



# SUNdidactics

**SolarEnergyDidactics**  
**SolarEducation**  
**SolarEngineering**  
**Photovoltaics + Solarthermal**

**innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung**  
**innovative solar- systems for school, college, technical education**

NILS ISFH

**Kooperationspartner**  
**cooperation partner**

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

**Photovoltaik-**  
**System**  
**SUSE**

**Solartechnik**  
**Experimentiergeräte**  
**Solare Experimente**  
**von der Grundschule**  
**bis zum Abitur**

*Solar technology  
Experimentation devices  
Solar experiments*

**BNE**

**Bildung**  
**für**  
**nachhaltige**  
**Entwicklung**

*Education  
for  
Sustainable  
Development*

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

**SUNdidactics Solar Systems Hildesheim, Germany**

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

## 20 W - Solarmodul SUSE 4.42

**Professionelles Solarmodul mit 36 Solarzellen in interner Reihenschaltung**  
**Besonders geeignet für Solarmodul- Experimente**

**oder als Inselanlage in Kombination mit 12 V- Akku und Solar- Laderegler**

**Mit DC-DC- Wandler SUSE 4.17 optimal geeignet zum Laden von Smartphones/Tablets/Notebooks**



Solarmodul 20W,  
SUSE 4.42

**Das professionelle 20 W - Solarmodul SUSE 4.42 ist für Photovoltaik- Experimente in der Grundschule, Sekundarstufe I und II gut geeignet.**

Mit dem Solarmodul **SUSE 4.42** lassen sich im Sonnenlicht oder im Licht eines Halogenstrahlers alle relevanten Messungen und Experimente zu einem Solarmodul durchführen. Weiterhin lässt sich mit einem zusätzlichen Laderegler und einem 12 V- Akku eine kleine PV- Inselanlage aufbauen.

Das Modul enthält 36 Solarzellen in interner Reihenschaltung. Mit dem rückwärtigen Boden-/Tischaufsteller kann das Modul auf dem Boden oder auf einem Tisch mit einstellbarem Neigungswinkel aufgestellt werden.

Mit dem DC- DC- Wandler SUSE 4.17/4.17M/4.17U lässt sich das Modul optimal zum Laden und zum Betrieb von Smartphones/Tablets/Notebooks/Powerbank- Akkus oder SUSE- Geräte mit USB-Anschluss mit USB-Ladekabel verwenden.

**Für die Experimente gibt eine ausführliche und umfangreiche Anleitung.**



**Modulvorderseite (links) und Rückseite (rechts)**

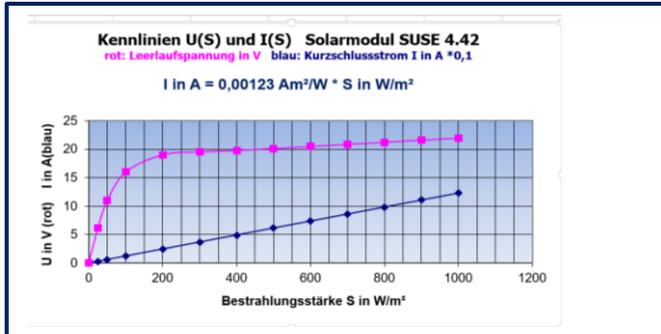


**Stabiler Aluminiumrahmen Anschlusskabel 1,5 m Anschlussbox mit LED stufenloser Aufsteller**

# Die Kennlinien – aufgenommen im Kennlinienlabor des ISFH

## 1. U(S) – I(S)- Kennlinie

Die Kennlinie zeigt die Abhängigkeit der Leerlaufspannung und des Kurzschlussstroms von der Lichtintensität (= Bestrahlungsstärke S) in W/m<sup>2</sup> Bei T = 25°C, AM 1,5

