



**Photovoltaik-
System
SUSE**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung

**Solarthermiesystem
Wärme von der Sonne**



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

Experimentieranleitung für das Solarmodul SUSE CM4MBV

11 Experimente auf 14 Seiten

Lernstation

C1

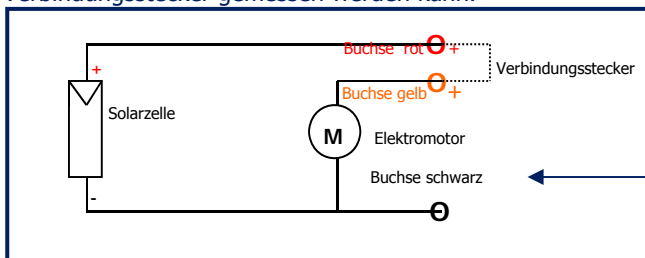
In die 3 Buchsen können Laborkabel für Messungen und Experimente eingesteckt werden.

Rote Buchse: Pluspol der Solarzelle
Gelbe Buchse: Pluspol des Elektromotors
Schwarze Buchse: gemeinsamer Minuspol

Ist der Verbindungsstecker gesteckt, sind Pluspol der Solarzelle und Pluspol des Elektromotors elektrisch verbunden, bei genügend Lichtintensität dreht sich der Solarmotor.

Wird der Verbindungsstecker abgezogen, sind Elektromotor und Solarzelle getrennt und können für unterschiedliche Experimente verwendet werden.

Oben im Verbindungsstecker befindet sich eine Messbuchse, so dass auch bei gestecktem Verbindungsstecker gemessen werden kann.



Das Solarmodul SUSE CM4MBV

Die elektrische Schaltung des Solarmoduls SUSE CM4MBV

In dieser Anleitung sind 11 Experimente aufgeführt. Entweder werden alle Versuche in dieser Reihenfolge bearbeitet, oder es werden einzelne Experimente ausgewählt.

Notwendige Zusatzgeräte: Overheadprojektor oder Halogenstrahler als Lichtquelle, wenn nicht im Freien experimentiert wird, Laborkabel und ein Multimeter. Für Exp. 11 ist noch ein Speichermodul SUSE 4.12 erforderlich.

Die hier verwendete Solarzelle im Solarmodul SUSEmod215 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.

Die Experimente

- | | | |
|-----|--|----------|
| 1. | Elektrische Spannung U Leerlaufspannung U_{oc} | Seite 2 |
| 2. | Kurzschlussstrom I Kurzschlussstrom I_{sc} | Seite 3 |
| 3. | Leistung P | Seite 4 |
| 4. | Qualität der Solarzelle | Seite 4 |
| 5. | Reihenschaltung von Solarzellen | Seite 5 |
| 6. | U, I in Abhängigkeit von der Fläche | Seite 6 |
| 7. | Wirkungsgradbestimmung | Seite 7 |
| 8. | Messung der Bestrahlungsstärke (Lichtintensität) | Seite 8 |
| 9. | Experimente mit dem Solarmotor I | Seite 9 |
| 10. | Experimente mit dem Solarmotor II | Seite 11 |
| 11. | Experimente mit Solarmotor und Speichermodul | Seite 12 |
| 12. | Info zur Funktion der Solarzelle | Seite 14 |
| 13. | 26 Testfragen zur Solarzelle und den Experimenten | Seite 15 |

1. Die Leerlaufspannung U_{oc} der Solarzelle Verbindungsstecker abziehen!

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

Der Wert sollte im Sonnenlicht zwischen 0,58 V und 0,62 V liegen, bei bedecktem Himmel 0,51- 0,57 V,

Verwende ein Multimeter im Messbereich 20 V DC und schließe das Voltmeter mit 2 Laborkabeln an den beiden Pole (rot- schwarz) der beleuchteten Solarzelle an.

unabhängig von der Fläche! Bei gleicher Bestrahlungsstärke sollten alle Solarzellen, etwa die gleiche Spannung haben, der Standard-Test-Wert wäre 0,62 V). Kleine Differenzen sind Qualitätsunterschiede. *Die Leerlaufspannung hängt nur von der Lichtintensität, vom Material und von der Qualität der Solarzelle ab. Bei unserer Solarzelle ist das Material Silizium.*

