



ITWissen



Das große Online-Lexikon
für Informationstechnologie

SOLARTECHNIK

KLAUS LIPINSKI (Hrsg.)

Inhalt

Ampere	SiO₂, silicon dioxide
CdTe, cadmium telluride	Solarmodul
CIS, copper indium diselenide	Solartechnik
Dünnschichtsolarmodul	Solarzelle
Füllfaktor	Spannung
GaAs, gallium arsenide	Strom
I-U-Kennlinie	TCO, transparent conductive oxide
Leistung	Volt
MPP, maximum power point	Watt
Organische Photovoltaik	Wechselrichter
Photoeffekt	Wirkungsgrad
Photovoltaik	ZnO, zinc oxide
Photovoltaikanlage	
Silizium	

Impressum:

Herausgeber: Klaus Lipinski

Solartechnik

Copyright 2009

DATAKOM-Buchverlag GmbH

84378 Dietersburg

Alle Rechte vorbehalten.

Keine Haftung für die angegebenen
Informationen. Das E-Book ist
urheberrechtlich geschützt und darf nicht
auf fremden Websites ins Internet oder
in Intranets gestellt werden.

Produziert von Media-Schmid

www.media-schmid.de

Ampere
A, *ampere*

Das Ampere (A) ist nach dem französischen Physiker André Marie Ampère (1775-1836) benannt. Nach dem internationalen Einheitensystem ist das Ampere die Einheit für den elektrischen *Strom*. Ein Ampere ist definiert als der Strom, der zwischen zwei parallelen Drähten von unendlicher Länge, die sich in einem Abstand von einem Meter im freien Raum befinden, eine Kraft von 2×10^{-7} Newton pro Längeneinheit hervorruft.

Eine andere Definition des internationalen Einheitensystems legt fest, dass 1 Coulomb pro Sekunde 0,999835 Ampere entspricht.

Das Ampere (A) wird mit Präfixen versehen als Kilo-Ampere (kA), das entspricht 10^3 , Milli-Ampere (mA), 10^{-3} , Mikro-Ampere (μA), 10^{-6} , Nano-Ampere (nA), 10^{-9} , und Pico-Ampere (pA), 10^{-12} , angegeben.

CdTe, cadmium telluride
Cadmiumtellurid

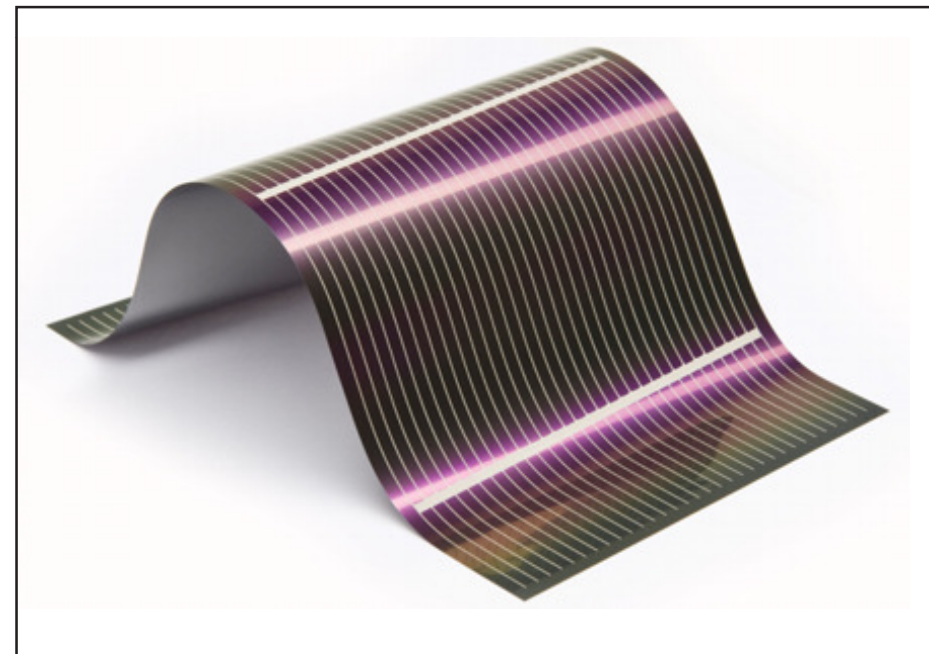
Cadmiumtellurid (CdTe) ist ein amorphes Halbleitermaterial, das in der *Photovoltaik* eingesetzt wird. Cadmiumtellurid wird anstelle von *Silizium* (Si) für in Dünnschichttechnik hergestellte *Solarzellen* verwendet. Es kann auf Glas oder Edelstahlfolie aufgedampft werden und ist kostengünstig herstellbar. Allerdings ist der *Wirkungsgrad* von nichtkristallinen Halbleitermaterialien geringer als der von kristallinen Siliziumzellen.

CIS, copper indium diselenide
Kupfer-Indium-Diselenid

Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) ist ein amorphes Halbleitermaterial, das in der *Photovoltaik* eingesetzt wird. Es wird anstelle von *Silizium* (Si) für in Dünnschichttechnik hergestellte *Solarzellen* verwendet. Kupfer-Indium-Diselenid kann auf Glas oder Edelstahlfolie aufgedampft werden und ist kostengünstig herstellbar. Allerdings ist der *Wirkungsgrad* von amorphen Halbleitermaterialien geringer als der von kristallinen.

