

**Photovoltaik-  
System  
SUSE**

**Solarthermiesystem  
Wärme von der Sonne**

**innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung**



Name:.....Schule.....Datum:.....

## Experimentieranleitung für das Solarmodul SUSECM7MSB



Das **Solarmodul SUSE CM7MSB** ist ein **Solarmodul für Experimente in der Sekundarstufe I mit einem hochwertigen Solarmodul mit 3 Solarzellen in interner Reihenschaltung**  $U_{oc} = 1,8 \text{ V} / I_{sc} = 0,6 \text{ A}$ . **Mit dem Schalter lässt sich der Solarmotor aus- oder einschalten. Das Gerät lässt sich auch für einfache Experimente im Sachkundeunterricht der Grundschule einsetzen.**

Hält man das Gerät mit eingeschaltetem Motor (Schalter zeigt zur roten Buchse hin) in das Sonnenlicht oder in das Licht einer künstlichen Lichtquelle, muss sich der Propeller auf dem Elektromotor schnell drehen.

An den Buchsen (rot +, schwarz -) am unteren Ende des Plexiglasträgers können Laborkabel eingesteckt werden, um ein Multimeter anzuschließen oder um elektrische Schaltungen aufzubauen.

Mit diesem Gerät können die Solarzellenspannung (der 3 Solarzellen in interner Reihenschaltung) und der Kurzschlussstrom gemessen werden. Das Gerät ist einfach herzustellen und kann mit mehreren Experimenten zur Demonstration der Photovoltaik (Umwandlung von Lichtstrahlung in elektrische Energie) eingesetzt werden.

**Das Solarmodul SUSE CM7MSB ist ein 2- stufiger Energiewandler:**

- 1. Die 3 Solarzellen wandeln die Strahlungsenergie des Lichts in elektrische Energie um**
- 2. Der Elektromotor wandelt die elektrische Energie in mechanische Energie (Rotation = Drehbewegung) um**

Für Standard- Tests von Solarzellen benötigt man eine Lichtquelle der Intensität (Bestrahlungsstärke) von  $1000 \text{ W/m}^2 = 0,1 \text{ W/cm}^2$ , das wäre das:

- direkte Sonnenlicht der Sonne bei unbewölktem Himmel im Sommerhalbjahr, senkrecht auf die Solarzelle
- oder das Licht auf der Glasplatte eines leistungsstarken Overhead- Projektors
- oder das Licht eines Scheinwerfers (Halogenstrahler, Overhead- Projektor, Rotlichtlampe)

**Die verwendete Solarzelle hat spezifizierte Daten, mit diesen kann die Lichtintensität des bestrahlenden Lichts in  $\text{W/m}^2$  gemessen werden und das Solarmodul exakt auf  $1000 \text{ W/m}^2$  kalibriert werden.**

Beim Overhead- Projektor steigt die Bestrahlungsstärke mit dem Abstand zur Glasplatte, da eine Fresnel- Linse unter der Glasplatte das Licht nach oben hin bündelt, so dass bei einer bestimmten Höhe exakt  $1000 \text{ W/m}^2 = 0,1 \text{ W/cm}^2$  (nach Kalibrierung) eingestellt werden können. Bei nicht kalibrierten Lichtquellen oder bei bedecktem Himmel verändern sich die Kenndaten, die Messwerte sinken.

## Messungen und Berechnungen:

**In diesem Solarmodul sind 3 Solarzellen in interner Reihenschaltung, jede der 3 inneren Solarzellen hat nur 1/3 der gemessenen Spannung am Modul! Die Stromstärke verändert sich bei der Reihenschaltung nicht! Der Pluspol der 1. Solarzelle ist der Plusanschluss, der Minuspol der 3. Solarzelle der Minusanschluss.**



## Die elektrische Schaltung von SUSE CM7MSB Solarmoduls



Ist der Motor eingeschaltet, muss sich der Elektromotor im natürlichen Tageslicht oder in der Nähe von Lichtquellen schnell drehen. Das Licht im Innenraum ist sehr schwach und reicht nicht aus.

