



**SUNdidactics Solar Systems**

www.sundidactics.de info@sundidactics.de  
+49(0)1757660607



**NILS Niedersächsische Lernwerkstatt**

**für solare Energiesysteme**

am Institut für Solarenergieforschung ISFH

An- Institut der Leibniz Universität Hannover

www.nils-isfh.de nils@isfh.de +49(0)5151 999 100

**BNE**

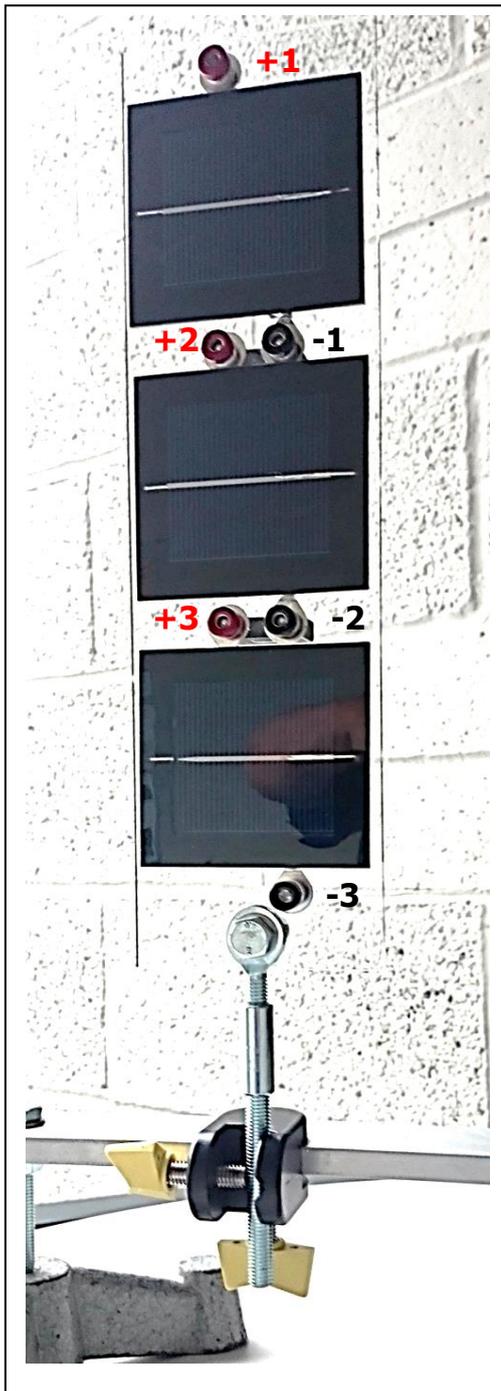
Bildung  
für  
nachhaltige  
Entwicklung

# Das Solarmodul **SUSE 5.33**



**Solarmodul  $U_{oc} = 1,95\text{ V}$   $I_{sc} = 1025\text{ mA}$   $P = 1,95\text{ W}$  bei  $S = 1000\text{ W/m}^2$ ,  $T = 25^\circ\text{C}$ , AM 1,5 mit 3 Solarzellen in steckbarer Reihenschaltung, Verbindungsstecker mit Messbuchse zum Einsatz auf optischer Bank oder auf Stativsystemen**

**Besonders geeignet für den schülerzentrierten experimentellen Unterrichtseinsatz in den Klassenstufen 10 -13**



Das nebenstehende Foto zeigt das Solarmodul **SUSE 5.33** auf einem transparenten Plexiglasträger 330 x 80 x 4 mm

Eine Stativstange mit M8- Gewinde ermöglicht den Aufbau auf der optischen Bank **SUSE 5.0** sowie auf jeder schulüblichen optischen Bank oder auf Schulüblichen Stativsystemen.

Die 3 Solarzellen SUSEmod218 haben jeweils ein eigenes rot-schwarzes Buchsenpaar, schwarz = minus, rot = plus. Die rote Buchse oberhalb der Solarzelle ist ihr Pluspol, die schwarze Buchse unterhalb der Solarzelle ist ihr Minuspol (im Foto markiert).

Durch zwei rückwärtig gesteckte 19 mm- Verbindungsstecker mit integrierter Messbuchse, die auf dem Foto gut zu erkennen sind, sind die 3 Solarzellen im Normalfall in Reihe geschaltet, bei einer Bestrahlungsstärke des Sonnenlichts von  $1000\text{ W/m}^2$  (strahlender Sonnenschein) und AM 1,5 hat jede Zelle eine Leerlaufspannung  $U_{oc} = 0,65\text{ V}$  und einen Kurzschlussstrom  $I_{sc} = 1025\text{ mA}$ , die Reihenschaltung hat eine Gesamtspannung von  $1,95\text{ V}$  und einen Kurzschlussstrom von  $1025\text{ mA}$  und eine maximale Leistung  $P = 1,95\text{ W}$  bei einer Einstrahlung von  $1000\text{ W/m}^2$ , einer Temperatur von  $25^\circ\text{C}$  und AM1,5.