Dünnschichtsolarmodul
thin film solar cell

Dünnschichtsolarmodule sind in Dünnschichttechnik hergestellte *Solarzellen*, die zu einem *Solarmodul* zusammengefasst sind. Für die Dünnschichtsolarmodule wird nicht *Silizium*-basiertes Halbleitermaterial

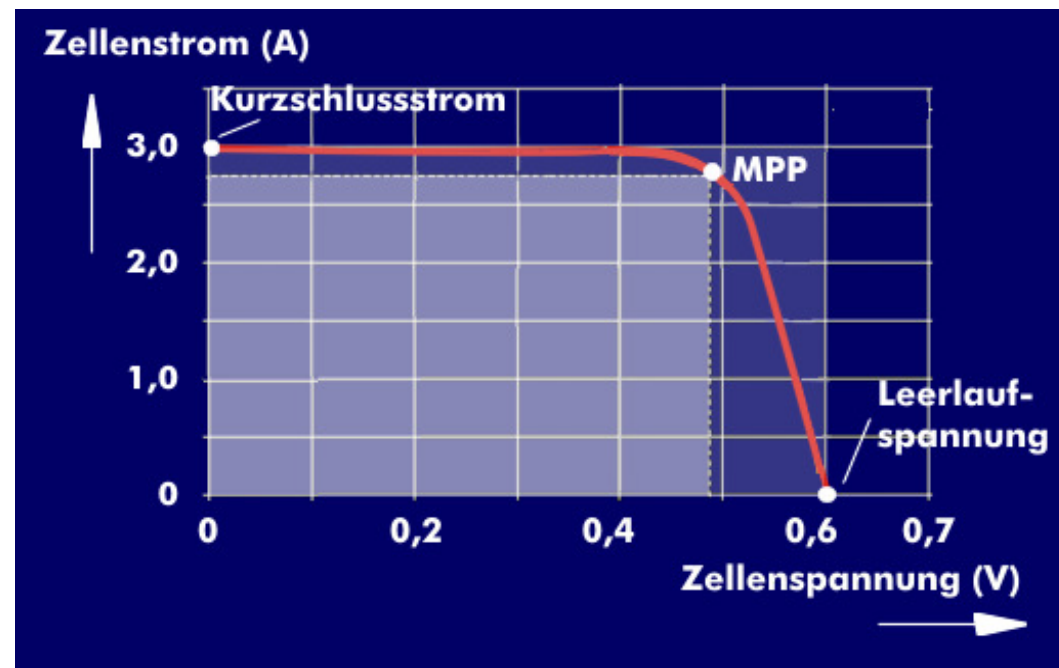


benutzt, sondern Cadmium-, Indium- und Gallium-Verbindungen. So u.a. *Cadmiumtellurid* (CdTe), *Kupfer-Indium-Diselenid* (CIS) und *Galliumarsenid* (GaAs), die auf ein Trägermaterial aus Glas oder einer oder einer Edelstahlfolie aufgebracht werden.

Bei der Herstellung von Solarmodulen hat die Dünnschichttechnik die Vorteile, dass sie weniger Halbleitermaterial benötigt, die Herstellungsverfahren und die Halbleitermaterialien kostengünstig sind und das Solarmodul in sich flexibel ist. Nachteilig ist der *Wirkungsgrad*, der etwa halb so groß ist, wie der von monokristallinem Silizium.

Dünnschichtsolarmodul,
Foto: global-solar.eu

Füllfaktor
FF, filling factor



I-U-Kennlinie einer Solarzelle

Der Füllfaktor (FF) ist ein wichtiger Kennwert von *Solarzellen*, aus dem die Güte hervorgeht. Er sagt aus, wie gut eine Solarzelle durch Lichtstrahlung emittierte Ladungsträger zu sammeln. Der Füllfaktor ist abhängig von der Art der Solarzelle und davon, ob es sich um eine *Silizium*-basierte oder eine andere Solarzelle handelt.

Bei Solarzellen gibt es zwei Leistungswerte: Der Maximum *Power Point* (*MPP*) (helle Fläche) und die maximal mögliche Leistung, die sich aus dem Kurzschlussstrom und der Leerlaufspannung errechnet (blaue Fläche). Der Füllfaktor ist als das Verhältnis von dem

MPP-Wert zum theoretischen Leistungswert definiert und immer unter 1. Mono- und polykristalline Solarzellen erreichen Füllfaktoren zwischen 0,7 und 0,7, bei amorphen liegen die *FF*-Werte zwischen 0,5 und 0,7.

GaAs, gallium arsenide
Galliumarsenid

Galliumarsenid (GaAs) ist ein amorphes Halbleitermaterial, das in den verschiedensten Halbleiter-Bauelementen und in *Dünnschichtsolarzellen* eingesetzt wird.

Da sich Galliumarsenid durch ein extrem schnelles Schaltverhalten und eine geringe Leistungsaufnahme auszeichnet, findet man es in den Heterojunction Bipolar Transistors (HBT) von ultraschnellen Schaltkreisen für die optische Übertragungstechnik. Ebenso in High Electron Mobility Transistors (HEMT), mit denen Mikrowellen verstärkt werden.

Weiterhin wird Galliumarsenid in der *Photovoltaik* und in Bauelementen für die Lichtemission eingesetzt, wo es Infrarotlicht emittiert.

I-U-Kennlinie
I-U characteristics

Bei elektronischen Bauelementen und Schaltungen bei denen eine Abhängigkeit zwischen *Strom* und *Spannung* gegeben ist, kann diese in einem *xy*-Diagramm dargestellt werden. Aus einem solchen Diagramm können unmittelbar Rückschlüsse von der physikalischen Größe *Strom* auf die Größe *Spannung*, oder umgekehrt, gezogen werden.

Bei der *I-U*-Kennlinie wird in der Vertikalen der *Strom* abgebildet, in der Horizontalen die *Spannung*, daher nennt man diese Kennlinie auch die *Stromstärke-Spannungs-Kennlinie*. Bei einem ohmschen Widerstand entspricht die Kennlinie einer Geraden, weil ein linearer Zusammenhang zwischen *Strom* und *Spannung* besteht. Anders ist es bei nichtlinearer Abhängigkeit, so bei Kaltleitern und Heißeitern, Dioden, Zenerdioden, Tunnelndioden, Transistoren, Glühlampen, Leuchtdioden, *Solarzellen* und vielen anderen Bauelementen.

