

SUN didactics
SolarEnergyDidactics
SolarEducation
SolarEngineering
Photovoltaics + Solarthermal
innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung
innovative solar- systems for school, college, technical education

NILS ISFH
Kooperationspartner cooperation partner
 Lernwerkstatt NILS-ISFH
 am Institut für Solarenergieforschung
 ISFH
 An- Institut der Leibniz Universität
 Hannover
Solartechnik
Solardidaktik
Solare Wissenschaft
 Solar technology Solar didactics
 Solar science

Photovoltaik-System
SUSE
Solartechnik
Experimentiergeräte
Solare Experimente von der Grundschule bis zum Abitur
 Solar technology
 Experimentation devices
 Solar experiments

BNE
Bildung für nachhaltige Entwicklung
 Education for Sustainable Development

Solardidactic – Solarzellen – Solarmodule – PV- Experimentiergeräte – PV –Experimentieranleitungen – Solarthermie- Experimentiergeräte
 didaktische Konzepte – Solarberatung – Fortbildung – solare Aus- und Weiterbildung – Solarspielzeug
 Solardidactics + solar cells + solar modules + photovoltaic experiment devices + solar toys + solar education and training

SUNdidactics Solar Systems Hildesheim, Germany

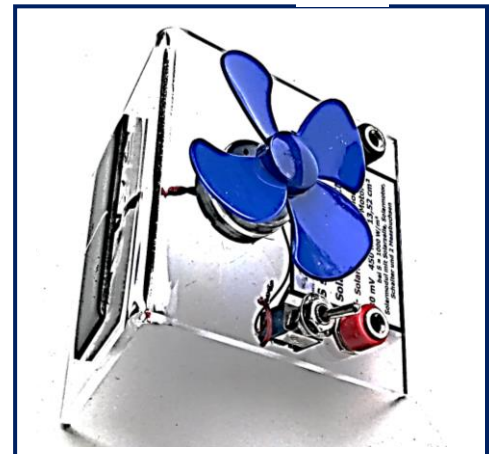
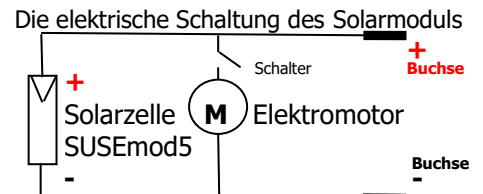
Phone: +49(0)5121 860730 Fax: +49(0)3222 3706689 Mail: info@sundidactics.de Mobile: +49(0)1757660607 Web: www.sundidactics.de skype: wolfschanz

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

Experimentierbuch für Experimente mit dem Solarmodul SUSE CM315



- | | |
|--|-----------------|
| 1. Info und Energieumwandlung | Seite 1 |
| 2. Elektrische Spannung | Seite 2 |
| 3. Elektrische Stromstärke | Seite 3 |
| 4. Elektrische Leistung | Seite 4 |
| 5. Qualität der Solarzelle | Seite 4 |
| 6. Reihenschaltung von Solarzellen | Seite 5 |
| 7. U,I in Abhängigkeit von der Fläche | Seite 7 |
| 8. Wirkungsgradbestimmung von Solarzellen | Seite 8 |
| 9. Messung der Bestrahlungsstärke (Lichtintensität) | Seite 8 |
| 10. Experimente mit zusätzlichen Solarmotoren | Seite 10 |
| 11. 7 weitere Experimente zum Tüfteln und Forschen | Seite 11 |
| 12. Info zur Funktion der Solarzelle | Seite 13 |
| 13. 26 Test- Fragen zu den Experimenten | Seite 14 |



Das Solarmodul SUSE CM315

Auf dem dachförmigen Plexiglasträger befindet sich links die Solarzelle, rechts der Elektromotor mit Propeller, der Schalter und die 2 Buchsen

1. Das **Solarmodul SUSE CM315** ist ein **Einsteiger- Solarmodul mit einer hochwertigen Solarzelle SUSEMod5 52mm x 26mm in einem Solarmodul des Formats 60mm x 30mm.**

An die Buchsen können Laborkabel angeschlossen werden, um ein Multimeter oder weitere Geräte anzuschließen, hier können die Solarzellenspannung und der Kurzschlussstrom gemessen werden. Das Solarmodul ist einfach herzustellen und kann mit mehreren Experimenten zur Demonstration der Photovoltaik (Umwandlung von Lichtstrahlung in elektrische Energie) eingesetzt werden. Mit dem Schalter kann der Solarmotor aus- oder eingeschaltet werden.

