



**Photovoltaik-
System
SUSE**

**Solarthermiesystem
Wärme von der Sonne**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung



Das Solarmodul SUSE CM4MSB

leistungsstarkes Einsteiger- Solarmodul 656 mV / 1020 mA

Besonders geeignet für den schülerzentrierten experimentellen Unterrichtseinsatz in den Klassenstufen 4-9
Gerätebeschreibung und Bedienungsanleitung



Blick von oben auf das Solarmodul SUSE CM4MSB

Auf der Hinterseite des dachförmig gebogenen Plexiglasträgers erkennt man das Solarmodul mit der Solarzelle. Vorne unter dem blauen Propeller befindet sich der Solarmotor, darunter das Typschild, der Schalter und die Messbuchsen.

Auf dem dachförmig gebogenen Modulträger aus Plexiglas (Gesamtmaß 310mm x 80mm) erkennt man vorne den Solar- Elektromotor mit dem blauen Propeller, darunter die Messbuchsen und den Schalter für den Solarmotor. Auf der anderen „Dachseite“ des Plexiglasträgers ist das hochwertige Solarmodul mit einer Spannung von 0,62V, einem Kurzschlussstrom von 980mA und einer elektrischen Leistung von 432 mW aufgeklebt. (Alle Daten bei einer Bestrahlungsstärke S des Sonnenlichts von 1000 W/m^2)

Der Elektromotor und das Solarmodul sind über einen Schalter elektrisch verbunden, der Motor kann aus- oder eingeschaltet werden, die Variante CM4MSB² hat noch zusätzlich eine Messbuchse für den Solarmotor.

Das Modul eignet sich gut für Photovoltaikexperimente in den Klassenstufen 4-9 in der Sekundarstufe I.

Es lassen sich in Schülerexperimenten grundlegende Experimente zur Photovoltaik und zur Solarzelle und Solarmodul durchführen. Das Solarmodul ist sehr empfindlich und funktioniert auch bei bedecktem Himmel sehr gut. Wenn der Solarmotor ausgeschaltet wird, können Experimente mit den Solarzellen unabhängig vom Motor durchgeführt werden, Multimeter können an die Messbuchsen angeschlossen

Es können auch mehrere Geräte SUSE CM4MSB in Reihe geschaltet werden. Mit 6 Geräten in Reihenschaltung kann man z.B. bei Tageslicht ein 3V- Radio betreiben (z.B. SUSE- Solarradio 4.36) oder LEDs aller Farben (SUSE 4.15) oder SUSE 4.20IRRB.

Das hier verwendete Solarmodul SUSEmod215 liefert bei einer Solar- Einstrahlung von $S = 1000 \text{ W/m}^2$ (strahlender Sonnenschein bei tiefblauem Sommerhimmel), 25°C und AM 1,5 eine Leerlaufspannung von 0,64V und einen Kurzschlussstrom von 1020 mA.

Die Bedienungsanleitung:

Bei eingeschaltetem Solarmotor (Schalter zur roten Buchse hin geschaltet) dreht sich der Propeller im Freien bei Sonnenschein (Bestrahlungsstärke S ca. $600 - 1000\text{W/m}^2$) und bei bedecktem Himmel, die Solarzelle liefert genügend elektrische Energie für den Elektromotor auch bei stark bedecktem Himmel (S ca. $50 - 100\text{W/m}^2$)

Für Experimente im Innenraum muss die Solarzelle von einer Lichtquelle bestrahlt werden, z.B. Halogenstrahler oder Overheadprojektor, da die normale Raumbelichtung nicht ausreicht (Die Bestrahlungsstärke bei normaler Raumbelichtung liegt unter 10W/m^2 !)

Licht aus LED- Lampen funktioniert nicht für diese Experimente, weil dieses Licht eine falsche Wellenlängenzusammensetzung hat!

Für **Messungen der Spannung** wird ein Multimeter im Messbereich 20V DC mit schulüblichen Laborkabeln an das rot- schwarze Buchsenpaar angeschlossen, für **Messungen des Kurzschlussstroms** wird der Messbereich 10A DC verwendet, im Innenraum (ohne zusätzliche Bestrahlung) auch die Messbereiche 200 mA oder 20 mA.

Experimente:

Für die Experimente in der Grundschule und in der Sekundarstufe 1 gelten hier auch die **Anleitungen für das Solarmodul SUSE CM6MS**, welches technisch identisch ist, aber in kleinerer Bauform konstruiert ist.

Die SEKI- Experimentanleitungen können bei SUNdidactics angefordert werden, die GS- Experimente befinden sich in den Anleitungen zur Sonnenfängerbox GS, die gerne auf Wunsch per email zugesandt werden.

