



## 2 Photovoltaik

von U. WOLF

### 2.1 Aufbau/Technik

#### 2.1.1 Funktionsweise

##### 2.1.1.1 Solarmodul

Um mit einer Solarstromanlage elektrische Energie zu erzeugen, nutzt man den photovoltaischen Effekt, also die Umwandlung von Licht in elektrische Energie. Der photovoltaische Effekt wurde bereits 1839 entdeckt, ist also eigentlich alles andere als „neu“. Dennoch ist die verbaute Fläche sowie die Leistungsfähigkeit der käuflich zu erwerbenden Solarmodule in den letzten Jahren deutlich angestiegen.

Die häufig verwendeten Solarzellen (kristalline Solarzellen) bestehen aus dünnen Siliziumscheiben (Dicke ca. 0,2–0,3 mm), so genannte Wafer.

Ausgangsmaterial für das Silizium, wie es auch in der Elektronik für Halbleiterbauelemente verwendet wird, ist Quarzsand ( $\text{SiO}_2$ ).

Weitere Bestandteile der Solarmodule sind: Glas (ESG), Klebstoffe, Silikon, verschiedene Kunststoffe und Aluminium.

Zur Erklärung der Funktion beschränken wir uns im Folgenden auf die kristalline Solarzelle.

---

Foto oben: Wolf, Bad Hersfeld



Abb. 1 bis 4: Siliziumstücke, -würfel, -scheiben und Wafer. (Fotos: Wolf, Bad Hersfeld)

Der Lichteinfall auf die Solarzelle lässt eine elektrische Spannung durch Ladungstrennung der unterschiedlichen Halbleiterschichten entstehen. Diese Spannung beträgt bei Silizium ca. 0,5 Volt. Um diese Gleichspannung technisch zu nutzen, werden mehrere Solarzellen zu Solarmodulen zusammengesetzt und in Reihe geschaltet. Die Gleichspannung der einzelnen Zellen addiert sich.

Die typische Leerlaufspannung eines Solarmoduls mit 430 Wp (Watt peak = Spitzenleistung) beträgt 2024 z.B. ca. 50 Volt. Module für Großanlagen haben meist eine höhere Leistung.

Um die Solarzellen im Modul vor Witterungseinflüssen zu schützen, werden sie in einen Spezialwerkstoff einlaminiert, also eingeklebt und luftdicht verschlossen.

Eine Frontglasscheibe aus gehärtetem Solarglas und ein Rückseitenglas oder eine Spezialfolie schützen die Zelle. Je nach Anforderung gibt es So-



**Abb. 5:** Anschlussdose (Junction-Box). (Foto: Wolf, Bad Hersfeld)

Generator. Die einzelnen Module sind elektrisch als Reihen- und/oder Parallelschaltung verschaltet. Die Leitung, die zum Wechselrichter führt, heißt String (oder Strang). Es können auch mehrere sein.

### 2.1.1.2 Wechselrichter

Der Wechselrichter wandelt den Gleichstrom, der vom PV-Generator durch Lichteinfall erzeugt wird, in Wechselstrom bzw. Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom) mit einer Nennspannung von 230 V bzw. 400 V um.

Je nach Anlagengröße und Konzept verwendet man String-Wechselrichter oder Zentralwechselrichter. Auch mehrere String-Wechselrichter lassen sich zu recht leistungsstarken Anlagen zusammenschalten.

Modul- oder Microwechselrichter finden ihre Anwendung bei Mini-PV-Anlagen, auch Balkon-Solar-Anlage genannt.

Der Wechselrichter versucht, je nach Strom und Spannung, die vom Generator geliefert wird, die optimale Leistung zu erzeugen und speist dann Wechselspannung bei netzgekoppelten Anlagen ins angeschlossene Stromnetz ein. Der Wirkungsgrad dieser Geräte liegt heute bei über 96 %.

