

Handbuch zur Sonnenfängerbox SEKI Station 3

Das Gerätesystem der Lernstation 3

Alle Geräte 2-fach in der Sonnenfängerbox

Lernstation Thema	Experimentiergeräte für 1 Lernstation	Messtechnik und Zubehör	Themenschwerpunkte der Experimente
Lernstation 3 Solarzelle III Solarmodul I	1 Solarmodul SUSE 4.3RB 1 Solarmodul SUSE CM400B mit LED grün 5 LED- Module SUSE 4.15 rot, grün, blau, IR, rainbow 1 Speichermodul SUSE 4.12 1 Solarmotor SUSE 4.16 1 Solar- Radio SUSE 4.36 von Schule: 1 Overheadprojektor zum Experimentieren auf der Glasplatte oder/und Halogenstrahler 120 W oder Rotlichtlampe	1 Dig. Multimeter 6 Laborkabel je 50 cm 4mm Stecker 3x schwarz + 3x rot 1 Zollstock 1 Handbuch in pdf	U,I,P von Solarzellen bei verschiedener Einstrahlung, Stromdichte j, Reihenschaltungen, Experimente mit unterschiedlichen LEDs, Solarspeicher, Solarmotoren, Solarradio

Gliederung Handbuch Station 3:

Nr.	Inhalt	Rote Seitenzahlen
3-1	Basisinfo mit didaktischen und methodischen Hinweisen	1-2
3-2	Gerätedateien mit technischen Daten und Sicherheitshinweisen	3-17
3-3	Solardidaktische Grundlagen zu Solarstrahlung, Solarzelle, Solarmodul Infodateien und Arbeitsblätter	18-31
3-4	Experimente mit SUSE 4.3RB, 4.12, 4.15, 4.16, 4.36, SUSE CM400B und Zusatzgeräten	32-63

1-1 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.

Mit den Experimenten der Station 3 wollen wir grundlegende Eigenschaften von Solarzellen, ihre Verschaltung in Reihenschaltung und Anschluss von Experimentiergeräten (Solarmotor, 5 unterschiedliche LEDs, Solarspeicher, Solarradio) in eigenen Experimenten entdecken und anwenden, entweder Outdoor im natürlichen Tageslicht oder Indoor mit dem Licht des Overheadprojektors oder des Halogenstrahlers bzw. Rotlichtlampe.

Wir verwenden hier das **Solarmodul SUSE 4.3RB** mit 6 hochwertigen Solarzellen und Indikator- LED in interner Reihenschaltung und Messbuchsen für jede einzelne Solarzelle. In der Reihenschaltung liefert das Solarmodul ca. 3,6 - 3,9 V, Spannung, man kann direkt das Radio anschließen. Weiterhin gehören ein Energiespeicher mit 2 Superkondensatoren SUSE 4.12, ein Solarmotor mit Propeller SUSE 4.16 und ein Solar- Radio SUSE 4.36 zu den Experimentiermodulen.

Die Experimente bieten Einsteigerversuche oder auch umfangreiche, qualifizierte Experimente zu den technischen und physikalischen Eigenschaften einer Solarzelle und ihrer Verschaltung in einer Reihenschaltung.

Interessant sind die Experimente mit den 5 LEDs, besonders mit der IR- LED (Das Infrarot- Licht 950 nm ist nicht mit bloßem Auge sichtbar, aber mit der Smartphone-Kamera!). Auch Experimente mit der rainbow-LED mit einem optisch schönen Farbwechsel sind interessant!

Das Solarmodul **SUSE CM400B** ist ein kleines Dünnschicht- Solarmodul mit 4 intern in Reihe geschalteten Solarzellen, welches sehr empfindlich ist, die LED leuchtet bereits im hellen Innenraum.

Die Station 3 ist 2-fach vorhanden, die SchülerInnen arbeiten in 3er Gruppen an dieser Lernstation, 2 3er Gruppen arbeiten an den beiden Stationen 3. Die betreuende Lehrkraft wählt aus dem Kapitel „Experimente“ die für das Zeitbudget und die Leistungstärke der Gruppe passenden Versuche aus. Sinnvoll sind Experimente im Freien, im natürlichen Sonnen- bzw. Tageslicht. Die Solarzellen sind von hoher Qualität, sie funktionieren auf problemlos bei bedecktem Himmel.

Im Innenraum kann ein Halogenstrahler, eine Rotlichtlampe oder die Platte eines Overheadprojektors als Lichtquelle verwendet werden.

Handbuch zur Sonnenfängerbox SEKI Station 3

3-2 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 3 Alle Geräte 2-fach in der Sonnenfängerbox

Lernstation Thema	Experimentiergeräte für 1 Lernstation	Messtechnik und Zubehör	Themenschwerpunkte der Experimente
Lernstation <div style="font-size: 48px; text-align: center; margin: 20px 0;">3</div> Solarzelle III Solarmodul I	1 Solarmodul SUSE 4.3RB 1 Solarmodul SUSE CM400B <small>mit LED grün</small> 5 LED- Module SUSE 4.15 <small>rot, grün, blau, IR, rainbow</small> 1 Speichermodul SUSE 4.12 1 Solarmotor SUSE 4.16 1 Solar- Radio SUSE 4.36 von Schule: 1 Overheadprojektor zum Experimentieren auf der Glasplatte oder/und Halogenstrahler 120 W	1 Dig. Multimeter 6 Laborkabel je 50 cm 4mm Stecker 3x schwarz + 3x rot 1 Zollstock 1 Handbuch in pdf	U,I,P von Solarzellen bei verschiedener Einstrahlung, Stromdichte j, Reihenschaltungen, Experimente mit unterschiedlichen LEDs, Solarspeicher, Solarmotoren, Solarradio

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 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, sollten sie vor den Experimenten eingewiesen werden.
- Der Zollstock dient zum Messen des Abstands zwischen Lichtquelle und Solarzelle, bitte 40cm Abstand nicht unterschreiten!
- Mit dem Solarmodul SUSE 4.3RB lassen sich umfangreiche Experimente zu Solarzellen, zur Reihenschaltung und zum Anschluss von Zusatzgeräten (Radio, Solarspeicher, Solarmotor, LED- Module) durchführen.
- Alternativ zu den kristallinen Solarzellen bei SUSE 4.3RB hat das kleine Solarmodul SUSE CM400B 4 Dünnschicht- Solarzellen in Reihenschaltung mit LED und über 3V Spannung, aber nur geringer Stromstärke.



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

NILS ISFH

Kooperationspartner
 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 – Solarthermie -Experimentieranleitungen
 Solarspielzeug – didaktische Konzepte – Solarberatung – Fortbildung – solare Aus- und Weiterbildung
 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

Das Solarmodul SUSE 4.3RB/4.3RB33

Solarmodul mit 6 Solarzellen in Reihenschaltung mit 2 Messbuchsen an jeder Zelle
3,9 V/1025 mA/3,0 W bei S = 1000 W/m² Funktionsanzeige durch Indikator- LED

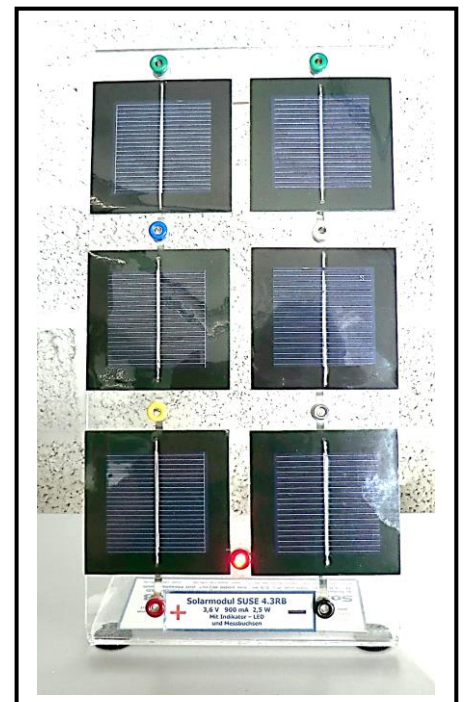


Das Solarmodul **SUSE 4.3RB** ist ein hochwertiges **3,9 V – 1,025 A – 3,2 W** - Solarmodul auf einem stabilen Plexiglasträger (480x160x6 mm) mit 6 Solarzellen **SUSEmod218** in interner Reihenschaltung mit 8 Mess-/Anschlussbuchsen (+ Verbindungsstecker mit Buchse bei 4.3RB33)

In der Reihenschaltung liefert das Modul (bei 1000 W/m²) eine Spannung von **3,9 V**, eine Stromstärke von **1,025 A** und eine Leistung von **3,2 W**. Jede Solarzelle hat ein eigenes Buchsenpaar für elektrische Messungen, am rot-schwarzen Buchsenpaar steht die Gesamtspannung zur Verfügung. Zur weiteren Erhöhung der Spannung lassen sich auch mehrere Module in Reihe schalten. **Das Modul besitzt eine Indikator- LED, welche die Betriebsbereitschaft anzeigt.** Die Indikator- LED leuchtet bereits im Innenraum hell auf und signalisiert so die Energiebereitschaft. Die 6 Buchsenpaare, 2 an jeder Solarzelle, sind farblich gekennzeichnet und bilden die elektrischen Anschlüsse für jede einzelne Solarzelle.

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

- Alle Experimente (ohne Solarmotor) des Moduls **SUSE 4.2** unter Verwendung **einer** Zelle des Moduls **SUSE 4.3RB**
- Umfangreiche Experimente zur Photovoltaik- Systemtechnik, d.h. Reihenschaltung von Solarzellen, Kennlinien, Wirkungsgradbestimmung mit der umfangreichen Experimentieranleitung zum Gerät **SUSE 4.3RB**
- Das Modul kann zum Solar-Betrieb von Geräten mit **3 - 4 V Betriebsspannung**, z.B. Radio SUSE 4.36, verwendet werden, ebenfalls lassen sich Akkus mit dem Modul aufladen. Werden mehrere Module **SUSE 4.3 RB** in Reihe geschaltet, erhöht sich die Spannung um jeweils 3,9 V, mit 3 Modulen in Reihenschaltung lässt sich der Handylader SUSE 4.17/4.17M/4.17U anschließen, um Smartphones oder Tablets zu laden.
- **Es werden spezielle Buchsen verwendet, um bei Experimenten die Laborkabel von der Rückseite zu stecken, um Abschattungen der Solarzellen durch Kabel auf der Vorderseite zu vermeiden.**
- 1 Solarmodul SUSE 4.3 RB dient auch als Solartankstelle für das Solarfahrzeug 1.2.

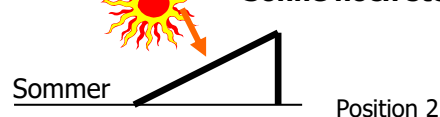


Durch den 75°-Winkel kann das Gerät im Winterhalbjahr und beim Betrieb mit Halogenlampen im Labor aufrecht gestellt werden (Position 1), im Sommerhalbjahr bei hoch stehender Sonne wird das Gerät im Freien zur Sonne ausgerichtet flach auf den Boden oder auf einen Tisch gelegt (Position 2). Eine integrierte rot leuchtende LED zeigt die Betriebsbereitschaft an, sie leuchtet bereits auch im Innenraum.

Sonne tief stehend



Sonne hoch stehend



Version SUSE 4.3RB33:

Bei der Version 4.3RB33 sind die beiden oberen grünen Buchsen auf 19mm Abstand zusammengeführt und mit einem Kurzschlussstecker mit Buchse verbunden.

Durch Abzug des Kurzschlusssteckers ergeben sich 2 strings mit jeweils 3 Solarzellen in Reihenschaltung, so dass auch Parallelschaltungen vorgenommen werden können. Es können 1+1 oder 2+2 oder 3+3 Solarzellen mit Laborkabelverbindungen auf der Geräterückseite parallel geschaltet werden.



Vorderansicht SUSE 4.3RB33

Deutlich erkennbar ist der 19mm-Kurzschlussstecker mit Buchse zwischen den beiden grünen Buchsen an der Oberseite. **Ist er gesteckt**, ergibt sich die normale Version von SUSE 4.3 RB mit 6 Solarzellen in interner Reihenschaltung mit Messbuchsen.

Wird er gezogen, ergeben sich 2 strings mit je 3 Solarzellen.

linker string: rote Buchse + unten – grün oben

rechter string: schwarze Buchse – unten, grüne Buchse + oben

Die rote Indikator LED leuchtet nur bei gestecktem Verbindungsstecker!

Parallelschaltung von 2x 3er strings:

Mit einem Laborkabel wird auf der Geräterückseite die rote Buchse links unten mit der grünen Buchse oben rechts verbunden, mit einem 2. Laborkabel die schwarze Buchse rechts unten mit der grünen Buchse links oben. Der gemeinsame Pluspol ist die rote Buchse, der gemeinsame Minuspol die schwarze Buchse.

$U_{oc} = 1,95 \text{ V}$, $I_{sc} = 2050 \text{ mA}$ bei $S = 1000 \text{ W/m}^2$, $T = 25^\circ\text{C}$, AM 1,5

Parallelschaltung von 2 einzelnen Solarzellen:

Wir schalten die oberen beiden Solarzellen parallel:

Mit einem Laborkabel wird auf der Geräterückseite die blaue Buchse links mit der grünen Buchse oben rechts verbunden, mit einem 2. Laborkabel die grüne Buchse links oben mit der weißen Buchse rechts. Der gemeinsame Pluspol ist die blaue Buchse, der gemeinsame Minuspol die weiße Buchse.

$U_{oc} = 0,65 \text{ V}$, $I_{sc} = 2050 \text{ mA}$ bei $S = 1000 \text{ W/m}^2$, $T = 25^\circ\text{C}$, AM 1,5

Parallelschaltung von 2x 2 Solarzellen:

Wir schalten die oberen beiden Solarzellen links und oberen beiden Solarzellen rechts parallel:

Mit einem Laborkabel wird auf der Geräterückseite die gelbe Buchse links mit der grünen Buchse oben rechts verbunden, mit einem 2. Laborkabel die grüne Buchse oben links mit der silbernen Buchse rechts. Der gemeinsame Pluspol ist die gelbe Buchse, der gemeinsame Minuspol die silberne Buchse.

$U_{oc} = 1,30 \text{ V}$, $I_{sc} = 2050 \text{ mA}$ bei $S = 1000 \text{ W/m}^2$, $T = 25^\circ\text{C}$, AM 1,5



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: wolfsch

Das Solarmodul SUSE CM400/CM400B

**Preiswertes, robustes Mini- Einsteiger- Solarmodul
 mit Dünnschicht- Solarmodul und LED**

wahlweise in den Farben rot, blau, grün, gelb, orange, pink

**sehr gut geeignet für den Sachkundeunterricht der Grundschule
 und den naturwissenschaftlichen Unterricht in der Sekundarstufe I**

susecm400/400B



Die Gerätebeschreibung

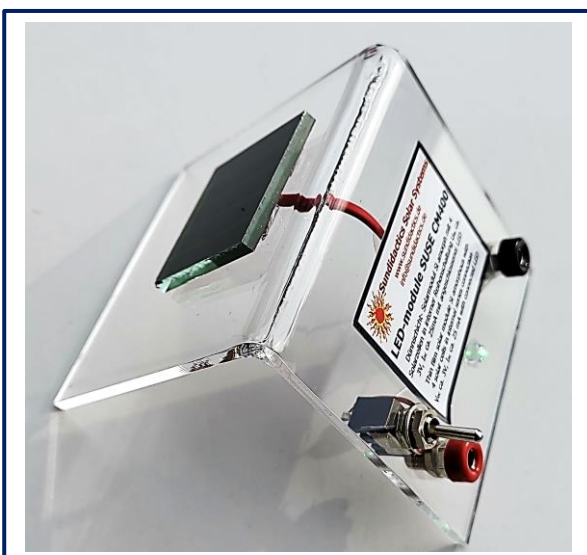
Das Solarmodul SUSE CM400 ist ein preiswertes robustes Solarmodul für Basisexperimente zur Photovoltaik für den Sachkundeunterricht in der Grundschule und für den naturwissenschaftlichen Unterricht in den Klassenstufen 5-7.