Als Lichtquelle für die Experimente sind möglich:

- Sonnenlicht (strahlender Sonnenschein oder bewölkter Himmel)
- das Licht auf der Glasplatte eines leistungsstarken Overhead- Projektors
- das Licht eines Scheinwerfers (Halogenstrahler, Baustrahler 120W oder Rotlichtlampe)

Elektrische und mechanische Daten der Solarzelle und des Solarmoduls:

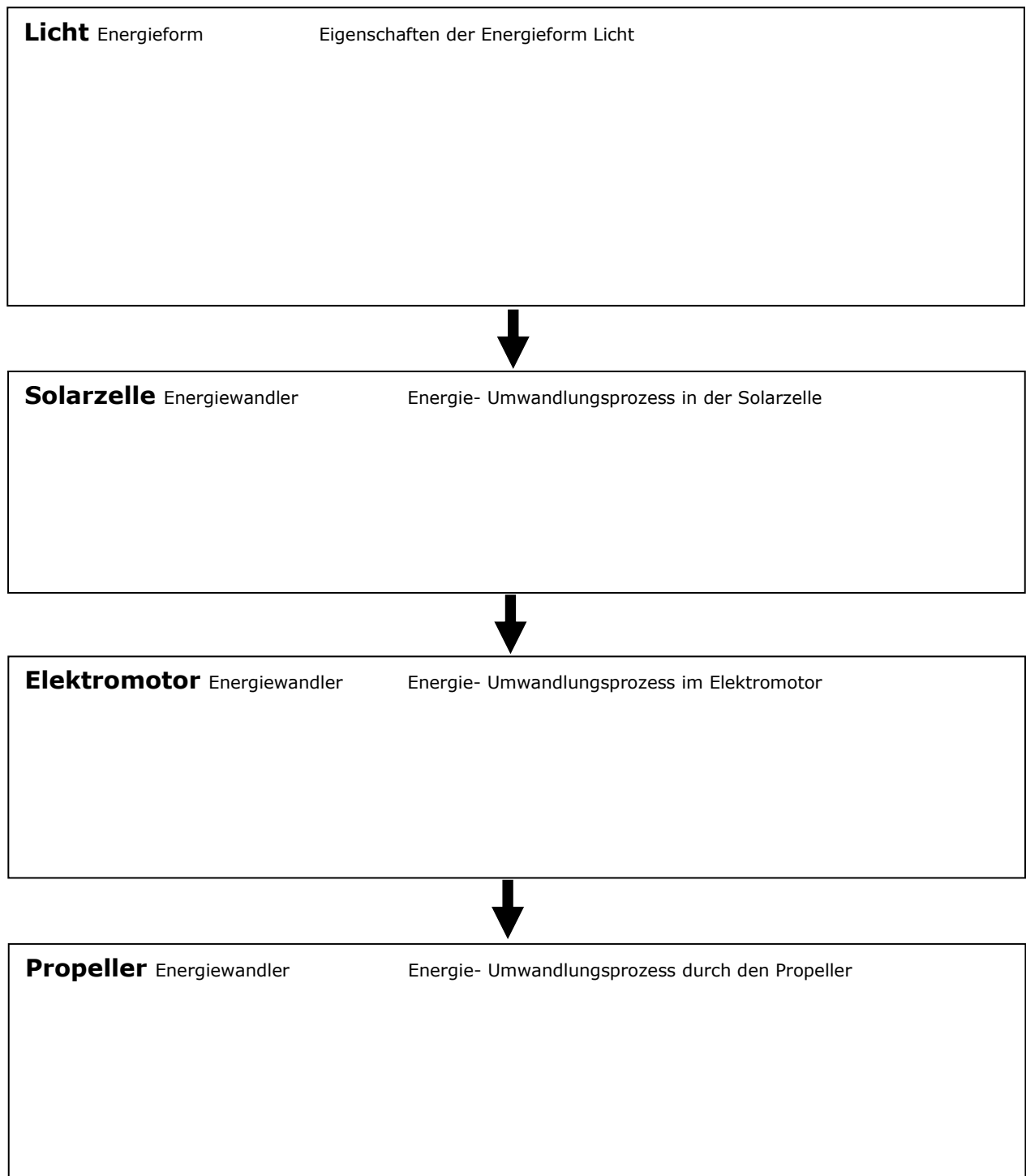
Solarzelle:	Maße: 52mm x 26mm
Solarmodul:	Maße: 60mm x 30mm
Leerlaufspannung	U_{oc} : 0,63 V bei einer Einstrahlung von $S = 1000 \text{ W/m}^2$ = strahlender Sonnenschein im Sommer
Kurzschlussstrom	I_{sc} : 0,45 A bei einer Einstrahlung von $S = 1000 \text{ W/m}^2$ = strahlender Sonnenschein im Sommer

