

**Photovoltaik-  
System  
SUSE**

**Solarthermiesystem  
Wärme von der Sonne**



**BNE**  
Bildung für  
Nachhaltige  
Entwicklung

# Experimente mit dem Solarmodul SUSE 4.51 5 W- Solarmodul für PV- Experimente



18 Solarzellen in interner Reihenschaltung  $U_{oc}=11,0\text{ V}$ ,  $I_{sc}=0,59\text{ A}$ ,  $P=5,2\text{ W}$  bei  $S=1000\text{ W/m}^2$ ,  $T=25^\circ\text{C}$ , AM 1,5  
mit integrierter Indikator- LED (grün) zur Betriebsanzeige

**Lernstation  
C18**

## 1. Gerätebeschreibung und technische Daten

Das **Solarmodul SUSE 4.51** ist ein professionelles

und sehr robustes Solarmodul mit 18 Solarzellen in interner Reihenschaltung unter Glas, eingerahmt mit einem stabilen Aluminium-Rahmen. Auf der Modulrückseite ist ein verstellbarer Aufsteller angebracht, mit dem das Modul auf dem Boden oder auf einem Tisch stufenlos im optimalen Winkel zum Sonnenstand eingestellt werden kann. An der Modul- Anschlussbox ist ein 1,5 m langes Kabel mit 2 Büschelsteckern 4 mm (rot=plus und schwarz=minus) angeschlossen. An der Anschlussbox befindet sich eine grüne Indikator- LED zur Betriebsanzeige. Mit diesem Solarmodul lassen sich mit der Experimentieranleitung umfangreiche Experimente zur Modultechnik und zur Solarzelle durchführen. Es können LED- Module SUSE 4.15 (12V) oder das Solarfahrzeug SUSE 4.5 direkt angeschlossen werden. Mit dem Zusatzmodul SUSE 4.17 können Smartphones, Tablets oder Powerbank- Akkus mit  $U=5,0\text{ V}$  aufgeladen werden, weiterhin kann an SUSE 4.17 das Radio SUSE 4.36USB angeschlossen werden.

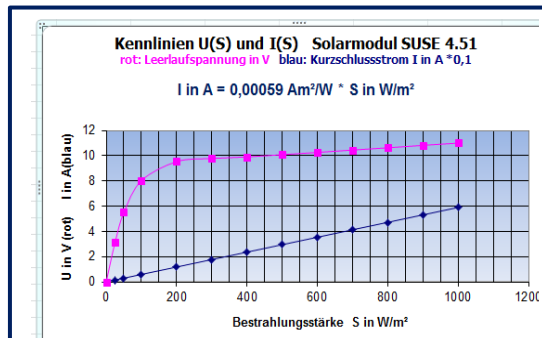


**Oben:**  
Solarmodul SUSE 4.51, das Multimeter zeigt die Leerlaufspannung 11,04 V an.

**Links:**  
Der einstellbare Tisch/Boden- Aufsteller auf der Rückseite des Solarmoduls

**Unten:**  
Die Indikator- LED in der Anschlussbox zeigt Betriebsbereitschaft an

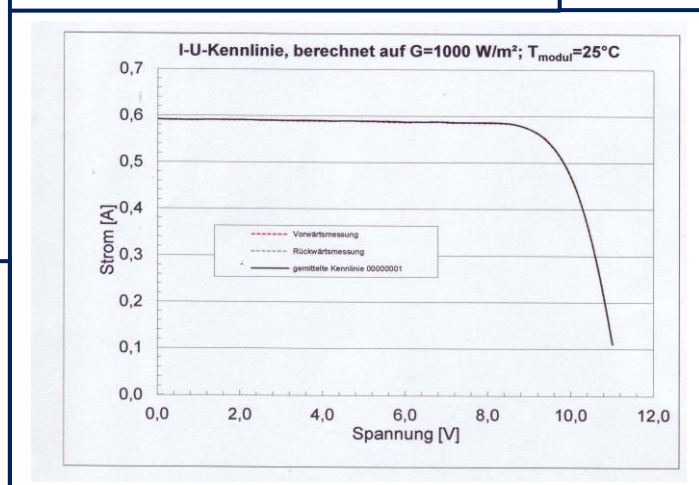
**Technische Daten bei STC  $S=1000\text{ W/m}^2$ ,  $T=25^\circ\text{C}$ , AM 1,5**  
Zelltyp: Multikristallin  
Zellenanzahl: 18  
Rahmen: Aluminium  
Nennleistung: 5,2 W  
 $P_{mpp}=5,2\text{ W}$   
 $U_{oc}=11,0\text{ V}$   
 $I_{sc}=0,59\text{ A}$   
 $U_{mpp}=9,2\text{ V}$   
 $I_{mpp}=0,56\text{ A}$   
Füllfaktor: 79,6 %  
Zellwirkungsgrad: 18,0 %  
Modulwirkungsgrad: 12%



