

**Photovoltaik-  
System  
SUSE**

**Solarthermiesystem  
Wärme von der Sonne**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung



## Experimente mit dem Solarmodul SUSE 4.3RB

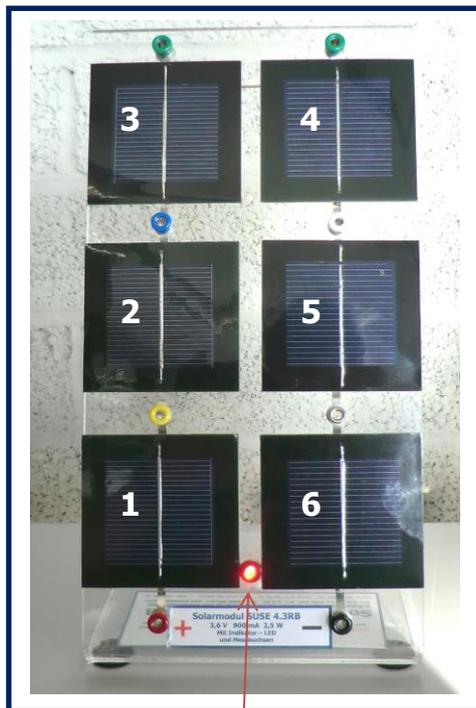
Solarmodul mit 6 Solarzellen in Reihenschaltung mit 2 Messbuchsen an jeder Zelle  
 3,9 V/1000 mA/3 W bei  $S = 1000 \text{ W/m}^2$   $T = 25^\circ\text{C}$ , AM 1,5 Funktionsanzeige durch Indikator- LED

### 23 Seiten Experimente zur Auswahl mit SUSE 4.3 RB



<b>A</b>	<b>Basisinformationen und technische Daten</b>	<b>Seiten 1 -5</b>
<b>B</b>	<b>SUSE 4.3 RB als Stromquelle für Geräte</b>	<b>Seite 6</b>
<b>C</b>	<b>Experimente mit <u>einer</u> Solarzelle</b>	<b>Seiten 7 - 14</b>
<b>D</b>	<b>Experimente mit Solarzellen in Reihenschaltung</b>	<b>Seiten 15 - 19</b>
<b>E</b>	<b>Experimentelle Lernstation 1 mit SUSE 4.3RB</b>	<b>Seiten 20 - 21</b>
<b>F</b>	<b>Experimentelle Lernstation 2 mit SUSE 4.3RB</b>	<b>Seiten 22 - 23</b>

### A Basisinformationen und technische Daten



rot leuchtende Indikator LED

weiße Zahlen: Nr. der Solarzellen

Das Solarmodul **SUSE 4.3RB** ist ein hochwertiges 3,9 V -1,0 A- 3 W -Solarmodul auf einem stabilen Plexiglasträger (480x160x6 mm) mit 6 Solarzellen in Reihenschaltung mit Buchsenpaaren.

In der Reihenschaltung liefert das Modul (bei  $1000 \text{ W/m}^2$ ) eine Leerlauf- Spannung von **3,9 V**, eine Kurzschluss- Stromstärke von **1,0 A** und eine max. Leistung von **3 W**. Jede Solarzelle hat ein eigenes Buchsenpaar für elektrische Messungen, am rot- schwarzen Buchsenpaar steht die Gesamtspannung zur Verfügung. Zur weiteren Erhöhung der Spannung lassen sich auch mehrere Module in Reihe schalten. **Das Modul besitzt eine Indikator- LED, welche die Betriebsbereitschaft anzeigt.** Die Indikator- LED leuchtet bereits im Innenraum hell auf und signalisiert so die Energiebereitschaft. Die 6 Buchsenpaare vor und hinter jeder Solarzelle sind farblich gekennzeichnet und bilden die elektrischen Anschlüsse für jede einzelne Solarzelle.

Mit diesem Modul können elektrische Geräte (Radio, Solarfahrzeuge....) betrieben werden, die für 3- 4 V DC ausgelegt sind, es lassen sich mit der Experimentieranleitung zu **SUSE 4.3RB** viele Experimente zur Solarzelle und Photovoltaik- Systemtechnik durchführen.

<b>Buchsen- Belegung:</b>	<b>plus</b>	<b>minus</b>
<b>Solarzelle 1</b>	<b>rot</b>	<b>gelb</b>
<b>Solarzelle 2</b>	<b>gelb</b>	<b>blau</b>
<b>Solarzelle 3</b>	<b>blau</b>	<b>grün</b>
<b>Solarzelle 4</b>	<b>grün</b>	<b>weiß</b>
<b>Solarzelle 5</b>	<b>weiß</b>	<b>silber</b>
<b>Solarzelle 6</b>	<b>silber</b>	<b>schwarz</b>
<b>Reihenschaltung von 6 Solarzellen</b>	<b>rot</b>	<b>schwarz</b>

## Die technische Daten

**Solarmodul:** Plexiglasträger 480 x 160 x 6 mm, um 75° gebogen

**Solarzellen:** 6 Solarzellen SUSEmod218 in Reihenschaltung mit je 2 Buchsen 4 mm für Bananenstecker/Laborkabel

**Elektrische Daten der Reihenschaltung** bei einer Bestrahlungsstärke  $S$  von  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $T = 25^\circ\text{C}$ , AM 1,5  
Leerlaufspannung  $U_{oc} = 3,9 \text{ V}$ , Kurzschlussstrom  $I_{sc} = 1000 \text{ mA}$ , Leistung  $P = 3,0 \text{ W}$

**Indikator- LED:** rot leuchtende LED, über Vorwiderstand an Plus/Minus-Pole der Reihenschaltung fest angeschlossen



### Das Solarmodul SUSEmod218

Im Innern erkennt man die mit Epoxidharz-Resin beschichtete monokristalline Si-Solarzelle, links ein quadratisches Element, rechts ein Eckstück mit abgeschrägter Ecke, charakteristisch für Monokristalline Solarzellen.

Modulmaße: 75 x 75 mm

Solarzellenmaße: 52 x 52 mm

Das Solarmodul **SUSEmod218** enthält eine monokristalline Hochleistungssolarzelle der Abmessungen  $52\text{mm} \times 52\text{mm} \times 0,18\text{mm}$ . Die Solarzelle ist bruchsicher eingebettet in ein Kunststoffplättchen der Größe  $75 \times 75 \text{ mm}$ . Die Oberseite über der Solarzelle ist hochtransparent und mit Kunststoff vergossen Material: Epoxid/Resin. Auf der Rückseite sind 2 Lötkontakte zum Anlöten der Plus- und Minusleiter (Schalt draht). Das Solarmodul kann rückseitig mit doppelseitigem Klebeband oder mit Klebstoff auf glatte Oberflächen aufgeklebt werden.

**Modul:** Kunststoffträger quadratisch  $75 \times 75 \times 2,6 \text{ mm}$  mit hochtransparenter Oberfläche, sehr robust.