Mit dem selbstgebauten Gerät lassen sich Energie- Umwandlungsprozesse an einem Solarmodul mit Solarzelle, Elektromotor und Propeller demonstrieren.

Nach dem Selbstbau des Solarmoduls wird **zum ersten Test die Solarzelle in Lichtstrahlung gehalten (Natürliches Tageslicht oder das Licht von Halogenstrahlern).**

Wurde das Gerät fehlerfrei gebaut, dreht sich der Propeller schnell und erzeugt eine Luftströmung.

Hierbei laufen mehrere Energieumwandlungsprozesse ab, bearbeite die nachfolgenden „Energiekästen“ und fülle sie mit einem eigenen Text aus.



Die Experimente mit dem Solarmodul SUSE CM315

2. Die elektrische Spannung der Solarzelle

Die Leerlaufspannung U_{oc}

U_{oc} ist die elektrische Spannung U der unbelasteten Solarzelle, es ist kein Gerät an die Solarzelle angeschlossen, oc = open circuit. Gemessen wird im strahlenden Sonnenschein, 40 cm vor einem Halogenstrahler oder 40 cm vor einer Rotlichtlampe oder auf dem Overheadprojektor bei $S = 1000 \text{ W/m}^2$, Motor ausgeschaltet!

Der Wert der Spannung U_{oc} sollte im Sonnenlicht zwischen 0,59V und 0,64V liegen, bei bedecktem Himmel 0,52V- 0,58V, im Innenraum bei ca. 0,3V, *unabhängig von der Fläche!* Bei gleicher Bestrahlungsstärke sollten alle Solarzellen etwa die gleiche Spannung haben, der Standard-Test-Wert wäre 0,62V. Kleine Differenzen sind Qualitätsunterschiede.

Verwende ein Multimeter im Messbereich 20V DC und schließe das Voltmeter mit 2 Laborkabeln polrichtig an die beiden Buchsen der beleuchteten Solarzelle an.

Die Leerlaufspannung hängt nur von der **Lichtintensität**, vom **Material** und der **Qualität der Solarzelle** ab. Bei unserer Solarzelle ist das Material **Silizium Si**.

Messungen zur Spannung:

Ort der Messung	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet oder auf OHProjektor	Draußen bei Sonnenschein im Schatten	Draußen bei bedecktem Himmel	Im beleuchteten Innenraum
Leerlaufspannung U in V Solar-Motor EIN				
Leerlaufspannung U in V Solar-Motor AUS				

3. Die maximale Stromstärke der Solarzelle = Kurzschlussstrom

Der Kurzschlussstrom I_{sc} der Solarzelle sc = short circuit

Im Gegensatz zu anderen Stromquellen (Batterie, Netzgerät...) darf man Solarzellen kurzschließen, der Kurzschlussstrom ist sogar eine sehr wichtige Größe bei Solarzellen. Der Strom fließt hier direkt von Minus der Solarzelle über das Amperemeter nach Plus.

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

Der **Wert des Kurzschlussstroms** ist **direkt proportional zur Zellenfläche und zur Lichtintensität** /Bestrahlungsstärke, sowie abhängig von der Qualität. Standard-Test-Wert: Bei der Solarzelle dieses Moduls mit den Maßen 52mm x 26 mm ist die Kurzschluss- Stromstärke bei einer Lichtintensität von 1000W/m² genau **0,45A = 450mA**.