Das Gerät besteht aus einem Plexiglaswinkel im Maß 160mm x 80mm, mittig abgeknickt um 75°. Auf der Vorderseite befindet sich das Dünnschicht- Solarmodul (Glasplatte 37mm x 37mm) mit 4 integrierten Solarzellen in interner Reihenschaltung. Die 4 Solarzellen sind auf dem Foto als vertikale Streifen zu erkennen. Die Spannung beträgt bei strahlendem Sonnenschein ca. 3V, der Kurzschlussstrom ca. 25 mA.

Die im Solarmodul erzeugte elektrische Energie wird direkt einer LED zugeführt, die sich auf der Rückseite befindet, wahlweise in den Farben **rot, blau, grün, gelb, orange, pink**.



Das Solarmodul SUSE CM400



Das Solarmodul SUSE CM400B

Bei der Variante CM400B sind noch zusätzlich ein Messbuchsenpaar (rot-schwarz) und ein Schalter zum Ein- oder Ausschalten der LED eingebaut.

Hier können Messungen zur Modulspannung mit oder ohne LED und zum Kurzschlussstrom durchgeführt werden.

SUSE CM400 Vorderseite mit LED



Das Gerät ist sehr empfindlich, bereits im beleuchteten Innenraum leuchtet die LED, sie wird immer heller, je mehr man sich dem Fenster nähert und dann ins Freie geht. Auch vor Halogen- oder Glühlampen funktioniert das Modul sehr gut, LED- Lampen sind wegen ihres anderen Lichtspektrums nur wenig geeignet.

Im Freien leuchtet die LED auch bei sehr trübem Wetter deutlich, bei Sonnenschein sehr hell.

Das Gerät zeigt das **Phänomen der Photovoltaik, die direkte Umwandlung von Strahlungsenergie des Lichts in elektrische Energie**, die die LED zum Leuchten bringt.

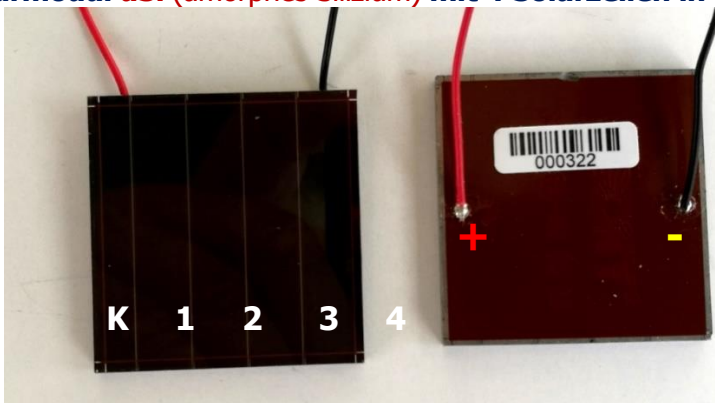
Kinder im Alter von ca. 9...12 Jahren können das Gerät aus einem Bausatz selbst herstellen und Experimente durchführen sowie weitere, eigene Experimente entwickeln.

Das Gerät ist bei www.sundidactics.de als **Fertiggerät oder als Bausatz** erhältlich. Der Bausatz enthält den gebohrten und gebogenen Plexiglasträger, das Solarmodul mit Anschlussdrähten rot/schwarz und 2 Streifen doppelseitiges Industrieklebeband, ein Aufkleber- Typschild sowie die LED in der gewünschten Farbe.

Zum Selbstbau ist eine Spitzzange und optional eine Lötstation notwendig, aber auch ohne Löten lässt sich das Gerät herstellen, auf Wunsch wird bei SUNdidactics die LED bereits an die Drähte des Solarmoduls gelötet. In der Experimentieranleitung finden sich Experimente zu den Modulen.

Technische Informationen:

Solarmodul aSi (amorphes Silizium) mit 4 Solarzellen in interner Reihenschaltung



Vorderseite

Rückseite mit + und - Kabel

K = Kontaktierungszone 1....4 = Solarzellen 1-4 in interner Reihenschaltung

Elektrische Spannung der 4 Solarzellen in Reihenschaltung **ca. 3V DC**

Maximale Stromstärke = Kurzschlussstrom **ca. 25 mA**

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

Amorphe Silizium-Dünnschichttechnologie

Amorphes Silizium (a-Si) ist die nicht-kristalline Form des Siliziums. Das Material kann mit Wasserstoff legiert werden, um hydrogenisiertes amorphes Silizium (a-Si:H) zu bilden, was in einer signifikant niedrigeren Anzahl von Defekten und daher einem zweckmäßigen Material für Halbleiteranwendungen, inklusive Photovoltaik, resultiert.

Amorphe Silizium-Photovoltaikmodule werden aus dünnen Schichten von a-Si:H auf einem leitenden Träger gefertigt. Amorphe Silizium-basierte Dünnschicht-Photovoltaikmodule wurden in 1976 erfunden und werden seit Jahrzehnten in einer weiten Bandbreite von solaren Batterieanwendungen genutzt. Hier sieht man eine typische Modulstruktur:

a-Si:H-Dünnschicht-PV-Module besitzen diverse Schlüsselvorteile. Erstens kann eine a-Si-Dünnschicht bei relativ niedrigen Temperaturen auf eine Vielzahl von Substraten aufgebracht werden, was viele interessante Anwendungsmöglichkeiten eröffnet. Zweitens kann eine a-Si-Dünnschicht mithilfe von PECVD-Technologie (**p**lasma **e**nhanced **c**hemical **v**apor **d**eposition – plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung) auf große Flächen aufgebracht werden. Drittens nutzen a-Si-Dünnschichtmodule Silizium, das reichlich vorhanden und umweltfreundlich ist, verglichen mit den Materialien, die für andere Dünnschichttechnologien benötigt werden.

Dünnschicht-basierte PV-Module bieten eine gute Möglichkeit, um die Herstellungskosten zu senken.

Ein Grund ist, dass sehr wenig Material pro Modul gebraucht wird. Die Energie, die für den Herstellungsprozess von Dünnschicht-PV-Modulen benötigt wird, ist signifikant geringer als jene, die im Herstellungsprozess von kristallinen Silizium-PV-Modulen benötigt wird. Zusätzlich sind Dünnschicht-PV-Module signifikant dünner als konventionelle kristalline solare PV-Module. Daraus resultierend beträgt die Menge an Siliziummaterialien, die in der Dünnschicht-PV-Modulherstellung gebraucht werden, nur annähernd 1% bis 2% derer in der Herstellung kristalliner PV-Module.



**Photovoltaik-
System
SUSE**

**Solarthermiesystem
Wärme von der Sonne**



innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung

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 (12 V – Version)
 mit Buchsen zum Anschluss von Laborkabeln mit 4 mm- Steckern**



Frontseite



Gesamtansicht

**LED IR, rot, grün, blau, weiß,
oder rainbow**

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

**Polung beachten!
Falsch gepolt leuchtet die LED
nicht!**

SUSE 4.15 Gerätebeschreibung, technische Daten und Experimente

Das **LED- Modul SUSE 4.15** besteht wahlweise aus einer roten, grünen, blauen, weißen oder rainbow- LED mit einem 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. Durch die winzige Fläche des Halbleiters in der LED liefert diese LED- Solarzelle jedoch nur eine kleine Stromstärke im Bereich von unter 100 µA, diese kann mit einem Multimeter gemessen werden.

Das **LED- Modul SUSE 4.15** kann auch an Batterien von 3 V...4,5 V polrichtig angeschlossen werden.



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 Solar- Speicher- Modul SUSE 4.12/4.12USB

SUSE 4.12/4.12USB



Speichermodule mit 2 Superkondensatoren 5F in Reihenschaltung
zum Speichern von elektrischer Energie aus Solarzellen oder Solarmodulen.
Maximale Spannung U = 5,4 V DC Maximale Speicherenergie 36,45 J bei 2x 5F
Maximale Speicherkapazität 13,5 As = 3,75 mAh

Das **Solar- Speicher- Modul SUSE 4.12** dient zum **direkten Speichern von elektrischer Energie**, die in Solarzellen oder Solarmodulen aus Sonnenlicht gewonnen wird.

Das Speichermodule **SUSE 4.12** kann an 1- 8 Solarzellen (in Reihenschaltung) angeschlossen werden und daran aufgeladen werden. Zwei **Superkondensatoren 5F** in Reihenschaltung speichern die elektrische Energie. Das Modul kann auch von Batterien oder Netzgeräten aufgeladen werden. Die **maximale Ladespannung ist 5,4 V**, die dabei **maximal gespeicherte Energie beträgt bei 5 F 36,45 J** (nach der Gleichung für die in einem Kondensator gespeicherte Energie $W = \frac{1}{2} CU^2$)

Es darf keine höhere Spannung als 5,4 V angelegt werden, sonst werden die Superkondensatoren zerstört.

Für einen Betrieb bei höheren Spannungen können aber mehrere Speichermodule in Reihe geschaltet werden, 2 Module = 10,8 V max., 3 Module = 16,2 V max., usw.

Wird das aufgeladene Speicher- Modul **SUSE 4.12** an einen Solarmotor mit Propeller (z.B. SUSE 4.16) angeschlossen, so **dreht sich der Motor mehrere Minuten** mit der gespeicherten elektrischen Energie weiter, auch LED- Module (z.B. SUSE 4.15) können an das geladene Speichermodule SUSE 4.12 angeschlossen werden und leuchten mehrere Minuten.

Der Aufladevorgang an Solarzellen kann je nach Intensität der Sonnenstrahlung mehrere Minuten betragen, er kann mit einem Amperemeter im Ladestromkreis oder mit einem Voltmeter an den Buchsen kontrolliert werden. Bei strahlendem Sonnenschein dauert die Aufladung ca. 1 Minute.

Zwischen den Buchsen befindet sich ein **roter Tastschalter**, wird dieser 3 Sekunden gedrückt, so entladen sich die Superkondensatoren vollständig, vor Auflade- Experimenten sollte das Modul immer entladen werden.

Wird ein Voltmeter beim Aufladevorgang (Messbereich 20 V DC) an die Polklemmen geschaltet, kann der Aufladevorgang beobachtet werden, die Spannung steigt langsam von 0 auf den Wert der Ladespannung.

So lässt sich (wie bei den Schildbürgern) im Freien elektrische Energie mit Solarzellen gewinnen, daran das Modul **SUSE 4.12** aufladen und diese Energie mit dem Modul in einen wenig beleuchteten Innenraum tragen und dort am Solarmotor oder am LED- Modul nutzen. Die Schüler lernen daran, dass sich elektrische Energie aus Solarzellen speichern und transportieren lässt.

Die Variante SUSE 4.12USB dient zum Einsatz im SUNdidactics USB-System, hier dient eine USB- Kupplung zum Anschluss an ein Solarmodul mit USB- Ausgang oder zum Anschluss an den DC-DC-Wandler SUSE 4.17. In der Version 4.12USB ist ein Schutzwiderstand integriert, der den Strom bei Aufladung am Laptop oder PC begrenzt.



Oben: Das Speichermodule SUSE 4.12

Links die **rote Buchse +**, rechts die schwarze Buchse – zum Anschluss an ein Solarmodul. Der Tastschalter T in der Mitte dient zum Entladen.

Unten: Das Speichermodule SUSE 4.12USB





SUN didactics
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

Der Solar- Elektromotor SUSE 4.16/4.16 USB

Solar- Elektromotor 0,2–5 V DC mit Propeller und Buchsen

oder USB- A- Kabel bei der Version SUSE 4.16 USB

SUSE 4.16



Das **Solar- Motor- Modul SUSE 4.16** besteht aus einem Solar- Motor mit einem Propeller auf einem Plexiglasträger für den Betrieb an Gleichspannung von ca. 0,2V – max. 5,0V zum Anschluss an Solarzellen oder Solarmodule. Geeignet für Solar- Experimente in der Grundschule und der Sekundarstufe.

An den beiden Buchsen an der Vorderseite können einzelne Solarzellen oder Reihenschaltungen von 1 bis zu 8 Solarzellen in Reihenschaltung angeschlossen werden, je höher die Solarzellenanzahl, desto schneller dreht sich der Motor. Auch an funktionsfähige Solarzellenbruchstücke kann der Motor angeschlossen werden, seine Drehung zeigt die Funktion!

Der Motor kann auch an Batterien bis max. 4,5 V (Flachbatterie) angeschlossen werden.

Solarmotor als Generator: Wird der Propeller durch „Pusten“ oder natürlichen Wind zum Drehen gebracht, erzeugt der Motor als Generator „Strom“, das Gerät ist eine Windkraftanlage, die erzeugte Spannung kann mit einem Multimeter am rot- schwarzen Buchsenpaar gemessen werden, je schneller die Drehzahl ist, desto höher ist die Generator- Spannung (U bis ca. 3 Volt DC!)

Der Solarmotor SUSE 4.16

Auf dem dachförmig gebogenen Plexiglasträger (160 x 80 x 3 mm) erkennt man oben den Solarmotor mit dem blauen Propeller, unten befinden sich die beiden Buchsen, an die man Laborkabel mit 4mm-Stecker einstecken kann. Das Gerät ist zum Anschluss an Solarzellen von 1 – 8 Solarzellen in Reihenschaltung geeignet. Wird der Propeller angepustet oder in den Wind gehalten, dient der Motor als Generator und erzeugt elektrische Energie! **Das Modul ist nun eine funktionsfähige Windkraftanlage!**

Verbindet man nun den Motor mit einem LED-Modul 4.15 mit roter LED, so leuchtet diese auf, wenn man durch kräftiges Pusten den Propeller in schnelle Drehungen bringt. Der rote Pol (+) des Motors muss mit dem schwarzen Pol(-) des LED- Moduls verbunden werden und der schwarze Motorpol (-) mit dem roten Pol (+) der LED! Die erzeugte Spannung kann mit dem Multimeter gemessen werden.

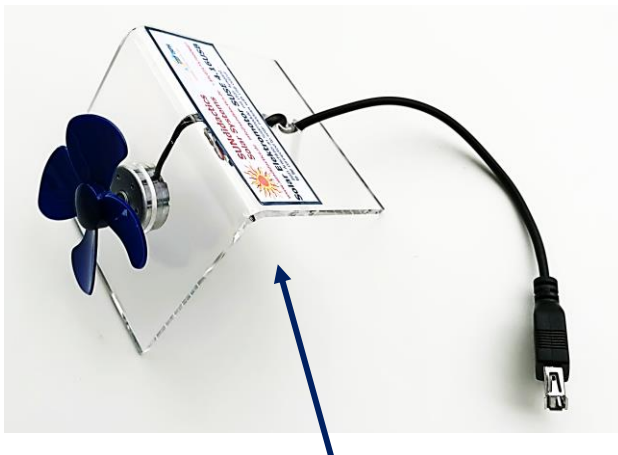
Schließt man 2 Motoren durch Laborkabelverbindung zusammen und pustet auf den Propellers des 1. Motors, dann dreht sich der 2. Motor durch die im 1. Motor als Generator erzeugte elektrische Energie, je heftiger man pustet, desto schneller dreht sich der 2. Motor.

Es darf keine höhere Spannung als 5,0 V angelegt werden, sonst wird der Motor zerstört!

Die technischen Daten des Solarmotors:

1. Anlaufspannung: ca. 0,2 V = 200 mV
2. Anlaufstrom: ca. 20 mA
3. Spannungsbereich: 0,25,0 V
4. Durchmesser Gehäuse: 24,2 mm
5. Durchmesser Achse: 2 mm
6. Achslänge: 10 mm
7. Anschlüsse: ca. 70 mm Kabel
+ rot
- schwarz

Maximale Spannung 5,0 V!



Bei der **Version SUSE 4.16USB** ist (über einen Vorwiderstand) statt der Buchsen ein USB- A-Kabel mit Stecker A eingebaut, so ist der Solarmotor an USB- Systemen zu verwenden, z.B. bei der USB-Mini- Inselanlage oder die der Sonnenfängerbox SEKI.