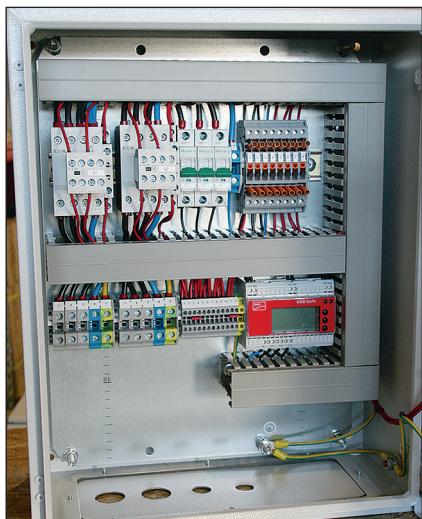
Die Photovoltaikanlage muss aus Sicherheitsgründen bei Störungen, Ausfall oder Abschaltung des Stromnetzes sowie bei Abweichungen von Frequenz und Spannung vom Stromnetz getrennt werden.

Diese Schutzschaltung ist entweder im Wechselrichter integriert oder bei großen Anlagen (ab 30 kWp) als extra Gerät ausgeführt. Der Fachbegriff

larmodule mit und ohne Rahmen. Dieser Rahmen besteht meist aus Aluminium.

Der elektrische Anschluss ist auf der Rückseite angebracht und als Anschlussdose mit Kabelenden, Steckanschlüssen oder Anschlussklemmen ausgeführt.

Eine Anordnung von Solarmodulen auf Dächern oder anderen Konstruktionen nennt man Photovoltaik-



**Abb. 6:** Netz- und Anlagenschutz. (Foto: Wolf, Bad Hersfeld)

hierfür heißt heute N/A (Netz- und Anlagenschutz)<sup>1</sup>: Mit dieser Schaltung wird verhindert, dass ein ungewolltes Inselnetz<sup>2</sup> entsteht.

Wird der Wechselrichter vom Stromnetz getrennt, oder liegen Störungen vor, bewirkt der Netz- und Anlagenschutz, dass keine Wechselspannung mehr erzeugt und ins Netz eingespeist wird.

#### Achtung:

Ist ein Batteriespeicher vorhanden, so ist der Wechselrichter häufig im Batteriespeicher integriert (Bsp.: E3/ DC Energy Storage) und nicht gleich erkennbar, vgl. Kap. 2.1.2.2.

## 2.1.2 Schematischer Aufbau Installation

### 2.1.2.1 Solar-Generator

Um möglichst effektiv zu arbeiten, wird der Solar-Generator so aufgestellt, dass die Sonnenstrahlen möglichst im rechten Winkel auf die Modulflächen auftreffen. Bei Dachschrägen ist das v.a. die Südseite des Daches. Unter Inkaufnahme von Verlusten lassen sich auch Ost- und Westdachflächen mit Solar-Generatoren belegen.

Bei Flachdächern und auf Freiflächen werden die Module durch Winkelkonstruktionen aufgeständert, so dass auch dort der Lichteinfall möglichst optimal ist.

<sup>1</sup> Früher wurde dies auch als ENS (Einrichtung zur Netzüberwachung mit zugeordnetem Schaltorgan) bezeichnet.

<sup>2</sup> Ein Inselnetz besitzt keine elektrische Verbindung zu anderen Stromnetzen.



**Abb. 7 und 8:** Solargeneratoren auf einem konventionellen Dach (links) und Solargeneratoren auf Ständerwerk in einer Wiese (rechts). (Fotos: Wolf, Bad Hersfeld)

Beachten Sie beim Betreten von Flächen mit Solarmodulen immer die Tragfähigkeit dieser Konstruktionen. Dabei ist ggf. zu berücksichtigen,

- Gewicht der Solarmodule,
- Gewicht eventueller Zusatzlasten (z.B. Schnee!),
- Schäden an der tragenden Konstruktion bzw. deren grundsätzliche Tragfähigkeit.

Eine Besonderheit stellen die so genannten Nachführsysteme dar. Hier wird durch eine besondere Konstruktion und Stellmotore der Solar-Generator während der Tageszeit immer im optimalen Winkel zur Sonne gehalten. Das ergibt einen höheren Wirkungsgrad der Anlage. Auch ganze Gebäude lassen sich so im Tagesverlauf drehen.



**Abb. 9 und 10:** Nachführsysteme (links). (Foto: Wolf, Bad Hersfeld) und drehbares Gebäude (rechts). (Foto: Solartechnik Stiens GmbH & Co. KG, Kaufungen)

Beachten Sie beim Annähern an drehbare Konstruktionen mit Solarmodulen immer den Bewegungsbereich dieser Konstruktionen.