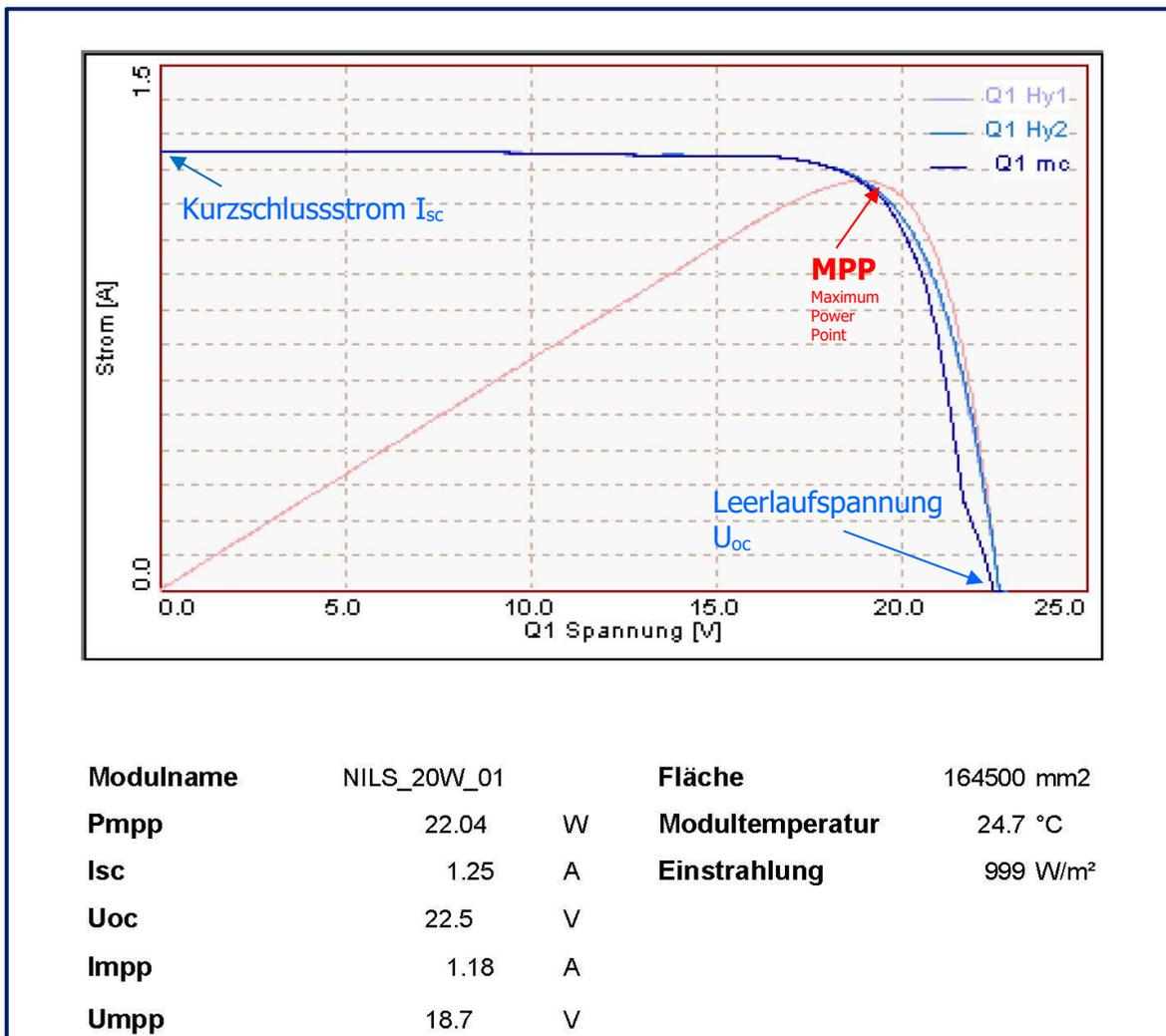


### Die U(S)- und I(S)- Kennlinie des Solarmoduls

I(S) steigt linear an,  
U(S) ist eine e-Funktion

## 2. I(U)- und P(U)- Kennlinie

Die Kennlinie zeigt die Abhängigkeit I(U) und die Leistungskurve P(U) mit dem MPP (Maximum-Power-Point) bei S = 1000 W/m<sup>2</sup>, T = 25°C, AM 1,5



Auf der Seite 3 folgen die technischen Daten des Herstellers

# MSPC20AS-18

20Wp Poly-Crystalline Solar Module

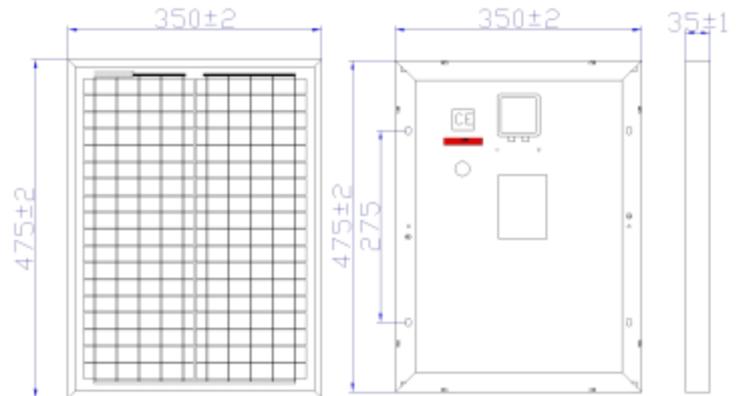
**MünchenSolar**  
MAXIMALENERGIE



Manufacturer of high quality module



Engineering drawing



## Key Features



Plus power tolerance: +3%



Independent research anti-reflective and self-cleaning glass surface reduces power loss from dirt and dust



Excellent performance under low light environments, create better kWh/kW ratio and produce average 2-3% more electricity



## Best Quality



Junction box and bypass diodes guarantee the modules free of overheating and “hot spot effect”



100% EL double-inspection ensures modules are defects free



## Mechanical characteristics

Cell Type	Poly-crystalline 156.75x21
Number of cells	36pcs (2x18)
Module Dimensions	475x350x35 mm
Module weight	1.2 kg
Front Glass	3.2mm Low iron tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy
Connector	MC4 PLUG
Output Cables	S=2.5mm <sup>2</sup> /L=900mm
Junction box	IP67 with bypass-diode
Fire Safety Class	Class C (IEC61730)



## Electrical Performance

Module Type	MSPC20AS-18	
Power output	20W	
Power output tolerances	%	0~+3
Module efficiency	%	12
Voltage at Pmax	V	18.22
Current at Pmax	A	1.10
Open circuit voltage	V	22.34
Short circuit current	A	1.16
Cells efficiency	%	17.4
Operating temperature	°C	-40 ~ +85

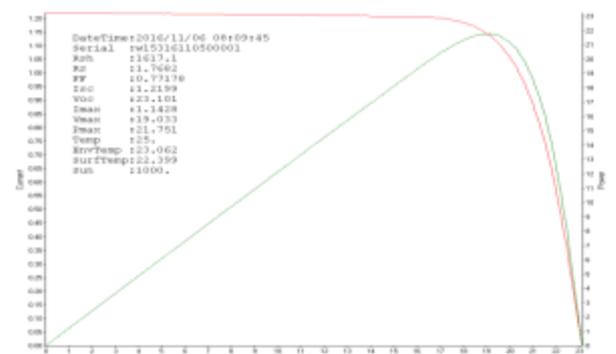


## Thermal characteristics

Nominal operating cell temperature	°C	45 ± 2
Temperature coefficient of Pmax	% / °C	-0.37
Temperature coefficient of Voc	% / °C	-0.30
Temperature coefficient of Isc	% / °C	+0.04



## Electrical characteristics





**Photovoltaik-  
System  
SUSE**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung

**Solarthermiesystem  
Wärme von der Sonne**



# Experimente mit dem Solarmodul SUSE 4.42-20 20 W- Solarmodul für PV- Experimente

36 Solarzellen in interner Reihenschaltung  $U_{oc}=22.34\text{ V}$ ,  $I_{sc}=1,16\text{ A}$ ,  $P=20\text{ W}$  bei  $S=1000\text{ W/m}^2$ ,  $T=25^\circ\text{C}$ , AM 1,5  
mit integrierter Indikator- LED (grün) zur Betriebsanzeige

## 1. Gerätebeschreibung und technische Daten



Das **Solarmodul SUSE 4.42** ist ein professionelles und sehr robustes Solarmodul mit 36 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 (24V) 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.

### Die Kennlinien des Moduls:

#### 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 21,9 V.

Mathematisch ist der Graph eine e- Funktion!

Der **Kurzschlussstrom**  $I_{sc}$  steigt linear mit der Bestrahlungsstärke bis zum Maximalwert 1,23 A an.

Die Bestrahlungsstärke  $S$  (Lichtintensität) in  $\text{W/m}^2$  ist 0 bei totaler Dunkelheit und 1000 bei strahlendem Sonnenschein im Sommer bei tiefblauem Himmel.

