



Photovoltaik-System SUSE

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung

Solarthermiesystem
Wärme von der Sonne



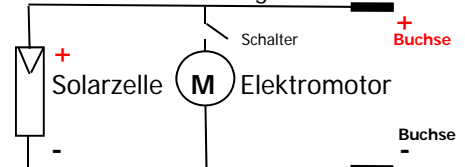
Name:.....Schule:.....Datum:.....

Experimentierbuch für Experimente mit dem Solarmodul SUSE CM312/315/316 Lernstation **C15**



- | | |
|---|----------|
| 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 |

Die elektrische Schaltung des Solarmoduls



Die Solarmodule SUSE CM312/CM315/CM316
Auf dem dachförmigen Plexiglasträger befindet sich auf der einen Seite die Solarzelle, auf der anderen Seite der Elektromotor mit Propeller, der Schalter und die Messbuchsen.

1. Die **Solarmodule SUSE CM312/CM315** sind baugleiche **Einsteiger- Solarmodule** mit unterschiedlichen Solarzellen:

SUSE CM312: 50 x 33 mm, SUSE CM315: 52 x 26 mm, bei sonst gleicher Ausführung. 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.

SUSE CM316 ist technisch ähnlich zu CM315 (gleiche Solarzelle), hat jedoch ein eigenes Buchsenpaar für den Solarmotor (schwarz-grün) und kann unabhängig von der Solarzelle in allen Experimenten auch als Solarmotor eingesetzt werden.

Als Lichtquelle für die Experimente sind möglich:

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

Elektrische und mechanische Daten der Solarzelle und des Solarmoduls:

Solarzelle CM 312 Maße: 50 x 33 mm **Solarzelle CM315/316** Maße 52 x 26 mm

Solarmodul: SUSE CM312 Maße: 85 x 65 mm mit Glasplatte **SUSE CM315/316:** Maße: 60 x 30 mm

Elektrische Daten bei S = 1000 W/m²- Leerlaufspannung: SUSE CM312/CM315/316: 0,62 V

Kurzschlussstrom: SUSE CM312: 550 mA SUSE CM315+CM316: 450 mA

Mit dem selbstgebauten Gerät SUSE CM312/315/316 lassen sich **Energie-Umwandlungsprozesse** an einem Solarmodul mit Solarzelle, Elektromotor und Propeller demonstrieren und mit Messungen erforschen.

Nach dem Selbstbau des Solarmoduls wird zum ersten Test die Solarzelle in Lichtstrahlung gehalten (Natürliches Tageslicht oder das Licht von Halogenstrahlern). Hierbei laufen mehrere Energieumwandlungsprozesse ab, bearbeite die nachfolgenden „Energiekästen“ und fülle sie mit einem eigenen Text aus.

Didaktische Hinweise

Dieses Experimentbuch zeigt alle möglichen Experimente mit dem selbstgebauten Solarmodul. Die verantwortliche Lehrkraft sucht in Abstimmung mit Lerngruppe und Zeitbudget geeignete Experimente aus!

Energie- Umwandlungsprozesse am Solarmodul SUSE CM312/315/316

Licht Energieform Eigenschaften der **Energieform Lichtstrahlung**



Solarzelle Energiewandler **vom Licht zum Strom** Energie- Umwandlungsprozess in der Solarzelle



Elektromotor Energiewandler **vom Strom zur Drehung** Energie- Umwandlungsprozess im Elektromotor



Propeller Energiewandler **von der Drehung zur Luftströmung** Energie- Umwandlungsprozess durch den Propeller

Die Experimente mit dem Solarmodul SUSE CM312/CM315/316

2. Die elektrische Spannung der Solarzelle

Die Leerlaufspannung U_{oc} der Solarzelle $oc = \text{open circuit}$.

U_{oc} ist die elektrische Spannung U der unbelasteten Solarzelle, es ist kein Gerät an die Solarzelle angeschlossen, der Motor ausgeschaltet!

Der Wert der Spannung U_{oc} sollte **im Sonnenlicht zwischen 0,59V und 0,62V** 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, nicht von der Fläche! Bei unserer Solarzelle ist das Material **Silizium Si**.

Messungen zur elektrischen Spannung der Solarzelle:

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 200 mA oder 20 mA verwenden!

Der Wert des Kurzschlussstroms ist direkt proportional zur Zellenfläche und zur Lichtintensität /Bestrahlungsstärke, sowie abhängig von der Qualität der Solarzelle. Standard-Test-Wert: Bei der Solarzelle des Moduls **SUSE CM312** ist die Kurzschluss- Stromstärke bei einer Lichtintensität von 1000W/m² genau **0,55A = 550mA**, bei **SUSE CM315/316** **0,45A = 450 mA**.