Leistung
P, power

Die elektrische Leistung (*P*) ist ein Maß für die Energie, die sich aus der *Spannung* (*U*) und dem *Strom* (*I*) ergibt. Die Dimension für die elektrische Leistung ist das *Watt* (*W*), das nach dem Erfinder der

Dampfmaschine James Watt (1736 bis 1818) benannt ist.

Zwischen der Leistung, der Spannung und dem Strom besteht ein unmittelbarer Zusammenhang. Die Leistung steigt proportional mit der Spannung und dem Strom.

Ein Watt entspricht einer Spannung von 1 V multipliziert mit einem Strom von 1 A. Das trifft dann zu, wenn es sich um Gleichstrom bzw. Gleichspannung handelt.

Ist die Leistung abhängig von einer Wechselspannung und fällt sie an einem ohmschen Widerstand ab, dann handelt es sich um die tatsächlich umgesetzte Leistung, die Wirkleistung. Bei deren Ermittlung werden die Effektivwerte von Strom und Spannung miteinander multipliziert. Die Wirkleistung wird in Watt (W) angegeben. Ist die Last ein Scheinwiderstand, dann handelt es sich um eine Scheinleistung (S) und ist es eine reine Reaktanz, dann ist es eine Blindleistung (Q). Die Scheinleistung wird in Voltampere (VA) angegeben und die Blindleistung wird zur Unterscheidung in Var (var) angegeben. Die verschiedenen Leistungsangaben sind den Leistungsfaktor miteinander verbunden.

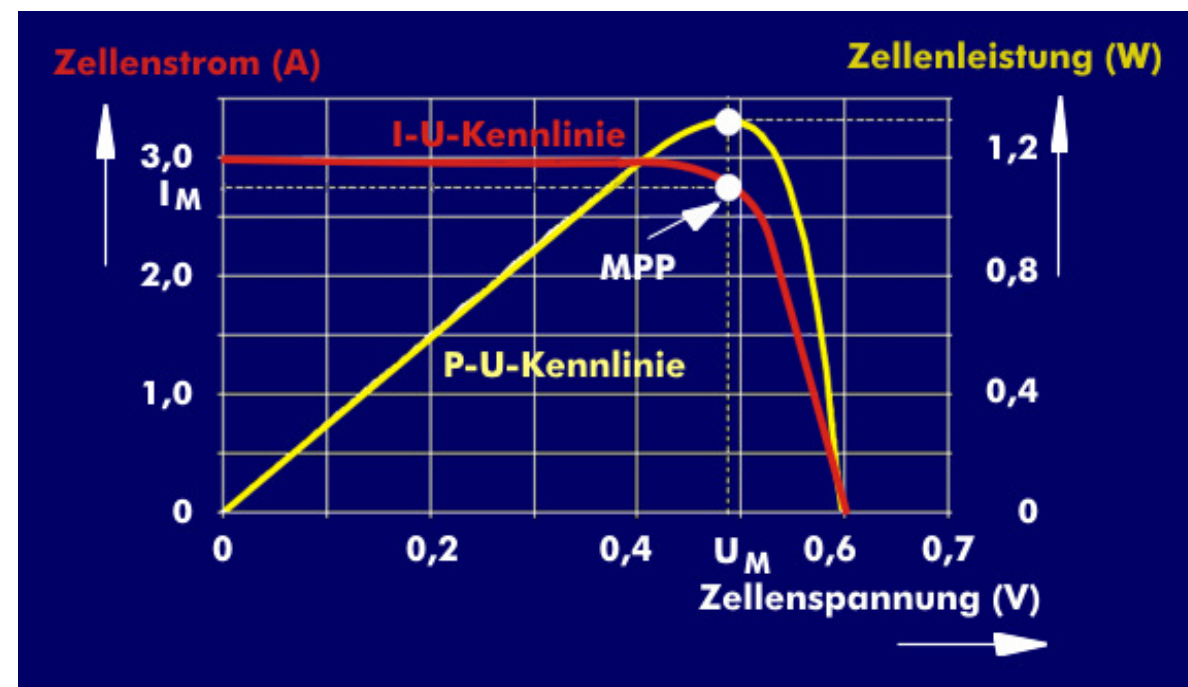
MPP, maximum power point

Maximum Power Point (MPP) ist ein Kennwert von *Solarzellen*. Es handelt sich dabei um den Betriebspunkt einer Solarzelle, bei der diese ihre maximale Leistung abgibt.

Die theoretische Leistung ergibt sich aus dem Kurzschlussstrom und der Leerlaufspannung der Solarzelle und ist größer als der MPP-Wert. Das Verhältnis des MPP-Wertes zu der theoretischen Leistung, ist der

Füllfaktor (FF).

Da die Leistung einer Solarzelle von der abgegebenen *Spannung*, diese wiederum von der Sonneneinstrahlung und von der Zelltemperatur abhängt, ändert sich die Lage des Maximum Power Points ständig mit der Einstrahlung und der Temperatur. Der der Solarzelle nachgeschaltete *Wechselrichter* bzw. das Netzeinspeisegerät ermittelt laufend den MPP-Wert. Man spricht in diesem Zusammenhang von MPP-Tracking.