### Technische Daten Technical data

**20W- Solarmodul SUSE 4.42  
bei/with STC  $S=1000\text{ W/m}^2$ ,  
 $T=25^\circ\text{C}$ , AM 1,5**

Zelltyp: Multikristallin Cell type: multicrystalline

Zellenanzahl: 36 Cell number: 36

Rahmen: Aluminium Frame: Aluminum

Außenmaße: 470 x 345 mm x 25 mm

External dimensions: 470 x 325 x 25 mm

Nennleistung: 20,0 W Nominal output: 20.0 W

Toleranz: 0 - +3%

$P_{mpp}$ : 20,0 W

$U_{oc}$ : 22,34 V

$I_{sc}$ : 1,16 A

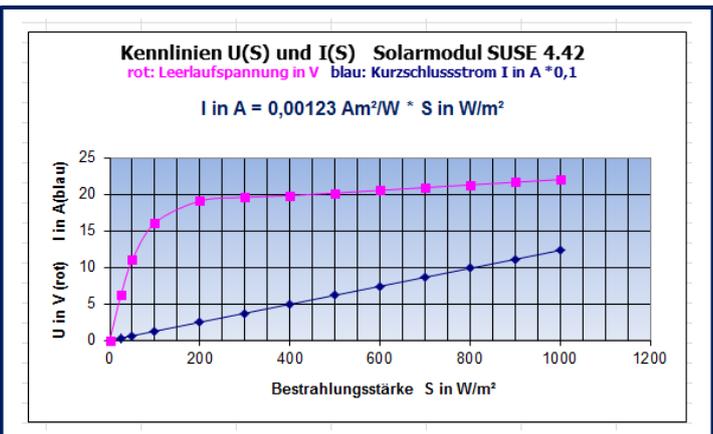
$U_{mpp}$ : 18,22 V

$I_{mpp}$ : 1,1 A

Boden/Tisch- Aufsteller stufenlos einstellbar

Ground/table positioner, steplessly variable

Grüne Indikator- LED green indicator LED



## 2. Technischer Aufbau des Solarmoduls:

Im Modul sind **36 identische Solarzellen elektrisch in Reihe geschaltet**, 2 Reihen mit je 18 Solarzellen. Eine Reihe heißt „string“. Der Pluspol der 1. Solarzelle bildet den Pluspol des Moduls, der Minuspol der 36. 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:



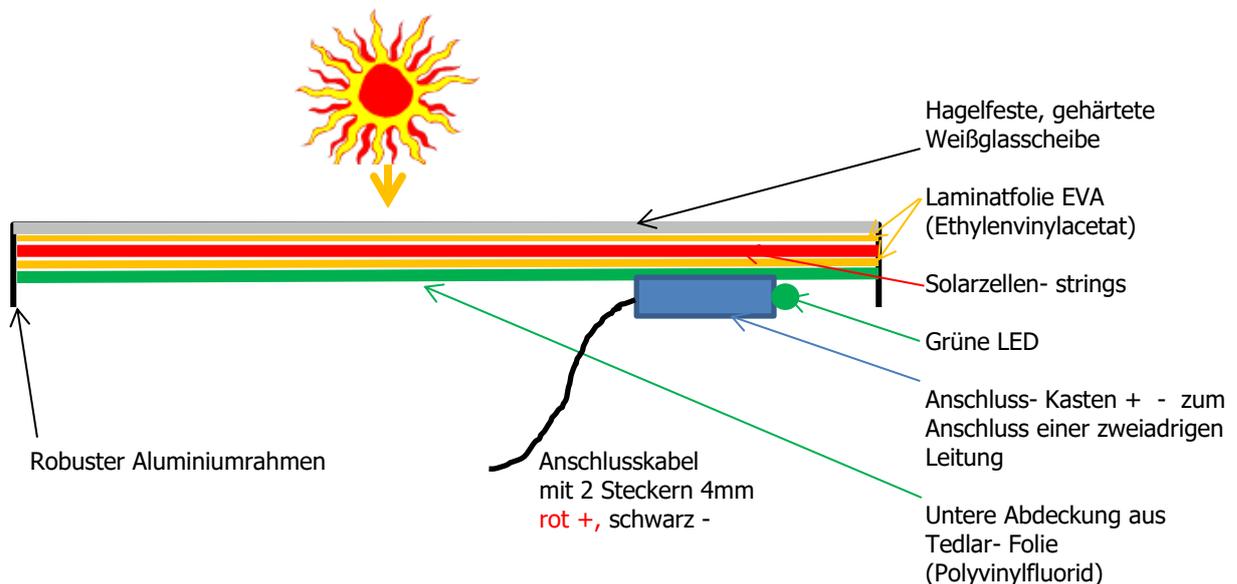
Der Zellverbinder wird also an der Oberseite der 1. Zelle angelötet, im 3mm- Zwischenraum zwischen beiden Zellen nach unten geführt und auf der Unterseite der 2. Zelle angelötet. Auf diese Weise werden alle 36 Solarzellen miteinander verbunden. An den Enden eines strings wird der Zellverbinder zum nächsten string geführt.

Bei dieser elektrischen **Reihenschaltung addieren sich die Spannungen** der Solarzellen, die Gesamtspannung  $U_{ges}$  des Moduls ist also die 36- 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 4.42 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 nur für das Solarmodul SUSE 4.42, andere 20W- Module haben andere technische Daten und andere Messwerte.**

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

können der Reihe nach oder auch unabhängig voneinander durchgeführt werden.

## A Solarmodul SUSE 4.42 als Solargenerator zum Betrieb von Geräten

### A1 An das Solarmodul SUSE 4.42 lassen sich folgende Geräte direkt anschließen:

- **LED- Module SUSE 4.15** in rot, grün, gelb, blau, IR, weiß oder **SUSE 4.20IRRB** (24V-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 4.42

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 4.42 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 und Solarfahrzeug SUSE SF6USB**  
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. Laden Sie das Fahrzeug entsprechend der Anleitung.

Tagsüber lassen sich die Experimente optimal draußen im natürlichen Sonnenlicht oder bei bedecktem Himmel durchführen. Im Innenraum können als Lichtquellen Halogenstrahler (Baustrahler 400 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, achten Sie auf die Gesetze der Reihenschaltung:

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

### 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 messen!)

### 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 4.42

#### 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: 200 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:**

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 4.42 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 4.42 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			
360			
240			
300			

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

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

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

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

**Kurzschlussstrom I<sub>sc</sub> der Solarzellen bei einer Bestrahlung von 1000 W/m<sup>2</sup>**

**I<sub>sc</sub> = .....1,23.....A = .....1230.....mA**

**Messung der Bestrahlungsstärke S von Licht (Lichtintensität) in W/m<sup>2</sup>:**

Da der Kurzschlussstrom I<sub>sc</sub> einer Solarzelle proportional zur Bestrahlungsstärke S ist, gilt:

$$\frac{1,23 \text{ A (I}_{sc})}{1000 \text{ W/m}^2} = \frac{\text{I}_{mess} \text{ in A}}{\text{S}_x \text{ in W/m}^2} \quad \text{oder nach S}_x \text{ umgestellt: } \text{S}_x = \frac{\text{I}_{mess} \text{ (in A)} * 1000}{1,23 \text{ A}}$$

Dabei ist:

I <sub>sc</sub>	in A	der kalibrierte Kurzschlussstrom bei 1000 W/m <sup>2</sup> = <b>0,59 A</b>
I <sub>mess</sub>	in A	der gemessene Kurzschlussstrom bei der Bestrahlungsstärke S <sub>x</sub>
S <sub>x</sub>	in W/m <sup>2</sup>	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 <sub>sc</sub> in A	Bestrahlungsstärke S <sub>x</sub> in W/m <sup>2</sup>
Strahlender Sonnenschein direkt zur Sonne gemessen		
Strahlender Sonnenschein im Schatten gemessen		
Bedeckter Himmel Nach Süden gemessen		
Sehr trübes Wetter		
Auf der Platte eines Overheadprojektors		
50 cm vor Halogenstrahler 400 W		
Im Innenraum Zum Fenster hin ausgerichtet		

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

## **Experimente D: Experimente mit 2 Solarmodulen SUSE 4.42**

Wir können 2 Module SUSE 4.42 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 4.42

Wir stellen 2 Module SUSE 4.42 **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



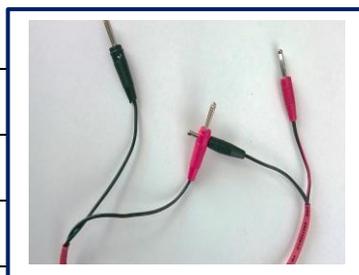
**Für eine Reihenschaltung von Solarmodulen (oder allg. von Stromquellen) gilt folgende Gesetzmäßigkeit:  
Die Einzel- Spannungen addieren sich, während der Gesamtstrom der Reihenschaltung durch den schlechteren (geringeren) Einzelstrom der beiden Module bestimmt wird.**

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 4.42

Wir stellen 2 Module SUSE 4.42 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 Addition 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!

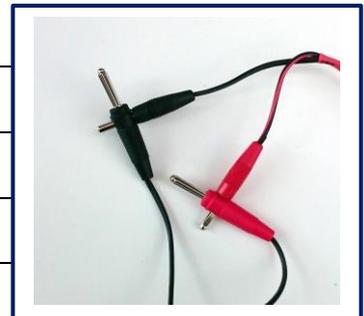
Zur **Parallelschaltung** verbinden wir die Modulkabel wie folgt: Wir stecken den schwarzen Minusstecker von Modul 1 in das Querloch vom schwarzen Minusstecker von Modul 2, bei den beiden roten Steckern gehen wir genau so vor, siehe Foto! Minus- und Plusstecker gehen zum Multimeter.

Steckerverbindung bei Parallelschaltung

**Messungen:**

Messbereiche des Multimeters: Leerlaufspannung im Messbereich 200 V 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:**



# Experimentelle Lernstation mit 4 Experimenten

## Smartphone laden mit Solarmodul 20W



### Die Experimentiergeräte: Solarmodul 20 W + Box mit Experimentiergeräten für 4 Experimente

1. 1 Solarmodul 20W mit Aufsteller und Anschlusskabel
2. 1 DC-DC- Wandler SUSE 4.17U
3. 3 Smartphone- Ladekabel USB-A auf USB-C, USB-A auf mikro-USB, USB-A auf Lightning (Apple)
4. 1 Multimeter (gelb) + 2 Laborkabel schwarz + rot
5. 1 USB- Messgerät

### Die 4 Experimente:

- Experiment 1: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien ohne Messungen** Seiten 1+2
- Experiment 2: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien mit Messungen** Seiten 3+4
- Experiment 3: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien mit Messungen zum Wirkungsgrad des Moduls, des DC-DC- Wandlers und zur Qualität der Solarzellen im Solarmodul** Seiten 5-7
- Experiment 4: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien mit Messungen zur Solarstrahlung, Solarzelle, Solarmodul** Seiten 8-10

### Experiment 1: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien ohne Messungen

# 1

#### Notwendige Experimentiergeräte:

1x Solarmodul 20W, 1x DC-DC-Wandler SUSE 4.17U, 3x Ladekabel, 1 Smartphone, 1 Stift

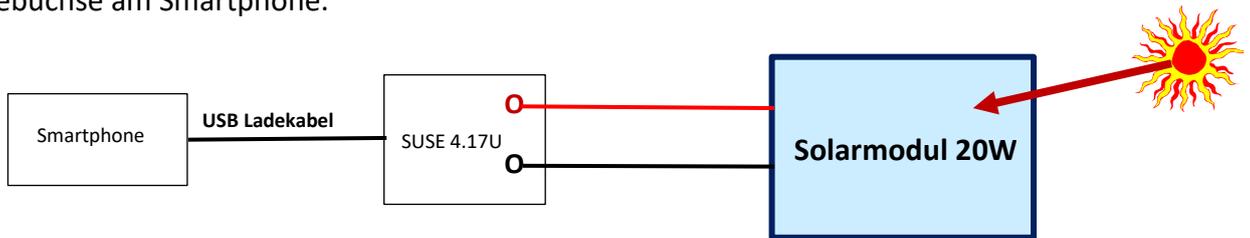
Name: .....Klasse:.....Schule:.....Datum:.....

### Didaktische und methodische Hinweise zu den Experimenten:

Die Gerätesätze stehen im NILS- Labor des ISFH 5-fach zur Verfügung, es kann damit eine 15er Gruppe mit 5 Untergruppen mit je 3 TeilnehmerInnen experimentieren, das fachliche Niveau der Experimente passt zu Klassenstufen 9, 10 und SEK II, Experiment 1 kann auch mit SchülerInnen der Klassenstufe 8 durchgeführt werden. Alle 4 Experimente sind für einen Durchgang zu umfangreich, die betreuende Lehrkraft sollte sich auf 1 oder 2 Experimente (jeweils mit Unterexperimenten) beschränken. Zeitbedarf für 1 Experiment mit Unterexperiment wäre 45 Minuten. Für die Lehrkräfte gibt es Lösungen zu den Experimenten per email über nils@isfh.de.

Smartphone laden über erneuerbare Energien, hier Solarenergie, ist für SchülerInnen sehr attraktiv, da das Smartphone Bestandteil ihres täglichen Lebens ist und regelmäßig geladen werden muss. Moderne Smartphones haben Ladeströme von 1-2 A, so dass ein leistungsstarkes Solarmodul verwendet werden muss, wir haben uns für ein 20W- Modul entschieden, so dass eine Ladung auch bei bewölktem Himmel funktioniert. Mit einem DC-DC-Wandler mit hohem Wirkungsgrad wird die Solarmodulspannung von ca. 22V in die übliche Ladespannung von 5 V DC umgewandelt. Das verwendete Solarmodul hat 36 identische Solarzellen in interner Reihenschaltung und liefert eine elektrische Leistung von 20W bei einer Bestrahlungsstärke des Sonnenlichts von 1000W/m<sup>2</sup> und 25°C (strahlender Sonnenschein mittags im Sommerhalbjahr, unbewölkter Himmel). Zum Laden werden ca. 10W elektrische Leistung benötigt.

