

**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 W/m^2 gemessen werden und das Solarmodul exakt auf 1000 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 des Solarmoduls

Die elektrische
Schaltung von SUSE
CM7MSB



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/m² genau 0,6 A = 600 mA sein. Ist die Lichtintensität (= Bestrahlungsstärke S) geringer, ist auch der Kurzschlussstrom proportional geringer.

Weitere Messungen:

Ort der Messung	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet	Draußen bei Sonnenschein im Schatten	Draußen bei bedecktem Himmel	Im beleuchteten Innenraum
Kurzschlussstrom I_{sc} in A				
Kurzschlussstrom I_{sc} in mA				

Was fällt Dir bei der Spannungs- und Stromstärkemessung auf, notiere hier die Beobachtungen/ Erklärungen/ Ideen:

3. Die elektrische Leistung der Solarzelle P_E in W (Watt)

Wie jede Stromquelle gibt auch ein Solarmodul eine elektrische Leistung P (Maßeinheit $W = \text{Watt}$) ab, die von angeschlossenen Geräten genutzt werden kann. Die elektrische Leistung P berechnet sich nach der Gleichung:

$P = U_{oc} \times I_{sc} \times 0,8 = \dots\dots\dots W$

Keine erneute Messung notwendig, Berechnung mit den beiden bereits bestimmten Messwerten U_{oc} und I_{sc}

Das ist vereinfachter Ansatz, Leistung P ist Leerlaufspannung x Kurzschlussstrom x 0,8, P sollte also im Idealfall bei 1000 W/m^2 Einstrahlung ca. $0,864 \text{ W}$ sein. Bei geringerer 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
Kurzschlussstrom I_{sc} in A Werte übernehmen				
Spannung U_{oc} in V Werte übernehmen				
Leistung P U _{oc} × I _{sc} × 0,8 in W				
Leistung P U _{oc} × I _{sc} × 0,8 in mW				

Sehr Gut: > 34 mA/cm²
Gut: 28-33 mA/cm²
Mittel: 24....28 mA/cm²
Schlecht: < 24 mA/cm²
 Bei einer Bestrahlungsstärke von 1000W/m² !!

Maximal möglicher theoretischer Wert: 44 mA/cm²

4. Qualität der Solarzelle

= Stromdichte j in mA/cm²

Die Stromdichte j gibt an, wieviel Strom ein 1 cm² großes Stück der Solarzelle produziert, je mehr, desto besser! **Dazu muss die Einstrahlung 1000 W/m² betragen** (internationaler Standard- Wert), denn bei geringerer Einstrahlung <1000 W/m² 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:.....cm²

Gesamtfläche:.....cm²

Kurzschlussstrom in mA

j= ----- = mA/cm² bei 1000W/m² Einstrahlung !
Zellenfläche in cm²

Die Stromdichte der verwendeten Zelle ist.....mA/cm²

Die Qualität der Solarzelle ist.....

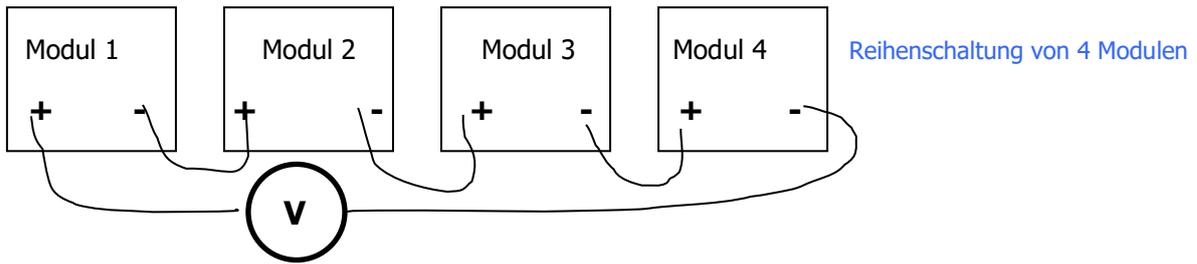
Sehr gut – gut – mittel- schlecht

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/m²

1. Umrechnung der **Lichtleistung** 1000 W/m² bzw. 0,1W/cm² auf die wirkliche Fläche der Solarzelle:

Die Zelle einer Solarzelle hat eine Fläche von.....cm², sie erhält bei 1000 W/m² somit eine **Lichtleistung** voncm²*0,1 W = P_L = W

2. Die elektrische Leistung von Aufgabe 3 war bei der gemessenen Zelle P_E =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/m²

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/m² ist die Intensität der Lichtstrahlung der Sonne bei wolkenlosem Himmel im Sommer und ist internationaler Standard- Messwert für Solarzellen.

