



ITWissen

Das große Online-Lexikon  
für Informationstechnologie

Glossar

Photovoltaik

- **Bypass-Diode**
- **Cadmiumtellurid**
- **Dünnschichtsolarmodul**
- **Füllfaktor**
- **Galliumarsenid**
- **Gleichspannungswandler**
- **Kupfer-Indium-Diselenid**
- **Mikro-Inverter**
- **MLPM, module level power management**
- **MPP, maximum power point**
- **MPPT, maximum power point tracking**
- **Organische Photovoltaik**
- **Peakleistung**
- **Photoeffekt**
- **Photovoltaik**
- **Photovoltaikanlage**
- **Silizium**
- **Siliziumdioxid**
- **Solarkonstante**
- **Solarmodul**
- **Solartechnik**
- **Solarzelle**
- **TCO, transparent conductive oxide**
- **Wechselrichter**
- **Zinkoxid**

## Bypass-Diode

*bypass diode*

*Solarzellen* werden in Strings zu einem *Solarmodul* zusammengeschaltet. Diese Reihenschaltung hat den Nachteil, dass das schwächste Glied, im Falle des Solarmoduls die Solarzelle mit der geringsten Energieausbeute, den *Stromfluss* bestimmt. Das bedeutet, dass einzelne verschmutzte oder beschattete Solarzellen den Stromfluss in dem gesamten Solarmodul negativ beeinträchtigen und damit die Energiegewinnung reduzieren. Um dies zu vermeiden liegen parallel zu allen Solarzellen Bypass-Dioden, die dann aktiv werden, wenn eine Solarzelle den gesamten Stromfluss vermindert. Der Strom der anderen Solarzellen wird dann über die parallel geschaltete Bypass-Diode ohne Beeinträchtigung an dieser Solarzelle vorbeigeleitet.

## Cadmiumtellurid, CdTe

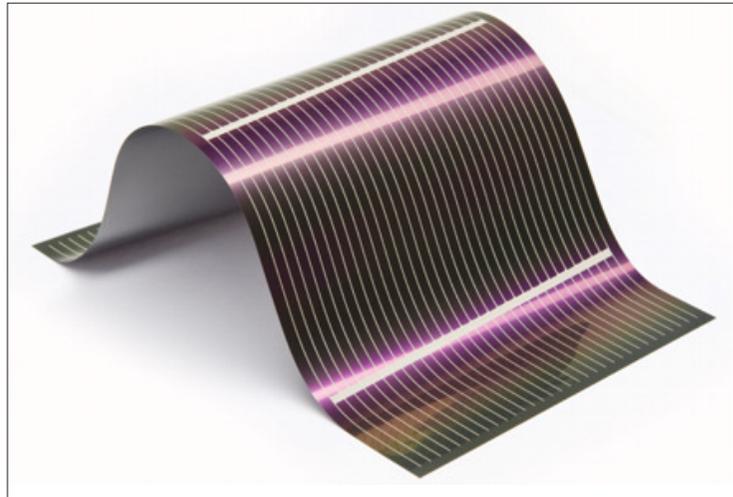
*cadmium telluride*

Cadmiumtellurid (CaTe) ist ein amorphes Halbleitermaterial, das in der *Photovoltaik* eingesetzt wird. Cadmiumtellurid wird anstelle von *Silizium* (Si) für *Dünnschichtsolarzellen* 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.

## 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 Edelstahlfolie mit einer Schichtdicke von wenigen Mikrometern aufgedampft werden. Es entsteht eine größere Solareinheit, die mit Lasern in dünnere Streifen geschnitten wird. Die Schichtdicke beträgt lediglich einige wenige Mikrometer, 0,5 µm bis 2 µm.



Dünnschichtsolarmodul, Foto: global-solar.eu

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. Zudem zeichnen sich Dünnschichtszellens durch einen geringeren Leistungsverbrauch bei hohen Temperaturen und ein besseres Verhalten bei schwachem Lichteinfall aus. Nachteilig ist der *Wirkungsgrad*, der etwa halb so groß ist, wie der von

monokristallinem Silizium. Er liegt bei etwa 7 % bis 10 %.

## Füllfaktor

*FF, filling factor*

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 sammelt. 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)* und die maximal mögliche Leistung, die sich aus dem Kurzschlussstrom und der Leerlaufspannung errechnet. 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.