- 1. Basisinfo:** Mit Sonnenenergie lässt sich ein Smartphone super laden, es ist technisch/physikalisch durchaus niveauvoll, dazu dient diese Lernstation mit insgesamt 4 Experimenten. Ein Solarmodul 20W wandelt die Energie der Solarstrahlung in elektrische Energie um, der DC-DC-Wandler SUSE 4.17 regelt die wechselnde Solarmodulspannung auf const. 5V an einem USB-A-port, diese Spannung benötigt ein Smartphone oder Tablet zum Laden. Die Ladestromstärke wird durch die Ladeelektronik im Smartphone bestimmt, sie kann zu Beginn der Ladung Werte von 1...2 A DC annehmen, sie ändert sich kontinuierlich im Verlauf der Aufladung, das bestimmt die Ladeelektronik im Smartphone.
- 2. Aufbau:** Gehe hinaus ins Freie und richte das Solarmodul 20W zur Sonne aus, bei bedecktem Himmel auf die hellste Stelle des Himmels. Schließe das Kabel des Solarmoduls polrichtig (rote Stecker in rote Buchse, schwarzer Stecker in schwarze Buchse) an den DC-DC-Wandler SUSE 4.17U an. Nun leuchtet die grüne LED zwischen den Buchsen und das Display zwischen den beiden USB- Buchsen. Stecke das für Dein Smartphone passende Ladekabel in die USB- Buchse an SUSE 4.17U, der andere Stecker kommt in die Ladebuchse am Smartphone.



### 3. Experiment- Durchführung:

- 3a) Beobachte das Display des eingeschalteten Smartphones, funktioniert die Ladung?
- 3b) Bestimme mit der Stoppuhr des Smartphones die Ladezeit für 1% Ladungszunahme!
- 3c) Schalte Dein Smartphone aus und wiederhole das Experiment (mit einem 2. Smartphone als Stoppuhr), was fällt Dir auf? Vergleiche 2b + 2c und erkläre die Unterschiede!
- 3d) Warum ist es sinnvoller, einen Powerbank- Akku statt des Smartphones mit dem Solarmodul zu laden, erkläre!

**Notiere Deine Beobachtungen und Ergebnisse hier:**



# Experimentelle Lernstation mit 4 Experimenten

## Smartphone laden mit Solarmodul 20W



**Die Experimentiergeräte: Solarmodul 20 W + Box mit Experimentiergeräten für 4 Experimente**

- 1 Solarmodul 20W mit Aufsteller und Anschlusskabel
- 1 DC-DC- Wandler SUSE 4.17U
- 3 Smartphone- Ladekabel USB-A auf USB-C, USB-A auf mikro-USB, USB-A auf Lightning (Apple)
- 1 Multimeter (gelb) + 2 Laborkabel schwarz + rot
- 1 USB- Messgerät

### Die 4 Experimente:

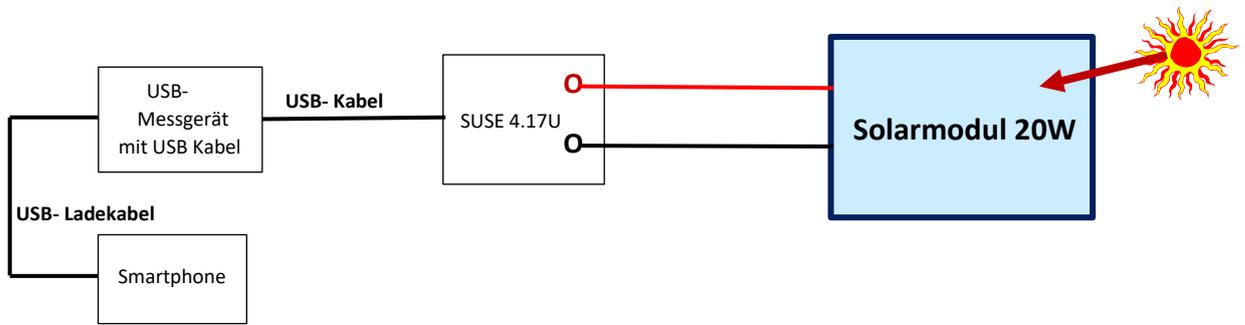
- Experiment 1: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien ohne Messungen** Seiten 1+2
- Experiment 2: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien mit Messungen** Seiten 3+4
- Experiment 3: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien mit Messungen zum Wirkungsgrad des Moduls, des DC-DC- Wandlers und zur Qualität der Solarzellen im Solarmodul** Seiten 5-7
- Experiment 4: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien mit Messungen zur Solarstrahlung, Solarzelle, Solarmodul** Seiten 8-10

### Experiment 2: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien mit Messungen

- 2** **Notwendige Experimentiergeräte:**  
1x Solarmodul 20W, 1x DC-DC-Wandler SUSE 4.17U, 3x Ladekabel, 1x Smartphone,  
1x USB- Messgerät, 1x Stift

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

1. **Basisinfo:** In diesem Experiment wollen wir Spannungen, Stromstärken, Leistung messen, um genauere Informationen zum Laden des Smartphones zu gewinnen. Dazu schließen wir in den 5V- Stromkreis hinter dem DC-DC- Wandler ein USB- Messgerät an (siehe Schaltplan und Foto auf Seite 3!). Mit diesem Messgerät kann man die Ladespannung in V, die Ladestromstärke in A und die seit Ladebeginn geflossene elektrische Ladungsmenge in mAh bestimmen und ablesen. Das Produkt aus der Ladespannung in V und dem Ladestrom in A ist die elektrische Ladeleistung, mit der das Smartphone geladen wird. Die Ladestromstärke wird durch die im Smartphone eingebaute Ladeelektronik bestimmt, sie ändert sich ständig, weil die Ladeelektronik diese genau an die optimale Akkuladung anpasst.
2. **Aufbau:** Gehe hinaus ins Freie und richte das Solarmodul 20W zur Sonne aus, bei bedecktem Himmel auf die hellste Stelle des Himmels. Schließe die Kabel des Solarmoduls polrichtig (rote Stecker in rote Buchse, schwarzer Stecker in schwarze Buchse) an den DC-DC-Wandler SUSE 4.17U an. Nun leuchtet die grüne LED zwischen den Buchsen und das Display zwischen den beiden USB- Buchsen. Stecke das Kabel des USB- Messgerätes in die USB- Buchse an SUSE 4.17U. Der USB-A-Stecker des Ladekabels kommt in die USB- Buchse des USB- Messgerätes, der passende Ladestecker kommt in die Ladebuchse am Smartphone.



