

Photovoltaik: Solarstrom und Solarzellen in Theorie und Praxis

Das Wort **Photovoltaik** ist eine Zusammensetzung aus dem griechischen Wort für Licht und dem Namen des Physikers Alessandro Volta. Es bezeichnet die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie mittels Solarzellen. Der Umwandlungsvorgang beruht auf dem bereits 1839 von Alexander Becquerel entdeckten Photoeffekt. Unter dem Photoeffekt versteht man die Freisetzung von positiven und negativen Ladungsträgern in einem Festkörper durch Lichteinstrahlung.

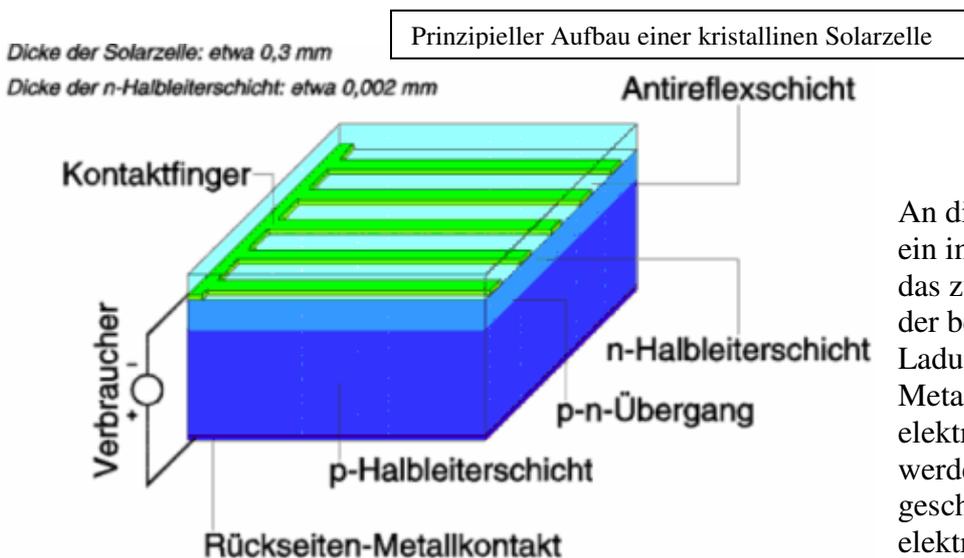
Wie funktioniert eine Solarzelle?

Solarzellen bestehen aus verschiedenen Halbleitermaterialien. Halbleiter sind Stoffe, die unter Zufuhr von Licht oder Wärme elektrisch leitfähig werden, während sie bei tiefen Temperaturen isolierend wirken.

Über 95 % aller auf der Welt produzierten Solarzellen bestehen aus dem Halbleitermaterial Silizium (Si). Silizium bietet den Vorteil, dass es als zweithäufigstes Element der Erdkrinde in ausreichenden Mengen vorhanden und die Verarbeitung des Materials umweltverträglich ist.

Zur Herstellung einer Solarzelle wird das Halbleitermaterial "dotiert". Damit ist das definierte Einbringen von chemischen Elementen gemeint, mit denen man entweder einen positiven Ladungsträgerüberschuss (p-leitende Halbleiterschicht) oder einen negativen Ladungsträgerüberschuss (n-leitende Halbleiterschicht) im Halbleitermaterial erzielen kann.

Werden zwei unterschiedlich dotierte Halbleiterschichten gebildet, entsteht an der Grenzschicht ein so genannter p-n-Übergang.