## Die Experimente für die Sekundarstufe I

### 1. Die Leerlaufspannung $U_{oc}$

$U_{oc} = \dots\dots\dots V$

$U_{oc}$  = die elektrische Spannung U der unbelasteten Solarzellen  
oc = open circuit **gemessen im strahlenden Sonnenschein oder auf dem Overheadprojektor**

Der Wert sollte im Sonnenlicht zwischen 1,5 und 1,8 V liegen, bei bedecktem Himmel 1,5 – 1,6 V, unabhängig von der Fläche! Bei gleicher Bestrahlungsstärke sollten alle Solarzellen, etwa die gleiche Spannung haben, der Standard-Test-Wert wäre 1,8 V). Kleine Differenzen sind Qualitätsunterschiede. **Die Leerlaufspannung hängt nur von der Lichtintensität und vom Material der Solarzelle ab.**

Verwende zur **Spannungsmessung** ein Multimeter im Messbereich 20 V DC und schließe das Voltmeter an den beiden Pole der beleuchteten Solarzelle an.

### Weitere Messungen:

Ort der Messung	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet	Draußen bei Sonnenschein im Schatten	Draußen bei bedecktem Himmel	Im beleuchteten Innenraum
Leerlaufspannung U in V				

### 2. Der Kurzschlussstrom $I_{sc}$ der Solarzelle sc = short cut

Im Gegensatz zu anderen Stromquellen (Batterie, Netzgerät...) darf man Solarzellen kurzschließen, der Kurzschlussstrom ist sogar eine sehr wichtige Größe bei Solarzellen

$I_{sc} = \dots\dots\dots A$

### Messung im strahlenden Sonnenschein oder auf dem Overheadprojektor

Verwende zur **Stromstärkemessung** ein Multimeter im Messbereich 10A DC, welches an + und – der Solarzelle angeschlossen wird  
**Nur für Messungen im Innenraum** den Messbereich 20 mA oder 2 mA verwenden!

Der Wert des Kurzschlussstroms ist **direkt proportional zur Zellenfläche und zur Lichtintensität** /Bestrahlungsstärke, Standard-Test-Wert: Bei diesem Solarmodul sollte der Strom bei einer Lichtintensität von 1000 W/m<sup>2</sup> genau 0,6 A = 600 mA sein. Ist die Lichtintensität (= Bestrahlungsstärke S) geringer, ist auch der Kurzschlussstrom proportional geringer.



Lichtintensität ist auch die Leistung geringer(Der Faktor 0,8 erklärt sich über die Kennlinie und den MPP der Solarzelle)

### Weitere Messungen:

Ort der Messung	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet	Draußen bei Sonnenschein im Schatten	Draußen bei bedecktem Himmel	Im beleuchteten Innenraum
<b>Kurzschlussstrom</b> <b>I<sub>sc</sub> in A</b> Werte übernehmen				
<b>Spannung U<sub>oc</sub> in V</b> Werte übernehmen				
<b>Leistung P</b> U <sub>oc</sub> × I <sub>sc</sub> × 0,8 <b>in W</b>				
<b>Leistung P</b> U <sub>oc</sub> × I <sub>sc</sub> × 0,8 <b>in mW</b>				

**Sehr Gut:** > 34 mA/cm<sup>2</sup>  
**Gut:** 28-33 mA/cm<sup>2</sup>  
**Mittel:** 24....28 mA/cm<sup>2</sup>  
**Schlecht:** < 24 mA/cm<sup>2</sup>  
 Bei einer Bestrahlungsstärke von 1000W/m<sup>2</sup> !!  
  
**Maximal möglicher theoretischer Wert: 44 mA/cm<sup>2</sup>**

### 4. Qualität der Solarzelle

= Stromdichte j in mA/cm<sup>2</sup>

Die Stromdichte j gibt an, wieviel Strom ein 1 cm<sup>2</sup> großes Stück der Solarzelle produziert, je mehr, desto besser! **Dazu muss die Einstrahlung 1000 W/m<sup>2</sup> betragen** (internationaler Standard- Wert), denn bei geringerer Einstrahlung <1000 W/m<sup>2</sup> ist die Stromdichte j natürlich auch geringer!