Die Messungen zur elektrischen Spannung:

Ort der Messung	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet oder Overheadprojektor	Draußen bei Sonnenschein im Schatten	Draußen bei bedecktem Himmel	Im beleuchteten Innenraum auf dem Tisch
Leerlaufspannung U in V				
Leerlaufspannung U in V a) Solarzelle zu 50% abgedeckt durch schwarze Pappe oder Alufolie b) Solarzelle vollständig durch Klarsichthülle abgedeckt		Keine Messungen		
Leerlaufspannung U in V Mit Solarmotor Verbindungsstecker gesteckt				

Was fällt Dir bei den Messungen zur Leerlaufspannung auf, formuliere hier:

Zur niveauevollen Erklärung kannst Du auch die Solarzellendaten der letzten Seite verwenden!

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

Verwende zur Strommessung ein Multimeter im Messbereich 10A DC, welches an + und – der Solarzelle angeschlossen wird
Nur für Messungen im Innenraum den Messbereich 200 mA oder 20 mA verwenden!

Der Wert des Kurzschlussstroms ist ***direkt proportional zur Zellenfläche und zur Lichtintensität*** /Bestrahlungsstärke, Standard-Test-Wert: Bei dieser Solarzelle mit einer Zellenfläche von 27,04 cm² sollte der Strom bei einer Lichtintensität von 1000 W/m² 0,97 A sein.

Die Messungen zum Kurzschlussstrom: **Verbindungsstecker abziehen!**

Ort der Messung	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet oder auf dem Overheadprojektor	Draußen bei Sonnenschein im Schatten	Draußen bei bedecktem Himmel	Im beleuchteten Innenraum
Kurzschlussstrom I_{sc} in A I_{sc} in mA (umrechnen)				
Kurzschlussstrom I_{sc} in A a) Solarzelle zu 50% abgedeckt durch schwarze Pappe oder Alufolie b) Solarzelle vollständig durch Klarsichthülle abgedeckt	Keine Messungen			
Mit gestecktem Verbindungsstecker in A				

Was fällt Dir bei den Stromstärkemessungen zum Kurzschlussstrom auf, notieren Sie **hier** Ihre Beobachtungen/ Erklärungen:

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

Hier sind keine erneuten Messungen notwendig, Berechnung mit den beiden bereits bestimmten Messwerten U_{oc} und I_{sc}

vereinfachter Ansatz zur Berechnung der elektrischen Leistung P:

P ist Leerlaufspannung x Kurzschlussstrom x 0,8, P sollte also im Idealfall bei 1000 W/m² Einstrahlung ca. 0,48 W sein, (bei einer Fläche von 27,04 cm²). Der Faktor 0,8 erklärt sich über die Kennlinie und den MPP der Solarzelle.

Die Messungen zur Leistung:

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 $U_{oc} \times I_{sc} \times 0,8$ in W				
Leistung P $U_{oc} \times I_{sc} \times 0,8$ in mW				

4. Die Qualität der Solarzelle

Das ist die Stromdichte j in mA/cm²

Hier sind keine erneuten Messungen notwendig, Berechnung mit den beiden bereits bestimmten Messwerten U_{oc} und I_{sc}

Die Stromdichte j gibt an, wie viel Kurzschluss- 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! Wir nehmen also den Wert vom strahlenden Sonnenschein oder auf der Platte des Overhead- Projektors.

So berechnen wir die Stromdichte j:

$$j = \frac{\text{Kurzschlussstrom in mA}}{\text{Zellenfläche in cm}^2} = \dots \text{ mA/cm}^2 \text{ bei } 1000\text{W/m}^2 \text{ Einstrahlung !}$$

Unsere Solarzelle ist ein Quadrat mit der Seitenlänge 5,2 cm, ihre Fläche A ist.....cm²

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

Die Qualität der Solarzelle ist.....

