

Handbuch zur Sonnenfängerbox SEKI Station 5

Das Gerätesystem der Lernstation 5

Alle Geräte 2-fach in der Sonnenfängerbox

| Lernstation Thema | Experimentiergeräte für 1 Lernstation | Messtechnik und Zubehör | Themenschwerpunkte der Experimente |
|--|--|---|--|
| Lernstation 5 Solarmodule III Solare Elektromobilität 5 | 1 5W Solarmodul SUSE 4.51 <small>oder 4.51-36</small> 1 10W- Solarmodule SUSE 4.52 1 20W- Solarmodul SUSE 4.42-36 1 LED- Modul SUSE 4.15-24 rainbow 1 Smartphone- Lader SUSE 4.17U 1 Solarfahrzeug SF6USB 1 USB-LED-Leuchte 1 USB- Messgerät zur Messung von U,I,Q 1 Powerbank- Akku USB mit %-Anzeige von Schule: 1 Overheadprojektor zum Experimentieren auf der Glasplatte von Schule: 1 Halogenstrahler 120W oder Rotlichtlampe | 1 Dig. Multimeter 4 Laborkabel mit 4mm Stecker 2x schwarz + 2x rot 1 Stoppuhr zur Zeitmessung im priv. smartphone 1 Zollstock zur Entfernungsmessung 1 USB Kabelsatz mit Stecker beidseits: 1x USB A-A 1x USB A- µUSB <small>oder</small> 1x USB A – USB C <small>oder</small> 1x USB A - Lightning (Apple) <small>Ladekabeltyp bitte bei Bestellung angeben!</small> Handbuch auf USB-stick | Solar- Modultechnik mit professionellem Solarmodul (4.51 mit je 18 Solarzellen, SUSE 4.52-36 und 4.42 mit je 36 Solarzellen) solares Aufladen von Smartphones + Powerbank- Akkus Solarfahrzeug SF6USB mit Aufladung vom Solarmodul via USB Energiespeicherung im Powerbank- Akku Messungen im USB- Kreis Wirkungsgradmessungen an DC-DC-Wandlern. |

Gliederung Handbuch Station 5:

| Nr. | Inhalt | Rote Seitenzahlen |
|-----|---|----------------------|
| 5-1 | Basisinfo mit didaktischen und methodischen Hinweisen | 1-2 |
| 5-2 | Gerätedateien mit technischen Daten und Sicherheitshinweisen | 3-17 |
| 5-3 | Solardidaktische Grundlagen zu Solarstrahlung, Solarzelle, Solarmodul Infodateien | 18-26 |
| 5-4 | Experimente mit 3 Solarmodulen SUSE 4.51 (5 Watt), SUSE 4.52-36 (10 Watt) und SUSE 4.43-30 (30 Watt) und Zusatzgeräten: Powerbank- Akku, priv. Smartphone, LED- Leuchte, Elektrofahrzeug SF6USB | 27-79 |

5-1 Basisinfo mit didaktischen und methodischen Hinweisen

Elektrische Energiegewinnung aus Sonnenlicht mit Solarzellen gehört zu den wichtigsten nachhaltigen und umweltfreundlichen erneuerbaren Energien und wird für die Zukunft der gesamten Menschheit von großer Bedeutung sein.

Besonders bei der energetischen Umgestaltung- Energiewende- zur klimafreundlichen Energiegewinnung spielt diese Technologie weltweit eine große Rolle. Solarmodulsysteme erzeugen weltweit den größten Teil der benötigten elektrischen Energie, verknüpft mit neuartigen leistungsstarken Speichersystemen. Genau diesen Bereich deckt die Lernstation 5 mit 3 Solarmodulen (5 Watt, 10 Watt, 30 Watt) und Speichersystem (Powerbank- Akkuspeicher).

Die Schülerinnen und Schüler können mit den Versuchsanleitungen umfangreiche Experimente mit den 3 Solarmodulen im Freien durchführen, möglich sind die Versuche auch mit Halogenstrahlern oder Rotlichtlampen im Innenraum.

Mit dem **DC- DC- Wandler SUSE 4.17U** mit 5V- USB- Ausgang lassen sich mit den Solarmodulen Smartphones laden, dazu gibt es umfangreiche Experimente.

Auch das **Solarfahrzeug SUSE SF6USB** lässt sich am USB- Ausgang von SUSE 4.17U laden und mit dem Fahrzeug Experimente zur solaren Elektromobilität durchführen. Das **USB-LED-Modul** und die **USB- LED- Leselampe** ergänzen die USB- Geräte.

Der DC- DC- Wandler in **SUSE4.17U** hat als Leistungswandler einen hohen Wirkungsgrad, er mindert einmal die höhere Modulspannung auf const. 5 V DC, verstärkt aber gleichzeitig die Output- Stromstärke, z.B. beim Smartphone- Laden Input- Stromstärke vom Solarmodul 0,4 A, Output- Stromstärke 1,3 A! Mit den Experimenten lässt sich dieser hohe Wirkungsgrad nachweisen!

Die Experimente zur **Lernstation 5 sind recht umfangreich**, die betreuende Lehrkraft sollte gemeinsam mit der Lerngruppe den experimentellen Umfang sorgfältig auswählen und das Zeitbudget abstimmen.

Handbuch zur Sonnenfängerbox SEKI Station 5

5-2 Gerätedateien mit technischen Daten und Sicherheitshinweisen

Auf den nachfolgenden Seiten werden die im Gerätesatz der Station 1 vorhandenen Geräte mit ihren technischen Daten und Sicherheitshinweisen vorgestellt, **bitte die Sicherheitshinweise beachten!**

Das Gerätesystem der Lernstation 5 Alle Geräte 2-fach in der Sonnenfängerbox

| Lernstation Thema | Experimentiergeräte für 1 Lernstation | Messtechnik und Zubehör | Themenschwerpunkte der Experimente |
|---|--|---|--|
| Lernstation 5 Solarmodule III Solare Elektromobilität <div style="font-size: 48px; text-align: center; margin-top: 20px;">5</div> | 1 5W Solarmodul SUSE 4.51 oder 4.51-36 1 10W-Solarmodul SUSE 4.52-36 1 20W- Solarmodul SUSE 4.43-36 1 LED- Modul SUSE 4.15-24 rainbow 2 Smartphone- Lader SUSE 4.17U 1 Solarfahrzeug SF6USB 1 USB-LED-Leuchte 1 USB- Messgerät zur Messung von U,I,Q 1 Powerbank- Akku USB von Schule: 1 Overheadprojektor zum Experimentieren auf der Glasplatte 1 Halogenstrahler 120W oder Rotlichtlampe | 1 Dig. Multimeter 4 Laborkabel mit 4mm Stecker 2x schwarz + 2x rot 1 Stoppuhr zur Zeitmessung im priv. smartphone 1 Zollstock zur Entfernungsmessung 1 USB Kabelsatz mit Stecker beidseits: 1x USB A-A 1x USB A- µUSB oder 1x USB A – USB C oder 1x USB A - Lightning (Apple) Ladekabeltyp bitte bei Bestellung angeben. Handbuch auf USB-stick | Solar- Modultechnik mit professionellem Solarmodul (4.51 mit 18 Solarzellen, SUSE 4.52-36 und 4.43-36 mit 36 Solarzellen) solares Aufladen von Smartphones, Tablets + Powerbank- Akkus Solarfahrzeug SF6USB mit Aufladung vom Solarmodul via USB Energiespeicherung in Akku Messungen im USB- Kreis, U,I,P,Q Wirkungsgradmessungen an DC-DC-Wandlern. |

Auf den folgenden Seiten werden die einzelnen Geräte in jeweils einer Datei vorgestellt.

- Das Digital- Multimeter wird zum Messen der elektrischen Spannung (Messbereich DC 20V) und der Stromstärke (Messbereich 10A oder 5A DC) verwendet. Die dazugehörigen Kabel mit Messspitzen werden nicht benötigt, wir verwenden die Laborkabel und stecken diese in die Buchsen der Geräte und die Messbuchsen am Multimeter! Wenn die SchülerInnen mit dem Umgang des Digital- Multimeters nicht vertraut sind, müssen sie sie vor den Experimenten eingewiesen werden.

- Zusätzlich zum Multimeter ist bei Station 5 ein USB- Messgerät im Einsatz, es wird in den USB-Stromkreis eingeschleift und misst Spannung U , Stromstärke I und geflossene Ladung Q ab dem Start der Messung. 10 Messwert- Triples können gespeichert werden.
- Der Zollstock dient zum Messen des Abstands zwischen Lichtquelle und Solarzelle, bitte 40cm Abstand nicht unterschreiten!

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

Das Solarmodul SUSE 4.51 5 W- Solarmodul für Photovoltaik- 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 zur Betriebsanzeige



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 (Version 12V) direkt angeschlossen werden. Mit dem Zusatzmodul SUSE 4.17/4.17M 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, der Solarmotor SUSE 4.16USB, das Solarfahrzeug SF6USB oder eine LED- Lampe direkt angeschlossen werden.



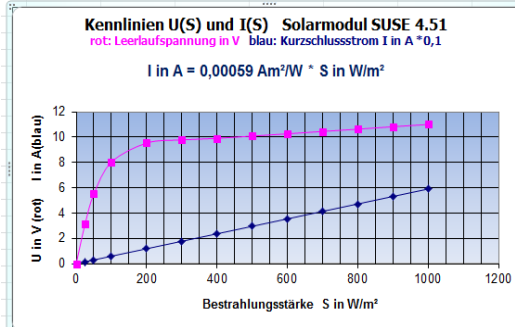
Oben:
Solarmodul SUSE 4.51, das Multimeter zeigt die Leerlaufspannung 11,04 V an.

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

Unten:
Die grüne 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

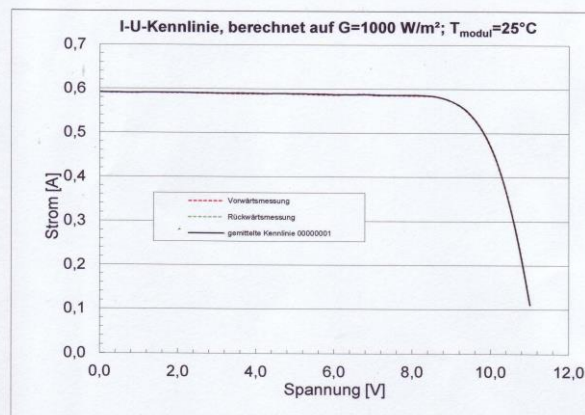
Zelltyp: Multikristallin
Zellenanzahl: 18
Rahmen: Aluminium
Außenmaße: 240 x 180 mm
Nennleistung: 5,2 W
 $P_{mpp}=5,2\text{ W}$
 $U_{oc}=11,0\text{ V}$
 $I_{sc}=0,59\text{ A}$
 $U_{mpp}=9,2\text{ V}$
 $I_{mpp}=0,56\text{ A}$



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



Die I-U-Kennlinie des Solarmoduls SUSE 4.51

aufgenommen im Kennlinienlabor des ISFH



QR- Code für die Experimente mit SUSE 4.51



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

Das Solarmodul SUSE 4.52-36

10 W- Solarmodul für Photovoltaik- Experimente

36 Solarzellen in interner Reihenschaltung $U_{oc}=22,3\text{ V}$, $I_{sc}=0,68\text{ A}$, $P = 10\text{ W}_p + 3\%$
bei $S = 1000\text{ W/m}^2$, $T = 25^\circ\text{C}$, AM 1,5 mit stufenlosem Aufsteller + integrierter Indikator- LED zur Betriebsanzeige

Gerätebeschreibung und technische Daten



Das **Solarmodul SUSE 4.52-36** ist ein professionelles und sehr robustes Solarmodul mit **36 Solarzellen in interner Reihenschaltung** unter ESG-Solarglas, eingerahmt mit einem stabilen eloxierten 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 Bündelsteckern 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 4.15-24 direkt angeschlossen werden. Mit dem Lademodul 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, der Solarmotor SUSE 4.16USB oder eine LED- Lampe angeschlossen werden.

Oben:

Das Solarmodul SUSE 4.52-36, das Multimeter zeigt die Leerlaufspannung $U_{oc} = 22,6\text{ V}$ an, etwas mehr als die Herstellerangabe bei 25°C ($22,3\text{ V}$). Die Temperatur bei der Messung war nur 12°C ! U_{oc} steigt mit fallender Temperatur!

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 $22,3\text{ V}$, der Verlauf ist eine e- Funktion.

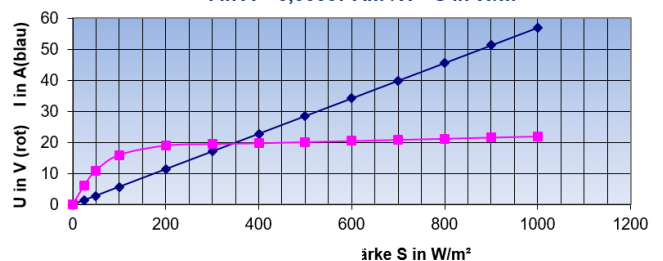
Der **Kurzschlussstrom I_{sc}** steigt **linear** mit der Bestrahlungsstärke bis zum Maximalwert $0,685\text{ A}$ an.

Kennlinien $U(S)$ und $I(S)$

10W- Solarmodul SUSE 4.52-36

rot: Leerlaufspannung in V blau: Kurzschlussstrom I in A *0,01

I in A = $0,00057\text{ Am}^2/\text{W} * S$ in W/m^2



Technische Daten

bei STC $S = 1000\text{ W/m}^2$, $T = 25^\circ\text{C}$, AM 1,5

Zelltyp: Multikristallin Zellenanzahl: 36 Rahmen: Aluminium Maße: 350 x 260 x 18 mm Nennleistung: 10 W U_{oc} : 22,32 V I_{sc} : 0,685 A
 U_{mpp} = 16,3 V I_{mpp} : 0,62 A Zellwirkungsgrad: ca.19,0 % Toleranz + 3% Technische Daten herstellerbedingt variabel



SUNdidactics

SolarEnergyDidactics
SolarEducation
SolarEngineering
Photovoltaics + Solarthermal

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



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

Das Solarmodul SUSE 4.43-36

30 W- Solarmodul für Photovoltaik- Experimente

36 Solarzellen in interner Reihenschaltung $U_{oc}=22,3\text{ V}$, $I_{sc}=0,68\text{ A}$, $P=10\text{ W}_p+3\%$
bei $S=1000\text{ W/m}^2$, $T=25^\circ\text{C}$, AM 1,5 mit stufenlosem Aufsteller + integrierter Indikator- LED zur Betriebsanzeige

Gerätebeschreibung und technische Daten



Das **Solarmodul SUSE 4.43-36** ist ein professionelles und sehr robustes 30W- Solarmodul mit **36 Solarzellen in interner Reihenschaltung** unter ESG-Solarglas, eingerahmt mit einem stabilen eloxierten 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 Bündelsteckern 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 4.15-24 direkt angeschlossen werden. Mit dem Lademodul 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, der Solarmotor SUSE 4.16USB oder eine LED- Lampe angeschlossen werden.

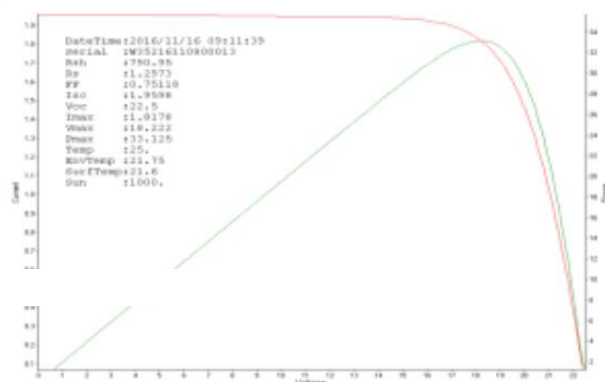
Die Kennlinien des Moduls

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 22,5 V, der Verlauf ist eine e- Funktion.

Der **Kurzschlussstrom I_{sc}** steigt **linear** mit der Bestrahlungsstärke bis zum Maximalwert 1,71 A an.

Electrical characteristics



Technische Daten

bei STC $S=1000\text{ W/m}^2$, $T=25^\circ\text{C}$, AM 1,5

Zelltyp: Multikristallin Zellenanzahl: 36 Rahmen: Aluminium Maße: 650 x 350 x 35 mm Nennleistung: 30 W U_{oc} : 22,37 V
 I_{sc} : 1,71 A U_{mpp} : 18,28 V I_{mpp} : 1,64 A Zellwirkungsgrad: ca.17,6 % Zellformat 156,7 x 30 mm Toleranz + 3%
Temperaturkoeffizient U: - 0,3 %/°C Temperaturkoeffizient I: +0,04 %/°C Temperaturkoeffizient P: -0,37 %/W

Technische Daten herstellerbedingt variabel



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

Das LED-Modul SUSE 4.15

LED- Modul zum Anschluss an 3-10 Solarzellen in Reihenschaltung (5 V - Version)
oder bis zu 36 Solarzellen in Reihenschaltung (22 V – Version)
mit Buchsen zum Anschluss von Laborkabeln mit 4 mm- Steckern

SUSE 4.15



Frontseite



Gesamtansicht

LED wahlweise
Infrarot IR, rot, grün, blau, gelb,
orange, weiß, UV oder rainbow
 die passenden Kästchen sind markiert!

2 Buchsen zum Einstecken von
 Laborkabeln (**rot + schwarz -**)

Polung beachten!
Falsch gepolt leuchtet die LED nicht!

Warnhinweis: Nicht direkt nah in die
LED schauen, Blendefahr!

SUSE 4.15 Gerätebeschreibung, technische Daten und Experimente

Das **LED- Modul SUSE 4.15** besteht wahlweise aus einer roten, grünen, blauen, gelben, orangen, weißen, IR, UV oder rainbow- LED mit einem passenden Vorwiderstand auf einem transparenten Plexiglasträger und ist zum Anschluss an eine Reihenschaltung von 3- 10 Solarzellen (5V- Version) geeignet. Wahlweise ist auch eine 12 V- oder 24 V-Version (U bis 24 V) lieferbar, hier können bis zu 36 Solarzellen in Reihenschaltung angeschlossen werden.

Bei der **LED rainbow** wechseln die Farben automatisch durch alle Regenbogenfarben, ein optisch schönes Farbenspiel!

Der Pluspol der Solarzellen- Reihenschaltung muss an den Pluspol des LED- Moduls (rote Buchse) angeschlossen werden, der Minuspol an die schwarze Buchse. Mit dem LED- Modul kann auch ohne Messgerät die Funktion von Solarzellen in Reihenschaltung demonstriert werden. Je mehr Solarzellen verschaltet werden, desto heller leuchtet die LED (mindestens 4 Solarzellen erforderlich!).

An die beiden Buchsen können Kabel mit Laborstecker 4 mm eingesteckt werden, die **richtige Polung** muss beachtet werden, bei falscher Polung leuchtet die LED nicht.

Das **LED- Modul SUSE 4.15** (optimal bei rot und grün) kann auch selbst **als Solarzelle** verwendet werden (jedoch nicht die **LED rainbow**, da sie einen internen Electronic- Chip enthält, der den Farbwechsel der LED steuert, die weiße LED funktioniert hierfür ebenfalls nicht). Schließt man an die Buchsen ein Voltmeter im 20 V- Messbereich und hält die LED ins Sonnenlicht oder ins Licht einer Lampe, so misst man eine Spannung von ca. 1,5 V bei der roten LED. Diese Spannung ist wesentlich höher als die Spannung einer Silizium- Solarzelle (0,6 V), da das Halbleitermaterial einer roten LED **Galliumarsenid** ist und dadurch eine höhere Spannung als bei Silizium (normale Standard- Solarzelle) entsteht.

Wichtig ist, dass das Licht zentral auf der optischen Achse in die LED einstrahlt, da die gewölbte Stirnseite einer LED eine Konvexlinse darstellt und das Licht auf den winzigen Halbleiterkristall bündelt.

Das **LED- Modul SUSE 4.15** kann auch polrichtig an eine 4,5 V Flachbatterie angeschlossen werden.