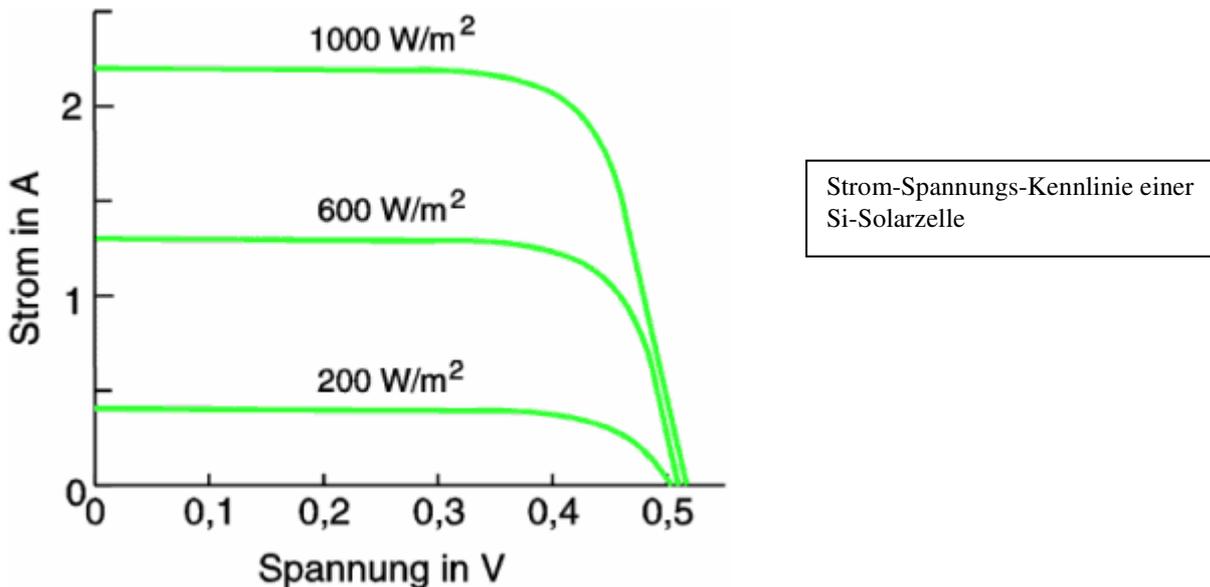
An diesem Übergang baut sich ein inneres elektrisches Feld auf, das zu einer Ladungstrennung der bei Lichteinfall freigesetzten Ladungsträger führt. Über Metallkontakte kann eine elektrische Spannung abgegriffen werden. Wird der äußere Kreis geschlossen, das heißt ein elektrischer Verbraucher ange-

schlossen, fließt ein Gleichstrom.

Siliziumzellen sind etwa 10 cm ´ 10 cm groß (seit kurzem auch 15 cm ´ 15 cm). Eine durchsichtige Antireflexschicht dient zum Schutz der Zelle und zur Verminderung von Reflexionsverlusten an der Zelloberfläche

Eigenschaften einer Solarzelle

Die an Solarzellen abgreifbare Spannung ist abhängig vom Halbleitermaterial. Bei Silizium beträgt sie etwa 0,5 V. Die Klemmenspannung ist nur schwach von der Lichteinstrahlung abhängig, während die Stromstärke bei höherer Beleuchtungsstärke ansteigt. Bei einer 100 cm² großen Siliziumzelle erreicht die maximale Stromstärke unter Bestrahlung von 1.000 W/m² etwa einen Wert von 2 A



Die Leistung (Produkt aus Strom und Spannung) einer Solarzelle ist temperaturabhängig. Höhere Zelltemperaturen führen zu niedrigeren Leistungen und damit zu einem schlechteren Wirkungsgrad. Der Wirkungsgrad gibt an, wie viel der eingestrahlten Lichtmenge in nutzbare elektrische Energie umgewandelt wird.