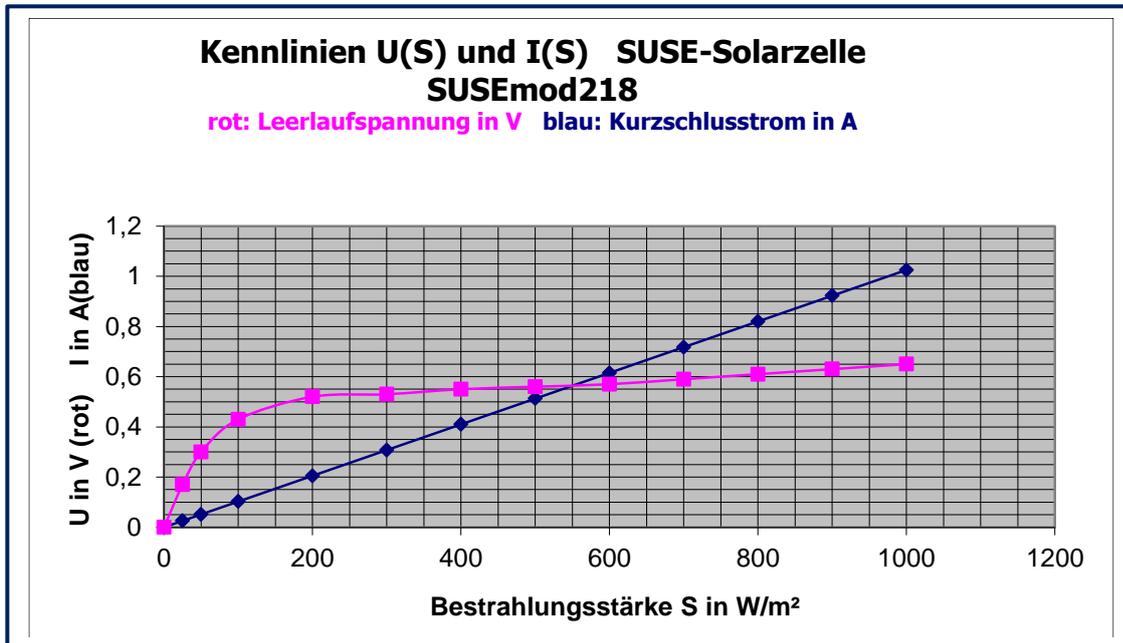
**Solarzelle:** Monokristalline Solarzelle  $52 \times 52 \text{ mm}$ , quadratisch, Oberseite blau-schwarz durch SiN-Antireflexschicht, Oberfläche ist matt durch saure Texturierung.

## Technische Daten bei einer Einstrahlung von $1000 \text{ W/m}^2$ , $T = 25^\circ\text{C}$ , AM = 1,5 Toleranz 2 %

Physikalische Größe	Symbol	Zahlenwert	Physikalische Einheit	Bemerkungen
Maße der Solarzelle	s	$52 \times 52 \times 0,18$	mm	Quadratische Zelle, 1/9 6-Zoll-Zelle
Fläche	A	27,04	$\text{cm}^2$	1/9 einer 6 Zoll Solarzelle
Leerlaufspannung	$U_{oc}$	0,656	V	Typisch für Silizium
Kurzschlussstrom	$I_{sc}$	1,025	A	Proportional zur Lichtintensität S
Spannung im MPP	$U_{MPP}$	0,507	V	Spannung im (MPP) <small>Maximum Power Point</small>
Kurzschlussstrom im MPP	$I_{MPP}$	0,942	A	Kurzschlussstromstärke im MPP
Elektrische Leistung	P	0,477	W	Bei $S = 1000 \text{ W/m}^2$ , AM 1,5, $25^\circ\text{C}$
Wirkungsgrad	$\eta$	19,1	%	Qualitätsmerkmal
Füllfaktor	FF	71	%	FF ist ein Qualitätsmerkmal
Stromdichte	j	38,15	$\text{mA/cm}^2$	j ist ein Qualitätsmerkmal
Temperaturverhalten der Leerlaufspannung $U_{oc}$	$\Delta U_{oc}$	- 0,36	% /K	Die Spannung mindert sich bei Erwärmung um 0,36% pro 1K
Temperaturverhalten des Kurzschlussstroms $I_{sc}$	$\Delta I_{sc}$	+ 0,06	% /K	Der Kurzschlussstrom vergrößert sich um 0,06 % pro 1K
Serieller Widerstand	$R_{ser}$	0,097	$\Omega$	Serieller Widerstand der Solarzelle Widerstand des Si und der Leiter
Shuntwiderstand	$R_{shunt}$	64,82	$\Omega$	Parallelwiderstand der Solarzelle durch interne Kurzschlüsse im Si

## Die Kennlinien der Solarzelle im Modul SUSEmod218

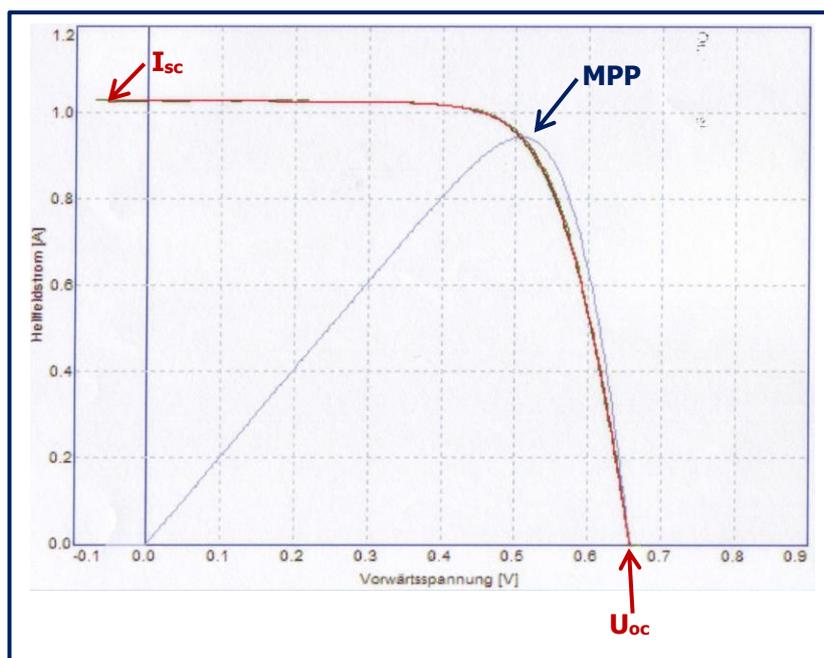
### 1. Abhängigkeit von Leerlaufspannung $U_{oc}$ und Kurzschlussstrom $I_{sc}$ von der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke $S$ in $W/m^2$ )



Die **Leerlaufspannung  $U_{oc}$**  (e- Funktion!) ist 0 bei totaler Dunkelheit, erhöht sich stark bei niedrigen Bestrahlungsstärken und wächst dann nur noch langsam bis zum Maximalwert 0,65 V bei  $1000 W/m^2$  (strahlender Sonnenschein bei blauem Himmel, Solarzelle zur Sonne hin ausgerichtet).

Der **Kurzschlussstrom  $I_{sc}$**  ist eine Ursprungsgerade und wächst linear von 0 bei totaler Dunkelheit auf 1,025 A bei  $1000 W/m^2$ .