Weitere Messungen:

Ort der Messung	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet oder auf OHProjektor	Draußen bei Sonnenschein im Schatten	Draußen bei bedecktem Himmel	Im beleuchteten Innenraum
Kurzschlussstrom I_{sc} in A und in mA Solar-Motor EIN				
Kurzschlussstrom I_{sc} in A und in mA Solar-Motor AUS				

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

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

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

Der Faktor 0,8 ergibt sich aus der I(U) und P(U)- Kennlinie der Solarzelle, kann in einem SEK II- Experiment mit dem Solarmodul SUSE 5.15 genau bestimmt werden

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

Vereinfachter Ansatz: P ist Leerlaufspannung x Kurzschlussstrom x 0,8. Der Faktor 0,8 erklärt sich über die Kennlinie und den MPP der Solarzelle und lässt sich aus der P(U)- Kennlinie der Solarzelle genau bestimmen.

Weitere Berechnungen (Motor ausgeschaltet), Werte aus Aufgaben 3+4

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				

5. Die Qualität der Solarzelle

$$= \text{Stromdichte } j \text{ in mA/cm}^2$$

Sehr gut: > 40 mA/cm²
 gut: 32- 40 mA/cm²
 mittel: 24- 32 mA/cm²
 schlecht: < 24 mA/cm²
 Bei einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m² !!

Maximal möglicher theoretischer Wert: 45 mA/cm²

Die **Stromdichte j** (in mA/cm²) gibt an, wieviel Stromstärke ein **1 cm² großes Stück der Solarzelle** produziert, **je mehr, desto besser! Dazu muss die Einstrahlung genau 1000 W/m² betragen** (internationaler Standard- Wert = strahlender Sonnenschein oder OHP- Projektor), denn bei geringerer Einstrahlung <1000 W/m² ist die Stromdichte j natürlich auch geringer!

Kurzschlussstrom in mA

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

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

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

Art der Solarzelle im Solarmodul: Bitte Zelltyp umkringeln

monokristalline Solarzelle – **polykristalline Solarzelle**

Erkläre stichpunktartig den unterschiedlichen Aufbau dieser beiden Zelltypen (Internet)

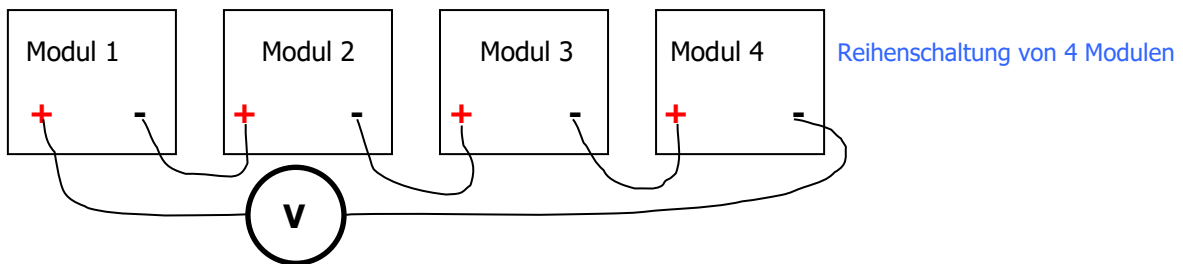
6. Reihenschaltung von Solarzellen

Solarzellen lassen sich in beliebiger Anzahl in Reihe schalten, um höhere Spannungen zu erreichen! In der Photovoltaik- Technik werden in den großen Solarmodulen meist 36...72 Solarzellen in Reihe geschaltet.

Mehrere Module SUSE CM315 in Reihenschaltung:

Lege die Module ins Sonnenlicht oder (mit der Oberseite nach unten!) auf einen Overheadprojektor und verschalte 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-Radio betreiben! Probiere es aus!



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

Ergänze die Tabelle nach unten, falls Du mehr als 4 Module in Reihe schaltest!

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

U_{ges} =V

I_{sc} =A

Was fällt auf, beschreibe und erkläre!

Erkläre die Reihenschaltung hier! Zeichne hier einen Schaltplan mit 4 Solarzellen:

Erstelle eine Reihenschaltung aus 6 Solarmodulen und schließe folgende Geräte an:

A) ein Solar Radio SUSE 4.36

B) ein LED- Modul SUSE 4.15 rot, grün, blau oder rainbow

Probiere die Funktion des Radios/des LED- Moduls an den 4 Möglichkeiten aus:

- a) im Freien,**
- b) auf dem OHP**
- c) vor einem Halogenstrahler/Rotlichtlampe**
- d) im beleuchteten Innenraum**

Notiere hier die Ergebnisse und erkläre:

Weitere Experimente:

- **Anschluss eines Handyladers SUSE 4.17 an 14- 20 Solarzellen in Reihenschaltung.**
- **Aufladen des Energiespeichers und anschließendes Fahren des SUSE Solarfahrzeugs 1 oder Fahrzeugs 4 mit 2- maximal 4 Solarmodulen CM 315 in Reihenschaltung oder Solarfahrzeug SF1.2 mit 6 Solarmodulen in Reihenschaltung.**

7. 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 CM315 40 cm vor einen Halogenstrahler 120 W, 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 10A DC), berechnen die Leistung P ($P= 0,8 \cdot U_{oc} \cdot I_{sc}$) 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 bei den Ergebnissen auf? Notiere hier Deine Beobachtungen und Erklärungen:

Der Wirkungsgrad gibt an, wieviel % der eingestrahnten Lichtenergie in elektrische Energie umgewandelt wird.

8. Wirkungsgradbestimmung einer Solarzelle

Voraussetzung: Overheadprojektor oder Sonnenlicht mit der Bestrahlungsstärke 1000 W/m^2

- Umrechnung der Lichtleistung 1000 W/m^2 bzw. $0,1 \text{ W/cm}^2$ auf die **wirkliche Fläche** der Solarzelle:

Die Zelle hat eine Fläche von $13,52 \text{ cm}^2$, sie erhält bei 1000 W/m^2

eine **Lichtleistung** von :..... **W**

- Die elektrische Leistung (Aufgabe 4) war bei der gemessenen Zelle $P_E = \dots\dots\dots \text{W}$

- Wirkungsgrad = elektrische Leistung P_E : Lichtleistung P_L * 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- 24 % Polykristalline Zellen: 16 – 20 %

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

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

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

Mit der hier verwendeten kalibrierten Solarzelle kann die Lichtintensität des Lichts genau bestimmt werden, da der Kurzschlussstrom proportional zur Lichtintensität = Bestrahlungsstärke S ist.

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

$$I_{sc} = \dots\dots\dots 0,45 \dots\dots\dots \text{A} = \dots\dots\dots 450 \dots\dots\dots \text{mA}$$

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

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

I_{sc} in A	=	I_{mess} in A	oder nach S_x umgestellt:	$S_x = \frac{I_{mess} \text{ (in A)} * 1000}{0,45A}$
1000 W/m^2		$S_x \text{ W/m}^2$		

Dabei ist:

I_{sc} in A	der kalibrierte Kurzschlussstrom bei $1000 \text{ W/m}^2 = 0,45 \text{ A}$
I_{mess} in A	der gemessene Kurzschlussstrom bei der Bestrahlungsstärke S_x
S_x in W/m^2	die Bestrahlungsstärke der Lichtstrahlung im Experiment

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 35W (Strahler SUSE 5.16)		
40 cm vor Halogenstrahler 120W oder Rotlichtlampe		
Im Innenraum Zum Fenster hin ausgerichtet		
Im Innenraum Zur Decke hin ausgerichtet		

Was fällt Dir bei den Experimenten auf, erläutere hier:

10. Experimente mit zusätzlichen Solarmotoren

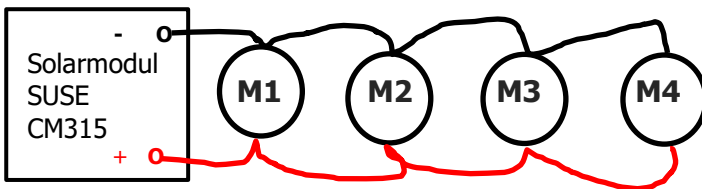


Für dieses Experiment sind 4 zusätzliche Solarmotoren SUSE 4.16 erforderlich.

Die Leistung der Solarzelle ist bei Bestrahlung mit Sonnenlicht, bei leicht bedecktem Himmel oder bei Bestrahlung mit Halogenlicht so groß, dass sie neben dem eingebauten Elektromotor auch weitere Elektromotoren antreiben kann. Diese kann man in **Parallel- oder in Reihenschaltung** an die Solarzelle schalten.

