

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 Hildesheim, Germany**

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

# **Das Solarmodul SUSE CM6B**

## **leistungsstarkes Einsteiger- Solarmodul**

### **mit Messbuchsen (Polklemmen nur für die Sonnenfängerbox GS)**

Solarmodul SUSE CM6B



Auf dem dachförmig gebogenen Modulträger aus Plexiglas (Gesamtmaß 160 x 80 mm) erkennt man links die Solarzelle (bruchfest eingebettet in das Solarmodul SUSEmod218) mit den Maßen 52 x 52 mm (Solarzelle) und 75 x 75mm (Solarmodul).

Auf der rechten Seite befinden sich 2 Messbuchsen (Polklemmen nur bei der Version für die Sonnenfängerbox GS). Hier lassen sich Spannungen und Kurzschluss- Stromstärken messen oder weitere Geräte anfügen (Solarmotoren oder weitere Geräte SUSE CM6B in Reihenschaltung oder Lastmodul SUSE 4.55-1).

Für die Reihenschaltung lassen sich bei der Version Sonnenfängerbox GS auch Metall- Heftstreifen verwenden, wie das nebenstehende Foto zeigt.

Hier sind 2 Module SUSE CM6B in Reihe geschaltet, das angeschlossene Voltmeter zeigt im Sonnenlicht die Summenspannung 1,20 V.



**Oben:** Das Solarmodul SUSE CM6B, links die Solarzelle SUSEmod218  
**Unten:** 2 Geräte CM6B in Reihenschaltung mit Metallverbinder

Das Modul eignet sich gut für Photovoltaikexperimente in den Klassenstufen 3 -12. Bei NILS- ISFH wurden hierfür Experimente und Anleitungen entwickelt, sowohl für die Grundschule wie auch für die Sekundarstufe I / II.

Es können an den Messbuchsen die Leerlaufspannung  $U_{oc}$  (im Messbereich 20V DC) und der Kurzschlussstrom  $I_{sc}$  (im Messbereich 10A DC) gemessen werden.

Mehrere Module SUSE CM6MB lassen sich mit Kabeln oder Metallverbinden in Reihe schalten.

Der **Kurzschlussstrom** ist ein direktes Maß für die Lichtintensität und proportional zur Bestrahlungsstärke  $S$ , er beträgt bei strahlendem Sonnenschein ( $S= 1000 \text{ W/m}^2$ ) **1025 mA**, die **Leerlaufspannung** beträgt **0,65V**.

Auf den Folgeseiten sind die ausführlichen technischen Daten des verwendeten Solarmoduls SUSEmod218.



## SUSEmod218- ein leistungsstarkes, hocheffizientes robustes Solarmodul



### Das Solarmodul SUSEmod218

Im Innern erkennt man die mit Epoxidharz- Resin beschichtete monokristalline Si- Solarzelle, links ein quadratisches Element, rechts ein Eckstück mit abgeschrägter Ecke, charakteristisch für Monokristalline Solarzellen.

Modulmaße: 75 x 75 mm

Das neu konzipierte **Sundidactics Solarmodul SUSEmod218** ist die Weiterentwicklung des bisher verwendeten Moduls SUSEmod215. Das Solarmodul **SUSEmod218** enthält eine monokristalline Hochleistungssolarzelle der Abmessungen 52mm x 52mm x 0,18mm. Die Solarzelle ist bruchsicher eingebettet in ein Kunststoffplättchen der Größe 75 x 75 mm. Die Oberseite über der Solarzelle ist hochtransparent und mit Kunststoff vergossen Material: Epoxid/Resin. Auf der Rückseite sind 2 Lötkontakte zum Anlöten der Plus- und Minusleiter (Schalt draht). Das Solarmodul kann rückseitig mit doppelseitigem Klebeband oder mit Klebstoff auf glatte Oberflächen aufgeklebt werden.