Sehr gut – gut – mittel- schlecht

Sehr Gut: > 34 mA/cm² Gut : 28-33 mA/cm² Mittel: 24....28 mA/cm²
 Schlecht: < 24 mA/cm²

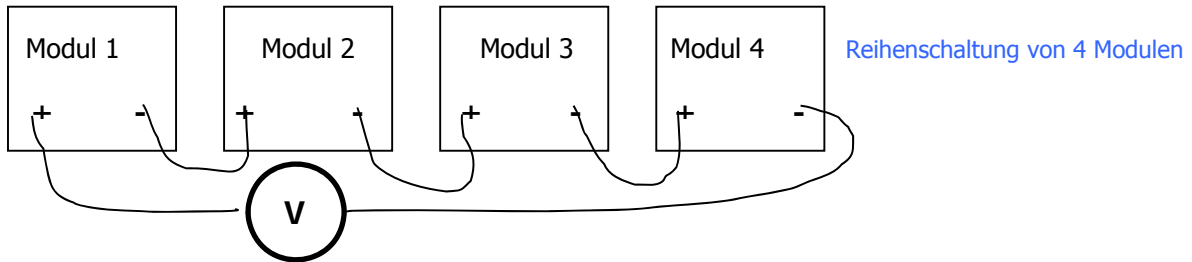
Bei einer Bestrahlungsstärke von 1000W/m² !! Maximal möglicher theoretischer Wert: 44 mA/cm²

5. Reihenschaltung von Solarzellen

Die Module lassen sich beliebig in Reihe schalten und damit höhere Spannungen erreichen!
Verbindungsstecker wahlweise abziehen oder gesteckt lassen! Notiere die Ergebnisse beider Varianten!

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)
 Du kannst natürlich auch mehr als 4 Module in Reihe schalten, mit 6 Solarzellen in Reihenschaltung kannst Du schon ein 3V- Solarradio betreiben! Probiere es aus!



Einzelmodul: U_{oc} in V I_{sc} in A ergänze die Tabelle nach unten, falls Du mehr als 4 Module in Reihe schaltest!

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

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

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

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

Was fällt Dir auf, erläutere Deine Ergebnisse hier:

6. Leerlaufspannung U_{oc} , Kurzschlussstrom I_{sc} , Leistung P in Abhängigkeit von der bestrahlten Fläche der Solarzelle

In der Regel wird die gesamte Fläche der Solarzelle vom Licht bestrahlt. In der Praxis kann es aber dazu kommen, dass Solarzellen in Solarmodulen auf Dächern verschattet werden, z.B. durch Schattenwurf von Schornsteinen, Häusern, Bäumen, oder durch aufgefallenes Herbstlaub etc. Dann ändern sich die elektrischen Werte der Solarzelle. Diesen Effekt wollen wir in diesem Experiment untersuchen, indem wir die Solarzelle teilweise durch schwarzen Karton oder Alufolie abdecken.

Versuchsaufbau:

Wir stellen das Solarmodul SUSE CM4MBV auf das Grundgerät SUSE 4.0, mit der Vorderkante am schwarzen Strich, so dass die Solarzelle zum Halogenstrahler zeigt. Diese Position soll während der Experimente unverändert bleiben, den Strahler nur zu den Experimenten anschalten, damit sich die Solarzelle nicht stark erwärmt. An die Buchsen schließen wir ein Multimeter an (Pluskabel rot, Minuskabel schwarz), der Motor wird ausgeschaltet.

Versuchsdurchführung:

Wir messen die Leerlaufspannung U_{oc} (im Messbereich 20V DC) und den Kurzschlussstrom I_{sc} (im Messbereich 10° DC), berechnen die Leistung P ($P= 0,8*U_{oc}*I_{sc}$) und tragen die Werte in die Tabelle ein.

Nun decken wir die Solarzelle mit schwarzer Pappe oder Alufolie genau zur Hälfte ab (bis zum silbernen Mittelstreifen) und messen erneut, anschließend decken wir $\frac{3}{4}$ (= 75%) der Solarzelle ab und messen die Werte noch einmal.