### 2. Die $I(U)$ und die $P(U)$ - Kennlinien der Solarzelle SUSEmod218 bei $S = 1000 W/m^2$ , $T = 25^\circ C$ , AM 1,5 aufgenommen im Kennlinienlabor des ISFH

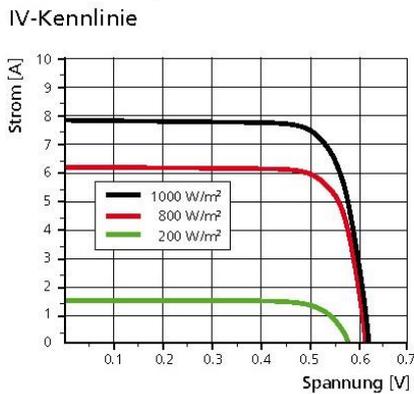


Die  **$I-U$ -Kennlinie** zeigt die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung bei Belastung der Solarzelle mit einem variablen Lastwiderstand, bei einer Bestrahlungsstärke von  $1000 W/m^2$  und einer Temperatur von  $25^\circ C$ . Der Schnittpunkt mit der x- Achse (U- Achse) ist die Leerlaufspannung  $U_{oc}$ , der Schnittpunkt mit der y- Achse (I- Achse) ist der Kurzschlussstrom  $I_{sc}$ .  
 Die  **$P-U$ -Kennlinie** ist die Leistungskurve, ihr Maximum ist der **Maximum- Power- Point MPP** der Solarzelle. Das ist Punkt der maximalen Leistungsabgabe der Solarzelle.

Mit dem **Photovoltaik- Messmodul SUSE 5.15** können diese Kurven experimentell aufgenommen werden.

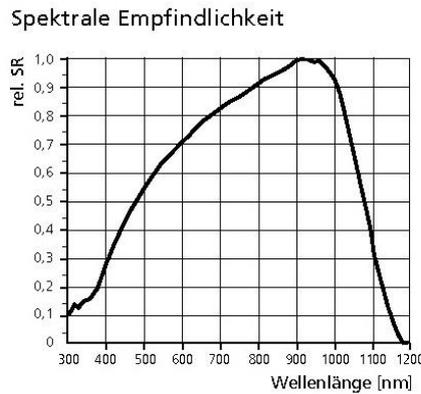
**3. Weitere Daten** (für die ganze Solarzelle 156 x 156 mm!), für die Solarzelle 52x 52mm im Modul SUSEmod218 muss die Stromstärke bei 3.1 und 3.3 durch 9 geteilt werden!

**3.1 Intensitätsabhängigkeit**



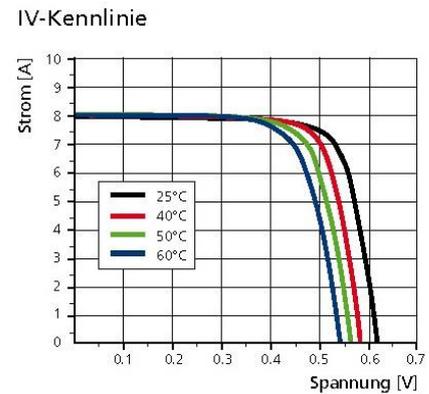
IV-Verhalten für unterschiedliche Bestrahlungsstärken.

**3.2 Spektrale Empfindlichkeit**



Kennlinie der spektralen Empfindlichkeit.

**3.3 Temperaturabhängigkeit**



IV-Verhalten für unterschiedliche Temperaturen.

Der **linke Graph 3.1** zeigt die **Intensitätsabhängigkeit** der **I(U)- Kennlinien** in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke S des eingestrahlt Lichts. (1000 W/m<sup>2</sup> entspricht dem strahlenden Sonnenschein im Sommer bei blauem, wolkenlosen Himmel, 0 W/m<sup>2</sup> ist absolute Dunkelheit).

Der **mittlere Graph 3.2** zeigt die **spektrale Empfindlichkeit** in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichts, die maximale Empfindlichkeit liegt bei ca. 950 nm im nahen Infrarot. Die Ursache ist der Bandabstand von Silizium bei ca. 1,1 eV, der dazu führt, dass Lichtquanten im Bereich 950 nm die genau passende Quantenenergie haben und optimal für den inneren lichtelektrischen Effekt geeignet sind. Für Licht kürzerer Wellenlänge ist die Quantenenergie zu hoch, der nicht nutzbare überschüssige Teil der Quantenenergie wird über kinetische Energie der freigesetzten Elektronen als thermische Energie in das Kristallgitter abgegeben, was zu Verlusten führt.

Daraus ergibt sich, dass für Experimente mit Si – Solarzellen Glühlampen- oder Halogenlampenlicht besonders gut geeignet ist, da sie hohe Anteile IR- Licht haben. Weißes LED- Licht ist weniger geeignet, da es kaum rotes bzw. IR- Licht enthält.

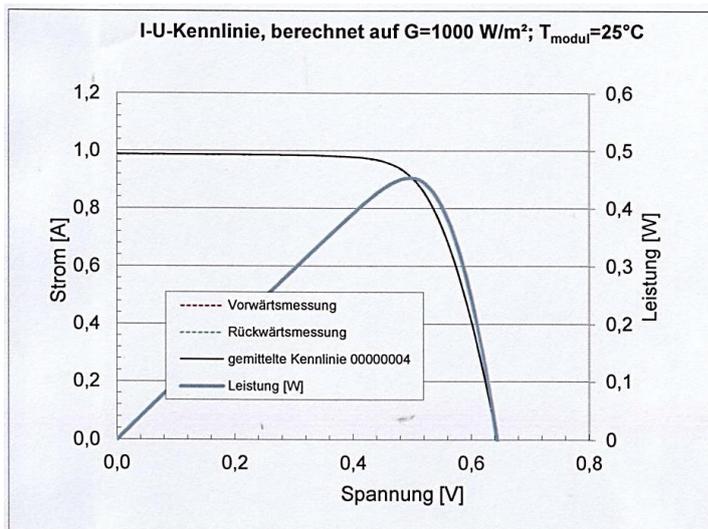
Der **rechte Graph 3.3** zeigt die **I(U)- Kennlinie** in **Abhängigkeit von der Temperatur**, man erkennt, dass die Leerlaufspannung sinkt, wenn die Temperatur steigt, der Kurzschlussstrom steigt nur sehr gering bei Temperaturerhöhung (j ist die Stromdichte = Kurzschlussstrom in mA pro cm<sup>2</sup> Zellenfläche). Das bedeutet auch, dass die elektrische Leistung P der Solarzelle bei Temperaturerhöhung sinkt.

**Die Leerlaufspannung U<sub>oc</sub> einer Solarzelle:** 
$$U_{oc} = \frac{kT}{e} * \ln \left( 1 + \frac{I_{sc}}{I_s} \right)$$

**Kurzschlussstrom einer Solarzelle:** 
$$I_{sc} = c * S \quad c = \text{const.}$$

c ist abhängig von der Fläche und der Qualität der Solarzelle und kann experimentell Bestimmt werden.

U<sub>oc</sub>= Leerlaufspannung in V  
 k = Boltzmann- Konstante in J/K  
 T = absolute Temperatur in K  
 e = elektrische Elementarladung in As  
 I<sub>sc</sub>= Kurzschlussstrom in A  
 I<sub>s</sub> = Sättigungsstrom in Sperrichtung (Dunkelstrom) in A  
 S = Bestrahlungsstärke S in W/m<sup>2</sup>



Die **schwarze Kennlinie** zeigt die Abhängigkeit der Kurzschlussstromstärke von der Leerlaufspannung bei einer Bestrahlungsstärke von  $1000 \text{ W/m}^2$  und einer Temperatur von  $25^\circ\text{C}$ .

Der **blaue Graph** zeigt die elektrische Leistung der Solarzelle (jeweils das Produkt  $U \cdot I$  der blauen Kurve) aufgetragen über  $U$  mit dem Maximum-Power-Point MPP im Maximum dieser Kurve bei ca.  $0,45 \text{ W}$ .