Auf den Folgeseiten finden Sie die technischen Daten für das verwendete hochwertige Solarmodul SUSEmod218.



**Photovoltaik-
System
SUSE**

**Solarthermiesystem
Wärme von der Sonne**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung



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.

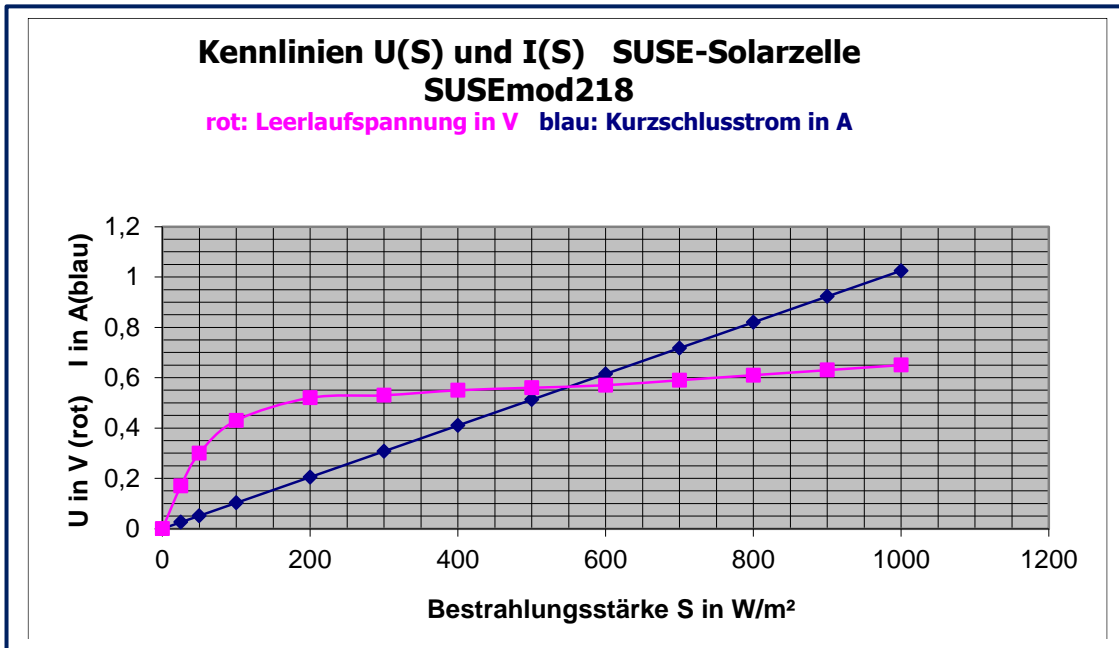
Solarzelle: Monokristalline Solarzelle 52 x 52 mm, quadratisch, Oberseite blau-schwarz durch SiN-Antireflexschicht, Oberfläche ist matt durch saure Texturierung.

Technische Daten bei einer Einstrahlung von 1000 W/m², 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 ²	1/9 einer 6 Zoll Solarzelle
Leerlaufspannung	U _{oc}	0,656	V	Typisch für Silizium
Kurzschlussstrom	I _{sc}	1,025	A	Proportional zur Lichtintensität S
Spannung im MPP	U _{MPP}	0,507	V	Spannung im (MPP) Maximum Power Point
Kurzschlussstrom im MPP	I _{MPP}	0,942	A	Kurzschlussstromstärke im MPP
Elektrische Leistung	P	0,477	W	Bei S = 1000 W/m ² , AM 1,5, 25°C
Wirkungsgrad	η	19,1	%	Qualitätsmerkmal
Füllfaktor	FF	71	%	FF ist ein Qualitätsmerkmal
Stromdichte	j	38,15	mA/cm ²	j ist ein Qualitätsmerkmal
Temperaturverhalten der Leerlaufspannung U _{oc}	ΔU _{oc}	- 0,36	% /K	Die Spannung mindert sich bei Erwärmung um 0,36% pro 1K
Temperaturverhalten des Kurzschlussstroms I _{sc}	ΔI _{sc}	+ 0,06	% /K	Der Kurzschlussstrom vergrößert sich um 0,06 % pro 1K
Serieller Widerstand	R _{ser}	0,097	Ω	Serieller Widerstand der Solarzelle Widerstand des Si und der Leiter
Shuntwiderstand	R _{shunt}	64,82	Ω	Parallelwiderstand der Solarzelle durch interne Kurzschlüsse im Si