**Photovoltaik-
System
SUSE**

**Solarthermiesystem
Wärme von der Sonne**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung



SUSE- Solarradio SUSE 4.36

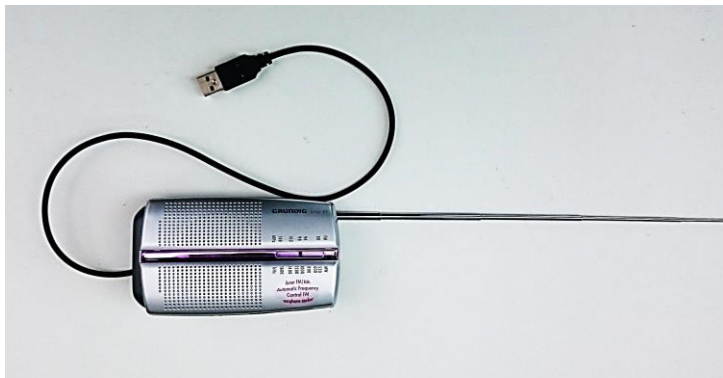
zum Anschluss an Solarmodule 3 - 5 V DC, passend für 5 - 8 Solarzellen in Reihenschaltung
Radio Grundig FM/AM (oder ähnlich) umgebaut für Solarbetrieb

SUSE- Solarradio SUSE 4.36-USB

zum Anschluss an das Lademodul SUSE 4.17 mit USB- Ausgang 5V DC



Solar- Radio SUSE 4.36



Solar- Radio SUSE 4.36-USB

Das Solarradio SUSE 4.36 (mit beigefügtem Ohrhörer) ist passend für SUSE- Solarmodule mit 6 - 8 Solarzellen in Reihenschaltung, z.B.:

- 3 Solarmodule SUSE 5.22 in Reihenschaltung
- 6 Solarmodule SUSE 4.2 oder SUSE CM4./CM6./CM315/ 5.1/5.2 in Reihenschaltung
- 2 Solarmodule SUSE CM7.. oder SUSE 4.33/ 5.33/ SUSEmod3 in Reihenschaltung
- 1 Solarmodul SUSE 4.3, SUSE 4.3RB, SUSE 4.49 oder SUSE 4.35

Das Gerät kann auch polrichtig an eine 3V- oder 4,5 V- Batterie angeschlossen werden.

Bitte die Polung beachten, Geräteschutz bei Falschpolung durch eine eingebaute Schutzdiode!

Roter Stecker + schwarzer Stecker -

SUSE 4.36-USB Das Radio ist mit einem Kabel mit USB- Stecker ausgestattet, passend zum Anschluss an das Solarmodul SUSE 4.50 oder an den USB- Ladeadapter SUSE 4.17/4.47 oder verwendbar an jeden beliebigen USB- Anschluss mit U = 5V DC am PC, tablet, netbook etc.

Sicherheitsvorschriften:

- **Das Radio ist nur zum Betrieb an Solarzellen/Solarmodulen bis max. 5V DC geeignet, höhere Spannungen zerstören das Gerät!**
- **Gerät niemals an die Steckdose anschließen, Lebensgefahr!!**



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 Bereichswchsel Kabel aus Buchsen entfernen, sonst könnten interne Sicherungen durchbrennen!!

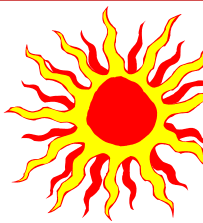


Nur für 10A DC Minus Plus-Input Spannung-Stromstärke Widerstand

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



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!!**

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

SUSEmod218- ein leistungsstarkes + hocheffizientes + robustes Solarmodul



Das Solarmodul SUSEmod218

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

Solarmodulmaße: 75 x 75 mm
 Solarzellenmaße: 52 x 52 mm

Das neu konzipierte **Sundidactics Solarmodul SUSEmod218** ist die Weiterentwicklung des bisher verwendeten Moduls SUSEmod215. Das Solarmodul **SUSEmod218** enthält eine monokristalline Hochleistungssolarzelle der Abmessungen 52mm x 52mm x 0,19mm. Die Solarzelle ist bruchsicher eingebettet in ein Kunststoffplättchen der Größe 75 x 75 mm. Die Oberseite über der Solarzelle ist hochtransparent und mit Kunststoff vergossen Material: Epoxid/Resin. Auf der Rückseite sind 2 Lötkontakte zum Anlöten der Plus- und Minusleiter (Schalt Draht). Das Solarmodul kann rückseitig mit doppelseitigem Klebeband oder mit Klebstoff auf glatte Oberflächen aufgeklebt werden.

Modul: Kunststoffträger quadratisch 75 x 75 x 2,6 mm mit hochtransparenter Oberfläche, sehr robust.

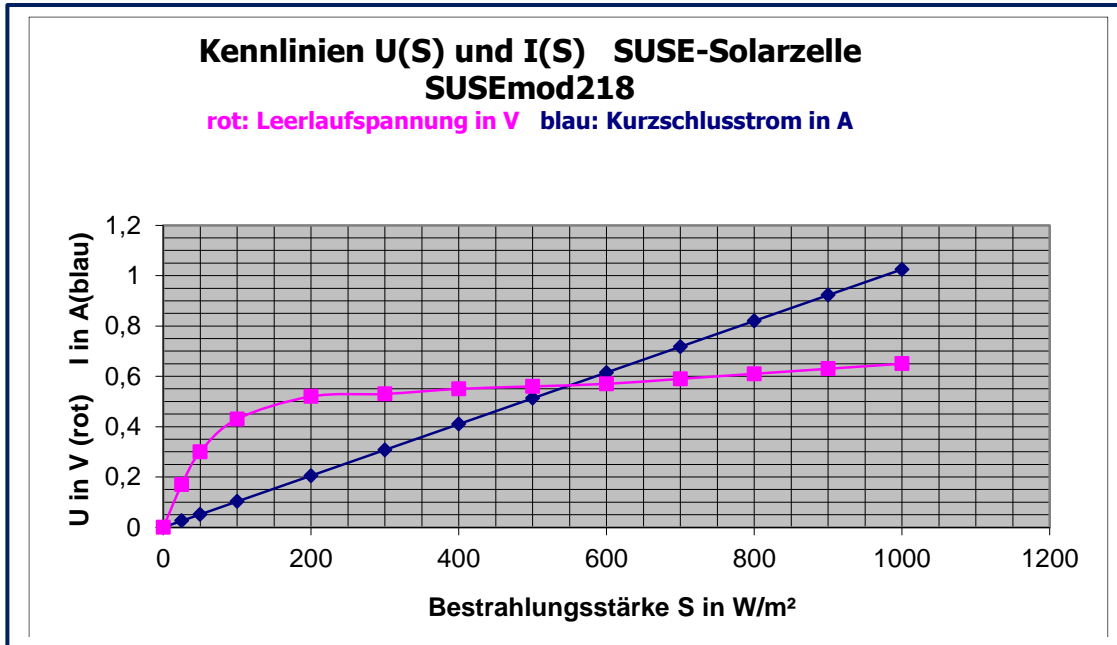
Solarzelle: Monokristalline Solarzelle 52 x 52 mm, quadratisch, Oberseite blau-schwarz durch SiN- Antireflexschicht, Oberfläche ist matt durch saure Texturierung. Dicke der Zelle 190 µm

Technische Daten bei einer Einstrahlung von 1000 W/m², T = 25°C, AM = 1,5 Toleranz 2 %

Physikalische Größe	Symbol	Zahlenwert	Physikalische Einheit	Bemerkungen
Maße der Solarzelle	s	52 x 52 x 0,18	mm	Quadratische Zelle, 1/9 6-Zoll-Zelle
Fläche	A	27,04	cm ²	1/9 einer 6 Zoll Solarzelle
Leerlaufspannung	U _{oc}	0,656	V	Typisch für Silizium
Kurzschlussstrom	I _{sc}	1,025	A	Proportional zur Lichtintensität S
Spannung im MPP	U _{MPP}	0,507	V	Spannung im (MPP) <small>Maximum Power Point</small>
Kurzschlussstrom im MPP	I _{MPP}	0,942	A	Kurzschlussstromstärke im MPP
Elektrische Leistung	P	0,477	W	Bei S = 1000 W/m ² , AM 1,5, 25°C
Wirkungsgrad	η	19,1	%	Qualitätsmerkmal
Füllfaktor	FF	71	%	FF ist ein Qualitätsmerkmal
Stromdichte	j	38,15	mA/cm ²	j ist ein Qualitätsmerkmal
Temperaturverhalten der Leerlaufspannung U _{oc}	ΔU _{oc}	- 0,34	% /K	Die Spannung mindert sich bei Erwärmung um 0,34% pro 1K
Temperaturverhalten des Kurzschlussstroms I _{sc}	ΔI _{sc}	+ 0,03	% /K	Der Kurzschlussstrom vergrößert sich um 0,03 % pro 1K
Temperaturverhalten der Leistung	ΔP _{max}	+ 0,43	% /K	Der Leistung verringert sich um -0,43 % pro 1K
Serieller Widerstand	R _{ser}	0,097	Ω	Serieller Widerstand der Solarzelle
Shuntwiderstand	R _{shunt}	64,82	Ω	Parallelwiderstand der Solarzelle durch interne Kurzschlüsse im Si

Die Kennlinien der Solarzelle im Modul SUSEmod218

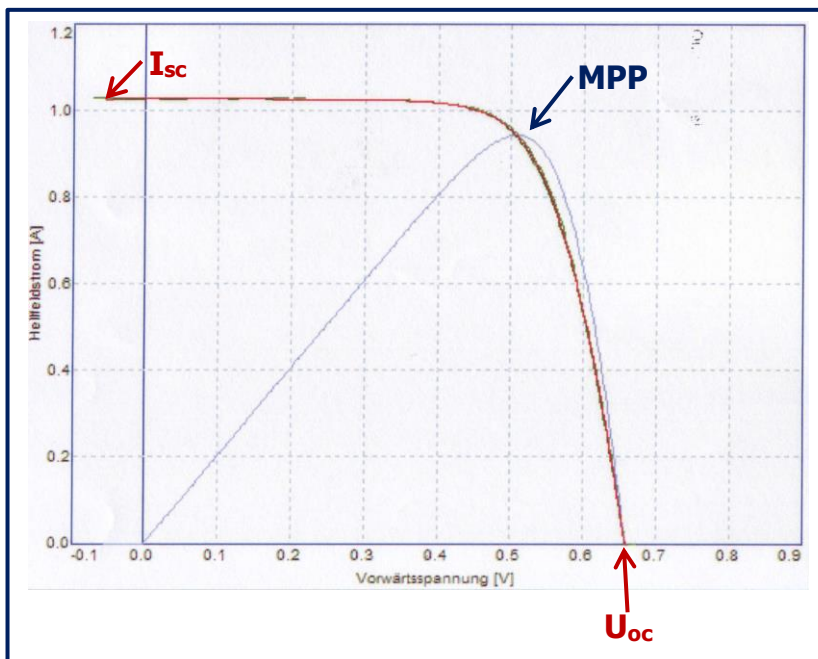
1. **Abhängigkeit von Leerlaufspannung U_{oc} und Kurzschlussstrom I_{sc} von der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke S in W/m^2)**



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

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

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



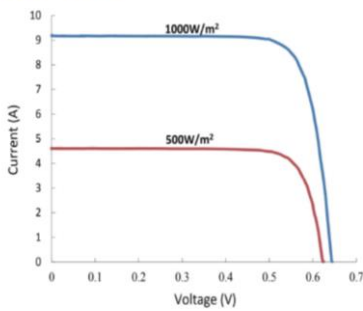
Die **$I-U$ -Kennlinie** zeigt die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung bei Belastung der Solarzelle mit einem variablen Lastwiderstand, bei einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m^2 und einer Temperatur von 25°C. Der **Schnittpunkt mit der x- Achse (U- Achse)** ist die Leerlaufspannung U_{oc} , der **Schnittpunkt mit der y- Achse (I- Achse)** ist der Kurzschlussstrom I_{sc} .

Die **$P-U$ -Kennlinie** ist die Leistungskurve, ihr Maximum ist der **Maximum- Power- Point**

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

3.1 Intensitätsabhängigkeit

IV Curve

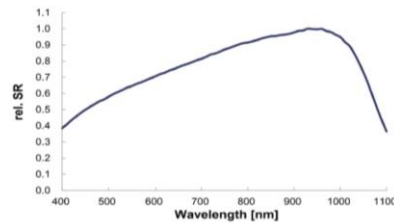


IV-Verhalten für unterschiedliche Bestrahlungsstärken.

3.2 Spektrale Empfindlichkeit

Spektrale Empfindlichkeit

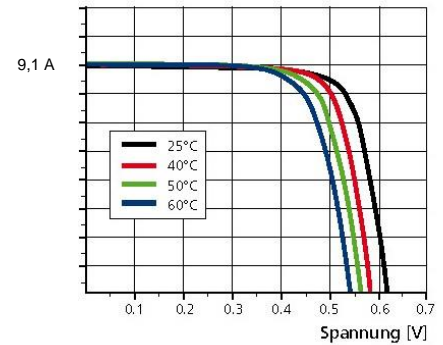
Spectral Response(SR)



Kennlinie der spektralen Empfindlichkeit.

3.3 Temperaturabhängigkeit

IV-Kennlinie



IV-Verhalten für unterschiedliche Temperaturen.

Der **linke Graph 3.1** zeigt die **Intensitätsabhängigkeit** der **I(U)- Kennlinien** in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke S des eingestrahlichten Lichts. (1000 W/m² entspricht dem strahlenden Sonnenschein im Sommer bei blauem, wolkenlosem Himmel, 0 W/m² ist absolute Dunkelheit).

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

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

Der **rechte Graph 3.3** zeigt die **I(U)- Kennlinie** in **Abhängigkeit von der Temperatur**, man erkennt, dass die Leerlaufspannung sinkt, wenn die Temperatur steigt, der Kurzschlussstrom steigt nur sehr gering bei Temperaturerhöhung (j ist die Stromdichte = Kurzschlussstrom in mA pro cm² Zellenfläche). Das bedeutet auch, dass die elektrische Leistung P der Solarzelle bei Temperaturerhöhung sinkt.

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

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

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

<p>U_{oc}= Leerlaufspannung in V k = Boltzmann- Konstante in J/K T = absolute Temperatur in K e = elektrische Elementarladung in As I_{sc}= Kurzschlussstrom in A I_s = Sättigungsstrom in Sperrichtung (Dunkelstrom) in A S = Bestrahlungsstärke S in W/m²</p>
--

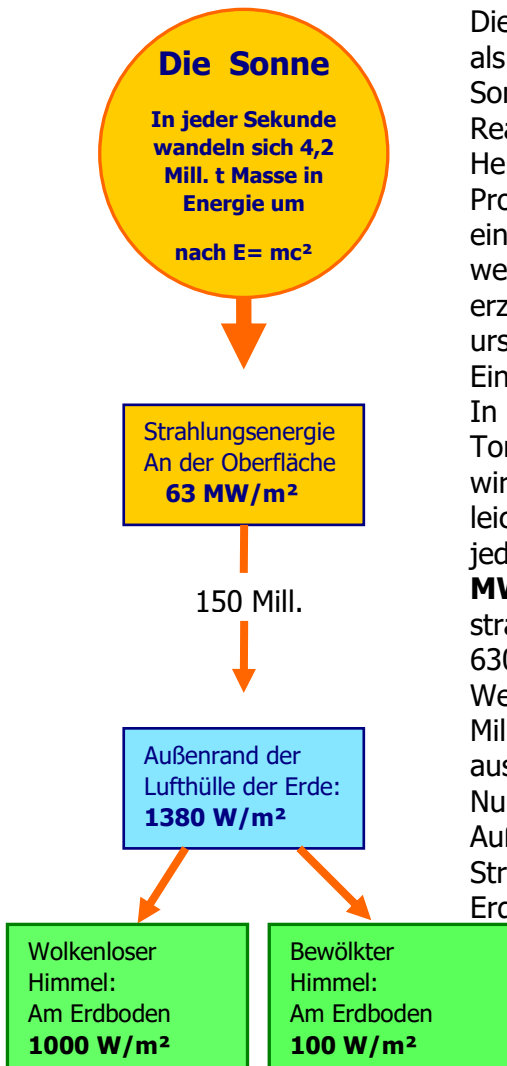
Handbuch zur Sonnenfängerbox SEKI Station 3

3-3 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 einer LED, LED als Solarzelle

Diese Dateien zur Solarstrahlung und zum Aufbau und zur Funktion einer Solarzelle und einer LED 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.