## Galliumarsenid, GaAs, *gallium arsenide*

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.

## Gleichspannungswandler *DC to DC conversion*

Gleichspannungswandler, auch bekannt als DC-DC-Wandler, sind elektronische Schaltungen, die die Gleichspannung vor der Wandlung in Wechselspannung konvertieren, diese transformieren und anschließend wieder in eine Gleichspannung wandeln. Da Gleichspannung nicht transformiert werden kann, arbeiten die DC/DC-Wandler wie elektronische Schaltnetzteile, die die Gleichspannung zunächst in eine Wechselspannung umwandeln. Anschließend wird diese mit einem Transformator in die gewünschte Höhe transformiert, in einem Gleichrichter wieder in Gleichspannung gewandelt und mit Siebgliedern geglättet. Um einen möglichst kleinen und leichten Transformator nutzen zu können, betragen die Schaltfrequenzen des Schaltnetzteils mehrere Kilohertz, beispielsweise 40 kHz. DC/DC-Wandler arbeiten entweder mit Pulsweitenmodulation (PWM) oder mit dem quasiresonanten, stromlosen Schalten, dem *Zero Current Switching* (ZCS). Mit solchen DC/DC-Wandlern kann u.a. die Batteriespannung eines Kraftfahrzeugs in eine andere, höhere Gleichspannung konvertiert werden. Außerdem werden sie in vielen batteriebetriebenen Geräten und in *Photovoltaikanlagen* eingesetzt.

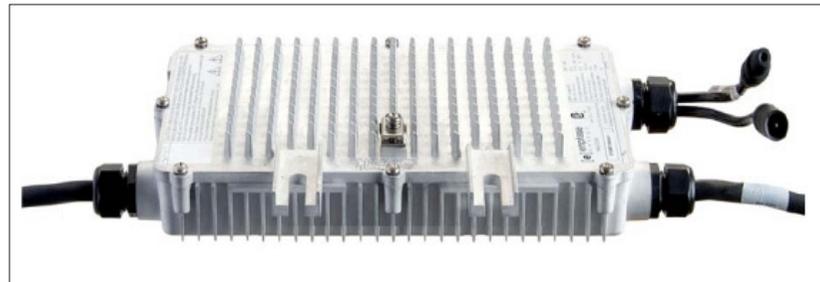
## Kupfer-Indium-Diselenid *CIS, copper indium diselenide*

Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) ist ein amorphes Halbleitermaterial, das in der *Photovoltaik* eingesetzt wird. Es wird anstelle von *Silizium* (Si) für die Herstellung von *Dünnschichtsolarzellen* verwendet. CIS-Zellen bestehen aus mehreren Schichten von unterschiedlich dotiertem Kupfer-Indium-Diselenid. Kupfer-Indium-Diselenid kann auf Glas oder Edelstahlfolie aufgedampft werden, die entsprechenden CIS-Zellen sind kostengünstig herstellbar, da die *Solarzellen* wesentlich weniger benötigen. Obwohl der *Wirkungsgrad* von amorphen Halbleitermaterialien wie CIS geringer sein soll als der von kristallinen, wurden in Forschungseinrichtungen bereits Solarzellen mit einem Wirkungsgrad von über 20 % hergestellt.

Eine Variante von Copper Indium Diselenide ist Copper Indium Gallium Diselenide (CIGS).

## Mikro-Inverter *micro inverter*

In der *Photovoltaik* muss die von den *Solarmodulen* erzeugte Gleichspannung in eine Wechselspannung für das Niederspannungsnetz umgewandelt. Generell werden für solche DC-to-AC-Konvertierungen *Wechselrichter* benutzt, die eine frequenzgenaue und phasensynchrone 220-V-Wechselspannung erzeugen. In der englischen Literatur werden diese zentralen Wechselrichter als Central Inverter bezeichnet. Sie konvertieren die gesamte Gleichspannung



*Mikro-Inverter für Solarmodule, Foto: eco-trees.org*

einer *Photovoltaikanlage* in phasensynchrone Wechselspannung. Eine Alternative zu der zentralen Konvertierung mit Wechselrichtern sind Mikro-Inverter. Das Mikro-Inverter-Konzept bietet einen dezentralisierten, verteilten Ansatz. Es ist wesentlich flexibler als das der zentralen

