichkeit, großflächige Elemente mit homogenem Erscheinungsbild herzustellen. Das zurzeit wichtigste und am

häufigsten verwendete Material für Dünnschicht-Solarzellen ist amorphes Silizium (a-Si), das keine Kristallgitterstruktur aufweist, sondern aus unregelmäßig angeordneten Atomen besteht. Industriell gefertigte amorphe Siliziumzellen erreichen Wirkungsgrade von ca. 6% bis 7%. Die PV-Module sehen rötlich bis dunkelbraun aus und können sowohl



in opaker (lichtundurchlässiger) als auch in semitransparenter Ausführung hergestellt werden. Dünnschicht-Solarzellen aus vergleichsweise neuen Materialien wie Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) und Cadmium-Tellurid (CdTe) erreichen in der industriellen Produktion Wirkungsgrade von etwa 8% bis 11%.

Einkapselung der Solarzellen

PV-Module enthalten eine bestimmte Anzahl elektrisch verschalteter Solarzellen und bilden die Grundeinheit jeder Photovoltaikanlage. Sie werden in unterschiedlichen Bauformen angeboten, die jedoch in jedem Fall gewährleisten müssen, dass die empfindlichen Solarzellen durch eine geeignete Einkapselung vor Witterungs- und Umwelteinflüssen (z. B. Feuchtigkeit, Druck und Durchbiegung) geschützt werden. Zudem müssen die Einkapselungsmaterialien die elektrische Isolierung sicherstellen, eine ausreichende Spannungsfestigkeit aufweisen, UV-stabil und witterungsbeständig sein, extremen Temperaturschwankungen ausgesetzt werden können und eine Lebensdauer des Moduls von mindestens 20 Jahren garantieren. Die genannten Anforderungen werden durch einen mehrschichtigen Modulaufbau erfüllt.

Bei Herstellung kristalliner PV-Module werden die Solarzellen zunächst mit verzinnnten Kupferleitungen oder Aluminiumstreifen elektrisch miteinander verbunden. Anschließend werden die Solarzellen zwischen einem hochtransparenten Frontglas und einer Rückseitenabdeckung eingebettet. Letztere kann ebenfalls aus Glas bestehen oder als mehrlagiger Folienverbund (Tedlar-Polyester-Tedlar) ausgeführt werden. In beiden Fällen dient eine Folie aus Ethylenvi-

nylacetat (EVA) als Einbettungsmaterial, das die Solarzellen beidseitig umhüllt. Beim Laminierungsprozess polymerisiert die EVA-Folie unter Vakuum, Druck und Hitze und verklebt das Modul dauerhaft. Als Alternative zur EVA-Folie kann eine Folie aus Polyvinylbutyral (PVB) oder Gießharz verwendet werden, wenn es sich um Glas-Glas-Module handelt.

Verschaltung von Solarzellen

Die Solarzellen werden im PV-Modul elektrisch miteinander verschaltet, um eine bestimmte Ausgangsspannung oder einen bestimmten Ausgangsstrom zu erreichen. Eine kristalline Solarzelle generiert bei Standardtestbedingungen eine Leerlaufspannung von etwa 0,6 V und einen Kurzschluss-Strom von ca. 8 A (bei einer Zellfläche von 156 x 156 mm²). Durch Reihenschaltung von mehreren Solarzellen zu so genannten Strings werden höhere Spannungen, durch Parallelschaltung der Zellen höhere Ströme erreicht.

Bei einer teilverschatteten Zelle innerhalb eines ansonsten bestrahlten Moduls besteht die Gefahr einer punktuellen Überhitzung. Bei entsprechenden Betriebsbedingungen kann sich die verschattete Zelle quasi wie ein elektrischer Verbraucher verhalten, der von den anderen Solarzellen gespeist wird. Durch die in der Zelle umgesetzte Leistung erwärmt sie sich („Hot-Spot-Effekt“), was zu einer Zerstörung der umgebenden Einkapselung und schlimmstenfalls zu einer Beschädigung des gesamten Moduls führen kann. Dies lässt sich durch die Verwendung von „Bypass-Dioden“ verhindern. Die Dioden ermöglichen, dass der Strom an dem String mit der verschatteten Zelle vorbeifließen kann und somit die betreffende Zelle nicht aufheizt.

Verschaltung der Module zum PV-Generator

Bei netzgekoppelten PV-Anlagen werden die einzelnen Module seriell und ggf. parallel zum PV-Generator verschaltet, um entsprechend hohe Spannungen und Ströme zur Einspeisung in das öffentliche Stromversorgungsnetz zu erreichen. Die Nennleistung des PV-Generators ergibt sich aus der Multiplikation der Modulnennleistung mit der Anzahl der installierten Module. Bei Verwendung verschiedener Modultypen sind zunächst die typbezogenen Teilleistungen entsprechend zu berechnen und anschließend zu addieren.

Um die für den Wechselrichter erforderliche Systemspannung zu erhalten, werden mehrere PV-Module zu einem Strang in Reihe geschaltet. Der Eingangsstrom des Wechselrichters resultiert aus der Anzahl der parallel geschalteten Stränge. Die konkrete Ausführung der Verschaltung ist vom jeweiligen Wechselrichtertyp bzw. vom gewählten Systemkonzept für die Energieaufbereitung (s. Abschnitt 4.3) abhängig.

Zur seriellen Verschaltung besitzen PV-Module üblicherweise eine rückseitig angebrachte Anschlussdose, die für die Verwendung im Außenbereich geeignet sein muss. Mittlerweile werden viele Modultypen mit herausgeführten, vorkonfektionierten Kabelanschlüssen und zugehörigen verpolungssicheren Steckverbindern (z. B. Tyco-Steckverbinder von Tyco Electronics) angeboten. Die Steckverbinder ermöglichen zum einen eine schnellere Installation, zum anderen besteht quasi keine Gefahr eines direkten Kontakts mit einem unter Spannung stehenden Leiter.



Verpolungssichere Tyco-Steckverbinder für Modulanschlussleitungen

Modulwirkungsgrad und Flächenbedarf

Der Wirkungsgrad von PV-Modulen hat einen Einfluss auf die Fläche, die zur Installation einer bestimmten Generatornennleistung benötigt wird. Analog zum Solarzellenwirkungsgrad ist der Wirkungsgrad eines PV-Moduls η_{Modul} definiert als Verhältnis aus abgegebener elektrischer Leistung und eingestrahelter Leistung.

$$\eta_{\text{Modul}} (\%) = \frac{P_{\text{Nenn}}}{(A_{\text{Modul}} \times 1.000 \text{ W/m}^2)} \times 100\%$$

In dieser Gleichung ist P_{Nenn} die Nennleistung des Moduls bei Standardtestbedingungen, A_{Modul} die gesamte Fläche des PV-Moduls und 1.000 W/m^2 die Bestrahlungsstärke bei STC. Der Modulwirkungsgrad ist stets etwas kleiner als der Wirkungsgrad der im PV-Modul verwendeten Solarzellen, da sich die

Modulnennleistung zwar aus der Anzahl der Solarzellen multipliziert mit der Zellennleistung ergibt, die Modulfläche jedoch aufgrund der erforderlichen Zellabstände (bei kristallinen Standardmodulen typischerweise 2 – 3 mm) und des allseitigen Randabstands der Solarzellen stets größer ist als die Summe der Zellflächen.

Eingesetzter Zelltyp

Modulwirkungsgrad in (%)

Spezifische Fläche (m²/kW_p)

monokristallines Silizium	12 – 17	6 – 8
polykristallines Silizium	12 – 15	7 – 8
amorphes Silizium	5 – 6	17 – 20

PV-Modulwirkungsgrade und spezifischer Flächenbedarf

In der oben stehenden Tabelle sind typische Modulwirkungsgrade von marktverfügbaren Standardmodulen mit unterschiedlichen Silizium-Zelltypen und der daraus jeweils resultierende spezifische Flächenbedarf pro Kilowatt peak (kWp)

installierter Nennleistung aufgeführt. Gerahmte PV-Module haben aufgrund der etwas größeren Abmessungen einen geringfügig kleineren Wirkungsgrad als rahmenlose Module des gleichen Typs. Bezüglich des exakten Flächenbedarfs eines

PV-Generators ist zu berücksichtigen, dass zu den reinen Modulabmessungen in der Regel noch montagebedingte Abstände zwischen den Modulen hinzuzurechnen sind.



Kenngößen von PV-Modulen

Die technischen Daten eines PV-Moduls werden vom Hersteller ermittelt und in einem Datenblatt zusammengefasst; die wichtigsten Werte (Nennleistung, Spannung und Strom im Punkt maximaler Leistung, Leerlaufspannung und Kurzschluss-Strom) finden sich zudem in der Regel auf einem Typenschild, das auf der Modulrückseite angebracht ist. Aufgrund von fertigungsbedingten Streuungen ist es möglich, dass einzelne PV-Module eines Typs von den Datenblattangaben abweichende Werte aufweisen, was vor allem die elektrische Leistung der Module betrifft. Daher geben die Hersteller in der Regel einen Toleranzbereich für die Nennleistung an, der zumeist $\pm 5\%$ beträgt.