Maximum Power Point (MPP)
einer Solarzelle

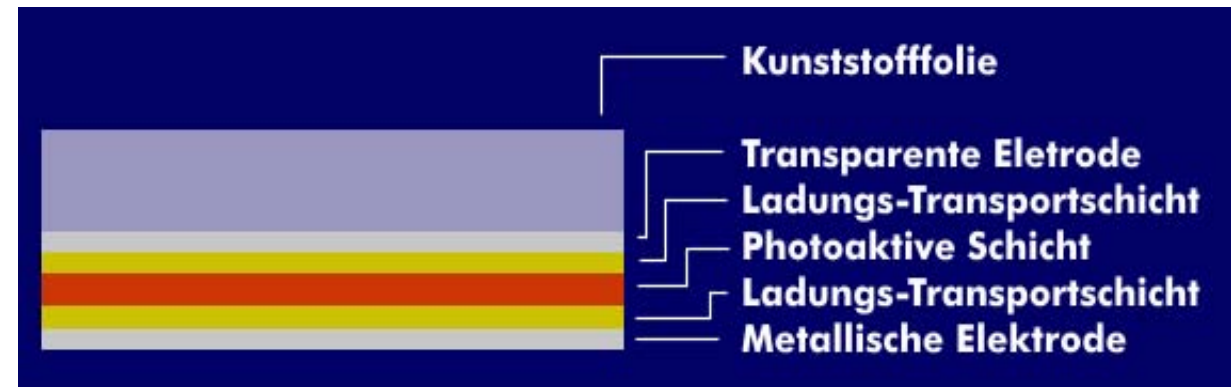
Organische Photovoltaik OPV, organic photo voltaics

Solarzellen aus organischer *Photovoltaik* haben gegenüber den anorganischen, auf *Silizium* basierenden Solarzellen den Vorteil, dass sie äußerst flexibel sind und großflächig verlegt werden können. Die nur $0,2 \mu\text{m}$ dünnen Solarzellen bestehen aus mehreren Schichten.

Die unterste und oberste Schicht sind transparente, metallische Elektroden für den Stromanschluss.

Zwischen diesen beiden Schichten, an denen die photovoltaische *Spannung* abgegriffen wird, liegen drei weitere Schichten: Zwei Ladungs-Transportschichten und dazwischen eine photoaktive Schicht. Als Schutz

Aufbau einer organischen Solarzelle



vor Witterungseinflüssen liegt über der oberen Elektrode eine transparente Kunststoffschicht. Solarzellen aus organischer Photovoltaik haben gegenüber den anorganischen, auf Silizium basierenden Solarzellen den Vorteil, dass sie äußerst flexibel sind und großflächig verlegt

werden können. Die nur 0,2 µm dünnen Solarzellen bestehen aus mehreren Schichten.

Die unterste und oberste Schicht sind transparente, metallische Elektroden für den Stromanschluss.

Zwischen diesen beiden Schichten, an denen die photovoltaische Spannung abgegriffen wird, liegen drei weitere Schichten: Zwei Ladungs-Transportschichten und dazwischen eine photoaktive Schicht. Als Schutz vor Witterungseinflüssen liegt über der oberen Elektrode eine transparente Kunststoffschicht.

Photoeffekt
photo effect

Der Photoeffekt ist ein physikalisches Phänomen, das erstmals 1839 von dem französischen Physiker A. E. Becquerel nachgewiesen wurde. Später wurde dieses Phänomen von den deutschen Physikern Heinrich Hertz und Wilhelm Hallwachs bestätigt. Daher spricht man auch vom Hallwachs-Effekt.

Der Photoeffekt ist ein lichtelektrischer Effekt bei dem aus metallischen Oberflächen Elektronen herausgelöst werden, und zwar bei Bestrahlung der Oberfläche mit Licht. Wird eine Oberfläche mit Licht bestrahlt, dann treffen Photonen auf sie und reißen Elektronen aus ihrem Verbund. Arbeitete Hallwachs noch mit Zinkplatten, so wurde bei späteren Versuchen mit dem Halbleitermaterial Selen (Se) gearbeitet und noch später wurden Germanium (Ge) und Silizium (Si) benutzt. Mit dieser Technik konnten erstmals Fotozellen, später Fotodioden und Fototransistoren hergestellt werden.

Photovoltaik
PV, photovoltaics

Photovoltaik ist ein Teilgebiet der Solartechnik und befasst sich mit der Erzeugung von elektrischer Energie aus Sonnenstrahlung. Grundlage für die Energieumwandlung ist der Photoeffekt, bei dem aus Materialoberflächen mittels Photonen Elektronen herausgerissen werden. Die Photovoltaik bildet die direkte Umwandlung der auftreffenden Sonnenstrahlung in eine Gleichspannung.



Für die Energieumwandlung benutzt die Photovoltaik Solarzellen, die als Arrays zu Solarmodulen zusammengeschaltet werden. Im gesamtwirtschaftlichen Energiekonzept tragen die Photovoltaik und die Photovoltaikanlagen in zunehmendem Maße zur umweltfreundlichen und ressourcensparenden Energieversorgung bei.