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

Das Smartphone- Lademodul SUSE 4.17/4.17M/4.17U DC-DC-Wandler Input 7...24V DC Output 5V DC/ 3100mA mit Indikator- LED für die Input- Anzeige

SUSE 4.17/4.17M/4.17U



Das **Smartphone- Lademodul SUSE 4.17** ist ein DC- DC- Wandler zum Anschluss an Solarmodule mit einer Spannung von ca. 7- 24 V, das sind ca. 14- 36 Solarzellen in Reihenschaltung. An die Eingangsbuchsen (rot=+, schwarz=-) wird ein Solarmodul oder eine Reihenschaltung mehrerer Solarzellen angeschlossen, die rote Input- LED zwischen den Eingangsbuchsen leuchtet auf, wenn die Modulspannung >7V anliegt.

Der Ausgang ist eine USB-A- Doppelbuchse mit einer Spannung von 5,0 V DC und einer maximalen Output- Stromstärke von 3000 mA. Wenn die Ausgangsspannung zur Verfügung steht, leuchtet eine grüne Output- LED auf.

Optimal für den Betrieb sind handelsübliche 5W.....40W- Solarmodule mit 18 - 36 Solarzellen in interner Reihenschaltung und einer Leerlaufspannung von ca. 11 V....22 V.

Alle gängigen smartphone- Ladekabel können in die USB-A- Buchse eingesteckt werden, auch Tablet- PCs oder Powerbank- Akkus können betrieben und geladen werden. Der maximale Ladestrom wird von der Leistung des Solarmoduls bestimmt. Auch das Solar- Radio SUSE 4.36USB, das Solarfahrzeug SUSE SF6USB oder weitere SUSE USB- Geräte können an den USB- Ausgang angeschlossen werden.



Das Smartphone- Lademodul SUSE 4.17

Rechts befinden sich die Input- Buchsen, dazwischen die Input- LED. Links erkennt man die Output- USB- Buchse und die grüne Output- LED.

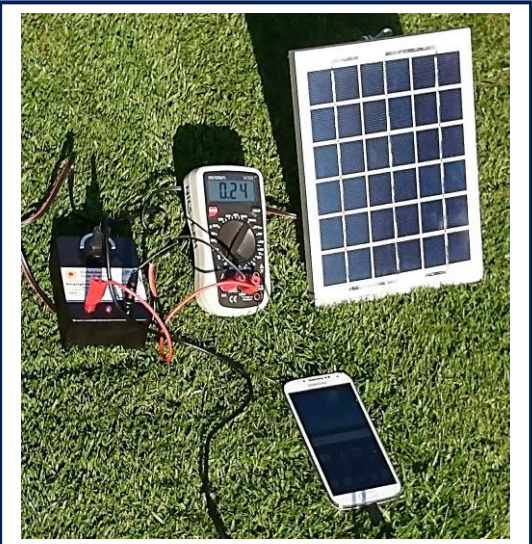


SUSE 4.17M

Die Version SUSE 4.17M:

SUSE 4.17M ist technisch identisch, aber kleiner in der Gehäuse- Bauform (60 x 45 x 40mm).

Seitlich befindet sich die USB-A- Doppelbuchse mit 2x 3,1 A max. Output- Stromstärke (siehe Foto links).



2 Indikator-LEDs zeigen den Betriebszustand an, eine rote Input LED, Output grüne oder blaue LED in den USB- Buchsen. Rechts ist das Input- Buchsenpaar mit roter Buchse (+) und schwarzer Buchse (-)

und mittlerer Input- LED. Eine eingebaute Input- Schutzdiode (bei beiden Geräten) verhindert Schäden bei versehentlicher Verpolung. In beiden Geräten befindet sich ein moderner Schaltregler mit hohem Wirkungsgrad >90%, so dass die Output- Stromstärke 2- 4 x höher als die Input- Stromstärke ist!

Die Version SUSE 4.17 U

Bei der Version **SUSE 4.17U** ist ein DC- DC- Wandler mit Spannungsanzeige der Input- Spannung (die am rot- schwarzen Buchsenpaar anliegt) eingebaut. So lässt sich einfach ohne zusätzliches Messgerät die Spannung des angeschlossenen Solarmoduls ablesen, sowohl im Leerlauf wie bei Smartphone- Ladung.

In der Output- Buchse auf der Stirnseite befinden sich 2 USB- ports (USB-A) und dazwischen die digitale Inputanzeige mit 1 Kommastelle. Mit blauen LEDs werden die ports beleuchtet. Maximale Ausgangsstromstärke ist wie bei den anderen Versionen 3100 mA (Summe bei beiden ports!).

Das nebenstehende Foto zeigt den Output auf der Stirnseite, der Ring und die ports sind blau beleuchtet, dazwischen wird die Modulspannung angezeigt, 12,5 V.

Erkennbar sind auch die beiden Input- Kabel (rot + schwarz) in den Input- Buchsen auf der Oberseite des Gerätes.

Die blauen LEDs und die Anzeige selbst benötigen nur wenig Stromstärke, ca. 20 - 30 mA! Auch bei **SUSE 4.17U** ist eine Schottky- Diode am Input als Schutz gegen Verpolung eingebaut!

Im Geräte befindet sich ein moderner Schaltregler mit hohem Wirkungsgrad (ca. 90%), so dass die Output- Stromstärke 2- 4 x höher ist als die Input- Stromstärke, abhängig von der Input- Spannung! Gehäusemaße: 100 x 75 x 50 mm





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

Solare Elektromobilität

Das SUSE- Solar- Fahrzeug 6USB

Leistungsstarkes Solarfahrzeug mit einem Superkondensator- Energiespeicher, Antrieb mit SUSE- Solarmotor und 2- stufigem Getriebe, 2 Messbuchsen für experimentelle Messungen. Aufladung vom Solarmodul über eine USB- Buchse mit 5V DC
Gerätebeschreibung und Betriebsanleitung

Solarfahrzeug 6USB

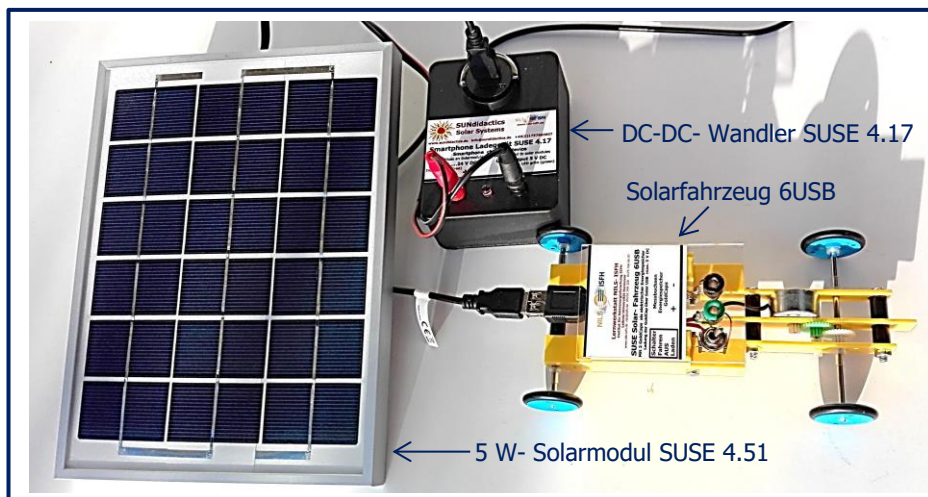


Das Solarfahrzeug 6USB

Vorne links befindet sich der Elektromotor mit dem 2- stufigen Getriebe, welches die Vorderachse antreibt.

Auf der Plexiglas- Platine in Fahrzeugmitte sind der Betriebsschalter (oben) und das Messbuchsenpaar grün/schwarz zum Anschluss eines Voltmeters. Hinten rechts erkennt man die USB-A-Buchse, über die der Superkondensator- Energiespeicher aufgeladen wird. Es kann eine maximale Energiemenge von 36 J gespeichert werden.

Zum Aufladen des **Solarfahrzeugs SF6USB** benötigt man ein Solarmodul mit USB- Ausgang (z.B. SUSE 4.50-20) ein beliebiges Solarmodul mit 18...36 Solarzellen 5W.....20W (SUSE 4.51, SUSE 4.52, SUSE 4.42...) und den DC-DC- Wandler SUSE 4.17/4.17M. Bei strahlendem Sonnenschein dauert die Aufladung ca. 2 Minuten. Das nachfolgende Foto zeigt den Geräteaufbau:

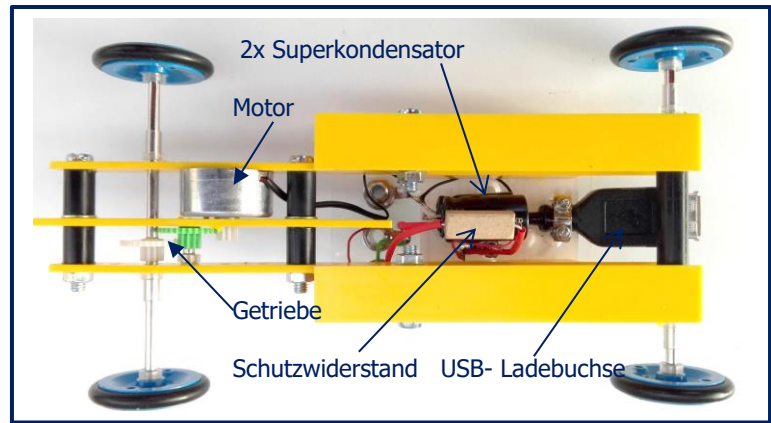


„Auftanken“ des Solarfahrzeuges 6USB

am 5W- Solarmodul SUSE 4.51 über den DC-DC- Wandler SUSE 4.17 mit USB- Ausgang. Das Ausgangskabel des Solarmoduls (rot- schwarzes Steckerpaar) ist unten in den DC-DC- Wandler eingesteckt, oben ist der USB- Ausgang, der mit einem USB-A-Kabel (2x USB-A-Stecker) mit dem Fahrzeug verbunden wird.

Die beiden Speicherkondensatoren mit je 5 F befinden sich unterhalb der Platine im Fahrzeug, zum Schutz vor zu großen Ladestromstärken ist ein ohmscher Widerstand 5,6 Ohm im Ladestromkreis eingebaut, der den Ladestrom auf maximal 1 A begrenzt.

Zu Testzwecken kann das Fahrzeug auch an jedem beliebigen PC, Notebook, Tablet oder USB- Ladegerät aufgeladen werden.



Die Betriebsanleitung

1. Der Betriebsschalter wird auf **Mittelposition AUS** geschaltet und das Fahrzeug mit einem handelsüblichen USB- Kabel (Kabel mit 2x USB-A-Stecker) mit dem Solarmodul, dem DC- DC- Wandler SUSE 4.17 oder testweise mit einem PC/Notebook/Tablet verbunden.
2. Der Betriebsschalter wird nun nach vorne auf „**LADEN**“ geschaltet, der Aufladevorgang beginnt, er dauert ca. 2- 3 Minuten. Zur Beobachtung oder Messung der Aufladung kann am grün- schwarzen Buchsenpaar ein Multimeter (MB 20V DC) angeschlossen werden.
3. Nach Beendigung der Aufladung wird der Betriebsschalter wieder auf die Mittelposition geschaltet und das USB- Ladekabel abgezogen.
4. Zum Fahren wird das Fahrzeug auf den Boden auf eine freie Fläche gestellt und der Schalter nach hinten auf „**Fahren**“ geschaltet, das Fahrzeug wird schnell davonfahren, Fahrtstrecke ca. 30- 100 m.

Experimente mit dem Solarfahrzeug 6USB

Mit der ausführlichen Experimentieranleitung lassen sich mehrere Experimente zur solaren Elektromobilität und zum Auf- und Entladen des Speicherkondensators durchführen, z.B.

- **Fahrbetrieb mit Solarmodul als Solartankstelle**
- **Experimente zur Aufladung des GoldCap- Kondensators, Spannung, Stromstärke, Leistung in Abhängigkeit von der Zeit**
- **Experimente zur Entladung des GoldCap- Kondensators über den Solarmotor, Entladespannung in Abhängigkeit von der Zeit, Energiespeicherung, Messung der Fahrleistungen**

Die Experimente zum reinen Fahrbetrieb als Beispiel zur **solaren Elektromobilität** lassen sich bereits ab Klassenstufe 4 durchführen.

Zu den Experimenten mit Messungen zur Kondensator- Aufladung und – Entladung ist der Einsatz dieses Fahrzeugs in der oberen Sekundarstufe I und in der Sekundarstufe II sinnvoll.

Je nach Solarstrahlung dauert der Ladevorgang wenige Minuten, das Fahrzeug fährt mit einer Ladung ca. 30- 100m. An die Messbuchsen lassen sich Laborkabel mit 4mm- Stecker einstecken, um Spannungsmessungen durchzuführen, **grün ist der Pluspol, schwarz der Minuspol**. Dieses Messbuchsenpaar ist direkt mit dem Speicherkondensator verbunden.

Technische Daten:

Fahrzeugmaße: Fahrzeuglänge ca. 200mm, Fahrzeugbreite ca. 95mm, Fahrzeughöhe ca. 35mm.

Energiespeicher: 2 Superkondensatoren in Reihenschaltung mit je $C = 5 \text{ F}$, $U_{\text{max}} = 5,4 \text{ V DC}$, mit Schutzwiderstand 5,6 Ohm zur Ladestrombegrenzung auf 1A.

Ladebuchse: USB- A- Buchse zur Aufnahme eines USB- Kabels mit USB-A-Stecker zum Anschluss an Solarmodule mit USB- Ausgang oder DC-DC- Wandler SUSE 4.17/4.17M.



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

SUSE USB- LED- Solarleuchte 2

LED- Leuchte mit USB- A- Stecker
zum Anschluss an USB- A- Buchsen

Die USB- LED- Leuchte hat einen USB- A- Stecker zum Einstecken in eine USB-A-Buchse am Lademodul SUSE 4.17 oder am Powerbank –Akku.
Im Kopf hat die Leuchte eine oder mehrere hell leuchtende weiße LEDs.



- Spannung am USB-Port 5 V DC, Stromstärke ca. 180 mA, Leistung ca. 0,9W, abhängig vom Typ
- Stromversorgung direkt vom USB-Anschluss
- Formbar als Standfuß - Funktioniert an den USB-Ports 1.0, 1.1, 2.0 und 3.0
- Typ kann variieren



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

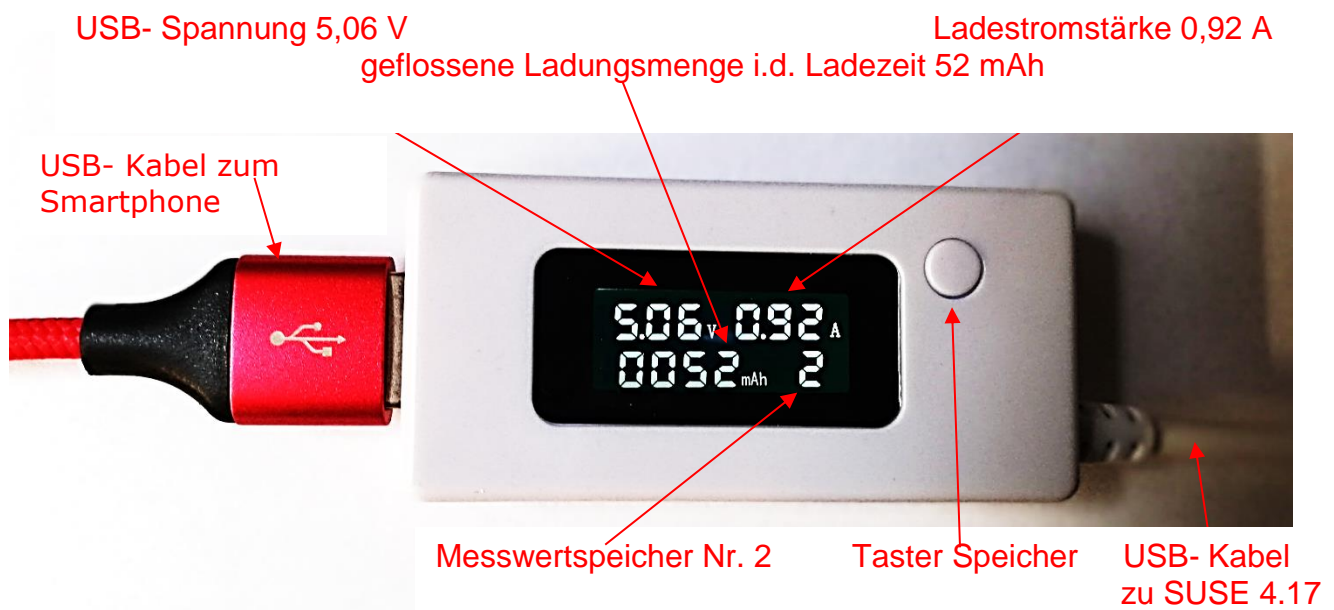
SUSE USB Messgerät

**Messgerät zur Messung von Spannung U, Stromstärke I, Ladungsmenge Q
 in USB- Stromkreisen**



Das SUSE USB- Messgerät wird in den USB- Stromkreis eingeschleift und zeigt 3 Messgrößen an, Spannung U in V, Stromstärke I in A und geflossene Ladungsmenge in mAh.

Im Messbeispiel des Fotos wird ein Smartphone an einem Solarmodul über den DC-DC- Wandler SUSE 4.17 aufgeladen.



Die Messwerte können in einem integrierten Messwertspeicher abgelegt werden, es sind 10 Speicherplätze vorhanden, mit dem Taster können die Messwerte abgerufen oder gelöscht werden.

Der Input des Messgerätes ist der USB- A- Stecker des Kabelstutzens, der Output die USB-A-Buchse am Gerät.

Das Gerät benötigt keine Batterie oder Netzteil, der sehr geringe Strombedarf wird aus dem USB- Stromkreis entnommen.

Das Gerät wird in der Mini- USB- Inselanlage, in der Sonnenfängerbox SEKI und bei SEKII- Experimenten eingesetzt.



SUNdidactics

SolarEnergyDidactics
SolarEducation
SolarEngineering
Photovoltaics + Solarthermal

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



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

Powerbank- Akku 10 000 mAh

Dual- Input und Dual- Output USB-A und USB-C

Ladestandsanzeige in %

Für Experimente mit dem Solarmodul 30W SUSE 4.43-30-36
mit Laderegler SUSE 4.17U



Dieser Powerbank- Akku dient als experimentelles Zubehör zu Station 5, der Akku kann über den Laderegler SUSE 4.17U am 30W- Solarmodul SUSE 4.43-36 geladen werden.

Zur Ladestandsanzeige dient die digitale %-Anzeige.

Input und Output via USB-A oder USB-C. Ein Ladekabel USB-A auf USB-C ist beigelegt.

**Bitte das beigelegte
Betriebshandbuch des Herstellers
und die Sicherheitsvorschriften
beachten!**



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

**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

Wolf- Rüdiger Schanz, OStR aD, Schaperbleek 15, D-31139 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

Digitales Multimeter A830L in der Sonnenfängerbox SEKI-2023 Anwendung und Sicherheitsvorschriften!

Multimeter A830L

Für die solartechnischen Experimente wird ein digitales Multimeter verwendet. Eine Einweisung durch die verantwortliche Lehrkraft ist unbedingt erforderlich!

Bitte beachten Sie die beigefügte Bedienungsanleitung des Herstellers!

Die meisten Messungen werden mit folgenden Messbereichen durchgeführt:

Spannung: 20V DC (oder 200V DC bei Solarmodulen mit 36 Solarzellen, ab 10W aufwärts)

Stromstärke: 10A DC, je nach Gerät, selten 200mA DC oder 20mA DC.

Das Multimeter erst zum Gebrauch einschalten, nach der Messung ausschalten!

Messungen mit den Laborkabeln mit Bananenstecker durchführen!

Vor dem Bereichswechsel Kabel aus Buchsen entfernen, sonst könnten interne Sicherungen durchbrennen!!

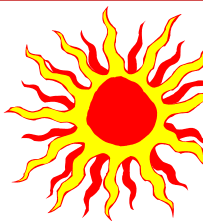


Nur für 10A DC Minus Plus-Input Spannung-Stromstärke Widerstand

Sicherheitsvorschriften, unbedingt beachten!

- **Gerät erst nach Einweisung durch Lehrkraft verwenden**
- **Messungen nur mit Laborkabeln durchführen**
- **Multimeter und Laborkabel nur für die solartechnischen Experimente der Sonnenfängerbox verwenden!**
- **Laborkabel niemals in die Steckdose stecken, Lebensgefahr!!**
- **Die beigefügten Messkabel mit Messspitzen werden nicht benötigt, nicht an Schülerinnen/Schüler ausgeben, Verletzungsgefahr durch die Spitzen!**

Zum Einlegen der 9V- Batterie den Batteriekasten auf der Rückseite mit Kreuzschlitzschraubendreher öffnen und Batterie 9V polrichtig einlegen, Batteriekasten wieder schließen und zuschrauben!



