

Jedes Elektron strebt den stabilen Zustand an, d. h. es wandert an seinen Ausgangspunkt zurück. Dies geschieht über die an Ober- und Unterseite angebrachten, elektrisch verbundenen Metallkontakte. An dieser Verbindung zwischen den Zellschichten kann der Strom nun durch einen Verbraucher (z.B. eine Lampe) geleitet werden.

## Module und komplette Anlagen

In der Praxis werden mehrere Solarzellen zu Modulen zusammengeschaltet. Ein solches „Panel“ gibt es in unterschiedlichen Größen und Leistungen.

Um die Spannung der einzelnen Solarzelle (ca. 0,6 Volt) zu erhöhen, werden mehrere Solarzellen in Reihe geschaltet (Serienschaltung). Dabei bleibt die Stromstärke konstant. Ist die Spannung ausreichend, werden weitere Solarzellen in Parallelschaltung angeschlossen. Dadurch erhöht sich die Stromstärke, die Spannung bleibt gleich.

Die Leistung erhöht sich natürlich in beiden Fällen. Hierbei bestimmt die Solarzelle, die der geringsten Lichtintensität ausgesetzt ist, den Stromfluss und damit die Leistung des gesamten Moduls bzw. mehrerer zusammengeschalteter Module. Schon kleine Schatten, z. B. von Antennen oder Schornsteinen führen daher zu deutlichen Ertragseinbußen.

Für Komplettanlagen werden mehrere Module oder Panels zusammengeschaltet. So erreicht man größere Leistungen. Da Solarzellen ihre volle Leistung nur bei Sonnenschein und optimaler Ausrichtung erreichen, verwendet man statt der üblichen Angabe in Kilowatt (kW) die Bezeichnung Kilowatt „peak“ (kW<sub>p</sub>). Dies bedeutet Spitzenleistung unter standardisierten Bedingungen.

Mit einer heute für Einfamilienhäuser denkbaren Leistung von acht kW<sub>p</sub> können pro Jahr in Deutschland gut 7.500 kWh Strom erzeugt werden (950 kWh/kW<sub>p</sub>). Pro Kilowatt peak sind ca. 6-7 m<sup>2</sup> Dachfläche notwendig. Diese müssen nicht unbedingt zusammenhängend sein. Bei einem Vierpersonenhaushalt kann so der gesamte Stromverbrauch inklusive eines Elektrofahrzeuges bilanziell umweltfreundlich erzeugt werden.

Wichtig ist, dass die Dachfläche möglichst nach Süden ausgerichtet ist. Abweichungen bis 45° sind tolerierbar. Die Dachneigung sollte 20 bis 45° betragen. Solarmodule können auf praktisch allen Dachflächen montiert werden. Probleme sind nur von Kunstschiefer-Dächern wegen eventuell enthaltenen Asbests bekannt.

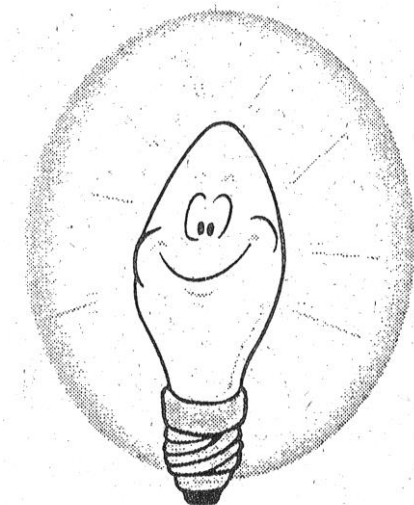
Eine Alternative ist das Ost-West-Dach, bei dem jeweils die Hälfte der Module nach Ost bzw. West orientiert ist. Den Nachteil der etwas schlechteren Ausrichtung kompensiert diese Möglichkeit mit einem höheren Eigenverbrauch.

Die Preise für Fotovoltaikanlagen sind in den letzten Jahren stark gesunken und steigen seit einiger Zeit aufgrund des Ausbau-Booms wieder. Bei einem gewissen Eigenverbrauch können sie mit konventioneller Stromversorgung konkurrieren.

Stand: 04/2023

### Herausgeber:

Bund für Umwelt und Naturschutz (BUND)  
Landesverband Rheinland-Pfalz e.V.  
Hindenburgplatz 3  
55118 Mainz  
Tel.: 06131 62706-0  
Fax.: 06131 62706-66  
e-mail: [info@bund-rlp.de](mailto:info@bund-rlp.de)  
[www.bund-rlp.de](http://www.bund-rlp.de)



## Solarstrom

### Fotovoltaik: Grundlagen

### Der BUND informiert über die Technik der Solarzellen

## Vom Sand zum Silizium

Das Ausgangsmaterial für Silizium-Solarmodule ist **Quarzsand** mit der chemischen Formel  $\text{SiO}_2$ . Durch Reduktion mit Kohlenstoff wird das **Silizium** gewonnen. Danach hat es einen Reinheitsgrad von ca. 98 %. Um hochreines Silizium zu erhalten, müssen noch geringfügige Beimischungen entfernt werden. Das Endprodukt ist granulat-artiges, hochreines Silizium (mit einem Reinheitsgrad von nahezu 100 %).