Garantie

Bezüglich der Garantie für ein PV-Modul kann unterschieden werden zwischen der Leistungsgarantie und der Produktgarantie. PV-Module sind je nach Standort unterschiedlichen Umwelteinflüssen ausgesetzt, die im Laufe der Betriebsdauer zu Alterungserscheinungen führen können, woraus wiederum eine Verschlechterung der Leistungsfähigkeit resultieren kann. Die meisten Hersteller gewähren eine Garantie auf die Leistung eines PV-Moduls nach Ablauf einer bestimmten Betriebsdauer. Die Garantieangabe bezieht sich dabei auf die spezifizierte Minimalleistung gemäß Datenblatt. Typischerweise wird eine Leistungsgarantie von 20 bis 25 Jahren auf 80% der Nennleistung gegeben (Sunroof PV-Modul

SRP: 25 Jahre auf 80% der Nennleistung). Die Produktgarantie dagegen sichert dem Kunden zu, dass ein Photovoltaik-Modul innerhalb der Garantiezeit einwandfrei funktioniert und keine betriebsbedingten Schäden auftreten. Für PV-Module gilt die in Deutschland gesetzlich vorgeschriebene Garantiezeit von zwei Jahren, wobei manche Hersteller auch längere Fristen gewähren (Sunroof PV-Modul SRP: fünf Jahre).

Leistungsmessung

Um ein Zertifikat bezüglich der Modulleistung oder Kalibriermodule für die Fertigungskontrolle in der Produktion zu erhalten, lassen viele Anbieter von PV-Modulen die Leistung ihrer Modultypen von einer unabhängigen Institution (z. B. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Institut für Solarenergieforschung, TÜV Rheinland) vermessen. Das Verfahren zur Leistungs- bzw. Kennlinienmessung ist in der Norm DIN EN 60904-1 festgelegt.

Die Messungen können sowohl unter natürlichem Sonnenlicht als auch mit Hilfe eines Sonnensimulators durchgeführt werden. Falls dabei nicht unter Standardtestbedingungen gemessen wird, kann die Strom-Spannungs-Kennlinie nach einem ebenfalls genormten Verfahren auf STC umgerechnet werden.

Bauartzulassung

Ein wichtiges Qualitätsmerkmal für kristalline PV-Module ist das Zertifikat gemäß der Norm DIN EN 61215 bzw. IEC 61215 („Terrestrische kris-

talline Silizium-Photovoltaik-(PV-) Module – Bauarteignung und Bauartzulassung“). Die in diesem Standard festgelegten Prüfungen dienen dem Zweck, die elektrischen und thermischen Kenngrößen eines PV-Moduls zu ermitteln und nachzuweisen, dass es für den Langzeitbetrieb unter natürlichen (klimatischen) Umgebungsbedingungen geeignet ist. Der Qualitätsstandard ist mittlerweile international anerkannt, so dass es kaum noch Modultypen ohne dieses Zertifikat gibt. Für den Nachweis der Bauarteignung werden sechs PV-Module (und drei kleinere UV-Prüfmuster) aus der laufenden Produktion entnommen und verschiedenen Testsequenzen mit insgesamt 17 Einzelprüfungen unterzogen. Dazu gehören u. a. ein Dauertest unter Freilandbedingungen, eine UV-Prüfung, unterschiedliche Prüfzyklen in Klimakammern und mechanische Belastungstests. In dem Norm-Entwurf DIN EN 61646 sind die entsprechenden Prüfungen für Dünnschichtmodule festgelegt.

Sicherheitsqualifikation, Schutzklasse und Schutzart

Die Norm DIN EN 61730 bzw. IEC 61730 regelt die Sicherheitsqualifikation von Photovoltaik-Modulen und besteht aus zwei Teilen: Anforderungen an den Aufbau und Anforderungen an die Prüfung. Zur Erlangung eines entsprechenden Zertifikats müssen sowohl alle relevanten Vorgaben bezüglich Moduldesign und Materialien als auch die jeweiligen Anerkennungskriterien der einzelnen Sicherheitsprüfungen erfüllt sein.

Ein weiteres wichtiges Qualitätsmerkmal eines PV-Moduls ist der Nachweis, dass es sich um ein

Betriebsmittel der Schutzklasse II handelt. Bei derartigen Betriebsmitteln wird der Schutz gegen elektrischen Schlag durch die besondere Isolierung (doppelt oder verstärkt) der aktiven, d. h. bei normalen Betriebsbedingungen unter Spannung stehenden Teile erreicht. Die Eignung von PV-Modulen als Schutzklasse-II-Betriebsmittel wird anhand einer Prüfprozedur verifiziert. Derartige Typprüfungen werden z. B. vom TÜV Rheinland in Köln vorgenommen. Im Rahmen der Prüfprozedur wird u. a. eine Hochspannungsprüfung durchgeführt, deren Scheitelwert sich nach der PV-Systemspannung richtet, für die das Modul zugelassen werden soll.

Angestrebt werden üblicherweise maximal zulässige Systemspannungen zwischen 600 V und 1.000 V. Mittlerweile ist eine verhältnismäßig große Anzahl der marktverfügbaren PV-Module als Betriebsmittel der Schutzklasse II eingestuft worden.

Modulanschlussdosen sind üblicherweise in der Schutzart IP 54 oder besser ausgeführt. IP steht für „International Protection“, die erste Kennziffer 5 bedeutet vollkommenen Berührungsschutz und Schutz gegen schädliche Staubablagerungen in der Anschlussdose, die zweite Kennziffer 4 steht für Schutz gegen allseitiges Spritzwasser (Wasser aus allen Richtungen).

4.4 Wechselrichter für netzgekoppelte PV-Anlagen

Der Wechselrichter ist neben dem PV-Generator die zweite wichtige Schlüsselkomponente einer netzgekoppelten PV-Anlage. Die Hauptaufgabe des Wechselrichters besteht darin, die von den Solarmodulen gelieferte Gleichspannung in eine netzkonforme Wechselspannung umzuwandeln. Eine eingebaute Regelung zur maximalen Leistungsauskopplung (Maximum Power Point Tracking, kurz: MPP-Tracking) soll dafür sorgen, dass die an den Wechselrichter angeschlossenen PV-Module im Arbeitspunkt maximaler Leistungsabgabe betrieben werden. Weiterhin ist nach den Richtlinien der Verteilungsnetzbetreiber (VNB) eine Netzüberwachung vorgeschrieben, die dafür sorgt, dass im Falle einer Netzabschaltung (z. B. wegen Wartungsarbeiten) die Einspeisung durch eine Trennung

des Wechselrichters vom Netz unterbunden wird. Eine Erfassung der relevanten Betriebsdaten mit geräteinterner Anzeige oder Ausgabe über eine PC-Schnittstelle gehört mittlerweile zur Standardausstattung marktverfügbarer Wechselrichter.

Schaltungskonzepte und Schutzmaßnahmen

Wechselrichter für den Netzparallelbetrieb werden mit verschiedenen Schaltungskonzepten angeboten und lassen sich dementsprechend im Wesentlichen in folgende Kategorien einteilen:

- Zentral-, Strang- oder Modulwechselrichter
- Wechselrichter ohne bzw. mit Transformator (galvanische Trennung)

- Wechselrichter mit selbsttätiger Freischaltstelle (ENS) oder dreiphasiger Spannungsüberwachung

Transformatorlose Wechselrichter ermöglichen prinzipiell höhere Wirkungsgrade, da die transformatorbedingten Verluste entfallen. Das Wechselrichterkonzept hinsichtlich vorhandener oder nicht vorhandener galvanischer Trennung zwischen Eingangs- und Ausgangsseite des Wechselrichters ist für die Schutzmaßnahmen der Gleichstrominstallation von Bedeutung. Die Ausführung des Netzanschlusses (s. Abschnitt 4.4) hängt davon ab, ob ein Wechselrichter mit selbsttätiger Freischaltstelle oder dreiphasiger Spannungsüberwachung verwendet wird. Die ENS ist eine selbsttätig wirkende, dem VNB unzugängliche Schaltstelle als Sicher-



heitsschnittstelle zwischen einer netzparallelen Eigenerzeugungsanlage und dem Niederspannungsnetz (und damit ein gleichwertiger Ersatz für eine dem VNB jederzeit zugängliche Schaltstelle mit Trennfunktion). Die Abkürzung ENS steht für „Einrichtung zur Netzüberwachung mit jeweils zugeordnetem Schaltorgan in Reihe“. Ein Großteil der am Markt angebotenen Wechselrichter verfügt über eine Isolationsüberwachung, die den Zustand der Gleichstromverkabelung überwacht.

Wirkungsgrad

Die MPP-Regelung eines Wechselrichters soll jeweils den optimalen Arbeitspunkt des PV-Generators einstellen, der mit den Einstrahlungs- und Temperaturverhältnissen variiert. Die Güte der Anpassung an den Punkt maximaler Leistungsabgabe wird durch den Anpassungswirkungsgrad beschrieben. Dagegen ist der Umwandlungswirkungsgrad eines Wechselrichters definiert als das Verhältnis der Wechselstrom-Ausgangsleistung zur Gleichstrom-Eingangsleistung. Gute Wechselrichter weisen einen Umwandlungswirkungsgrad von etwa 90% bereits bei 10% ihrer Nennleistung auf.