Abdeckung	Leerlaufspannung U_{oc} in V	Kurzschlussstrom I_{sc} in A	Leistung P in W
keine Abdeckung			
50% abgedeckt			
75% abgedeckt			

Auswertung: Was fällt Dir/Ihnen bei den Ergebnissen auf? Notieren Sie Ihre Beobachtungen und Erklärungen hier:

7. Wirkungsgradbestimmung einer Solarzelle

Beispiel: 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 hat eine Fläche von 27,04 cm² hat, sie erhält bei 1000 W/m² eine Lichtleistung von 27,04 cm²*0,1 W = P_L = 2,704 W

2. Die elektrische Leistung von Aufgabe 3 war bei der gemessenen Zelle P_E = 0,432 W

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

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

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

Wirkungsgrade von Solarzellen:

Monokristalline Zellen: 17- 21 %

Polykristalline Zellen: 16 – 20 %

Experimentelle Aufgabe:

Bestimmen Sie den Wirkungsgrad der Solarzelle des Moduls bei einer Bestrahlung mit einem Halogenstrahler 120 – 150 W, Abstand ca. 30 cm. Die Lichtintensität (Bestrahlungsstärke) des Lichts ist < 1000 W/m² und wird mit der Gleichung aus Experiment 7 bestimmt.

Methode:

1. Messung der Leerlaufspannung U_{oc} und des Kurzschlussstroms I_{sc} :

U_{oc} =V I_{sc} =A

2. Mit der Gleichung P = U_{oc} * I_{sc} * 0,8 wird die elektrische Leistung P der Solarzelle bestimmt:

$$P_E = \frac{U_{oc}}{\dots\dots\dots} * \frac{I_{sc}}{\dots\dots\dots} * 0,8 = \dots\dots\dots W \quad (I)$$

3. Mit der Gleichung aus Exp. 7 wird die Bestrahlungsstärke des Lichts in W/m² bestimmt:

$$S_x = \frac{I_{\text{mess}} \text{ (in A)} * 1000}{0,97 \text{ A}}$$

S_x =W/m²

I_{mess} ist hier der bei 1.) gemessene Kurzschlussstrom
S_x ist die Bestrahlungsstärke des Lichts in W/m²

S_x ist die Lichtleistung pro 1 m², da die Fläche der Solarzelle aber nur 27,04 cm² ist, müssen wir diesen Anteil für unsere Solarzelle berechnen, indem wir den Wert durch 10 000 teilen (weil 1 m² 10 000 cm² hat) und dann mal 27,04 multiplizieren, das ist dann die wirkliche Lichtleistung P_L auf die Solarzelle:

$$P_L = \frac{S_x}{\dots\dots\dots} * \frac{27,04}{10\,000} = \dots\dots\dots W \quad (II)$$

Den Wirkungsgrad erhalten wir, indem wir die elektrische Leistung P_E durch die Lichtleistung teilen und den Wert mal 100 nehmen, um einen Prozentwert zu erhalten:

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

Bei korrekten Messungen/Berechnungen, müsste der Wirkungsgrad um 17 % liegen.

8. Messungen der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke) in W/m^2

Die Helligkeit (Intensität) des Lichts heißt Bestrahlungsstärke S und wird in W/m^2 (Watt pro m^2) gemessen.

Mit der hier verwendeten kalibrierten Solarzelle kann die **Lichtintensität in W/m^2** vor einem Halogenstrahler oder auf einem Overheadprojektor oder im Freien genau bestimmt werden.

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

Kurzschlussstrom I_{sc} der Solarzelle bei einer Bestrahlung von 1000 W/m^2

$$I_{sc} = \dots\dots\dots 0,97 \dots\dots\dots A = \dots\dots\dots 970 \dots\dots\dots mA$$

Messung der Bestrahlungsstärke S von Licht (Lichtintensität) in W/m^2 :

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

$$\frac{I_{sc} \text{ in A}}{1000 \text{ W/m}^2} = \frac{I_{mess} \text{ in A}}{S_x \text{ in W/m}^2} \quad \text{oder nach } S_x \text{ umgestellt: } S_x = \frac{I_{mess} \text{ (in A)} * 1000}{0,97 \text{ A}}$$

Dabei ist:

- I_{sc} in A S_x in W/m^2
- I_{sc} in A I_{sc} in A der kalibrierte Kurzschlussstrom bei 1000 $W/m^2 = 0,97 \text{ A}$
- I_{mess} in A I_{mess} in A der gemessene Kurzschlussstrom bei der Bestrahlungsstärke S_x
- S_x in W/m^2 S_x in W/m^2 die Bestrahlungsstärke von 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		

Was fällt Dir auf, erläutere hier:

Experimente 9- 11: Energieumwandlungen von elektrischer Energie in mechanische Energie und umgekehrt. Speicherung von elektrischer Energie (Exp. 11).