### 3. Weitere Daten der Solarzelle

2A

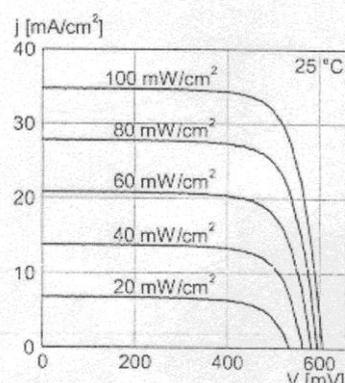
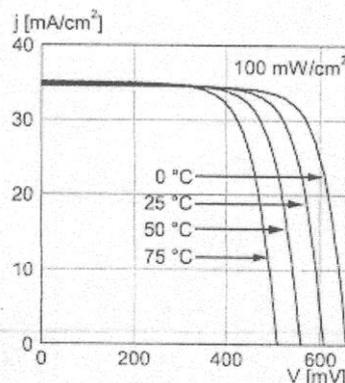
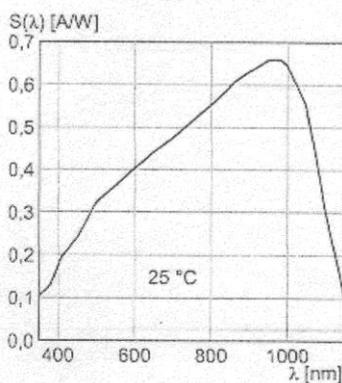
2B

2C

Spektrale Empfindlichkeit

Temperaturabhängigkeit

Intensitätsabhängigkeit



In den Abbildungen der Strom-Spannungskennlinien ist der Strom pro Flächeneinheit dargestellt. Die Absolutwerte erhält man durch Multiplikation der Zellenfläche mit den jeweiligen Stromwerten.

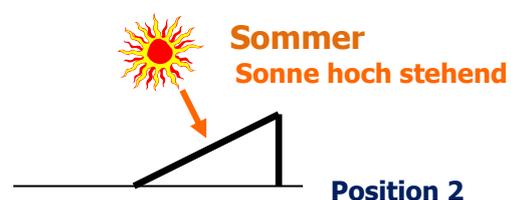
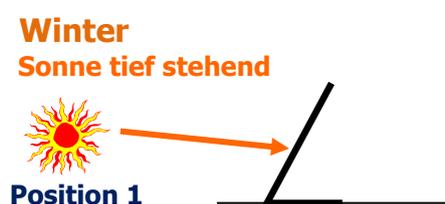
**2A** Der **linke Graph** zeigt die **spektrale Empfindlichkeit** in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichts, die maximale Empfindlichkeit liegt bei ca.  $950 \text{ nm}$  im nahen Infrarot, Abhängig vom Bandabstand des Halbleitermaterials Silizium (Si).

**2B** Der **mittlere Graph** zeigt die  **$j(U)$ - Kennlinie** in **Abhängigkeit von der Temperatur**, man erkennt, dass die Leerlaufspannung sinkt, wenn die Temperatur steigt, der Kurzschlussstrom steigt nur sehr gering bei Temperaturerhöhung ( $j$  ist die Stromdichte = Kurzschlussstrom in  $\text{mA pro cm}^2$  Zellenfläche).

**2C** Der rechte Graph zeigt die **Intensitätsabhängigkeit** der  **$j(U)$ - Kennlinien** ( $1000 \text{ W/m}^2$  entspricht dem strahlenden Sonnenschein im Sommer bei blauem, wolkenlosen Himmel,  $0 \text{ W/m}^2$  ist absolute Dunkelheit).

**Die Temperaturabhängigkeiten (2B)  $U(T)$  und  $I(T)$  und die Stromdichte (2C)  $j(S)$  lassen sich in Experimenten dieser Anleitung nachweisen.**

**Durch den  $75^\circ$ - Winkel lässt sich das Solarmodul SUSE 4.3RB für den Betrieb im Sommerhalbjahr bzw. im Winterhalbjahr unterschiedlich aufstellen:**



# Die Experimente

Die Möglichkeiten für Experimente mit dem Solarmodul SUSE 4.3RB sind sehr vielfältig und umfangreich, es ist nicht möglich, alle Experimente in einer Sitzung durchzuführen. Die verantwortliche Lehrkraft kann aus den Angeboten angemessen auswählen. In mehreren Etappen lassen sich natürliche auch alle Experimente sorgfältig bearbeiten.

## B SUSE 4.3RB als solare Stromquelle für Geräte

Mit dem Solarmodul SUSE 4.3B lassen sich SUSE- Experimentiergeräte betreiben, am rot-schwarzen Buchsenpaar liegen 3,9 V DC an (bei strahlendem Sonnenschein oder bei Beleuchtung auf dem Grundgerät SUSE 4.0 oder mit einem Halogenstrahler 120 W):

- LED- Module SUSE 4.15 (rot, grün, blau, weiß, rainbow)
- LED- Modul SUSE 4.20IRRB
- Solarradio SUSE 4.36
- Ein oder mehrere Solarmotoren SUSE 4.16
- Solarkran SUSE 4.37
- Solartankstelle für das SUSE Solarfahrzeug 1.2
- Solartankstelle für das SUSE Solarfahrzeug 4 (es werden nur 4 Solarzellen verwendet (schwarz-blau))
- Handylader SUSE 4.17 bei 3-4 Modulen SUSE 4.3 RB in Reihenschaltung

Die Geräte werden polrichtig an das rot- schwarze Buchsenpaar angeschlossen. Zum Betrieb ist eine ausreichende Lichtintensität erforderlich, tagsüber im Freien (strahlender Sonnenschein oder auch bedeckter Himmel) oder Bestrahlung mit einem Halogenstrahler 120 W oder Auflegen des Moduls auf die beleuchtete Platte eines Overheadprojektors.

Es lassen sich verschiedene Spannungen zum Betrieb von Geräten abgreifen:

### Buchsenbelegung und Spannung (bei $S = 1000 \text{ W/m}^2$ ):

Buchse Minus	Buchse Plus	Spannung U in V
schwarz	silber	0,65
schwarz	weiß	1,3
schwarz	grün	1,95
schwarz	blau	2,6
schwarz	gelb	3,25
schwarz	rot	3,9

## C Experimente mit einer Solarzelle

Seiten 7 - 14

Verwenden Sie eine der 6 Solarzellen des Moduls!

### Die Experimente

$U_{oc}$  = Leerlaufspannung= die elektrische Spannung  $U$  der unbelasteten Solarzelle oc = open circuit

### Experimente: Die Solarzelle als Energiewandler von Strahlungsenergie in elektrische Energie

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

Der Wert sollte im Sonnenlicht zwischen 0,60 und 0,64 V liegen, bei bedecktem Himmel 0,5- 0,55 V, unabhängig von der Fläche! Bei gleicher Bestrahlungsstärke sollten alle Solarzellen, etwa die gleiche Spannung haben, der Standard-Test-Wert wäre 0,64 V). Kleine Differenzen sind Qualitätsunterschiede. **Die Leerlaufspannung hängt von der Lichtintensität, von der Temperatur, vom Aufbau und vom Material der Solarzelle ab. Bei unserer Solarzelle ist das Material Silizium.**

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.

#### Die Messungen:

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				
<b>Leerlaufspannung <math>U</math> in V</b> a) Solarzelle zu 50% abgedeckt durch schwarze Pappe oder Alufolie b) Solarzelle vollständig durch Klarsichthülle abgedeckt		Keine Messungen		

**Was fällt Ihnen bei den Messungen zur Leerlaufspannung auf, formulieren Sie hier:**

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

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 5A oder 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 cm<sup>2</sup> sollte die Stromstärke bei einer Lichtintensität von 1000 W/m<sup>2</sup> 1,00 A sein.