# Photovoltaik

Wechselrichter, weil jedes Solarmodul einen eigenen Mikro-Inverter hat. Der konvertiert die Gleichspannung in Wechselspannung, sorgt für die Frequenzgenauigkeit und Phasensynchronisation mit der Netzspannung und regelt den Arbeitspunkt des jeweiligen Solarmoduls. Die Nachregelung des Arbeitspunktes, das sogenannte *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), ist eine Funktion des *Module Level Power Managements* (MLPM) durch das die Effizienz der Einspeisung wesentlich erhöht wird. Die Arbeitspunktoptimierung von jedem einzelnen Solarmodul ist insofern wichtig, da jedes Solarmodul unterschiedliche Einstrahlungsbedingungen haben kann. Das Mikro-Inverter-Konzept ist flexibler als das klassische Konzept mit zentralem Wechselrichter, es reduziert den Einfluss von Ablagerungen und Schmutz auf den Solarmodulen und sorgt für eine höhere Einspeisungseffizienz. Da die Mikro-Inverter unterhalb der Solarmodule angebracht werden, müssen sie die Schutzarten (IP) gegen Spritzwasser und Strahlwasser erfüllen.

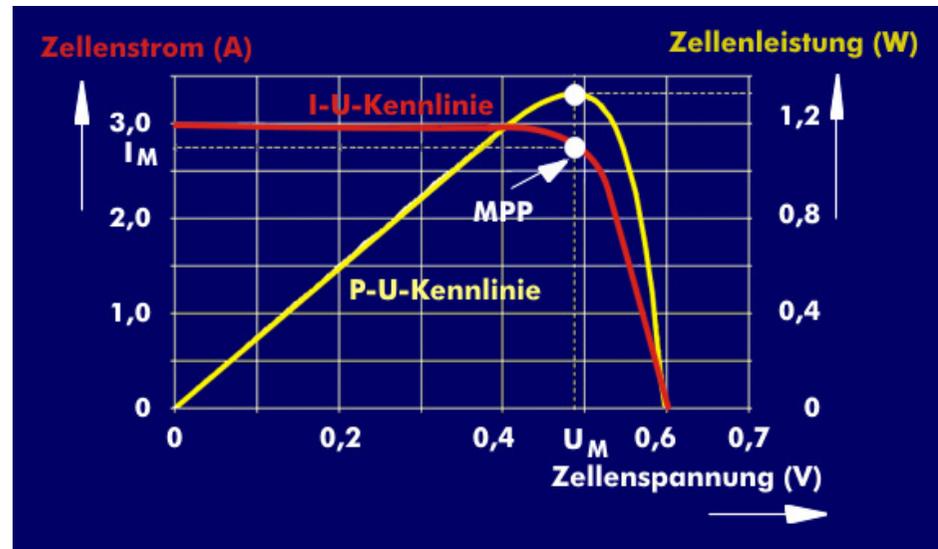
## MLPM, module level power management

Bei den Solar-*Wechselrichtern* gibt es mit dem *Module Level Power Management* (MLPM) eine neue Technologie, die bei *Photovoltaikanlagen* eine höhere Effizienz hat als andere Wechselrichter. Die MLPM-Technologie arbeitet mit *Mikro-Invertern* und Optimierern. Jedes *Solarmodul* hat einen eigenen Mikro-Inverter, der als DC to AC Converter arbeitet, für die frequenz- und phasengenaue Einspeisung der Wechselspannung sorgt und den Arbeitspunkt durch Änderung des Belastungswiderstands nachführt, damit die höchste Einspeisungsleistung erzielt wird. Der optimale Arbeitspunkt ist der *Maximum Power Point* (MPP) und das Nachführen wird als *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) bezeichnet.

## 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.

# Photovoltaik



Maximum Power Point (MPP) einer Solarzelle

ändert sich die Lage des Maximum Power Points ständig mit der Einstrahlung und der Temperatur. Der der Solarzelle nachgeschaltete *Wechselrichter* bzw. das Netzeinspeisegerät oder alternativ der *Mikro-Inverter* ermittelt laufend den MPP-Wert und regelt den Arbeitspunkt des Solarmoduls durch Änderung des Belastungswiderstands. Man spricht dieser Funktion des *Module Level Power Managements* (MLPM) vom *Maximum Power Point Tracking* (MPPT).