9. Experimente mit dem Solarmotor I

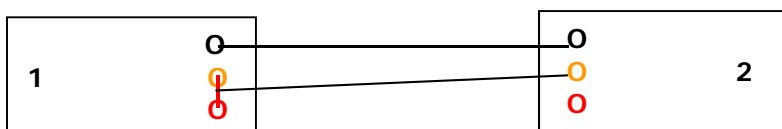
Du benötigst für diese Experimente 4 Solarmodule!

Experiment 9.1:

Lass bei einem Gerät (Gerät 1) den Verbindungsstecker gesteckt und ziehe bei den weiteren 3 Geräten den Verbindungsstecker ab. Du benötigst weiterhin 3 rote und 3 schwarze Laborkabel.

Gehe mit den Geräten ins Freie oder experimentiere im Innenraum auf einem Overheadprojektor oder vor einem Halogenstrahler.

Bestrahle das Gerät Nr. 1 mit Licht und schließe einen weiteren 2. Motor zusätzlich an (schwarze Buchse von Gerät 2 an die schwarze Buchse von Gerät 1, gelbe Buchse von Gerät 2 an die Buchse im Verbindungsstecker von Gerät 1)!



Was fällt Dir bei den Experimenten auf, notiere hier:

Ergänze nun einen weiteren 3. Motor, indem Du ihn mit dem Motor 2 mit Laborkabeln verbindest, gelbe Buchse wird mit gelber Buchse verbunden, schwarze Buchse mit schwarzer Buchse)

Was fällt Dir auf, notiere hier:

Ergänze nun einen weiteren 4. Motor, indem Du ihn mit dem Motor 3 mit Laborkabeln verbindest:

Was fällt Dir auf, notiere hier:

Experiment 9.2

Auch hier benötigst Du 4 Geräte SUSE CM4MBV, ziehe bei allen 4 Geräten den Verbindungsstecker ab!

Erstelle mit 2 Solarmodulen eine Reihenschaltung und schließe den Pluspol der 1. Solarzelle und den Minuspol der 2 Solarzelle an einen Solarmotor des 3. Moduls an:

Was fällt Dir auf, notiere hier.

Erstelle nun mit 4 Solarmodulen eine Reihenschaltung und schlieÙe den Pluspol der 1. Solarzelle und den Minuspol der 4. Solarzelle an einen Solarmotor an,

Was fällt Dir auf, notiere hier, erkläre die Beobachtungen dieser Experimente:

10. Experimente mit dem Solarmotor II

Der kleine Elektromotor kann auch als Generator benutzt werden er erzeugt dann bei Drehung elektrische Energie. Wenn wir den blauen Propeller anpusten, dreht er den Motor, dabei wird elektrische Energie erzeugt, wir können dazu 2 Experimente durchführen:

Experiment 10.1

Ziehe den Verbindungsstecker und schlieÙe ein Voltmeter im Messbereich 20V DC an die Anschlüsse des Solarmotors (gelbe und schwarze Buchse) an.

Puste nun kräftig auf den blauen Propeller und lies die erzeugte Spannung U ab, führe das Experiment 3-mal durch und puste immer kräftiger:

Experiment Nr.	Erreichte Spannung U in Volt
1 schwach gepustet	
2 stark gepustet	
3 sehr stark gepustet	

Experiment 10.2

Verbinde 2 Solarmotoren mit 2 Laborkabeln miteinander, gelbe Buchse mit gelber Buchse und schwarze Buchse mit schwarzer Buchse.

Puste nun kräftig auf den Propeller des 1. Motors und beobachte den 2. Motor

Puste nun kräftig auf den Propeller des 2. Motors und beobachte den 1. Motor

Was beobachtest Du bei den Experimenten 9.1 und 9.2, welche Energieumwandlungen finden statt, erkläre hier:

11. Experimente mit dem Solarmotor und einem Speichermodul

Das Speichermodul SUSE 4.12 kann die elektrische Energie speichern, die von der Solarzelle oder vom Generator (Motor als Generator verwendet) erzeugt wird.



11.1 Speicherung der elektrischen Energie einer Solarzelle

Ziehe den Verbindungsstecker! Vor jedem Experiment Speichermodul entladen durch Drücken der Taste T für 2 Sekunden!