Wie das Schaltbild zeigt, wird das USB- Messgerät zwischen den DC-DC-Wandler SUSE 4.17 und das Smartphone eingebaut. Das USB- Messgerät zeigt 3 Messwerte an, siehe Text auf Seite 3.



- Die Ladespannung  $U$  für ein Smartphone/Tablet sollte  $5,0\text{ V}$  sein  $\pm 10\%$
- Die Ladestromstärke  $I$  wird von der Ladeelektronik im Smartphone vorgegeben, sie kann sich im Laufe der Aufladung ändern, das Solarmodul muss aber genügend Stromstärke liefern können
- Das USB- Messgerät berechnet aus Spannung, Stromstärke und Zeit die geflossene Ladungsmenge  $Q$  ab dem Ladestart, ein Smartphone- Akku kann ca.  $3000\text{ mAh}$  Ladungsmenge aufnehmen

### 3. Experiment- Durchführung:

Baue das Experiment wie Auf Seite 3 beschrieben auf, stecke aber das Ladekabel noch nicht in das Smartphone. Verwende zur Zeitmessung eine Uhr oder ein 2. Smartphone. Stelle mit dem Resetknopf die Werte des vorherigen Versuches auf 0! Das Gerät speichert Deine gemessenen Werte! Stecke zum Experimentstart (Minute 0) das Ladekabel in das Smartphone und lies  $U, I, Q$  ab und trage die Werte in die Tabelle ein. Wiederhole die Messungen nach jeweils Minute 1,2,3,4,5.

Zeit in Minuten	0	1	2	3	4	5
Ladespannung $U$ in V						
Ladestromstärke $I$ in A						
geflossene Ladungsmenge in mAh						
Leistung in W $U \cdot I$						

Was fällt Dir auf, notiere Deine Beobachtungen und Auswertung hier:



# Experimentelle Lernstation mit 4 Experimenten

## Smartphone laden mit Solarmodul 20W



### Die Experimentiergeräte: Solarmodul 20 W + Box mit Experimentiergeräten für 4 Experimente

- 1 Solarmodul 20W mit Aufsteller und Anschlusskabel
- 1 DC-DC- Wandler SUSE 4.17U
- 3 Smartphone- Ladekabel USB-A auf USB-C, USB-A auf mikro-USB, USB-A auf Lightning (Apple)
- 1 Multimeter (gelb) + 2 Laborkabel schwarz + rot
- 1 USB- Messgerät

### Die 4 Experimente:

- Experiment 1: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien ohne Messungen Seiten 1+2
- Experiment 2: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien mit Messungen Seiten 3+4
- Experiment 3: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien mit Messungen zum Wirkungsgrad des Moduls, des DC-DC- Wandlers und zur Qualität der Solarzellen im Solarmodul Seiten 5-7
- Experiment 4: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien mit Messungen zur Solarstrahlung, Solarzelle, Solarmodul Seiten 8-10

### Experiment 3: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien mit Messungen/Berechnungen zum Wirkungsgrad des Solarmoduls und des DC-DC- Wandlers

- 3** Notwendige Experimentiergeräte:  
 1x Solarmodul 20W, 1x DC-DC-Wandler SUSE 4.17U, 3x Ladekabel, 1x Smartphone, 1x Stift, 1x Multimeter (gelb) mit 2x Laborkabel rot/schwarz, 1x USB- Messgerät, 1x Zollstock.

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

1. **Basisinfo:** Wir werden uns in Experiment 3 mit Energieumwandlungen und dem Wirkungsgrad befassen. Der Wirkungsgrad bei einer Energieumwandlung gibt an, wieviel % der primären Energie in die sekundäre Energie umgewandelt wird und wie hoch die Umwandlungsverluste sind. So hat z.B. eine Glühbirne nur 8% Wirkungsgrad, d.h. 8% der elektrischen Energie werden zu Licht umgewandelt, der Rest ist Verlust = ungenutzte Wärmeenergie. Wir untersuchen im Experiment 3 den Wirkungsgrad von Solarzellen und den Wirkungsgrad des elektronischen DC-DC- Wandlers in SUSE.

**Die Strahlungsenergie (Bestrahlungsstärke S) der Sonne** beträgt im Sommer mittags bei blauem, wolkenlosen Himmel **1000 W/m<sup>2</sup>**, der Hersteller des Solarmoduls hat mit dieser Bestrahlungsstärke bei T = 25°C seine 36 Solarzellen im Modul getestet, die Messwerte stehen auf einem Aufkleber auf der Modulrückseite. Diese Daten verwenden wir zur Wirkungsgradbestimmung, wir müssen hier nicht selbst messen.

2. **Wirkungsgrad der Solarzellen im Solarmodul:** Im Solarmodul sind 36 identische Solarzellen in interner Reihenschaltung, wir bestimmen mit dem Zollstock oder einem Lineal sehr genau (mm-genau!!) die Länge und die Breite einer Solarzelle und bestimmen aus dem Produkt die Fläche in  $\text{cm}^2$ .

Länge einer Solarzelle: .....cm

Breite einer Solarzelle: .....cm

aus dem Produkt beider Werte bestimmen wir die **Fläche  $A_1$  der Solarzelle** ..... $\text{cm}^2$ , multiplizieren wir diese Fläche mit 36, haben wir die **Gesamtfläche  $A_2$  aller Solarzellen:**..... $\text{cm}^2$ .

Die Sonne strahlt mit  **$1000 \text{ W/m}^2 = 0,1 \text{ W/cm}^2$**  auf die Solarzellen, multipliziert man nun  $A_2$  mit  $0,1 \text{ W/cm}^2$ , erhält man die Strahlungsleistung  $P_S$  der Solarstrahlung auf die Solarzellenfläche  $A_2$ !

**$P_S = \dots\dots\dots \text{W}$** , diese Strahlungsleistung erhalten alle Solarzellen zusammen und wandeln sie in **elektrische Energie  $P_E$**  um, diese steht auf dem Typschild der Modulrückseite, nämlich genau  **$P_E = 20\text{W}$** !

