

**Photovoltaik-  
System  
SUSE**

**Solarthermiesystem  
Wärme von der Sonne**

**innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung**



**BNE**  
Bildung für  
Nachhaltige  
Entwicklung

# Das Solarmodul SUSE 5.1

**Universelles und leistungstarkes Solarmodul mit Messbuchsen**

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



Das Multimeter zeigt Outdoor im Sonnenschein eine Leerlaufspannung von 0,64 V.

Das **Solarmodul SUSE 5.1** enthält eine hochwertige Solarzelle SUSEmod218 mit  $U_{oc} = 0,656 \text{ V}$  und  $I_{sc} = 1,025 \text{ A}$ , gekapselt und laminiert, sowie zwei 4mm- Messbuchsen rot/schwarz zur Messung von Spannung oder Stromstärke.

Das robuste Gerät auf einem transparenten Plexiglasträger mit 8mm- Stativstange, zum Aufbau auf Schulüblicher optischer Bank oder auf Stativsystemen. Es ist ideal geeignet für den Unterricht und für Projekte an Schulen von Klassenstufe 10 - 13.

Das Modul kann mit schulüblichen Muffen auf der optischen Bank SUSE 5.0alu oder auf jeder schulüblichen optischen Bank befestigt werden.

Mit der umfangreichen Experimentieranleitung lassen sich zahlreiche Experimente zur Photovoltaik und Solarstrahlung durchführen, die Experimente sind analog zu den Experimenten von SUSE CM6MS, lediglich die Bauform des Modulträgers ist unterschiedlich.

Zur Messung der Leerlaufspannung wird ein Multimeter im Messbereich 20V DC verwendet, zur Messung des Kurzschlussstroms der Messbereich 10A DC.

Mit dem Solar- Lastmodul SUSE 4.55-1 kann die I-U-Kennlinie und die P-U-Kennlinie aufgenommen werden, sinnvoll wäre die Aufnahme mit einem PC-Interface z.B.

CassyLab oder Vernier.

Um eine Verschattung der Solarzelle durch Laborkabel zu vermeiden, sollen die Kabel von der Rückseite gesteckt werden!

**Experimente:** Mit SUSE 5.1 können die Experimente des Solarmoduls SUSE CM6MS (außer Versuche mit Solarmotoren) durchgeführt werden, CM6MS enthält eine identische Solarzelle! Weiterhin kann das SEKII- Experiment zur exponentiellen Schwächung mit SUSE 5.1 durchgeführt werden.



**Oben:** QR Experimente mit SUSE CM6MS  
**Unten:** QR Experiment zur exponentiellen Schwächung



## Die technischen Daten der Solarzelle:

### 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  
Solarzellenmaße: 52 x 52 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.

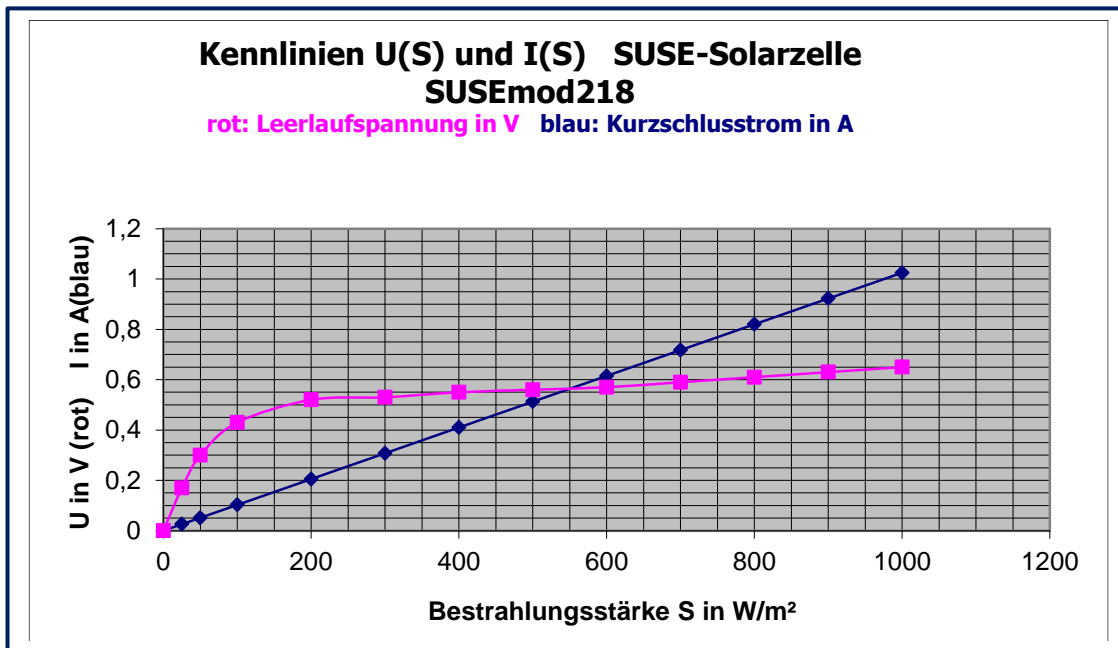
**Solarzelle:** Monokristalline Solarzelle 52 x 52 mm, quadratisch, Oberseite blau-schwarz durch SiN-Antireflexschicht, Oberfläche ist matt durch saure Texturierung.