Schließe mit 2 Laborkabeln den Plus- und Minuspol der Solarzelle (rot- schwarze Buchsenpaar) polrichtig (rot an rot, schwarz an schwarz) an den Solarspeicher SUSE 4.12 und lade den Speicher auf, indem Du die Solarzelle mit Licht bestrahlst, entweder mit dem natürlichen Sonnenlicht oder durch Bestrahlung mit einer Halogenlampe. Die Ladezeit sollte ca. 3 Minuten betragen. Ziehe nun das Laborkabel vom Pluspol (rot) der Solarzelle ab und verbinde es mit dem Pluspol des Motors (gelbe Buchse).

Was beobachtest Du, erläutere und erkläre hier:

11.2 Vertiefung von 11.1

Führe den Versuch genau so durch, schließe aber an das Buchsenpaar des Solarspeichers SUSE 4.12 ein Voltmeter im Messbereich 20 V DC an. Bestimme mit einer Stoppuhr im Moment des Verbindens des Speichers mit dem Solarmotor die Spannung U und trage die Werte in die Tabelle ein:

Zeit in min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
U in V																

Was beobachtest Du, werte die Tabelle aus, erkläre hier:

11.3 Aufladen des Speichermoduls mit dem Solarmotor

SchlieÙe das schwarz gelbe Buchsenpaar des Solarmotors an den Solarspeicher an. Da im Generatorbetrieb des Motors die Pole vertauscht sind, muss der gelbe Pol des Solarmotors mit dem schwarzen -Pol des Speichers verbunden werden, der schwarze Pol des Solarmotors mit dem roten +Pol des Speichers. Puste nun kräftig ca. eine Minute auf den Propeller und beobachte anschließend den Effekt:

Was beobachtest Du, erläutere und erkläre hier:

Du kannst auch wie in 10.2 ein Voltmeter anschließen und die Spannung messen und den Verlauf beobachten:



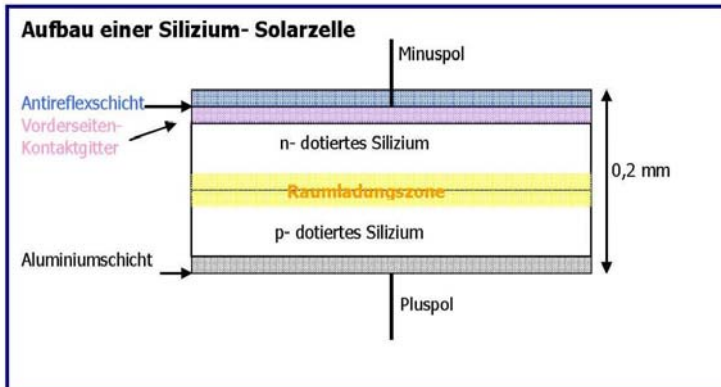
**Photovoltaik-
System
SUSE**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung

**Solarthermiesystem
Wärme von der Sonne**



Aufbau und Funktion einer Silizium- Solarzelle (Niveaustufe 2- Klasse 8/9)



Eine Solarzelle ist eine großflächige Silizium- Halbleiterdiode, die **n- dotierte Schicht** ist die **Oberseite** der Solarzelle, hier dringt das Licht ein, die blaue Farbe entsteht durch die **durchsichtige (!) dünne Antireflexschicht**. Die **n- dotierte Seite** ist der **Minuspol** der Solarzelle! Die dünnen Silberleiter dienen als elektrische Leiter zur Abnahme des Stroms. Die **p- dotierte Schicht** ist die **Unterseite** der Solarzelle, sie ist normalerweise hauchdünn mit Aluminium beschichtet und sieht daher grau aus. Aufgedruckte Silberleiter dienen zum Anlöten von Drähten. Unten ist der **Pluspol** der Solarzelle. Der **innere lichtelektrische Effekt** der **Ladungstrennung** findet am **p-n- Übergang** statt. Weitere Erklärungen im NILS- ISFH- PV- Handbuch auf DVD.

Wie funktioniert eine Solarzelle?