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: Leistung 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), Messwerte aus Aufgaben auf Seite 3

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

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

Extrem Gut: 40 mA/cm²
 Sehr Gut 36- 39 mA/cm²
 Gut 33- 35 mA/cm²
 Mittel: 29- 32 mA/cm²
 Schlecht: < 29 mA/cm²
 Bei einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m², T= 25°C !!
 Maximalwerte aus der Forschung: ca. 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

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

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

Die Qualität der Solarzelle ist.....

Extrem gut - 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 oder NILS-ISFH-PV- Handbuch):

6. Reihenschaltung von Solarzellen

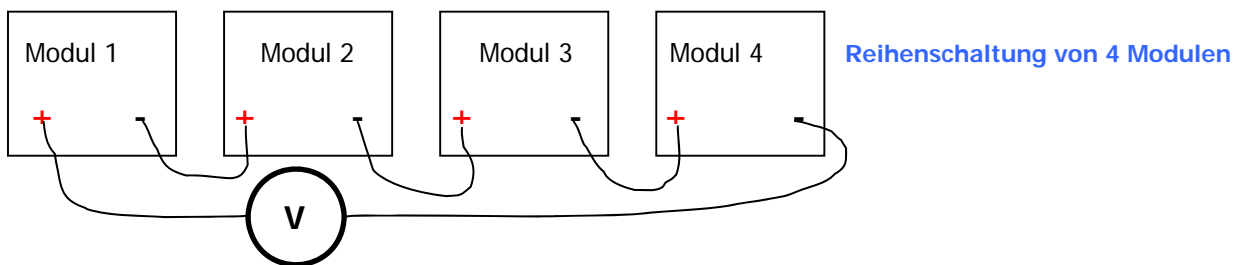
Solarzellen haben eine geringe Spannung, sie lassen sich aber in beliebiger Anzahl **in Reihe schalten**, um höhere Spannungen zu erreichen!

In der Photovoltaik- Technik werden in den großen Solarmodulen meist 18...72 Solarzellen in Reihe geschaltet.

Mehrere Module SUSE CM312/CM315/CM316 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!



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

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

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

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

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

Erkläre die Reihenschaltung hier! Zeichne hier einen Schaltplan mit 4 Solarzellen, notiere und erkläre Deine Beobachtungen:

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 oder rainbow

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

- a) Im Freien,
- b) Auf dem Overheadprojektor
- c) 30 cm vor einem Halogenstrahler 120 W
- d) Auf einem Tisch im beleuchteten Innenraum

Notiere hier die Ergebnisse und erkläre:

Weitere Experimente siehe Seiten 11 + 12

- Anschluss eines Handyladers an 14- 20 Solarzellen in Reihenschaltung.
- Aufladen des Energiespeichers und anschließendes Fahren des SUSE Solarfahrzeugs SF 1.2 oder SF4 mit Solarmodulen CM312/CM315 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 CM312/CM315 auf das Grundgerät SUSE 4.0, genau an die schwarze Linie, 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
 Oder theoretische Berechnung mit den bekannten Daten der Solarzelle

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

Die Zelle CM 315 hat eine Fläche von $13,52 \text{ cm}^2$, CM312 hat $16,5 \text{ cm}^2$ sie erhält bei 1000 W/m^2 auf ihre wirkliche Fläche eine Lichtleistung von :..... W

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

3. 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- 22 % Polykristalline Zellen: 15 – 19 %

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 ist bei einer Bestrahlung von 1000 W/m^2

SUSE CM312: $I_{sc} = 0,55 \text{ A} = 550 \text{ mA}$ SUSE CM315/316: $0,45 \text{ A} = 450 \text{ mA}$

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

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

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

$$S_x = \frac{I_{mess} \text{ (in A)} * 1000}{0,55 \text{ A} \text{ bzw. } 0,45 \text{ A}} \text{ bei CM315/316}$$

Dabei ist: I_{sc} in A der kalibrierte Kurzschlussstrom bei $1000 \text{ W/m}^2 = 0,55 \text{ A} / 0,45 \text{ A}$
 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 150W		
Im Innenraum Zum Fenster hin ausgerichtet		
Im Innenraum Zur Decke hin ausgerichtet		

Was fällt Dir bei den Experimenten auf, erläutere hier:

Bei SUSE CM316 kann ein 2. Modul selbst als Solarmotor verwendet werden:
Motor ausschalten und grün-schwarzes Buchsenpaar für den Solarmotor verwenden!