Es lassen sich Experimente zur Reihen- und Parallelschaltung von Solarzellen durchführen, für Experimente mit den 3 Einzel- Zellen oder für Parallelschaltungen lassen sich die Stecker leicht trennen.

Mit diesem Solarmodul lassen sich auch elektrische Geräte für  $1,5\text{ V}$  Spannung betreiben.

Es lassen sich auch mehrere Module **SUSE 5.33** in Reihe schalten, dabei erhöht sich Spannung mit jedem zusätzlichen Modul um  $1,95\text{ V}$  bei gleichbleibender Kurzschlussstromstärke.

Experimente:

**Experimente mit einer Solarzelle:** Verbindungsstecker ziehen, Pluspol (rot) über und Minuspol (schwarz) unter Solarzelle.

**Experimente mit 2-3 Solarzellen:** Pluspol (rot) ganz oben, Minuspol (schwarz) ganz unten, Zwischenmessungen an Buchsen in Verbindungssteckern.

**Parallelschaltungen:** Pluspole der Solarzellen mit Laborkabeln verbinden, ebenfalls Minuspole mit Laborkabeln verbinden.

**Die Experiment- Anleitungen für das Solarmodul SUSE 4.33 gelten auch für das Solarmodul SUSE 5.33**



## 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.

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 0,19mm. 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 (Schaltdraht). 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. Dicke der Zelle 190 µm

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

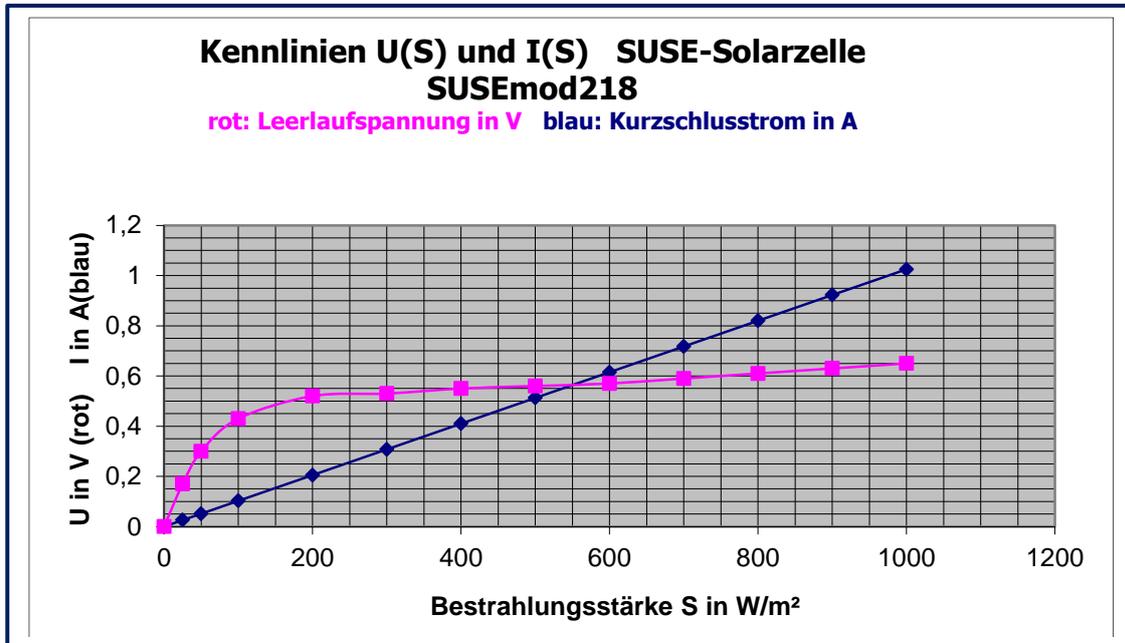
Toleranz 2 %

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>	- 0,34	% /K	Die Spannung mindert sich bei Erwärmung um 0,34% pro 1K
Temperaturverhalten des Kurzschlussstroms I <sub>sc</sub>	ΔI <sub>sc</sub>	+ 0,03	% /K	Der Kurzschlussstrom vergrößert sich um 0,03 % pro 1K
Temperaturverhalten der Leistung	ΔP <sub>max</sub>	+ 0,43	% /K	Der Leistung verringert sich um -0,43 % pro 1K
Serieller Widerstand	R <sub>ser</sub>	0,097	Ω	Serieller Widerstand der Solarzelle
Shuntwiderstand	R <sub>shunt</sub>	64,82	Ω	Parallelwiderstand der Solarzelle durch interne Kurzschlüsse im Si