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**.

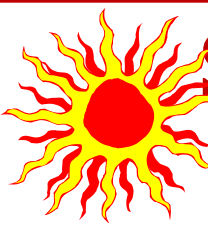
Abb.1: Entstehung und Verlauf der Solarstrahlung

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/m² wird für chemisch- physikalische Reaktionen in der Atmosphäre benötigt (z.B. in der Ozonschicht). Diesen Messwert 1000 W/m² 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/m² auf dem Erdboden an. Auch im Winter erreicht die Bestrahlungsstärke bei strahlendem Sonnenschein den Wert 1000 W/m² nicht, weil der längere Weg des Lichts im Winter durch die Lufthülle Energie absorbiert, der Wert wird maximal 600 W/m².

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)

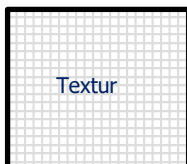
1. Silizium (Si) -Wafer p- dotiert mit Bor bei der Herstellung des Wafers



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).

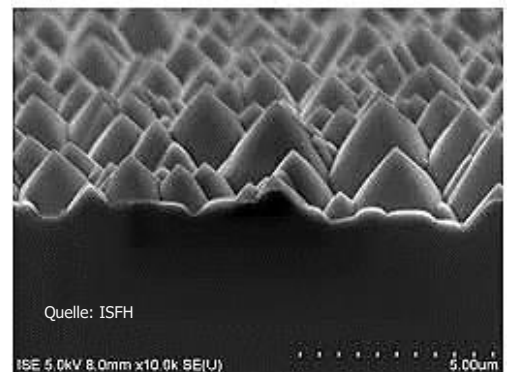


2. Texturierung mit Lauge



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

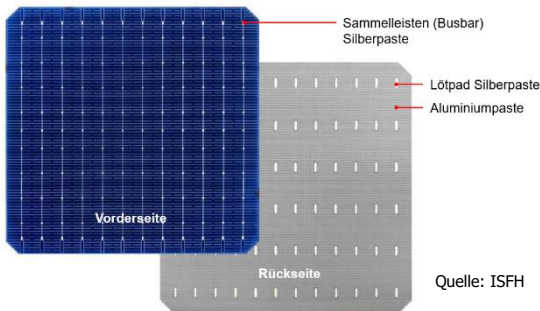
Die dielektrische Al_2O_3 - Schicht auf der Rückseite der Solarzelle wird mit einem Laserprozess geöffnet, d.h. es werden mit einem Laserstrahl die Schichten lokal verdampft. Die Öffnungen sind Punkte mit einem Durchmesser von 20 – 50 μm .

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

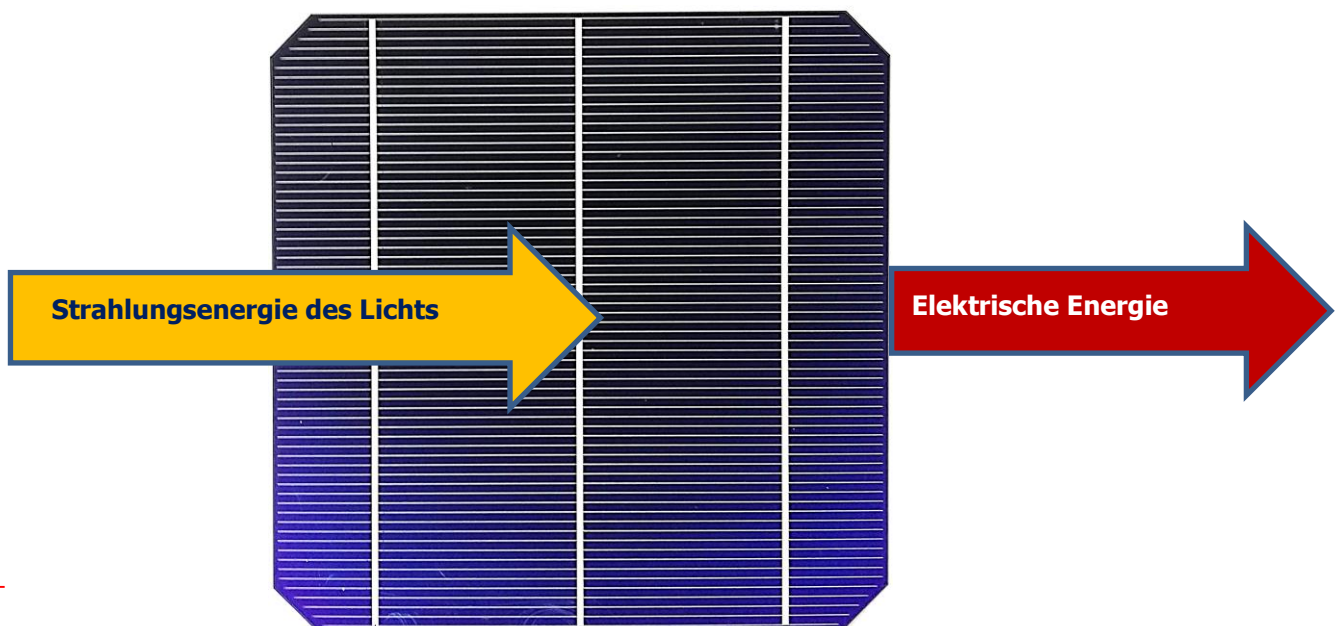


Eine Solarzelle ist ein Energiewandler, sie wandelt die Strahlungsenergie von Licht in elektrische Energie um.

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.



SUN didactics
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
 Rechnungsservice
 Solartechnik
 Solardidaktik
 Solare Wissenschaft
 Cooperation NILS-ISFH
 Sales
 Delivery
 Accounting
 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

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

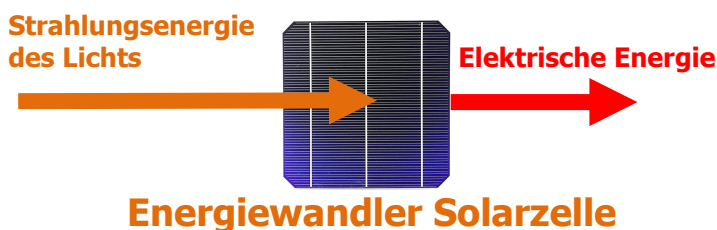
Klassenstufen 7-8 Alter 13-14 Jahre

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

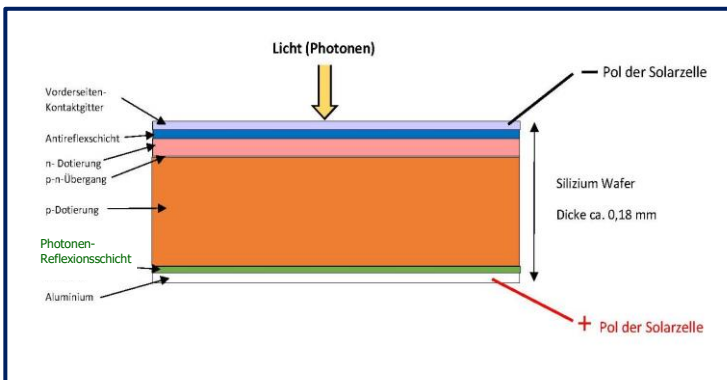
W.R. Schanz, OStR aD, Hildesheim, Germany

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:

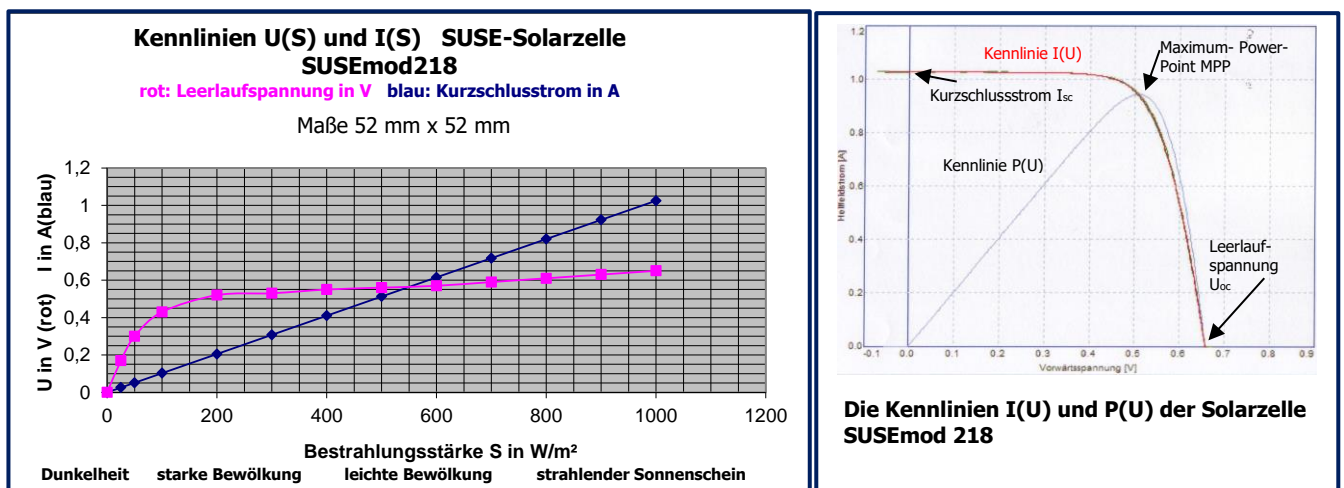
- **Fläche der Solarzelle:** Je höher die Fläche, desto höher ist I (direkt proportional)!
- **Intensität der auftreffenden Lichtstrahlung:** Je höher die Lichtintensität S , desto höher ist I_{sc} (direkt proportional)!
- **Qualität der Solarzelle** (sehr guter Solarzellen: $I_{sc} = 38 - 42 \text{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

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.



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

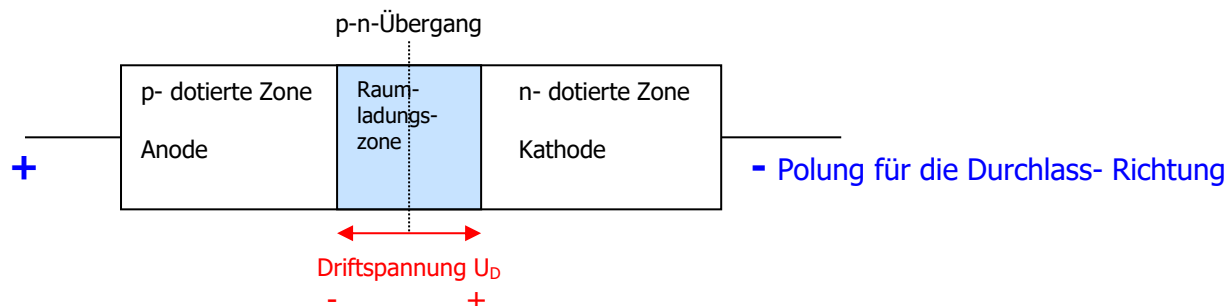
Aufbau und Funktion von LEDs

Im Gegensatz zu Glühlampen, in denen im Vakuum dünne Wolfram- Drähte glühen und Licht mit einem breiten Wellenlängenspektrum abstrahlen, bestehen Leuchtdioden aus einem Halbleiterkristall, in denen durch Energieabgabe von Elektronen Licht entsteht, welches nahezu monochromatisch ist, d.h. nur aus **einer Farbe/Wellenlänge** besteht.

Es gibt also nur einfarbig leuchtende LEDs, rot, grün, blau usw., das Licht weiß strahlender LEDs wird durch Moleküle im LED- Gehäuse durch Fluoreszenz erzeugt, während der Halbleiterkristall im Innern blaues Licht abstrahlt. Wie entsteht nun das Licht in einer LED:

1. Die Lichtemission einer LED

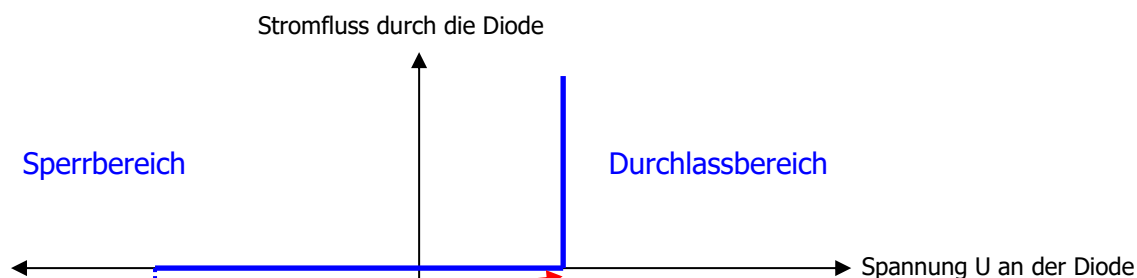
Bei der Erzeugung von monochromatischem Licht (Licht einer Wellenlänge) in der LED, **der Licht-Emission**, entsteht das Licht durch die Energieumwandlung von elektrischer Feldenergie in Strahlungsenergie am p-n- Übergang in Durchlassrichtung der LED. Die LED ist also eine Halbleiterdiode.



Bereits bei der Herstellung der LED entsteht – wie bei jeder Diode- durch Diffusion von Löchern in das n- Gebiet und von Elektronen in das p- Gebiet eine ladungsträgerfreie Raumladungszone, das in ihr entstandene innere elektrische Feld hat die Drift- Spannung U_D , mit dem Minuspol auf der p- dotierten Seite und dem Pluspol auf der n- dotierten Seite.

Wird nun zur Lichtemission die LED in Durchlassrichtung betrieben, muss zuerst einmal die Spannung U_D durch eine gleich große von außen angelegte Spannung überwunden werden, daher wird die Diode nicht bereits bei 0 V durchlässig, sondern erst ab der Drift- oder Flussspannung U_D .

Die ideale I-U-Kennlinie einer LED sieht folgendermaßen aus:



Spannung U_D im Kennlinienknick, ab hier kann Strom durch die LED fließen
 (vereinfachte Darstellung, nur bei tiefen Temperaturen ist die Kennlinie rechtwinklig scharf abgelenkt, bei Zimmertemperatur ist der Knick abgerundet)

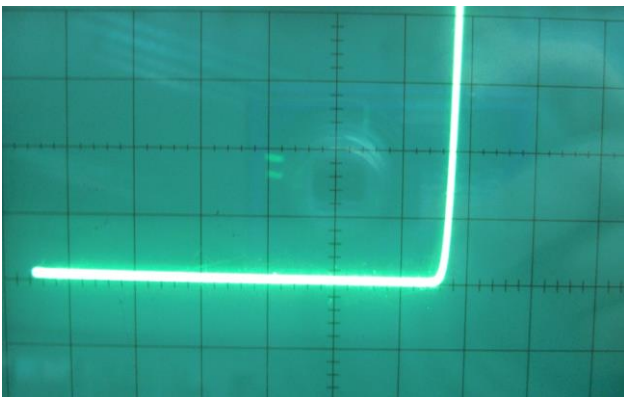
Im Bereich der negativen Spannung bis hin zur Driftspannung U_D , im waagerechten Teil der Kennlinie ist im Idealfall der innere Widerstand der LED unendlich groß, sie leitet den Strom nicht. Im Bereich der vertikalen Kennlinie oberhalb U_D ist der innere Widerstand im Idealfall 0, die LED leitet den Strom sehr gut. Daher kann an der Diode die Spannung im Idealfall auch nie höher werden als U_D . Daher darf eine LED auch nur mit Vorwiderstand R betrieben werden, sonst würde bei einer von außen angelegten Spannung $> U_D$ die Stromstärke sofort extrem groß werden und die Diode zerstören. Diese sehr „eckige“ Kennlinie existiert bei sehr tiefen Temperaturen, bei höheren Temperaturen, wie z.B. bei Raumtemperatur, ist die Kennlinie im Knick leicht gerundet, so dass die Driftspannung nicht mehr ganz exakt gemessen werden kann. Auch ist im realen Fall der Sperrstrom nicht 0, sondern zeigt einen geringen Wert, da durch thermische Energie Elektronen- Loch- Paare erzeugt werden, die den Sperrstrom erzeugen.