**Die Kennlinien des Moduls: Links die  $U_{oc}(S)$  und  $I_{sc}(S)$ - Kennlinie:**

Die Leerlaufspannung  $U_{oc}$  steigt mit zunehmender Bestrahlungsstärke  $S$  (= Lichtintensität) erst stark an und nähert sich dann allmählich der Spannung 11,0 V. Der Kurzschlussstrom  $I_{sc}$  steigt linear mit der Bestrahlungsstärke bis zum Maximalwert 0,59 A an.

**Unten die I(U)- Kennlinie**



### 3. Technischer Aufbau des Solarmoduls:

Im Modul sind **18 identische Solarzellen elektrisch in Reihe geschaltet**, 3 Reihen mit je 6 Solarzellen. Eine Reihe heißt „string“. Der Pluspol der 1. Solarzelle bildet den Pluspol des Moduls, der Minuspol der 18. Solarzelle bildet den Minuspol des Moduls.

Da der Minuspol einer Solarzelle auf der Oberseite liegt, der Pluspol auf der Unterseite, werden 2 Solarzellen mit Zellverbindern (verzinnnte Cu- Bändchen) so in Reihe geschaltet:



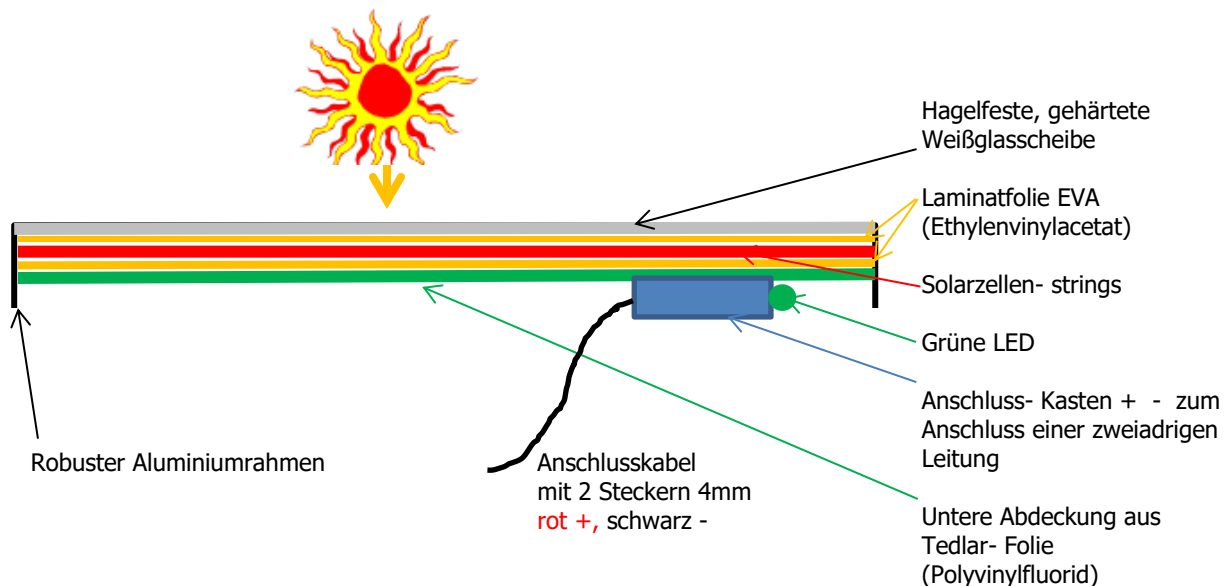
Der Zellverbinder wird also an der Oberseite der 1. Zelle angelötet, im 3mm- Zwischenraum zwischen beiden Zellen nach unten geführt und auf der Unterseite der 2. Zelle angelötet. Auf diese Weise werden alle 18 Solarzellen miteinander verbunden. An den Enden eines strings wird der Zellverbinder zum nächsten string geführt.

Bei dieser elektrischen **Reihenschaltung addieren sich die Spannungen** der Solarzellen, die Gesamtspannung  $U_{ges}$  des Moduls ist also die 18- fache Spannung einer Solarzelle.