Das hochreine Silizium, das für die Herstellung von Wafern Verwendung findet, wird als Abfall von der Elektronikindustrie aufgekauft. Durch den Boom auf dem Computersektor ist hochreines Silizium in den letzten Jahren auf dem Weltmarkt recht knapp. Als **Wafer** bezeichnet man die reine Siliziumscheibe vor der Weiterverarbeitung zur Solarzelle. Die Wafer unterteilen sich in Produkte aus monokristallinem, polykristallinem und amorphem Silizium.

Die verschiedenen Herstellungsverfahren für diese Typen sind unterschiedlich weit entwickelt. Die fertigen Solarzellen haben unterschiedlich hohe Wirkungsgrade. Bemerkenswert ist, dass der Wirkungsgrad mit zunehmender Außentemperatur sinkt. Optimal wäre also ein sonniger Wintertag.

## a) monokristallines Silizium

An einem Impfkristall erstarrt eine Schmelze von Silizium. Es entsteht ein einziger Kristall von bis zu 30 cm Durchmesser und einer Länge von mehreren Metern. Der Kristall wird in Scheiben von etwa 0,2 mm Dicke geschnitten. Dabei geht ein großer Teil des Materials als Sägeschnitt verloren, was teilweise die hohen Kosten erklärt. Der Wirkungsgrad monokristalliner Zellen liegt bei etwa 20 – 22 %, teilweise sogar bis 26 %.

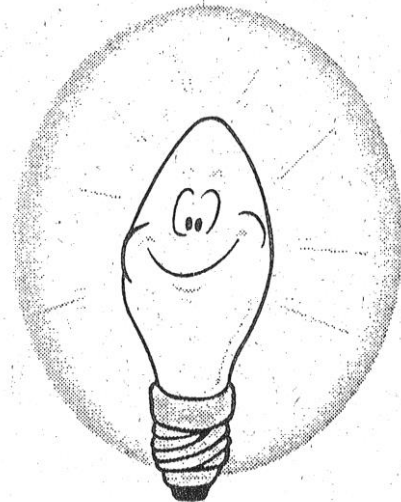
## b) polykristallines Silizium

Silizium erstarrt in einem Behälter. Aus dabei entstehenden Blöcken werden die dünnen Wafer geschnitten. Dieses Verfahren ist kostengünstiger und schneller. Dafür haben die polykristallinen Zellen aber auch einen etwas geringeren Wirkungsgrad (15 – 20 %).

## c) amorphes Silizium

Die Solarzellen aus amorphem Silizium sind sogenannte **Dünnschicht-Zellen**. Hierbei wird das Silizium auf eine Trägerschicht aufgedampft. Sie bietet viele Möglichkeiten, da der Materialverbrauch sehr gering ist. Die Siliziumschicht hat nur eine Dicke von unter einem Mikrometer (0,001 mm), was eine Kostenreduzierung bedeutet. Der Nachteil amorpher Zellen besteht in einem geringeren Wirkungsgrad (10-14%) und in einem Nachlassen des Wirkungsgrades mit der Zeit.

Neben Silizium eignen sich auch andere Materialien für Dünnschicht-Zellen: Cadmiumtellurid, Galliumarsenid, Kupfer-Indium-(Gallium)-selenid (CIS, CIGS).



## Vom Wafer zur Solarzelle - Funktion

Als **Solarzelle** bezeichnet man den phosphordotierten, mit Metallkontakten versehenen Wafer. Auch die Antireflexionsschicht ist schon aufgebracht. Die Siliziumscheibe wird dazu mit **Bor**-Atomen gezielt verunreinigt (dotiert). Auf der Oberseite wird eine weitere Dotierung mit **Phosphor**-Atomen vorgenommen. Dadurch entstehen zwei Schichten, die p-Halbleiter- und die n-Halbleiterschicht. Silizium ist vierwertig, hat in seinem Atom also vier Elektronen auf der äußersten „Schale“. Phosphor ist fünf- und Bor dreiwertig. Wird nun ein Phosphoratom in ein bor-dotiertes Siliziumkristall eingebunden, so bleibt ein Elektron „übrig“, das sich frei in der Siliziumscheibe bewegt. Es sei denn, es trifft auf sein Gegenstück, ein Atom mit einem Elektron zu wenig. Das Bor ist genau dieses Gegenstück.

Im Innern der Siliziumscheibe entsteht durch die unterschiedlichen Verunreinigungen ein elektrisches Feld, der pn-Übergang. Trifft nun Licht auf die Solarzelle, so geraten die Phosphor- und Bor-Atome in einen angeregten Zustand. Zur Freisetzung von Elektronen wird eine bestimmte Menge Energie benötigt. Diese liefert das Licht. Freie Elektronen können sich durch den Siliziumkristall bewegen. Geraten sie in die Nähe des pn-Übergangs werden sie von der darunter liegenden, nun positiv geladenen Zone angezogen. Je mehr Licht auf die Solarzelle trifft, umso mehr Elektronen werden bewegt – umso mehr Strom fließt. Verluste entstehen beim Auftreffen von Elektronen auf „Löcher“ an Boratomen.

Besteht eine elektrische Verbindung zur Unterseite der Zelle über einen äußeren Stromkreis, so können die Elektronen über die aufgebrachten Metallkontakte abfließen. Die Spannung, die dabei entsteht, beträgt bei einer Siliziumzelle etwa 0,6 Volt.