Für die I-U- Diodenkennlinie einer LED gilt mathematisch eine komplizierte e- Funktion:

$$I = I_{sp\ max} * e^{-\frac{\Delta WB}{kT}} * (e^{\frac{eU}{kT}} - 1)$$

I = Stromstärke durch die Diode, $I_{sp\ max}$ = maximaler Sperrstrom
 ΔWB = Bandabstand kT = thermische Energie bei der Temperatur T
 U = Spannung an der Diode

Die Drift- oder Flussspannung U_D ist umso höher, je höher der Bandabstand des Halbleiters ist. Da der Bandabstand die Frequenz bzw. Wellenlänge der emittierten Lichtstrahlung bestimmt, hat bei unserem Experimentiergerät PV 5.6IR die IR- LED einen geringeren Bandabstand und daher eine geringere Driftspannung als die rot strahlende LED. Die real gemessenen Kennlinien zeigen zwei Oszillogramme der Experimente mit PV 5.6IR:



I- U- Kennlinie der **rot leuchtenden LED**. Der Kennlinienknicke liegt bei ca. 1,8 V. Im Gegensatz zur Idealform zeigt die Kennlinie im Kennlinienknicke eine leichte Rundung und keinen genau senkrecht ansteigenden Verlauf.



I- U- Kennlinie der **IR- LED**. Der Kennlinienknicke liegt bei ca. 1,1 V.

Die Kennlinienmessung – manuell oder mit Oszilloskop – wird im Kapitel „Experimente“ beschrieben. Für die Umwandlung von elektrischer Feldenergie in Strahlungsenergie gilt vereinfacht die Gleichung:

$$h * f = e * U_D$$

h = Plancksches Wirkungsquantum f = Frequenz des emittierten Lichts
 e = elektrische Elementarladung U_D = Driftspannung der LED

2. Licht- Absorption

Bei der Lichtabsorption- wenn also die LED kein Licht erzeugt, sondern durch Licht bestrahlt wird - wirkt eine LED wie eine kleine Solarzelle.

Da keine äußere Spannung von einem NG anliegt, bildet sich eine ladungsträgerfreie Raumladungszone am p-n- Übergang aus. Dort dringen die Photonen des Lichts ein, schlagen aus den Bindungen des Halbleiters Elektronen heraus, es entstehen Elektron- Loch- Paare.

Durch das innere elektrische Feld wandern die Elektronen zur (positiven) n- dotierten Zone, die Löcher zur (negativen) p- dotierten Zone. Es entsteht wie bei einer Solarzelle eine Fotospannung U zwischen den Anschlüssen der LED, die Kathode hat die negative, die Anode die positive Polung dieser Spannung.

Da das Halbleitermaterial der beiden LEDs einen viel höheren Bandabstand als eine Silizium-Solarzelle hat, ist die Fotospannung auch wesentlich höher, sie erreicht bei der IR-LED etwa 1 V, ein der rot leuchtenden LED etwa 1,5 V! Die Stromstärken sind aber nur sehr klein, da der Halbleiterkristall der LED nur eine winzig kleine Fläche $< 1 \text{ mm}^2$ hat, die Kurzschlussstromstärke liegt je nach Lichtintensität bei ca. $100 \mu\text{A}$. Daher liegt auch die gewonnene elektrische Leistung nur im Bereich $100 \mu\text{W}$.

Einführung in die LED- Technik



Foto einer LED: In einem transparenten Kunststoff- Gehäuse. Rechts befindet sich der Reflektor mit dem Halbleiterkristall, die obere Rundung des Gehäuses ist eine optische Linse. Der von der rechten Reflektorwanne abgehende Draht ist die Kathode. Der linke abgehende Kontakt ist die Anode, vom oberen Ende geht der sehr feine Bonddraht zur p- dotierten Zone

Eine Leuchtdiode LED (Light Emitting Diode) ist eine Halbleiterbauelement, im Prinzip eine Diode in einem transparenten oder farbigen Gehäuse.

Sie hat dieselben Eigenschaften wie eine normale Halbleiterdiode, strahlt jedoch im Durchlassbetrieb Licht ab.

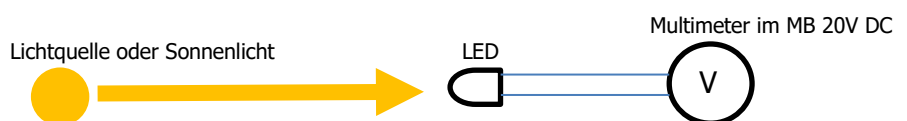
Emission von Licht: Die LED ist ein Energiewandler, wird der LED elektrische Energie zugeführt, wandelt sie diese in Strahlungsenergie (Licht) um, **sie emittiert Licht**.

Aber auch die Umkehrung ist möglich:

Absorption von Licht: Wird eine LED mit von außen mit Licht bestrahlt, so entsteht an ihren Kontakten eine elektrische Spannung, es wandelt sich im Halbleiterkristall Strahlungsenergie des Lichts in elektrische Energie um, **sie absorbiert Licht**.

Dies ist eigentlich das Prinzip einer Solarzelle, die physikalisch gleichartig aufgebaute LED zeigt dasselbe Phänomen, eine LED ist also eine winzig kleine Solarzelle.

Im **Praxisexperiment** nimmt man eine rot leuchtende LED



Wird das Licht sorgfältig auf die LED so ausgerichtet, dass es durch die Linse der Vorderseite genau auf den Halbleiterkristall trifft, entsteht eine Spannung wie bei einer Solarzelle, z.B. bei einer rot leuchtenden LED von ca. 1,5 V.

Eine LED kann nur Licht einer Wellenlänge abstrahlen, die Wellenlänge hängt vom Bandabstand (Valenzband – Leitungsband) des Halbleitermaterials und der Dotierung ab. Das Spektrum der Lichtstrahlung geht vom unsichtbaren infraroten Bereich über das komplette sichtbare Spektrum, von rot bis violett bis hin zum unsichtbaren UV- Licht.

LEDs erzeugen kaltes Licht, das Licht entsteht nicht – wie bei einer Glühlampe- durch hohe Temperaturen, sondern durch Energieumwandlung in einem Kristall.

Erklärung der Funktion:

Das Energie- Bändermodell von Halbleitern (vereinfacht):

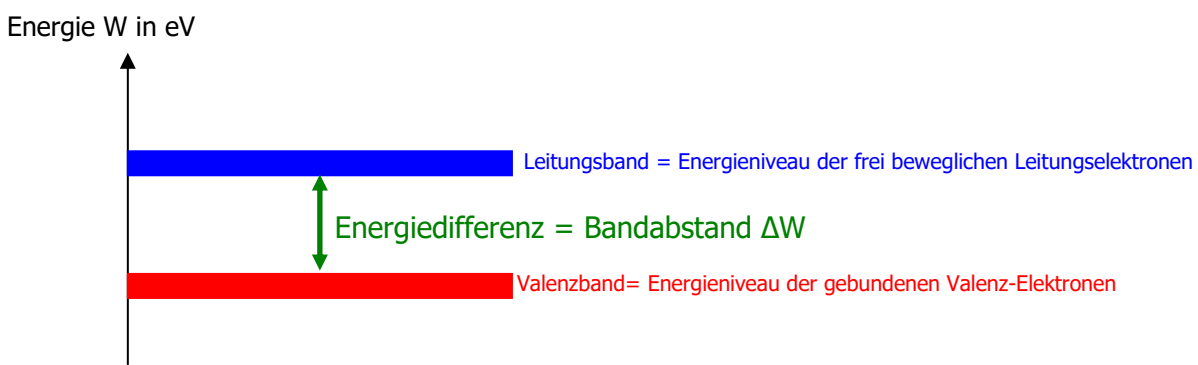
Halbleiter sind Stoffe aus der 4. Gruppe des Periodensystems (z.B. Ge Germanium oder Si Silizium) sowie künstlich hergestellte Verbindungen (III- V- Halbleiter) mit halbleitenden physikalischen Eigenschaften (z.B. GaAs - Galliumarsenid).

Halbleiter stehen im Stromleitungsverhalten zwischen Leitern und Isolatoren, Halbleiterbauelemente bilden die Grundlagen der modernen Elektronik (z.B. Dioden, Transistoren, IC's, Computerchips, LEDs.....). Auch Solarzellen sind Halbleiterbauelemente.

Bei tiefen Temperaturen sind alle 4 Valenzelektronen eines Atoms fest in der Kristallbindung mit anderen Atomen gebunden, es gibt keine freien Leitungselektronen, der Halbleiter ist ein absoluter Isolator.

Will man frei bewegliche Leitungselektronen erzeugen, muss man pro Valenzelektron einen Energiebetrag ΔW aufbringen, so dass sich das Elektron aus der Bindung löst und im atomaren Zwischenraum frei beweglich ist, es kann aber das Material nicht verlassen, dafür wäre ein zweiter, noch höherer Energiebetrag, die Ablösearbeit W_A notwendig.

Am **Bändermodell** lässt sich diese Energiesituation verdeutlichen:



Diese **Energiedifferenz $\Delta W = \text{Bandabstand}$** ist materialabhängig, **bei Silizium beträgt der Wert 1,1 eV.**

ΔW kann aufgebracht werden (Energieabsorption) durch:

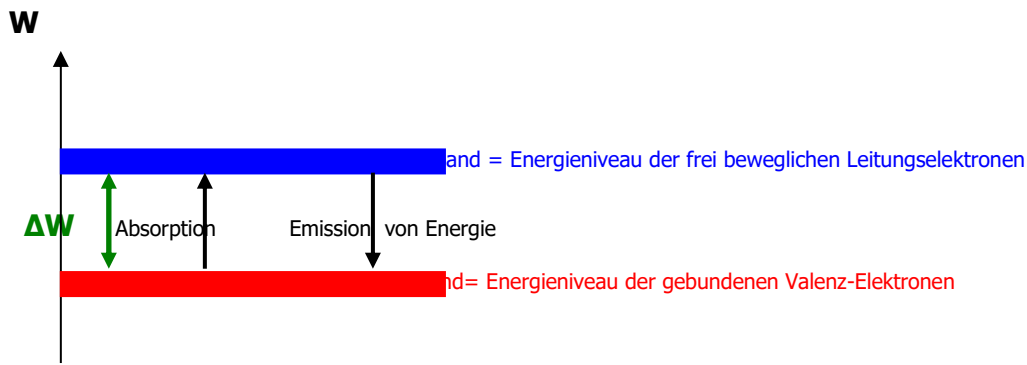
- Licht = Quantenergie eines Photons (techn. Anwendung: LDR, Fotodiode, Solarzelle...)
- Thermische Energie (techn. Anwendung: NTC....)
- Elektrische Feldenergie (techn. Anwendung: LED.....)

ΔW ist ein ganz bestimmter Wert, ein kleinerer Wert genügt nicht, um das Elektron aus der Bindung zu befreien.

Ist die eingebrachte Energie $> \Delta W$ wird die Restenergie als Wärmeenergie = Molekülschwingungen dem Kristallgitter zugefügt, diese Energieportionen heißen Phononen. Diese thermische Energie bedeutet in der Praxis ein unerwünschter Faktor, weil sich die Bauteile davon erwärmen.

Bei Photonen als Energieform gilt daher: $hf = \Delta W + W_{th}$ ($hf = \text{Photonenenergie}$)

Die Elektronen verweilen aber nur kurze Zeit im Leitungsband, dann **fallen sie wieder ins Valenzband zurück** und geben ihre Energiedifferenz ΔW als **Licht (Photon) ab. (Energieemission)**. Dieses Photon hat genau die Quantenenergie $hf = \Delta W$.



Für die Lichtemission einer LED gilt somit: $hf = \Delta W$ dabei ist:

f = Frequenz des abgestrahlten Lichts in Hz, h = Plancksches Wirkungsquantum $4,14 \cdot 10^{-15}$ eVs

ΔW = Bandabstand des Halbleiters der LED in eV

Die Wellenlänge des emittierten Lichts berechnet sich wie folgt: $\lambda = \frac{c}{f}$

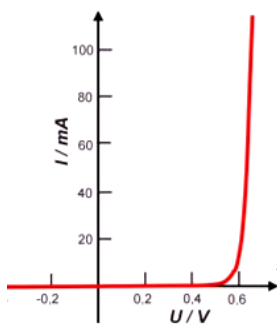
λ = Wellenlänge des Lichts in m, üblicherweise wird die Wellenlänge in nm ($=10^{-9}$ m) angegeben

c = Lichtgeschwindigkeit = $3 \cdot 10^8$ m/s f = Frequenz des Lichts in Hz

An der Grafik lässt sich gut erkennen, dass die Frequenz des emittierten Lichts einer LED umso höher ist, je höher der Bandabstand des Halbleitermaterials ist. Damit verknüpft ist eine kleine Wellenlänge.

LEDs, die Licht von großer Wellenlänge abstrahlen (z.B. rotes Licht oder IR- Licht) werden aus einem Halbleitermaterial mit kleinem Bandabstand gefertigt, LEDs, die Licht kleiner Wellenlänge abstrahlen (z.B. blaues, violettees oder UV- Licht), werden aus einem Material mit großem Bandabstand gefertigt. Jede andersfarbig leuchtende LED ist also aus einem anderen Halbleitermaterial gefertigt, daher gibt es auch keine LED, die aus einem Kristall 2 verschiedene Farben abstrahlen kann.

Die LED- Kennlinie entspricht der normalen Dioden- Kennlinie, der Kennlinienknick, die Driftspannung oder Flussspannung U_D entspricht dem Bandabstand des Halbleiters, d.h. eine blaue LED hat eine hohe Driftspannung (ca. 3V) während eine IR- LED nur ein geringe Driftspannung von ca. 1 V besitzt.



Kennlinienknick = Driftspannung einer LED (entspricht Bandabstand), ab hier wird die LED leitend und emittiert Licht!

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Farbe des emittierten Lichts, die Wellenlänge und das verwendete Halbleitermaterial, die Übergänge der Farben sind fließend:

Farbe des emittierten Lichts	Wellenlänge λ in nm	Driftspannung U_D in V (ca. Bandabstand in eV)	Halbleitermaterial jeweils 1 Beispiel
Infrarot IR	< 800	< 1,6	Galliumarsenid (GaAs)
Rot	600 - 800	1,6 – 2,0	Aluminium-Gallium-Arsenid AlGaAs
Orange	590 - 600	2,0 – 2,1	Galliumarsenidphosphid GaAsP
Gelb	570 - 590	2,1 – 2,2	Galliumphosphid GaP
Grün	500 - 570	2,2 – 2,5	Aluminium-Gallium-Phosphid AlGaP
Blau	450 - 500	2,5 – 2,8	Indiumgalliumnitrid InGaN
Violett	400 - 450	2,8 – ca. 3,2	Indiumgalliumnitrid InGaN
Ultraviolett UV	< 400	> 3,2	Indiumgalliumnitrid InGaN

Direkt weiß emittierende LEDs sind unmöglich, da weißes Licht eine additive Farbmischung der Spektralfarben des sichtbaren Lichts ist. Für weiße abstrahlende LEDs verwendet man UV-emittierende LEDs in deren Gehäusematerialien durch Fluoreszenz weißes Licht entsteht. Dieses Licht enthält aber nicht alle Wellenlängen des sichtbaren Spektrums und wirkt oft unangenehm bläulich weiß und wirkt als kaltes Licht.