Ein Vergleich verschiedener Wechselrichtertypen ist mit dem so genannten „Europäischen Wirkungsgrad“ möglich. Durch unterschiedliche Einstrahlungsverhältnisse wird der Wechselrichter oftmals in Teillastbereichen betrieben, wobei der Umwandlungswirkungsgrad nicht über den ganzen Leistungsbereich konstant ist, sondern insbesondere zu kleinen Leistungen hin deutlich abnimmt. Der Europäische Wirkungsgrad berücksichtigt die Häufigkeit der unterschiedlichen

Einstrahlungsintensitäten und ist somit eine gewichtete Größe, die für einen längeren Zeitraum die typische Effizienz von Wechselrichtern angibt. Je nach Leistungsklasse und Schaltungskonzept liegen die Europäischen Wirkungsgrade marktverfügbarer Wechselrichter meist zwischen 91% und 97%, im Mittel wird ein Wert von rund 95% erreicht.

Leistungsanpassung

Der Jahresenergieertrag einer PV-Anlage wird u. a. durch den Wirkungsgrad des ausgewählten Wechselrichters und dessen leistungsmäßige Anpassung an den PV-Generator bestimmt. Im Allgemeinen können Wechselrichter gegenüber dem PV-Generator unterdimensioniert werden, da sie eine mögliche höhere Eingangsleistung für eine gewisse Zeitspanne übertragen können bzw. durch Arbeitspunktverschiebung auf ihre Nennleistung abregeln.

Die Leistungsanpassung zwischen dem Wechselrichter und dem PV-Generator, d. h. das Verhältnis der Wechselrichternennleistung zur PV-Generatornennleistung, sollte so gewählt werden, dass sich für den Wechselrichter ein maximaler Jahresbetriebswirkungsgrad ergibt. Eine Überdimensionierung des PV-Generators hat den Vorteil, dass der Wechselrichter häufiger in Teillastbereichen mit höheren Umwandlungswirkungsgraden betrieben wird, woraus ein höherer Jahresbetriebswirkungsgrad resultiert. Das optimale Anpassungsverhältnis ist u. a. abhängig vom Standort und der Ausrichtung des PV-Generators (Häufigkeit der auftretenden Bestrahlungsstärken) und dem Verlauf der Umwandlungswirkungsgradkurve des Wechselrichters. Im Falle eines optimal ausge-

richteten PV-Generators sollte die Gleichstrom-Nennleistung des Wechselrichters etwa 80% bis 100% der Generatornennleistung betragen (Anhaltswerte!).

Richtlinien und Konformitätserklärung

Für den Anschluss an das öffentliche Stromversorgungsnetz muss der Wechselrichter der „Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz mit VDN-Ergänzungen“ entsprechen, die vom Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW) und vom Verband der Netzbetreiber (VDN) herausgegeben wird.

Die Erfüllung der Vorgaben dieser Richtlinie ist durch eine Konformitätserklärung des Wechselrichterherstellers nachzuweisen. Mit einer Konformitätserklärung bzw. durch das CE-Zeichen wird weiterhin bescheinigt, dass der Wechselrichter den Anforderungen der einschlägigen geltenden Normen entspricht und somit ein störungsfreier Netzbetrieb gewährleistet ist.

Installationsort

Bei der Wahl des Installationsortes für den oder die Wechselrichter sind mögliche Leitungswege, der für den jeweiligen Typ zugelassene Umgebungstemperaturbereich und die Schutzart des Gehäuses genauso zu berücksichtigen wie die Tatsache, dass einige Wechselrichter eine gewisse Geräuschemission aufweisen. Bei Verwendung von Zentral- oder Strangwechselrichtern, die üblicherweise als Wandgeräte ausgeführt sind, ist daher in der Regel ein geeigneter Betriebsraum vorzusehen. Wenn ein Wechselrichter im Freien installiert wird, muss das Gehäuse mindestens der Schutzart IP 54, besser jedoch IP 65 entsprechen.

Systemkonzepte für die Energieaufbereitung

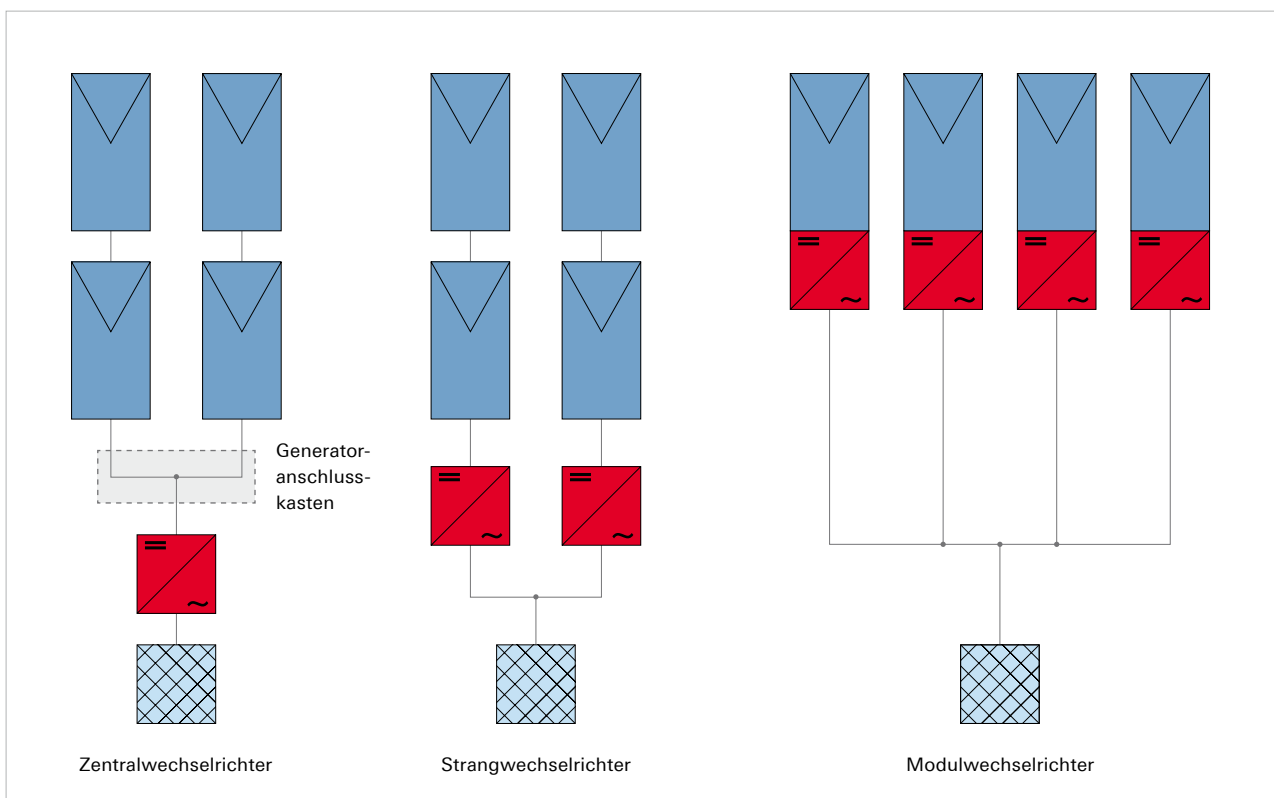
Bezüglich der Energieaufbereitung in netzgekoppelten PV-Anlagen können drei Systemkonzepte bzw. Wechselrichtertypen unterschieden werden:

- Zentralwechselrichter mit gleichstromseitiger Reihen- und Parallelschaltung der PV-Module. Die Energiesammlung erfolgt ausschließlich auf der Gleichstromseite.
- Strangwechselrichter mit gleichstromseitiger Reihenschaltung der PV-Module und wechselstromseitiger Parallelschaltung der Wechselrichter.
- Modulwechselrichter für einzelne PV-Module mit wechselstromseitiger Parallelschaltung der Wechselrichter. Die Energiesammlung

erfolgt ausschließlich auf der Wechselstromseite.