10.1 Parallelschaltung mit max. 4 zusätzlichen Motoren M1- M4:

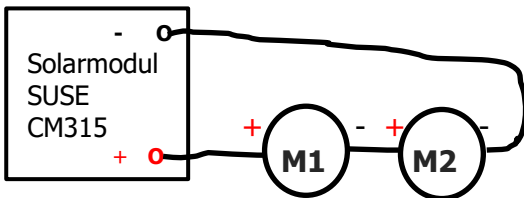
Richte die Solarzelle zur Sonne aus oder bestrahle sie mit Halogenlicht. Schalte den Solarmotor ein. Verbinde die rote Buchse des Solarmoduls mit der roten Buchse des Solarmotors und beide schwarze Buchsen mit je einem Laborkabel (rot bzw. schwarz). Teste, ob beide Motoren laufen! Ergänze einen weiteren Motor, indem in die Buchse im roten Kabel ein weiteres rotes Kabel zur roten Buchse des 2. zusätzlichen Motors und schwarz mit schwarz verbunden wird. Teste wiederum. Führe das Experiment weiter, bis 4 zusätzliche Motoren angeschlossen sind.



Parallelschaltung von 4 zusätzl. Motoren

10.2 Reihenschaltung mit max. 4 zusätzlichen Motoren M1- M4:

Richte die Solarzelle zur Sonne aus oder bestrahle sie mit Halogenlicht. Schalte den Solarmotor ein. Baue folgende Schaltung auf:



Teste diese Schaltung! Wenn sich die Motoren drehen, kannst Du M3 und M4 in Reihenschaltung ergänzen. Teste auch diese Version!

Notiere Deine Beobachtungen und Ergebnisse hier, erkläre die Unterschiede der Ergebnisse zwischen Parallel- und Reihenschaltung.

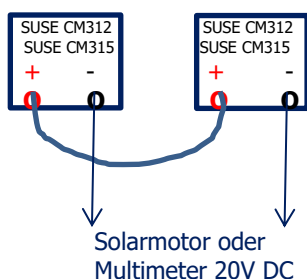
Zusatzfrage (niveauvoll) unter Verwendung der technischen Daten der Solarzelle:

Wieviele Motoren kann man im strahlenden Sonnenschein in Parallel- und Reihenschaltung anschalten, wenn jeder Motor 0,4V/40mA benötigt?

11. 7 Zusatzexperimente für Experimente mit SUSE CM315 zum Tüfteln und Forschen mit Zusatzgeräten

- 11.1 **Falsche Reihenschaltung** von 2 Modulen CM315, Tests mit Solarmotor und Multimeter
- 11.2 **4 Solarmotoren SUSE 4.16** mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und Drehrichtung an 2 Module CM315
- 11.3 **Lade Dein Smartphone mit Strom aus Solarzellen**
- 11.4 **Schließe LED's an Solarmodule an!**
- 11.5 **Verwende Module SUSE CM315** als **Solartankstelle** für 2 Solar Elektrofahrzeuge SF4 oder SF1.2 mit Wettrennen
- 11.6 **Zeige Dein Alter** (Vater, Mutter, Oma, Opa...) mit 1x SUSE CM315 und 100mA- Meter analog oder 200mA- Meter digital.
- 11.7 **Energie- Schildbürger**, Energie hereinholen zum Betrieb einer LED im abgedunkelten Raum mit xx Modulen CM315, Speicherbaustein SUSE 4.12 und LED- Modul SUSE 4.15

11.1 Falsche Reihenschaltung 2er Module CM315, Tests mit Solarmotor und Multimeter



2 Solarmodule SUSE CM 312 oder CM315 werden im Freien zur Sonne ausgerichtet oder im Unterrichtsraum ca. 30 cm vor einen Halogenstrahler 120 W (oder Grundgerät SUSE 4.0) nebeneinander aufgestellt, die Solarzellen zeigen zur Lampe. Die Motoren der beiden Module sind eingeschaltet. Die beiden Pluspole werden verbunden, an den beiden Minuspolen wird der Solarmotor oder ein Multimeter im MB 20V DC angeschlossen.

Teste die Wirkung der falschen Reihenschaltung und **erstellen eine Erklärung.**

Benötigte Bauteile: 1x Halogenstrahler 120 W auf Fuß oder Grundgerät SUSE 4.0 mit schaltbarer Steckdose, 2 Solarmodule SUSE CM315, 1 Solarmotor SUSE 4.16, 1 Multimeter, 2 Laborkabel rot + schwarz

- 11.2 **Schließe 4 Solarmotoren SUSE CM416** mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und unterschiedlicher Drehrichtung an 2 Module SUSE CM315 an! Die 4 Propeller sollen sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und unterschiedlicher Drehrichtung drehen! Experiment im Freien im natürlichen Tageslicht oder im Labor mit Halogenstrahler 120 W.