Die **Stromstärke bleibt bei der Reihenschaltung gleich**, wenn die Zellen identisch sind, ansonsten bestimmt die Stromstärke der schlechtesten Solarzelle den Gesamtstrom.

Die Solarzellen werden in transparente Laminatfolie eingebettet und an die hagelfeste Weißglasscheibe laminiert. Der hintere Abschluss bildet eine Folie aus Tedlar, auf die die Anschlussbox aufgeklebt wurde.

#### Der Aufbau des Solarmoduls im Querschnitt:



Beim Solarmodul SUSE 4.51 ist im Anschlusskasten ein 1,5 m langes, zweiadriges Anschlusskabel mit 2 Bündelsteckern 4mm rot (plus) und schwarz (minus) angelötet, eine grüne LED zeigt die Betriebsbereitschaft an.

Für den **theoretischen Teil der Experimente (Teil 1)** werden die technischen Daten verwendet, für den **praktischen Teil der Experimente (Teil 2)** werden Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom mit einem Multimeter gemessen und experimentell ausgewertet. Mit dem stufenlos einstellbaren Boden-/Tisch- Aufsteller kann das Solarmodul exakt zur Sonne oder zur Lichtquelle ausgerichtet werden.

**Die Experimente gelten auch für das Solarmodul SUSE 4.43, andere Module haben andere technische Daten und andere Messwerte.**

**Alle Experimente zum Solarmodul SUSE 4.51 können auch mit dem 5W- Modul SUSE 4.43 durchgeführt werden. Hier haben nur die Solarzellen bei gleicher Fläche eine andere Form**

### **3 Die Experimente A,B,C,D**

**können der Reihe nach oder auch unabhängig voneinander durchgeführt werden.**

## **A Solarmodul SUSE 4.51 als Solargenerator zum Betrieb von Geräten**

### **A1 An das Solarmodul SUSE 4.51 lassen sich folgende Geräte direkt anschließen:**

- **LED- Module SUSE 4.15** in rot, grün, gelb, blau, IR, weiß oder **SUSE 4.20IRRB** (12V-Version). Schließen Sie die LED- Module polrichtig an das Solarmodul an
- **Solarfahrzeug SUSE 4.5**  
Zum Aufladen des GoldCap- Energiespeichers werden die Modulkabelstecker polrichtig in das schwarz- rote Buchsenpaar am Fahrzeug eingesteckt. Das weitere Vorgehen entnehmen Sie der Versuchsanleitung zum Fahrzeug SUSE 4.5.

### **A2 Anschluss des DC- DC- Wandlers SUSE 4.17 an das Solarmodul SUSE 4.51**

Der DC- DC- Wandler SUSE 4.17 wandelt die Modulspannung in 5V DC um, die am Ausgang an einer USB- Buchse zur Verfügung stehen. Das Anschlusskabel von SUSE 4.51 wird polrichtig an die Eingangsbuchsen von SUSE 4.17 eingesteckt. An die USB- Ausgang- Buchse lassen sich folgende Geräte anschließen:

- **Smartphone zum Aufladen** mit Mikro- USB- Buchse  
Schließen Sie das Smartphone- Ladekabel mit USB- Stecker an die USB- Buchse von SUSE 4.17 an und richten Sie das Solarmodul optimal zur Sonne aus.
- **Powerbank- Akku zum Aufladen** mit Mikro- USB- Buchse. Schließen Sie das Smartphone- Ladekabel mit USB- Stecker an die USB- Buchse von SUSE 4.17 an und richten Sie das Solarmodul optimal zur Sonne aus.
- **Solar- Radio SUSE 4.36USB**  
Stecken Sie den USB- Stecker am Radio- Kabel in die USB- Buchse von SUSE 4.17 und richten Sie das Solarmodul optimal zur Sonne aus. Das Radio kann bei Dunkelheit auch mit dem Powerbank- Akku betrieben werden.

Tagsüber lassen sich die Experimente optimal draußen im natürlichen Sonnenlicht oder bei bedecktem Himmel durchführen. Im Innenraum können als Lichtquellen Halogenstrahler (Baustrahler 120 W auf Rohrständler) oder Overheadprojektoren (helle Glasplatte) verwendet werden.

## **B Experimente/Aufgaben mit den technischen Daten auf Seite 1**

Alle Daten beziehen sich auf Standard- Test- Bedingungen (STC), solare Einstrahlung 1000 W/m<sup>2</sup>, Temperatur 25°C, AirMass AM1,5.

Für geometrische Messungen am Modul benötigen wir ein Geo- Dreieck/Lineal und einen Zollstock, für die Berechnungen einen Taschenrechner oder Smartphone mit Taschenrechner.