Kurzschlussstrom I_{sc} der Solarzelle im Modul bei einer Bestrahlung von 1000 W/m²

$$I_{sc} = \dots\dots\dots 0,6 \dots\dots\dots A = \dots\dots\dots 600 \dots\dots\dots mA$$

Messung der Bestrahlungsstärke S von Licht (Lichtintensität) in W/m²:

Da der Kurzschlussstrom I_{sc} einer Solarzelle proportional zur Bestrahlungsstärke S ist, gilt:

$$\frac{I_{sc} \text{ in A}}{1000 \text{ W/m}^2} = \frac{I_{mess}}{S_x \text{ W/m}^2} \quad \text{oder nach S umgestellt: } S_x = \frac{I_{mess} \text{ (in A)} * 1000}{0,6 \text{ A}}$$

Dabei ist: I_{sc} in A der Kurzschlussstrom bei 1000 W/m² = 0,6 A
I_{mess} in A der gemessene Kurzschlussstrom bei der Bestrahlungsstärke S_x
S_x in W/m² die Bestrahlungsstärke der Lichtstrahlung

Messungen im Freien und bei Lichtquellen:

Lichtstrahlung	Kurzschlussstrom I_{sc} in A	Bestrahlungsstärke S_x in W/m ²
Strahlender Sonnenschein direkt zur Sonne gemessen		
Strahlender Sonnenschein im Schatten gemessen		
Bedeckter Himmel		
Sehr trübes Wetter		
Auf der Platte eines Overheadprojektors		
10 cm über der Platte 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:

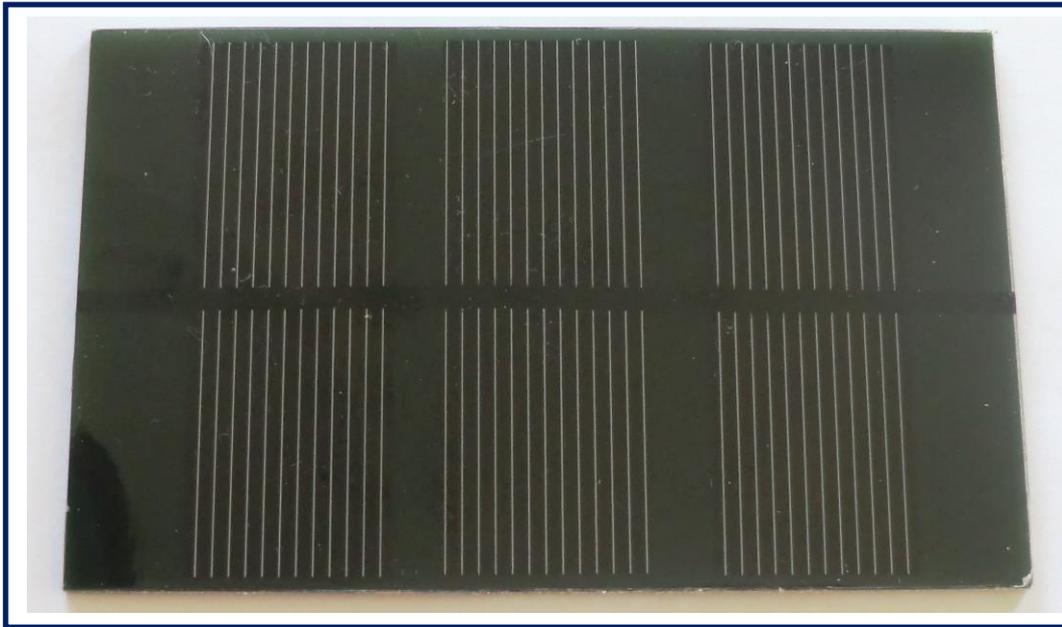
Das Solarmodul SUSEMod3

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



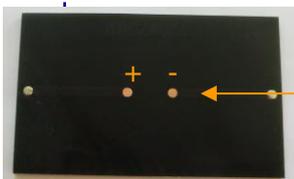
Unter der laminierten und vergossenen Oberfläche erkennt man die 3 Solarzellen, die jeweils von ganz unten bis oben verlaufen. Die Striche sind die Silber-Leiter des Vorderseiten-Kontaktgitters. Die 3 Solarzellen sind bereits intern in Reihe geschaltet, so dass sich eine Gesamtspannung 1,8 V bei einem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