Benötigte Bauteile: 1x Halogenstrahler 120 W auf Fuß oder Grundgerät SUSE 4.0 mit schaltbarer Steckdose, 2 Solarmodule SUSE CM315, 4 Solarmotoren SUSE 4.16, 1 Multimeter, 10 Laborkabel, 5x schwarz, 5x rot

11.3 Lade Dein Smartphone mit Solarstrom!

Smartphones werden mit 5V DC geladen, üblicherweise mit einem USB- Stecker- Kabel. Hierzu nehmen wir das Lademodul SUSE 4.17, welches am Ausgang 5V DC an einer USB- Buchse hat, am Eingang benötigen wir Solarstrom mit einer Spannung von 8V bis 24V. Überlege, wie man Solarmodule SUSE CM312/315 zusammen verschalten kann, um 8V zu erreichen. Führe das Experiment durch! Mit einem Multimeter kann man messen, ob 8V erreicht wurden. Du kannst auch größere Module (viele Solarzellen im Alu- Rahmen) verwenden! Teste es!

Benötigte Bauteile: Mehrere Solarmodule SUSE CM315, 1 Multimeter, mehrere Laborkabel, 1 Smartphone- Lademodul SUSE 4.17, Solarmodule 5W oder 10W oder 20W aus dem Labor.

- 11.4 **Schließe 4 LED- Module SUSE 4.15** (rot, grün, blau rainbow) an **mehrere Solarmodule SUSE CM315** so an, so dass sie gleichzeitig leuchten!

LEDs benötigen eine Mindestspannung, damit sie leuchte, diese ist bei unterschiedlichen Farben verschieden: rot ca. 1,6V, grün ca. 2V, blau ca. 2,8V, rainbow ca. 3V. Gehe mit mehreren Modulen SUSE CM312/315 ins Freie oder im Labor vor einen Halogenstrahler und bringe die LEDs zum Leuchten.

Benötigte Bauteile: 1x Halogenstrahler 120 W auf Fuß oder Grundgerät SUSE 4.0 mit schaltbarer Steckdose, mehrere Solarmodule SUSE CM312/315, 4 LED- Module SUSE 4.15 rot+blau+grün+rainbow, 1 Multimeter, mehrere Laborkabel

11.5 2 Solarfahrzeuge SF1 oder SF4 werden an **4 Solarmodulen SUSE CM315** als Solartankstelle aufgeladen und ein Wettrennen gefahren.

Mit der elektrischen Energie aus Solarzellen können wir die 2 Elektrofahrzeuge SF1.2 oder SF4 aufladen, SF1.2 benötigt maximal 5,0 V Ladespannung, SF4 maximal 2,4 V.

Baue Dir aus mehreren Solarmodulen SUSE CM312/315 oder mit anderen Module aus dem Labor eine Solartankstelle, lade die Fahrzeuge auf und lass sie fahren! Fahre evtl. ein Wettrennen mit 2 Fahrzeugen, die mit unterschiedlichen Solartankstellen geladen wurden! Der Versuch kann im Freien oder im Labor mit Halogenlicht durchgeführt werden.

Benötigte Bauteile: 1x Halogenstrahler 120 W auf Fuß oder Grundgerät SUSE 4.0 mit schaltbarer Steckdose, mehrere Solarmodule SUSE CM315, 2 Solarfahrzeuge SF1 oder SF4, 1 Multimeter, mehrere Laborkabel

11.6 Zeige Dein Alter (Vater, Mutter, Oma, Opa, LehrerIn...) mit 1 Solarmodul SUSE CM315 Das Solarmodul wird im Unterrichtsraum ca. 50 cm vor einen Halogenstrahler 120 W (oder Grundgerät SUSE 4.0) aufgestellt, die Solarzellen zeigen zur Lampe. An das schwarz- rote Buchsenpaar wird ein **analoges Amperemeter** (Demonstrationsgerät) oder ein digitales Amperemeter (MB 200 mA) angeschlossen, das Solarmodul wird nun so weit entfernt, dass der Zeiger genau auf „100“ zeigt = Alter 100 Jahre. Durch geschicktes Abdecken / Abschatten der Solarzellen mit der Hand lässt sich der Zeigerausschlag/die Anzeige so weit verringern, bis das gewünschte Alter angezeigt wird.