### Die Messungen:

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
<b>Kurzschlussstrom <math>I_{sc}</math> in A</b> <b><math>I_{sc}</math> in mA</b> (umrechnen)				
<b>Kurzschlussstrom <math>I_{sc}</math> in A</b> a) Solarzelle zu 50% abgedeckt durch schwarze Pappe oder Alufolie b) Solarzelle vollständig durch Klarsichthülle abgedeckt		Keine Messungen		

Was fällt Ihnen 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:  $P$  ist Leerlaufspannung  $\times$  Kurzschlussstrom  $\times 0,8$ ,  $P$  sollte also im Idealfall bei  $1000 \text{ W/m}^2$  Einstrahlung ca.  $0,45 \text{ W}$  sein, wenn die Zelle eine Fläche von  $27,04 \text{ cm}^2$  hat. Der Faktor  $0,8$  erklärt sich über die Kennlinie und den MPP der Solarzelle.

#### Die Messungen:

Ort der Messung	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet	Draußen bei Sonnenschein im Schatten	Draußen bei bedecktem Himmel	Im beleuchteten Innenraum
<b>Kurzschlussstrom <math>I_{sc}</math> in A</b> Werte übernehmen				
<b>Spannung <math>U_{oc}</math> in V</b> Werte übernehmen				
<b>Leistung <math>P</math> in W</b> $U_{oc} \times I_{sc} \times 0,8$				
<b>Leistung <math>P</math> in mW</b> $U_{oc} \times I_{sc} \times 0,8$				

### 4. Die Qualität der Solarzelle

Das ist die Stromdichte  $j$  in  $\text{mA/cm}^2$ .

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  $1 \text{ cm}^2$  großes Stück der Solarzelle produziert, je mehr, desto besser! **Dazu muss die Einstrahlung  $1000 \text{ W/m}^2$  betragen** (internationaler Standard- Wert), denn bei geringerer Einstrahlung  $<1000 \text{ W/m}^2$  ist die Stromdichte  $j$  natürlich auch geringer! Wir nehmen also den Wert vom strahlenden Sonnenschein oder auf dem Overhead- Projektor.

So berechnen wir die Stromdichte  $j$ :

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

Unsere Solarzelle ist ein Quadrat mit der Seitenlänge  $5,2 \text{ cm}$ , ihre Fläche  $A$  ist..... $\text{cm}^2$

Die Stromdichte der verwendeten Zelle ist..... $\text{mA/cm}^2$

Die Qualität der Solarzelle ist.....

Sehr gut – gut – mittel- schlecht

Sehr Gut:  $> 34 \text{ mA/cm}^2$       Gut:  $28\text{--}33 \text{ mA/cm}^2$       Mittel:  $24\text{--}28 \text{ mA/cm}^2$   
 Schlecht:  $< 24 \text{ mA/cm}^2$   
 Bei einer Bestrahlungsstärke von  $1000\text{W/m}^2$  !!    Maximal möglicher theoretischer Wert:  $44 \text{ mA/cm}^2$

## 5. Wirkungsgradbestimmung einer Solarzelle

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

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

Die Zelle hat eine Fläche von 27,04 cm<sup>2</sup> hat, sie erhält bei 1000 W/m<sup>2</sup> eine Lichtleistung von 27,04 cm<sup>2</sup>\*0,1 W = P<sub>L</sub> = 2,704 W

2. Die elektrische Leistung von Aufgabe 3 war bei der gemessenen Zelle **P<sub>E</sub> = 0,432 W**

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

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

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

**Wirkungsgrade von Solarzellen:**

Monokristalline Zellen: 16 - 21 %

Polykristalline Zellen: 14 – 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/m<sup>2</sup> und wird mit der Gleichung aus Experiment 6 bestimmt.**

**Methode:**

1. Messung der Leerlaufspannung U<sub>oc</sub> und des Kurzschlussstroms I<sub>sc</sub> :

$$U_{oc} = \dots\dots\dots V \quad I_{sc} = \dots\dots\dots A$$

2. Mit der Gleichung P = U<sub>oc</sub> \* I<sub>sc</sub> \* 0,8 wird die elektrische Leistung P der Solarzelle bestimmt:

$$P_E = \frac{U_{oc}}{1,0} * \frac{I_{sc}}{1,0} * 0,8 = \dots\dots\dots W \quad (I)$$

3. Mit der Gleichung aus Exp. 6 wird die Bestrahlungsstärke des Lichts in W/m<sup>2</sup> bestimmt:

$$S_x = \frac{I_{mess} \text{ (in A)} * 1000}{1,0 A}$$

I<sub>mess</sub> ist hier der bei 1.) gemessene Kurzschlussstrom  
S<sub>x</sub> ist die Bestrahlungsstärke des Lichts in W/m<sup>2</sup>

$$S_x = \dots\dots\dots W/m^2$$

S<sub>x</sub> ist die Lichtleistung pro 1 m<sup>2</sup>, da die Fläche der Solarzelle aber nur 27,04 cm<sup>2</sup> ist, müssen wir diesen Anteil für unsere Solarzelle berechnen, indem wir den Wert durch 10 000 teilen (weil 1 m<sup>2</sup> 10 000 cm<sup>2</sup> hat) und dann mal 27,04 multiplizieren, das ist dann die wirkliche Lichtleistung P<sub>L</sub> auf die Solarzelle:

$$P_L = S_x \frac{W}{m^2} * \frac{27,04 \text{ cm}^2}{10\,000 \frac{\text{cm}^2}{m^2}} \quad (\text{II})$$

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.

## 6. 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  $W/m^2$**

$$I_{sc} = \dots\dots\dots 1,00 \dots\dots\dots A = \dots\dots\dots 1000 \dots\dots\dots mA$$

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

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

$$\frac{I_{sc} \text{ in A}}{1000 \text{ W/m}^2} = \frac{I_{mess} \text{ in A}}{S_x \text{ in W/m}^2} \quad \text{oder nach } S_x \text{ umgestellt: } S_x = \frac{I_{mess} \text{ (in A)} * 1000}{1,00 \text{ A}}$$

**1000  $W/m^2$**   
Dabei ist:

**$S_x$  in  $W/m^2$**   
 $I_{sc}$  in A

der kalibrierte Kurzschlussstrom bei 1000  $W/m^2 = 1,00 \text{ A}$

$I_{mess}$  in A

der gemessene Kurzschlussstrom bei der Bestrahlungsstärke  $S_x$

$S_x$  in  $W/m^2$

die gemessene 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 <b>über der Platte</b> eines Overheadprojektors		
40 cm vor Halogenlampe 35 W (Strahler SUSE 5.16)		
40 cm vor Halogenstrahler 120 W		
Im Innenraum Zum Fenster hin ausgerichtet		

**Was fällt Ihnen auf, erläutern Sie hier:**

## 7. Messungen zur Temperaturabhängigkeit von U,I,P

Spannung, Stromstärke und Leistung von Solarzellen sind temperaturabhängig, die Spannung sinkt deutlich bei Erwärmung der Solarzelle, die Stromstärke steigt wenig, die Leistung als Produkt beider Werte sinkt daher. Im Sommer, bei intensiver Sonneneinstrahlung liefern Photovoltaikanlagen auf Dächern oder anderen Fundamenten zwar die höchste Leistung, diese sinkt jedoch deutlich, wenn sich die Solarzellen erwärmen. Im Sommer sind Zellentemperaturen von 60° – 80° möglich. Ideale Bedingungen sind im Weltraum, dort herrscht intensive Einstrahlung mit sehr tiefen Temperaturen (< -50°C).