Unterschiedliche Zelltypen

Je nach Kristallart unterscheidet man drei Zelltypen: monokristallin, polykristallin und amorph. Zur Herstellung von monokristallinen Siliziumzellen benötigt man hochreines Halbleitermaterial. Aus einer Siliziumschmelze werden einkristalline Stäbe gezogen und anschließend in dünne Scheiben gesägt. Dieses Herstellungsverfahren garantiert relativ hohe Wirkungsgrade. Kostengünstiger ist die Herstellung von polykristallinen Zellen. Dabei wird flüssiges Silizium in Blöcke gegossen, die anschließend in Scheiben gesägt werden. Bei der Erstarrung des Materials bilden sich unterschiedlich große Kristallstrukturen aus, an deren Grenzen Defekte auftreten. Diese Kristalldefekte haben einen geringeren Wirkungsgrad der Solarzelle zur Folge. Wird auf Glas oder anderes Substratmaterial eine Siliziumschicht abgeschieden, spricht man von amorphen- oder Dünnschichtzellen. Die Schichtdicken betragen weniger als 1 µm (Dicke eines menschlichen Haares: 50-100 µm), so dass die Produktionskosten allein wegen der geringeren Materialkosten niedriger sind. Die Wirkungsgrade amorpher Zellen liegen allerdings noch weit unter denen der anderen beiden Zelltypen. Anwendung finden sie vor allem im Kleinleistungsbereich (Uhren, Taschenrechner) oder als Fassadenelemente.

Material	Wirkungsgrad in % Labor	Wirkungsgrad in % Produktion
Monokristallines Silizium	etwa 24	14 bis 17
Polykristallines Silizium	etwa 18	13 bis 15
Amorphes Silizium	etwa 13	5 bis 7

Von der Zelle zum Modul

Um für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche geeignete Spannungen bzw. Leistungen bereitstellen zu können, werden einzelne Solarzellen zu größeren Einheiten miteinander verschaltet. Eine Serienschaltung der Zellen hat eine höhere Spannung zur Folge, eine Parallelschaltung einen höheren Strom. Die miteinander verschalteten Solarzellen werden meist in transparentem Ethylen-Vinyl-Acetat eingebettet, mit einem Rahmen aus Aluminium oder Edelstahl versehen und frontseitig transparent mit Glas abgedeckt.

Die typischen Nennleistungen solcher Solarmodule liegen zwischen 10 W_{peak} und 100 W_{peak}. Die Kenndaten der Solarmodule beziehen sich auf die Standardtestbedingungen von 1000 W/m² Sonneneinstrahlung bei 25 °C Zelltemperatur. Die von den Herstellern angegebenen Garantiezeiten sind mit in der Regel 10 Jahren recht hoch und bezeugen den hohen Qualitätsstandard und die hohe Lebenserwartung heutiger Produkte

Natürliche Grenzen beim Wirkungsgrad

Außer an der Optimierung von Produktionsprozessen arbeitet man auch an einer Erhöhung der Wirkungsgrade, um zu einer Verbilligung der Solarzellen zu kommen. Unterschiedliche Verlustmechanismen setzen diesem Vorhaben aber Grenzen. Grundsätzlich sind die einzelnen Halbleitermaterialien oder -kombinationen nur für bestimmte Spektralbereiche des einfallenden Lichtes geeignet. Ein bestimmter Anteil der Strahlungsenergie kann also nicht genutzt werden, weil die Lichtquanten (Photonen) nicht über ausreichend Energie verfügen, um Ladungsträger "aktivieren" zu können. Auf der anderen Seite wird ein gewisser Anteil an Photonen-Überschussenergie nicht in elektrische Energie, sondern in Wärme umgewandelt. Hinzu kommen optische Verluste, wie die Abschattung der Zelloberfläche durch die Kontaktierung oder die Reflexion einfallender Strahlung an der Zelloberfläche. Auch elektrische Widerstandsverluste im Halbleiter und in den Anschlussleitungen sind als Verlustmechanismen zu nennen. Der störende Einfluss von Materialverunreinigungen, Oberflächeneffekten und Kristalldefekten ist ebenfalls nicht unerheblich.

Einzelne Verlustmechanismen (Photonen mit zu geringer Energie werden nicht absorbiert, Photonen-Überschussenergie wird in Wärme umgewandelt) können nicht weiter optimiert werden, weil sie aus physikalischen Gründen durch das verwendete Material vorgegeben sind. Dies führt zu einem theoretisch maximalen Wirkungsgrad von beispielsweise etwa 28 % bei kristallinem Silizium