Anfänglich wurden netzgekoppelte PV-Anlagen fast ausschließlich mit Zentralwechselrichtern ausgeführt, d. h. mit einem Wechselrichter für die gesamte Leistung des PV-Generators. Dieser setzt sich aus mehreren parallelen Strängen zusammen, die wiederum aus seriell verschalteten PV-Modulen bestehen. Die Stränge werden im Generatoranschlusskasten zusammengefasst und über die Gleichstromhauptleitung an den Wechselrichter angeschlossen. Seit Mitte der neunziger Jahre haben Strangwechselrichter einen zunehmend größeren Marktanteil. Bei diesem Systemkonzept werden alle Module eines (Teil-)Generators in Reihe geschaltet, d. h. zu einem Strang (String) verbunden, und an den Strangwechselrichter ange-

schlossen. Manche Geräte dieses Typs sind auch für den Anschluss von zwei oder mehr Strängen geeignet. Sogenannte Multistring-Wechselrichter verfügen darüber hinaus über mehrere MPP-Regelheiten (MPP-Tracker) und können die angeschlossenen Teilgeneratoren daher mit verschiedenen Spannungen / optimalen Arbeitspunkten betreiben, was insbesondere bei unterschiedlichen Ausrichtungen oder Verschattungen der Modulstränge zu besseren Erträgen führt. Zur Erhöhung der Anlagenleistung werden mehrere Strangwechselrichter wechselstromseitig parallel geschaltet, wobei auch eine nachträgliche Erweiterung der PV-Anlage leicht möglich ist. Modulwechselrichter sind Kleinwechselrichter, die mit Nennleistungen von etwa 100 W bis ca. 1.000 W am Markt verfügbar sind. Diese Wechselrichter werden entweder anstelle



Systemkonzepte für die Energieaufbereitung netzgekoppelter PV-Anlagen (Quelle: Institut für Solarenergieforschung)



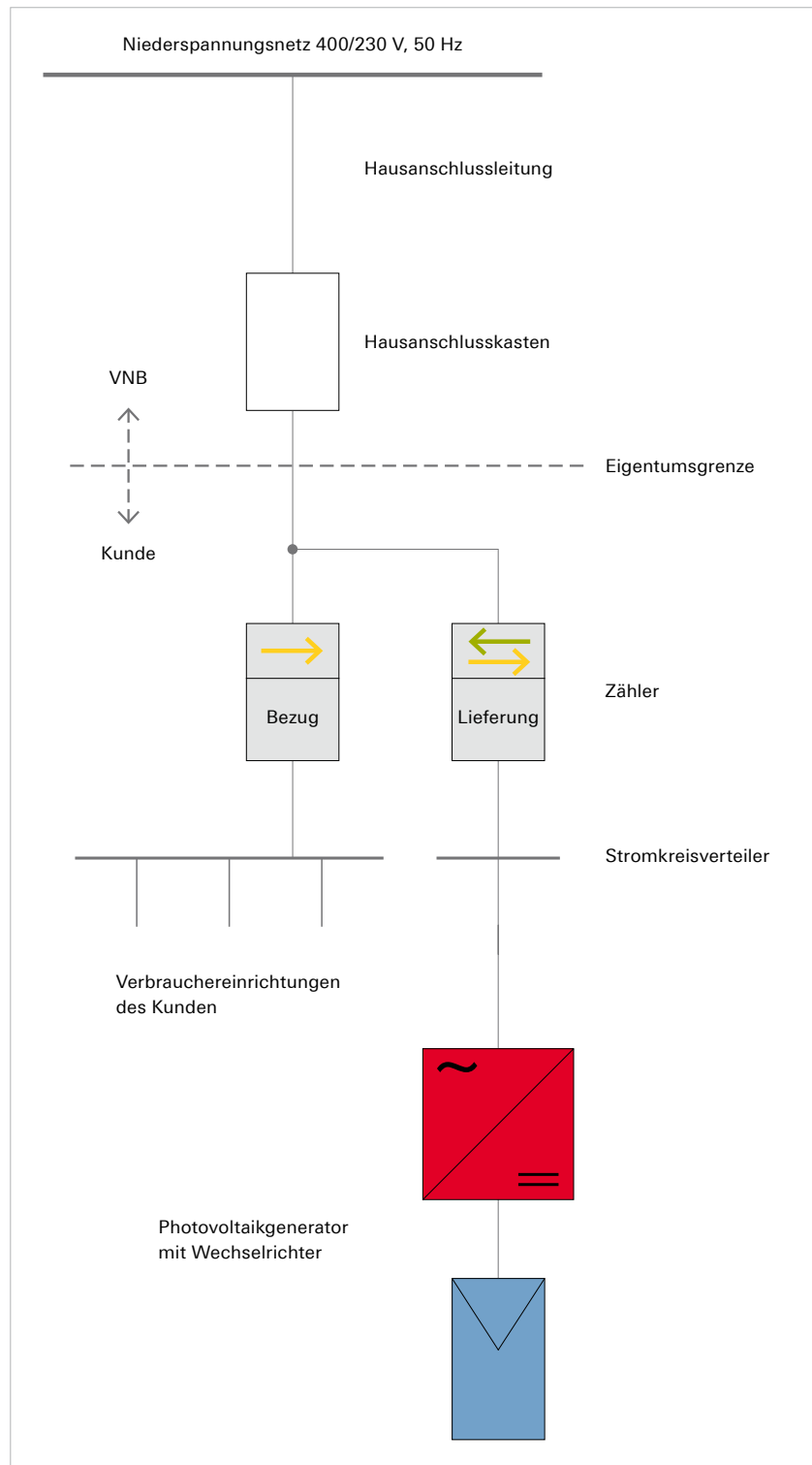
einer Anschlussdose auf der Modulrückseite befestigt oder in unmittelbarer

Modulnähe angeordnet. Modulwechselrichter haben zurzeit noch

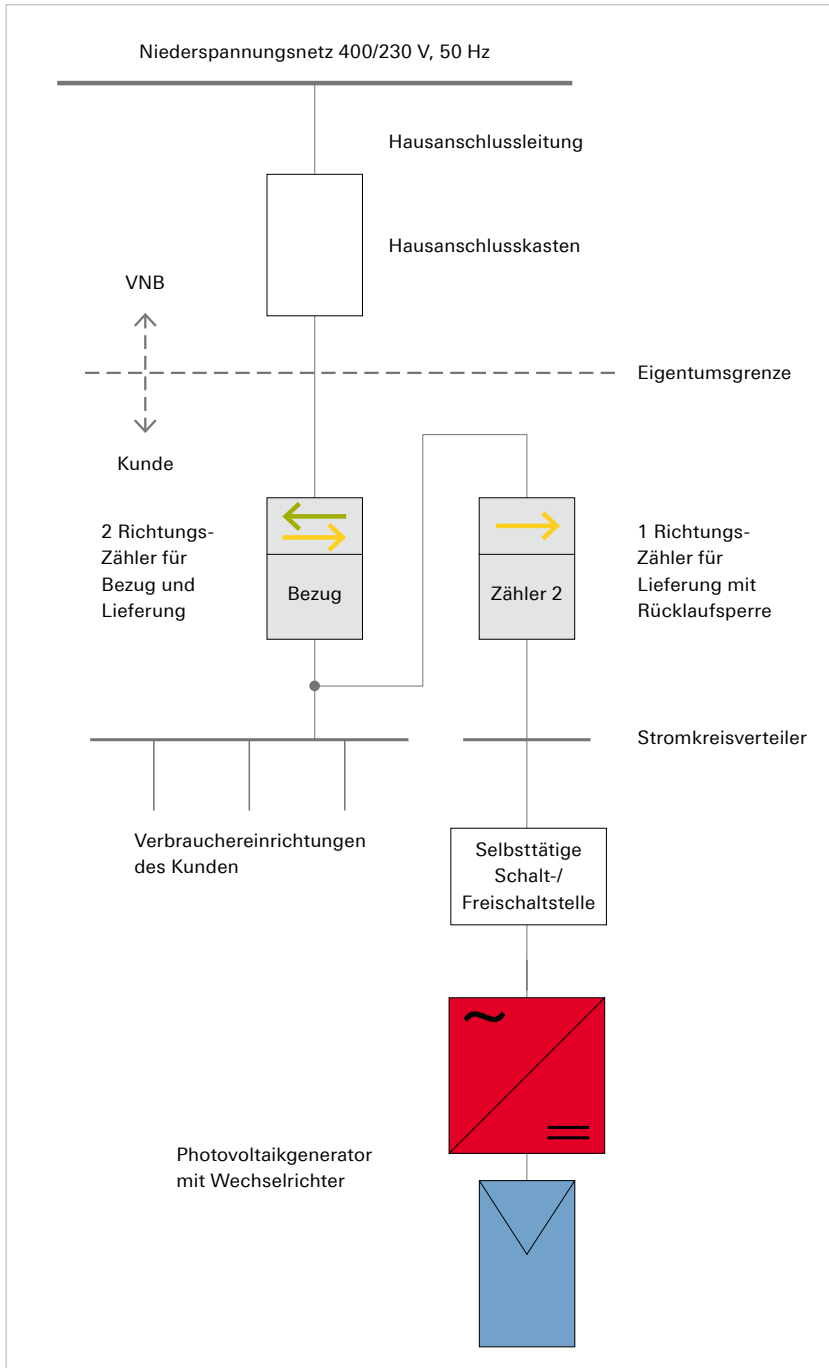
eine untergeordnete Bedeutung für größere netzgekoppelte PV-Anlagen.