## Die Kennlinien der Solarzelle im Modul SUSEmod218

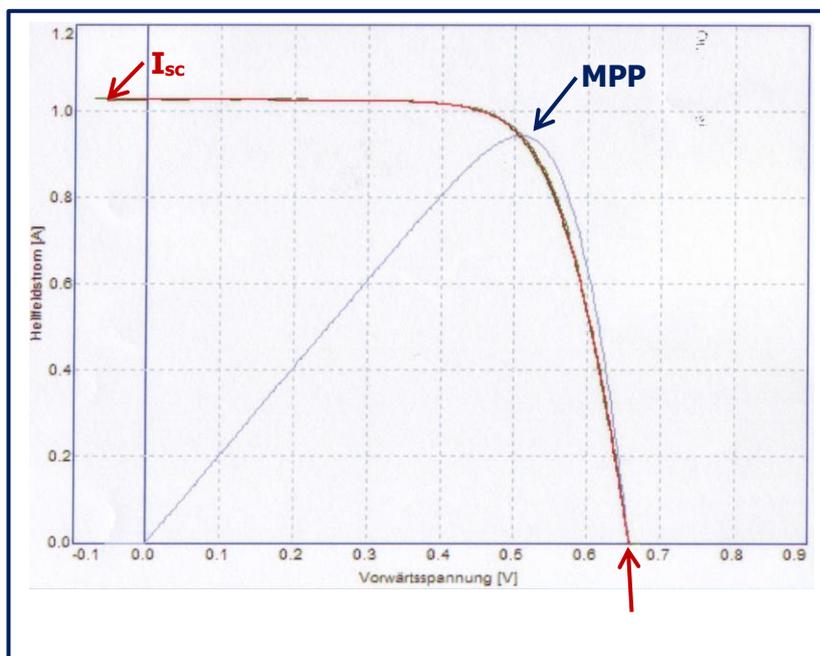
### 1. Abhängigkeit von Leerlaufspannung $U_{oc}$ und Kurzschlussstrom $I_{sc}$ von der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke $S$ in $W/m^2$ )



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  $W/m^2$ .

**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 MPP** der Solarzelle

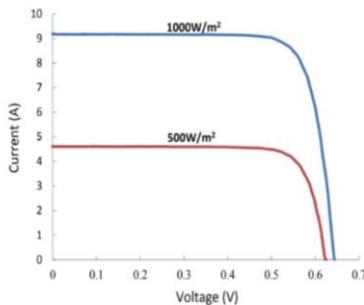
Das ist Punkt der maximalen Leistungsabgabe der Solarzelle.



**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**

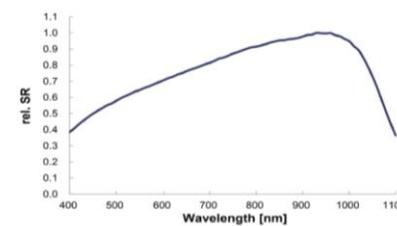
IV Curve



stärken.

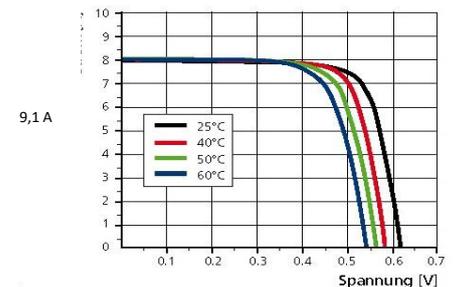
**3.2 Spektrale Empfindlichkeit**

Spectral Response (SR)



**3.3 Temperaturabhängigkeit**

I-U-Kennlinie



IV-Verhalten für unterschiedliche Temperaturen.

Der **linke Graph 3.1** zeigt die **Intensitätsabhängigkeit** der **I(U)- Kennlinien** in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke S des eingestrahelten 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  $U_{oc}$  einer Solarzelle:** 
$$U_{oc} = \frac{kT}{e} \cdot \ln \left( 1 + \frac{I_{sc}}{I_s} \right)$$

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

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

$U_{oc}$ = Leerlaufspannung in V
k = Boltzmann- Konstante in J/K
T = absolute Temperatur in K
e = elektrische Elementarladung in As