



**Photovoltaik-  
System  
SUSE**

**Solarthermiesystem  
Wärme von der Sonne**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung



# Experimente mit dem Solarmodul SUSE CM6MS

Spannungs- Stromstärke- und Bestrahlungsstärkemessungen mit dem Solarmodul SUSE CM6MS unter Verwendung der Solarzellenkennlinien

**Notwendige Geräte:**

Solarmodul CM6MS, Grundgerät SUSE 4.0, Overheadprojektor, Multimeter, 2 Laborkabel rot/schwarz, 1 Taschenrechner oder Taschenrechner im Smartphone

Lernstation  
**G21**  
SEK II

## 1. Grundlagen und Ziele des Experiments:

Die Leerlaufspannung  $U_{oc}$  (Spannung an der Solarzelle ohne Stromabgabe) und der Kurzschlussstrom (Strom fließt im Kurzschluss direkt über ein Amperemeter) sind von der Lichtintensität = Bestrahlungsstärke  $S$  abhängig. Wie die Kennlinien der Solarzelle zeigen, ist die Leerlaufspannung als e- Funktion von der Bestrahlungsstärke  $S$  abhängig, der Kurzschlussstrom ist eine Gerade und direkt proportional zur Bestrahlungsstärke. Wir wollen diese Abhängigkeiten an mehreren Messorten mit verschiedener Bestrahlungsstärke messen und auswerten.

## 2. Versuchsaufbau

Wir benötigen nur das Solarmodul SUSE CM6MS und ein Multimeter mit 2 Laborkabeln rot/schwarz. Messbereich für Spannung 20 VDC, für die Stromstärke 10A DC, im Innenraum 200 mA oder 20 mADC. Als Lichtquellen verwenden wir neben dem natürlichen Tageslicht das Grundgerät SUSE 4.0 und einen Overheadprojektor.

## 3. Versuchsdurchführung:

Wir messen  $U_{oc}$  und  $I_{sc}$  bestimmen aus  $I_{sc}$  die Lichtintensität = Bestrahlungsstärke  $S$  des Lichts. Wie auf S.5 dargestellt, gilt für  $S$ :  $S = c \cdot I_{sc}$ . Bestimmen Sie den Faktor  $c$  aus Kennlinie oder Datentabelle:

Faktor  $c$ : .....  
 Zahlenwert                      Maßeinheit

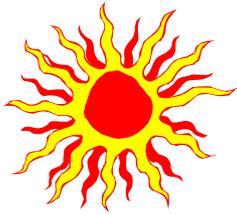
### Die Messungen                      Elektromotor ausschalten!

Experiment Nr.	Messort	$U_{oc}$ in V	$I_{sc}$ in A	$S$ in W/m <sup>2</sup>
1	Auf Grundgerät SUSE 4.0 Solarzelle zur Lichtquelle ausgerichtet, Vorderkante Solarmodul am schwarzen Strich			
2	Direkt an der Innenseite des geschlossenen Fensters, Solarzelle senkrecht gehalten, nach außen gerichtet.			
3	Fenster geöffnet, Solarmodul senkrecht in Fensterebene gehalten, nach außen gerichtet			
4	Direkt auf Glasplatte des Overheadprojektors in der Mitte, Solarzelle nach unten gerichtet			
5	10 cm über der Glasplatte, Solarzelle nach unten gerichtet			
6	Im Innenraum, Solarzelle zur Decke ausgerichtet, verwenden Sie hier den Messbereich 20mA od. 200 mA			

### **3. Auswertung:**

#### **Formulieren Sie Ihre Auswertung hier!**

Was ist Ihnen bei den Messungen aufgefallen? Erläutern Sie insbesondere die Unterschiede zwischen 2 und 3, zwischen 4 und 5 und zwischen 2 und 6, erläutern und begründen Sie diese Unterschiede! Nutzen Sie die technischen Daten auf den Seiten 3-5!



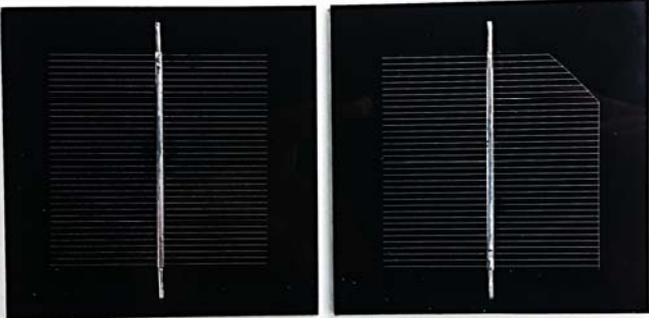
**Photovoltaik-  
System  
SUSE**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung

**Solarthermiesystem  
Wärme von der Sonne**



## SUSEmod215- ein leistungsstarkes, hocheffizientes robustes Solarmodul



**Das Solarmodul SUSEmod215**

Im Innern erkennt man die einlamierte monokristalline Si-Solarzelle, links ein quadratisches Element, rechts ein Eckstück mit abgeschrägter Ecke.