Niveaustufe II

1. Elektrische Spannung U Leerlaufspannung U_{oc}

Eine Solarzelle liefert im Leerlauf (= Spannung ohne angeschlossenen Verbraucher) eine **typische Spannung von 0,5 – 0,61 V**. Der genaue Wert der **Leerlaufspannung U_{oc}** ist vom Material des Halbleiters, der Dotierung, der Temperatur und der Bestrahlungsstärke S abhängig, jedoch **unabhängig von der Fläche** (Größe) der Solarzelle.

2. Elektrische Stromstärke I Kurzschlussstrom I_{sc}

Die **maximale elektrische Stromstärke I_{sc} (=Kurzschlussstrom)**, die eine Solarzelle generieren kann, hängt von 3 Faktoren ab:

- **Fläche der Solarzelle:** Je größer die Fläche, desto höher ist I (I_{sc} ist proportional zur Fläche)!
- **Intensität der auftreffenden Lichtstrahlung:** Je höher die Lichtintensität S , desto höher ist I (proportional)!
- **Qualität der Solarzelle** (sehr gute Solarzellen: $I_{sc} = 35 - >40 \text{ mA/cm}^2!$)

Die **Ursache des Stroms** sind die pro Zeiteinheit in der Sperrschicht (p-n-Übergang) **durch einwirkende Lichtquanten entstandenen freien Elektronen**, die aufgrund eines inneren elektrischen Feldes auf die (n- dotierte) Oberseite der Solarzelle diffundieren und von dort über den äußeren Stromkreis auf die (p- dotierte) Unterseite gelangen. Dieser Prozess heißt **„innerer lichtelektrischer Effekt“**, erklärt durch Einstein 1905.

Wird der Solarzelle Strom entnommen, sinkt die Spannung U . Der genaue Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke wird in der $U - I$ - Kennlinie einer Solarzelle dargestellt, in der Datei Niveaustufe III erklärt. Die **maximale Leistung** wird nur in einem bestimmten Punkt, d.h. bei einer ganz bestimmten Spannung und Stromstärke erreicht, dieser Punkt heißt **MPP = Maximum Power Point**, wichtig in der Praxis! Der **Wirkungsgrad einer Solarzelle** liegt bei ca. **16 – 22 %**, d.h. nur 16 – 22% der Energie des einfallenden Lichts wird in elektrische Energie umgewandelt.

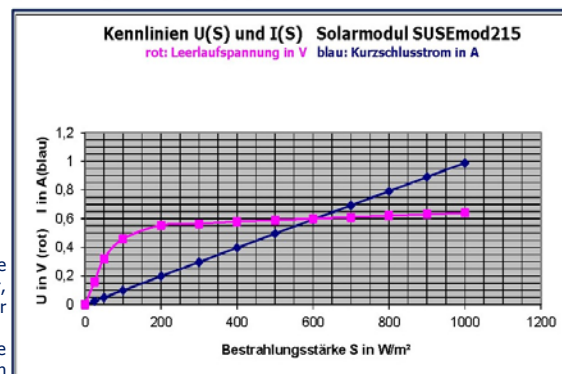


Rechts: Die $U(S)$ - Kennlinie (rot) und die $I(S)$ - Kennlinie (blau) der SUSE- Solarzelle SUSEmod215.

Die Bestrahlungsstärke S ist die Lichtintensität in Watt pro m^2 , 0 bedeutet absolute Dunkelheit, 1000 bedeutet strahlender Sonnenschein bei tiefblauem Himmel im Sommerhalbjahr.

Oben links: Die Oberseite der SUSE- Solarzelle 52x52 mm mit einer Dicke von 0,2 mm. Die blaue Färbung ist die (durchsichtige!) Antireflexschicht, die hellen Linien (reines Silber!) sind elektrische Leiter, das Vorderseitenkontaktgitter ist der Minuspol der Solarzelle. Am breiten Streifen können Zellverbinder oder Kabel angelötet werden. Unter der blauen Schicht erkennt man die Silizium – Kristalle.

Oben rechts: Die Unterseite der SUSE- Solarzelle 52x52 mm. Die graue Schicht ist die metallische Rückseite, reines Aluminium, der Pluspol der Solarzelle. Da Aluminium nicht gelötet werden kann, ist ein Silberstreifen zum Anlöten von Zellverbindern/Anschlusskabeln aufgebracht.