Flexible organische Solarzellen auf PET-Folie, Foto: Bosch

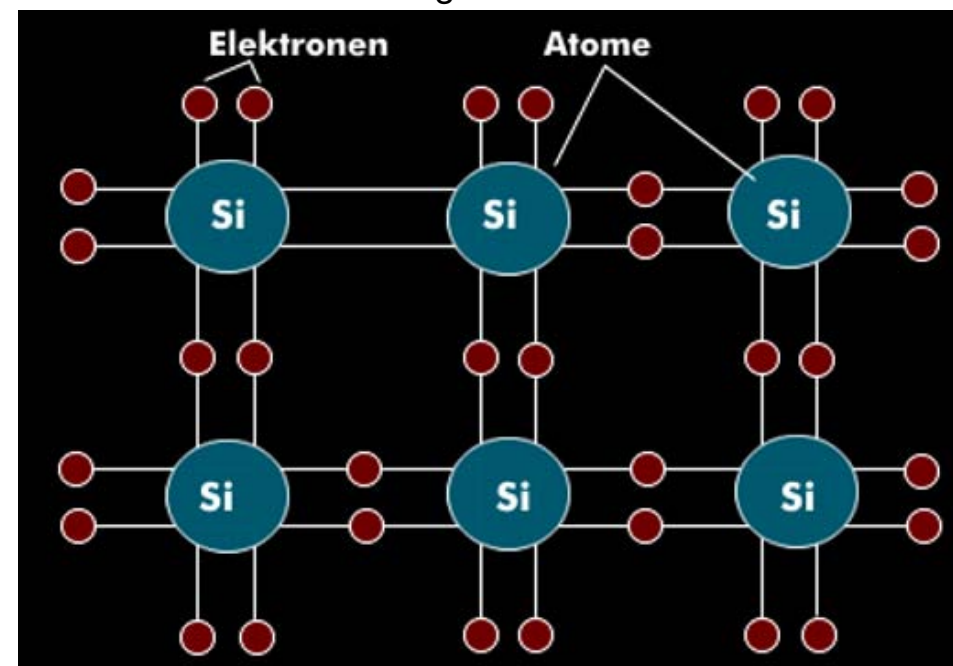
Neuere Forschungen befassen sich mit der *organischen Photovoltaik*: Mit Kunststoff-Solarzellen aus organischen Materialien. Ziel dieser Forschungsarbeiten ist die Herstellung äußerst preiswerter, hochflexibler und vollkommen transparenter Solarzellen, die großflächig eingesetzt und auf Fenster aufgeklebt werden kann. Zudem könnten solche Solarzellen über den Hausmüll entsorgt werden. Der vor Jahren in Labors erreichte *Wirkungsgrad* von organischen Solarzellen lag geringfügig unterhalb von amorphem *Silizium*.

Photovoltaikanlage *photovoltaic power plant*

Photovoltaikanlagen sind Solarstromanlagen, die entweder *Strom* für eine eigene Anwendung erzeugen, oder den erzeugten Strom in das Niederspannungsnetz einspeisen. Im ersten Fall handelt es sich um Inselanlagen, die den erzeugten Gleichstrom in eigenen Akkus zwischenspeichern. Bei Bedarf entnimmt der Verbraucher den Gleichstrom direkt aus den Akkus. Solche Inselanlagen werden überall dort eingesetzt, wo der Anschluss an das Niederspannungsnetz zu lang ist oder nicht realisierbar. Sie werden in der Verkehrsüberwachung eingesetzt, bei Parkautomaten, Navigationshilfen, Beleuchtung von Gebäuden usw. Im Gegensatz dazu steht die Energieerzeugung mit direkter Einspeisung in das öffentliche Stromnetz. Bei diesen netzgekoppelten Photovoltaikanlagen ist das Stromnetz Verbraucher und Energiespeicher zugleich. Bei diesem Konzept wird die von den *Solarmodulen* gelieferte Gleichspannung in einem *Wechselrichter*, der sich in dem Netzeinspeisegerät befindet, in Wechselspannung konvertiert und in der *Spannung* von 230 V, der Frequenz von 50 Hz und der Phasenlage der Netzspannung angepasst. Bei Sonnenschein liefert die netzgekoppelte Solaranlage Wechselstrom in das Stromnetz, ist keine Sonnenstrahlung vorhanden oder bei Dunkelheit erfolgt keine Stromlieferung. Das gilt für beide Anlagenkonzepte gleichermaßen. Die in das Stromnetz eingespeiste Energie wird mit einem Stromzähler gemessen und dient dem Elektrizitätsunternehmen als Abrechnungsgrundlage.

Silizium *Si, silicon*

Silizium (Si) ist ein chemisches Element mit Halbleitereigenschaften, das in hochreiner, monokristalliner Form in der Mikroelektronik eingesetzt wird. Die Atome des Siliziums sind in einem regelmäßigen Gitter



angeordnet. Im Valenzband haben die Silizium-Atome vier Elektronen, die fest mit den Elektronen des Nachbaratoms verbunden sind.

Wird ein Elektron durch Energiezufuhr aus dem Elektronenverbund herausgerissen, kann es für den Ladungstransport benutzt werden und hinterlässt an seiner früheren Position ein Loch. Der Ladungstransport kann durch weitere freigewordene Elektronen und durch zusätzlich hinzugefügte Elektronen erhöht werden. Diese zusätzlichen Elektronen werden durch gezielte Verunreinigung, der Dotierung, eingefügt.

Silizium kann in hochreiner Form mit monokristalliner Struktur, aber auch in polykristalliner und nichtkristalliner, amorpher

Verbindung der Valenzstruktur bei reinem Silizium

Struktur gefertigt werden. Bei monokristallinem Silizium (c-Si) handelt es sich um hochreines Silizium, das zu Siliziumzylindern gezogen wird und das Grundmaterial für die Wafer bildet. Dieses einkristalline Silizium wird für die Herstellung von integrierten Schaltungen verwendet.

Polykristallines Silizium, auch als Polysilizium bezeichnet, hat eine multikristalline Struktur. Bei der Fertigung wird es in Glasblöcke gegossen, die in dünne Scheiben zersägt werden. Das Molekulargefüge von polykristallinem Silizium ist gröber als das von monokristallinem. Dieses Halbleitermaterial kann preiswerter hergestellt werden und wird u.a. in der *Photovoltaik* eingesetzt.

Amorphes Silizium (a-Si) weist keine regelmäßige Kristallstruktur auf. Es kann preiswert hergestellt werden, hat allerdings schlechtere elektronische Eigenschaften gegenüber poly- und monokristallinem Silizium. In der Photovoltaik wird es mit optimierter Mikrostruktur eingesetzt. Zu den nichtkristallinen Halbleitern gehören des weiteren Cadmiumsulfid (CdS), *Cadmiumtellurid* (CdTe) und Kupfer-Indium-Selenid (CuInSe₂). Der *Wirkungsgrad* von amorphem Silizium ist mit ca. 7 % nur etwa halb so groß wie der von reinem Silizium.