4.5 Netzanschluss

Der Anschluss einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage an das öffentliche Stromversorgungsnetz erfordert die Beachtung und Einhaltung verschiedener Vorschriften und Bestimmungen und ist grundsätzlich mit dem jeweils zuständigen Verteilungsnetzbetreiber (VNB) abzustimmen. Der Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW) hat dazu eine überarbeitete Richtlinie (4. Ausgabe 2001) herausgegeben, zu der zwei Ergänzungen vom Verband der Netzbetreiber (VDN) erarbeitet wurden (Stand Sept. 2005): „Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz – Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz mit VDN-Ergänzungen“. Die VDEW-Richtlinie ist für diverse Eigenerzeugungsanlagen, wie bspw. Wasserkraft-, Windenergieanlagen, Blockheizkraftwerke und Brennstoffzellen sowie für Photovoltaikanlagen gültig. Die Richtlinie fasst die wesentlichen Gesichtspunkte zusammen, die beim Anschluss von Eigenerzeugungsanlagen an das Niederspannungsnetz des VNB zu beachten sind. Sie dient gleichermaßen dem Verteilungsnetzbetreiber wie dem Errichter als Planungsunterlage und Entscheidungshilfe; außerdem erhält der Betreiber wichtige Informationen zum Anlagenbetrieb. Die VDEW-Richtlinie gilt für Planung, Errichtung, Betrieb und Änderung von o. g. Eigenerzeugungsanlagen, die an das Niederspannungsnetz (400/230 V, 50 Hz) des VNB angeschlossen und parallel mit dem Netz betrieben werden.



Prinzipialschaltbild einer netzparallelen PV-Anlage bei Volleinspeisung gemäß EEG (Quelle: Verband der Elektrizitätswirtschaft, target GmbH)



Prinzipialschaltbild einer netzparallelen PV-Anlage mit teilweiser Eigenstromversorgung gemäß EEG (Quelle: E.ON Hanse Wärme GmbH)

Bestimmungen und Vorschriften

Gemäß der VDEW-Richtlinie wird grundsätzlich gefordert, dass die PV-Anlage unter Beachtung der jeweils gültigen Bestimmungen und Vorschriften so zu errichten und zu betreiben ist, dass sie für den Parallelbetrieb mit dem Niederspannungsnetz des VNB geeignet ist und unzulässige Rückwirkungen auf das Netz oder andere Kundenanlagen ausgeschlossen werden können. Für Errichtung und Betrieb einer Eigenerzeugungsanlage sind folgende Vorschriften und Richtlinien zu erfüllen bzw. einzuhalten:

- Jeweils gültige gesetzliche und behördliche Vorschriften
- Gültige DIN- und DIN-VDE Normen
- Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften der zuständigen Berufsgenossenschaften
- Bestimmungen und Richtlinien des VNB, insbesondere die „Technischen Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Niederspannungsnetz – TAB 2007“

Anmeldeverfahren

Der jeweilige Verteilungsnetzbetreiber sollte bereits in der Planungsphase einer PV-Anlage einbezogen werden. Für die Anmeldung sind im Allgemeinen, unter Beachtung des nach TAB 2007 geltenden Anmeldeverfahrens, folgende Unterlagen rechtzeitig beim VNB einzureichen:



- Anmeldevordruck zum Anschluss an das Niederspannungsnetz
- Lageplan, aus dem die Bezeichnung und die Grenzen des Grundstücks sowie der Aufstellungsort der PV-Anlage hervorgehen
- Datenblatt mit den technischen Daten der PV-Anlage
- Übersichtsschaltplan der gesamten elektrischen Anlage mit den Daten der eingesetzten Betriebsmittel (einpole Darstellung ist ausreichend)
- Beschreibung der Schutzeinrichtungen mit genauen Angaben über Art, Fabrikat, Schaltung und Funktion und ggf. eine entsprechende Konformitätserklärung als Nachweis, dass die in der VDEW-Richtlinie genannten Anforderungen erfüllt werden
- Angabe über den Kurzschluss-Strom der Eigenerzeugungsanlage am Übergabepunkt im Niederspannungsnetz
- Beschreibung der Art und Betriebsweise von PV-Generator und Wechselrichter sowie der Art der Netzschtaltung anhand von Datenblättern oder Prüfprotokollen
- Vorlage der Konformitätserklärungen des Wechselrichterherstellers oder entsprechender Datenblätter als Nachweis über die Erfüllung der in der VDEWRichtlinie gestellten Anforderungen

Ausführung des Netzanschlusses

Eigenerzeugungsanlagen sind an einem geeigneten Punkt im Netz, dem so genannten Netzanschlusspunkt, anzuschließen. Dieser wird unter Berücksichtigung der gegebenen Netzverhältnisse, der Leistung und der Betriebsweise der Anlage sowie der berechtigten Interessen des Betreibers vom VNB festlegt. Der Anschluss einer Photovoltaikanlage an das Niederspannungsnetz ist dementsprechend im Einzelnen mit dem Verteilungsbetreiber abzustimmen und durch einen eingetragenen Elektroinstallateur vorzunehmen. Grundsätzlich ist zu beachten, dass Eigenerzeugungsanlagen nur bis zu einer Nennscheinleistung von 4,6 kVA einphasig an das Niederspannungsnetz angeschlossen werden dürfen, um Unsymmetrien des dreiphasigen Drehstromnetzes zu begrenzen. Anlagen mit einer Nennscheinleistung größer 4,6 kVA sind mehrphasig anzuschließen.

Zählerplätze, Mess- und Steuereinrichtungen

Die Art und Anzahl der erforderlichen Messeinrichtungen (Zähler) und Steuergeräte (Tarifschaltgeräte) richten sich nach den Vertragsverhältnissen für Stromeinspeisung und Strombezug, so dass diesbezüglich und auch hinsichtlich des Anbringungsortes bereits im Planungsstadium eine Abstimmung mit dem VNB notwendig ist.

Inbetriebnahme

Im Antrag zur Inbetriebsetzung ist vom Errichter zu bestätigen, dass die PV-Anlage nach der VDEW-Richtlinie und den darin aufgeführten Vorschriften, Normen und Bestimmungen ausgeführt wurde. Der erstmalige Netzparallelbetrieb der Anlage ist mit dem Verteilungsnetzbetreiber abzustimmen. Bei der Inbetriebnahme werden verschiedene Prüfungen durchgeführt, deren Ergebnisse in einem Protokoll festzuhalten sind.

Anmeldung Bundesnetzagentur

Eine Photovoltaikanlage muss vor Inbetriebnahme im Melderegister der Bundesnetzagentur (www.bundesnetzagentur.de) eingetragen sein, sonst wird die Einspeisevergütung nicht gezahlt.

5 Basisregeln zur Auslegung einer Photovoltaikanlage

5.1 Dimensionierung

Die Auslegung einer netzgekoppelten PV-Anlage ist aus technischer Sicht unabhängig vom Strombedarf des Gebäudes, da die Versorgungssicherheit durch das öffentliche Stromnetz gegeben ist. Daher kann die Dimensionierung einer netzgekoppelten PV-Anlage grundsätzlich unter drei Gesichtspunkten erfolgen: Die beiden wichtigsten Kriterien sind die zur Verfügung stehenden Belegungsflächen sowie das vorhandene Investitionskapital, wohingegen der solare Deckungsanteil am Stromverbrauch des Gebäudes eine eher untergeordnete Rolle spielt.

Dimensionierung nach verfügbarer Fläche

Bei dieser Auslegungsvariante resultieren Größe und Nennleistung einer PV-Anlage aus der Wahl von Dachflächen mit geeigneter Ausrichtung und Verschattungsfreiheit, um somit möglichst hohe Energieerträge der Anlage zu gewährleisten. Bezüglich der Flächenausrichtung gibt es ein verhältnismäßig großes Spektrum an Installationsmöglichkeiten, da sich beispielsweise bei Neigungen zwischen etwa 10° und 50° und Orientierungen zwischen Südost (- 45°) und Südwest (+ 45°) lediglich geringe Ertragseinbußen (ca. 5%) im Vergleich zu einer optimal ausgerichteten PV-Anlage (ca. 30° Neigung, Südorientierung) ergeben. Hinsichtlich der Verschattungsfreiheit sind nicht nur die umgebende Bebauung und Vegetation zu berücksichtigen, sondern insbesondere auch nahe am vorgesehenen Montageort befindliche Gebäudeteile oder Dachaufbauten wie Gauben, Schornsteine oder Sanitär-

entlüfter. Bei der Flächenauswahl bzw. Anordnung der PV-Module spielen auch ästhetische und architektonische Aspekte (z. B. Verhältnis von Generatorfläche zur Gesamtfläche des Daches) und andere objektspezifische Randbedingungen (vorhandene Dachfenster, Kombination mit Roto Kollektoren und Wohndachfenstern, Abstände zu First, Traufe und Ortgang etc.) eine entscheidende Rolle.