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

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

Wolf- Rüdiger Schanz, OStR aD, Schaperbleek 15, D-31139 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

Laborkabelset (Messleitungen) mit 2 x 4mm- Stecker für solartechnische Experimente, rot + schwarz

Stapelbar = Stecker hat hinterseitige Buchse zum Einstecken weiterer Stecker.

Länge 0,5 m.



Laborkabel für solartechnische Experimente, Stecker vernickelt

Maximale Stromstärke 3 A!

Mit den Laborkabeln werden die einzelnen Geräte (Solarmodule, Solarmotor, LED-Module, Solarspeicher...) entsprechend der Anleitungen miteinander verbunden. Dazu werden die Stecker der Laborkabel in die entsprechenden Buchsen der Geräte eingesteckt.

Die Minus- Leitungen sind schwarz, die Plus- Leitungen sind rot.

Sicherheitsvorschriften:

- **Laborkabel nur für solartechnischen Experimente verwenden!**
- **Maximale Stromstärke: 3A**
- **Laborkabel niemals in die Steckdose stecken, Lebensgefahr!!**

Handbuch zur Sonnenfängerbox SEKI Station 5

5-3 Solardidaktische Grundlagen mit 6 Dateien

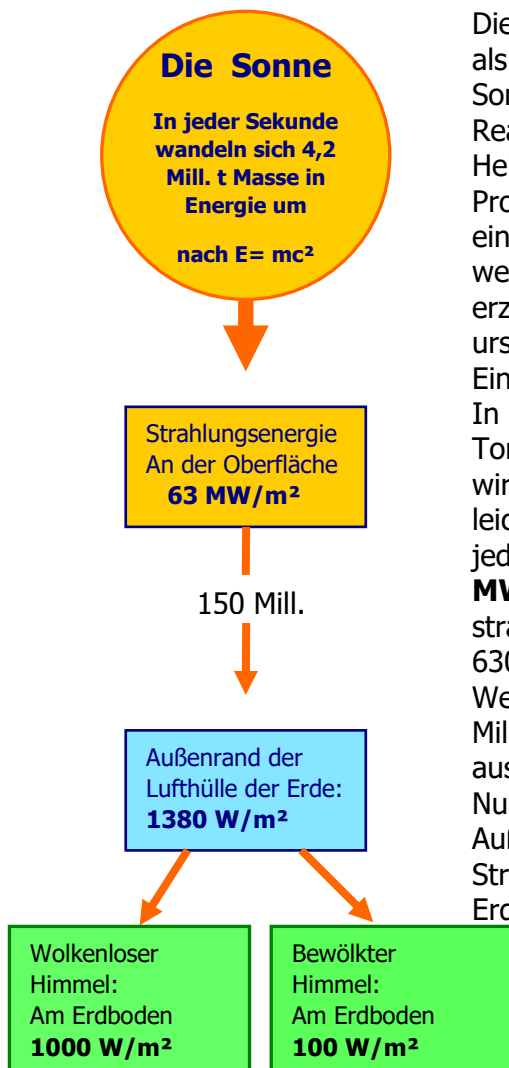
1. Solarstrahlung
2. Herstellung einer Solarzelle
3. Aufbau und Funktion einer Solarzelle I
4. Aufbau und Funktion einer Solarzelle II
5. Aufbau und Funktion einer Solarzelle III
6. Aufbau und Funktion von Solarmodulen

Diese Dateien zur Solarstrahlung und zum Aufbau und zur Funktion einer Solarzelle werden im Schülerlabor NILS- ISFH zum selbstständigen Lernen oder zum MINT- Unterricht eingesetzt. Es ist sinnvoll, diese vor den Experimenten oder mit den Experimenten zu verwenden.

Solarmodule werden in der Zukunft weltweit die wichtigsten regenerativen Energieerzeuger werden, bereits heute ist der Solarstrom aus Solarmodulen die preiswerteste Art der Energieerzeugung, dazu nachhaltig und umweltfreundlich.

In der Station 5 können die Schülergruppen umfangreiche, interessante Experimente mit Solarmodulen durchführen. Wegen des Umfangs der möglichen Experimente sollte die betreuende Lehrkraft den Umfang und das Zeitbudget planen und mit der Lerngruppe festlegen.

Basisinformationen zur Solarstrahlung



A1 Die Kernfusion im Inneren der Sonne:

Die Sonne ist ein riesiger Kernfusionsreaktor, der seine Energie als Strahlungsenergie in den Weltraum abstrahlt. Im Sonneninnern läuft bei 100 Millionen °C die Proton-Proton-Reaktion ab, dabei fusionieren Deuteriumkerne zu Heliumkernen. Stark vereinfacht kann man diese Proton-Proton-Reaktion als die Verschmelzung von vier Protonen zu einem Heliumkern beschreiben, bei den Zwischenreaktionen werden auch Positronen, Neutrinos und Gammastrahlung erzeugt. Die Masse eines Heliumkerns ist geringer als der ursprünglichen Protonen, die fehlende Masse wurde nach der Einstein-Gleichung $E = mc^2$ in Energie umgewandelt.

In der Sonne verschmelzen in jeder Sekunde 567 Millionen Tonnen Wasserstoff zu 562,8 Millionen Tonnen Helium. Somit wird unsere Sonne in jeder Sekunde um 4,2 Millionen Tonnen leichter. Nach Einstein führt das zu einer Energieabstrahlung in jeder Sekunde von $3,8 \cdot 10^{26}$ J, was eine Abstrahlung von **63 MW** (Megawatt) pro 1 m^2 bedeutet. 10 m^2 Sonnenoberfläche strahlen genau so viel Energie ab wie ein Kohlekraftwerk mit 630 MW.

Weil die Erde sehr viel kleiner ist als die Sonne und 150 Millionen km entfernt ist, trifft nur ein sehr kleiner Teil der ausgestrahlten Energie die Erde am Rand ihrer Lufthülle:

Nur noch **1380 W/m²**, das ist die **Solarkonstante** am Außenrand der Lufthülle der Erde. Durch Absorption von Strahlung in der Lufthülle ist die Bestrahlungsstärke am Erdboden bei wolkenlosem Himmel **S = 1000 W/m²**.

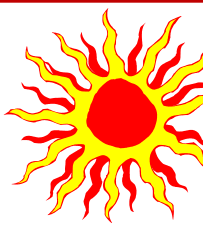
Abb.1: Entstehung und Verlauf der Solarstrahlung

A2 Die Ausbreitung der Strahlung von der Sonne durch die Lufthülle auf den Erdboden

Am Erdboden kommen bei wolkenlosem Himmel eine Bestrahlungsstärke **S = 1000 W/m²** an, die restliche Energie von 380 W/m^2 wird für chemisch-physikalische Reaktionen in der Atmosphäre benötigt (z.B. in der Ozonschicht). Diesen Messwert 1000 W/m^2 können wir bei strahlendem Sonnenschein im Sommer präzise messen.

Bei bewölktem Himmel absorbieren die Wolken einen großen Teil der Strahlungsenergie, bei stark bewölktem Wetter kommen z.B. nur noch 100 W/m^2 auf dem Erdboden an. Auch im Winter erreicht die Bestrahlungsstärke bei strahlendem Sonnenschein den Wert 1000 W/m^2 nicht, weil der längere Weg des Lichts im Winter durch die Lufthülle Energie absorbiert, der Wert wird maximal 600 W/m^2 .

Mit den SUSE- Solarzellen oder- Solarmodulen können wir die Bestrahlungsstärke über eine Dreisatzberechnung exakt messen, in den Experimentieranleitungen sind diese Messungen erläutert.



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

NILS ISFH
 Kooperationspartner NILS-ISFH
 Vertrieb
 Auslieferung
 Rechnungsservice
 Solartechnik
 Solardidaktik
 Solare Wissenschaft
 Sales
 Delivery
 Accounting
 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 W.R. Schanz, OstR aD, Hildesheim, Germany
 Phone: +49(0)5121 860730 Fax: +49(0)3222 3706689 Mail: info@sundidactics.de Mobile: +49(0)1757660607 Web: www.sundidactics.de

Die Herstellung einer Standard- Industrie- Siebdruck- Solarzelle (Grundprinzip)

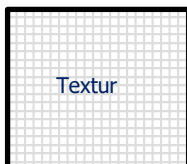
1. Silizium (Si) -Wafer p- dotiert mit Bor bei der Herstellung des Wafers



Siliziumscheibe, hochreines Si monokristallin oder polykristallin, Standardmaß 156,75 x 156,75 mm (6 Zoll) Dicke ca. 0,18 mm. In der PV- Industrie werden bereits größere Wafermaße bis 210 mm verwendet! p- Dotierung mit **Bor** (wird bereits in die Schmelze bei der Herstellung eingefügt).

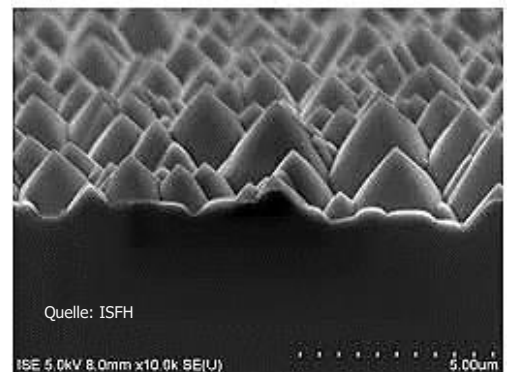


2. Texturierung mit Lauge



Die Oberseite wird mit Lauge behandelt, da wird die glatte Oberfläche rau. Auf Grund der Kristallorientierung bilden sich auf einem monokristallinen Wafer Pyramiden einer Höhe von 1 µm – 3 µm aus. Die Textur dient zur Minderung der Lichtreflexion an der Oberfläche. Die Aufnahme rechts mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) zeigt die Textur von der Seite.

pyramidenförmige Texturierung der Wafer- Oberfläche

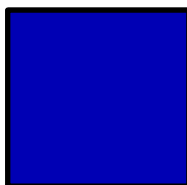


3. n- Dotierung mit Phosphor (P)



In einem Ofen strömt bei 900°C - 950°C Phosphoroxychlorid (POCl₃) über die Oberfläche des Si- Wafers. Die [P]- Atome dringen in die Oberfläche **ca. 0,2 µm** tief ein. Dort bildet sich der **p-n-Übergang**, der für die Ladungstrennung in der Solarzelle wichtig ist.

4. Beschichtung der Vorderseite mit Antireflexschicht aus Si₃N₄ (Siliziumnitrid)



Im Vakuum wird in einem Plasmaprozess bei ca. 300 °C eine **transparente** ca. 75 nm (= 0,000075 mm) dicke Si₃N₄ - Schicht aufgebracht, **diese Schicht ist durchsichtig, wir sehen aber blau- schwarz**, sie verhindert die Reflexion des einfallenden Lichts an der Si-Oberfläche, d.h. es taucht möglichst viel Licht in den Si-Wafer ein. Die sichtbare dunkelblaue Farbe ist ein optischer Effekt: siehe „Farben dünner Plättchen“.

5. Beschichtung der Rückseite mit Antireflexschicht-Stapel

Im einem Plasmaprozess werden eine ca. 5 – 20 nm dicke Aluminiumoxid Al₂O₃- Schicht aufgebracht, auf der wiederum eine 70 – 120 nm dicke Si₃N₄-Schicht aufgebracht wird. Wie auf der Vorderseite ist das Ziel die Passivierung zu verbessern, d.h. die erzeugten Ladungsträger nicht zu verlieren, und gleichzeitig Lichtverluste zu verringern. Im Falle der Rückseite bedeutet das, dass Licht, das auf der Vorderseite in die Solarzelle eintritt an der Rückseite nochmal reflektiert wird, umso ein weiteres Mal durch den Si- Wafer zu wandern und Ladungsträger erzeugen zu können.

6. Kontaktöffnung mittels Laserprozess

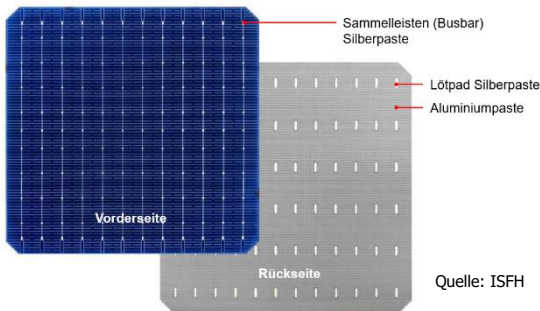
Die dielektrische Al_2O_3 - Schicht auf der Rückseite der Solarzelle wird mit einem Laserprozess geöffnet, d.h. es werden mit einem Laserstrahl die Schichten lokal verdampft. Die Öffnungen sind Punkte mit einem Durchmesser von 20 – 50 μm .

7. Beschichtung der Rückseite mit Aluminium und lokalen Silberpads = Pluspol der Solarzelle



Die **Rückseite** der Solarzelle wird im Siebdruckverfahren mit einer dünnen Aluminiumschicht (10 – 20 μm) überzogen, sie ist der Pluspol der Solarzelle. Weil man Aluminium nicht löten kann, erhält die Rückseite zusätzliche Flächen aus reinem Silber (Löt pads), an die Leiter gelötet werden können.

8. Aufbringen des Vorderseitenkontaktgitters aus Silber = Minuspol der Solarzelle



Im Siebdruckverfahren werden sehr dünne parallel verlaufende elektrische Leiter aus Silber aufgedruckt, sowie breitere Leiter als Sammelschiene (Busbars) zum Anlöten elektrischer Leiter.

Die Kontaktfinger müssen sehr dünn sein (20–30 μm), weil durch Silber kein Licht in die Solarzelle eindringen kann. Die Silberdrucke werden anschließend bei 800–900 °C eingebrannt.

Nun ist die Solarzelle fertig und einsatzbereit.

Bei strahlendem Sonnenschein ($S = 1000 \text{ W/m}^2$) ist ihre Leerlaufspannung U_{oc} ca. 0,68 V und die maximale Stromstärke I_{sc} (Kurzschlussstrom) ca. 10 A, die elektrische Leistung beträgt ca. 5,5 W. Die Kosten liegen aktuell bei 1,3 € (0,25 €/W_p) durch Massenfertigung, größter Produzent weltweit ist China.

Anschließend werden (meist) 60 Solarzellen in Reihe geschaltet und unter hagelfestem Glas und einem stabilen Aluminium- Rahmen zu einem Solarmodul verbaut, die derzeitigen Leistungen liegen bei ca. 300 – 350 W pro Modul, teilweise schon bis zu 500 W! Viele Solarmodule werden dann auf Dächern oder im Freiland zu großen Solargeneratoren verschaltet, Leistungen bis zu vielen MW.

| | | |
|--|---|--|
| | | |
| <p>Solarmodul von Solarwatt Leistung ~320 W 60 Solarzellen in interner Reihenschaltung in 6 Reihen mit je 10 Solarzellen.</p> | <p>Solarmodul von Hanwha Q Cells ~335 W Reihenschaltung von 60 halben Solarzellen in 2 parallelen Strings.</p> | <p>Beispiel eines bifacialen Solarmoduls d.h. Lichteintrag von Vorder- und von Rückseite in das Solarmodul.</p> |

Autoren: W.R. Schanz und S. Bordihn, ISFH



**Photovoltaik-
System
SUSE**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung

**Solarthermiesystem
Wärme von der Sonne**



BNE
Bildung für
Nachhaltige
Entwicklung

Aufbau und Funktion einer Solarzelle I

Klassenstufen 4-6 Alter 10-12 Jahre

Funktion Solarzelle I

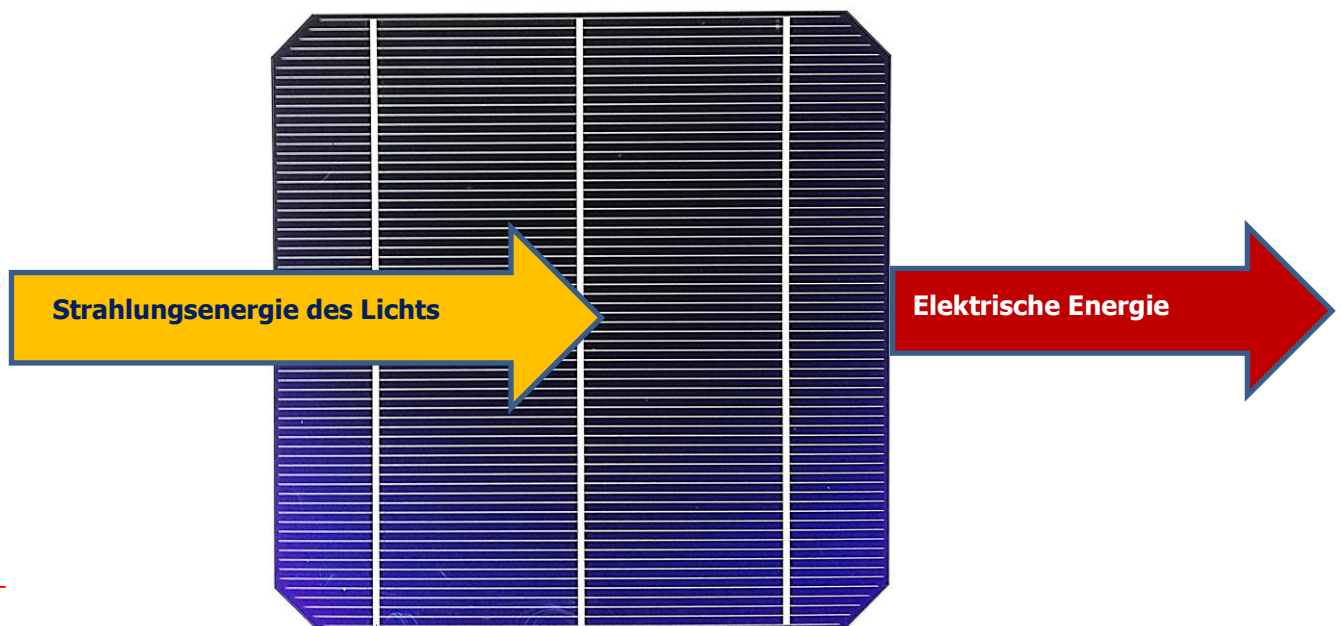


Eine Solarzelle ist ein Energiewandler, sie wandelt die Strahlungsenergie von Licht in elektrische Energie um.

Die Verwendung von Sonnenlicht zur Erzeugung von elektrischer Energie ist sehr umweltfreundlich und nachhaltig, es entstehen bei der Energieumwandlung keine Schadstoffe, wie z.B. CO₂.

Diese Technik der Energieumwandlung nennen wir Photovoltaik („Photo“ für Licht, „Voltaik“ für elektrische Energie). Weltweit werden immer mehr Photovoltaikanlagen zur Erzeugung von elektrischer Energie installiert.

Eine Solarzelle besteht aus einer sehr dünnen Scheibe aus Silizium, meist ein Quadrat mit der Kantenlänge 156 mm, mit einem Laser kann man sie auch in kleinere Formate mit kleinerer Leistung schneiden.



Wie eine Batterie hat auch eine Solarzelle 2 Pole, **Plus + und Minus -**. Bei einer Batterie sind die Pole wie angezeigt oben und unten. Auch bei der Solarzelle sind die Pole oben und unten, auf der Oberseite, auf die wir im Foto blicken, sind die dünnen Silberleiter der Minuspol der Solarzelle, auf der Unterseite ist der Pluspol.



Eine einzige Solarzelle hat nur eine kleine Leistung, für große Leistungen verschaltet man viele Solarzellen in einem stabilen Rahmen, unter hagelfestem Glas, wie es das Foto links zeigt. Hier sind 60 Solarzellen verschaltet.