### **B1 Bestimmung der Leerlaufspannung einer Solarzelle**

Bestimmen Sie mit den technischen Daten und eigenen Berechnungen die Leerlaufspannung einer Solarzelle  $U_{oc}$  des Moduls:

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

### **B2 Bestimmung des Zellwirkungsgrades der Solarzellen im Solarmodul**

Der Wirkungsgrad einer Solarzelle lässt sich mit den technischen Daten selbst berechnen:

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

$P_E$  = elektrische Leistung aller Solarzelle im MPP (siehe Datenblatt)

$P_L$  = Lichtleistung auf die Fläche aller Solarzellen (nicht auf 1m²!!) (Flächensumme aller Solarzellen)

### B3 Bestimmung der Qualität einer Solarzelle

Der Kurzschlussstrom  $I_{sc}$  pro 1 cm<sup>2</sup> Zellenfläche = Stromdichte  $j$  ist ein Qualitätsmerkmal für Solarzellen.

Berechnen Sie diesen Wert und vergleichen Sie mit der Tabelle.

Beurteilen Sie die Qualität der Solarzellen im Modul:

#### Stromdichte $j$ von Solarzellen

Sehr gut: > 34 mA/cm<sup>2</sup>

Gut: 29 - 33 mA/cm<sup>2</sup>

Mittel: 25 - 29 mA/cm<sup>2</sup>

Schlecht: < 25 mA/cm<sup>2</sup>

Bei einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m<sup>2</sup> !! Maximal möglicher theoretischer Wert: 44 mA/cm<sup>2</sup>

#### **B4 Bestimmung der Leistung des Solarmoduls**

Im Maximum Power Point (MPP) hat das Solarmodul seine maximale Leistung, aus dem Produkt der Spannung und der Stromstärke im MPP ergibt sich die Spitzenleistung des Moduls. Berechnen Sie diesen Wert und vergleichen Sie mit den technischen Daten zur Leistung:



#### **B5 Bestimmung des Modulwirkungsgrades des Solarmoduls**

Die Sonne bestrahlt die gesamte Modulfläche, aber nur die Gesamtheit der Fläche aller Solarzellen erzeugt elektrische Energie. Die Leerflächen zwischen den Solarzellen erzeugen keine Energie. Beim Modulwirkungsgrad verwendet man das Verhältnis der erzeugten elektrischen Leistung zur eingestrahlten Strahlungsleistung auf die gesamte Modulfläche. Bei der Vermarktung von Solarmodulen spielt dieser Wert eine große Rolle, da Kunden auf einen hohen Modulwirkungsgrad achten. Berechnen Sie hier den Modulwirkungsgrad und vergleichen Sie mit den Hersteller- Angaben:



#### **B6 Theoretische Aufgaben mit höherem Niveau**

1. Erklären Sie mit eigenen Worten die beiden Kennlinien auf Seite 1!
2. Wie verändern sich Leerlaufspannung, Kurzschlussstrom, Leistung, wenn die Sonne nur mit halber Intensität =  $500 \text{ W/m}^2$  (bewölkter Himmel) scheint? Erklären Sie und geben Sie Zahlenwerte an!
3. Wie würde sich die I-U- Kennlinie verändern, wenn die Sonne nur mit halber Intensität =  $500 \text{ W/m}^2$  (bewölkter Himmel) scheint? Erklären Sie und skizzieren Sie den veränderten Verlauf mit Bleistift in die Grafik ein!

## Lösungen zu B6

### C Experimente und Messungen mit dem Solarmodul SUSE 4.51

#### C1 Messungen von Leerlaufspannung, Kurzschlussstrom und Leistung

##### a) Die exakte Ausrichtung des Solarmoduls zur Sonne.

Wir schließen das rot – schwarze Steckerpaar an ein Multimeter im 10A- DC- Messbereich an. Dabei wird der Kurzschlussstrom gemessen. Bei optimaler Ausrichtung zur Sonne oder zur hellsten Stelle des bedeckten Himmels ergibt sich ein maximaler Messwert. Durch Drehen und Kippen des Moduls kann diese Position erreicht werden. Notieren Sie hier den Wert für den Kurzschlussstrom

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

Beim Durchzug von Wolken kann sich der Wert stark verändern! Bei blauem, wolkenlosen Himmel muss wegen der Erddrehung nach ca. 10 Minuten neu justiert werden!