Handbuch zur Sonnenfängerbox SEKI Station 3

Die Experimente der Lernstation 3 Alle Geräte 2-fach in der Sonnenfängerbox

Lernstation Thema	Experimentiergeräte für 1 Lernstation	Messtechnik und Zubehör	Themenschwerpunkte der Experimente
Lernstation 3 Solarzelle III Solarmodul I	1 Solarmodul SUSE 4.3RB 1 Solarmodul SUSE CM400B mit LED grün 5 LED- Module SUSE 4.15 rot, grün, blau, IR, rainbow 1 Speichermodul SUSE 4.12 1 Solarmotor SUSE 4.16 1 Solar- Radio SUSE 4.36 von Schule: 1 Overheadprojektor zum Experimentieren auf der Glasplatte oder/und Halogenstrahler 120 W Oder Rotlichtlampe	1 schaltbare 3er- Tischsteckdose 1 Dig. Multimeter 6 Laborkabel je 50 cm 4mm Stecker 3x schwarz + 3x rot 1 Zollstock 1 Handbuch in pdf	U,I,P von Solarzellen bei verschiedener Einstrahlung, Stromdichte j, Reihenschaltungen, Experimente mit unterschiedlichen LEDs, Solarspeicher, Solarmotoren, Solarradio

3-4 Experimente mit den Geräten der Station 3

Experimente für 2 Lerngruppen mit je 3 Schülerinnen/Schüler.

Nachfolgend sind die Experimente mit SUSE 4.3RB aufgeführt, die mit den Zusatzgeräten, Messtechnik und Zubehör durchgeführt werden können. Die betreuende Lehrkraft wählt die für die Lerngruppe passenden Experimente aus.

Zusätzlich zu den beigefügten Experimentieranleitungen lassen sich mit den Geräten der Station viele weitere Photovoltaik- Experimente planen und durchführen, hier sind der Kreativität der Lerngruppe, einzelner SchülerInnen oder der betreuenden Lehrkraft keine Grenzen gesetzt!



**Photovoltaik-
System
SUSE**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung

**Solarthermiesystem
Wärme von der Sonne**



Experimente mit dem Solarmodul SUSE 4.3RB

Solarmodul mit 6 Solarzellen in Reihenschaltung mit 2 Messbuchsen an jeder Zelle

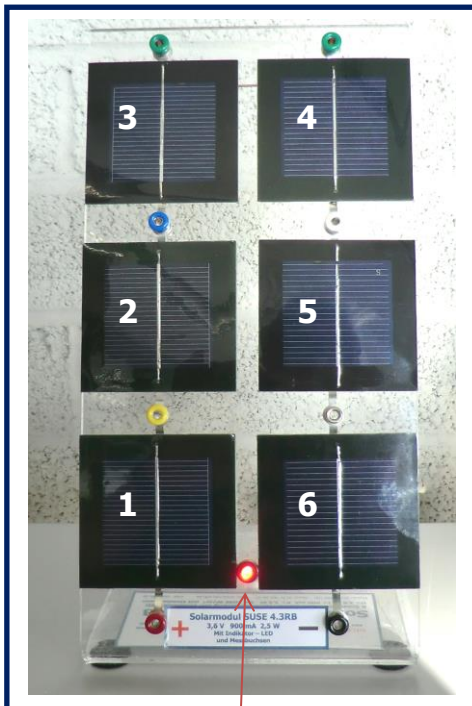
3,9 V/1025 mA/3 W bei $S = 1000 \text{ W/m}^2$ $T = 25^\circ\text{C}$, AM 1,5 Funktionsanzeige durch Indikator- LED

25 Seiten Experimente zur Auswahl mit SUSE 4.3 RB

A	Basisinformationen und technische Daten	Seiten 1 -5
B	SUSE 4.3 RB als Stromquelle für Geräte	Seite 6
C	Experimente mit <u>einer</u> Solarzelle	Seiten 7 - 14
D	Experimente mit Solarzellen in Reihenschaltung	Seiten 15 - 19
E	Experimentelle Lernstation 1 mit SUSE 4.3RB	Seiten 20 - 21
F	Experimentelle Lernstation 2 mit SUSE 4.3RB	Seiten 22 – 23
G	Experimente mit LEDs SUSE 4.15	Seiten 24 - 25



A Basisinformationen und technische Daten



rot leuchtende Indikator LED
weiße Zahlen: Nr. der Solarzellen
Die neue Version von SUSE 4.3RB hat nur eine grüne Buchse!

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

In der Reihenschaltung liefert das Modul (bei 1000 W/m^2) eine Leerlauf- Spannung von **3,9 V**, eine Kurzschluss- Stromstärke von **1,025 A** und eine max. Leistung von **3 W**. Jede Solarzelle hat ein eigenes Buchsenpaar für elektrische Messungen, am rot- schwarzen Buchsenpaar steht die Gesamtspannung zur Verfügung. Zur weiteren Erhöhung der Spannung lassen sich auch mehrere Module in Reihe schalten. **Das Modul besitzt eine Indikator- LED, welche die Betriebsbereitschaft anzeigt.** Die Indikator- LED leuchtet bereits im Innenraum hell auf und signalisiert so die Energiebereitschaft. Die 6 Buchsenpaare vor und hinter jeder Solarzelle sind farblich gekennzeichnet und bilden die elektrischen Anschlüsse für jede einzelne Solarzelle.

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

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

Die technischen Daten

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

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

Elektrische Daten der Reihenschaltung bei einer Bestrahlungsstärke S von 1000 W/m^2 , $T = 25^\circ\text{C}$, $AM 1,5$
 Leerlaufspannung $U_{oc} = 3,9 \text{ V}$, Kurzschlussstrom $I_{sc} = 1025 \text{ mA}$, Leistung $P = 3,0 \text{ W}$

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



Das Solarmodul SUSEmod218

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

Modulmaße: 75 x 75 mm

Solarzellenmaße: 52 x 52 mm

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

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

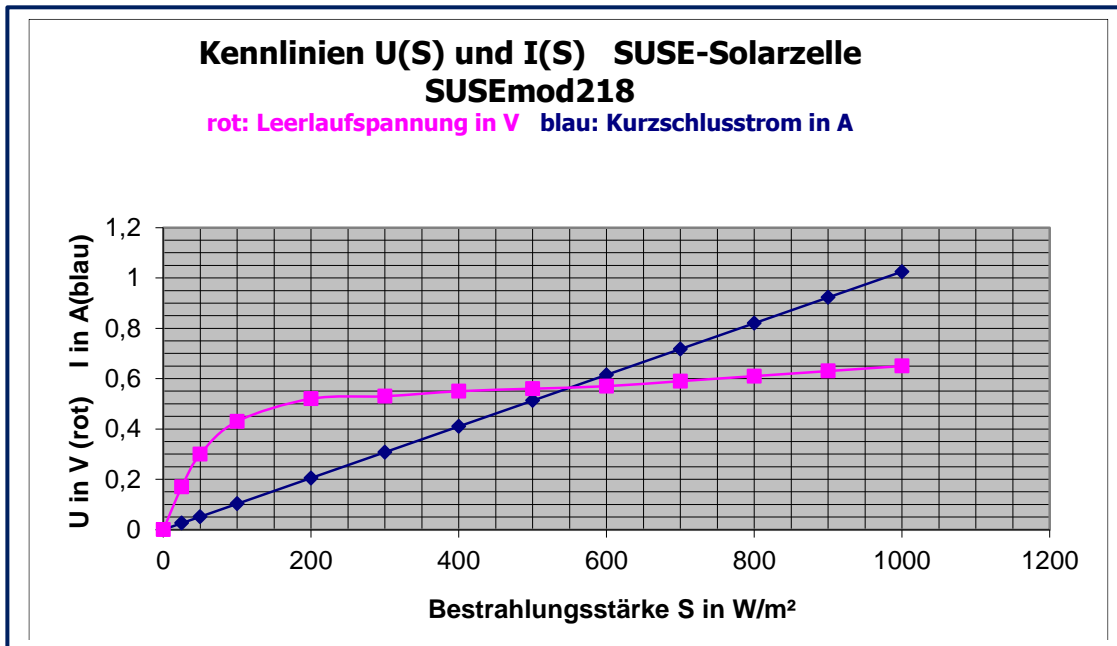
Solarzelle: Monokristalline Solarzelle $52 \times 52 \text{ mm}$, quadratisch, Oberseite blau-schwarz durch SiN-Antireflexschicht, Oberfläche ist matt durch saure Texturierung.

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

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

Die Kennlinien der Solarzelle im Modul SUSEmod218

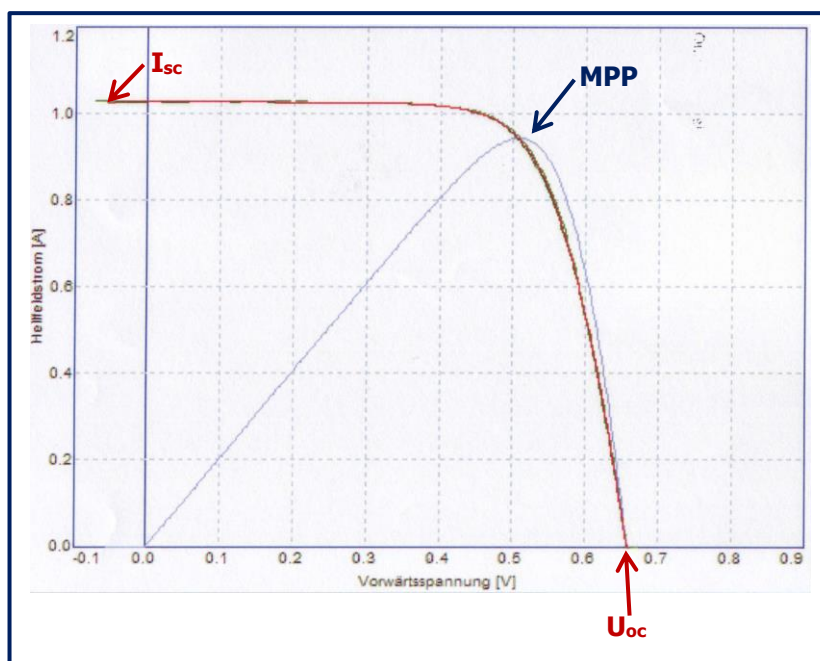
1. Abhängigkeit von Leerlaufspannung U_{oc} und Kurzschlussstrom I_{sc} von der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke S in W/m^2)



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

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

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



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

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

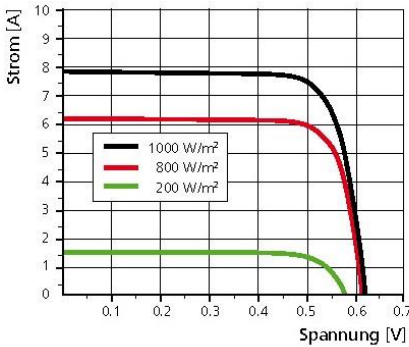
3. Weitere Daten (für die ganze Solarzelle 156 x 156 mm!), für die Solarzelle 52x 52mm im Modul SUSEmod218 muss die Stromstärke bei 3.1 und 3.3 durch 9 geteilt werden!

3.1 Intensitätsabhängigkeit

3.2 Spektrale Empfindlichkeit

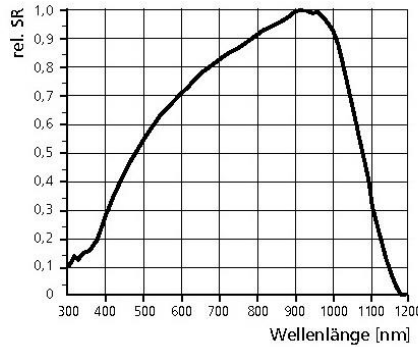
3.3 Temperaturabhängigkeit

IV-Kennlinie



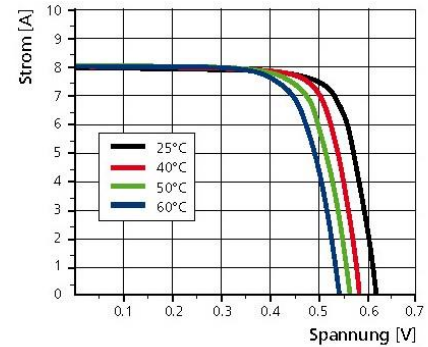
IV-Verhalten für unterschiedliche Bestrahlungsstärken.

Spektrale Empfindlichkeit



Kennlinie der spektralen Empfindlichkeit.

IV-Kennlinie



IV-Verhalten für unterschiedliche Temperaturen.

Der **linke Graph 3.1** zeigt die **Intensitätsabhängigkeit** der **I(U)- Kennlinien** in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke S des eingestrahlt Lichts. (1000 W/m² entspricht dem strahlenden Sonnenschein im Sommer bei blauem, wolkenlosen Himmel, 0 W/m² ist absolute Dunkelheit).

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

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

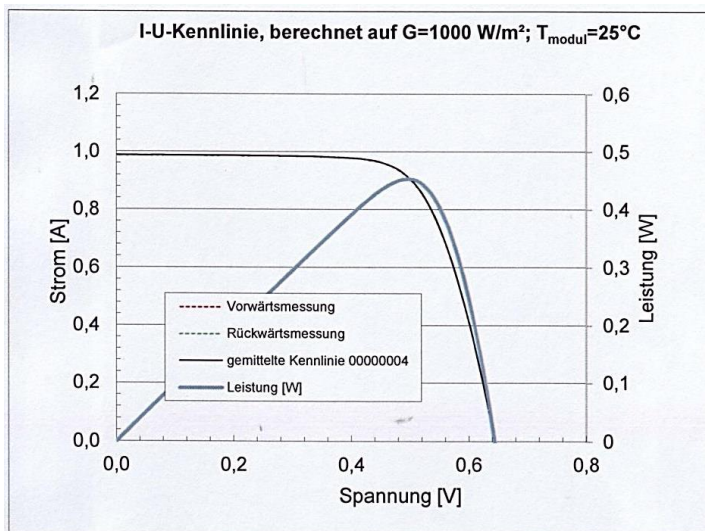
Der **rechte Graph 3.3** zeigt die **I(U)- Kennlinie** in **Abhängigkeit von der Temperatur**, man erkennt, dass die Leerlaufspannung sinkt, wenn die Temperatur steigt, der Kurzschlussstrom steigt nur sehr gering bei Temperaturerhöhung (j ist die Stromdichte = Kurzschlussstrom in mA pro cm² Zellenfläche). Das bedeutet auch, dass die elektrische Leistung P der Solarzelle bei Temperaturerhöhung sinkt.

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

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

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

<p>U_{oc}= Leerlaufspannung in V k = Boltzmann- Konstante in J/K T = absolute Temperatur in K e = elektrische Elementarladung in As I_{sc}= Kurzschlussstrom in A I_s = Sättigungsstrom in Sperrrichtung (Dunkelstrom) in A S = Bestrahlungsstärke S in W/m²</p>



Die **schwarze Kennlinie** zeigt die Abhängigkeit der Kurzschlussstromstärke von der Leerlaufspannung bei einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m^2 und einer Temperatur von 25°C .