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

W.R. Schanz, OstR aD, Hildesheim, Germany

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

Aufbau und Funktion einer Silizium- Solarzelle II

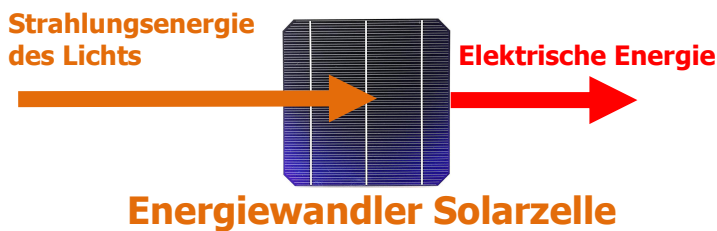
Klassenstufen 7-8 Alter 13-14 Jahre

Funktion Solarzelle II



Silizium- Solarzellen bestehen aus dünnen Silizium- Scheiben (Dicke nur 0,2 mm!), sie sind auf der Oberseite dunkelblau- schwarz, hier ist der Minuspol. Die Unterseite ist graue Aluminiumschicht, hier ist ihr Pluspol. Silizium ist ein häufig vorkommender Rohstoff aus Quarzsand (SiO_2).

Die Solarzelle ist ein Energiewandler und wandelt die Strahlungsenergie des Lichts in elektrische Energie um!



Solarzellen funktionieren sehr gut beim natürlichen Sonnenlicht und beim Licht von Glüh- oder Halogenlampen, weil deren Licht dem Sonnenlicht ähnlich ist. Das Licht von LED- Lampen ist dem Sonnenlicht nicht ähnlich, hier funktionieren Solarzellen nur sehr schlecht!

Wie eine Batterie hat eine Solarzelle auch 2 Pole, **Plus** und **Minus**.



Der Pluspol ist auf der blauen Oberseite der Solarzelle, der Minuspol auf der grauen Unterseite.

Während eine Mignon- Batterie eine Spannung von 1,5 V besitzt, hat eine Solarzelle eine elektrische Spannung von ca. 0,60 - 0,68 V, abhängig von der Lichtintensität.

Mit den SUSE- Solarmodulen und Lernstationen kannst Du die Spannungen von Solarzellen messen.



Die hier gezeigte Solarzelle hat eine Größe von 156 mm x 156 mm, eine elektrische Spannung von 0,65 V, eine maximale Stromstärke von ca. 9 A und eine Leistung von ca. 5 W, gemessen bei strahlendem Sonnenschein. Bei bedecktem Himmel sind die Werte geringer. Auf der Vorderseite erkennt man das **Vorderseitenkontaktgitter**, es sind dünne elektrische Leiter aus Silber, sie bilden den Minuspol der Solarzelle. An die breiteren Leiter, die Busbars, lassen sich Drähte anlöten. Der Pluspol der Solarzelle ist auf der Rückseite, auch hier sind breitere Silberstreifen zum Anlöten von Drähten. Die dunkelblaue Farbe der Vorderseite ist eine hauchdünne **Antireflexschicht** aus Siliziumnitrid (Si_3N_4), die die Reflexion von Licht an der Oberfläche der Siliziumscheibe verhindert. Eine einzige Solarzelle hat nur eine kleine Leistung, deshalb werden in der Praxis Solarmodule verwendet, diese enthalten viele Solarzellen, meist 60 Stück, die miteinander verschaltet werden und so eine Leistung von 300- 400 W erreichen. Eine hagelfeste Glasplatte deckt die Solarzellen sicher gegen Regen und Hagel ab.

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

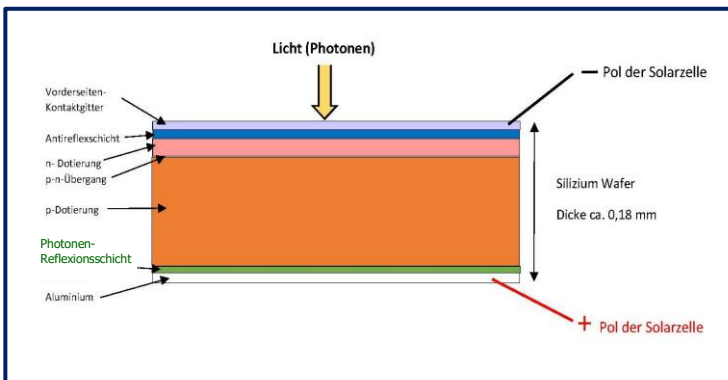
W.R. Schanz, OStR aD, Hildesheim, Germany

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



Aufbau und Funktion einer Silizium- Solarzelle III

ab Klassenstufe 9 Alter 13+ mit Halbleiterkenntnissen



Eine Solarzelle ist eine großflächige **Silizium-Halbleiterdiode**, die **n- dotierte Schicht ist die Oberseite der Solarzelle**, hier dringt das Licht ein, die blaue Farbe entsteht durch die **durchsichtige (!)** dünne Antireflexschicht. **Die n- dotierte Seite ist der Minuspol der Solarzelle!** Die dünnen Silberleiter des Vorderseiten- Kontaktgitters dienen als elektrische Leiter zur Abnahme des Stroms. Die **p- dotierte Schicht ist die Unterseite der Solarzelle**, an ihrem unteren Rand ist eine weitere Antireflexschicht und eine dünne Aluminiumschicht mit grauer Farbe. Aufgebrachte Silberleiter dienen zum Anlöten von Drähten. Hier ist der **Pluspol der Solarzelle**. **Der innere lichtelektrische Effekt der Ladungstrennung findet am p-n-Übergang statt.** Die Oberseite des Si- Wafers ist texturiert, um Lichtreflexionen zu vermindern.

Schematischer Aufbau einer Standard- Silizium-Industrie- Solarzelle. Moderne Konzepte, z.B. eine PERC-Solarzelle, haben einen abweichenden, komplizierteren Aufbau. Größe 6 Zoll: 156,75 mm x 156,75 mm



Das Foto zeigt die Vorderseite einer monokristallinen 6-Zoll-Solarzelle, die dunkelblaue Farbe ist die hauchdünne (75 nm!) Antireflexschicht aus Siliziumnitrid Si_3N_4 . Die weißen Striche sind elektrische Leiter aus reinem Silber, die breiteren 3 Leiter sind die Busbars zur Abnahme des Stroms, hier werden Drähte angelötet. Die Dicke der Solarzelle ist ca. 0,18 mm, den inneren Aufbau aus vielen Schichten zeigt die Grafik oben links:

Die Siliziumscheibe ist oben mit Phosphor n- dotiert, sonst p- dotiert mit Bor. Am p-n-Übergang entsteht ein inneres elektrisches Feld, hier werden die Ladungsträger, Elektronen und Löcher, getrennt. Tritt ein Lichtteilchen (Photon) von oben in die Solarzelle ein und trifft auf ein Si-Atom, schlägt es aus der Hülle ein Elektron heraus, welches wegen des inneren elektrischen Feldes nach oben zum Vorderseitenkontaktgitter wandert, das Loch dagegen wandert zur Aluminiumschicht an der Unterseite der Solarzelle. Eingedrungene Photonen, die kein Si- Atom getroffen haben, werden an der Rückseiten- Reflexionsschicht zurückgespiegelt.

Die elektrische Spannung U_{oc} einer Solarzelle

Eine Solarzelle liefert im Leerlauf (= Spannung ohne angeschlossenen Verbraucher) eine **typische Spannung von 0,60 – 0,68 V**. Der genaue Wert der **Leerlaufspannung** ist vom Material des Halbleiters, der Dotierung, der Temperatur und der Bestrahlungsstärke S abhängig, jedoch **unabhängig von der Fläche** der Solarzelle!

2. Die elektrische Stromstärke I_{sc}

Die maximale elektrische Stromstärke I_{sc} (= Kurzschlussstrom), die eine Solarzelle liefern kann, hängt von 2 Faktoren ab:

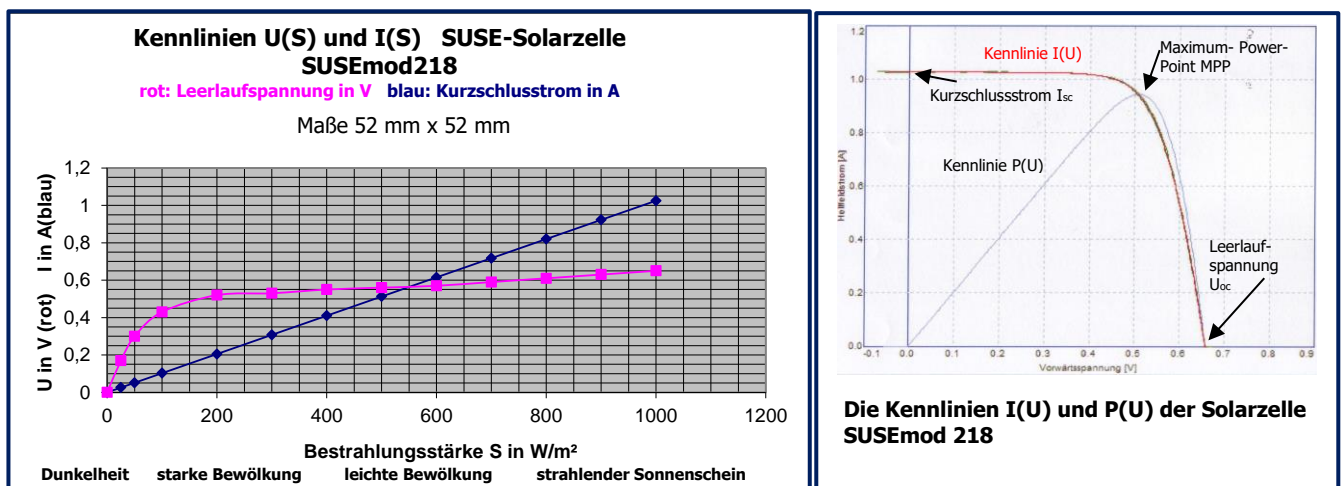
- **Fläche der Solarzelle:** Je höher die Fläche, desto höher ist I (direkt proportional)!
- **Intensität der auftreffenden Lichtstrahlung:** Je höher die Lichtintensität S , desto höher ist I_{sc} (direkt proportional)!
- **Qualität der Solarzelle** (sehr guter Solarzellen: $I_{sc} = 38 - 42 \text{ mA/cm}^2$!)

Die **Ursache des elektrischen Stroms** sind die pro Zeiteinheit in der Sperrschicht (p-n-Übergang) **durch einwirkende Lichtquanten entstandenen freien Elektronen**, die aufgrund eines inneren elektrischen Feldes auf die (n- dotierte) Oberseite der Solarzelle diffundieren und von dort über den äußeren Stromkreis auf die (p- dotierte) Unterseite gelangen. Dieser Prozess heißt „**innerer lichtelektrischer Effekt**“, **erklärt durch Einstein 1905**.

Wird der Solarzelle Strom entnommen, sinkt die Spannung U . Der genaue Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke wird in der $U - I$ - Kennlinie einer Solarzelle (siehe Seite 2) dargestellt, in der Datei Niveaustufe III erklärt. Die **maximale Leistung** wird nur in einem bestimmten Punkt, d.h. bei einer ganz bestimmten Spannung und Stromstärke erreicht, dieser Punkt heißt **MPP = Maximum Power Point**, wichtig in der Praxis! Der **Wirkungsgrad einer Industrie- Solarzelle** liegt bei ca. **18 – 21 %**, d.h. nur 18– 21% des einfallenden Lichts wird in elektrische Energie umgewandelt. Die Ursachen sind physikalische Faktoren, die hier nicht näher erläutert werden können. Moderne Solarzellenkonzepte erreichen im Labor Wirkungsgrade bis zu 26% bei einer physikalischen Grenze bei Si- Solarzellen von ca. 28%.

Eine weitere Wirkungsgradsteigerung erreicht man mit Stapel- Solarzellen. Hier werden 2 Solarzellen übereinander hergestellt, die elektrisch in Reihe geschaltet sind und für verschiedenen Licht-Spektralbereiche empfindlich sind, die obere Zelle für das grün- violette Licht, die untere Zelle für gelbes, rotes und IR- Licht.

Die Solarzellen- Kennlinien (Höheres Niveau, ab Kl. 10+)



Die U(S)- Kennlinie

Die U(S)- Kennlinie zeigt die **Abhängigkeit der Solarzellenspannung (Leerlaufspannung U_{oc}) von der Bestrahlungsstärke S des Lichts** (Lichtintensität). Bei Dunkelheit ist keine Spannung vorhanden, schon bei geringer Helligkeit steigt sie stark an und nähert sich dann nur noch langsam steigend dem Wert 0,63 V.

Die I(S)- Kennlinie

Die I(S)- Kennlinie zeigt die **Abhängigkeit des Kurzschlussstroms I_{sc} von der Bestrahlungsstärke S** (Lichtintensität). Bei Dunkelheit ist kein Strom vorhanden, mit zunehmender Helligkeit steigt die Stromstärke proportional in Form einer Geraden an und erreicht bei 1000 W/m² den Maximalwert 1000 mA.

Die **I(U)- Kennlinie** zeigt den Zusammenhang zwischen dem Kurzschlussstrom und der Leerlaufspannung bei einer belasteten Solarzelle, die **Kurve P(U)** ist die Leistungskurve mit dem Punkt MPP der maximalen Leistung.

Nur mit einem Laser kann man die großen 6- Zoll- Solarzellen in kleinere Solarzellen zerteilen, die Solarzelle SUSEmod 218 der oberen Kennlinien ist der 9. Teil einer 6- Zoll- Solarzelle.

Zu Dünnschicht- Solarzellen, die einen ganz anderen Aufbau haben, gibt es ein eigenes Infoblatt.

Aufbau und Funktion von Solarmodulen I

Das nebenstehende Foto zeigt ein 300 Watt- Solarmodul der Firma Solarwatt aus Dresden. Es enthält 60 Solarzellen in interner Reihenschaltung, es hat etwa die Größe einer Tür. Die einzelnen Solarzellen haben das Maß 15,6 cm x 15,6 cm. Die verschalteten Solarzellen liegen zwischen 2 Laminatfolien unter einer Solarglasplatte (hohe Lichtdurchlässigkeit und hohe Stabilität z.B. gegen Hagelschlag). Die Rückseite ist meist eine Kunststoffplatte oder eine Glasplatte, alles komplett eingefasst mit einem stabilen Aluminiumrahmen.

Auf der Rückseite befindet sich eine Anschlussbox mit 2 Anschlusskabeln, der **Plusanschluss** (der 1. Solarzelle) und der **Minusanschluss** (der 60. Solarzelle).

Die Spannung ist ca. 40 Volt, die maximale Stromstärke ca. 9A.

Solarmodule gibt es mit unterschiedlicher Solarzellenzahl und Solarzellengröße im Leistungsspektrum zwischen 5W500W.

Das mittlere Foto zeigt das SUSE- Solarmodul SUSE 4.52 mit einer Leistung von 10W, Größe ca. DINA4.

Hier sind 18 kleinere Solarzellen in interner Reihenschaltung verbaut, die Gesamtspannung ist ca. 11V, die maximale Stromstärke 1,2 A.

Für leistungsstarke Anlagen auf Dächern oder im Freiland werden viele Solarmodule (bis mehreren tausend Stück!) miteinander verschaltet, so dass sich hohe elektrische Leitungen bis in den MW- Bereich ergeben. Diese Anlagen nennt man „Solargenerator“.

Das Foto unten rechts zeigt Solargeneratoren auf den Dächern mehrerer ISFH- Gebäude mit einer Gesamtleistung von ca. 40 kW. Da die Solarmodule Gleichstrom produzieren, muss der Strom in einem Wechselrichter in den hier üblichen Netz- Wechselstrom mit 50Hz umgewandelt werden. Auf dem Foto unten ist eine Freiland- Anlage in Brandenburg mit tausenden Solarmodulen zu sehen, sie liefert eine elektrische Leistung von ca. 145 MW. Der Solarstrom ist sehr preiswert, bei großen Anlagen liegen die Kosten bei ca. 4- 5 Cent/kWh.



300W Solarmodul Quelle: Solarwatt



10W Solarmodul SUSE 4.52



Handbuch zur Sonnenfängerbox SEKI Station 5

Die Experimente der Lernstation 5 Alle Geräte 2-fach in der Sonnenfängerbox

| Lernstation Thema | Experimentiergeräte für 1 Lernstation | Messtechnik und Zubehör | Themenschwerpunkte der Experimente |
|---|--|---|--|
| Lernstation 5 Solarmodule III Solare Elektromobilität Experimente mit 3 unterschiedlichen Solarmodulen 5W, 10W, 30W und Zusatzgeräten: Smartphone Ladegerät Solarfahrzeug SF6USB Solarleuchte LED- Modul Powerbank- Akku | 1 5W Solarmodul SUSE 4.51 oder 4.51-36 1 10W- Solarmodule SUSE 4.52-36 1 30W- Solarmodul SUSE 4.43-30 1 LED- Modul SUSE 4.15-24 rainbow 1 Smartphone- Lader SUSE 4.17U 1 Solarfahrzeug SF6USB 1 USB-LED-Leuchte von Schule: 1 Overheadprojektor zum Experimentieren auf der Glasplatte von Schule: 1 Halogenstrahler 120W von Schule: USB- Powerbank- Akku | 1 Dig. Multimeter 4 Laborkabel mit 4mm Stecker 2x schwarz + 2x rot 1 Stoppuhr zur t- Messung im priv. Smartphone 1 Zollstock 2m 1 USB- Messgerät zur Messung von U,I,Q 1 USB Kabelsatz mit Stecker beidseits: 1x USB A auf USB A 1x USB A auf µUSB oder 1x USB A auf USB C oder 1x USB A auf Lightning (Apple) <small>Bitte Kabeltyp bei Bestellung angeben!</small> Handbuch auf USB-stick | Solar- Modultechnik mit professionellen Solarmodulen (4.51 und 4.52 mit 18 Solarzellen oder 4.51-36, 4.52-36, 4.42 mit je 36 Solarzellen) Solares Aufladen von Smartphones, Tablets + Powerbank- Akkus Solarfahrzeug SF6USB mit Aufladung vom Solarmodul via USB Energiespeicherung in Akku oder Superkondensator Messungen im USB- Kreis Wirkungsgradmessungen an DC-DC-Wandlern |

5-4 Experimente mit den Geräten der Station 5

Experimente für 2 Lerngruppen mit je 3 Schülerinnen/Schüler.

Bei der Station 5 ist eine große Anzahl von Experimenten möglich. Die betreuende Lehrkraft sollte in Absprache mit der Schüler*innen- Gruppe im Rahmen des Zeitbudgets und des Niveaus der Gruppe vor Versuchsbeginn passende Experimente auswählen.

Die Experimente sollten möglichst draußen im Freien durchgeführt werden.

Aufstellung der Experimente:

1. Einsteigerexperiment mit 3 Solarmodulen: 5W, 10W und 30W im Vergleich Seite: **30**
2. Experimente mit dem 5W- Solarmodul SUSE 4.51 Seite: **34**
3. Experimente mit dem 10W-Solarmodul SUSE 4.52-36 Seite: **49**
4. Experimente mit dem Solarfahrzeug SF6USB Seite: **77**
5. Experimente zum Wirkungsgrad vom DC-DC-Wandler im Gerät SUSE 4.17 Seite: **83**
6. Experimente: Smartphone Laden mit 30W- Solarmodul Seite:



Einsteiger- Experimente mit 3 Solarmodulen im Vergleich SUSE 4.51 (5W), SUSE 4.52-36 (10W), SUSE 4.43-30 (30W) mit Handylader SUSE 4.17 und Power- Bank- Akku 5V

Verwendete Bauteile:

1 Solarmodule 5W (SUSE 4.51), 1 Solarmodul 10W (SUSE 4.52-36) 1 Solarmodul 30W (SUSE 4.43-30), 1 Multimeter, 4 Laborkabel (2x rot + 2x schwarz), 1 USB- Messgerät, 1 USB- Laderegler SUSE 4.17, 1 Power- Bank- Akku + Ladekabel, 1 Taschenrechner oder TR im Handy, 1 Zollstock, 1 Handy/Smartphone zum Aufladen mit passendem Ladekabel

Basisinformationen + Hinweise zu den Experimenten:

Auf dem globalen Photovoltaik- Markt gibt es viele gerahmte Solarmodule für **6V-** oder **12V-Systemtechnik**, häufig in Leistungsklassen von 5 W – ca. 50W. Diese Module haben alle gemeinsam, dass sie **18 oder 36 Solarzellen** in **interner elektrischer Reihenschaltung** enthalten, die Größe/Fläche der Solarzellen variiert aber, leistungsstärkere Module haben größere Solarzellen, die eine höhere Stromstärke und damit eine höhere Leistung produzieren. In diesem Experiment wollen wir vergleichende Experimente mit **3 dieser Solarmodule mit P = 5W, P = 10W, P = 30W** durchführen.