Bei noch nicht errichteten Neubauten können für die Belegung mit PV-Modulen geeignete Gebäudeflächen anhand von Bauplänen oder Architektenzeichnungen ermittelt werden, aus denen in der Regel auch die Neigungen und Orientierungen der einzelnen Flächen hervorgehen. Bei bereits (teilweise) fertig gestellten Gebäuden bzw. bei nachträglicher Installation einer PV-Anlage ist in jedem Falle eine Ortsbesichtigung erforderlich, um geeignete Montageflächen zu ermitteln und die Verschattungssituation zu überprüfen. Dafür werden Hilfsmittel wie beispielsweise Neigungswinkel-Messgerät, Kompass, Zollstock oder Bandmaß sowie gegebenenfalls ein Sonnenbahnanalysator oder eine Kamera (mit Fischaugenobjektiv) benötigt. Ein Vor-Ort-Termin sollte möglichst vor Beginn der eigentlichen Planungsphase durchgeführt werden, um auch die weiteren Randbedingungen für die Installation einer PV-Anlage (z. B. bauliche Gegebenheiten, Leitungslängen und -wege, Zählerschrank und Netzanschlusspunkt, ggf. Gerüstaufstellung bzw. Zugänglichkeit für Kranmontage usw.) zu erfassen. Eine gründ-

liche Erstbesichtigung hilft Planungsfehler und Fehlkalkulationen bei der Angebotserstellung zu vermeiden, wobei vorbereitete Checklisten die Datenerhebung erleichtern.

Wenn die PV-Belegungsflächen in Abstimmung mit dem Bauherren (und ggf. dem Architekten) festgelegt sind, kann die Nennleistung der PV-Anlage in Abhängigkeit vom Modultyp ermittelt werden. Der Richtwert für den Flächenbedarf beträgt bei kristallinen PV-Modulen 8 – 10 m² pro Kilowatt peak (kWp) installierter Nennleistung.

Dimensionierung nach vorhandenem Investitionskapital

Bei dieser Auslegungsvariante sind das vorhandene Budget des Bauherren und die projektspezifischen Kosten der PV-Anlage ausschlaggebend. Die jeweiligen Kosten hängen u. a. von den Modulen ab, die für die PV-Anlage verwendet werden. Weiterhin beeinflusst z. B. der Montageaufwand die Kosten pro kWp installierter Nennleistung, zudem wirkt sich die Größe der Anlage auf den Preis aus. Außerdem ist zu prüfen, ob der PV-Anlage durch Substitution herkömmlicher Bauelemente eingesparte Kosten gutgeschrieben werden können. Bei der Dimensionierung nach vorhandenem Investitionskapital sind auch in Frage kommende Fördermittel und die Refinanzierung der PV-Anlage durch die – gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz – vorgeschriebene Mindestvergütung für photovoltaisch erzeugten Strom zu berücksichtigen.



Dimensionierung nach Stromverbrauch

Bei netzgekoppelten PV-Anlagen besteht kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Stromverbrauch und photovoltaischer Stromerzeugung. Die Anlagenauslegung ist aus technischer Sicht unabhängig vom Strombedarf des Objekts, da das öffentliche Stromnetz die Versorgungssicherheit gewährleistet.

Die Auslegung nach dem Stromverbrauch spielt daher eine eher untergeordnete Rolle, obwohl häufig aufgrund des Energiebewusstseins oder wegen der pädagogischen Wirkung ein bestimmter solarer Deckungsanteil am Strombedarf des Gebäudes (oder einzelner Verbraucher) gewünscht wird. Der solare Deckungsanteil ergibt sich als Verhältnis aus (prognostiziertem)

Jahresenergieertrag der PV-Anlage und Jahresstromverbrauch des Gebäudes. Bei jedem Projekt sollten stets auch begleitende Maßnahmen zur rationellen Energienutzung (z. B. Verwendung effizienter Elektrogeräte, Reduktion von Gerätenutzungszeiten, Durchführung einer Energieberatung) erwogen werden, um in der Regel vorhandene Energieeinsparpotentiale auszuschöpfen.

5.2 Planungsschritte

Die Planung einer netzgekoppelten PV-Anlage umfasst u. a. die nachfolgend aufgeführten Punkte:

- Flächenermittlung
- Auswahl geeigneter Flächen bezüglich Neigung, Orientierung und Verschattungsfreiheit
- Auswahl der PV-Module
- Abmessungen
- Modultyp
- Ermittlung der Nennleistung des PV-Generators
- Festlegung des Systemkonzepts
 - Energieaufbereitung mit Strang- oder Zentralwechselrichter
 - Strangverschaltung und Systemspannung
- Auswahl des Wechselrichters
 - Leistungsanpassung
 - Eingangsspannung und -strom
- Auswahl geeigneter Installationsorte und Technikräume
 - Strangverteilerkästen (ggf.), Generatoranschlusskasten (ggf.)
 - Betriebsraum für Wechselrichter (ggf.)
 - Netzanschlusspunkt
- Ertragsprognose
 - Nutzung von Simulationsprogrammen
 - ggf. Verschattungsanalyse
 - ggf. Wirtschaftlichkeitsberechnung

Für detailliertere Informationen zur Auslegung von netzgekoppelten PV-Anlagen sei an dieser Stelle auf die weiterführende Literatur verwiesen, in der beispielsweise auch Checklisten unter anderem zur Dimensionierung und Planung zu finden sind.

5.3 Simulationsprogramme

Bei der Planung insbesondere von größeren netzgekoppelten PV-Anlagen ist es sinnvoll, ein geeignetes Simulationsprogramm als Werkzeug zu nutzen. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl entsprechender Produkte, die sowohl kommerziell als auch teilweise kostenfrei in Form von Shareware erhältlich sind (z. B. greeniusFREE, INSEL, PV*SOL, PVSYST, RETScreen, SolEm). Die Programme unterscheiden sich teilweise erheblich in Funktionsumfang, Anwendungsbereich, Rechengenauigkeit, Einarbeitungsaufwand und Bedienungskomfort. Bei gegebener Nutzerfreundlichkeit bzw. nach entsprechender Einarbeitung ist es möglich, mit Hilfe eines Simulationsprogramms eine PV-Anlagen-

auslegung schnell durchzuführen und den Energieertrag hinreichend genau zu prognostizieren. Es lassen sich auch verschiedene Anlagenkonfigurationen simulieren, um die beste Lösung unter energetischen oder ökonomischen Gesichtspunkten zu ermitteln. Einige Programme berücksichtigen auch die Auswirkungen von Verschattungen des PV-Generators, so dass eine optimierte Anordnung bzw. angepasste Verschaltung der Module gefunden werden kann. Bei der Nutzung von Simulationsprogrammen muss jedoch bedacht werden, dass die Ergebnisse der Berechnungen immer nur so genau sind, wie es die Eingabewerte des Nutzers und die Simulationsmethode zulassen. Auch die

Qualität der Wetterdaten, die für jede Simulation benötigt werden, bestimmt maßgeblich die Genauigkeit der Ertragsprognose. Daher sollten Simulationsergebnisse stets kritisch geprüft und mit den Betriebsergebnissen von realisierten Anlagen verglichen werden.

Detailliertere Informationen zu Simulationsprogrammen für PV-Anlagen können der weiterführenden Literatur sowie entsprechenden Marktübersichten und Veröffentlichungen in Fachzeitschriften (z. B. Sonne Wind & Wärme 6/2002, 10/2003 und 5/2007, Photon 8/2003) entnommen werden.

5.4 Abschätzung des Energieertrags

Der Jahresenergieertrag einer PV-Anlage wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Dazu zählen vor allem die solare Einstrahlung und ggf. vorhandene Teilverschattungen des Generators, aber auch die im Anlagenbetrieb auftretenden Modultemperaturen. Weitere Faktoren mit Auswirkungen auf den Energieertrag sind das Verschaltungskonzept bei unterschiedlich ausgerichteten Modulen, die gewählte Leistungsanpassung des Wechselrichters, Betriebsausfälle der Komponenten usw. Die installierte Nennleistung eines PV-Generators erlaubt keinen unmittelbaren Rückschluss auf den zu erwartenden Jahresenergieertrag, da zum einen

die dieser Leistungsangabe zugrunde liegenden Standardtestbedingungen im realen Betrieb nicht erreicht werden und zum anderen die Verluste der zugehörigen Systemtechnik zu berücksichtigen sind. Eine genauere Ertragsprognose für eine PV-Anlage erfordert die Ermittlung der standort- und ausrichtungsabhängigen Einstrahlung (z. B. mit Hilfe eines Simulationsprogramms) und eine Abschätzung der auftretenden Verluste, die sich einerseits den PV-Modulen und andererseits der Systemtechnik zuordnen lassen.