Die Kennlinien 2B auf Seite 4 zeigen diesen Effekt. Mit eigenen Messungen wollen wir diesen Effekt nachweisen.

### 7.1 Messungen ohne Temperaturmessung an der Solarzelle

**Voraussetzung:** Strahlender Sonnenschein ohne Wolken oder Bestrahlung mit Halogenstrahler 120W z.B. auf Grundgerät SUSE 4.0.

**Zubehör:** 1 Multimeter zur Spannungs- und Stromstärkemessung, 2 Laborkabel, Taschenrechner oder Smartphone- Rechner.

Wir legen das Solarmodule SUSE 4.3RB in den Kühlschrank oder an eine dunkle, kühle Stelle im Raum und lassen es abkühlen. Nach der Abkühlung gehen wir in das Sonnenlicht, richten das Modul zu Sonne aus und messen an einer Solarzelle in zeitlichen Abständen 5 Minuten lang  $U_{oc}$  und  $I_{sc}$  und tragen die Werte in die Tabelle ein. In den Messpausen berechnen wir P und tragen die Leistung in die Spalte ein. Wir starten sofort mit den Messungen nach Aufstellung des Moduls.

Zeit in s	Leerlaufspannung $U_{oc}$ in V	Kurzschlussstrom $I_{sc}$ in A	Leistung P = $U_{oc} * I_{sc} * 0,8$
0			
30			
60			
90			
120			
180			
240			
300			

**Was fällt Ihnen auf, erläutern Sie hier, vergleichen Sie mit Grafik 2B:**

## 7.2 Messungen mit Temperaturmessung an der Solarzelle

**Voraussetzung:** Strahlender Sonnenschein ohne Wolken oder Bestrahlung mit Halogenstrahler 120W.

**Zubehör:** 1 Multimeter zur Spannungs-, Stromstärke-, und Temperaturmessung, 2 Laborkabel, Taschenrechner oder Smartphone- Rechner.

Wir befestigen das Kabel mit dem Temperatursensor des Multimeters mit Tesafilm am schwarzen Rand einer Solarzelle und achten darauf, dass die eigentliche Solarzelle im Modul frei bleibt. Anschließend legen wir das Solarmodul SUSE 4.3RB in den Kühlschrank oder an eine dunkle, kühle Stelle im Raum und lassen es abkühlen. Nach der Abkühlung gehen wir in das Sonnenlicht, richten das Modul zu Sonne aus und messen **an einer Solarzelle** in zeitlichen Abständen 5 Minuten lang  $T$ ,  $U_{oc}$  und  $I_{sc}$  und tragen die Werte in die Tabelle ein. In den Messpausen berechnen wir  $P$  und tragen die Leistung in die Spalte ein. Wir starten sofort mit den Messungen nach Aufstellung des Moduls.

Zeit in s	Temperatur $T$ in °C	Leerlaufspannung $U_{oc}$ in V	Kurzschlussstrom $I_{sc}$ in A	Leistung $P$ $= U_{oc} * I_{sc} * 0,8$
0				
30				
60				
90				
120				
180				
240				
300				

**Was fällt Ihnen auf, erläutern Sie hier, vergleichen Sie mit Grafik 2B:**

## D Experimente mit Solarzellen in Reihenschaltung Seiten 15 -19

### Vor der Praxis zuerst etwas Theorie

Zur Erhöhung der Spannung werden in den von der Industrie hergestellten Solarmodulen eine große Zahl (meist 36 oder 72 Zellen) von Solarzellen in Reihe geschaltet. Dabei addieren sich die Einzelspannungen der Zellen zur Modulspannung.

Eine Solarzelle hat typischerweise bei Bestrahlung mit Sonnenlicht eine Spannung von ca. 0,6V. Schaltet man nun **mehrere Solarzellen hintereinander, addieren sich die Spannungswerte, die Stromstärke ändert sich bei der Reihenschaltung nicht.**

**(Ausnahme: Die Zellen werden mit unterschiedlicher Lichtintensität bestrahlt oder abgeschattet, dann bestimmt die schwächste Zelle die Stromstärke bei der Reihenschaltung).** Das kann in der Praxis zum Problem werden, wenn eine Photovoltaikanlage auf einem Dach mit mehreren hundert oder sogar über 1000 Solarzellen in Reihenschaltung auch nur eine Solarzelle abgeschattet wird, z.B. durch einen Schatten des Gebäudes, des Schornsteins, eines Baums oder wenn die Solarzelle durch ein umher fliegendes Blatt bedeckt wurde. Die verschattete Einzelzelle hat nun eine geringere Stromstärke, die den Gesamtstrom aller Solarzellen mindert und bestimmt. Dadurch sinkt die Leistung der gesamten Anlage erheblich.

### Experiment D1:

**Im Solarmodul SUSE 4.3 RB sind die Solarzellen intern bereits in Reihe geschaltet.** Jede Solarzelle hat eigene Anschlüsse für Plus und Minus, der Anschluss der Reihenschaltung ist das rot-schwarze Buchsenpaar.

Wir messen die **Leerlaufspannung  $U_{oc}$**  (Das ist die elektrische Spannung einer Solarzelle im Leerlauf ohne angeschlossenen Verbraucher) und den **Kurzschlussstrom  $I_{sc}$**  (das ist der Strom, den die Solarzelle- im Kurzschluss über ein Strommessgerät gemessen- liefert) aller 6 einzelnen Solarzellen des Moduls **SUSE 4.3RB** bei 4 verschiedenen Lichtquellen: Auf dem Grundgerät **SUSE 4.0**, 2: Falls kein Grundgerät SUSE 4.0 zur Verfügung steht vor einem 120 W-Halogenstrahler (Baustrahler), 3: Auf der Platte eines Overheadprojektors, 4: Draußen im natürlichen Sonnenlicht oder im Licht des bedeckten Himmels).

Messen Sie mit dem Multimeter (Spannung im Bereich 20 V DC, Stromstärke im Bereich 5A oder 10A DC) von jeder Zelle einzeln die **Leerlaufspannung  $U_{oc}$**  und den **Kurzschlussstrom  $I_{sc}$** . Tragen Sie die Messwerte in die nachstehende Tabelle ein.

Solarzelle Nr.	1	2	3	4	5	6
<b>Leerlaufspannung <math>U_{oc}</math> in V</b>	<b>Tragen Sie in die nachstehenden Tabellenfelder die Leerlaufspannung <math>U_{oc}</math> ein</b>					
40 cm vor 120 W-Strahler						
Auf Platte eines Overhead-Projektors						
Im Freien bei strahlendem Sonnenschein (Modul zur Sonne hin ausgerichtet)						
Im Freien bei bedecktem/bewölkten Himmel						

Kurzschlussstrom <b><math>I_{sc}</math> in A</b>	<b>Tragen Sie in die nachstehenden Tabellenfelder die Kurzschlussstromstärke <math>I_{sc}</math> ein</b>					
40 cm vor 120 W-Strahler (Baustrahler)						
Auf Platte eines Overhead-Projektors						
Im Freien bei strahlendem Sonnenschein (Modul zur Sonne hin ausgerichtet)						
Im Freien bei bedecktem/bewölkten Himmel						

### Experiment D2: Reihenschaltung von Solarzellen

Verwenden Sie als Lichtquelle das natürliche Sonnenlicht, das Grundgerät SUSE 4.0 oder den Baustrahler 120 W in 40 cm Abstand.