**Modul:** Kunststoffträger quadratisch 75 x 75 x 2,6 mm mit hochtransparenter Oberfläche, sehr robust.

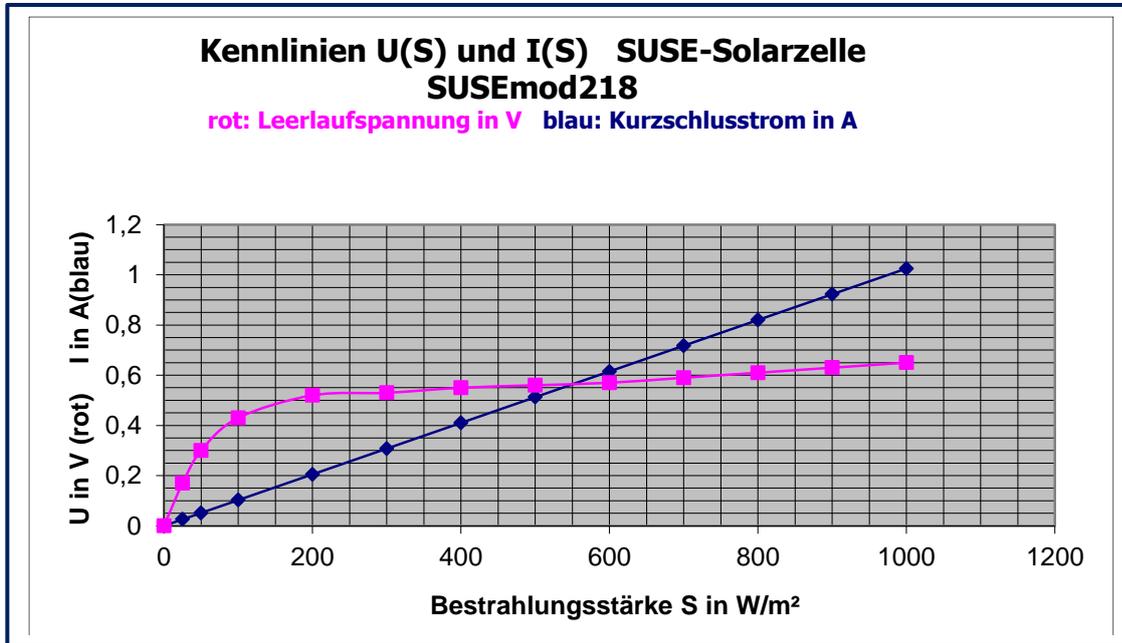
**Solarzelle:** Monokristalline Solarzelle 52 x 52 mm, quadratisch, Oberseite blau-schwarz durch SiN- Antireflexschicht, Oberfläche ist matt durch saure Texturierung.

### Technische Daten bei einer Einstrahlung von 1000 W/m<sup>2</sup>, T = 25°C, AM = 1,5 Toleranz 2 %

Physikalische Größe	Symbol	Zahlenwert	Physikalische Einheit	Bemerkungen
Maße der Solarzelle	s	52 x 52 x 0,18	mm	Quadratische Zelle, 1/9 6-Zoll-Zelle
Fläche	A	27,04	cm <sup>2</sup>	1/9 einer 6 Zoll Solarzelle
Leerlaufspannung	U <sub>oc</sub>	0,656	V	Typisch für Silizium
Kurzschlussstrom	I <sub>sc</sub>	1,025	A	Proportional zur Lichtintensität S
Spannung im MPP	U <sub>MPP</sub>	0,507	V	Spannung im (MPP) <small>Maximum Power Point</small>
Kurzschlussstrom im MPP	I <sub>MPP</sub>	0,942	A	Kurzschlussstromstärke im MPP
Elektrische Leistung	P	0,477	W	Bei S = 1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1,5, 25°C
Wirkungsgrad	η	19,1	%	Qualitätsmerkmal
Füllfaktor	FF	71	%	FF ist ein Qualitätsmerkmal
Stromdichte	j	38,15	mA/cm <sup>2</sup>	j ist ein Qualitätsmerkmal
Temperaturverhalten der Leerlaufspannung U <sub>oc</sub>	ΔU <sub>oc</sub>	- 0,36	% /K	Die Spannung mindert sich bei Erwärmung um 0,36% pro 1K
Temperaturverhalten des Kurzschlussstroms I <sub>sc</sub>	ΔI <sub>sc</sub>	+ 0,06	% /K	Der Kurzschlussstrom vergrößert sich um 0,06 % pro 1K
Serieller Widerstand	R <sub>ser</sub>	0,097	Ω	Serieller Widerstand der Solarzelle Widerstand des Si und der Leiter
Shuntwiderstand	R <sub>shunt</sub>	64,82	Ω	Parallelwiderstand der Solarzelle durch interne Kurzschlüsse im Si