Modulmaße: 75 x 75 mm  
Solarzellenmaße: 52 x 52 mm

Das im Herbst 2015 neu konzipierte **Sundidactics Solarmodul SUSEmod215** ist die Weiterentwicklung des bisher verwendeten Moduls SUSEmod2. Das Solarmodul **SUSEmod215** 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 mit Kunststoff vergossen/laminiert, Material: EVA/PET. 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, mechanisch sehr robust.

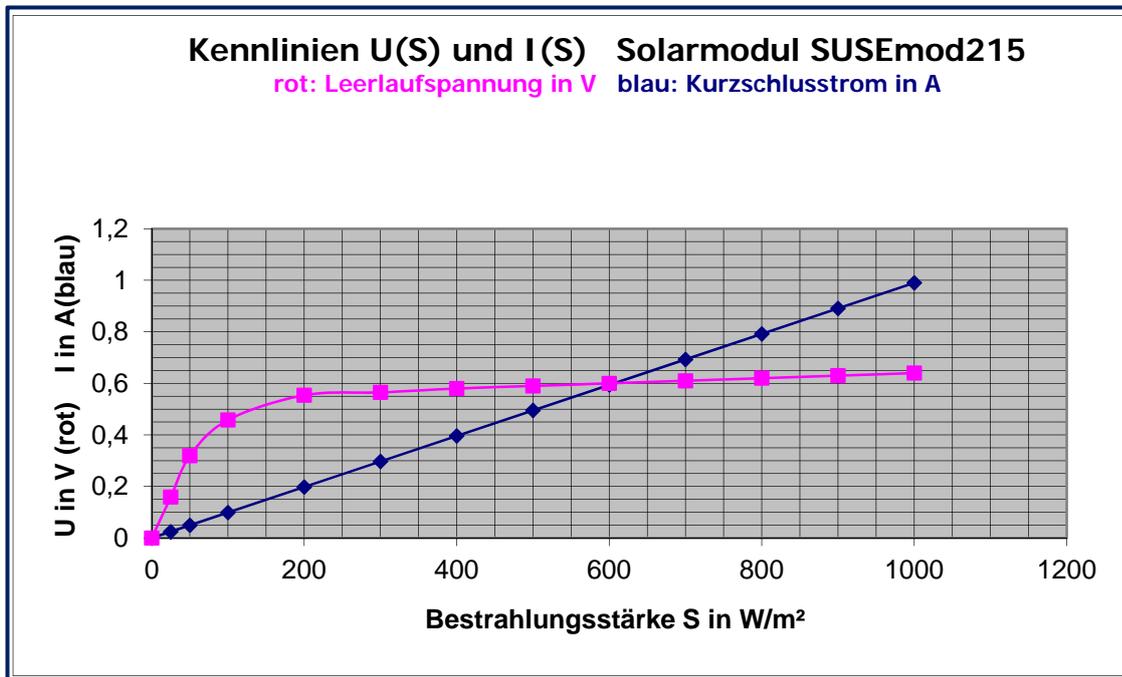
**Solarzelle:** Monokristalline Solarzelle 52 x 52 mm, quadratisch, Oberseite blau-schwarz durch SiN-Antireflexschicht, Oberfläche ist matt durch saure Texturierung.

**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		52 x 52 x 0,22	mm	Quadratische Zelle
Fläche	A	27,04	cm <sup>2</sup>	1/9 einer 6 Zoll Solarzelle
Leerlaufspannung	U <sub>oc</sub>	0,64	V	Typisch für Silizium
Kurzschlussstrom	I <sub>sc</sub>	0,99	A	Proportional zur Lichtintensität S
Spannung im MPP	U <sub>MPP</sub>	0,50	V	Spannung im (MPP) <small>Maximum Power Point</small>
Kurzschlussstrom im MPP	I <sub>MPP</sub>	0,91	A	Kurzschlussstromstärke im MPP
Elektrische Leistung	P	0,45	W	Bei S = 1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1,5, 25°C
Wirkungsgrad	η	17,5	%	Qualitätsmerkmal
Füllfaktor	FF	72	%	FF ist ein Qualitätsmerkmal
Stromdichte	j	36,6	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