Die technischen Daten auf den Daten- Aufklebern der Module beziehen sich immer auf die internationalen Standard- Test- Bedingungen:

- **Lichtintensität (Bestrahlungsstärke)= 1000 W/m²**
(strahlender Sonnenschein mittags im Sommer bei tiefblauem Himmel)
- **T = 25°C** (bei höheren Temperaturen sinkt die Leistung, bei niedrigeren Temperaturen steigt die Leistung!)
- **AM = 1,5** (= Lichtspektrum der gemäßigten Breiten, in anderen Regionen ändert sich die Leistung)

Durchführung der Experimente: Die Experimente werden draußen im Freien durchgeführt!

1. Theorie: Auswertung der technischen Daten der 3 Module und Vergleich

kann bei wenig Zeit übergangen werden

Bereits aus der Analyse der technischen Daten auf dem Typschild der Solarmodulrückseite lassen sich wichtige Daten zur Beurteilung und zum Vergleich der 3 Solarmodule gewinnen.

Mit einem Lineal können wir die Solarzellengröße und die Modulgröße messen. Elektrische Daten finden sich ebenfalls im Typschild. Tragen Sie diese Daten in die Tabelle ein. **Bei einigen Daten müssen Sie auch eigene Berechnungen vornehmen.**

| Technische Daten <small>Aufkleber auf Modulrückseite</small> | Solarmodul 5 W SUSE 4.51 | Solarmodul 10 W SUSE 4.52-36 | Solarmodul 30 W SUSE 4.43-30 |
|---|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 Anzahl der Solarzellen <small>in interner Reihenschaltung</small> | | | |
| 2 Leerlaufspannung in V | | | |
| 3 Kurzschlussstrom in A | | | |
| 4 Spannung im MPP in V <small>MPP = Punkt der maximalen Leistung</small> | | | |
| 5 Stromstärke im MPP in A | | | |
| 6 Elektr. Leistung im MPP in W | | | |
| 7 Größe einer Solarzelle <small>Länge Breite Fläche in cm/cm² Bitte sehr genau messen!</small> | | | |

| | | | |
|--|--|--|--|
| 8 Größe des Gesamtmoduls Länge Breite Fläche in cm/cm ² | | | |
| 9 Qualität der Solarzellen Stromdichte in mA/cm² = Kurzschlussstrom: Zellenfläche in mA/cm ² | | | |
| 10 Spannung einer Solarzelle im Modul eigene Berechnung! | | | |
| 11 Gesamte Solarzellenfläche in cm² | | | |

Wie unterscheiden sich die 3 Module, beurteilen/vergleichen Sie die Auswertung hier:

2. Experimente mit eigenen Messungen: A, B1, B2

Hierzu benötigen wir ein digitales Multimeter. Nur selten heben wir bei Messungen im Freien genau die Sonnenstrahlung S der Standard- Test- Bedingung (1000 W/m^2), bei bewölktem Himmel oder im Winterhalbjahr liegen wir weit darunter und erreichen die angegebene Modulleistung nicht. Die realen Werte der Solarstrahlung (Bestrahlungsstärke) S können wir aber selbst messen und auswerten.

Experiment A: Ausrichtung zur Sonne oder zum hellsten Punkt des Himmels

Der **Kurzschlussstrom** I_{sc} ist proportional zur Lichtintensität (Bestrahlungsstärke), dieser wird mit dem Multimeter im 10A-Messbereich gemessen und das Modul so gedreht/gekippt, dass ein maximaler Wert von I_{sc} erreicht wird, dann ist das Modul optimal ausgerichtet. Mit der nebenstehenden Gleichung können wir die Bestrahlungsstärke des Lichts genau berechnen.

Die **Bestrahlungsstärke S** ist **proportional** zum Kurzschlussstrom

$$S = \frac{\text{gemessener Kurzschlussstrom in A}}{\text{max. Kurzschlussstrom in A (siehe technische Daten)}} * 1000 \text{ in W/m}^2$$

Experiment B1: Messungen im Freien

Ort:.....Datum:.....Uhrzeit:.....

Wetterlage/Sonnenstrahlung:

| Messdaten | Solar modul 5 W SUSE 4.51 | Solar modul 10 W SUSE 4.52-36 | Solar modul 30 W SUSE 4.43-30 |
|--|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Leerlaufspannung U_{oc} in V Messbereich 20V DC bei SUSE 4.52/4.43 200V DC | | | |
| Kurzschlussstrom I_{sc} in A Messbereich 10A DC | | | |
| Berechnung Reale Leistung P in W $P = I_{sc} * U_{oc} * 0,8$ Der Faktor 0,8 ergibt sich aus der P-U-Kennlinie | | | |
| Berechnung Bestrahlungsstärke S des Lichts = Lichtintensität in W/m^2 | | | |

Beurteilen/vergleichen Sie die Messdaten der 3 Module hier:

Experiment B2: Laden eines Handys/Smartphones/Tablets oder eines Powerbank-Akkus mit einem Solarmodul (im Freien)

Zum Laden benötigen wir das Modul SUSE 4.17 (USB- Laderegler), welches die höhere Modulspannung auf eine Spannung von 5 V DC vermindert (Standard- Ladespannung für Smartphones!) und diese an einer USB- Buchse bereitstellt, **mit dem USB- Messgerät messen wir U,I,Q.**

Richten Sie eines der 3 Solarmodule wie in 2.1 beschrieben zur Sonne oder hellsten Stelle des Himmels aus, schließen Sie das Modul SUSE 4.17/4.17M an und verbinden Sie mit dem USB- Kabel (Mikro- USB- Stecker in das Smartphone, USB- Stecker in SUSE 4.17 stecken) das **Smartphone**. **Schalten Sie zwischen SUSE 4.17 und das Smartphone das USB- Messgerät!** Das Aufladen beginnt, Spannung, Stromstärke und geflossene Ladungsmenge können am USB- Messgerät abgelesen werden.

Geben Sie die Messwerte hier an:

Führen Sie das Experiment bei Interesse auch mit den anderen beiden Solarmodul durch, Sie können auch den Powerbank- Akku laden!

Beurteilen/vergleichen Sie die Messdaten hier, formulieren Sie Ihre Beobachtungen und Ideen:



Photovoltaik-System SUSE

Solarthermiesystem Wärme von der Sonne



BNE
Bildung für Nachhaltige Entwicklung

Experimente mit dem Solarmodul SUSE 4.51

5 W- Solarmodul für Photovoltaik- 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 15 Seiten



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) 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 und weitere USB- Geräte angeschlossen werden.



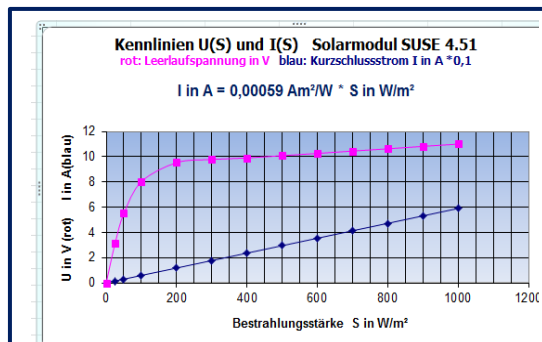
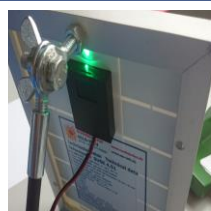
Oben:
Solarmodul SUSE 4.51, das Multimeter zeigt die Leerlaufspannung 11,07 V an.

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

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

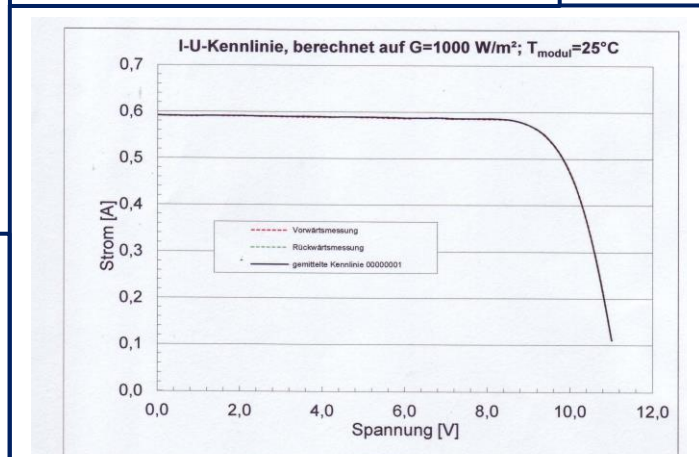
Technische Daten

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 aufgenommen im Kennlinienlabor des ISFH



2. 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:



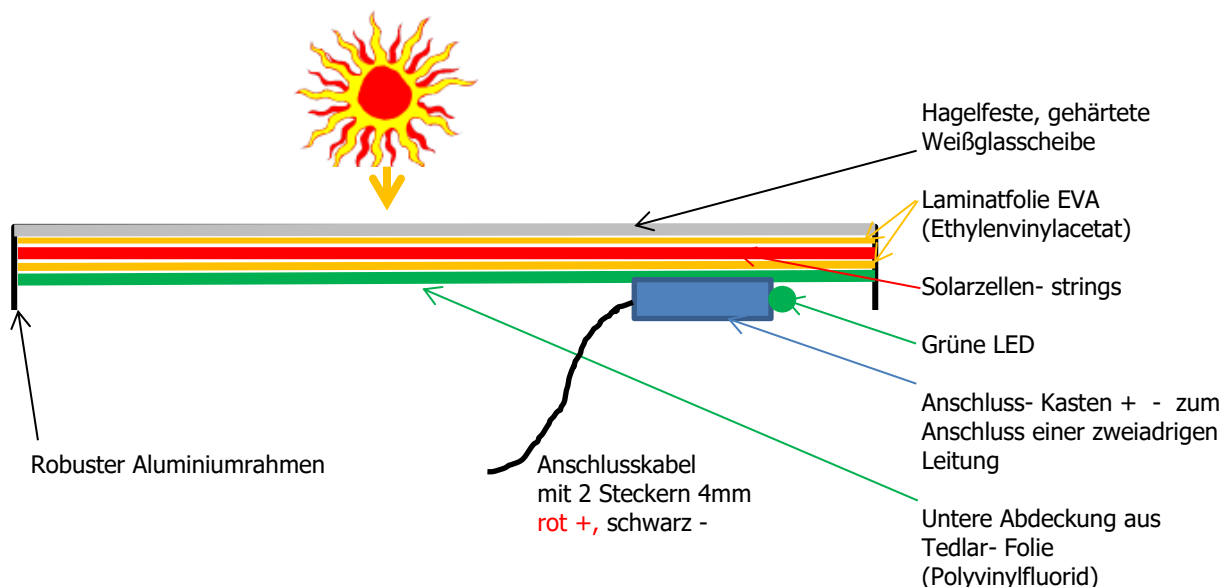
Der Zellverbinder wird also an der Oberseite der 1. Zelle angelötet, im 3mm- Zwischenraum zwischen beiden Zellen nach unten geführt und auf der Unterseite der 2. Zelle angelötet. Auf diese Weise werden alle 18 Solarzellen miteinander verbunden. An den Enden eines strings wird der Zellverbinder zum nächsten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

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 4.15-12V** in rot, grün, gelb, blau, IR, weiß oder **SUSE 4.20IRRB** (12V-Version). Schließen Sie die LED- Module polrichtig an das Solarmodul an

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-A- 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 Ladekabel USB-A
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 Ladekabel USB-A. 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.
- **Solarfahrzeug SUSE SF6USB**
Verbinden Sie das Fahrzeug zum Aufladen der internen Energiespeicher- Kondensatoren mit dem USB-A-Kabel mit SUSE 4.17.

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/m², 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 18 Solarzellen im MPP (siehe Datenblatt)

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

Die Lichtleistung bei Standard- Test- Bedingung ist 1000 W/m², das muss auf die Flächensumme aller 18 Solarzellen umgerechnet werden. Bestimme hierzu die Fläche einer Solarzelle mit dem Lineal sehr genau!

Berechnen Sie den Wirkungsgrad und vergleichen Sie mit den Angaben der technischen Daten hier:

B3 Bestimmung der Qualität einer Solarzelle

Der Kurzschlussstrom I_{sc} pro 1 cm² 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/cm²

Gut: 29 - 33 mA/cm²

Mittel: 25 - 29 mA/cm²

Schlecht: < 25 mA/cm²

Bei einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m² !! Maximal möglicher theoretischer Wert: 44 mA/cm²

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 eingestrahnten 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 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 W/m^2 (bewölkter Himmel) scheint? Erklären Sie und skizzieren Sie den veränderten Verlauf mit Bleistift in die Grafik ein!

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 oder 5A 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 |
| Leerlaufspannung U_{oc} in V | | | | |
| Kurzschlussstrom I_{sc} in A | | | | |
| Leistung P in W ($U_{oc} \cdot I_{sc} \cdot 0,8$) 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 |
| Leerlaufspannung U_{oc} in V | | | | |
| Kurzschlussstrom I_{sc} in A | | | | |
| Leistung P in W ($U_{oc} \cdot I_{sc} \cdot 0,8$) 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 oder Abkühlung 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:

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

Dabei ist:

| | | |
|------------|------------|---|
| I_{sc} | in A | der kalibrierte Kurzschlussstrom bei 1000 W/m^2 = 0,59 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 oder 5A
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 Solarzellen nach unten ausgerichtet! | | |
| 40 cm vor Halogenstrahler 120 W | | |
| Im Innenraum Zum Fenster hin ausgerichtet | | |

Was fällt Ihnen bei den Messungen 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

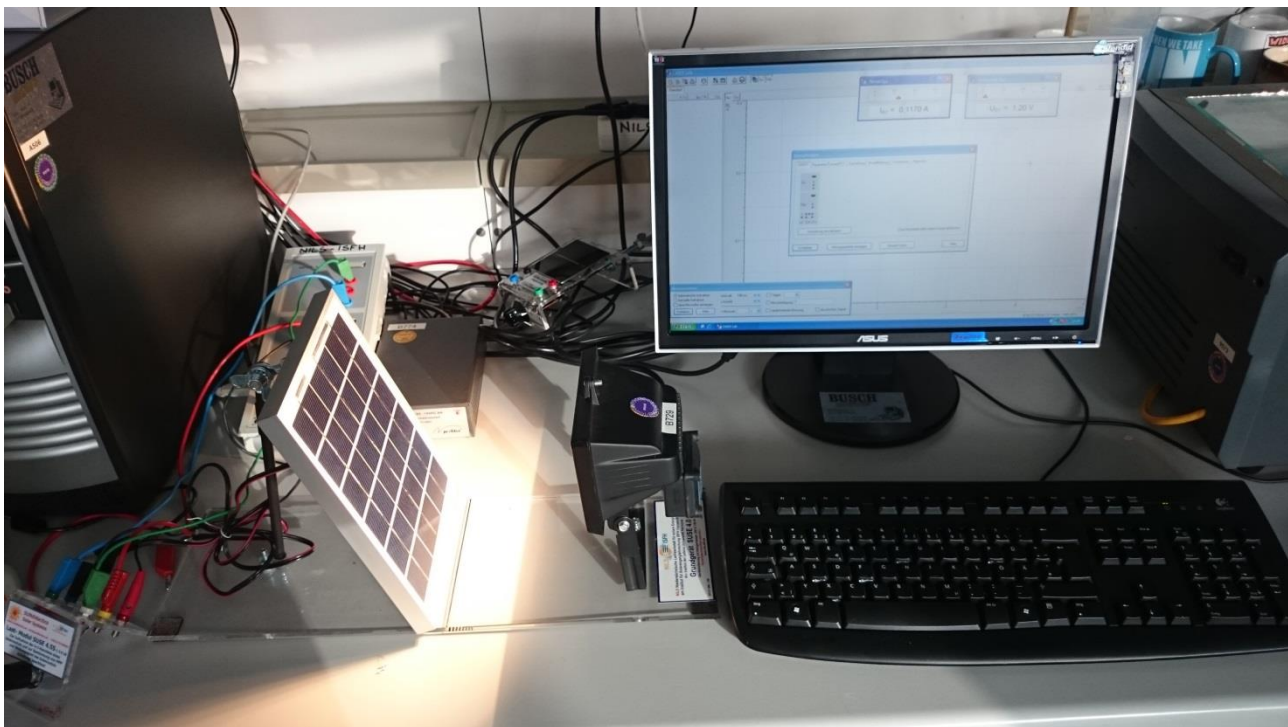
Notwendige Experimentiergeräte für C3:

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:

$$\text{Messung } I_{sc} = \dots\dots\dots A \quad S = \dots\dots\dots W/m^2$$

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:

$$\text{Momentane elektrische Leistung } P_E = \dots\dots\dots W$$

3.3 Bestimmung des Wirkungsgrades:

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

$$\text{1 Solarzelle:} \quad \text{Länge} \dots\dots\dots \text{cm, Breite} \dots\dots\dots \text{cm, Fläche } A_1 \dots\dots\dots \text{cm}^2$$

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

Diese Fläche wird bestrahlt und generiert die elektrische Leistung P_E .

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

S gibt die Leistung des Lichts auf 1 m² an, wir müssen die Leistung auf A_{18} berechnen:

$$1 \text{ m}^2 = 10\,000 \text{ cm}^2 \quad \text{Lichtleistung } P_L \text{ auf } A_{18} = \frac{S \text{ (aus 3.1)}}{10\,000} * A_{18} = \dots\dots\dots W$$

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

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



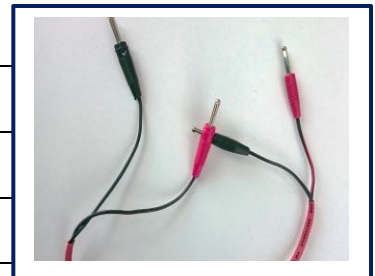
**Für eine Reihenschaltung von Solarmodulen (oder allg. von Stromquellen) gilt folgende Gesetzmäßigkeit:
Die Einzel- Spannungen addieren sich, während der Gesamtstrom der Reihenschaltung durch den schlechteren (geringeren) Einzelstrom der beiden Module bestimmt wird.**

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 |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Modul 1 alleine | | |
| Modul 2 alleine | | |
| Reihenschaltung | | |

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!)

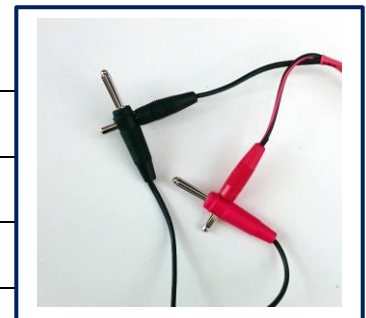
Diese Gesetzmäßigkeiten wollen wir durch eigene Experimente überprüfen!

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

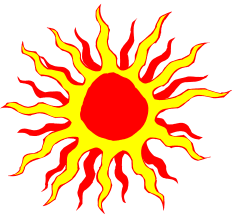
Messungen:

Messbereiche des Multimeters: Leerlaufspannung im Messbereich 20V DC, Kurzschlussstrom im Messbereich 10A DC oder 5A DC



| | Leerlaufspannung in V | Kurzschlussstrom in A |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Modul 1 alleine | | |
| Modul 2 alleine | | |
| Parallelschaltung | | |

Bestätigt sich die Gesetzmäßigkeit? Formulieren Sie Ihre Ergebnisse hier:



**Photovoltaik-
System
SUSE**

**Solarthermiesystem
Wärme von der Sonne**



Experimente mit dem Solarmodul SUSE 4.52-36-36 10 W- Solarmodul für PV- Experimente

36 Solarzellen in interner Reihenschaltung $U_{oc}=22,32$ V, $I_{sc}= 0,685$ A, $P = 10$ W bei $S = 1000$ W/m²,
 $T = 25^{\circ}\text{C}$, AM 1,5 mit integrierter **Indikator- LED (grün)** zur Betriebsanzeige - 15 Seiten

Gerätebeschreibung und technische Daten



Das **Solarmodul SUSE 4.52-36-36** ist ein professionelles und sehr robustes Solarmodul mit **36 Solarzellen in interner Reihenschaltung** unter ESG-Solarglas, eingerahmt mit einem stabilen eloxierten 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 Bündelsteckern 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 4.15-24 direkt angeschlossen werden. Mit dem Lademodul SUSE 4.17 können Smartphones, Tablets oder Powerbank- Akkus mit $U = 5,0$ V aufgeladen werden, weiterhin kann an SUSE 4.17 das Radio SUSE 4.36USB, der Solarmotor SUSE 4.16USB oder eine LED- Lampe angeschlossen werden.