## Die Kennlinien der Solarzelle im Modul SUSEmod218

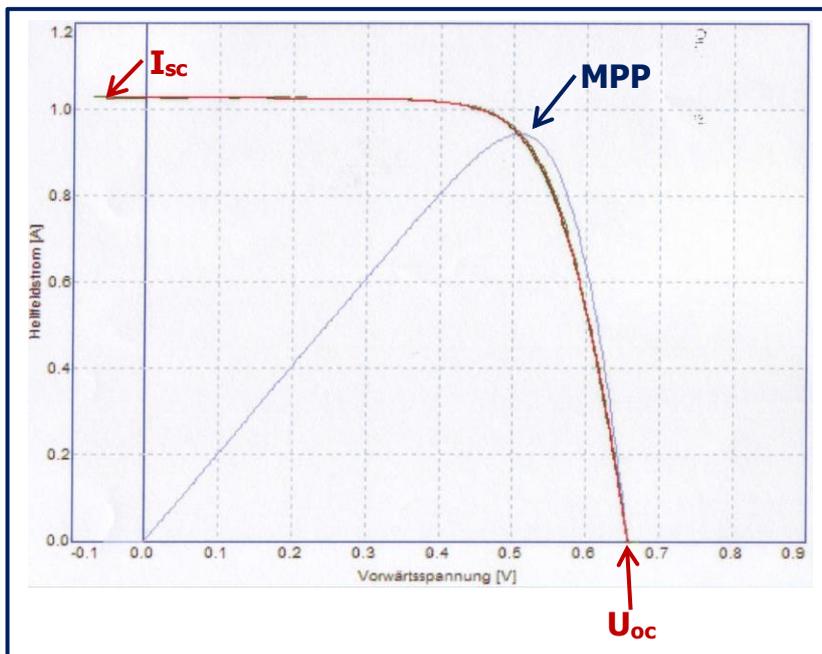
1. **Abhängigkeit von Leerlaufspannung  $U_{oc}$  und Kurzschlussstrom  $I_{sc}$  von der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke  $S$  in  $W/m^2$ )**



Die **Leerlaufspannung  $U_{oc}$**  (e- Funktion!) ist 0 bei totaler Dunkelheit, erhöht sich stark bei niedrigen Bestrahlungsstärken und wächst dann nur noch langsam bis zum Maximalwert 0,65 V bei 1000  $W/m^2$  (strahlender Sonnenschein bei blauem Himmel, Solarzelle zur Sonne hin ausgerichtet).

Der **Kurzschlussstrom  $I_{sc}$**  ist eine Ursprungsgerade und wächst linear von 0 bei totaler Dunkelheit auf 1,025 A bei 1000  $W/m^2$ .

2. **Die  $I(U)$  und die  $P(U)$  - Kennlinien der Solarzelle SUSEmod218** bei  $S = 1000 W/m^2$ ,  $T = 25^\circ C$ , AM 1,5  
 aufgenommen im Kennlinienlabor des ISFH

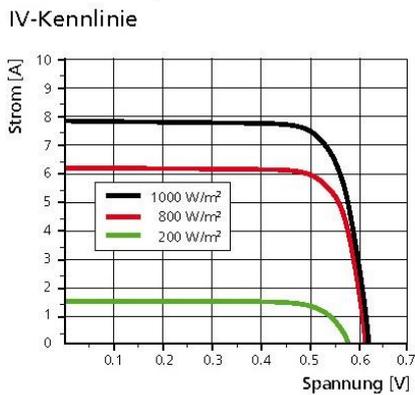


Die  **$I-U$ -Kennlinie** zeigt die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung bei Belastung der Solarzelle mit einem variablen Lastwiderstand, bei einer Bestrahlungsstärke von 1000  $W/m^2$  und einer Temperatur von 25°C. Der **Schnittpunkt mit der x- Achse (U- Achse)** ist die Leerlaufspannung  $U_{oc}$ , der **Schnittpunkt mit der y- Achse (I- Achse)** ist der Kurzschlussstrom  $I_{sc}$ .