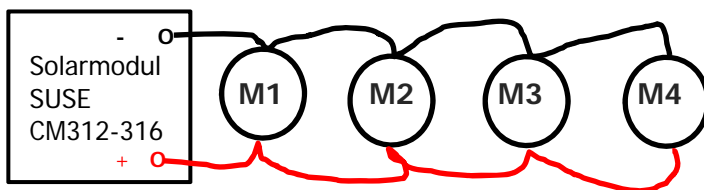
10. Experimente mit zusätzlichen Solarmotoren

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:

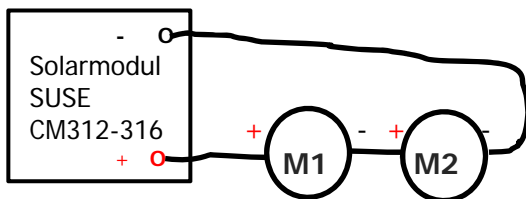
Richte die Solarzelle zur Sonne aus oder bestrahle sie mit Halogenlicht. Schalte den Solarmotor ein. Verbinde die rote Buchse des Solarmoduls mit der roten Buchse des Solarmotors und beide schwarze Buchsen mit je einem Laborkabel (schwarz). Teste, ob beide Motoren laufen! Ergänze einen weiteren Motor, indem in die Buchse im roten Kabel bei M1 ein weiteres rotes Kabel zur roten Buchse des 2. zusätzlichen Motors M2 und schwarz mit schwarz verbunden wird. Teste wiederum. Führe das Experiment so 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.

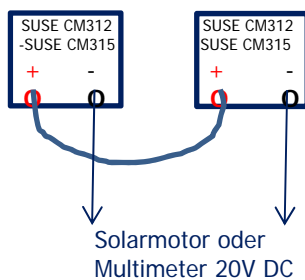
Zusatzfrage (niveauvoll) unter Verwendung der technischen Daten der Solarzelle:

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 CM312/CM315 zum Tüfteln und Forschen mit Zusatzgeräten

- 11.1 **Falsche Reihenschaltung von 2 Modulen CM312/CM315/316**, Tests mit Solarmotor und Multimeter
- 11.2 **4 Solarmotoren SUSE 4.16 mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und Drehrichtung** an 2 Modulen CM312/CM315/316 **CM316 auch als Solarmotor verwenden!**
- 11.3 **Lade Dein Smartphone mit Strom aus Solarzellen**
- 11.4 **Schließe LEDs an Solarmodule an!**
- 11.5 **Verwende Module SUSE CM312-CM316 als Solartankstelle** für 2 Solar Elektrofahrzeuge SF4 oder SF1.2 mit Wettrennen
- 11.6 **Zeige Dein Alter** (Vater, Mutter, Oma, Opa...) mit 1x SUSE CM312-CM316 und 100mA-Meter analog oder 200mA-Meter digital.
- 11.7 **Energie- Schildbürger**, Energie hereinholen zum Betrieb einer LED im abgedunkelten Raum mit xx Modulen CM312-CM316, Speicherbaustein SUSE 4.12 und LED- Modul SUSE 4.15

11.1 Falsche Reihenschaltung 2er Module CM312/CM315, Tests mit Solarmotor und Multimeter



2 Solarmodule SUSE CM 312 oder CM315/316 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 Minuspole wird der Solarmotor oder ein Multimeter im MB 20V DC angeschlossen. Teste die Wirkung der falschen Reihenschaltung und **erstelle eine Erklärung.**

Benötigte Bauteile: 1x Halogenstrahler 120 W auf Fuß oder Grundgerät SUSE 4.0 mit schaltbarer Steckdose, 2 Solarmodule SUSE CM312/CM315/316, 1 Solarmotor SUSE 4.16, 1 Multimeter, 2 Laborkabel rot + schwarz

- 11.2 **Schließe 4 Solarmotoren** SUSE 4.16 mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und unterschiedlicher Drehrichtung an 2 Module SUSE CM312/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 CM312/CM315/316, 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 CM312/315/316 zusammen verschalten kann, um 8V zu erreichen. Führe das Experiment durch! Mit einem Multimeter kann man messen, ob 8V erreicht wurden.

Mit dem USB- Messgerät kannst Du die Ausgangsspannung des Lademoduls, die Ladestromstärke und die vom Smartphone aufgenommene Energiemenge (in mAh) messen und beobachten!

Du kannst auch größere Module (viele Solarzellen im Alu- Rahmen) verwenden! Teste es!