## MPPT, maximum power point tracking

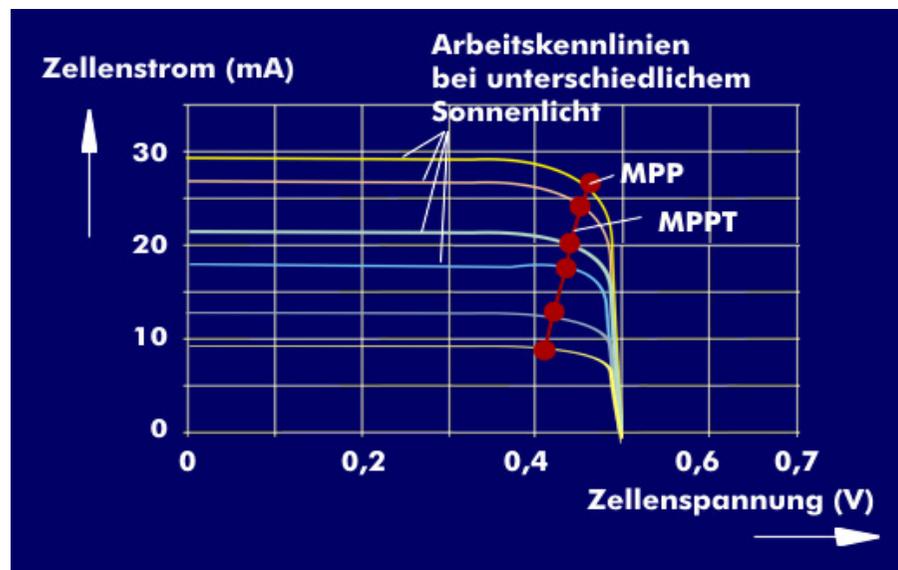
Das Maximum Power Point Tracking (MPPT) ist ein Optimierungsverfahren, das in *Photovoltaikanlagen* und *Solarmodulen* eingesetzt wird und dafür sorgt, dass der Arbeitspunkt der Solarmodule so verschoben wird, dass diese immer die höchste Einspeisungsleistung erzielen.

In der *Photovoltaik* hängt die erzeugte Energie von der Sonneneinstrahlung ab. Mit der

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,

# Photovoltaik



Maximum Power Point Tracking (MPPT) zwischen den verschiedenen Arbeitskennlinien

Sonneneinstrahlung ändert sich der Arbeitspunkt bei der die Solarzelle die meiste Energie erzeugt. Der sogenannte Maximum Power Point (*MPP*), das ist der optimale Arbeitspunkt, verschiebt sich, was einen unmittelbaren Einfluss auf den *Wirkungsgrad* der Einspeisung hat. Beim Maximum Power Point Tracking wird der MPP-Punkt ständig nachgeführt, was zu einer Verbesserung des Einspeisungswirkungsgrades führt. Je besser der MPPT-Algorithmus

ist, desto höher ist die Einspeiseleistung.

Das MPP-Nachführen ist eine Funktion des *Module Level Power Managements* (MPLM), die in den angeschlossenen *Mikro-Invertern* oder *Wechselrichtern* implementiert ist.

## 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 vor Witterungseinflüssen liegt über der oberen Elektrode eine transparente Kunststoffschicht.

## Peakleistung

*Wp, watt peak*

Die Bezeichnung Peakleistung (Wp) wird in der *Solartechnik* für die Bewertung der Leistungsfähigkeit von *Solarzellen* benutzt. Es handelt sich um die Spitzenleistung, die eine Solarzelle bzw. *Photovoltaikanlage* unter bestimmten Testbedingungen erzielt. Die Testbedingungen sollten den realen Umgebungsbedingungen beim Betrieb einer installierten Solarzelle entsprechen, sie stellen allerdings idealisierte Umgebungsbedingungen dar. Die Peakleistung bezieht sich auf die Sonneneinstrahlung, die Temperatur der Solarzelle und der Dichte der Atmosphäre. Sie wird in *Watt Peak* (Wp), *Kilowatt-Peak* (kWp) oder *Megawatt-Peak* (MWp) angegeben. Als Standard-Testbedingung (STC) werden eine Sonneneinstrahlung von 1.000 W/qm, eine Umgebungstemperatur von 25 °C und eine Windgeschwindigkeit von 1 m/s angesetzt.

Realistischere Werte für die Umgebungstemperatur werden mit der *Normal Operating Cell Temperature* (NOCT) erzielt und zeigen, dass bei der NOCT-Bewertung die Zellenleistung geringer ist als die durch die Peakleistung angegebene.

## Photoeffekt

*photo effect*

Der Photoeffekt ist ein physikalisches Phänomen, das erstmals 1839 von dem französischen Physiker Alexander 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

# Photovoltaik

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



*Flexible organische Solarzellen auf PET-Folie, Foto: Bosch*

die Photovoltaik und die *Photovoltaikanlagen* in zunehmendem Maße zur umweltfreundlichen und ressourcensparenden Energieversorgung bei.

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

# Photovoltaik

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, PVA *photovoltaic power plant*

Photovoltaikanlagen (*PV-Anlagen*) 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



Photovoltaikanlage, Foto: solarpower-gmbh

Verkehrsüberwachung eingesetzt, bei Parkautomaten, Navigationshilfen, Beleuchtung von Gebäuden usw.

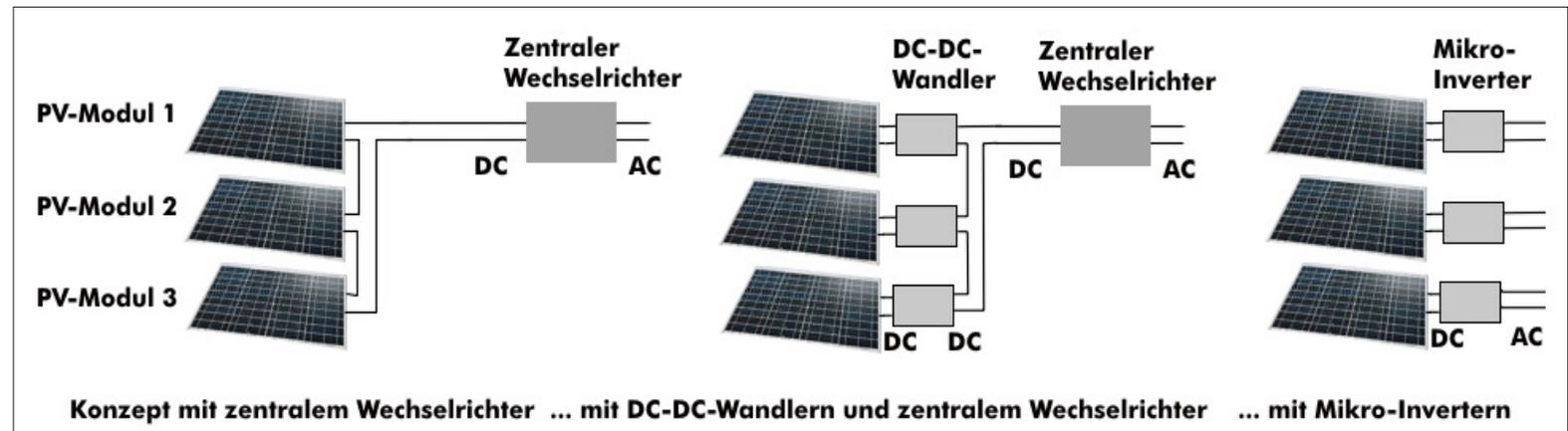
Im Gegensatz dazu steht die Energieerzeugung mit direkter Einspeisung in das öffentliche Stromnetz. Bei diesen netzgekoppelten Photovoltaikanlagen ist das Stromnetz Verbraucher und Energiespeicher zugleich.

Generell bestehen PV-Anlagen aus mehreren *Solarmodulen*, die in Gruppen zusammengefasst sind. Die einzelnen Photovoltaikmodule (*PV-Module*) sind in Reihe geschaltet, genannt Strings, und

# Photovoltaik

mehrere PV-Modul-Reihen werden parallel an einen *Wechselrichter* angeschlossen. Bei diesem Konzept wird die von den Solarmodulen gelieferte Gleichspannung in einem zentralen Wechselrichter, der sich in dem Netzeinspeisegerät befindet, in Wechselspannung konvertiert. Die Konvertierung muss frequenzgenau und phasensynchron mit der Netzspannung von 230 V und 50 Hz erfolgen. Bei diesem aus den 70er Jahren stammenden Konzept des zentralen Wechselrichters müssen alle in Reihe geschalteten PV-Module den gleichen Strom und alle parallel geschalteten PV-Modulgruppen die gleiche *Spannung* generieren, damit die höchste *Leistung* erzeugt wird. Wenn Anlagenteile verschmutzt sind oder unterschiedliche Neigungswinkel haben oder im Schatten liegen, dann erzeugen sie weniger Strom und der Reihenstrom sinkt. Gleiches gilt für die Spannung. Die PV-Anlage arbeitet dann nicht mit dem optimalen *Wirkungsgrad*.

Alternativ zu dem zentral arbeitenden Wechselrichterkonzept gibt es dezentralisierte Konzepte. Die Lösungen, die mit kleinen Wechselrichtern, sogenannten *Mikro-Invertern* (DC to



Konzepte der Energieumwandlung in PV-Anlagen

AC), oder mit *Gleichspannungswandlern* (DC to DC) arbeiten, sind so konzipiert, dass jeweils einem PV-Modul ein Wandler zugeordnet wird. Die Wandler sorgen dafür dass die PV-Module immer im maximalen Arbeitspunkt, dem Maximum Power Point (*MPP*), arbeiten. Im Falle der Mikro-Inverter wird die erzeugte Wechselspannung unmittelbar in das Niederspannungsnetz eingespeist. Bei den Gleichspannungswandlern wird auch weiterhin der zentrale Wechselrichter benutzt. Das Konzept sieht vor, dass die Spannung von den in Reihe geschalteten Gleichspannungswandlern von dem und zentralen Wechselrichter in Netzspannung konvertiert wird.

Der Vorteil beider Konzepte liegt in einem höheren Wirkungsgrad und der Unabhängigkeit durch einzelne PV-Module, deren Einstrahlungsbedingungen, Ausrichtungen oder Verschmutzung.

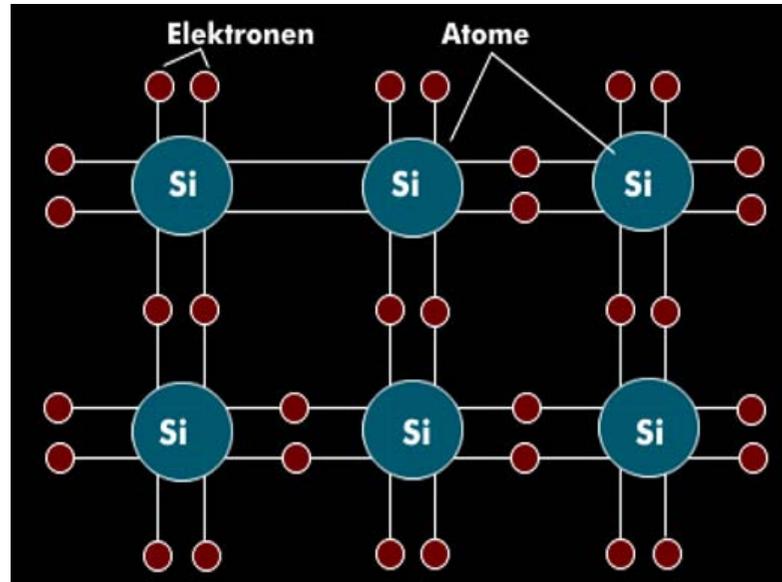
Silizium (Si) ist ein chemisches Element mit Halbleitereigenschaften, das in hochreiner, monokristalliner Form in der Mikroelektronik eingesetzt wird. Die Atome des Siliziums sind in einem regelmäßigen Gitter angeordnet. Im Valenzband haben die Silizium-Atome vier Elektronen, die fest mit den Elektronen 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 frei gewordene 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 Struktur gefertigt werden. Bei monokristallinem Silizium (c-Si) handelt es sich um hochreines Silizium, das in einer Siliziumschmelze zu einkristallinen

**Silizium, Si**  
*silicon*

# Photovoltaik



Verbindung der Valenzstruktur bei monokristallinem Silizium

Siliziumzylindern, genannt Ingot, gezogen wird und das Grundmaterial für die Wafer bildet. Dazu werden die Siliziumzylinder in dünne Siliziumscheiben gesägt, die für die Herstellung von integrierten Schaltungen und *Solarzellen* verwendet werden.

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 und hat auch keine Kristallfläche. Es hat ein hohes Absorptionsvermögen, 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 (CuInSe<sub>2</sub>). Der *Wirkungsgrad* von amorphem Silizium ist mit ca. 7 % nur etwa halb so groß wie der von reinem Silizium.

**Siliziumdioxid, SiO<sub>2</sub>**  
*silicon dioxide*

Siliziumdioxid (SiO<sub>2</sub>) kommt in der Natur als Quarzkiesel vor. Dieses 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.

**Solarkonstante**  
*solar constant*

Die Solarkonstante ist eine feste Größe für die Sonneneinstrahlung außerhalb der Atmosphäre. Sie beträgt 1.370 W/qm und ist im Weltraum annähernd konstant. Auf der Erdoberfläche wird die Sonneneinstrahlung durch die Atmosphäre, den tages- und jahreszeitabhängigen Einfallswinkel und den Breitengrad beeinträchtigt und ist daher wesentlich geringer. Die Einstrahlungswerte schwanken daher auf der Erdoberfläche und liegen zwischen maximal 800 W/qm und 1.000 W/qm. Die Minderung der Sonneneinstrahlung wird durch die Air Mass (AM) ausgedrückt. Dieser Faktor für die Dicke der Atmosphäre schwankt in unseren Breitengraden je nach Jahreszeit 1,5 im Sommer bei hochstehender Sonne und 4 bis 6 im Winter bei tiefstehender Sonne.

**Solarmodul**  
*solar panel*

Ein Solarmodul oder *PV-Modul* ist ein Array aus einzelnen *Solarzellen* oder *Dünnschicht solarzellen*. 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. Damit beschattete oder verschmutzte Solarzellen den Gesamtstromfluss nicht beeinträchtigen, liegt parallel zu jeder einzelnen Solarzelle eine *Bypass-Diode*, die die entsprechende Solarzelle überbrückt. Die Leiterführungen für das Zusammenschalten der Solarzellen zu einem Solarmodul befinden sich

# Photovoltaik



Solarmodul aus polykristallinen Solarzellen,  
Foto: peterhahn.de

zwischen den Solarzellen, bei *Photovoltaikanlagen* sind sie zwischen den Modulen. Ein Solarmodul kann je nach Sonneneinstrahlung *Peakleistungen* zwischen 10 Wp und 100 Wp erzeugen. 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. 12 V betragen und wird von der Anschlussbox zum Netzeinspeisegerät (*NEG*), einem geregelten *Wechselrichter*, geführt und von dort ins Stromnetz eingespeist. Der geregelte Wechselrichter muss die Wechselspannung frequenz- und phasengenau in das Niederspannungsnetz einspeisen. Als effiziente Alternative zum Wechselrichter bieten sich *Mikro-Inverter* an, das sind kleine Wechselrichter für jedes einzelne Solarmodul. Sie werden unter dem Solarmodul installiert und haben einen wesentlich höheren *Wirkungsgrad* als die Zentral-Wechselrichter, die im Englischen mit Central Inverter bezeichnet werden.

# Photovoltaik

## 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.

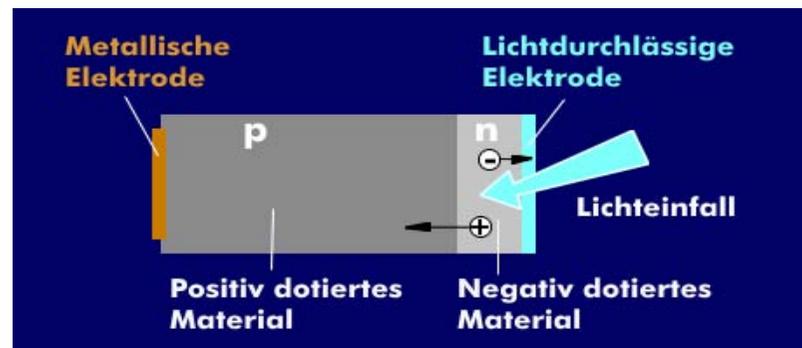
Die Solarthermie arbeitet mit Sonnenkollektoren und setzt Sonnenstrahlung in Wärmeenergie um. Die Sonnenkollektoren bestehen aus einer Fläche oder einzelnen Röhren, durch die Wasser fließt. Damit sie möglichst viel Sonnenenergie absorbieren, sind Sonnenkollektoren dunkel und können auch mit Reflexionseinrichtungen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



*Aufbau einer Solarzelle*

Gleichstrom. Sie arbeitet nach dem *Photoeffekt*, der auf der sich bildenden Raumladungszone (RLZ) zwischen einem positiv und negativ dotierten Halbleiter basiert.