Siliziumdioxid **SiO₂, silicon dioxide**

Siliziumdioxid (SiO₂) ist ein in der Natur vorkommendes *Silizium*. Dieses verunreinigte Grundmaterieal ist in Quarzsand enthalten. Das verunreinigte, nichtkristalline Siliziumdioxid ist im Quarzsand enthalten und wird für die Herstellung von Quarzen und nach der Bearbeitung zu hochreinem, kristallinem Silizium in der *Photovoltaik* für die Herstellung *Solarzellen* benutzt.

Solarmodul *solar panel*

Ein Solarmodul ist ein Array aus einzelnen *Solarzellen* oder *Dünnschichtszolarzellen*. In einem solchen Solarzellen-Array sind viele einzelne Solarzellen zu einer größeren Funktionseinheit zusammengeschaltet, mechanisch und elektrisch.

Die einzelnen Solarzellen eines Solarmoduls sind elektrisch in Reihe geschaltet, und zwar so, dass sich ein geschlossener Stromkreislauf ergibt. Dadurch trägt die Solarenergie jeder einzelnen Solarzelle zur gesamten Stromerzeugung bei. Die Leiterbahnen für das Zusammenschalten der Solarzellen befinden sich zwischen den Solarzellen und den Modulen, bei *Photovoltaikanlagen* sind sie zudem zwischen den Modulen.



Zum Schutz gegen Witterungseinflüsse ist die lichtdurchlässige Seite mit einer Glasscheibe abgedeckt, die wasserdicht mit der rückseitigen Abdeckung verbunden ist. Die Solarzelle selbst ist in eine Kunststoffolie aus Ethylen-Vinylacetat (EVA) eingebettet, wobei die Oberseite luftdicht mit der Unterseite verschweißt ist. Die Unterseite der Solarmodule besteht aus einem Trägermaterial, das kann Glas oder Kunststoff sein. Befestigt werden die Solarzellen in einem Aluminiumrahmen oder einen korrosionsfreien Metallrahmen.

An der Unterseite der Solarmodule befindet sich die Anschlussbox mit den Spannungsanschlüssen. Die vom Solarmodul erzeugte Gleichspannung kann z.B.

Solarmodul aus polykristallinen Solarzellen, Foto: peterhahn.de

12 V betragen und wird von der Anschlussbox zum Netzeinspeisegerät (NEG), einem geregelten *Wechselrichter*, geführt und von dort ins Stromnetz eingespeist.

Solartechnik *solar technology*

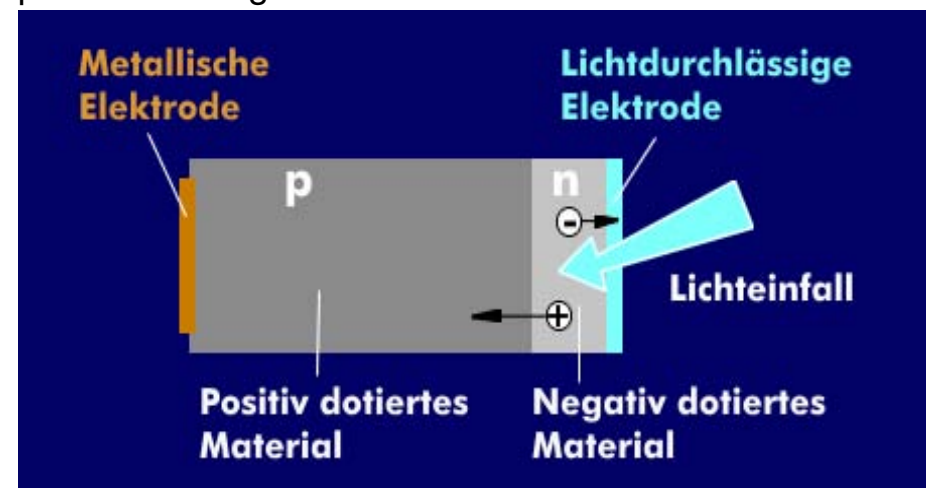
Solartechnik ist der Oberbegriff für die Umsetzung solarer Energie in eine andere Energieform. So kann Solarenergie in Wärme umgesetzt werden, mit der Wasser erwärmt wird, aber ebenso in elektrische Energie. Die erstgenannte Disziplin heißt Solarthermie, die zweite *Photovoltaik*. Beide Umsetzungsformen sind unmittelbar abhängig vom Sonnenlicht. Ist kein Sonnenlicht vorhanden, findet auch keine Energieumwandlung statt.

Die Solarthermie arbeitet mit Sonnenkollektoren und setzt Sonnenstrahlung in Wärmeenergie um. Die Sonnenkollektoren bestehen aus einer Fläche oder einzelnen Röhren, durch die Wasser fließt. Damit sie möglichst viel Sonnenenergie absorbieren, sind Sonnenkollektoren dunkel und können auch mit Reflexionseinrichtungen ausgestattet sein, die das Sonnenlicht auf die Kollektorröhren reflektiert.

Anders ist es bei der Photovoltaik. Bei dieser Technik wird die Sonnenstrahlung in elektrische Energie umgesetzt. Die Umsetzung basiert auf dem *Photoeffekt*, der bereits 1839 von dem französischen Physiker A. E. Becquerel nachgewiesen wurde.

Solarzelle *solar cell*

Eine Solarzelle wandelt Licht in elektrische Energie und erzeugt immer Gleichspannung bzw. Gleichstrom. Sie arbeitet nach dem *Photoeffekt*, der auf der sich bildenden Raumladungszone (RLZ) zwischen einem positiv und negativ dotierten Halbleiter basiert.



Aufbau einer Solarzelle

Der Lichteinfall wird im Halbleiter absorbiert und führt dazu, dass die Ladungsträger aus dem Valenzband die Energielücke zwischen diesem und dem Leitungsband überspringen und das Leitungsband anregen. Die Ladungsträger aus dem Valenzband, das sind die Löcher, und aus dem Leitungsband, die Elektronen, können durch die Raumladungszone getrennt werden. Der Elektronenabfluss erfolgt über eine Elektrode an dem positiv dotierten, der Lichteinfall über eine lichtdurchlässige Elektrode an dem negativ dotierten

Halbleiter.