Oben:

Das Solarmodul SUSE 4.52-36-36, das Multimeter zeigt die Leerlaufspannung $U_{oc} = 22,6$ V an, etwas mehr als die Herstellerangabe bei 25°C ($22,3$ V). Die Temperatur bei der Messung war nur 12°C ! U_{oc} steigt mit fallender Temperatur!

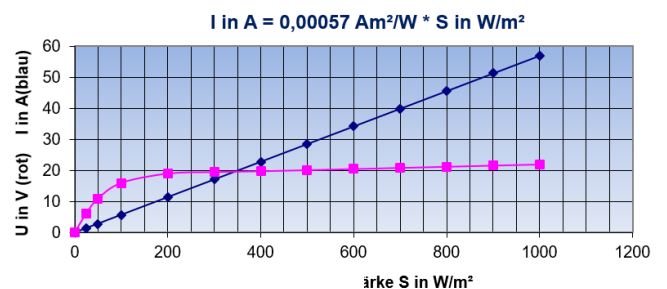
Die Kennlinien des Moduls

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 $22,3$ V, der Verlauf ist eine e- Funktion.

Der **Kurzschlussstrom I_{sc}** steigt **linear** mit der Bestrahlungsstärke bis zum Maximalwert $0,685$ A an.

**Kennlinien $U(S)$ und $I(S)$
10W- Solarmodul SUSE 4.52-36**
 rot: Leerlaufspannung in V blau: Kurzschlussstrom I in A *0,01



Technische Daten

bei STC $S = 1000$ W/m², $T = 25^{\circ}\text{C}$, AM 1,5

Zelltyp: Multikristallin Zellenanzahl: 36 Rahmen: Aluminium Maße: 350 x 260 x 18 mm Nennleistung: 10 W U_{oc} : 22,32 V I_{sc} : 0,685 A
 U_{mpp} : 16,3 V I_{mpp} : 0,62 A Zellwirkungsgrad: ca.19,0 % Toleranz + 3% Technische Daten herstellerbedingt variabel

1. Technischer Aufbau des Solarmoduls:

Im Modul sind **36 identische Solarzellen elektrisch in Reihe geschaltet**, 4 Reihen mit je 9 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 (verzinnte Cu- Bändchen) so in Reihe geschaltet:



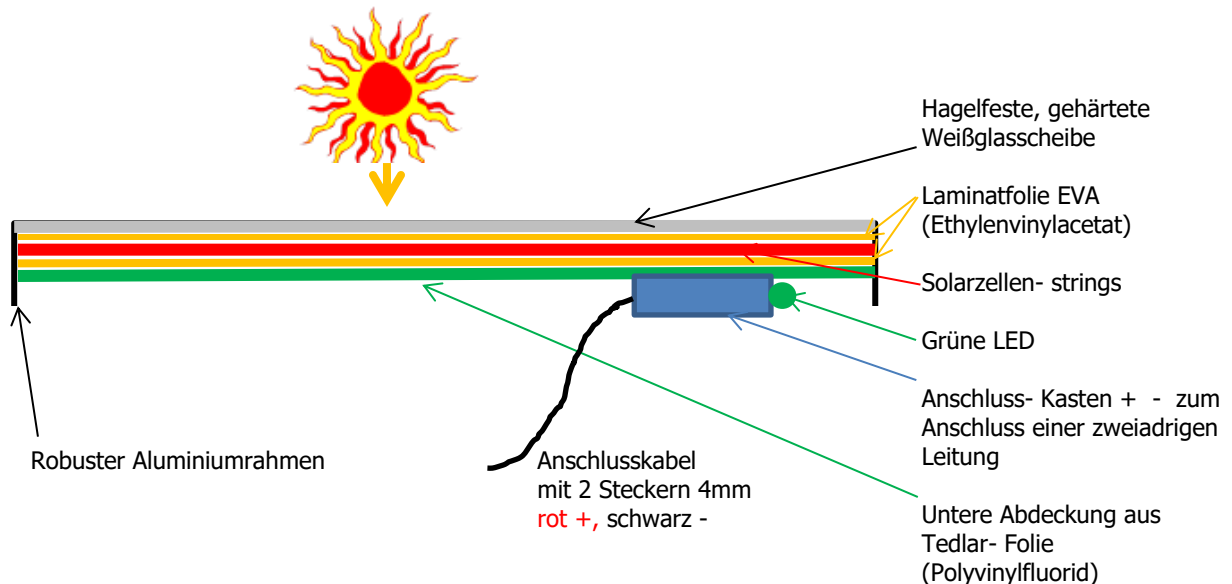
Der Zellverbinder wird also an der Oberseite der 1. Zelle angelötet, im 3mm- Zwischenraum zwischen beiden Zellen nach unten geführt und auf der Unterseite der 2. Zelle angelötet. Auf diese Weise werden alle 18 Solarzellen miteinander verbunden. An den Enden eines strings wird der Zellverbinder zum nächsten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

Bei dieser elektrischen **Reihenschaltung addieren sich die Spannungen** der Solarzellen, die Gesamtspannung U_{ges} des Moduls ist also die 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 4.52-36 ist im Anschlusskasten ein 1,5 m langes, zweiadriges Anschlusskabel mit 2 Büchelsteckern 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 4.52-36, andere 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 4.52-36 als Solargenerator zum Betrieb von Geräten

A1 An das Solarmodul SUSE 4.52-36 lassen sich folgende Geräte direkt anschließen:

- **LED- Module SUSE 4.15** (24 V- Version) in rot, grün, gelb, blau, IR, weiß oder **SUSE 4.20IRRB** (24V-Version!). Schließen Sie die LED- Module polrichtig an das Solarmodul an.

A2 Anschluss des DC- DC- Wandlers SUSE 4.17 an das Solarmodul SUSE 4.52-36

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 4.52-36 wird polrichtig an die Eingangsbuchsen von SUSE 4.17 eingesteckt. An die USB- Ausgang- Buchse lassen sich folgende Geräte anschließen:

- **Smartphone/Tablet zum Aufladen** mit Mikro- USB- Stecker/USB-C Stecker oder Lightning. 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 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/Solarmotor 4.16 USB/Solarfahrzeug 6USB/USB-Lampe** Stecken Sie den USB- Stecker in die USB- Buchse von SUSE 4.17 und richten Sie das Solarmodul optimal zur Sonne aus. Das Radio und die weiteren Geräte können 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 Ständer) oder Overheadprojektoren (helle Glasplatte) verwendet werden.

B Experimente/Aufgaben mit den technischen Daten von Seite 1

Alle Daten beziehen sich auf Standard- Test- Bedingungen (STC), solare Einstrahlung 1000 W/m², 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, bestimme hierzu die Fläche einer Solarzelle mit dem Lineal sehr genau!

Erstelle die Berechnung hier und erkläre:

B3 Bestimmung der Qualität einer Solarzelle

Der Kurzschlussstrom I_{sc} pro 1 cm^2 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:

Erstelle die Berechnung hier und erkläre:

Stromdichte j von Solarzellen

Sehr gut: $> 35 \text{ mA/cm}^2$ Gut: $30 - 34 \text{ mA/cm}^2$ Mittel: $26 - 29 \text{ mA/cm}^2$ Schlecht: $< 26 \text{ mA/cm}^2$
Bei einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m^2 !! Maximal möglicher theoretischer Wert: 44 mA/cm^2

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 Angaben der technischen Daten.

Erstelle die Berechnung hier und erkläre:

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:

Erstelle die Berechnung hier und erkläre:

Aktive Solarzellenfläche in % der Modulfläche:.....%

Inaktive Leerflächen in % der Modulfläche:.....%

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 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 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 4.52-36

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 oder 5A, 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 |
|--|---|--------------------------------------|------------------------------|---|
| Leerlaufspannung U_{oc} in V | | | | |
| Kurzschlussstrom I_{sc} in A | | | | |
| Leistung P in W ($U_{oc} \cdot I_{sc} \cdot 0,8$) 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 |
|--|---|--------------------------------------|------------------------------|---|
| Leerlaufspannung U_{oc} in V | | | | |
| Kurzschlussstrom I_{sc} in A | | | | |
| Leistung P in W ($U_{oc} \cdot I_{sc} \cdot 0,8$) 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 4.52-36 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 4.52-36 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 4.52-36

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

$$I_{sc} = \dots\dots\dots 0,685 \dots\dots\dots A = \dots\dots\dots 685 \dots\dots\dots mA$$

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

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

$$\frac{0,685 A (I_{sc})}{1000 W/m^2} = \frac{I_{mess} \text{ in A}}{S_x \text{ in } W/m^2} \quad \text{oder nach } S_x \text{ umgestellt: } S_x = \frac{I_{mess} \text{ (in A)} * 1000}{0,685 A}$$

- Dabei ist:
- I_{sc} in A der kalibrierte Kurzschlussstrom bei 1000 W/m^2 = **0,685 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 oder 5A
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 4.52-36 mit dem Zusatzgerät (Lastwiderstand) SUSE 4.55

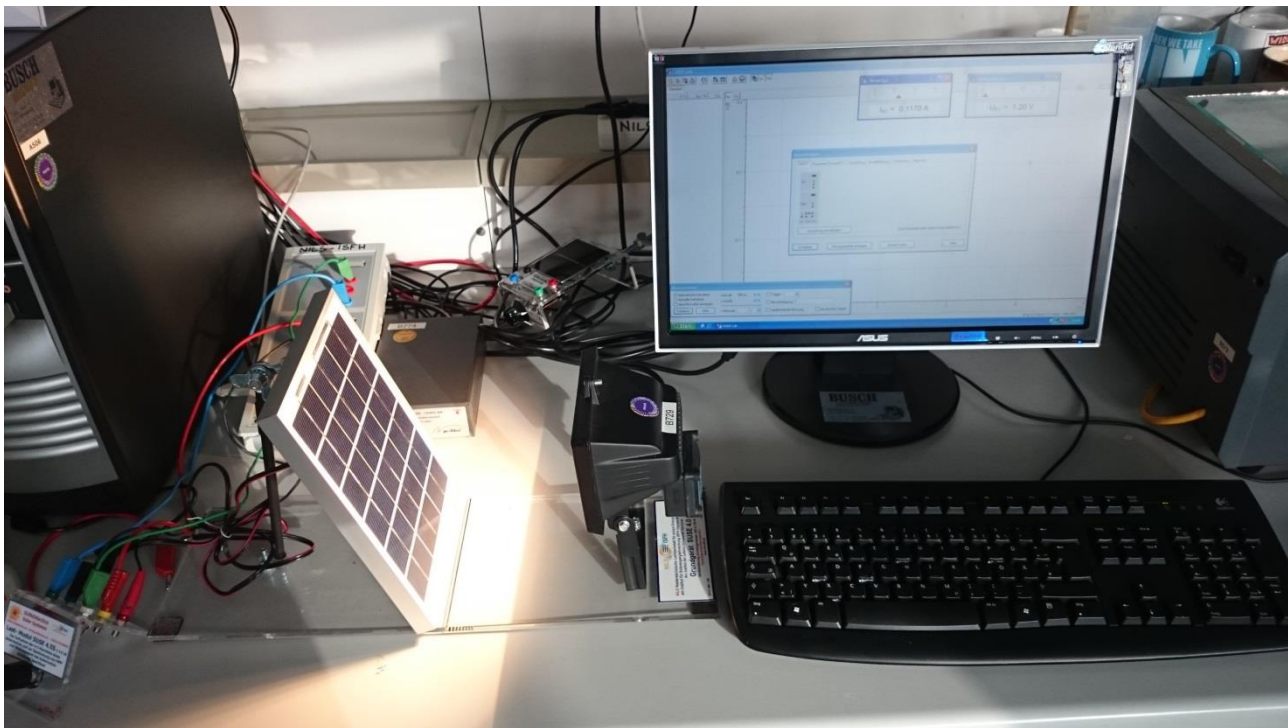
Notwendige Experimentiergeräte für C3:

1 Grundgerät SUSE 4.0 mit Strahler 120W (oder Overheadprojektor), 1 Solarmodul SUSE 4.52-36, 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 4.55-36 und ein Messwerterfassungssystem (z.B. CassyLab).

1. Versuchsaufbau:

Das Foto zeigt den Versuchsaufbau mit dem 5W- Modul SUSE 4.51



Auf dem Grundgerät SUSE 4.0 mit Halogenstrahler 120 W steht das bestrahlte Solarmodul. 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 4.52-36 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 4.52-36 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:

$$\text{Messung } I_{sc} = \dots\dots\dots A \quad S = \dots\dots\dots W/m^2$$

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:

$$\text{Momentane elektrische Leistung } P_E = \dots\dots\dots W$$

3.3 Bestimmung des Wirkungsgrades:

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

$$\mathbf{1 \text{ Solarzelle:}} \quad \text{Länge} \dots\dots\dots \text{cm, Breite} \dots\dots\dots \text{cm, Fläche } A_1 \dots\dots\dots \text{cm}^2$$

$$\mathbf{36 \text{ Solarzellen:}} \quad \text{Fläche } A_{36} = 36 * \text{Fläche } A_1 = \dots\dots\dots \text{cm}^2$$

Diese Fläche wird bestrahlt und generiert die elektrische Leistung P_E .

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

S gibt die Leistung des Lichts auf 1 m² an, wir müssen die Leistung auf A_{18} berechnen:

$$1 \text{ m}^2 = 10 \ 000 \ \text{cm}^2 \quad \mathbf{\text{Lichtleistung } P_L \text{ auf } A_{18} = \frac{S \text{ (aus 3.1)}}{10 \ 000} * A_{18} = \dots\dots\dots W}$$

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

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

Experimente D: Experimente mit 2 Solarmodulen SUSE 4.52-36

Wir können 2 Module SUSE 4.52-36 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 4.52-36 **Vorsicht, hohe Spannung 44V, Experiment nur durch Lehrkraft durchführen!**

Wir stellen 2 Module SUSE 4.52-36 **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!).

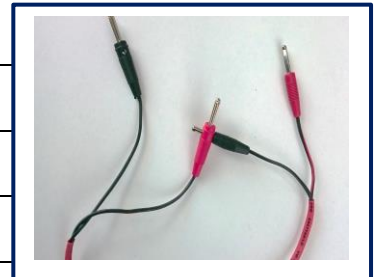
**Für eine Reihenschaltung von Solarmodulen (oder allg. von Stromquellen) gilt folgende Gesetzmäßigkeit:
Die Einzel- Spannungen addieren sich, während der Gesamtstrom der Reihenschaltung durch den schlechteren (geringeren) Einzelstrom der beiden Module bestimmt wird.**

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 |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Modul 1 alleine | | |
| Modul 2 alleine | | |
| Reihenschaltung | | |

D2 Parallelschaltung von 2 Solarmodulen SUSE 4.52-36

Wir stellen 2 Module SUSE 4.52-36 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!

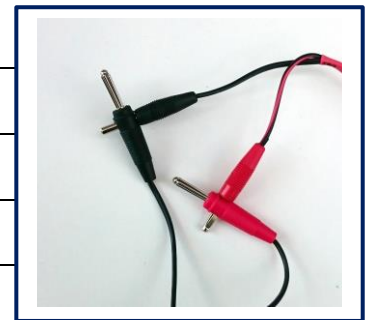
Zur **Parallelschaltung** verbinden wir die Modulkabel wie folgt: Wir stecken den schwarzen Minusstecker von Modul 1 in das Querloch vom schwarzen Minusstecker von Modul 2, bei den beiden roten Steckern gehen wir genau so vor, siehe Foto! Minus- und Plusstecker gehen zum Multimeter.

Steckerverbindung bei Parallelschaltung

Messungen:

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

| | Leerlaufspannung in V | Kurzschlussstrom in A |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Modul 1 alleine | | |
| Modul 2 alleine | | |
| Parallelschaltung | | |



Bestätigt sich die Gesetzmäßigkeit? Formulieren Sie Ihre Ergebnisse hier:



**Photovoltaik-
System
SUSE**

**Solarthermiesystem
Wärme von der Sonne**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung



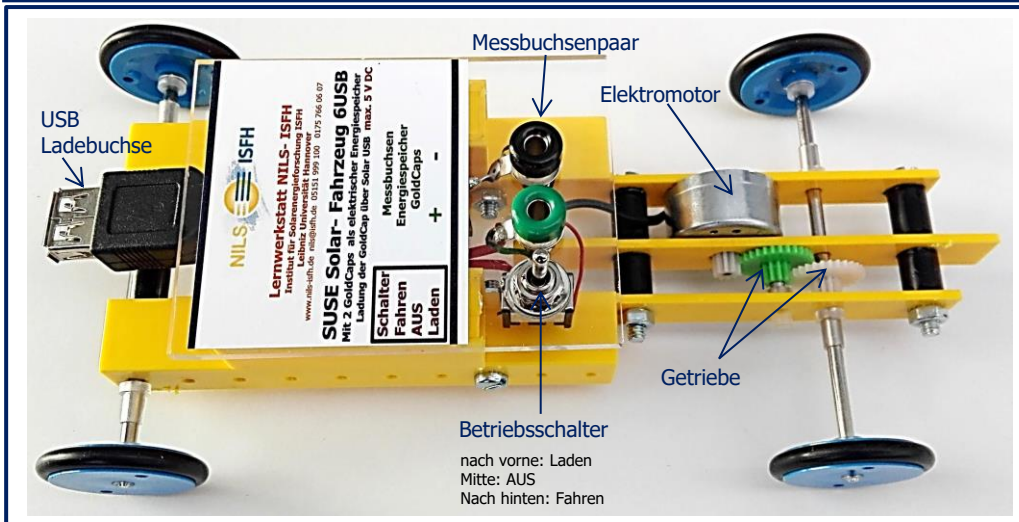
BNE
 Bildung für
 Nachhaltige
 Entwicklung

Solare Elektromobilität

Das SUSE- Solar- Fahrzeug 6USB

Leistungsstarkes Solarfahrzeug mit einem Superkondensator- Energiespeicher 2x 8F, Antrieb mit SUSE- Solarmotor und 2- stufigem Getriebe, 2 Messbuchsen für experimentelle Messungen. Aufladung vom Solarmodul über eine USB- Buchse mit 5V DC

Gerätebeschreibung, Betriebsanleitung, Experimente

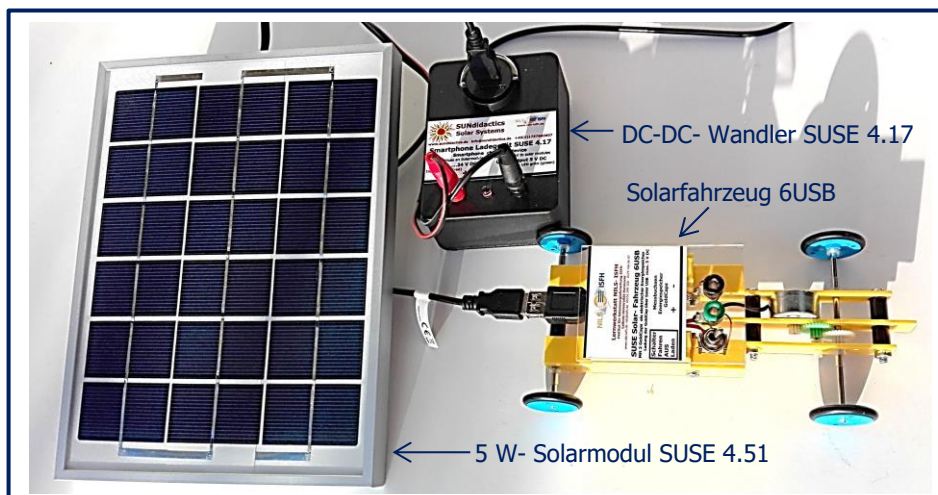


Das Solarfahrzeug 6USB

Vorne rechts befindet sich der Elektromotor mit dem 2- stufigen Getriebe, welches die Vorderachse antreibt. Dahinter befindet sich die Plexiglas- Platine mit dem Betriebsschalter und dem Messbuchsenpaar grün/schwarz zum Anschluss eines Voltmeters. Hinten links erkennt man die USB- A-Buchse, über die der GoldCap- Energiespeicher aufgeladen wird. Es kann eine maximale Energiemenge von 20,6J gespeichert werden.