$P_E$

Teilen wir nun ----- und nehmen diesen Wert mal 100, haben wir den

$P_S$

**Wirkungsgrad der Solarzellen im Modul in %.....**

*Solarzellen in Solarmodulen haben Wirkungsgrade zwischen 17%.....22% , je nach Solarzellentyp, Preis und Herstellerfirma!*

3. **Qualität der Solarzellen im Solarmodul:** Eine Solarzelle ist umso besser, je mehr elektrische Energie sie bei einer bestimmten Solareinstrahlung liefert. Auf dem Typschild des Solarmoduls gibt der Hersteller den Kurzschlussstrom bei einer Solar- Einstrahlung von  $1000 \text{ W/m}^2$  an. **Wir berechnen nun, wieviel Stromstärke  $1 \text{ cm}^2$  dieser Solarzelle liefert.**

Fläche  $A_1$  der Solarzelle aus Aufgabe 2:..... $\text{cm}^2$

Kurzschlussstromstärke bei  $S = 1000 \text{ W/m}^2$  (vom Typschild):.....**A** und in **mA**:.....

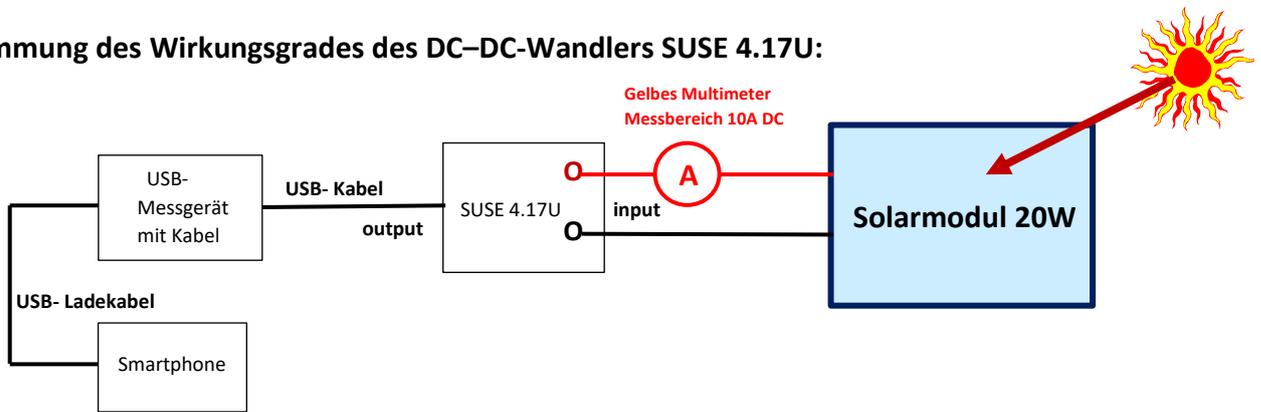
Wenn Du nun die Stromstärke in mA durch die Fläche teilst, bekommst Du die Stromstärke, die  $1 \text{ cm}^2$  der Solarzelle generiert, sie heißt Stromdichte  $j$  in  $\text{mA/cm}^2$ , bestimme diesen Wert und trage ihn hier ein:

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

*Beispiele j: Schlechte Solarzelle  $< 30 \text{ mA/cm}^2$ , mittlere Qualität  $30 - 35 \text{ mA/cm}^2$ , hoch  $35 - 40 \text{ mA/cm}^2$ , sehr hoch  $> 40 \text{ mA/cm}^2$*

**Wie beurteilst Du den Wirkungsgrad und die Qualität der im Modul verwendeten Solarzellen?  
Notiere Dein Ergebnis hier:**

#### 4. Bestimmung des Wirkungsgrades des DC-DC-Wandlers SUSE 4.17U:



Der DC-DC-Wandler SUSE 4.17U wandelt die hohe Spannung des Solarmoduls (ca. 20V, schwankend) in die zum Laden notwendige Spannung von 5V DC an einem USB-Port um.

Um den Wirkungsgrad zu bestimmen messen wir beim Laden die Eingangsleistung und die Ausgangsleistung an SUSE 4.17U.

**Da beim Laden des Smartphones durch die elektronische Laderegulierung im Smartphone die Leistungen ständig schwanken, müssen wir alle 4 Werte zu einem bestimmten Zeitpunkt gemeinsam ablesen!**

Die Eingangsleistung  $P_E$  ist das Produkt von Eingangsspannung  $U_E$  und Eingangsstromstärke  $I_E$ . Der Messwert der Eingangsspannung wird digital angezeigt zwischen den USB- Buchsen von SUSE 4.17U. Die Eingangsstromstärke  $I_E$  lesen wir am gelben Multimeter im Messbereich 10A DC ab.

Die Ausgangsleistung  $P_A$  ist das Produkt von Ausgangsspannung  $U_A$  und Ausgangsstromstärke  $I_A$ . Wir bestimmen beide Werte am USB- Messgerät, dort lesen wird Ausgangsspannung  $U_A$  und Ausgangsstromstärke  $I_A$  ab und berechnen das Produkt.

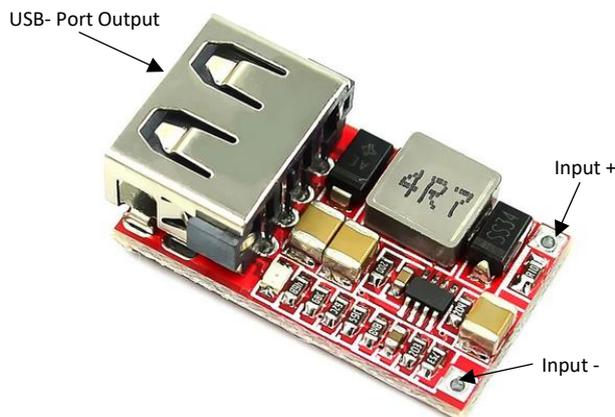
**Zu einem Zeitpunkt lesen wir alle 4 Messwerte gleichzeitig ab:**

$U_E = \dots\dots\dots V$      $I_E = \dots\dots\dots A$      $P_E = U_E * I_E = \dots\dots\dots W$

$U_A = \dots\dots\dots V$      $I_A = \dots\dots\dots A$      $P_A = U_A * I_A = \dots\dots\dots W$

Der Wirkungsgrad  $\eta$  ergibt sich aus  $\frac{P_A}{P_E} * 100 \text{ in } \% = \dots\dots\dots \%$

Blick in die Elektronik des DC-DC-Wandlers:



**Beurteile den Wirkungsgrad und vergleiche mit dem Wirkungsgrad der Solarzelle:**



# Experimentelle Lernstation mit 4 Experimenten

## Smartphone laden mit Solarmodul 20W



### Die Experimentiergeräte: Solarmodul 20 W + Box mit Experimentiergeräten für 4 Experimente

- 1 Solarmodul 20W mit Aufsteller und Anschlusskabel
- 1 DC-DC- Wandler SUSE 4.17U
- 3 Smartphone- Ladekabel USB-A auf USB-C, USB-A auf mikro-USB, USB-A auf Lightning (Apple)
- 1 Multimeter (gelb) + 2 Laborkabel schwarz + rot
- 1 USB- Messgerät