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

3. Weitere Daten der Solarzelle

2A

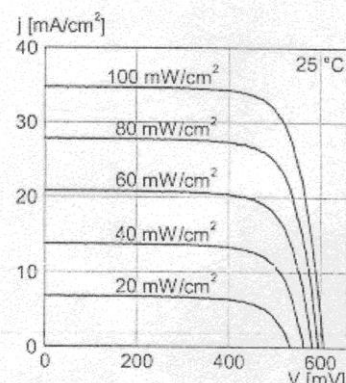
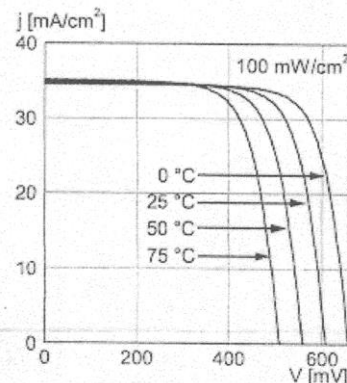
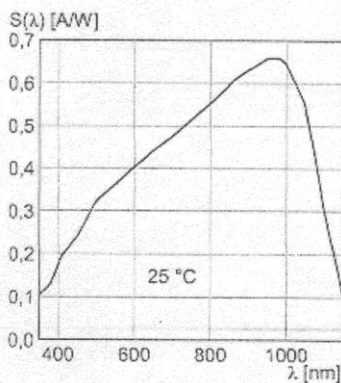
2B

2C

Spektrale Empfindlichkeit

Temperaturabhängigkeit

Intensitätsabhängigkeit



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

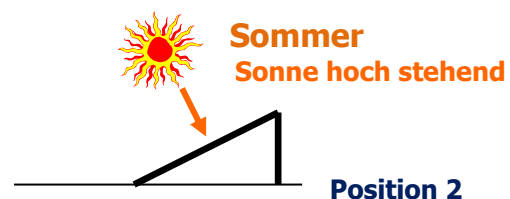
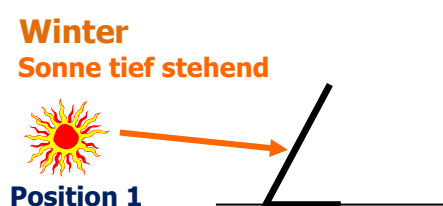
2A Der **linke Graph** zeigt die **spektrale Empfindlichkeit** in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichts, die maximale Empfindlichkeit liegt bei ca. 950 nm im nahen Infrarot, Abhängig vom Bandabstand des Halbleitermaterials Silizium (Si).

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

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

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

Durch den 75° - Winkel lässt sich das Solarmodul SUSE 4.3RB für den Betrieb im Sommerhalbjahr bzw. im Winterhalbjahr unterschiedlich aufstellen:



Die Experimente

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

B SUSE 4.3RB als solare Stromquelle für Geräte

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

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

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

Es lassen sich verschiedene Spannungen zum Betrieb von Geräten abgreifen:

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

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

C Experimente mit einer Solarzelle

Seiten 7 - 14

Verwenden Sie eine der 6 Solarzellen des Moduls!

Die Experimente

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

Experimente: Die Solarzelle als Energiewandler von Strahlungsenergie in elektrische Energie

1. Die Leerlaufspannung U_{oc} einer Solarzelle

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

Verwende ein Multimeter im Messbereich **20 V DC** und schließe das Voltmeter mit 2 Laborkabeln an den beiden Pole (rot- schwarz) der beleuchteten Solarzelle an.

Die Messungen:

Ort der Messung	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet oder Overheadprojektor	Draußen bei Sonnenschein im Schatten	Draußen bei bedecktem Himmel	Im beleuchteten Innenraum auf dem Tisch
Leerlaufspannung U in V				
Leerlaufspannung U in V a) Solarzelle zu 50% abgedeckt durch schwarze Pappe oder Alufolie b) Solarzelle vollständig durch Klarsichthülle abgedeckt		Keine Messungen		

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

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

Im Gegensatz zu anderen Stromquellen (Batterie, Netzgerät...) darf man Solarzellen kurzschließen, der Kurzschlussstrom ist sogar eine sehr wichtige Größe bei Solarzellen.

Verwende zur Strommessung ein Multimeter im Messbereich 5A oder 10A DC, welches an + und – der Solarzelle angeschlossen wird. **Nur für Messungen im Innenraum** den Messbereich 200 mA oder 20 mA verwenden!

Der Wert des Kurzschlussstroms ist ***direkt proportional zur Zellenfläche und zur Lichtintensität*** /Bestrahlungsstärke, Standard-Test-Wert: Bei dieser Solarzelle mit einer Zellenfläche von 27,04 cm² sollte die Stromstärke bei einer Lichtintensität von 1000 W/m² 1,025 A sein.

Die Messungen:

Ort der Messung	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet oder auf dem Overheadprojektor	Draußen bei Sonnenschein im Schatten	Draußen bei bedecktem Himmel	Im beleuchteten Innenraum
Kurzschlussstrom I_{sc} in A				
I_{sc} in mA (umrechnen)				
Kurzschlussstrom I_{sc} in A a) Solarzelle zu 50% abgedeckt durch schwarze Pappe oder Alufolie b) Solarzelle vollständig durch Klarsichthülle abgedeckt		Keine Messungen		

Was fällt Ihnen bei den Stromstärkemessungen zum Kurzschlussstrom auf, notieren Sie **hier** Ihre Beobachtungen/ Erklärungen:

3. Die elektrische Leistung der Solarzelle P_E in W (Watt)

Hier sind keine erneuten Messungen notwendig, Berechnung mit den beiden bereits bestimmten Messwerten U_{oc} und I_{sc}

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

Die Messungen:

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

4. Die Qualität der Solarzelle

Das ist die Stromdichte j in mA/cm^2 .

Hier sind keine erneuten Messungen notwendig, Berechnung mit den beiden bereits bestimmten Messwerten U_{oc} und I_{sc}

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

So berechnen wir die Stromdichte j :

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

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

Die Stromdichte der verwendeten Zelle ist..... mA/cm^2

Die Qualität der Solarzelle ist.....

Sehr gut – gut – mittel- schlecht

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

5. Wirkungsgradbestimmung einer Solarzelle

Beispiel: Overheadprojektor oder Sonnenlicht mit der Bestrahlungsstärke 1000 W/m²

1. Umrechnung der Lichtleistung 1000 W/m² bzw. 0,1W/cm² auf die wirkliche Fläche der Solarzelle:

Die Zelle hat eine Fläche von 27,04 cm² hat, sie erhält bei 1000 W/m² eine Lichtleistung von 27,04 cm²*0,1 W = P_L = 2,704 W

2. Die elektrische Leistung von Aufgabe 3 war bei der gemessenen Zelle **P_E = 0,432 W**

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

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

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

Wirkungsgrade von Solarzellen:

Monokristalline Zellen: 16 - 21 %

Polykristalline Zellen: 14 – 20 %

Experimentelle Aufgabe:

Bestimmen Sie den Wirkungsgrad der Solarzelle des Moduls bei einer Bestrahlung mit einem Halogenstrahler 120 – 150 W, Abstand ca. 30 cm. Die Lichtintensität (Bestrahlungsstärke) des Lichts ist < 1000 W/m² und wird mit der Gleichung aus Experiment 6 bestimmt.

Methode:

1. Messung der Leerlaufspannung U_{oc} und des Kurzschlussstroms I_{sc} :

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

2. Mit der Gleichung P = U_{oc} * I_{sc} * 0,8 wird die elektrische Leistung P der Solarzelle bestimmt:

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

3. Mit der Gleichung aus Exp. 6 wird die Bestrahlungsstärke des Lichts in W/m² bestimmt:

$$S_x = \frac{I_{mess} \text{ (in A)} * 1000}{1,025 A}$$

I_{mess} ist hier der bei 1.) gemessene Kurzschlussstrom
S_x ist die Bestrahlungsstärke des Lichts in W/m²

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

S_x ist die Lichtleistung pro 1 m², da die Fläche der Solarzelle aber nur 27,04 cm² ist, müssen wir diesen Anteil für unsere Solarzelle berechnen, indem wir den Wert durch 10 000 teilen (weil 1 m² 10 000 cm² hat) und dann mal 27,04 multiplizieren, das ist dann die wirkliche Lichtleistung P_L auf die Solarzelle:

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

Den Wirkungsgrad erhalten wir, indem wir die elektrische Leistung P_E durch die Lichtleistung teilen und den Wert mal 100 nehmen, um einen Prozentwert zu erhalten:

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

Bei korrekten Messungen/Berechnungen, müsste der Wirkungsgrad um 17% liegen.

6. Messungen der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke) in W/m^2

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

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

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

Kurzschlussstrom I_{sc} der Solarzelle bei einer Bestrahlung von 1000 W/m^2

$$I_{sc} = \dots\dots\dots 1,025 \dots\dots\dots A = \dots\dots\dots 1025 \dots\dots\dots mA$$

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

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

$$\frac{I_{sc} \text{ in A}}{1000 \text{ W/m}^2} = \frac{I_{mess} \text{ in A}}{S_x \text{ in W/m}^2} \quad \text{oder nach } S_x \text{ umgestellt: } S_x = \frac{I_{mess} \text{ (in A)} * 1000}{1,025 \text{ A}}$$

1000 W/m^2
Dabei ist:

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

der kalibrierte Kurzschlussstrom bei 1000 $W/m^2 = 1,025 \text{ A}$

I_{mess} in A

der gemessene Kurzschlussstrom bei der Bestrahlungsstärke S_x

S_x in W/m^2

die gemessene Bestrahlungsstärke von Lichtstrahlung

Messungen im Freien und bei Lichtquellen:

Lichtstrahlung	Kurzschlussstrom I_{sc} in A	Bestrahlungsstärke S_x in W/m^2
Strahlender Sonnenschein direkt zur Sonne gemessen		
Strahlender Sonnenschein im Schatten gemessen		
Bedeckter Himmel		

Sehr trübes Wetter		
Auf der Platte eines Overheadprojektors		
10 cm über der Platte eines Overheadprojektors		
40 cm vor Halogenlampe 35 W (Strahler SUSE 5.16)		
40 cm vor Halogenstrahler 120 W		
Im Innenraum Zum Fenster hin ausgerichtet		

Was fällt Ihnen auf, erläutern Sie hier:

7. Messungen zur Temperaturabhängigkeit von U,I,P

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

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

7.1 Messungen ohne Temperaturmessung an der Solarzelle

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

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

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

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

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

7.2 Messungen mit Temperaturmessung an der Solarzelle

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

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

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

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

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

D Experimente mit Solarzellen in Reihenschaltung Seiten 15 -19

Vor der Praxis zuerst etwas Theorie

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

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

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

Experiment D1:

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

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

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

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

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

Experiment D2: Reihenschaltung von Solarzellen

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

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

Solarzelle 1:

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

Solarzellen 1 + 2 in Reihenschaltung

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

Solarzellen 1+2:

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

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

Solarzellen 1 + 2 + 3 in Reihenschaltung

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

Solarzellen 1+2+3:

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

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

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

Reihenschaltung von Solarzellen

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

Welche Gesetzmäßigkeiten entdecken Sie? Formulieren Sie das Ergebnis hier:

Experiment D3: Abschattung von Solarzellen in Reihenschaltung

Vor der Praxis zuerst etwas Theorie

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

Das Experiment:

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

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

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

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

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

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

Was fällt Ihnen auf, erläutern Sie Ihr Ergebnis hier:

Experiment D4:

Experimente zur Reihenschaltung mehrerer Solarmodule SUSE 4.3RB

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

Vor der Praxis zuerst etwas Theorie:

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

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

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

Experiment D4.1:

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

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

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

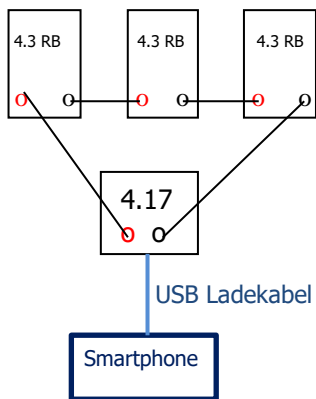
Reihenschaltung von Solarmodulen ($S = \dots\dots\dots W/m^2$)

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

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

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

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



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

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

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

Experimentelle Lernstationen zur Solarenergie

Photovoltaik, Solarstrahlung, Solarthermie, Optoelektronik

Experimente für Unterricht, Ausbildung, Workshops, Projekttag, Praktika

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

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

Experiment LS2

Wie viele Solarmotoren kann man an ein Solarmodul anschließen?

Wie viele LEDs kann man an ein Solarmodul anschließen?

Niveaustufe 1

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

Hinweise zum Experiment:

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

Versuchsdurchführung 1:

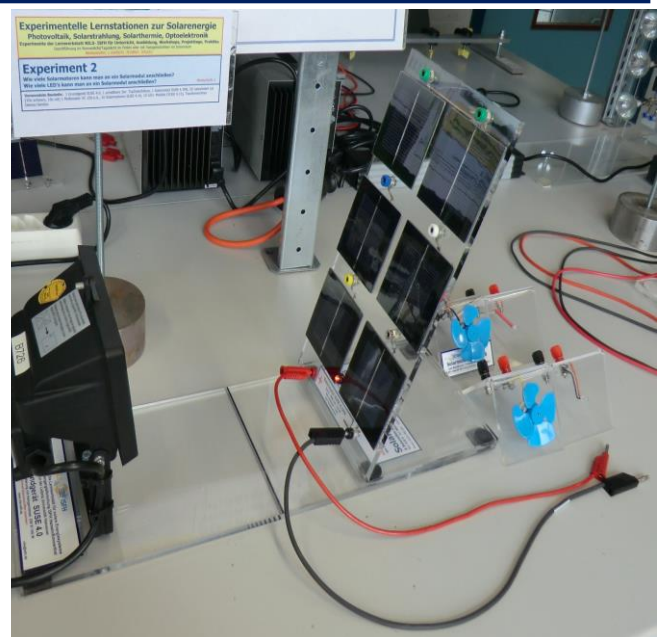
Schließe 1 Solarmotor an das Solarmodul an, wenn er sich schnell dreht kannst Du einen 2. Solarmotor dazu anschließen, mache immer so weiter. Teste, wie viele Solarmotoren das Solarmodul antreiben kann. Die Art der elektrischen Schaltung kannst Du Dir selbst überlegen (versuche sowohl Parallel- wie auch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

Versuchsdurchführung 2:

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

Versuchsdurchführung 3:

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



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

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

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

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

Experimentelle Lernstationen zur Solarenergie

Photovoltaik, Solarstrahlung, Solarthermie, Optoelektronik

Experimente für Unterricht, Ausbildung, Workshops, Projekttag, Praktika

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

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

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

Niveaustufe 1-2

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

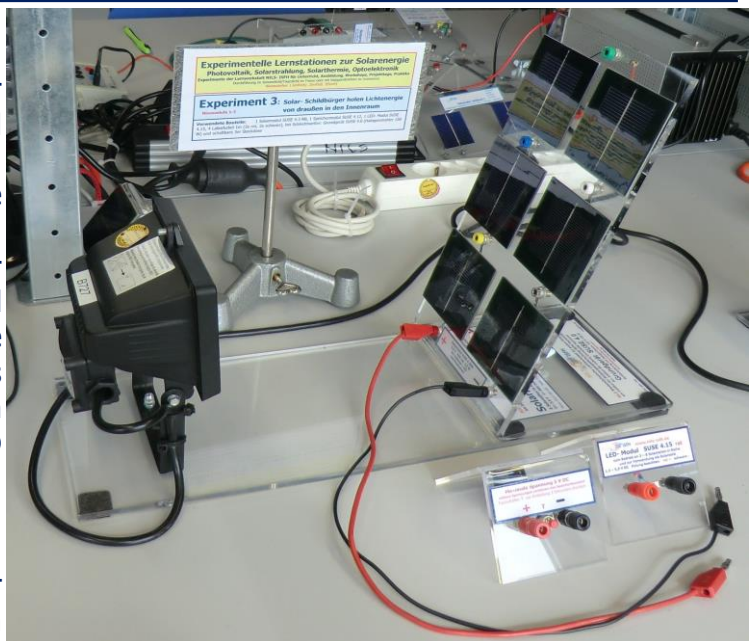
Hinweise zum Experiment:

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

Versuchsdurchführung:

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

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



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

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

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

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

G Experimente mit den LED- Modulen SUSE 4.15

IR, rot, grün, blau, rainbow

G1 Grundlagen

In der Sonnenfängerbox SEKI sind die **LED- Module SUSE 4.15** IR, rot, grün, blau, rainbow für Experimente mit **SUSE 4.3 RB** als Zubehör beigelegt.