Das SUSE- Solar- Fahrzeug 6USB

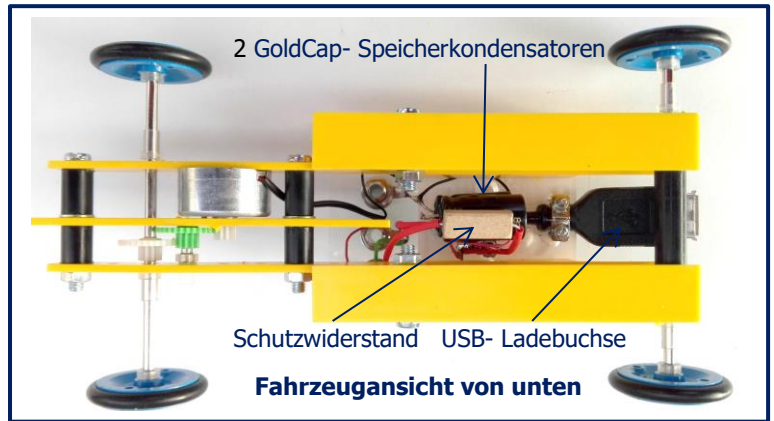
Das **Solarfahrzeug SF6USB** wird von einem Solarmodul aufgeladen, welches einen USB- Ausgang hat, z.B. das Solarmodul SUSE 4.50-10 oder mit den Solarmodulen 5W.....20W (SUSE 4.51, SUSE 4.52, SUSE 4.41, 4.42, 4.43) über den DC-DC- Wandler SUSE 4.17 oder 4.17M. Bei strahlendem Sonnenschein dauert die Aufladung ca. 2 Minuten. Das nachfolgende Foto zeigt den Geräteaufbau:



„Auftanken“ des Solarfahrzeuges 6USB am 5W- Solarmodul SUSE 4.51 über den DC-DC- Wandler SUSE 4.17 mit USB- Ausgang. Das Ausgangskabel des Solarmoduls (rot- schwarzes Steckerpaar) ist unten in den DC-DC- Wandler eingesteckt, oben ist der USB- Ausgang, der mit einem USB-A-Kabel (2x USB-A-Stecker) mit dem Fahrzeug verbunden wird.

Die 2 Speicherkondensatoren in Reihenschaltung befinden sich unter dem Fahrzeug, zum Schutz vor zu großen Ladestromstärken ist ein ohmscher Widerstand im Ladestromkreis eingebaut, der den Ladestrom auf maximal 1A begrenzt.

Zu Testzwecken kann das Fahrzeug auch an jedem beliebigen PC, Notebook oder Tablet aufgeladen werden.



Lichtquellen für alle Experimente
Im Freien Solarmodul zur Sonne ausrichten oder bei bedeckten Himmel nach oben ausrichten
Im Innenraum Solarmodul mit 400 W Halogenstrahler (kein LED- Strahler!!) bestrahlen oder Modul auf beleuchtete Glasplatte eines Overheadprojektors legen.

Experimentiergeräte für Experiment 1
 1x Solarfahrzeug SF6USB
 1x Solarmodul SUSE 4.51, 4.52 o.ä.
 1x DC-DC- Wandler SUSE 4.17 oder 4.17M
 1x USB- Kabel mit Stecker A-A
 1x Multimeter mit 2 Laborkabeln
 oder **1x USB- Messgerät** mit USB- Buchse und USB- Stecker zur Messung von Spannung U in V, Stromstärke I in A, Ladungsmenge Q in mAh

Basis- Experiment 1: Die Betriebsanleitung Auftanken und zum Fahrbetrieb ohne Messungen

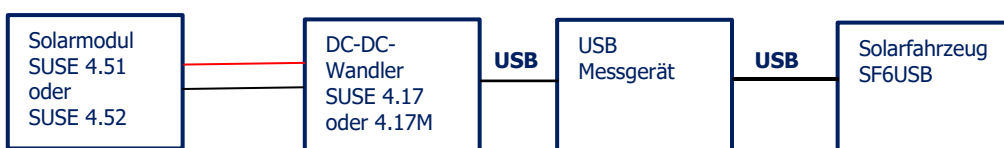
1. Der **Betriebsschalter** wird auf **Mittelposition AUS** geschaltet und das Fahrzeug mit einem handelsüblichen USB- Kabel (Kabel mit 2x USB-A-Stecker) mit dem DC- DC- Wandler SUSE 4.17 oder testweise mit einem PC/Notebook/Tablet verbunden.
2. Der **Betriebsschalter** wird nun **nach vorne (Laden)** geschaltet, der Aufladevorgang beginnt, er dauert ca. 1- 3 Minuten. Zur Beobachtung oder Messung der Aufladung kann am grün- schwarzen Buchsenpaar ein Multimeter (MB 20V DC) angeschlossen werden, max. Ladespannung 5V DC. Alternativ kann das USB- Messgerät in die USB- Leitung eingeschleift werden.
3. Nach Beendigung der Aufladung wird der **Betriebsschalter wieder auf die Mittelposition AUS** geschaltet und das USB- Ladekabel abgezogen.
4. Zum **Fahren** wird das Fahrzeug auf den Boden auf eine freie Fläche gestellt und der Betriebsschalter nach hinten auf „**Fahren**“ geschaltet, das Fahrzeug wird schnell davonfahren, Fahrtstrecke ca. 30->50 m.

Weitere vertiefte Experimente 2 – 4 mit dem Solarfahrzeug 6USB

Experiment 2: Fahrbetrieb mit Solarmodul als Solartankstelle mit Messungen mit einem USB Messgerät

Experimentiergeräte für Experiment 2
 1x Solarfahrzeug SF6USB
 1x Solarmodul SUSE 4.51, 4.52 o.ä.
 1x DC-DC- Wandler SUSE 4.17 oder 4.17M
 1x USB- Kabel mit Stecker A-A
1x USB- Messgerät mit USB- Buchse und USB- Stecker zur Messung von Spannung U in V, Stromstärke I in A, Ladungsmenge Q in mAh

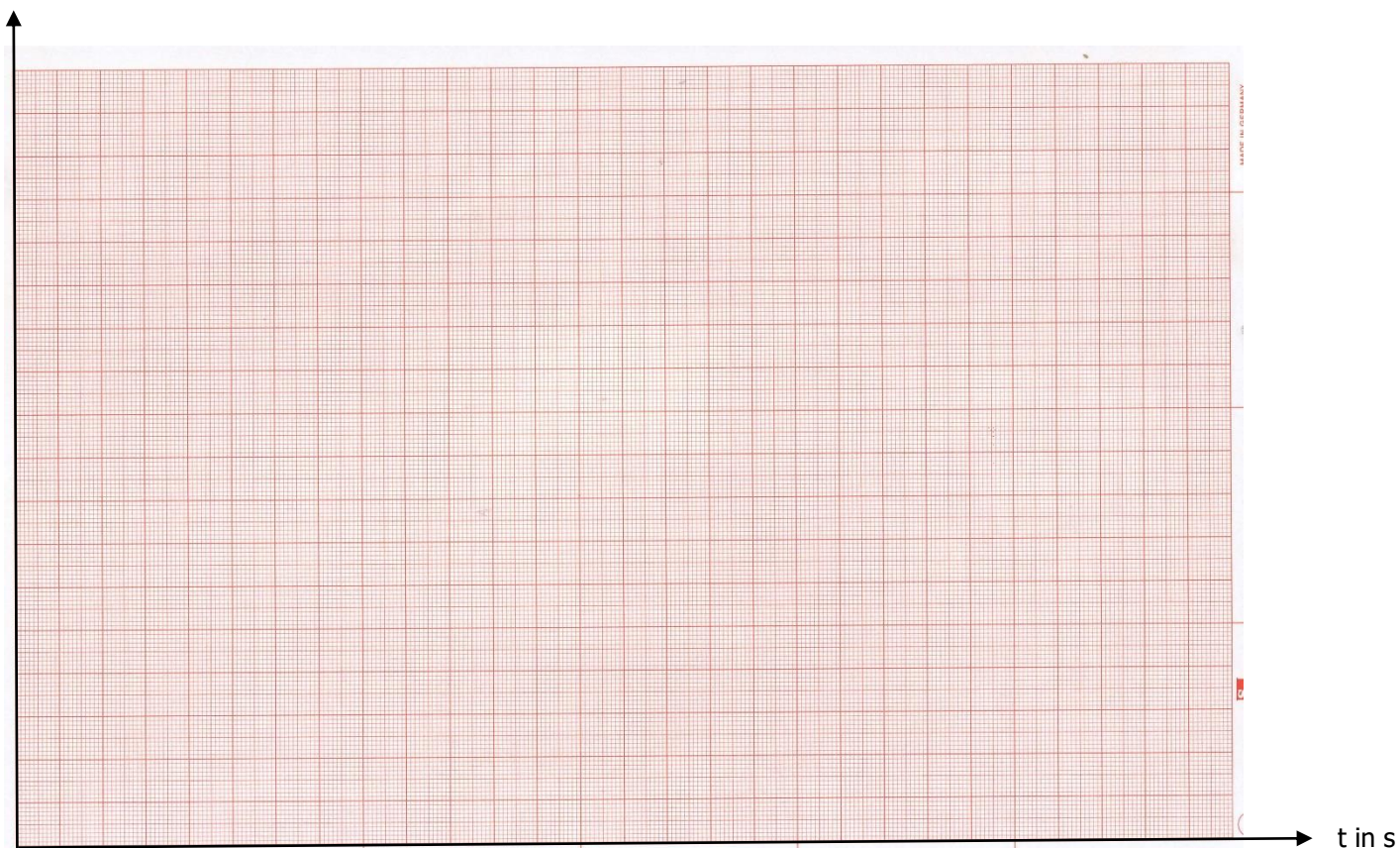
Aufbau des Experiments 2:



Das USB- Messgerät misst gleichzeitig die Spannung U in V (oben links), die Stromstärke in A (oben rechts) und die seit dem Start geflossene Ladung in mAh. Die Werte werden für jeden Versuch gespeichert, die 2 unten rechts ist für Exp.2

Der Aufbau ist oben im Blockbild dargestellt. Das Solarmodul soll im Freien zur Sonne ausgerichtet werden, bei bedecktem Himmel schräg oben nach Süden, bei Versuchen im Innenraum sollte das Modul mit einem 400 W- Halogenstrahler aus ca. 50 cm Abstand bestrahlt werden (kein LED- Strahler!). Man kann das Modul auch mit den Solarzellen nach unten auf einen Overheadprojektor legen. Der Schalter

U,I,Q



x- Achse ist die Zeit, 1 Kästchen = 5 Sekunden

3 y- Achsen nach eigener Einteilung!

Erkläre und beurteile den Graphen und die hierbei abgelaufenen elektrischen Vorgänge:

Experiment 4: Experimente zur Entladung des Super- Kondensators über den Solarmotor, Entladespannung in Abhängigkeit von der Zeit, Energiespeicherung mit Stoppuhr und USB- Messgerät

Experimentiergeräte für Experiment 4

1x Solarfahrzeug SF6USB
1x Solarmodul SUSE 4.51, 4.52 o.ä.
1x DC-DC- Wandler SUSE 4.17 oder 4.17M
1x USB- Kabel mit Stecker A-A
1x USB- Messgerät mit USB- Buchse und USB-
Stecker zur Messung von Spannung U in V,
Stromstärke I in A, Ladungsmenge Q in mAh
1x Stoppuhr oder Stoppuhr im smartphone
1x Multimeter im Messbereich 20V DC mit 2x
Laborkabel

Zur **Messung der Entladung** müssen wir das Fahrzeug aufbocken, so dass sich die Antriebsräder frei drehen können. Der Aufbau ist wie in Experiment 3, zusätzlich wird ein Multimeter im Spannungsbereich 20 V DC an das grün-schwarze Buchsenpaar angeschlossen und misst die Spannung am Speicherkondensator.

Die Aufladung wird genauso vorgenommen wie in den Experimenten 2 und 3, Messungen werden hier nicht durchgeführt. Wenn sich die maximale Spannung am Multimeter eingestellt hat, wird der Schalter auf **Mittelposition AUS** gestellt.

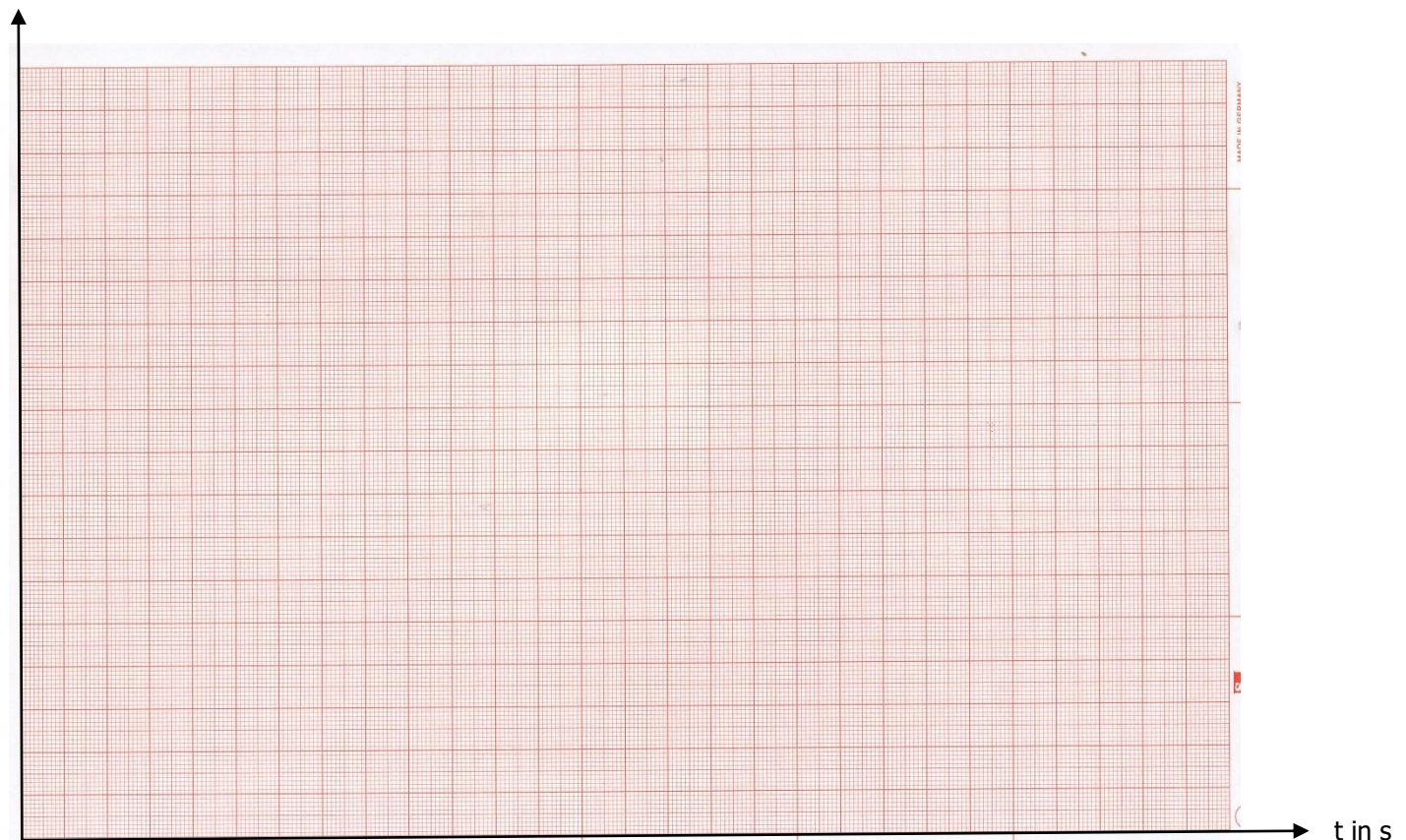
Die **Ladungsmenge Q am USB- Messgerät wird abgelesen: $Q = \dots\dots\dots\text{mAh}$**

Nun wird der Betriebsschalter auf Fahren gestellt und gleichzeitig die Stoppuhr aktiviert, alle 15 bzw. 30 Sekunden wird die Spannung am Multimeter abgelesen und in die Tabelle eingetragen:

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Zeit in s | 0 | 15 | 30 | 35 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 |
| Spannung U in V | | | | | | | | | | | | | |
| Zeit in s | 330 | 360 | 390 | 420 | 450 | 480 | 510 | 540 | 570 | 600 | 630 | 660 | 690 |
| Spannung U in V | | | | | | | | | | | | | |

Zeichne die U(t)- Kurve auf mm- Papier oder gib sie in eine Excel- Tabelle ein und stelle den Graphen dar!

U in V 1 Kästchen = 0,5 V



x- Achse ist die Zeit, 1 Kästchen = 30 Sekunden

Erkläre und beurteile den Graphen und die hierbei abgelaufenen elektrischen Vorgänge:

Die im GoldCap- Kondensator gespeicherte elektrische Ladung und Energie:

1. Elektrische Ladungsmenge Q:

Das USB- Messgerät zeigt nach Ende der Aufladung die vom Kondensator aufgenommene elektrische Ladungsmenge Q in der Maßeinheit mAh an.

Gemessener Wert Q:.....mAh

Ein Akku in einem Smartphone hat eine gespeicherte Ladung von ca. 4000 mAh. Vergleiche mit der gespeicherten Ladung des Superkondensators und gib einen Faktor an!

Die Grundmaßeinheit für die Ladung Q ist in der Physik As (Amperesekunde) = C (Coulomb)

Rechne den Messwert in As um: **U =As**

2. Die gespeicherte elektrische Energie:

Für die gespeicherte elektrische Energie in einem Kondensator gilt:

$W = \frac{1}{2} CU^2$ in J (Joule)

(C ist die Kapazität des Kondensators, hier sind 2 Kondensatoren 8F in Reihe geschaltet, U ist die volle Aufladespannung)

Berechne die gespeicherte elektrische Energie: $W = \dots\dots\dots J$

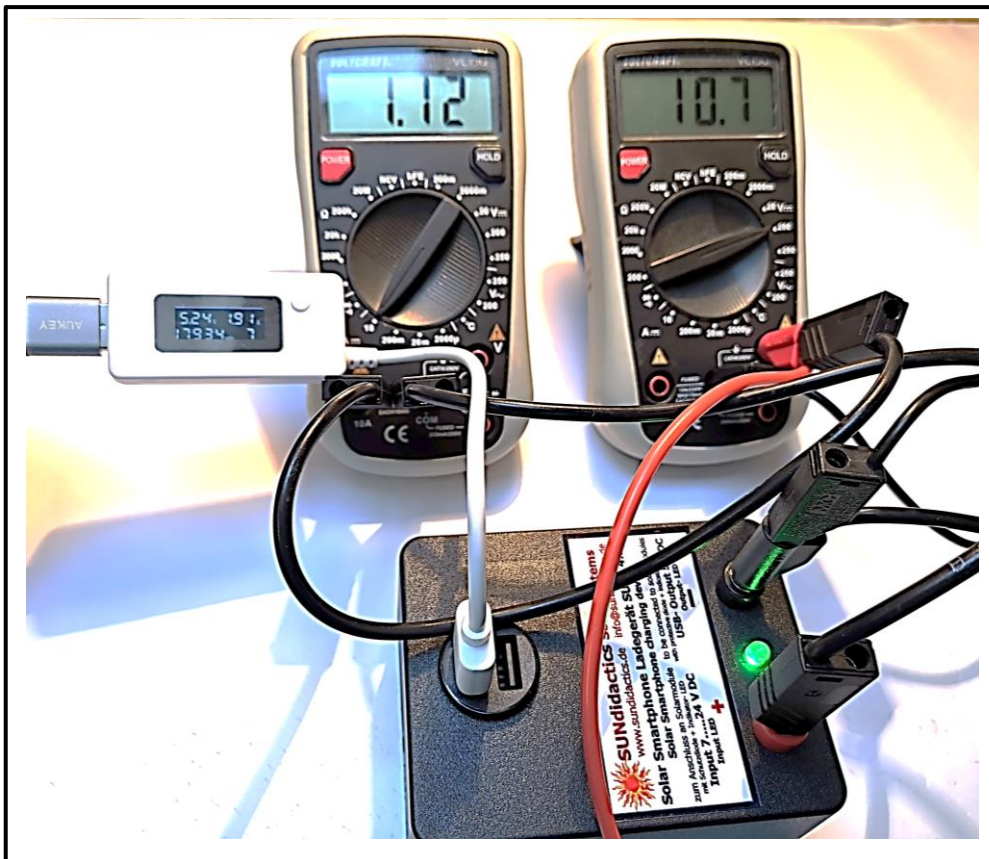


Wirkungsgrad- Experimente mit dem DC- DC- Wandler SUSE 4.17

Der DC- DC- Wandler SUSE 4.17 dient zur Umwandlung höherer Solarmodul- Spannungen 7...24 V DC auf 5V DC an USB- Ausgang zum Laden von Smartphones, Tablets, Powerbank- Akkus oder zum Betrieb von 5 V- USB- Geräten, wie z.B. Solarfahrzeug SF6USB, Solarleuchte, Solarmotor SUSE 4.16USB.