Die nachfolgende Auflistung erläutert die Ursachen für die Modulverluste:

- Geringe Bestrahlungsstärke: Mit abnehmender Bestrahlungsstärke sinkt der Modulwirkungsgrad, da die Spannung im Punkt maximaler Leistung (MPP) abnimmt
- Hohe Modultemperatur: Mit zunehmender Modultemperatur nimmt der Modulwirkungsgrad näherungsweise linear ab
- Reflexion: Bei großen Einfallswinkeln wird die Solarstrahlung zunehmend stärker an der Moduloberfläche reflektiert
- Leistungstoleranz: Die von den Herstellern in den Datenblättern der Module angegebenen elektrischen Werte unterliegen einer fertigungsbedingten Streuung



Die Systemtechnik von PV-Anlagen ist in der Regel mit folgenden Verlusten behaftet:

- **Modulmismatch:**
Dabei handelt es sich um Fehlanpassungen, die sich durch die Verschaltung von PV-Modulen mit unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften (aufgrund von Fertigungstoleranzen) ergeben
- **Gleichstrominstallation:**
Verluste in Leitungen und sonstigen Betriebsmitteln auf der Gleichstromseite der PV-Anlage
- **MPP-Fehlanpassung:**
Diese Verluste entstehen aufgrund einer nicht idealen Betriebsführung des PV-Generators durch den Wechselrichter. Eine im Wechselrichter integrierte Regelung zur

zur max. Leistungsauskopplung soll dafür sorgen, dass die angeschlossenen PV-Module immer im Punkt maximaler Leistung (MPP) betrieben werden, der allerdings mit den momentanen Bestrahlungsstärke- und Temperaturverhältnissen variiert

- **Wechselrichter:**
Ein Wechselrichter weist interne Verluste (z. B. in den Halbleiterschaltern und im ggf. vorhandenen Transformator) auf, die sich auf den Umwandlungswirkungsgrad (Verhältnis von Ausgangsleistung zu Eingangsleistung) auswirken

Der Solarenergie-Förderverein Deutschland e. V. erfasst die von Betreibern aus ganz Deutschland monatlich übermittelten PV-Anlagenenerträge und veröffentlicht die

entsprechenden regionalen und bundesweiten Ertragsübersichten im Internet (www.pv-ertraege.de). Im bundesweiten Durchschnitt haben alle in der Statistik berücksichtigten PV-Anlagen in den Jahren 2000 bis 2007 einen mittleren spezifischen Jahresenergieertrag von rund 890 kWh/(kWp Jahr) geliefert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich Faktoren wie Neigung und Ausrichtung des PV-Generators, ggf. vorhandene Verschattungen, die Art der Modulhinterlüftung usw. auf die Betriebsergebnisse auswirken. Natürlich beeinflussen auch regionale Einstrahlungsunterschiede den Anlagenenertrag, so dass beispielsweise im einstrahlungsreicheren Süden Deutschlands vergleichsweise höhere Energieerträge zu erwarten sind.

5.5 Baugenehmigung

Auch baurechtliche Bestimmungen sollten bereits bei der Auslegung einer PV-Anlage berücksichtigt werden, da Solaranlagen bauliche Anlagen im Sinne des Baurechts sind und somit den entsprechenden bundes- und landesrechtlichen Vorschriften unterliegen. Gebäudeintegrierte PV-Anlagen (Dach- und Fassadenanlagen) sind nach den Bauordnungen aller Länder genehmigungsfrei. In den meisten Bundesländern ist eine Bauanzeige für PV-Anlagen zwar nicht vorgeschrieben, aber insbesondere in Zweifelsfällen dennoch empfehlenswert, da das zuständige Bauamt daraufhin prüft, ob im konkreten Fall ein Baugenehmigungsverfahren erforderlich ist. Auch wenn bei bestimmten Objekten eine Aufdachmontage von PV-Modulen abgelehnt werden sollte,

dürfen dachintegrierte Photovoltaikanlagen demgegenüber oftmals installiert werden. Bei Gebäuden, die unter Denkmalschutz stehen oder sich in der Umgebung von denkmalgeschützten Bauwerken befinden, liegt es in der Regel im Ermessen der zuständigen Denkmalbehörde, ob die Installation einer PV-Anlage (ggf. unter Auflagen) genehmigt wird.

5.6 Eckdaten und Faustregeln

In der folgenden Auflistung sind die wichtigsten Eckdaten einer PV-Anlage und ergänzend dazu einige relevante Aspekte in Faustregeln zusammengefasst:

- Pro Kilowatt peak (kWp) installierter Nennleistung wird eine Fläche von etwa 8 – 10 m² benötigt
- In Deutschland erzeugt eine PV-Anlage rund 900 kWh pro Jahr und kWp
- PV-Anlagen, die mit einer Abweichung von bis zu 45° aus der Südrichtung und mit Neigungen zwischen etwa 10° und 50° installiert werden, weisen lediglich minimale Energieertragseinbußen auf
- Verschattungen von Photovoltaikanlagen sind grundsätzlich zu vermeiden
- Verschattende Elemente sollten nicht höher als 15° über die Unterkante des PV-Generators hinausragen.
- Eine Photovoltaikanlage hat eine durchschnittliche Lebensdauer von 25 Jahren und mehr



6 Anhang

6.1 Fachzeitschriften

Erneuerbare Energien

SunMedia Verlags GmbH
Hans-Böckler-Allee 7
30173 Hannover
Telefon 0511 8550-2560
Telefax 0511 8550-2500
www.erneuerbareenergien.de

Photon

Solar Verlag GmbH
Jülicher Straße 376
52070 Aachen
Telefon 0241 4003-0
Telefax 0241 4003-300
www.photon.de

Photovoltaik

Verlagsgemeinschaft
Alfons W. Gentner Verlag GmbH & Co. KG
und Solarpraxis AG
Forststraße 131
70193 Stuttgart
Telefon 0711 63672-0
Telefax 0711 63672-747
www.photovoltaik.eu

Solarthemen

G. Bröer & A. Witt GbR
Bültestraße 70 B
32584 Löhne
Telefon 05731 83460
Telefax 05731 83469
www.solarthemen.de

Sonnenenergie

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e. V.
Emmy-Noether-Straße 2
80992 München
Telefon 089 524071
Telefax 089 521668
www.dgs-solar.org

Sonne Wind & Wärme

BVA Bielefelder Verlag GmbH & Co. KG
Ravensberger Straße 10 F
33602 Bielefeld
Telefon 0521 595514
Telefax 0521 595518
www.bva-solar.de

6.2 Ausgewählte Internetadressen

www.solarwirtschaft.de

Informationsangebot des Bundesverbands
Solarwirtschaft e. V. (BSW-Solar) für Unternehmer,
Medienvertreter, Verbraucher und Entscheider,
Marktdaten, Branchennews und allgemeine
Informationen zur Solartechnik

www.solarfoerderung.de

Interaktive Förder- und Technikberatung
des BSW-Solar, Informationen und Materialien
zu Solaranlagen, regional gegliedertes Verzeichnis
von Handwerksbetrieben

www.solarserver.de

Umfangreiches Forum für Solarenergie,
Förderprogrammübersicht, Firmenverzeichnis,
Veranstaltungstermine, Verzeichnisse von Instituten,
Behörden und Verbänden, Link-Liste

www.solarcontact.de

Informationsportal für Solartechnik, Solarnews,
Fördermittel-Datenbank, neutrale Hersteller-
präsentation, Handwerkersuche per PLZ und
Direktkontakt per E-Mail, umfangreiche Hand-
werkerpräsentation mit Referenzen, Kosten- und
Größenschätzung mit interaktivem Fragebogen

www.pv-ertraege.de

Internetseite des Solarenergie-Fördervereins Deutschland e. V. mit regionalen und bundesweiten Übersichten zu PV-Anlagenerträgen

www.boxer99.de

Informationsdienst für regenerative Energien mit Tagesmeldungen, Terminvorschau, Firmenverzeichnis, Link-Liste, Statistiken, Fachliteratur usw.

www.top50-solar.de

Hitliste der 600 am häufigsten besuchten deutschsprachigen Internetseiten zum Thema Solarenergie

www.bafa.de

Internetseite des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), Informationen und Richtlinien zum Marktanreizprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

www.kfw-foerderbank.de

Informationsangebot der KfW Förderbank, Richtlinien und Konditionen zum KfW-Programm „Solarstrom Erzeugen“ und weiteren KfW-Förderprogrammen, Förderberater

6.3 Glossar

Absorber

Empfänger der Solarstrahlung, geschwärzt oder mit einer selektiven Beschichtung und mit einem integrierten Rohrsystem versehen. Auf der Oberfläche wird die Strahlung der Sonne in Wärme umgesetzt und an eine Wärmeträgerflüssigkeit (Wasser-Frostschutzmittel-Gemisch) übertragen

Absorptionsgrad (a)

Gibt den Anteil der auf eine Fläche treffenden Strahlung an, der in Wärme umgesetzt wird

AC – Alternating Current

Englische Abkürzung für Wechselstrom

Amorphe Zelle

Eine amorphe Zelle ist eine Solarzelle, bestehend aus einer auf Glas aufgedampften Fläche von Silizium. Die Atome verteilen sich dort nicht in einer Kristallstruktur, sondern ungeordnet (amorph: griechisch „gestaltlos“). Der Vorteil dieser Zellen ist, dass verschiedenste Formen, Farben und Größen umsetzbar sind

Amortisationszeit

Zeit, in der z. B. eine Solarwärmanlage durch Energiekosteneinsparung die Investitionskosten wieder erwirtschaftet. Die Amortisationszeit ist in diesem Fall abhängig von den Kosten der (eingesparten) konventionellen Energie und der Laufzeit, den Investitionskosten sowie dem Jahresenergieertrag der Anlage

Aperturfläche

Glasfläche eines Kollektors, durch die die Solarstrahlung eintreten kann. Die Aperturfläche ist die Bezugsgröße für den Kollektor-Wirkungsgrad nach DIN 4757