##### Messungen von $U_{oc}$ und $I_{sc}$ :

**Datum:**.....**Wetterlage:**.....

Messbereich Spannung: 20 V DC Messbereich Stromstärke: 10 A DC im Innenraum 200 mA DC

**b) Die Messungen bei optimaler Ausrichtung zur Sonne**

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
<b>Leerlaufspannung</b> <b><math>U_{oc}</math> in V</b>				
<b>Kurzschlussstrom</b> <b><math>I_{sc}</math> in A</b>				
<b>Leistung P in W</b> ( $U_{oc} * I_{sc} * 0,8$ ) Näherungswert				

**c) Die Messungen bei horizontaler Lage auf dem Boden oder auf einem Tisch**

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
<b>Leerlaufspannung</b> <b><math>U_{oc}</math> in V</b>				
<b>Kurzschlussstrom</b> <b><math>I_{sc}</math> in A</b>				
<b>Leistung P in W</b> ( $U_{oc} * I_{sc} * 0,8$ ) Näherungswert				

**Erläutern und beurteilen Sie Ihre Ergebnisse hier:**

#### **d) Leistungsminderung durch Abdeckung und Verschattung von Solarzellen des Moduls**

Bei Photovoltaik- Anlagen auf Dächern kommt es oft vor, dass einzelne Solarzellen bedeckt sind (z.B. durch darauf liegende Blätter oder Schmutz) oder verschattet werden (z.B. durch Schatten benachbarter Bäume, Schornsteine, Häuser...).

Planen Sie hierzu mit dem Modul SUSE 4.51 ein geeignetes Experiment und messen Sie die Leistungsminderung.

**Protokollieren Sie hier das Experiment und bewerten Sie die Messwerte:**



## e) Leistungsveränderung bei Erwärmung des Solarmoduls

Solarmodule auf Dächern oder in Freiflächenanlagen werden im Sommer sehr warm. Spannung, Stromstärke und Leistung von Solarzellen sind temperaturabhängig, sie verändern ihre Werte bei Erwärmung. Im Sommer, bei intensiver Sonneneinstrahlung, liefern Photovoltaikanlagen auf Dächern oder in der Freifläche zwar die höchste Leistung, diese sinkt jedoch deutlich, wenn sich die Solarzellen erwärmen. Im Sommer sind Zellentemperaturen von 60°C – 80°C möglich. Ideale Bedingungen dagegen sind im Weltraum, dort herrscht intensive Einstrahlung mit sehr tiefen Temperaturen (< -50°C).

### Messungen ohne Temperaturmessung am Modul

**Voraussetzung:** Strahlender Sonnenschein ohne Wolken oder Bestrahlung mit Halogenstrahler 120W (z.B. auf Grundgerät SUSE 4.0) oder Messung auf Platte des Overheadprojektors.

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

Wir legen das Solarmodul SUSE 4.51 für 10 Minuten in den Kühlschrank oder an eine dunkle, kühle Stelle im Raum und lassen es abkühlen. Nach der Abkühlung gehen wir in das Sonnenlicht und richten das Modul zu Sonne aus. Bei Experimenten im Innenraum legen wir das Modul auf einen Overheadprojektor und messen 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:**

## C2 Bestimmung der Lichtintensität = Bestrahlungsstärke S des Lichts mit dem Solarmodul SUSE 4.51

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 Solarzellen bei einer Bestrahlung von 1000  $W/m^2$**

$I_{sc} = \dots\dots\dots 0,59 \dots\dots\dots A = \dots\dots\dots 590 \dots\dots\dots mA$

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

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

$$\frac{0,59 \text{ A } (I_{sc})}{1000 \text{ W/m}^2} = \frac{I_{mess} \text{ in A}}{S_x \text{ in W/m}^2} \quad \text{oder nach } S_x \text{ umgestellt: } S_x = \frac{I_{mess} \text{ (in A)} * 1000}{0,59 \text{ A}}$$

Dabei ist:

$I_{sc}$	in A	der kalibrierte Kurzschlussstrom bei 1000 $W/m^2 = 0,59 \text{ A}$
$I_{mess}$	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:

**Verwenden Sie ein Multimeter im Stromstärke- Messbereich 10A**  
**Für den Innenraum verwenden Sie den Messbereich 200 mA oder 20 mA**

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 Nach Süden gemessen		
Sehr trübes Wetter		
Auf der Platte eines Overheadprojektors		
40 cm vor Halogenstrahler 120 W		

Im Innenraum Zum Fenster hin ausgerichtet		
--	--	--

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

### C3 Exakte experimentelle Bestimmung der Leistung und des Wirkungsgrades des Solarmoduls SUSE 4.51 mit dem Zusatzgerät (Lastwiderstand) SUSE 4.55