Benötigte Bauteile zu Exp.5: 1x Halogenstrahler 120 W auf Fuß oder Grundgerät SUSE 4.0 mit schaltbarer Steckdose, 1 Solarmodul SUSE CM312/315, 1 analoges Amperemeter 100 mA (Demonstrationsgerät) oder ein digitales Amperemeter, 2 Laborkabel

11.7 Energie- Schildbürger: Energie hereinholen zum Betrieb einer LED im abgedunkelten Raum.

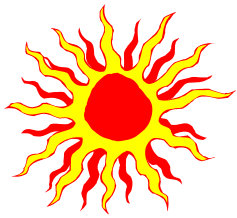
Erzeuge draußen mit maximal 7 Solarmodulen SUSE CM312/315 elektrische Energie draußen und tanke diese in einen Solarspeicher SUSE 4.12. Bringe die Energie im Speicher in den abgedunkelten Innenraum, um eine LED zu betreiben.

Benötigte Bauteile: Mehrere Solarmodule (maximal 7) SUSE CM312/315, 1 Energiespeicher SUSE 4.12, 1 LED- Modul SUSE 4.15, 1 Multimeter, mehrere Laborkabel

Viel Freude beim Experimentieren!

Bei Problemen hilft Dir Dein NILS- ISFH- Betreuer!

via www.nils-isfh.de info@sundidactics.de 0175 7660607



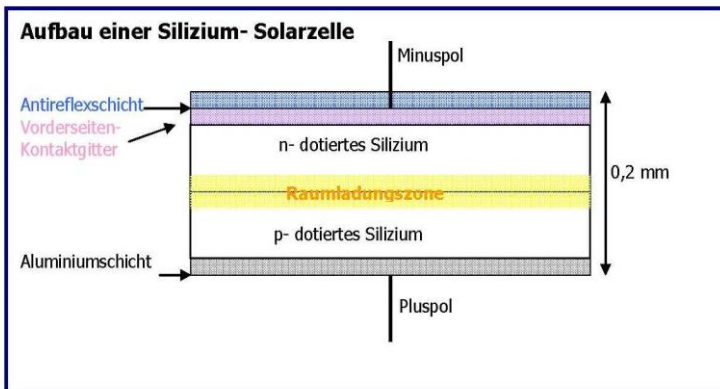
Photovoltaik-System SUSE

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.

11. 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 0,55 – 0,65 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.

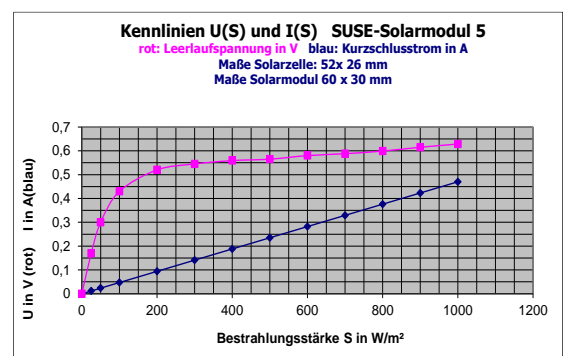
Wird der Solarzelle Strom entnommen, sinkt die Spannung U . Der genaue Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke wird in der $U - I$ - Kennlinie einer Solarzelle dargestellt, in der Datei Niveaustufe III erklärt. Die **maximale Leistung** wird nur in einem bestimmten Punkt, d.h. bei einer ganz bestimmten 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 SUSEmod5.

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 $52 \times 52 \text{ mm}$ mit einer Dicke von $0,2 \text{ mm}$. Die blaue Färbung ist die (eigentlich 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 $52 \times 52 \text{ mm}$. 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 Fragen zum Solarmodul und zu den Experimenten

Einfach
Mittel
Niveauvoll

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

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 $I = 50 \text{ mA}$. Wie groß ist die Lichtintensität (Bestrahlungsstärke) des Tageslichts?
13. Wie groß ist der Wirkungsgrad einer Standard- 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 8,1 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 mit 30 Schülern 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. Quadratische Solarzellen werden heute im Maß 6 Zoll hergestellt. Wie groß ist die Seitenlänge in mm?
19. 10 Solarzellen werden parallel geschaltet. Welche Wirkung hat diese Schaltung?
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 35 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. Erkläre die beiden Solarzellen- Kennlinien auf S.13 unten rechts!