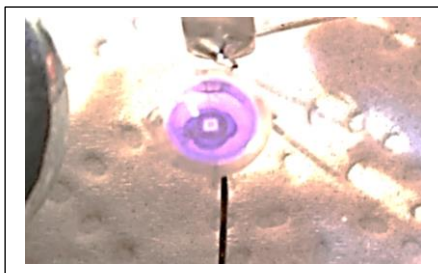
Mit **SUSE 4.3 RB** lassen sich interessante Experimente mit LEDs durchführen, siehe hierzu als theoretische Grundlage die Infodatei „Aufbau und Funktion von LEDs.“

Eine **LED sendet nur monochromatisches Licht** aus, d.h. Licht einer Farbe/Wellenlänge, genau genommen ein sehr schmales Wellenlängenspektrum.

Im Gegensatz zu Glühlämpchen benötigen LEDs aufgrund Ihrer Konstruktion eine Mindestspannung, ab der sie aufleuchten, diese Mindestspannung steigt von Infrarot IR über rot, grün, blau an.

Die **LED rainbow** ist eine Besonderheit, in ihrem Gehäuse sind 3 LEDs verbaut, rot, grün, blau die mit einem ebenfalls integrierten elektronischen Chip angesteuert werden so dass sie Mischlicht in verschiedenen Farbmischungen abstrahlen. Rainbow- LEDs benötigen 3V Spannung.

Die **IR- LED 950 nm** ist eine weitere Besonderheit, ihr Licht kann man mit bloßem Auge nicht sehen, weil unser Auge Lichtwellen über 800 nm nicht mehr wahrnehmen kann, nur eine Smartphone- oder Digitalkamera kann das Licht zeigen, diese Fotochips in den Kameras sind noch bis ca. 1000 nm empfindlich, das folgende Foto zeigt das Licht der IR- LED:



Die **Digitalkamera zeigt das Infrarot- LED- Licht** in violetter Farbe an, man erkennt im Innern der LED den kleinen leuchtenden Kristall und das violett leuchtende Gehäuse. Mit bloßem Auge sieht man nichts, man glaubt, dass die LED nicht leuchtet!

Wie oben bereits beschrieben, benötigt eine LED zum Leuchten eine Mindestspannung, abhängig von ihrer Leuchtfarbe:

LED IR ca. 1,3 V

LED rot ca. 1,7 V

LED grün ca. 2,3 V

LED blau ca. 3,1 V

Diese Eigenschaft kann mit den nachfolgenden Experimenten gezeigt werden.

G2 Experimente mit LEDs

Benötigte Bauteile:

1. Solarmodul SUSE 4.3
2. RB LED-Module SUSE 4.15 IR, rot, grün, blau, rainbow
3. Multimeter mit 2 Laborkabel
4. 2 Laborkabel
5. Smartphone-Kamera
6. Halogenstrahler 120W oder Overhead- Projektor.

Gehen Sie ins Freie ins natürliche Sonnenlicht und richten Sie die Solarzellen zur Sonne aus. Im Innenraum bestrahlen Sie das Solarmodul mit Halogen- oder Rotlicht oder legen Sie das Modul auf die Glasplatte eines leuchtenden Overheadprojektors, achten Sie darauf, dass alle 6 Solarzellen gleichmäßig gut bestrahlt werden!

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

Die Buchsenbelegung am Solarmodul SUSE 4.3RB

Schließen Sie jede LED mit einem rot- schwarzen Laborkabelpaar polrichtig nacheinander an die oben gezeigten Buchsenpaare an und beobachten Sie die Leuchterscheinung, die IR- LED muss mit der Smartphone-Kamera beobachtet werden, richten Sie die Kamera- Linse genau auf die LED aus!

Schließen Sie ebenfalls ein Multimeter im Messbereich 20V DC mit an, indem sie die Laborkabel des Multimeters farbrichtig in die Laborkabelstecker der LED- Module stecken.

Tragen Sie die Ergebnisse in die Tabelle ein!

Buchsenpaar an 4.3RB	Spannung in V	Leuchten LED IR	Leuchten LED rot	Leuchten LED grün	Leuchten LED blau	Leuchten LED rainbow
schwarz- silber						
schwarz- weiß						
schwarz- grün						
schwarz- blau						
schwarz- gelb						
schwarz- rot						

Notieren Sie Ihre Beobachtungen, Ergebnisse und Ideen hier:



SUN didactics

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: wolfsch

Das Solarmodul CM400B

Preiswertes, robustes Mini- Einsteiger- Solarmodul
mit Dünnschicht- Solarmodul und LED grün

sehr gut geeignet für den naturwissenschaftlichen Unterricht in der Sekundarstufe I
Gerätebeschreibung und Experimente mit SUSE CM400B

Die Gerätebeschreibung

Das Solarmodul SUSE CM400B ist ein preiswertes robustes Solarmodul für Basisexperimente zur Photovoltaik für den Sachkundeunterricht in der Grundschule und für den naturwissenschaftlichen Unterricht in den Klassenstufen 5-7.

Das Gerät besteht aus einem Plexiglaswinkel im Maß 160mm x 80mm, mittig abgeknickt um 75°.

Auf der Vorderseite befindet sich das Dünnschicht-Solarmodul (Glasplatte 37mm x 37mm) mit 4 integrierten Solarzellen in interner Reihenschaltung. Die 4 Solarzellen sind auf dem Foto als vertikale Streifen zu erkennen. Die Spannung beträgt bei strahlendem Sonnenschein ca. 3V, der Kurzschlussstrom ca. 25 mA.

Die im Solarmodul erzeugte elektrische Energie wird direkt einer LED zugeführt, die sich auf der Rückseite befindet.

Das Solarmodul SUSE CM400B

Bei SUSE CM400B sind zusätzlich zu SUSE CM400 ein Messbuchsenpaar (rot-schwarz) und ein Schalter zum Ein- oder Ausschalten der LED eingebaut.

Die Messbuchsen sind direkt mit dem Pluspol (rot) und dem Minuspol (schwarz) des Solarmoduls verbunden.

Hier können Messungen zur Modulspannung mit oder ohne LED und zum Kurzschlussstrom durchgeführt werden.

Das Gerät ist sehr empfindlich, bereits im beleuchteten Innenraum leuchtet die LED, sie wird immer heller, je mehr man sich dem Fenster nähert und dann ins Freie geht. Auch vor Halogen- oder Glühlampen funktioniert das Modul sehr gut, LED- Lampen sind wegen ihres anderen Lichtspektrums nur wenig geeignet.



Im Freien leuchtet die LED auch bei sehr trübem Wetter deutlich, bei Sonnenschein sehr hell. Das Gerät zeigt das **Phänomen der Photovoltaik, die direkte Umwandlung von Strahlungsenergie des Lichts in elektrische Energie**, die die LED zum Leuchten bringt.

Das Gerät ist bei www.sundidactics.de als **Fertiggerät oder als Bausatz** erhältlich. Der Bausatz enthält den gebohrten und gebogenen Plexiglasträger, das Solarmodul mit Anschlussdrähten rot/schwarz und 2 Streifen doppelseitiges Industrieklebeband, ein Aufkleber- Typschild sowie die LED in der gewünschten Farbe.

Zum Selbstbau ist eine Spitzzange und optional eine Lötstation notwendig, aber auch ohne Löten lässt sich das Gerät herstellen, auf Wunsch wird bei SUNdidactics die LED bereits an die Drähte des Solarmoduls gelötet. In der Experimentieranleitung finden sich Experimente zu den Modulen.

Technische Informationen:

Solarmodul **aSi** (amorphes Silizium) mit 4 Solarzellen in interner Reihenschaltung



Vorderseite

Rückseite mit + und - Kabel

K = Kontaktierungszone 1...4 = Solarzellen 1-4 in interner Reihenschaltung

Die Solarzellen im Modul bei SUSE CM400B sind amorphe Dünnschicht- Solarzellen, hier ein Info zur Amorphen Silizium-Dünnschichttechnologie:

Amorphes Silizium (a-Si) ist die nicht-kristalline Form des Siliziums. Das Material kann mit Wasserstoff legiert werden, um hydrogenisiertes amorphes Silizium (a-Si:H) zu bilden, was in einer signifikant niedrigeren Anzahl von Defekten und daher einem zweckmäßigen Material für Halbleiteranwendungen, inklusive Photovoltaik, resultiert.

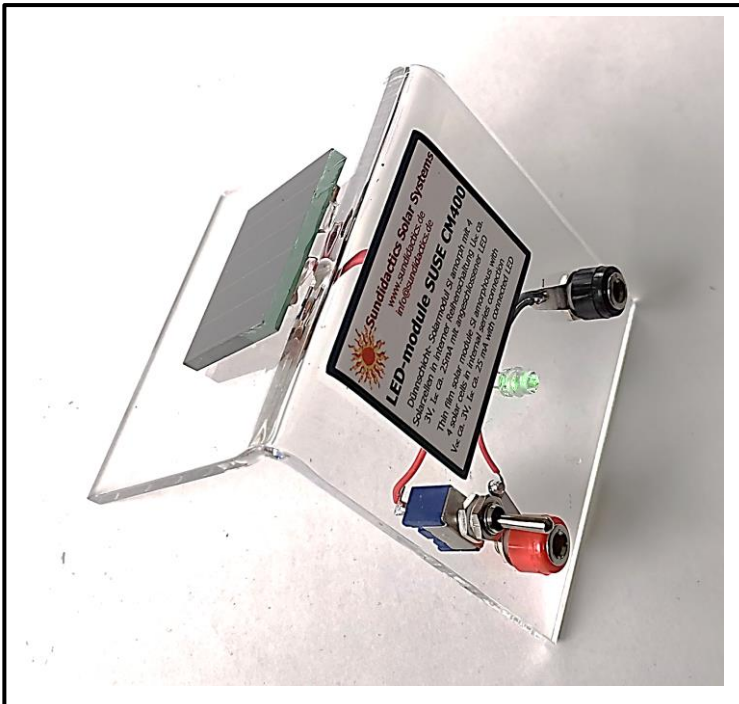
Amorphe Silizium-Photovoltaikmodule werden aus dünnen Schichten von a-Si:H auf einem leitenden Träger gefertigt. Amorphe Silizium-basierte Dünnschicht-Photovoltaikmodule wurden in 1976 erfunden und werden seit Jahrzehnten in einer weiten Bandbreite von solaren Batterieanwendungen genutzt. Hier sieht man eine typische Modulstruktur:

a-Si:H-Dünnschicht-PV-Module besitzen diverse Schlüsselvorteile. Erstens kann eine a-Si-Dünnschicht bei relativ niedrigen Temperaturen auf eine Vielzahl von Substraten aufgebracht werden, was viele interessante Anwendungsmöglichkeiten eröffnet. Zweitens kann eine a-Si-Dünnschicht mithilfe von PECVD-Technologie (**p**lasma **e**nhanced **c**hemical **v**apor **d**eposition – plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung) auf große Flächen aufgebracht werden. Drittens nutzen a-Si-Dünnschichtmodule Silizium, das reichlich vorhanden und umweltfreundlich ist, verglichen mit den Materialien, die für andere Dünnschichttechnologien benötigt werden.

Dünnschicht-basierte PV-Module bieten eine gute Möglichkeit, um die Herstellungskosten zu senken.

Ein Grund ist, dass sehr wenig Material pro Modul gebraucht wird. Die Energie, die für den Herstellungsprozess von Dünnschicht-PV-Modulen benötigt wird, ist signifikant geringer als jene, die im Herstellungsprozess von kristallinen Silizium-PV-Modulen benötigt wird. Zusätzlich sind Dünnschicht-PV-Module signifikant dünner als konventionelle kristalline solare PV-Module. Daraus resultierend beträgt die Menge an Siliziummaterialien, die in der Dünnschicht-PV-Modulherstellung gebraucht werden, nur annähernd 1% bis 2% derer in der Herstellung kristalliner PV-Module.

Experimente mit dem Solarmodul SUSE CM400B



Das Solarmodul SUSE CM400B

Das Solarmodul **SUSE CM400B** hat 2 Buchsen, die direkt mit dem Plus- und Minusanschluss des gläsernen Solarmoduls verbunden sind, **rote Buchse +, schwarze Buchse -**

Die grün leuchtende LED ist über den Schalter an die Buchsen angeschlossen, sie lässt sich für Experimente Ein- und Ausschalten.

Das kleine Glas- Solarmodul besteht aus 4 Dünnschicht- Solarzellen in interner Reihenschaltung. Die Modulspannung und der Kurzschlussstrom können mit Experimenten bestimmt werden.

Die Experimente

Notwendige Bauteile: Solarmodul SUSE CM400B, Multimeter mit 2 Laborkabeln rot/schwarz, Halogenlampe oder Rotlichtlampe, Zollstock

1. Experimente bei Tageslicht im Innenraum und Outdoor

1.1 Experimente mit Beobachtungen der LED- Helligkeit ohne Messungen

Gehe mit dem Solarmodul an die verschiedenen Orte und beobachte die Helligkeit des LED-Lichts, bei den letzten beiden Zeilen kannst Du Dir eigene neue Orte suchen.

Ort	Helligkeit der LED Solarmodul nach vorne ausgerichtet	Helligkeit der LED Solarmodul nach oben ausgerichtet
Im Innenraum		
Im Innenraum Richtung Fenster ausgerichtet		
Im fensterlosen Innenraum		
Am Fenster hinter Glasscheibe		
Am offenen Fenster nach außen ausgerichtet		
Draußen im Freien Strahlender Sonnenschein		
Draußen im Freien Bedeckter Himmel oder im Schatten		

Welche Beobachtungen hast Du gemacht, fällt Dir etwas auf? Notiere Deine Beobachtungen und Ideen hier:

1.2 Experimente mit Messungen der elektrischen Spannung des Solarmoduls

Anschluss des Multimeters: Stecke das rote Pluskabel in die Buchse V und das schwarze Minuskabel in die Buchse Common (Minus), Messbereich 20V DC. Stecke das rote Pluskabel in die rote Buchse am SUSE CM400B, das schwarze Minuskabel in die schwarze Buchse. Wir messen die elektrische Spannung an den gleichen Orten wie in Experiment 1.1, einmal mit eingeschalteter LED, einmal mit ausgeschalteter LED.

Ort	Spannung in V LED an	Spannung in V LED aus
Im Innenraum		
Im Innenraum Richtung Fenster ausgerichtet		
Im fensterlosen Innenraum		
Am Fenster hinter Glasscheibe		
Am offenen Fenster nach außen ausgerichtet		
Draußen im Freien Strahlender Sonnenschein		
Draußen im Freien Bedeckter Himmel oder im Schatten		

Welche Beobachtungen hast Du bei der Spannungsmessung gemacht, fällt Dir etwas auf? Notiere Deine Beobachtungen und Ideen hier:

1.3 Messung des Kurzschlussstroms:

Der Kurzschlussstrom ist die maximale Stromstärke, die eine Solarzelle oder ein Solarmodul abgibt, er hängt von der Lichtintensität, vom Solarzellentyp und von der Solarzellenfläche ab.

Stelle am Multimeter den Messbereich um auf den Messbereich 200mA DC.

Gehe nun an dieselben Orte und bestimme den Kurzschlussstrom, die LED ist ausgeschaltet:

Ort	Kurzschlussstrom in mA
Im Innenraum	
Im Innenraum Richtung Fenster ausgerichtet	
Im fensterlosen Innenraum	
Am Fenster hinter Glasscheibe	
Am offenen Fenster nach außen ausgerichtet	
Draußen im Freien Strahlender Sonnenschein	
Draußen im Freien Bedeckter Himmel oder im Schatten	

Welche Beobachtungen hast Du gemacht, fällt Dir etwas auf? Notiere Deine Beobachtungen und Ideen hier:

1.4 Bestimmung der elektrischen Leistung des kleinen Glas- Solarmoduls

Eine praktische, nicht ganz exakte Leistungsmessung in W bekommst Du, wenn Du an einem der Orte die Leerlaufspannung bei ausgeschalteter LED und den Kurzschlussstrom multiplizierst:

$$\mathbf{P = U * I}$$

Beispiel einer Messung im strahlenden Sonnenschein:

$U = 3,4 \text{ V}$, $I = 24 \text{ mA}$ ergibt $P = 81,6 \text{ mW} = 0,0816 \text{ W}$, eine geringe Leistung!

Führe selbst 2 Leistungsmessungen für 2 unterschiedliche Orte durch: