

**SUNdidactics**  
 SolarEnergyDidactics  
 SolarEducation  
 SolarEngineering  
 Photovoltaics+Solarthermal  
 innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung  
 innovative solar- systems for school, college, technical education

NILS ISFH  
 Kooperationspartner NILS-ISFH  
 Vertrieb  
 Rechnungsservice  
 Solartechnik  
 Solardidaktik  
 Solare Wissenschaft  
 Cooperation NILS-ISFH  
 Sales  
 Delivery  
 Accounting  
 Solar didactics

**Photovoltaik-System SUSE**  
 Solartechnik  
 Experimentiergeräte  
 Solare Experimente  
 von der Grundschule  
 bis zum Abitur  
 Solar technology  
 Experimentation devices  
 Solar experiments

**BNE**  
 Bildung für nachhaltige Entwicklung  
 Education for Sustainable Development

Solardidactic – Solarzellen – Solarmodule – PV- Experimentiergeräte – PV –Experimentieranleitungen – Solarthermie- Experimentiergeräte  
 didaktische Konzepte – Solarberatung – Fortbildung – solare Aus- und Weiterbildung – Solarspielzeug  
 Solardidactics + solar cells + solar modules + photovoltaic experiment devices + solar toys + solar education and training

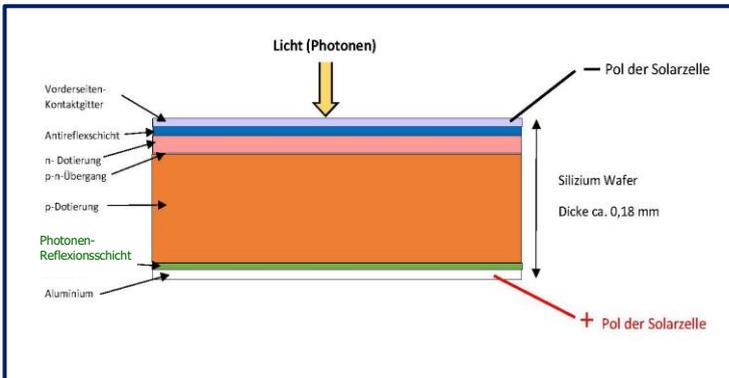
**SUNdidactics Solar Systems**

**W.R. Schanz, OStR aD, Hildesheim, Germany**

Phone: +49(0)5121 860730 Fax: +49(0)3222 3706689 Mail: info@sundidactics.de Mobile: +49(0)1757660607 Web: www.sundidactics.de



**Aufbau und Funktion einer Silizium- Solarzelle III**  
 ab Klassenstufe 9 Alter 13+ mit Halbleiterkenntnissen



Eine Solarzelle ist eine großflächige **Silizium-Halbleiterdiode**, die **n- dotierte Schicht** ist die **Oberseite der Solarzelle**, hier dringt das Licht ein, die blaue Farbe entsteht durch die **durchsichtige (!)** dünne Antireflexschicht. **Die n- dotierte Seite ist der Minuspol der Solarzelle!** Die dünnen Silberleiter des Vorderseiten- Kontaktgitters dienen als elektrische Leiter zur Abnahme des Stroms. Die **p- dotierte Schicht ist die Unterseite der Solarzelle**, an ihrem unteren Rand ist eine weitere Antireflexschicht und eine dünne Aluminiumschicht mit grauer Farbe. Aufgebrachte Silberleiter dienen zum Anlöten von Drähten. Hier ist der **Pluspol der Solarzelle**. **Der innere lichtelektrische Effekt der Ladungstrennung findet am p-n-Übergang statt.** Die Oberseite des Si- Wafers ist texturiert, um Lichtreflexionen zu vermindern.

**Schematischer Aufbau einer Standard- Silizium-Industrie- Solarzelle. Moderne Konzepte, z.B. eine PERC-Solarzelle, haben einen abweichenden, komplizierteren Aufbau.** Größe 6 Zoll, 156,75 mm x 156,75 mm



Das Foto zeigt die Vorderseite einer monokristallinen 6-Zoll-Solarzelle, die dunkelblaue Farbe ist die hauchdünne (75 nm!) Antireflexschicht aus Siliziumnitrid  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Die weißen Striche sind elektrische Leiter aus reinem Silber, die breiteren 3 Leiter sind die Busbars zur Abnahme des Stroms, hier werden Drähte angelötet. Die Dicke der Solarzelle ist ca. 0,18 mm, den inneren Aufbau aus vielen Schichten zeigt die Grafik oben links: Die Siliziumscheibe ist oben mit Phosphor n- dotiert, sonst p- dotiert mit Bor. Am p-n-Übergang entsteht ein inneres elektrisches Feld, hier werden die Ladungsträger, Elektronen und Löcher, getrennt. Tritt ein Lichtteilchen (Photon) von oben in die Solarzelle ein und trifft auf ein Si-Atom, schlägt es aus der Hülle ein Elektron heraus, welches wegen des inneren elektrischen Feldes nach oben zum Vorderseitenkontaktgitter wandert, das Loch dagegen wandert zur Aluminiumschicht an der Unterseite der Solarzelle. Eingedrungene Photonen, die kein Si- Atom getroffen haben, werden an der Rückseiten- Reflexionsschicht zurückgespiegelt.

**Die elektrische Spannung  $U_{oc}$  einer Solarzelle**

Eine Solarzelle liefert im Leerlauf (= Spannung ohne angeschlossenen Verbraucher) eine **typische Spannung von 0,60 – 0,68 V**. Der genaue Wert der **Leerlaufspannung** ist vom Material des Halbleiters, der Dotierung, der Temperatur und der Bestrahlungsstärke  $S$  abhängig, jedoch **unabhängig von der Fläche** der Solarzelle!

**2. Die elektrische Stromstärke  $I_{sc}$**

Die maximale elektrische Stromstärke  $I_{sc}$  (= Kurzschlussstrom), die eine Solarzelle liefern kann, hängt von 2 Faktoren ab:

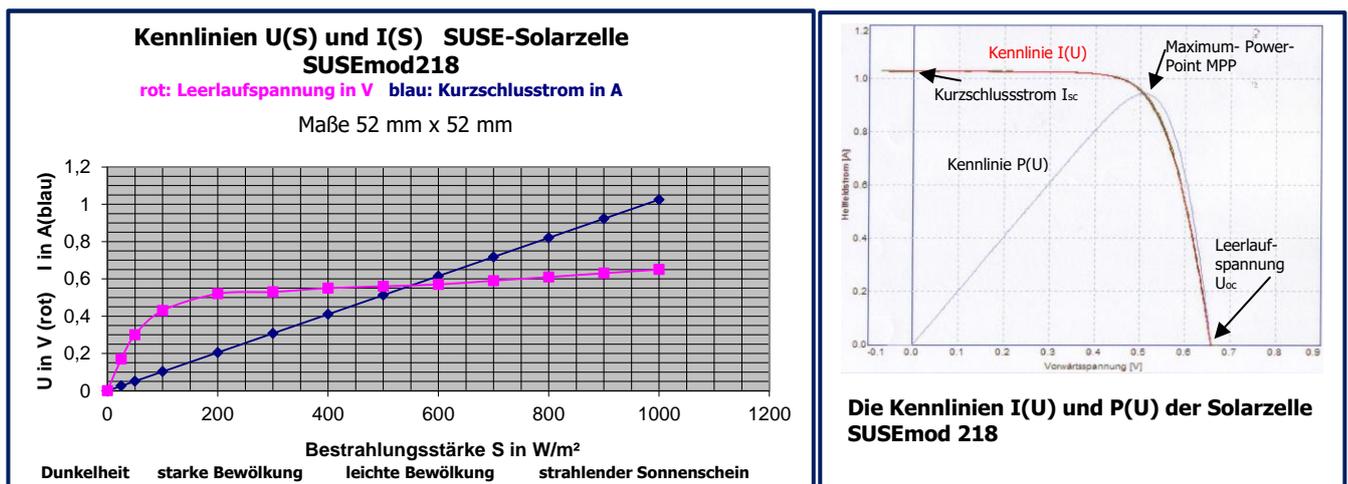
- **Fläche der Solarzelle:** Je höher die Fläche, desto höher ist  $I$  (direkt proportional)!
- **Intensität der auftreffenden Lichtstrahlung:** Je höher die Lichtintensität  $S$ , desto höher ist  $I_{sc}$  (direkt proportional)!
- **Qualität der Solarzelle** (sehr guter Solarzellen:  $I_{sc} = 38 - 42 \text{ mA/cm}^2$ !)

Die **Ursache des elektrischen Stroms** sind die pro Zeiteinheit in der Sperrschicht (p-n-Übergang) **durch einwirkende Lichtquanten entstandenen freien Elektronen**, die aufgrund eines inneren elektrischen Feldes auf die (n- dotierte) Oberseite der Solarzelle diffundieren und von dort über den äußeren Stromkreis auf die (p- dotierte) Unterseite gelangen. Dieser Prozess heißt „**innerer lichtelektrischer Effekt**“, **erklärt durch Einstein 1905**.

Wird der Solarzelle Strom entnommen, sinkt die Spannung  $U$ . Der genaue Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke wird in der  $U - I$ - Kennlinie einer Solarzelle (siehe Seite 2) dargestellt, in der Datei Niveaustufe III erklärt. Die **maximale Leistung** wird nur in einem bestimmten Punkt, d.h. bei einer ganz bestimmten Spannung und Stromstärke erreicht, dieser Punkt heißt **MPP = Maximum Power Point**, wichtig in der Praxis! Der **Wirkungsgrad einer Industrie- Solarzelle** liegt bei ca. **18 – 21 %**, d.h. nur 18– 21% des einfallenden Lichts wird in elektrische Energie umgewandelt. Die Ursachen sind physikalische Faktoren, die hier nicht näher erläutert werden können. Moderne Solarzellenkonzepte erreichen im Labor Wirkungsgrade bis zu 26% bei einer physikalischen Grenze bei Si- Solarzellen von ca. 28%.

Eine weitere Wirkungsgradsteigerung erreicht man mit Stapel- Solarzellen. Hier werden 2 Solarzellen übereinander hergestellt, die elektrisch in Reihe geschaltet sind und für verschiedenen Licht-Spektralbereiche empfindlich sind, die obere Zelle für das grün- violette Licht, die untere Zelle für gelbes, rotes und IR- Licht.

## Die Solarzellen- Kennlinien (Höheres Niveau, ab Kl. 10+)



### Die U(S)- Kennlinie

Die U(S)- Kennlinie zeigt die **Abhängigkeit der Solarzellenspannung (Leerlaufspannung  $U_{oc}$ ) von der Bestrahlungsstärke S des Lichts** (Lichtintensität). Bei Dunkelheit ist keine Spannung vorhanden, schon bei geringer Helligkeit steigt sie stark an und nähert sich dann nur noch langsam steigend dem Wert 0,63 V.

### Die I(S)- Kennlinie

Die I(S)- Kennlinie zeigt die **Abhängigkeit des Kurzschlussstroms  $I_{sc}$  von der Bestrahlungsstärke S** (Lichtintensität). Bei Dunkelheit ist kein Strom vorhanden, mit zunehmender Helligkeit steigt die Stromstärke proportional in Form einer Geraden an und erreicht bei 1000 W/m² den Maximalwert 1000 mA.

Die **I(U)- Kennlinie** zeigt den Zusammenhang zwischen dem Kurzschlussstrom und der Leerlaufspannung bei einer belasteten Solarzelle, die **Kurve P(U)** ist die Leistungskurve mit dem Punkt MPP der maximalen Leistung.

Nur mit einem Laser kann man die großen 6- Zoll- Solarzellen in kleinere Solarzellen zerteilen, die Solarzelle SUSEmod 218 der oberen Kennlinien ist der 9. Teil einer 6- Zoll- Solarzelle.