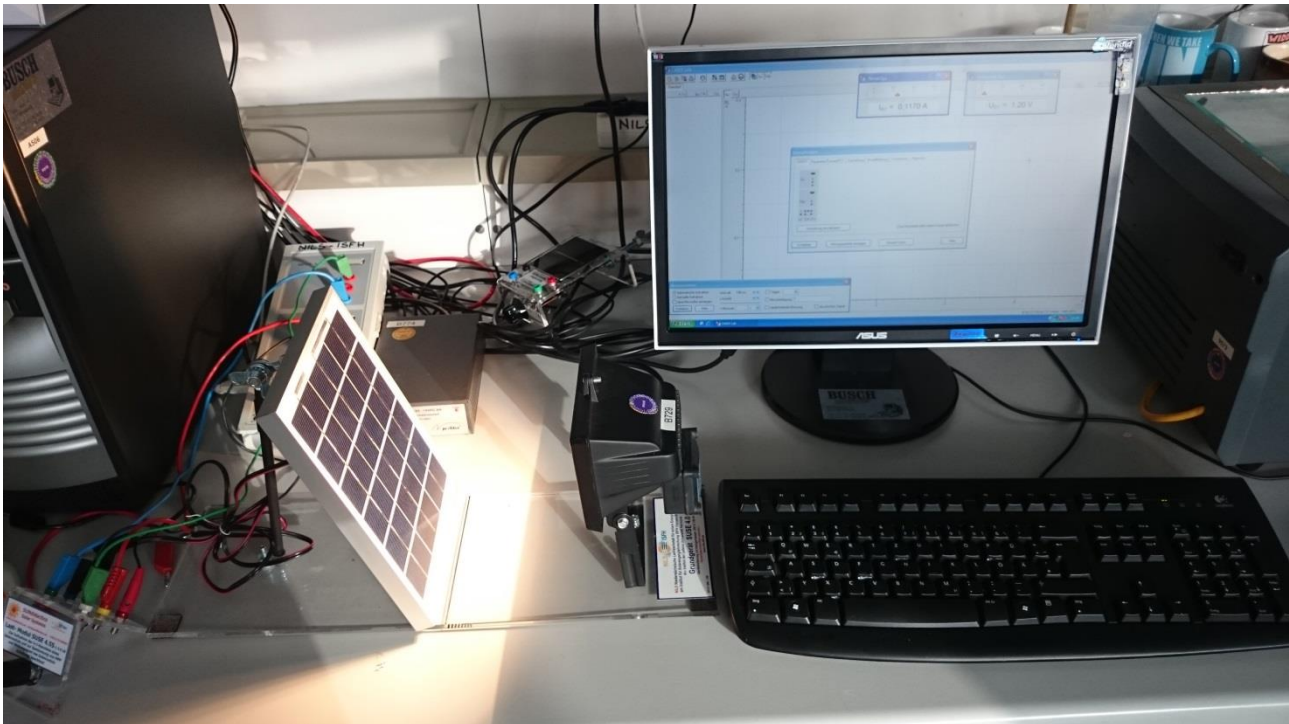
#### Notwendige Experimentiergeräte für C3:

1 Grundgerät SUSE 4.0 mit Strahler 120W (oder Overheadprojektor), 1 Solarmodul SUSE 4.51, 1 Lastmodul SUSE 4.55-18, 6 Laborkabel 1m, 1 Messwerterfassungssystem (z.B. CassyLab) mit Netzteil + Datenkabel, 1 Laptop oder PC mit Cassy-Programm. Bei unbewölktem Himmel kann auch draußen im Sonnenlicht experimentiert werden.

Mit dem Lastwiderstand SUSE 4.55 kann man bei jeder beliebigen Lichtintensität = Bestrahlungsstärke  $S$  die momentane Leistung und den Zellwirkungsgrad der Solarzellen im Modul experimentell bestimmen. Hierzu benötigt man das Zusatzmodul SUSE 4.55-18 und ein Messwerterfassungssystem (z.B. CassyLab).

#### 1. Versuchsaufbau:

Das Foto zeigt den Versuchsaufbau.



Auf dem Grundgerät SUSE 4.0 mit Halogenstrahler 120 W steht das bestrahlte Solarmodul SUSE 4.51. Ganz links unten steht das Lastmodul SUSE 4.55-18, darüber der Mess- PC. Hinter dem Solarmodul steht das Messinterface CassyLab. Auf dem Bildschirm erkennt man das Menü zur Einstellung der Messparameter. Ganz rechts steht ein Overheadprojektor als Lichtquelle, auf dem das Experiment auch bei höherer Lichtintensität durchgeführt werden kann.