Dazu wird die Gesamtfläche der 3 gleichen Solarzellen im Modul benötigt. Halte das Modul gegen das Licht, dann kann man mit dem Geo- Dreieck oder Lineal Länge und Breite einer Zelle bestimmen und daraus die Fläche berechnen, der 3- fache Wert ist die Gesamt-Solarzellenfläche.

**Messwerte:** Länge einer Solarzelle:.....cm      Breite:.....cm  
 Fläche einer Solarzelle:.....cm<sup>2</sup>  
 Gesamtfläche:.....cm<sup>2</sup>

**Kurzschlussstrom in mA**  
**j=----- = ----- mA/cm<sup>2</sup> bei 1000W/m<sup>2</sup> Einstrahlung !**  
**Zellenfläche in cm<sup>2</sup>**

**Die Stromdichte der verwendeten Zelle ist.....mA/cm<sup>2</sup>**

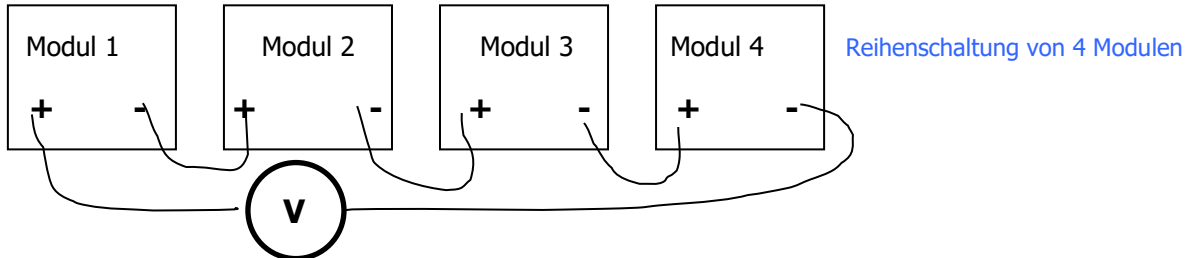
**Die Qualität der Solarzelle ist.....**  
 Sehr gut – gut – mittel- schlecht

### 5. Reihenschaltung von Modulen

Die Module lassen sich beliebig in Reihe schalten und somit höhere Spannungen erreichen !

**Mehrere Module in Reihenschaltung:**

Lege die Module ins Sonnenlicht oder (mit der Oberseite nach unten!) auf einen Overheadprojektor und schalte die Module in Reihe (wie in der Zeichnung dargestellt). Mit 2 Modulen (= 6 Solarzellen in Reihenschaltung) kannst Du schon ein 3V-Radio betreiben! Probiere es aus!



Einzelmodul:	$U_{oc}$ in V	$I_{sc}$ in A
Modul 1:.....		
Modul 2:.....		
Modul 3:.....		
Modul 4:.....		

**Werte für die Reihenschaltung von.....4.....Modulen:**

$U_{ges}$  = .....V

$I_{sc}$  = .....A

Was fällt auf, beschreibe und erkläre!

**Erklärung zur Reihenschaltung:**

**Erstelle eine Reihenschaltung aus 2 Solarmodulen und schließe ein NILS- ISFH-Solarradio an die Reihenschaltung, probiere die Funktion des Radios a) im Freien, b) auf dem OHP, c) vor einem Halogenstrahler, d) im beleuchteten Innenraum**  
**Notiere hier die Ergebnisse:**

**6. Wirkungsgradbestimmung einer Solarzelle** nicht so einfach, aber wir schaffen es

**Was versteht man unter Wirkungsgrad? Erkläre hier:**

**Voraussetzung:** Overheadprojektor oder Sonnenlicht mit der Bestrahlungsstärke 1000 W/m<sup>2</sup>

1. Umrechnung der **Lichtleistung** 1000 W/m<sup>2</sup> bzw. 0,1W/cm<sup>2</sup> auf die wirkliche Fläche der Solarzelle:

Die Zelle einer Solarzelle hat eine Fläche von.....cm<sup>2</sup>, sie erhält bei 1000 W/m<sup>2</sup> somit eine

Lichtleistung von .....cm<sup>2</sup>\*0,1 W = P<sub>L</sub> = ..... W

2. Die elektrische Leistung von Aufgabe 3 war bei der gemessenen Zelle P<sub>E</sub> = .....W

**3. Wirkungsgrad = elektrische Leistung: Lichtleistung \* 100 = Wirkungsgrad in %**

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{P_E}{P_L} * 100 = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots\%$$

Der Wirkungsgrad der verwendeten Solarzelle ist.....%

**Wirkungsgrade von Solarzellen:**

Monokristalline Zellen: 15 - 22 %

Polykristalline Zellen: 12 – 20 %

Die verwendete Solarzelle war eine.....Zelle.  
Monokristalline / polykristalline

Ihr gemessener Wirkungsgrad war:.....  
sehr gut ---gut---mittel---schlecht

## 7. Messungen der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke) in W/m<sup>2</sup>

Mit der hier verwendeten kalibrierten Solarzelle kann die **Lichtintensität** des Sonnenlichts oder einer künstlichen Lichtquelle genau bestimmt werden, da die **Lichtintensität = Bestrahlungsstärke S exakt proportional zum Kurzschlussstrom der Solarzelle ist.**

**1000 W/m<sup>2</sup> ist die Intensität der Lichtstrahlung der Sonne bei wolkenlosem Himmel im Sommer und ist internationaler Standard- Messwert für Solarzellen.**

**Kurzschlussstrom I<sub>sc</sub> der Solarzelle im Modul bei einer Bestrahlung von 1000 W/m<sup>2</sup>**

**I<sub>sc</sub> = .....0,6.....A = .....600.....mA**

**Messung der Bestrahlungsstärke S von Licht (Lichtintensität) in W/m<sup>2</sup>:**

Da der Kurzschlussstrom I<sub>sc</sub> einer Solarzelle proportional zur Bestrahlungsstärke S ist, gilt:

$$\frac{I_{sc} \text{ in A}}{\dots\dots\dots} = \frac{I_{mess}}{\dots\dots\dots}$$

oder nach S umgestellt:

$$S_x = \frac{I_{mess} \text{ (in A)} * 1000}{\dots\dots\dots}$$

1000 W/m<sup>2</sup>

S<sub>x</sub> W/m<sup>2</sup>

**0,6 A**

Dabei ist:

I<sub>sc</sub> in A  
I<sub>mess</sub> in A  
S<sub>x</sub> in W/m<sup>2</sup>

der Kurzschlussstrom bei 1000 W/m<sup>2</sup> = 0,6 A  
der gemessene Kurzschlussstrom bei der Bestrahlungsstärke S<sub>x</sub>  
die Bestrahlungsstärke der Lichtstrahlung

### Messungen im Freien und bei Lichtquellen:

Lichtstrahlung	Kurzschlussstrom I <sub>sc</sub> in A	Bestrahlungsstärke S <sub>x</sub> in W/m <sup>2</sup>
Strahlender Sonnenschein direkt zur Sonne gemessen		
Strahlender Sonnenschein im Schatten gemessen		
Bedeckter Himmel		
Sehr trübes Wetter		
Auf der Platte eines Overheadprojektors		
10 cm <b>über der Platte</b> eines Overheadprojektors		
40 cm vor Halogenlampe 35 W (Strahler SUSE 5.16)		
40 cm vor Halogenstrahler 150 W		
Im Innenraum Zum Fenster hin ausgerichtet		
Im Innenraum Zur Decke hin ausgerichtet		