Solarzellen sind quadratisch und haben eine Seitenlänge von 10 cm, 12,5 cm oder 15 cm, sie werden aus monokristallinem, polykristallinem und amorphem *Silizium* hergestellt. Monokristallines Silizium besteht aus einem Kristall dessen Atome regelmäßig angeordnet sind. Es ist in der Herstellung sehr aufwendig und daher am teuersten, es hat allerdings mit 14 % bis 17 % den höchsten *Wirkungsgrad*. Polykristallines Silizium besteht aus mehreren Kristallen, die jedes für sich eine regelmäßige atomare Struktur aufweisen. Es kann preiswerter hergestellt werden als monokristallines Silizium, hat allerdings einen geringfügig geringeren Wirkungsgrad. Amorphes Silizium kann relativ preiswert hergestellt werden, der Wirkungsgrad liegt lediglich bei 5 % bis 7 %. Dafür hat amorphes Silizium ein hohes Absorptionsvermögen.

Silizium-Solarzellen: monokristallin, schwarz (links) und blau (Mitte), und polykristallin, blau, Foto: solarnova.de



Die Leerlaufspannung (V_{co}) der Solarzellen ist abhängig vom Halbleitermaterial. Bei Silizium beträgt die Quellenspannung etwa 0,5 V und ist unabhängig von der Sonneneinstrahlung. Die Stromstärke steigt hingegen mit höherer

Beleuchtungsstärke an und kann bei einer Sonneneinstrahlung von 1.000 W/qm einen *Strom* von bis zu 2 A generieren. Der Zusammenhang zwischen dem Strom und der *Spannung* entspricht dem charakteristischen Verhalten der Solarzelle und wird in der *I-U-Kennlinie* dargestellt. Aus dieser Kennlinie können der Kurzschlussstrom, die Leerlaufspannung, der *Füllfaktor*, der Maximum Power Point (*MPP*) und der Wirkungsgrad entnommen werden.

Neben den Silizium-basierten Basismaterialien gibt es bereits Solarzellen aus anderen Halbleiterverbindungen wie *Cadmiumtellurid* (CdTe), *Kupfer-Indium-Diselenid* (CIS) und *Galliumarsenid* (GaAs), aber auch solche, die auf der *organischen Photovoltaik* (OPV) basieren. Die genannten Materialien werden in Dünnschichtsolarmodulen eingesetzt, deren Wirkungsgrad ist allerdings wesentlich geringer als der von Silizium-Solarzellen.

Spannung, U voltage

Spannung (U) ist die elektrische Kraft, die die Elektronen in Bewegung versetzt und dadurch einen *Stromfluss* verursacht. Die Maßeinheit für die Spannung ist das *Volt* (V), benannt nach dem italienischen Physiker Alessandro Volta (1743 bis 1827), und gehört zu den Basisgrößen des Einheitensystems (SI).

Die Spannung ist durch Polaritäten gekennzeichnet, durch die positive und negative Polarität. Bleiben die Polaritäten einer Spannungsquelle unverändert, spricht man von Gleichspannung; ändern sich die Polaritäten, von Wechselspannung. Eine Gleichspannung ruft im Schaltkreis einen Gleichstrom hervor, eine Wechselspannung einen Wechselstrom. Die Spannungsrichtung wird in elektronischen Schaltungen durch Pfeile kenntlich gemacht. Diese zeigen immer von einem höheren zu einem niedrigeren Potential, bzw. von einer positiven Spannung zu einer negativen. Typische Gleichspannungsquellen sind Batterien, Akkus und Solarzellen; eine typische Wechselspannungsquelle ist die Netzspannung.

Die physikalischen Größen Spannung, Strom (I) und Widerstand (R) stehen über das ohmsche Gesetz in unmittelbarer Beziehung zueinander, die *Leistung* (W) ergibt sich aus dem Produkt von Spannung und *Strom*.

Strom, I current

Strom ist die Bewegung freier Elektronen in einem Leiter. Die Einheit für die elektrische Stromstärke (I) ist das *Ampere* (A), benannt nach dem französischen Physiker André Marie Ampère (1775 bis 1836).

Bei einer Stromstärke von 1 Ampere fließt in einer Sekunde eine Elektrizitätsmenge von $6,3 \times 10^{18}$

Elektronen oder ein Coulomb (Q) durch die Leitung: $Q=I \cdot t$.

Strom wird durch die elektrische *Spannung* durch die Leitungen bewegt. Der Strom fließt immer von einem hohen Potential zu einem niedrigeren. Die Spannungsrichtung, in der Schaltungstechnik durch Pfeile kenntlich gemacht, entspricht der technischen Stromrichtung, nicht der Richtung der Elektronenbewegung.

Die physikalischen Größen Spannung (V), Strom und Widerstand (R) stehen über das ohmsche Gesetz in unmittelbarer Beziehung zueinander.

TCO, transparent conductive oxide

Transparent Conductive Oxide (TCO) sind transparente leitende Oxide, die u.a. in der Herstellung von *Solarzellen* in Dünnschichttechnik eingesetzt werden. Aus diesen Materialien werden bei der Beschichtung die transparenten Leiterbahnen aufgedampft. In der *Solartechnik* kommen als TCO-Materialien *Zinkoxid* (ZnO) und Zinnoxid (SnO₂) zum Einsatz.

Volt, V voltage

Volt ist die Einheit für die elektrische *Spannung*, benannt nach dem italienischen Physiker Alessandro Volta (1743 bis 1827). Das Volt hat im Einheitensystem (SI) das Zeichen "V" und ist als die Spannung definiert, die bei einem *Strom* (I) von 1 *Ampere* (A) eine *Leistung* von 1 *Watt* (W) umsetzt.