Das Solarmodul SUSE 4.51 steht auf dem Grundgerät SUSE 4.0, der Halogenstrahler soll **nur für die Experimente eingeschaltet werden**, um Erwärmung des Moduls zu vermeiden. Das Zusatzgerät SUSE 4.55 hat 3 Eingänge, in das untere Inputbuchsenpaar wird das Modulkabel polrichtig eingesteckt, in das Buchsenpaar zur Spannungsmessung werden 2 Kabel polrichtig eingesteckt, die zum U- Eingang von Cassy führen. In das Buchsenpaar zur Stromstärkemessung werden 2 Kabel polrichtig eingesteckt, die zum I- Eingang von Cassy führen.

Mit Unterstützung des NILS- Personals werden die Cassy- Einstellungen am Laptop vorgenommen, in der Darstellung werden die I-U-Kurve und die P-U- Kurve abgebildet.

Das Modul SUSE 4.51 wird auf das Grundgerät SUSE 4.0 gestellt, so dass die Vorderkante am schwarzen Strich steht. Anschließend wird der Halogenstrahler auf das Modul ausgerichtet, so dass es ganzheitlich hell bestrahlt wird, danach wieder ausgeschaltet.

## 2. Versuchsdurchführung:

Der Halogenstrahler wird eingeschaltet, wichtig ist die gleichmäßige Ausleuchtung aller 18 Solarzellen. Das Potenziometer von SUSE 4.55 zu einem Anschlag gedreht und die Cassy- Messung gestartet. Nun wird das Potenziometer sanft und langsam bis zum anderen Anschlag gedreht, dabei werden von Cassy die Messwerte aufgezeichnet, die als Tabelle und Graphen I(U) und P(U) zur Verfügung stehen.

## 3. Auswertung:

### 3.1 Bestimmung der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke S):

Aus dem Kurzschlussstrom  $I_{sc}$  (Schnittpunkt der I-U-Kurve mit der I- Achse) kann die Bestrahlungsstärke bestimmt werden wie in Experiment C2 dargestellt ist:

**Messung  $I_{sc}$  = .....A     $S$  =.....W/m<sup>2</sup>**

### 3.2 Bestimmung der momentanen elektrischen Leistung $P_E$ :

Das Maximum der P-U-Kurve ist der Maximum- Power-Point MPP, hier (oder in der Messwerttabelle) kann die Leistung bei der aktuellen Bestrahlungsstärke S abgelesen werden:

**Momentane elektrische Leistung  $P_E$  =.....W**

### 3.3 Bestimmung des Wirkungsgrades:

Da alle Solarzellen identisch sind, berechnen wir zuerst die **gesamte Solarzellenfläche** aller 18 Solarzellen:

**1 Solarzelle:**    Länge.....cm, Breite.....cm, Fläche  $A_1$ .....cm<sup>2</sup>

**18 Solarzellen:**    Fläche  $A_{18} = 18 * \text{Fläche } A_1 = \text{.....cm}^2$

Diese Fläche wird bestrahlt und generiert die elektrische Leistung  $P_E$ .

Auf diese Fläche strahlt das Licht mit der Lichtleistung  $S = \text{.....W/m}^2$  (aus 3.1)

$S$  gibt die Leistung des Lichts auf 1 m<sup>2</sup> an, wir müssen die Leistung auf  $A_{18}$  berechnen:

1 m<sup>2</sup> = 10 000 cm<sup>2</sup>    **Lichtleistung  $P_L$  auf  $A_{18}$  =  $\frac{S \text{ (aus 3.1)}}{10\,000} * A_{18} = \text{.....W}$**

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

Vergleichen Sie diesen Wert mit den Hersteller- Angaben auf dem Typschild:

## Experimente D: Experimente mit 2 Solarmodulen SUSE 4.51

Wir können 2 Module SUSE 4.51 auch in **Reihe schalten (D1)** oder **parallel schalten (D2)**. Beide Schaltungsarten sind für die Praxis wichtig, große Photovoltaikanlagen auf Dächern bestehen meist aus Reihenschaltungen von vielen Solarmodulen.