Die Kennlinien der Solarzelle im Modul SUSEmod218

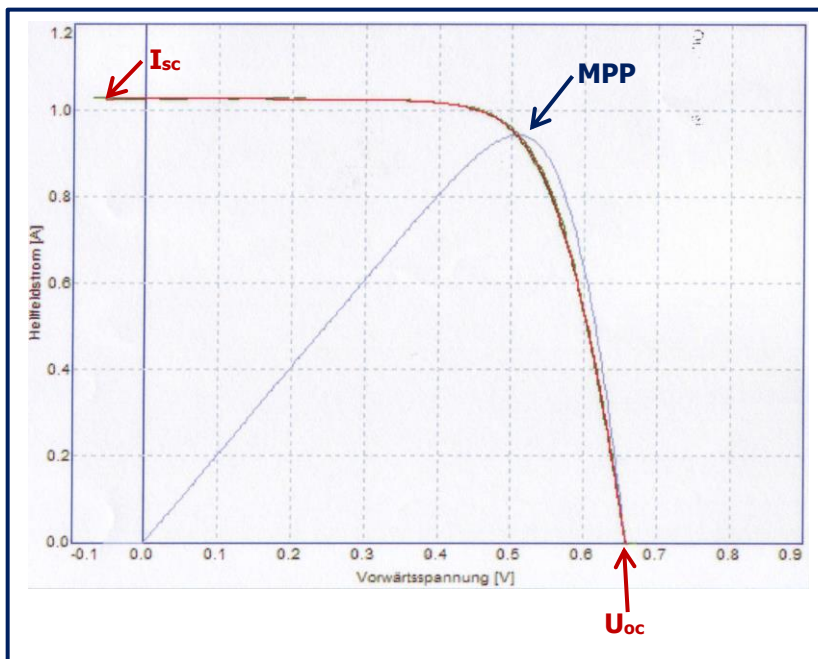
1. Abhängigkeit von Leerlaufspannung U_{oc} und Kurzschlussstrom I_{sc} von der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke S in W/m^2)



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



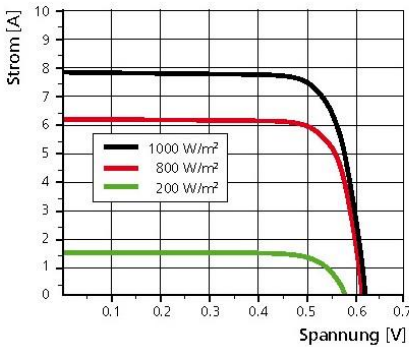
Die **I-U-Kennlinie** zeigt die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung bei Belastung der Solarzelle mit einem variablen Lastwiderstand, bei einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m^2 und einer Temperatur von 25°C. Der Schnittpunkt mit der x- Achse (U- Achse) ist die Leerlaufspannung U_{oc} , der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

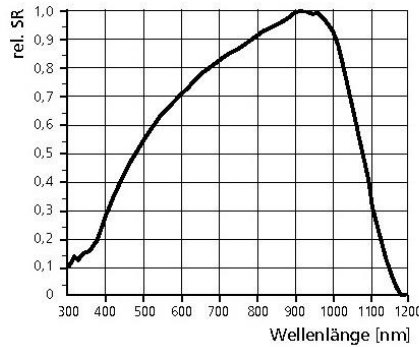
IV-Kennlinie



IV-Verhalten für unterschiedliche Bestrahlungsstärken.

3.2 Spektrale Empfindlichkeit

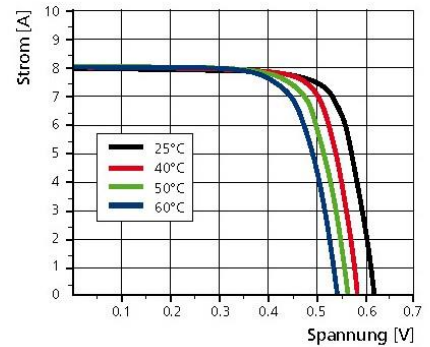
Spektrale Empfindlichkeit



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/m² entspricht dem strahlenden Sonnenschein im Sommer bei blauem, wolkenlosen Himmel, 0 W/m² 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 cm² Zellenfläche). Das bedeutet auch, dass die elektrische Leistung P der Solarzelle bei Temperaturerhöhung sinkt.

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

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_{oc}= Leerlaufspannung in V
 k = Boltzmann- Konstante in J/K
 T = absolute Temperatur in K
 e = elektrische Elementarladung in As
 I_{sc}= Kurzschlussstrom in A
 I_s = Sättigungsstrom in Sperrichtung (Dunkelstrom) in A
 S = Bestrahlungsstärke S in W/m²