#### 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

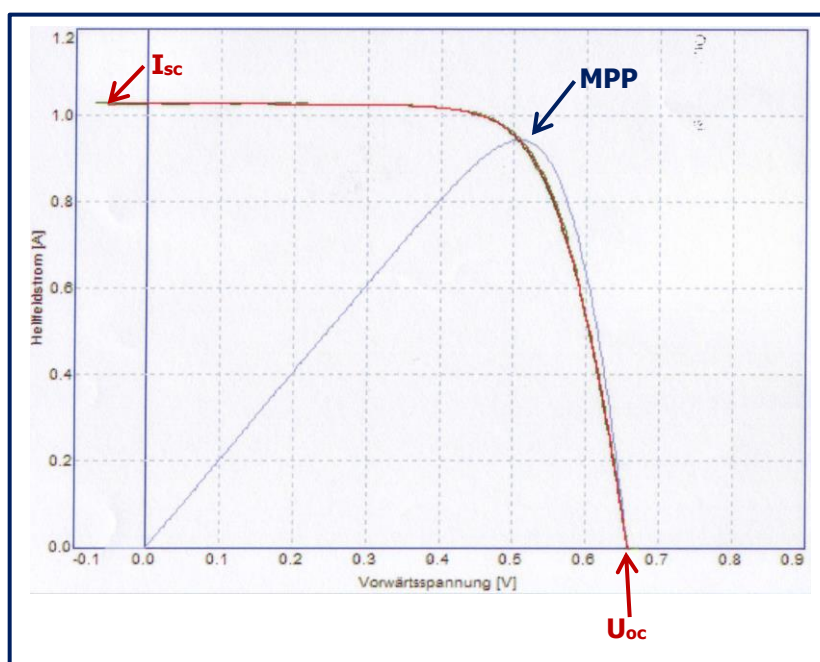
### 1. Abhängigkeit von Leerlaufspannung $U_{oc}$ und Kurzschlussstrom $I_{sc}$ von der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke $S$ in $W/m^2$ )



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



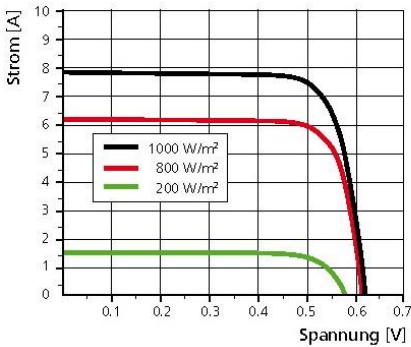
Die **I-U-Kennlinie** zeigt die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung bei Belastung der Solarzelle mit einem variablen Lastwiderstand, bei einer Bestrahlungsstärke von 1000  $W/m^2$  und einer Temperatur von 25°C. Der **Schnittpunkt** mit der x- Achse (U- Achse) ist die Leerlaufspannung  $U_{oc}$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

Mit dem **Photovoltaik- Messmodul SUSE 5.15** können diese Kurven experimentell aufgenommen werden.

**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**

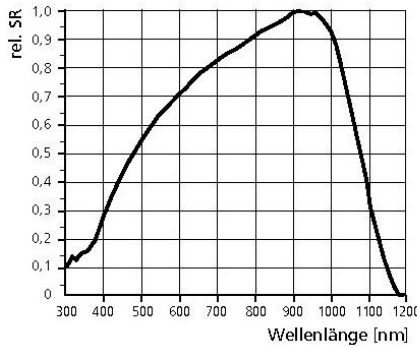
IV-Kennlinie



IV-Verhalten für unterschiedliche Bestrahlungsstärken.

**3.2 Spektrale Empfindlichkeit**

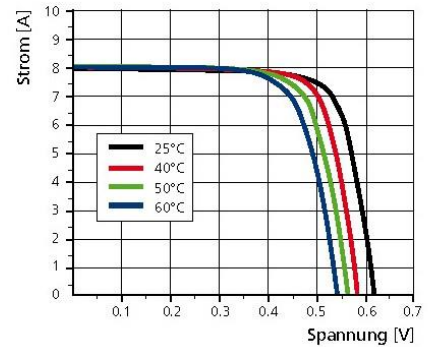
Spektrale Empfindlichkeit



Kennlinie der spektralen Empfindlichkeit.

**3.3 Temperaturabhängigkeit**

IV-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 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 oder durch die Solarzellendaten des Herstellers 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 Sperrrichtung (Dunkelstrom) in A  
 S = Bestrahlungsstärke S in W/m<sup>2</sup>