26 Testfragen zum Solarmodul, zur Photovoltaik und zu den Experimenten

1. Aus welchem Material bestehen Solarzellen?
2. Welche Energieumwandlung findet in einer Solarzelle statt?
3. Warum sind Solarzellen auf der Vorderseite blau und auf der Rückseite grau?
4. Was bedeuten die vielen dünnen Linien auf der Vorderseite der Solarzelle?
5. Wo sind die elektrischen Pole der Solarzelle?
6. Wie groß ist die elektrische Spannung einer Solarzelle bei Bestrahlung mit Sonnenlicht bei strahlendem Sonnenschein? ($S = 1000 \text{ W/m}^2$)
7. Um eine größere Spannung zu erhalten, schaltet man 8 Solarzellen in Reihenschaltung. Zeichne diese Schaltung und gib die Spannung an, wenn diese Reihenschaltung von strahlendem Sonnenschein bestrahlt wird.
8. Wie dick ist eine Solarzelle (Angabe in mm und in μm)?
9. Was versteht man unter „Kurzschlussstrom“? Warum darf man eine Solarzelle kurzschließen, einen Akku dagegen niemals?
10. Wie kann man durch Messungen die Qualität einer Solarzelle bestimmen?
11. Wie kann man mit der Solarzelle Deines Solarmoduls die Lichtintensität (= Bestrahlungsstärke S) bestimmen?
12. Bei grauem, bewölkten Himmel misst Du mit Deiner Solarzelle einen Kurzschlussstrom von $I = 100 \text{ mA}$. Wie groß ist die Lichtintensität (Bestrahlungsstärke) des Tageslichts?
13. Wie groß ist der Wirkungsgrad der im Modul SUSE CM4MBV verwendeten Solarzelle?
14. Eine große, quadratische 6-Zoll-Solarzelle (6 Zoll = 156 mm) hat im strahlenden Sonnenschein eine Leerlaufspannung von 0,61 V und einen Kurzschlussstrom von 9,0 A. Nun wird sie mit dem Laser in 9 gleiche Quadrate mit einer Kantenlänge von 52 mm geschnitten. Wie groß sind Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom einer kleinen Solarzelle?
15. Eine ganze Schulklasse (30 Schüler) verschaltet ihre Module in einer Reihenschaltung und stellt diese in den strahlenden Sonnenschein. Wie groß sind Spannung und Kurzschlussstrom der Reihenschaltung?
16. Du willst mit den selbstgebauten Solarmodulen ein Smartphone laden. Dieses Gerät benötigt eine Ladespannung von 5 V. Wie musst Du vorgehen, zeichne eine Schaltung und erkläre!
17. Wie groß sind Leerlaufspannung, Kurzschlussstrom und elektrische Leistung Deiner Solarzelle bei bewölktem Himmel mit $S = 500 \text{ W/m}^2$?
18. Warum entsteht elektrische Energie, wenn man auf den Propeller pustet (Verbindungsstecker abgezogen)
19. Warum ist der Wirkungsgrad von Si-Solarzellen mit <25% so gering und kann nicht weiter erhöht werden?
20. Welches Element wird häufig zur n-Dotierung, welches zur p-Dotierung verwendet?
21. Eine Solarzelle in einem Solarmodul auf einem Dach wird durch ein aufgefallenes Blatt zu 70% abgedeckt. Wie wirkt sich das auf ihre Spannung/Stromstärke/Leistung aus?
22. Die Solarzelle von Aufgabe 21 ist in Reihenschaltung mit 59 weiteren Solarzellen verbunden. Wie wirkt sich die 70%-Abdeckung auf die weiteren Solarzellen aus?
23. Von welchen Faktoren hängt die Größe des Kurzschlussstroms einer Solarzelle ab?
24. Von welchen Faktoren hängt die Leerlaufspannung einer Solarzelle ab?
25. Eine (in schwarzes Papier eingepackte) Solarzelle kann man auch als Halbleiter-Diode nutzen: Erkläre!
26. Durch Pusten auf den Propeller lässt sich ein GoldCap-Speicher aufladen. Erläutere das Experiment!

Niveaustufen:

Grün: einfach

Blau: mittel

Rot: niveauvoll

Für Lehrkräfte gibt es die Lösungen der Fragen bei NILS-ISFH oder bei SUNdidactics.de