Messen Sie nun die Leerlaufspannung/den Kurzschlussstrom der Solarzelle 1, indem Sie das Messgerät an den Pluspol der Zelle 1 und an die Buchse im Verbindungsstecker 1 anschließen: Spannungsmessung im Messbereich 20 V DC, Stromstärkemessung im Messbereich 5A oder 5A oder 10A DC.

#### Solarzelle 1:

$$U_{oc} = \dots\dots\dots V \quad I_{sc} = \dots\dots\dots A$$

#### Solarzellen 1 + 2 in Reihenschaltung

Messen Sie nun die Leerlaufspannung/den Kurzschlussstrom der Solarzellen 1+2, indem Sie das Messgerät an den Pluspol der Zelle 1 und an die Buchse im Verbindungsstecker 2 anschließen:

#### Solarzellen 1+2:

$$U_{oc} = \dots\dots\dots V \quad I_{sc} = \dots\dots\dots A$$

Verbinden Sie nun Zelle 1 mit 2 und 3 und messen Sie  $U_{oc}$  und  $I_{sc}$ :

#### Solarzellen 1 + 2 + 3 in Reihenschaltung

Messen Sie nun die Leerlaufspannung/den Kurzschlussstrom der Solarzellen 1+2+3, indem Sie das Messgerät an den Pluspol der Zelle 1 und an die Buchse im Verbindungsstecker 3 anschließen:

#### Solarzellen 1+2+3:

$$U_{oc} = \dots\dots\dots V \quad I_{sc} = \dots\dots\dots A$$

.....führen Sie den Versuch bis 1+2+3+4+5+6 fort und tragen Sie die Ergebnisse in die Tabelle ein.

Bestimmen Sie nun aus dem Kurzschlussstrom die Bestrahlungsstärke  $S$  des einfallenden Sonnenlichts wie in Experiment 6 erläutert!

## Reihenschaltung von Solarzellen

	Leerlaufspannung $U_{oc}$ in V	Kurzschlussstrom $I_{sc}$ in A	Bestrahlungsstärke S in $W/m^2$
Zelle 1			
Zellen 1 + 2			
Zellen 1+2+3			
Zellen 1+2+3+4			
Zellen 1+2+3+4+5			
Zellen 1+2+3+4+5+6			

Welche Gesetzmäßigkeiten entdecken Sie? Formulieren Sie das Ergebnis hier:

### Experiment D3: Abschattung von Solarzellen in Reihenschaltung

#### Vor der Praxis zuerst etwas Theorie

Die **Reihenschaltung** von Solarzellen hat **einen entscheidenden Nachteil**. Wenn auch nur **eine Zelle** einer Reihenschaltung durch Abschattung (durch ein daraufgefallenes Blatt, Schmutz, einen darauf sitzenden Vogel.....) abgedeckt ist und dadurch keine oder nur ungenügende Spannung/Stromstärke liefert, ist das Gesamtmodul außer Betrieb bzw. geschwächt, da das schwächste Glied der Kette den Gesamtertrag bestimmt. Sind mehrere Solarmodule in Reihe geschaltet, kann **eine einzige abgeschattete Solarzelle einen ganzen Solargenerator lahm legen. Daher haben alle kommerziellen Solarmodule sogenannte bypass- Dioden, die den Strom um die ausgefallenen Zellen herumleiten.**

### Das Experiment:

Stellen Sie das Modul auf das Grundgerät SUSE 4.0 oder 40 cm vor den Baustrahler 120 W. Messen Sie nun die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom der Reihenschaltung der 6 Solarzellen (Messgerät an die rote Buchse und die schwarze Buchse anstecken):

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

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

Decken Sie nun **eine Zelle** der 6 Solarzellen mit schwarzer Pappe o.ä. lichtdicht ab und messen Sie wiederum Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom:

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

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

**Was fällt Ihnen auf, erläutern Sie Ihr Ergebnis hier:**

### Experiment D4:

#### Experimente zur Reihenschaltung mehrerer Solarmodule SUSE 4.3RB

Zubehör: 4 Solarmodule SUSE 4.3 RB, Multimeter, 2 Laborkabel

#### Vor der Praxis zuerst etwas Theorie:

Schaltet man zur Spannungserhöhung in Reihenschaltung mehrere Solarmodule hintereinander, erhält man einen Solargenerator.

Da jedes Solarmodul SUSE 4.3RB ca. 3,9 V Spannung liefert, können wir durch Reihenschaltung schrittweise die Spannung in 3,84 V-Stufen erhöhen, also 3,9 V -7,8 V -11,7 V -15,6 V.....

Mit 4 Modulen erhält man mit der Spannung von ca. 15 V eine Spannung, die für 12 V-Geräte optimal geeignet ist (Autoradio, Stereoanlage, kl. Fernsehgerät, DVD- Player.....etc), schalten Sie das Gerät an die Reihenschaltung von 4 Modulen (Minuspole von Modul 1 und Pluspol von Modul 4), es wird gut funktionieren!

#### Experiment D4.1:

Nehmen Sie 4 Module SUSE 4.3RB und stellen Sie diese nebeneinander ins Sonnenlicht oder vor das Licht eines 500-W-Strahlers. Achten Sie beim Experimentieren mit Halogenstrahlern darauf, dass die Module gleichmäßig ausgeleuchtet werden.

Schalten Sie nun Modul 1 mit Modul 2 in Reihe, indem Sie den Pluspol von Modul 1 mit dem Minuspole von Modul 2 mit einem Kabel verbinden.

Die Summenspannung liegt nun zwischen dem Minuspole des Moduls 1 und dem Pluspol des Moduls 2. Tragen Sie die Werte in die Tabelle ein und führen Sie das Experiment mit entsprechender Zuschaltung der Module 3+4 fort.

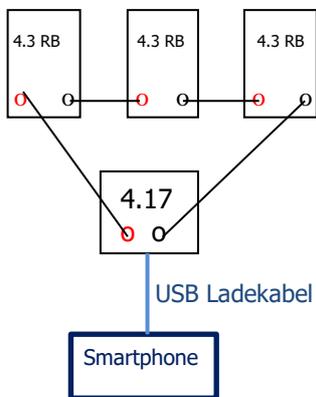
## Reihenschaltung von Solarmodulen ( $S = \dots\dots\dots W/m^2$ )

Reihenschaltung der Module	Leerlaufspannung $U_{oc}$ in V	Kurzschlussstrom $I_{sc}$ in A
1+2		
1+2+3		
1+2+3+4		

**Welche Gesetzmäßigkeit fällt Ihnen auf? Formulieren Sie das Ergebnis hier:**

### Experiment D4.2: Laden eines Smartphones mit 3x SUSE 4.3 RB und SUSE 4.17

Schließen Sie 3 oder 4 Solarmodule SUSE 4.3 RB in einer Reihenschaltung zusammen und verbinden Sie den Pluspol des ersten Moduls und den Minuspol des 3. Moduls mit dem Handylader **SUSE 4.17**.



Lichtquelle: Natürliches Tageslicht draußen oder im Innenraum die Platte eines Overheadprojektors oder vor einem 120 W Halogenstrahler.

An der USB- Buchse des Lademoduls SUSE 4.17 können Sie Ihr Handy oder Smartphone aufladen oder einen 5V- Akku (Powerbank) laden.