Benötigte Bauteile: Mehrere Solarmodule SUSE CM312/CM315/316, 1 Multimeter, mehrere Laborkabel, 1 Smartphone-Lademodul SUSE 4.17, Solarmodule 5W oder 10W oder 20W aus dem Labor, USB- Messgerät

- 11.4 SchlieÙe 4 LED- Module SUSE 4.15** (rot, grün, blau, rainbow) an **mehrere Solarmodule SUSE CM312/CM315/316** so an, so dass sie gleichzeitig leuchten! LEDs benötigen eine Mindestspannung, damit sie leuchten, 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 CM312/315/316, 4 LED- Module SUSE 4.15 rot+blau+grün+rainbow, 1 Multimeter, mehrere Laborkabel

- 11.5 2 Solarfahrzeuge SF1.2 oder SF4** werden an **4 Solarmodulen SUSE CM312/CM315/316** 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 CM312/CM315, 2 Solarfahrzeuge SF1.2 oder SF4, 1 Multimeter, mehrere Laborkabel

- 11.6 Zeige Dein Alter** (Vater, Mutter, Oma, Opa, LehrerIn...) mit 1 Solarmodul SUSE CM312/CM315/316 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: 1x Halogenstrahler 120 W auf Fuß oder Grundgerät SUSE 4.0 mit schaltbarer Steckdose, 1 Solarmodul SUSE CM312/315/316, 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 in Reihenschaltung elektrische Energie** und tanke diese in einen Solarspeicher SUSE 4.12. Bringe die Energie im Speicher in den abgedunkelten Innenraum, um eine LED zu betreiben. Mit dem Multimeter kannst Du die Ladespannung messen.

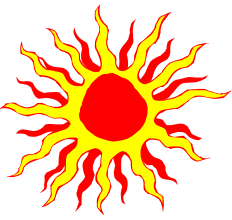
Benötigte Bauteile: Mehrere Solarmodule (maximal 7) SUSE CM312/315/316, 1 Energiespeicher SUSE 4.12, 1 LED- Modul SUSE 4.15, 1 Multimeter, mehrere Laborkabel

Viel Freude beim Experimentieren!

Weitere Experimentiergeräte erhältst Du bei NILS-ISFH!

Bei Problemen hilft Dir Dein NILS- ISFH- Betreuer!

Hast Du noch weitere Experiment- Ideen? Probiere sie aus und berichte per mail an info@sundidactics.de



**Photovoltaik-
System
SUSE**

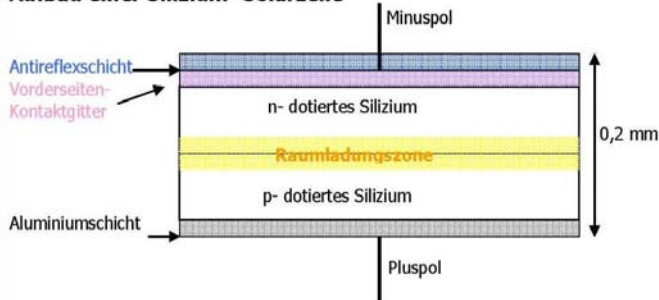
innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung

**Solarthermiesystem
Wärme von der Sonne**



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

Aufbau einer Silizium- Solarzelle



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.

12. 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 – 0,62 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.

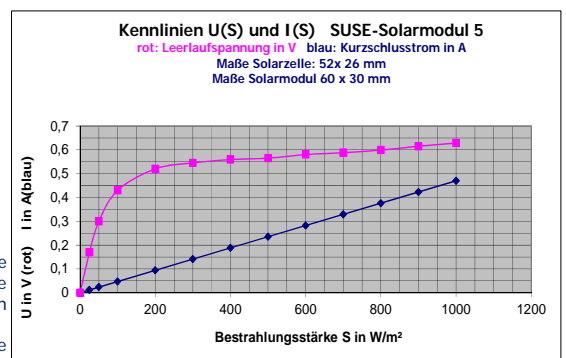
Wird der Solarzelle Strom entnommen, sinkt die Spannung U. Der genaue Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke wird in der U - I - Kennlinie einer Solarzelle dargestellt, in der Datei Niveaustufe III erklärt. Die **maximale Leistung** wird nur in einem bestimmten Punkt, d.h. bei einer ganz bestimmten 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 52x52 mm mit einer Dicke von 0,2 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 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.



Die vollständigen technischen Daten des SUSE- Solarmoduls finden Sie auf www.sundidactics.de

26 Fragen zum Solarmodul und zu den Experimenten

Einfach
Mittel
Niveauvoll

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

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.11 unten rechts!