Der Lichteinfall wird im Halbleiter absorbiert und führt dazu, dass die Ladungsträger aus dem Valenzband die Energielücke zwischen diesem und dem

# Photovoltaik

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 Kantenlänge von 10 cm, 12,5 cm oder 15 cm und sind mit einer Antireflexionsschicht (ARC) überzogen. Diese reduziert die Reflexion des Sonnenlichts und verbessert dadurch die Absorption des Solarmoduls. Die Solarzellen selbst werden aus monokristallinem, polykristallinem und amorphem *Silizium* hergestellt.

Monokristallines Silizium besteht aus einem Kristall dessen Atome regelmäßig angeordnet sind. Bei der Fertigung der Solarzelle werden die Atome des geschmolzenen Siliziums in eine Richtung ausgerichtet. Daher ist die Herstellung sehr aufwendig und teuer, allerdings hat



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

monokristallines Silizium mit 14 % bis 18 % auch den höchsten *Wirkungsgrad*, dessen Oberfläche eben und graphitfarben ist.

Polykristallines Silizium besteht aus mehreren Kristallen, die jedes für sich eine regelmäßige atomare Struktur aufweisen. Polykristalline Solarzellen sind etwa 200 µm bis 300 µm dünn. Sie können preiswerter hergestellt werden als monokristalline Solarzellen, haben allerdings einen geringfügig geringeren Wirkungsgrad. Dieser liegt zwischen 10 % und 15 %. Die Oberfläche von polykristallinem Silizium ist blau.

Amorphes Silizium hat keine geordneten atomaren Strukturen, diese sind unregelmäßig. Es kann relativ preiswert hergestellt werden, der Wirkungsgrad liegt lediglich bei 6 % bis 10 %. Dafür hat amorphes Silizium ein hohes Absorptionsvermögen.

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 und liegt bei ca. 6 % bis 10 %.

## 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* (SnO<sub>2</sub>) zum Einsatz.

## Wechselrichter DC to AC converter

Wechselrichter, auch als Inverter 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 *Photovoltaikanlagen* in das Niederspannungsnetz.



Wechselrichter für Photovoltaikanlagen,  
Foto: archivexpo.de

Wechselrichter, DC-to-AC-Converter, arbeiten wie getaktete Netzteile und erzeugen aus der Gleichspannung eine Wechselspannung. Im Gegensatz zu *Gleichspannungswandlern* entspricht die Taktfrequenz der Netzfrequenz von 50 Hz oder 60 Hz. Das getaktete Signal wird über Tiefpässe in ein Sinussignal geformt und auf die Höhe der Netzspannung transformiert.

In der *Photovoltaik* muss die von den Wechselrichtern erzeugte Wechselspannung exakt 230 V und 50 Hz haben und muss darüber hinaus noch phasensynchron zur Netzspannung sein. Darüber hinaus optimieren

Photovoltaik-Wechselrichter mit dem Module Level *Power* Management (*MLPM*) den Arbeitspunkt der *Solarmodule* um die höchst mögliche Energieausbeute zu erzielen. Neben dem *Wirkungsgrad*, der bei über 95 % liegt, sind die Leistung, die 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.

## Zinkoxid ZnO *zinc oxide*

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

## Herausgeber

Klaus Lipinski  
Datacom-Buchverlag GmbH  
84378 Dietersburg

ISBN: 978-3-89238-210-2

## Photovoltaik

E-Book, Copyright 2011

Trotz sorgfältiger Recherche wird für die angegebenen Informationen keine Haftung übernommen.



Dieses Werk ist unter einem Creative Commons Namensnennung-Keine kommerzielle Nutzung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenzvertrag lizenziert.

Erlaubt ist die nichtkommerzielle Verbreitung und Vervielfältigung ohne das Werk zu verändern und unter Nennung des Herausgebers. Sie dürfen dieses E-Book auf Ihrer Website einbinden, wenn ein Backlink auf [www.itwissen.info](http://www.itwissen.info) gesetzt ist.

Layout & Gestaltung: Sebastian Schreiber  
Titel: © kentoh #16726985. Fotolia.com

Produktion: [www.media-schmid.de](http://www.media-schmid.de)  
Weitere Informationen unter [www.itwissen.info](http://www.itwissen.info)