Im Modul SUSE 4.17 befindet sich ein DC- DC- Wandler, der die höhere Spannung der Reihenschaltung mehrerer Solarmodule auf genau 5V DC an einer USB- Buchse umwandelt. Smartphones und Tablets werden mit 5 V DC aufgeladen.

# Experimentelle Lernstationen zur Solarenergie

## Photovoltaik, Solarstrahlung, Solarthermie, Optoelektronik

Experimente für Unterricht, Ausbildung, Workshops, Projekttag, Praktika

Durchführung im Sonnenlicht/Tageslicht im Freien oder mit Halogenstrahlern im Innenraum

Niveaustufen: 1 (einfach) 2(mittel) 3(hoch)

### Experiment LS2

Wie viele Solarmotoren kann man an ein Solarmodul anschließen?

Wie viele LEDs kann man an ein Solarmodul anschließen?

Niveaustufe 1

**Verwendete Bauteile:** 1 Halogenstrahler 120 W, 1 schaltbare 3er- Tischsteckdose, 1 Solarmodul SUSE 4.3RB, 20 Laborkabel 1m (10x schwarz, 10x rot) 1 Multimeter VC 150 o.ä., 10 Solarmotoren SUSE 4.16, 10 LED- Module SUSE 4.15, Taschenrechner Deines Handys

#### Hinweise zum Experiment:

Du kannst das Experiment auf einem Tisch draußen im Sonnenlicht oder im Innenraum mit dem Halogenstrahler durchführen. Das natürliche Tageslicht oder der Halogenstrahler des Grundgeräts SUSE 4.0 bestrahlt jeweils das Solarmodul SUSE 4.3 RB, hier entsteht aus der Lichtstrahlung elektrische Energie, 6 Solarzellen sind hier in Reihe geschaltet, verwende die Anschlüsse rot (+ der 1. Solarzelle) und schwarz (- der 6. Solarzelle).

#### Versuchsdurchführung 1:

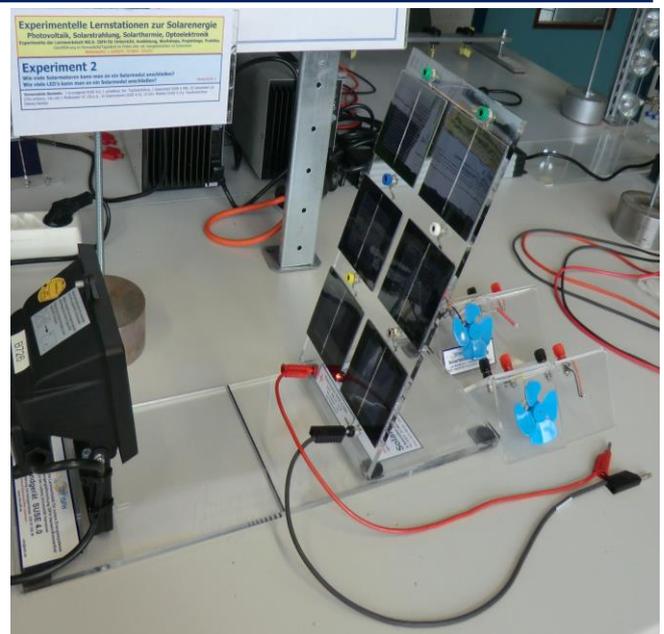
Schließe 1 Solarmotor an das Solarmodul an, wenn er sich schnell dreht kannst Du einen 2. Solarmotor dazu anschließen, mache immer so weiter. Teste, wie viele Solarmotoren das Solarmodul antreiben kann. Die Art der elektrischen Schaltung kannst Du Dir selbst überlegen (versuche sowohl Parallel- wie auch Reihenschaltung).

#### Versuchsdurchführung 2:

Verwende die LED- Module statt der Motoren, führe das Experiment erneut durch! Achte auf die korrekte Polung.

#### Versuchsdurchführung 3:

Schließe Motoren und LED- Module gleichzeitig an das Solarmodul an und beobachte!



Aufbau des Experiments: Auf der Grundplatte SUSE 4.0 steht das Solarmodul SUSE 4.3RB, rechts dahinter 2 Solarmotoren SUSE 4.16

**Notiere die Ergebnisse hier, erkläre und zeichne Deine verwendete elektrische Schaltung:**

Welche Unterschiede zwischen Parallel- und Reihenschaltung fallen Dir auf, erkläre:

**Profi- Frage:** Wie könnte man durch elektrische Messungen und Berechnungen die maximale Anzahl der Motoren oder der LEDs bestimmen? Du kannst Deine Idee mit einem Multimeter bestätigen! **Erkläre hier:**

# Experimentelle Lernstationen zur Solarenergie

## Photovoltaik, Solarstrahlung, Solarthermie, Optoelektronik

Experimente für Unterricht, Ausbildung, Workshops, Projekttag, Praktika

Durchführung im Sonnenlicht/Tageslicht im Freien oder mit Halogenstrahlern im Innenraum

Niveaustufen: 1 (einfach) 2(mittel) 3(hoch)

## Experiment LS 3: Wir holen Lichtenergie von draußen in den Innenraum

Niveaustufe 1-2

**Verwendete Bauteile:** 1 Solarmodul SUSE 4.3 RB, 1 Speichermodul SUSE 4.12, 1 LED- Modul SUSE 4.15, 4 Laborkabel 1m (2x rot, 2x schwarz), bei Schlechtwetter: Halogenstrahler 120 W und schaltbare 3er Steckdose.

### Hinweise zum Experiment:

Das natürliche Tageslicht oder der Halogenstrahler des Grundgeräts SUSE 4.0 bestrahlt das Solarmodul SUSE 4.3 RB. Hier entsteht aus der Lichtstrahlung elektrische Energie. 6 Solarzellen sind hier in Reihe geschaltet, verwende die Anschlüsse rot (+ der 1. Solarzelle) und schwarz (- der 6. Solarzelle). Der Solarspeicher SUSE 4.12 kann am Solarmodul aufgeladen werden und kann elektrische Energie speichern. Du kannst nach der Aufladung das Speichermodul abklemmen und in den abgedunkelten Innenraum tragen und dort eine LED anschließen, diese leuchtet!

### Versuchsdurchführung:

Gehe hinaus ins Freie und richte das Solarmodul zur Sonne aus, bei bedecktem Himmel zur hellsten Stelle des Himmels. Bei Schlechtwetter kannst Du auch den Halogenstrahler des Grundgeräts SUSE 4.0 im Innenraum verwenden.

Schließe das **Solar- Speichermodul SUSE 4.12** mit 2 Kabeln (rot/schwarz) **polrichtig** (plus an plus und minus an minus) an das Solarmodul an und lass es ca. 3 Minuten aufladen. Ziehe nach der Aufladung die Kabel aus dem Speichermodul heraus und gehe mit dem Speichermodul in den Innenraum. Schließe dort polrichtig ein LED- Modul SUSE 4.15 an den Speicher an.



Aufbau des Experiments 3: Auf der Grundplatte SUSE 4.0 befindet sich das Solarmodul SUSE 4.3RB, davor stehen das Speichermodul SUSE 4.12 und das LED- Modul SUSE 4.15.

**Was beobachtest Du, notiere hier, Du kannst die Leuchtdauer mit einer Stoppuhr (im Handy!) messen:**

**Erkläre hier die Funktion dieses Experiments und die unterschiedlichen Energie-Umwandlungsvorgänge.**

**Wie lange leuchtet die LED? Bestimme die Leuchtdauer mit der Stoppuhr Deines Handys. Kann man die Leuchtdauer auch berechnen? Hast Du eine Idee?**