Die  **$P-U$ -Kennlinie** ist die Leistungskurve, ihr Maximum ist der **Maximum- Power- Point**

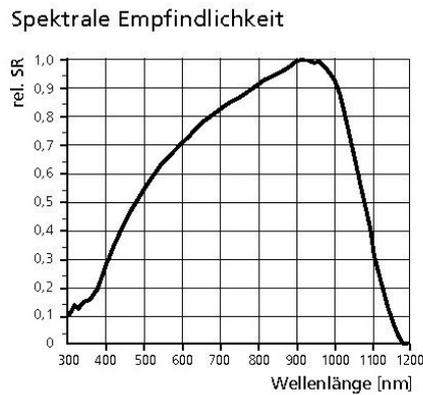
**3. Weitere Daten** (für die ganze Solarzelle 156 x 156 mm!), für die Solarzelle 52x 52mm im Modul SUSEmod218 muss die Stromstärke bei 3.1 und 3.3 durch 9 geteilt werden!

**3.1 Intensitätsabhängigkeit**



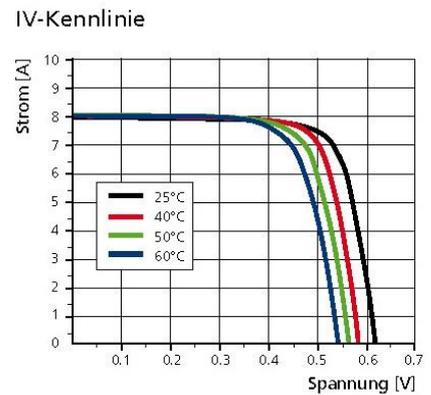
IV-Verhalten für unterschiedliche Bestrahlungsstärken.

**3.2 Spektrale Empfindlichkeit**



Kennlinie der spektralen Empfindlichkeit.

**3.3 Temperaturabhängigkeit**



IV-Verhalten für unterschiedliche Temperaturen.

Der **linke Graph 3.1** zeigt die **Intensitätsabhängigkeit** der **I(U)- Kennlinien** in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke S des eingestrahlt Lichts. (1000 W/m<sup>2</sup> entspricht dem strahlenden Sonnenschein im Sommer bei blauem, wolkenlosen Himmel, 0 W/m<sup>2</sup> ist absolute Dunkelheit).

Der **mittlere Graph 3.2** zeigt die **spektrale Empfindlichkeit** in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichts, die maximale Empfindlichkeit liegt bei ca. 950 nm im nahen Infrarot. Die Ursache ist der Bandabstand von Silizium bei ca. 1,1 eV, der dazu führt, dass Lichtquanten im Bereich 950 nm die genau passende Quantenenergie haben und optimal für den inneren lichtelektrischen Effekt geeignet sind. Für Licht kürzerer Wellenlänge ist die Quantenenergie zu hoch, der nicht nutzbare überschüssige Teil der Quantenenergie wird über kinetische Energie der freigesetzten Elektronen als thermische Energie in das Kristallgitter abgegeben, was zu Verlusten führt.

Daraus ergibt sich, dass für Experimente mit Si – Solarzellen Glühlampen- oder Halogenlampenlicht besonders gut geeignet ist, da sie hohe Anteile IR- Licht haben. Weißes LED- Licht ist weniger geeignet, da es kaum rotes bzw. IR- Licht enthält.

Der **rechte Graph 3.3** zeigt die **I(U)- Kennlinie** in **Abhängigkeit von der Temperatur**, man erkennt, dass die Leerlaufspannung sinkt, wenn die Temperatur steigt, der Kurzschlussstrom steigt nur sehr gering bei Temperaturerhöhung (j ist die Stromdichte = Kurzschlussstrom in mA pro cm<sup>2</sup> Zellenfläche). Das bedeutet auch, dass die elektrische Leistung P der Solarzelle bei Temperaturerhöhung sinkt.

**Die Leerlaufspannung U<sub>oc</sub> einer Solarzelle:** 
$$U_{oc} = \frac{kT}{e} * \ln \left( 1 + \frac{I_{sc}}{I_s} \right)$$

**Kurzschlussstrom einer Solarzelle:** 
$$I_{sc} = c * S \quad c = \text{const.}$$

c ist abhängig von der Fläche und der Qualität der Solarzelle und kann experimentell Bestimmt werden.

U<sub>oc</sub>= Leerlaufspannung in V  
 k = Boltzmann- Konstante in J/K  
 T = absolute Temperatur in K  
 e = elektrische Elementarladung in As  
 I<sub>sc</sub>= Kurzschlussstrom in A  
 I<sub>s</sub> = Sättigungsstrom in Sperrichtung (Dunkelstrom) in A  
 S = Bestrahlungsstärke S in W/m<sup>2</sup>