### Die 4 Experimente:

- Experiment 1: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien ohne Messungen Seiten 1+2
- Experiment 2: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien mit Messungen Seiten 3+4
- Experiment 3: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien mit Messungen zum Wirkungsgrad des Moduls, des DC-DC- Wandlers und zur Qualität der Solarzellen im Solarmodul Seiten 5-7
- Experiment 4: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien mit Messungen zur Solarstrahlung, Solarzelle, Solarmodul Seiten 8-10

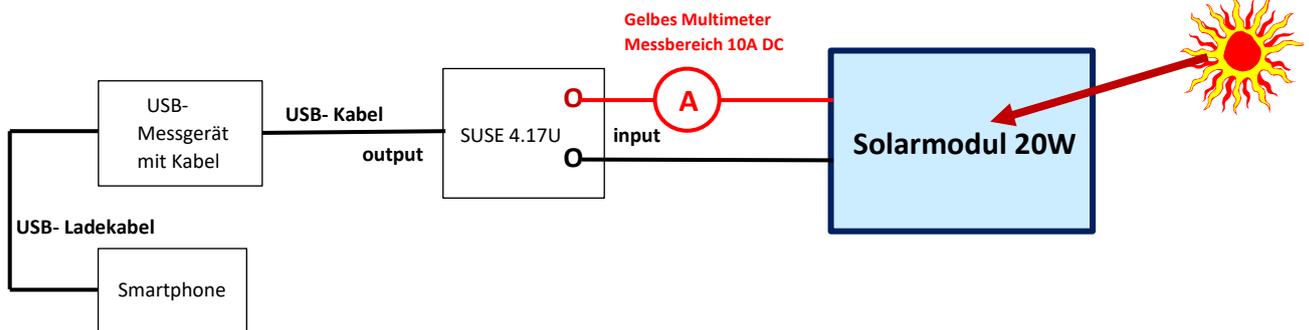
### Experiment 4: Smartphone laden mit 20W- Solarmodul im Freien mit Messungen zur Solarstrahlung, Solarzelle, Solarmodul

#### Notwendige Experimentiergeräte:

# 4

- 1x Solarmodul 20W, 1x DC-DC-Wandler SUSE 4.17U, 3x Ladekabel, 1x Smartphone, 1x Stift, 1x Multimeter (gelb) mit 2x Laborkabel rot/schwarz, 1x USB- Messgerät, 1x Zollstock, optional Kompass oder Kompass-app des Smartphones

1. **Basisinfo:** In diesem Experiment 4 bestimmen wir die aktuelle Leistung des Solarmoduls und die aktuelle Stärke der Solarstrahlung. Nur selten haben wir die Solareinstrahlung von  $1000 \text{ W/m}^2$ , der sonnige, wolkenlose Sommertag mittags mit  $25^\circ\text{C}$  kommt nicht oft vor! Bei Bewölkung oder bei tieferstehender Sonne ist die Solarstrahlung schwächer, bei schwacher Bewölkung nur noch ca.  $600 \text{ W/m}^2$ , bei trübem Wetter nur noch  $50\text{-}100 \text{ W/m}^2$ . Parallel dazu gibt auch unser Solarmodul weniger elektrische Leistung ab, z.B. bei  $600 \text{ W/m}^2$  nur noch  $18\text{W}$ , bei  $100 \text{ W/m}^2$  nur noch  $3\text{W}$ . **Die aktuelle Leistung des Solarmoduls messen wir in diesem Experiment! Wir messen ebenfalls die aktuelle Stärke der Solarstrahlung (Bestrahlungsstärke) in  $\text{W/m}^2$ .**
2. **Aufbau:** Der Aufbau entspricht dem Aufbau in Experiment 3, das USB Messgerät ist nicht notwendig!



3. **Aufbau und Ausrichtung des Solarmoduls:** Stelle das Solarmodul auf einen Tisch oder auf den Boden und richte es zur Sonne aus, bei bedecktem Himmel nach Süden. Um die Ausrichtung perfekt einzustellen, kannst Du den Kurzschlussstrom des Solarmoduls messen, dazu ziehst Du den roten Stecker aus der Buchse am SUSE 4.17 und steckst ihn in das Querloch des schwarzen Steckers. Das gelbe Multimeter zeigt den Kurzschlussstrom an. Bei optimaler Ausrichtung hat der Kurzschlussstrom seinen höchsten Wert, verschiebe und kippe nun das Modul so lange, bis der maximale Kurzschlussstrom erreicht ist! Notiere diesen Wert für Aufgabe 4!
4. **Bestimmung der Stärke der Solarstrahlung:** Die Kurzschlussstromstärke des Solarmoduls ist direkt proportional zur Bestrahlungsstärke der Solarstrahlung, für unser Solarmodul ist der Wert für 1000 W/m<sup>2</sup> auf dem Typschild vermerkt (Short Circuit Current), trage den Wert hier ein:

**Kurzschlussstromstärke I<sub>sc</sub> für S = 1000 W/m<sup>2</sup>: .....A**

Wenn die Bestrahlungsstärke aktuell geringer ist, ist auch der Kurzschlussstrom geringer, trage den aktuellen Wert aus Aufgabe 3 hier ein:

**Kurzschlussstrom I<sub>sc</sub> aktuell:.....A**

Über eine Dreisatzrechnung können wir nun die aktuelle Bestrahlungsstärke S bestimmen:

$$\text{Aktuelle Bestrahlungsstärke S: } \frac{\text{Kurzschlussstrom aktuell}}{\text{Kurzschlussstrom bei 1000 W/m}^2} * 1000 = \text{.....W/m}^2$$

**Beurteile diesen Wert, wiederhole das Experiment im Schatten oder bei stärkerer Bewölkung und notiere Deine Ergebnisse hier:**

5. **Bestimmung der aktuellen Leistung P des Solarmoduls:** Im Normalfall ist die Bestrahlungsstärke der Solarstrahlung geringer als 1000 W/m<sup>2</sup>, somit auch die Leistung unseres Solarmoduls. Die aktuelle Leistung P können wir einfach bestimmen:

$$P = \text{Kurzschlussstrom} * \text{Leerlaufspannung} * 0,8$$

Wir messen den aktuellen Kurzschlussstrom I<sub>sc</sub> .....A und ziehen den roten Stecker aus dem schwarzen Stecker, lassen den roten Stecker frei, nun lesen wir die Leerlaufspannung U<sub>oc</sub> am Display zwischen den USB- ports ab, U<sub>oc</sub>.....V.

$$\text{Aktuelle Leistung P des Solarmoduls} = U_{oc} * I_{sc} * 0,8 = \text{.....W}$$

**Beurteile Deine Ergebnisse hier, welches Problem der Stromversorgung durch Solarmodule zeigt sich hier?**