Azimut (Sonnenazimut, Azimutwinkel)

Winkel zwischen der geografischen Südrichtung und senkrechten Projektion der Strecke Beobachter – Sonne auf die Horizontale

Bypass-Diode

Zellenreihen eines Modules werden mit Bypass-Dioden überbrückt, um seine Funktion bei Teilbeschattung zu erhalten

DC – Direct Current

Englische Abkürzung für Gleichstrom



Diffuse Strahlung

Diffuse Strahlung ist all die Strahlung, die nicht auf geometrisch geradlinigem Weg von der Sonne auf den Beobachtungspunkt fällt, sondern z. B. durch die Bestandteile der Atmosphäre gestreut oder reflektiert wurde

Direkte Strahlung

Sonnenstrahlung, die auf direktem Weg von der Sonne die Erdoberfläche erreicht

Dotieren

Silizium wird bei der Herstellung einer Solarzelle „dotiert“, d. h. es werden Elemente wie Bor und Phosphor eingebracht und es wird entweder ein positiver Ladungsträgerüberschuss oder ein negativer Ladungsträgerüberschuss im Silizium erzielt. An diesem Übergang (pn-Übergang) zwischen positiver und negativer Ladung entsteht Solarstrom

Einspeisevergütung

Ist der auf 20 Jahre garantierte Betrag, den man pro eingespeiste kWh erhält

Gleichstrom/Gleichspannung

Im Gegensatz zu Wechselstrom ist Gleichstrom elektrischer Strom gleichbleibender Richtung. Gleichstrom hat eine zeitlich konstante elektrische Spannung und wird für das Laden von Batterien und zur Stromversorgung elektronischer Schaltungen und Geräte benutzt. Gleichspannungsquellen sind z. B. Batterien, Akkumulatoren und die meisten Photovoltaikmodule

Globalstrahlung

Summe aus direkter Sonnen- und diffuser Himmelsstrahlung auf die Horizontale. Die Bestrahlungsstärke auf der Erdoberfläche liegt in unseren Breiten bei ca. 1.000 W/m²

Kilowattstunde (kWh)

Maßeinheit der Energie (1 kWh = 1.000 Wh)

Kollektor

Elementares Bauteil einer Kollektoranlage, das die Solarstrahlung möglichst effizient in Wärme umwandeln soll. Diese wird durch ein Wärmeträgermedium aufgenommen, transportiert und mittels eines Wärmetauschers an einen Speicher abgegeben

Leistung

Die pro Zeiteinheit verbrauchte oder zur Verfügung gestellte Energie. Die Maßeinheit der Leistung ist Watt (W) bzw. Kilowatt (kW). 1 kW = 1.000 W = 1.000 J/s

Neigungswinkel

Winkel zwischen einer geneigten Empfangsebene und der Horizontalen. Je nach Breitengrad des Aufstellungsortes einer Solaranlage gibt es unterschiedliche optimale Neigungswinkel

Nennleistung, -spannung, -strom

Nennleistung: Maximale Leistung in Watt.

Nennspannung: Spannung bei maximaler Leistung in Volt. Beide sind nicht nur von Sonnenbestrahlung, sondern auch von Betriebstemperatur abhängig.

Nennleistung = Nennspannung x Nennstrom.

Die Nennleistung wird ferner nur realisiert bei 25 °C Außen- bzw. Zelltemperatur, einer Strahlungsintensität von 1.000 W/m² und einer Spektralverteilung AM 1,5

Nutzungsgrad Solaranlage

Verhältnis von Output zu Input einer Kollektoranlage während eines längeren Zeitraums (z. B. ein Monat oder ein Jahr). Bei solarthermischen Anlagen gibt der Nutzungsgrad an, wie effizient die Strahlungsenergie in Wärme umgesetzt wird

Photovoltaik (PV)

Technik, mit deren Hilfe Sonnenenergie in elektrische Energie umgewandelt wird

Primärenergie

Aus natürlicher Quelle gewinnbare Energie (Erdöl, Kohle, Erdgas, Wasserkraft, Solarstrahlung usw.)

Sekundärenergie

Entsteht durch Primärenergie-Umwandlung (aus Erdöl wird Benzin, Dieselkraftstoff oder Heizöl, aus Kohle werden Koks oder Briketts)

Selektive Beschichtung

Spezielle Beschichtung auf dem Absorber eines Kollektors, die auftreffende (kurzwellige) Solarstrahlung nahezu vollständig absorbiert und gleichzeitig die mit zunehmender Temperatur ansteigenden Strahlungsverluste durch Abstrahlung (Emission) der (langwelligeren) Wärmestrahlung reduziert.

Silizium-Module

Silizium ist Quarzsand und eines der am häufigsten auf der Erde vorkommenden Elemente. Man unterscheidet „monokristalline“ und „polykristalline“ Silizium-Module. Bei monokristallinen Modulen werden bei der Zellfertigung Atome der geschmolzenen Siliziummasse in eine Richtung ausgerichtet, es entsteht ein „Kristall“.

Monokristalline Module (Farbe: Graphit, optisch ebene Oberfläche) haben einen um ca. 2% besseren Wirkungsgrad als polykristalline Module (Farbe: Blau, optisch „gescheckte“ Oberfläche), sind aber dafür etwas teurer

Solarer Deckungsgrad

Gibt an, welcher Anteil der Nutzenergie durch Sonnenenergie gedeckt wird

Solarertrag

Gibt die nutzbare solare Wärme an, d. h. die Wärme, die nach Abzug aller thermischen Verluste der Kollektoranlage als Wärme aus dem Speicher genutzt werden kann

Solarthermie

Nutzung der Sonnenenergie zur direkten Erzeugung von Wärme. Der entsprechende Energiewandler wird Kollektor genannt

Systemnutzungsgrad

Effizienz der gesamten Solaranlage über einen längeren Zeitraum, d. h. Verhältnis von Solarertrag zu Einstrahlungssumme

Temperaturkoeffizient

Gibt an, um wie viel Prozent die Modul-Leistung (der Stromertrag) bei steigenden (Zell-) Temperaturen abnimmt. Am besten für die PV-Leistung sind niedrige Temperaturen bei unbedecktem Himmel und viel Sonne

Wechselrichter

Wandeln den Gleichstrom der Module um in Wechselstrom, der ins Netz eingespeist werden kann

Wechselstrom, -spannung

Wechselstrom ändert wie Wechselspannung seine Größe und Richtung nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten

Wirkungsgrad

Der Kollektor-Wirkungsgrad ist definiert als Verhältnis von Wärmeleistung des Kollektors (Output) zu Bestrahlungsstärke in Kollektorebene (Input).

Der Modul-Wirkungsgrad gibt an, wie viel Prozent einwirkender Strahlungsenergie in elektrische Leistung umgewandelt wird



Besser durchdacht

**Roto
Sunroof GmbH & Co. KG**

Wilhelm-Frank-Straße 38 – 40
97980 Bad Mergentheim
Germany
Telefon +49 1805 905050*
Telefax +49 1805 904050*
dachundsolar@roto-frank.com
www.roto-frank.com

**Das Roto 10-Punkte-
Qualitätsversprechen**

Mit Markenprodukten von Roto entscheiden Sie sich für Markenqualität „made in Germany“**. Unsere Wohndachfenster, Solar-systeme und Accessoires werden aus erstklassigen Materialien und Werkstoffen hergestellt und überzeugen durch Langlebigkeit, Strapazierfähigkeit und beste

Pflegeeigenschaften. Bevor ein Produkt unser Werk verlässt, wird es „auf Herz und Nieren“ geprüft und nach DIN getestet. Den Verkauf und den Einbau von Roto Produkten überlassen wir den Profis: den Roto Partnern im Fachhandel und Dachhandwerk.

Garantie

Photovoltaik-Modul:
25 Jahre auf 80% der Mindestleistung
Solarkollektor:
5 Jahre Produktgarantie

**Original Markenprodukte
„made in Germany“****

Klares Bekenntnis zum
Standort Deutschland

**Vom Profi gebaut,
vom Profi verkauft
und vom Profi eingebaut**

Vom Werk bis zum Dach
nur in besten Händen

Langlebigkeit

In Dauertests laufend
unter Beweis gestellt

Sicherheit

Witterungsbeständig
und standhaft auch bei
extremem Wetter wie
Schnee, Hagel und Sturm

Komfort garantiert

Arbeitet nahezu wartungs-
und verschleißfrei

Wirtschaftlichkeit

Intelligente Dacheindeckung,
die Rendite abwirft

Umweltplus

Energetisch schon nach
wenigen Jahren amortisiert

Ästhetik

Perfekte Integration
von Solarthermie, Photovoltaik
und Wohndachfenster im Dach

Maßgenaue Fertigung

Alle Teile perfekt
aufeinander abgestimmt

Wir beraten Sie gerne.
Rufen Sie uns an:

01805 905050*

*0,14 EUR/Min. aus dem dt. Festnetz.
Mobilfunkpreise können abweichen.

**Den Roto Partner in Ihrer Nähe
finden Sie im Internet unter:**

** Über 90% unserer Produkte