### D1 Reihenschaltung von 2 Solarmodulen SUSE 4.51

Wir stellen 2 Module SUSE 4.51 **im Freien** auf einen Tisch oder auf einen Boden direkt nebeneinander mit gleichem Neigungswinkel auf (siehe Foto). Die Module sollen zur Sonne oder –bei bedecktem Himmel– nach Süden ausgerichtet werden. Im **Innenraum** bestrahlen wir beide Module mit einem 400 W Halogenstrahler aus ca. 60 cm Abstand (Strahler nur zu den Messungen einschalten!).



Experimenteller Aufbau →

**Für eine Reihenschaltung von Solarmodulen (oder allg. von Stromquellen) gilt folgende Gesetzmäßigkeit:**

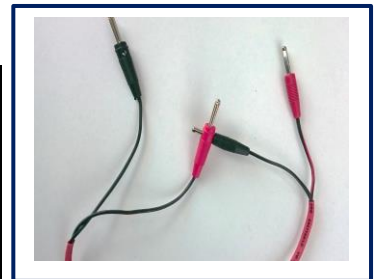
**Die Einzel- Spannungen addieren sich, während der Gesamtstrom der Reihenschaltung durch den schlechteren (geringeren) Einzelstrom der beiden Module bestimmt wird.**

Diese Gesetzmäßigkeiten wollen wir durch eigene Experimente überprüfen!

Zur Reihenschaltung verbinden wir die Modulkabel wie folgt: Der Minusstecker des Moduls 1 (schwarz) wird in das Querloch des Plussteckers (rot) vom Kabel des Moduls 2 gesteckt. Fertig ist die Reihenschaltung, siehe Foto!

Der Plusstecker von Modul 1 und der Minusstecker von Modul 2 sind die Anschlüsse der Reihenschaltung und gehen zum Multimeter.

Steckerverbindung bei Reihenschaltung



### Messungen:

Messbereiche des Multimeters: Leerlaufspannung im Messbereich 200V DC, Kurzschlussstrom im Messbereich 10A DC

	Leerlaufspannung in V	Kurzschlussstrom in A
<b>Modul 1 alleine</b>		
<b>Modul 2 alleine</b>		
<b>Reihenschaltung</b>		

## D2 Parallelschaltung von 2 Solarmodulen SUSE 4.51

Wir stellen 2 Module SUSE 4.51 wie bei der Reihenschaltung **im Freien** auf einen Tisch oder auf einen Boden direkt nebeneinander mit gleichem Neigungswinkel auf (siehe Foto). Die Module sollen zur Sonne oder –bei bedecktem Himmel- nach Süden ausgerichtet werden. Im **Innenraum** bestrahlen wir beide Module mit einem 400 W Halogenstrahler aus ca. 60 cm Abstand (Strahler nur zu den Messungen einschalten!).

**Für eine Parallelschaltung von Solarmodulen (oder allg. von Stromquellen) gilt folgende Gesetzmäßigkeit:**

**Die Gesamtspannung bleibt gleich** (wenn beide Module die gleiche Leerlaufspannung haben), **während der Gesamtstrom der Parallelschaltung die Summe der beiden Einzelströme ist.**

(Sind die Spannungen beider Module ungleich, bestimmt die geringere Spannung die Gesamtspannung, hier kann es dann auch Probleme durch leistungsmindernde, innere Ausgleichsströme geben!)

Diese Gesetzmäßigkeiten wollen wir durch eigene Experimente überprüfen!

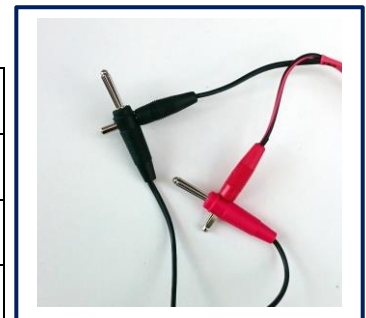
Zur **Parallelschaltung** verbinden wir die Modulkabel wie folgt: Wir stecken den schwarzen Minusstecker von Modul 1 in das Querloch vom schwarzen Minusstecker von Modul 2, bei den beiden roten Steckern gehen wir genau so vor, siehe Foto! Minus- und Plusstecker gehen zum Multimeter.

Steckerverbindung bei Parallelschaltung

### Messungen:

Messbereiche des Multimeters: Leerlaufspannung im Messbereich 20V DC, Kurzschlussstrom im Messbereich 10A DC

	Leerlaufspannung in V	Kurzschlussstrom in A
<b>Modul 1 alleine</b>		
<b>Modul 2 alleine</b>		
<b>Parallelschaltung</b>		



**Bestätigt sich die Gesetzmäßigkeit? Formulieren Sie Ihre Ergebnisse hier:**