## Die Kennlinien der Solarzelle im Modul SUSEmod215

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

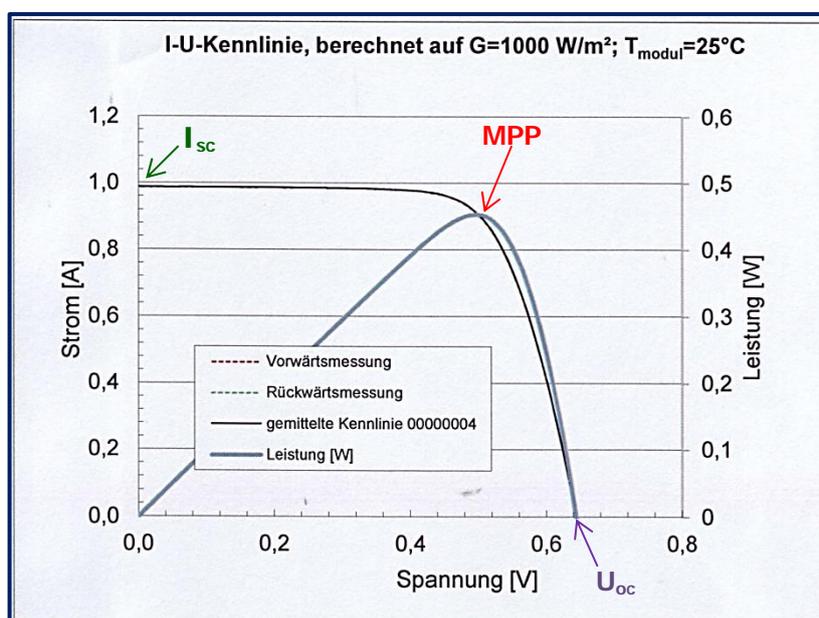


Die Leerlaufspannung  $U_{oc}$  (e- Funktion!) ist 0 bei totaler Dunkelheit, erhöht sich stark bei niedrigen Bestrahlungsstärken und wächst dann nur noch langsam bis zum Maximalwert 0,64 V bei 1000  $W/m^2$  (strahlender Sonnenschein bei blauem Himmel, Solarzelle zur Sonne hin ausgerichtet).

Der Kurzschlussstrom  $I_{sc}$  ist eine Ursprungsgerade und wächst linear von 0 bei totaler Dunkelheit auf 0,9 A bei 1000  $W/m^2$ .

2. Die  $I(U)$  und die  $P(U)$  - Kennlinien der Solarzelle SUSEmod215 bei  $S = 1000 W/m^2$  und  $T = 25^\circ C$

aufgenommen im Kennlinienlabor des ISFH

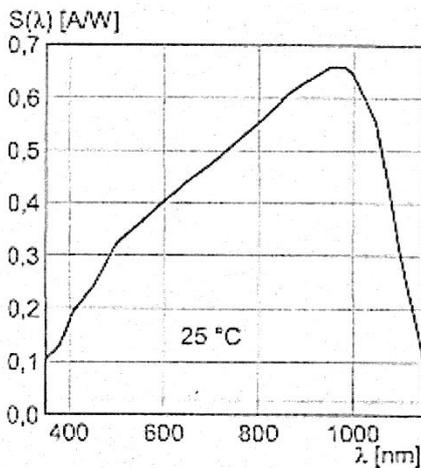


Die **I-U-Kennlinie** zeigt die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung bei Belastung der Solarzelle mit einem Lastwiderstand, bei einer Bestrahlungsstärke von 1000  $W/m^2$  und einer Temperatur von 25°C. Der Schnittpunkt mit der x- Achse (U- Achse) ist die Leerlaufspannung  $U_{oc}$ , der Schnittpunkt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

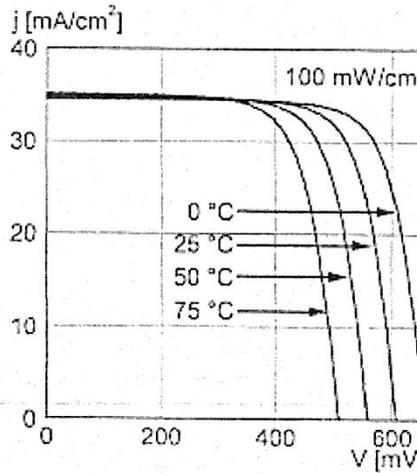
Mit dem Photovoltaik- Messmodul SUSE 5.15 kann diese Kurve experimentell aufgenommen werden.

### 3. Weitere Daten

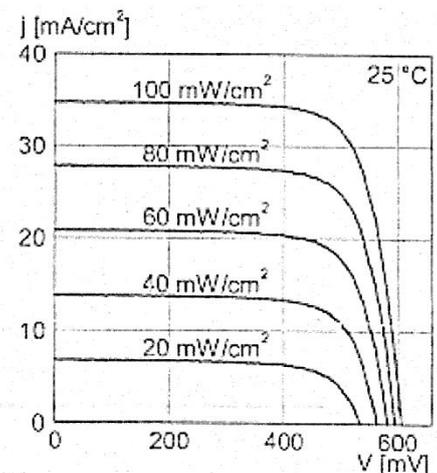
#### 3.1 Spektrale Empfindlichkeit



#### 3.2 Temperaturabhängigkeit



#### 3.3 Intensitätsabhängigkeit



In den Abbildungen 3.2 und 3.3 ist die Stromstärke pro Flächeneinheit (1 cm<sup>2</sup>) dargestellt. Die Absolutwerte erhält man durch Multiplikation der Zellenfläche mit den jeweiligen Stromwerten. In Graph 3.3 ist die Bestrahlungsstärke in mW/cm<sup>2</sup> dargestellt, 100 mW/cm<sup>2</sup> = 1000 W/m<sup>2</sup>

Der **linke Graph 3.1** 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 **mittlere Graph 3.2** zeigt die **j(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.

Der **rechte Graph 3.3** zeigt die **Intensitätsabhängigkeit** der **j(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).

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

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

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 in A  
 $S$  = Bestrahlungsstärke S in W/m<sup>2</sup>