Die eingebauten elektronischen DC- DC- Wandler haben einen hohen Wirkungsgrad > 80%, sie mindern am Output die Spannung auf 5V DC, verstärken aber gleichzeitig die Stromstärke.

Mit den nachfolgenden Experimenten können wir diese Eigenschaften am Beispiel einer Smartphone- Ladung bestimmen, das nachfolgende Foto 1 zeigt den Versuchsaufbau:



Unten sieht man den DC- DC- Wandler SUSE 4.17, auf der rechten Seite die Input Buchsen mit den Kabeln vom Solarmodul SUSE 4.52, auf der linken Seite den USB- Output mit dem weißen USB- Kabel zum USB- Messgerät.

Die beiden Multimeter oben zeigen links die Input- Stromstärke in A (1,12A) und rechts die Input- Spannung in V (10,7V).

Das USB- Messgerät zeigt oben links die Output- Spannung (5,24V), rechts die Output- Stromstärke (1,91A). Links am USB- Messgerät erkennt man den Ladestecker zum Smartphone.

Die untere Zahl im USB- Messgerät zeigt die seit Versuchsbeginn geflossene Ladungsmenge in mAh.

Bei einer Smartphone- Aufladung mit USB ist die Spannung von 5 V systembedingt vorgegeben, die Stromstärke selbst wird vom Smartphone bestimmt, jedes Smartphone/Tablet/Powerbank hat eine eingebaute Ladeelektronik, die die Stromstärke regelt und bei Bedarf abschaltet.

Mit den Messdaten können wir den Wirkungsgrad bestimmen, wir berechnen zuerst die Inputleistung P_{in} und die Output- Leistung P_{out} . Bei der Input- Stromstärke ziehen wir 10 mA ab, die für die grüne LED benötigt werden und nicht in den DC- DC- Wandler fließen:

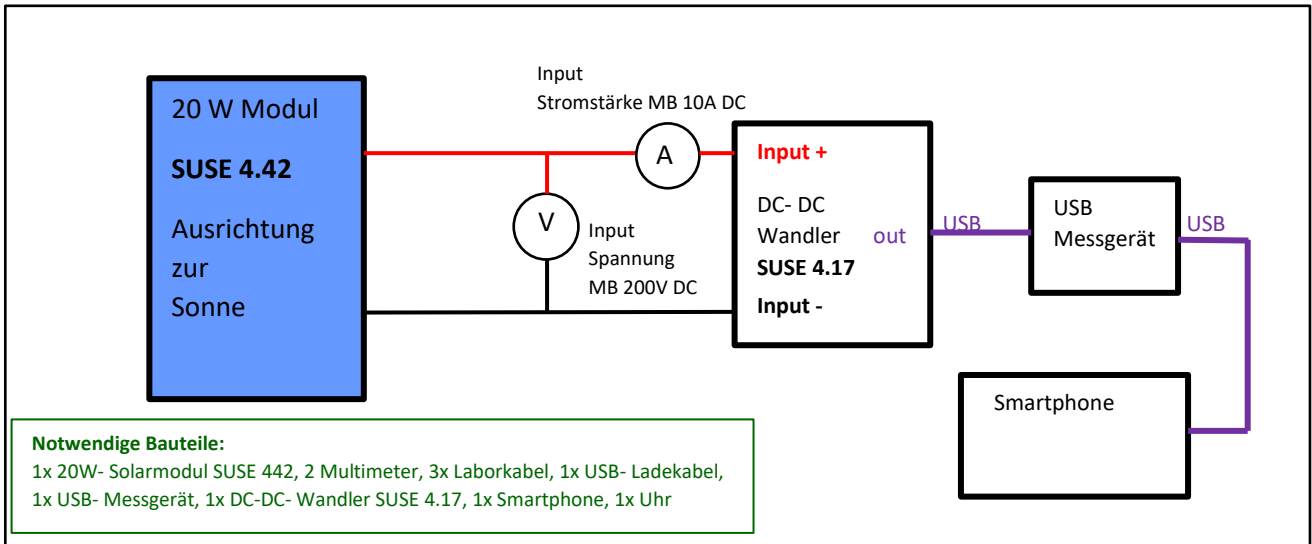
$$P_{in} = 10,7 \text{ V} * 1,11 \text{ A} = \mathbf{11,877 \text{ W}}$$

$$P_{out} = 5,24 \text{ V} * 1,91 \text{ A} = \mathbf{10,008 \text{ W}}$$

$$P_{out} \quad 10,008 \text{ W}$$

$$\text{Wirkungsgrad } \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} * 100 \text{ (in \%), mit den Werten der Messung: } \frac{10,008 \text{ W}}{11,877 \text{ W}} = \mathbf{84,26 \%}$$

Experimentaufbau: Bauen Sie folgende elektrische Schaltung auf:



Richten Sie das Solarmodul zur Sonne aus. Mit Einstecken des USB- Steckers in die Ladebuchse des Smartphones beginnt die Ladung. Die Stromstärke wird vom Smartphone bestimmt, sie ist zu Beginn hoch und wird allmählich geringer oder pulst. Lies zu 3 Lade- Zeitpunkten bei verschiedenen Input- Stromstärken die Werte ab, berechne jeweils P und trage sie in die Tabelle ein. Die Outputwerte können am USB- Messgerät abgelesen werden.

| Lade-Zeitpunkte | Input-Spannung U_{in} in V | Input-Stromstärke I_{in} in A | Input-Leistung P_{in} in W | Output Spannung P_{out} in V | Output-Stromstärke I_{out} in A | Output-Leistung P_{out} in W | Geflossene Ladungsmenge Q in mAh |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 1 3 Min. nach Start | | | | | | | |
| 2 6 Min. nach Start | | | | | | | |
| 3 9 Min. nach Start | | | | | | | |

Berechne für die 3 Lade- Zeitpunkte den Wirkungsgrad hier:

| | |
|--------------|--------------------|
| Zeitpunkt 1: | Wirkungsgrad 1 in% |
| Zeitpunkt 2: | Wirkungsgrad 2 in% |
| Zeitpunkt 3: | Wirkungsgrad 3 in% |

Beobachtungen, Bemerkungen, Ideen:



Experimentelle Lernstation mit 4 Experimenten

Smartphone laden mit Solarmodul 30W



Die Experimentiergeräte: Solarmodul 30 W + Box mit Experimentiergeräten für 4 Experimente

1. 1 Solarmodul 30W 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 30W- Solarmodul im Freien ohne Messungen** Seiten 1+2
- Experiment 2: Smartphone laden mit 30W- Solarmodul im Freien mit Messungen** Seiten 3+4
- Experiment 3: Smartphone laden mit 30W- 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 30W- Solarmodul im Freien mit Messungen zur Solarstrahlung, Solarzelle, Solarmodul** Seiten 8-10

Experiment 1: Smartphone laden mit 30W- Solarmodul im Freien ohne Messungen

1

Notwendige Experimentiergeräte:

1x Solarmodul 30W, 1x DC-DC-Wandler SUSE 4.17U, 3x Ladekabel, 1 Smartphone, 1 Stift

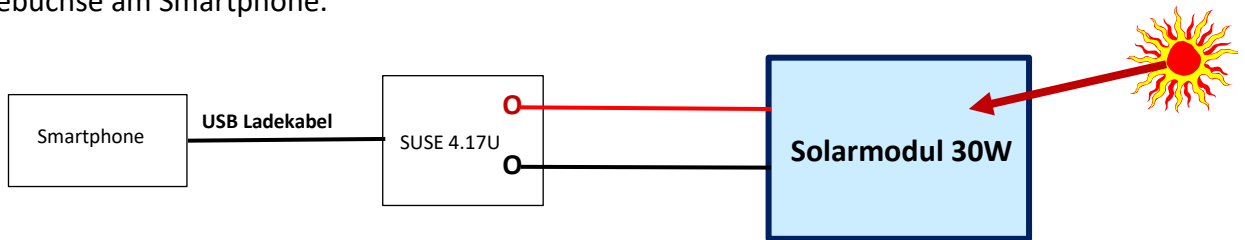
Name:Klasse:.....Schule:.....Datum:.....

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 30W- 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 30W bei einer Bestrahlungsstärke des Sonnenlichts von 1000W/m² 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 30W 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 30W 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 30W



Die Experimentiergeräte: Solarmodul 30 W + Box mit Experimentiergeräten für 4 Experimente

- 1 Solarmodul 30W 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:

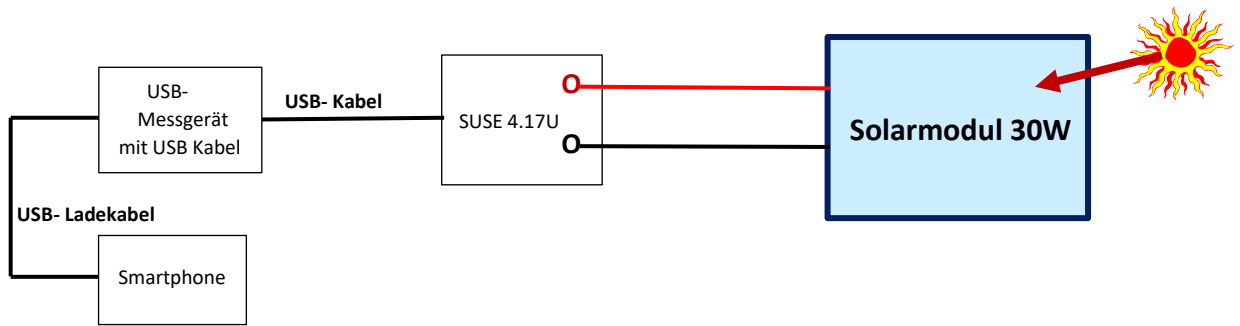
- Experiment 1: Smartphone laden mit 30W- Solarmodul im Freien ohne Messungen** Seiten 1+2
- Experiment 2: Smartphone laden mit 30W- Solarmodul im Freien mit Messungen** Seiten 3+4
- Experiment 3: Smartphone laden mit 30W- Solarmodul im Freien mit Messungen zum Wirkungsgrad des Moduls, des DC-DC- Wandlers und zur Qualität der Solarzellen im Solarmodul** Seiten 5-7
- Experiment 4: Smartphone laden mit 30W- Solarmodul im Freien mit Messungen zur Solarstrahlung, Solarzelle, Solarmodul** Seiten 8-10

Experiment 2: Smartphone laden mit 30W- Solarmodul im Freien mit Messungen

- 2** **Notwendige Experimentiergeräte:**
1x Solarmodul 30W, 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 30W 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 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 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 \longrightarrow 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 30W



Die Experimentiergeräte: Solarmodul 30 W + Box mit Experimentiergeräten für 4 Experimente

- 1 Solarmodul 30W 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 30W- Solarmodul im Freien ohne Messungen Seiten 1+2
- Experiment 2: Smartphone laden mit 30W- Solarmodul im Freien mit Messungen Seiten 3+4
- Experiment 3: Smartphone laden mit 30W- 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 30W- Solarmodul im Freien mit Messungen zur Solarstrahlung, Solarzelle, Solarmodul Seiten 8-10

Experiment 3: Smartphone laden mit 30W- Solarmodul im Freien mit Messungen/Berechnungen zum Wirkungsgrad des Solarmoduls und des DC-DC- Wandlers

- 3** Notwendige Experimentiergeräte:
1x Solarmodul 30W, 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/m²**, 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 cm^2 .

Länge einer Solarzelle:cm

Breite einer Solarzelle:cm

aus dem Produkt beider Werte bestimmen wir die **Fläche A_1 der Solarzelle** cm^2 , multiplizieren

wir diese Fläche mit 36, haben wir die **Gesamtfläche A_2 aller Solarzellen:**..... 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 $P_E = 30\text{W}$!

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 W/m^2 an. **Wir berechnen nun, wieviel Stromstärke 1 cm^2 dieser Solarzelle liefert.**

Fläche A_1 der Solarzelle aus Aufgabe 2:..... cm^2

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

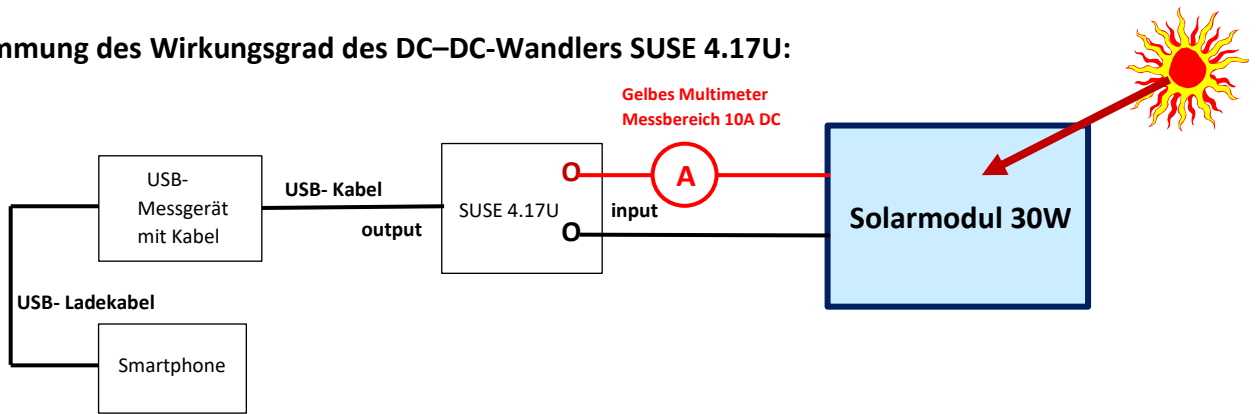
Wenn Du nun die Stromstärke in mA durch die Fläche teilst, bekommst Du die Stromstärke, die 1 cm^2 der Solarzelle generiert, sie heißt Stromdichte j in mA/cm^2 , bestimme diesen Wert und trage ihn hier ein:

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 Wirkungsgrad 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.

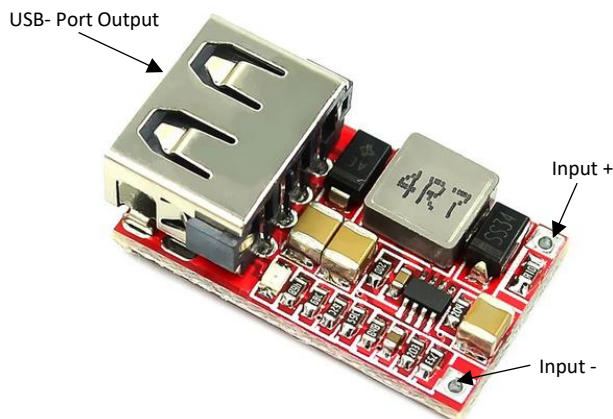
Zu einem Zeitpunkt lesen wir alle 4 Messwerte gleichzeitig ab:

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

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

Der Wirkungsgrad η 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 30W



Die Experimentiergeräte: Solarmodul 30 W + Box mit Experimentiergeräten für 4 Experimente

- 1 Solarmodul 30W 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 30W- Solarmodul im Freien ohne Messungen Seiten 1+2
- Experiment 2: Smartphone laden mit 30W- Solarmodul im Freien mit Messungen Seiten 3+4
- Experiment 3: Smartphone laden mit 30W- 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 30W- Solarmodul im Freien mit Messungen zur Solarstrahlung, Solarzelle, Solarmodul Seiten 8-10

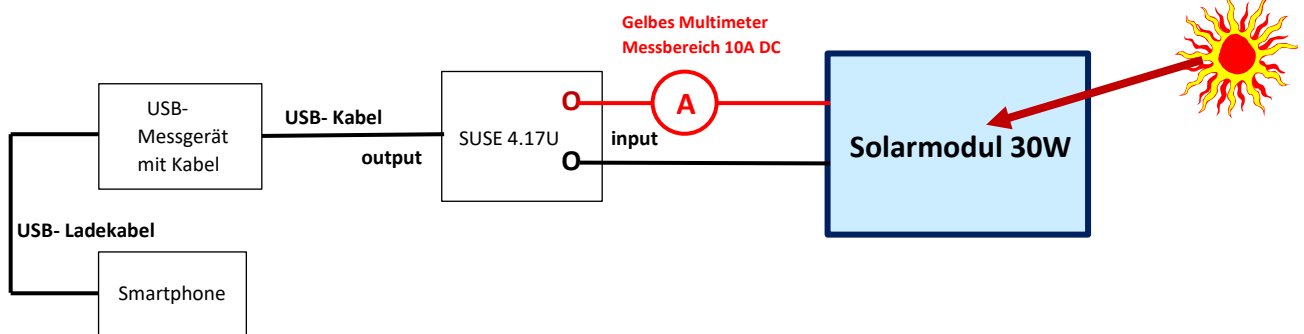
Experiment 4: Smartphone laden mit 30W- Solarmodul im Freien mit Messungen zur Solarstrahlung, Solarzelle, Solarmodul

Notwendige Experimentiergeräte:

4

1x Solarmodul 30W, 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 W/m^2 , der sonnige, wolkenlose Sommertag mittags mit 25°C kommt nicht oft vor! Bei Bewölkung oder bei tieferstehender Sonne ist die Solarstrahlung schwächer, bei schwacher Bewölkung nur noch ca. 600 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 W/m^2 nur noch 18W , bei 100 W/m^2 nur noch 3W . **Die aktuelle Leistung des Solarmoduls messen wir in diesem Experiment! Wir messen ebenfalls die aktuelle Stärke der Solarstrahlung (Bestrahlungsstärke) in 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/m² auf dem Typschild vermerkt (Short Circuit Current), trage den Wert hier ein:

Kurzschlussstromstärke I_{sc} für S = 1000 W/m²:A

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

Kurzschlussstrom I_{sc} aktuell:.....A

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

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

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/m², 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_{sc}A und ziehen den roten Stecker aus dem schwarzen Stecker, lassen den roten Stecker frei, nun lesen wir die Leerlaufspannung U_{oc} am Display zwischen den USB- ports ab, U_{oc}.....V.

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

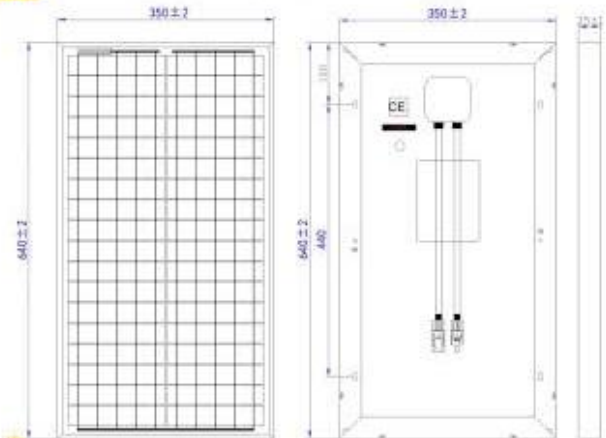
Beurteile Deine Ergebnisse hier, welches Problem der Stromversorgung durch Solarmodule zeigt sich hier?

Die technischen Daten des 30W- Solarmoduls poly

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 156.75x30 |
| Number of cells | 36pcs(2x18) |
| Module Dimensions | 640x350x35 mm |
| Module weight | 2.6 kg |
| Front Glass | 3.2mm Low iron tempered glass |
| Frame | Anodized aluminum alloy |
| Connector | 2x banana plug 4mm red/black |
| Output Cables | 1,5 m with 4mm plugs red/black |
| Junction box | IP67 with bypass-diode |
| Fire Safety Class | Class C (IEC61730) |

Electrical Performance

| Module Type | MSPC30AS-18 | |
|-------------------------|-------------|-----------|
| Power output | 30W | |
| Power output tolerances | % | 0~+3 |
| Module efficiency | % | 13.4 |
| Voltage at Pmax | V | 18.28 |
| Current at Pmax | A | 1.64 |
| Open circuit voltage | V | 22.37 |
| Short circuit current | A | 1.71 |
| Cells efficiency | % | 17.6 |
| 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