Aus dem Voltbetrag geht nicht hervor um welche Spannungsart es sich handelt. Erst durch Hinzufügen einer zusätzlichen Bezeichnung kann man erkennen, wofür die Voltangabe steht.

Ebenso wie andere elektrische und physikalische Einheiten wird das Volt mit Präfixen versehen. Gängige Voltangaben sind neben der Grundeinheit Volt (V) das Mikrovolt (µV), Millivolt (mV), Kilovolt (kV) und Megavolt (MV).

Watt, W watt

Watt (W) ist die Einheit für die *Leistung*, für die Arbeit, die in einer bestimmten Zeit ausgeführt wurde. Per Definition entspricht 1 Watt (W) 1 Nm/s, Newton-Meter pro Sekunde, oder es bezieht sich auf Pferdestärken (PS) oder auf Kalorien pro Zeiteinheit. Das Watt bezieht sich gleichermaßen auf mechanische, körperliche, elektrische oder akustische Arbeit. Im Kontext von ITWissen.info geht es um die akustische und elektrische Leistung.

Watt wird als Angabe für den Energieverbrauch benutzt, für Leistungsangaben von Verstärkern und Lautsprechern, für die Effizienz von lichterzeugenden Bauelementen und anderen Komponenten der optischen, akustischen oder versorgenden Art. Es wird mit Präfixen versehen und in Megawatt (MW), Kilowatt (kW), Milliwatt (mW), Mikrowatt (µW) Nanowatt (nW) und Picowatt (pW) angegeben.

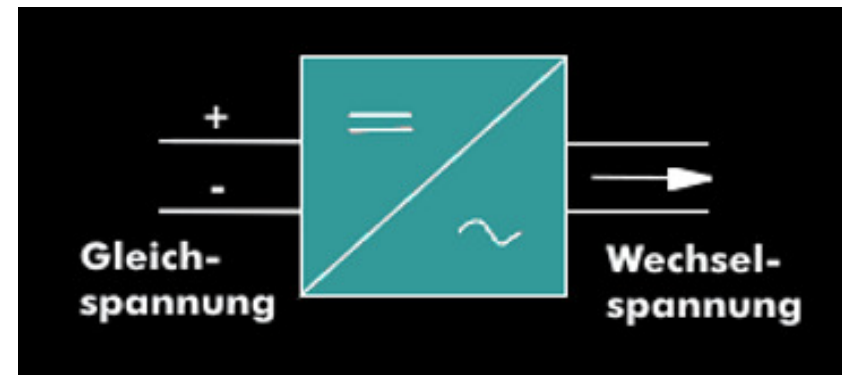
Das Watt ist benannt nach dem englischen Physiker James Watt (1736-1819).

Wechselrichter DC to AC converter

Wechselrichter, in Solaranlagen auch als Netzeinspeisegerät bezeichnet, sind elektronische Schaltungen, die Gleichstrom in Wechselstrom umwandeln. Solche Wechselrichter werden überall dort eingesetzt, wo Geräte oder Systeme die mit Wechselspannung resp. Netzspannung betrieben werden, über Akkus gepuffert sind. So beispielsweise in USV-Systemen oder bei der Einspeisung der Gleichspannung von *Photovoltaik*-Anlagen in das Netz.

Wechselrichter arbeiten wie getaktete Netzteile und erzeugen aus der Gleichspannung eine Wechselspannung. Im Gegensatz zu Gleichspannungswandlern entspricht die Taktfrequenz der

Blockschaltbild des Wechselrichters



Netzfrequenz von 50 Hz oder 60 Hz. Das getaktete Signal wird über Tiefpässe in ein Sinussignal geformt und auf die Höhe der Netzspannung transformiert. Neben dem *Wirkungsgrad* sind die *Leistung*, Potentialtrennung, der Kurzschluss-Schutz und die Störaussendung weitere wichtige Kenndaten von Wechselrichtern. Sie sind als eigenständige Geräte oder für den Einbau in Gehäusen oder Racks lieferbar.

Wirkungsgrad *effectivness*

Der Wirkungsgrad ist ein Parameter für die Effektivität der Umwandlung einer Energieform in eine andere. Es handelt sich um einen dimensionslosen Wert, der mit dem griechischen Buchstaben "Eta" gekennzeichnet ist. Mathematisch ist der Wirkungsgrad das Verhältnis von abgegebener Leistung zur aufgenommenen Leistung, in Prozent.

Der Begriff Wirkungsgrad wird in allen technischen Disziplinen angewendet und zwar immer dann, wenn eine Energieform in eine andere umgewandelt wird. So beispielsweise bei der Umwandlung von Bewegung in Wärme oder von Licht in elektrische Leistung, von Wechselstrom in Gleichstrom in Netzteilen, von Strom in Schalldruck beim Lautsprecher oder von Schalldruck in elektrischen Strom beim Mikrofon. Alle Sensoren und Aktoren sind mit einem Wirkungsgrad behaftet.

ZnO, zinc oxide *Zinkoxid*

Zinkoxid (ZnO) war bislang als Halbleitermaterial wenig geeignet, weil die P-Dotierung Probleme bereitet und sich Zinkoxid nur schwer mit Fremdatomen dotieren lässt. Es wird zwar in der Elektronik und *Photovoltaik* eingesetzt, so in Fotowiderständen und als Transparent Conductive Oxide (TCO) in *Solarzellen*, aber in diesen und ähnlichen Anwendungen als Leiter oder lichtabhängiges Material.

Neuere Forschungsergebnisse zeigen, dass die Probleme mit der P-Dotierung gelöst werden können und Zinkoxid dadurch einige Halbleitermaterialien ersetzen könnte. Gedacht ist an blaue Leuchtdioden (LED), die bisher aus Galliumnitrid (GaN) bestehen