**Was fällt Dir auf, erläutere hier:**

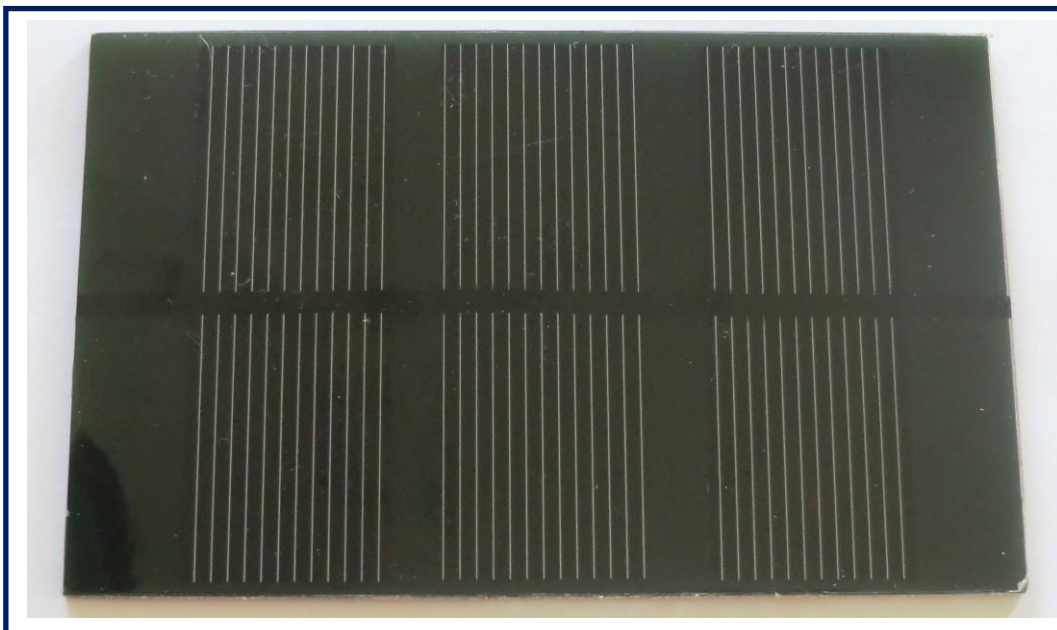
# Das Solarmodul SUSEMod3

**Robustes, preiswertes und leistungsstarkes Solarmodul mit 3 Solarzellen in interner Reihenschaltung  $U = 1,8\text{ V}$   $I = 600\text{ mA}$**  bei  $S = 1000\text{ W/m}^2$  AM 1,5

Besonders geeignet für den schülerzentrierten experimentellen Einsatz in Unterricht und Arbeitsgemeinschaften in den Jahrgangsstufen 3 -10 Außenmaß: 120 x 75 mm

Ideal zum Basteln und Experimentieren in der Grundschule und in der Sekundarstufe 1

Ideal zum Selbstbau kleinerer Photovoltaikanlagen und Solarboote



Unter der laminierten und vergossenen Oberfläche erkennt man die 3 Solarzellen, die jeweils von ganz unten bis oben verlaufen. Die Striche sind die Silber-Leiter des Vorderseiten-Kontaktgitters. Die 3 Solarzellen sind bereits intern in Reihe geschaltet, so dass sich eine Gesamtspannung 1,8 V bei einem Kurzschlussstrom von 0,6 A ergibt.

Das Foto zeigt das **Solarmodul SUSEMod3**, ein sehr robustes, laminiertes und mit transparentem Kunststoff vergossenes Solarmodul, bestehend aus 3 Solarzellen in interner Reihenschaltung mit den Maßen 120 x 75 mm, spritzwasserfest, daher besonders gut geeignet bei Einsatz auf Solarbooten.

Bei einer Sonneneinstrahlung von  $S = 1000\text{ W/m}^2$  beträgt die Leerlaufspannung 1,8 V und der Kurzschlussstrom 0,6 A. Mehrere Module können in Reihe geschaltet werden, dabei erhöht sich die Spannung um jeweils 1,8 V!

**Das Modul ersetzt eine 1,5 V – Batterie.**

Auf der Rückseite befinden sich 2 Lötunkte zum Anlöten von Schaltdraht oder Litzen. Das Modul kann mit Klebstoff oder mit doppelseitigem Klebeband problemlos auf glatten Flächen aufgeklebt



Modul- Rückseite, an den Lötunkten innen links und rechts sind die elektrischen Pole, hier können Schaltdrähte angelötet werden