



## Sonnenfängerbox Sekundarstufe I Ein experimenteller Klassensatz zur Solarenergie



# Handbuch zur Sonnenfängerbox SEKI Station 4

### Das Gerätesystem der Lernstation 4

Lernstation 4 ist 2-fach in der Sonnenfängerbox

Lernstation Thema	Experimentiergeräte für 1 Lernstation	Messtechnik und Zubehör	Themenschwerpunkte der Experimente
<b>Lernstation 4</b>  <b>Solarmodule II</b>  <b>Solare Elektromobilität I</b>  <b>4</b>	1 SUSE Solarfahrzeug 1.2 1 Solarmodul Solartankstelle SUSE 4.35 1 Solarfahrzeug Solarflitzer turboSC  von Schule: 1 Overheadprojektor zum Experimentieren auf der Glasplatte von Schule: 1 Halogenstrahler 120W oder Rotlichtlampe	1 Dig. Multimeter 4 Laborkabel mit 4mm Stecker 2x schwarz + 2x rot 1 Stoppuhr im priv. Smartphone 1 Zollstock 1 Handbuch in pdf	Elektromobilität, Auftanken eines Solarfahrzeuges am Solarmodul mit unterschiedlichen Spannungen, Auf- und Entladen eines Superkondensators, Fahrexperimente mit dem Solarfahrzeug SF1.2 Fahrexperimente mit dem Solarfahrzeug SUSE Solarflitzer turboSC

## Gliederung Handbuch Station 4:

Nr.	Inhalt	Rote Seitenzahlen
4-1	Basisinfo mit didaktischen und methodischen Hinweisen	1-2
4-2	Gerätedateien mit technischen Daten und Sicherheitshinweisen	3-10
4-3	Solardidaktische Grundlagen zu Solarstrahlung, Solarzelle, Solarmodul Infodateien und Arbeitsblätter	11-21
4-4	Experimente mit SUSE 4.35, Solarfahrzeug SF1.2, Solarflitzer turboSC und Zusatzgeräten	22-39

### 4-1 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.



Auch die Mobilität erlebt einen großen Wandel vom Verbrennungsmotor, Benzin oder Diesel hin zum Elektromotor als Antriebsquelle. Fahren mit einem E- Auto ist energetisch nur sinnvoll und nur dann umweltfreundlich und nachhaltig, wenn die elektrische Energie zum Laden der Akkus aus erneuerbaren Energiequellen stammt.

Ein E- Auto, welches mit Strom aus einem Kohlekraftwerk getankt wird, erzeugt zwar selbst keine Abgase, dafür entstehen die Abgase beim Kohlekraftwerk, nicht nachhaltig, nicht umweltfreundlich!

## **Mit den Experimenten der Station 4 experimentieren wir zur solaren Elektromobilität, Betrieb von 2 E- Autos mit Strom aus Sonnenenergie.**

**Mit dem 1. Modell- E- Auto bei Station 4 – SUSE Solarfahrzeug 1.2-** können wir an der **Solartankstelle SUSE 4.35** umweltfreundlich und nachhaltig elektrische Energie tanken und das Auto damit fahren lassen. Das entspricht in der Realität dem Tanken eines E-Fahrzeugs über eine Photovoltaik- Dachanlage. Mit dem mitgelieferten Zollstock und der Stoppuhr können wir eine Messstrecke markieren und über Strecken- und Zeitmessung die Geschwindigkeit des Fahrzeugs messen.

Das Solarfahrzeug hat keinen Akku zur Stromspeicherung, sondern 2 Superkondensatoren, diese lassen sich schneller laden, im strahlenden Sonnenschein ist der Superkondensator in ca. 1 Minute vollgeladen, bei bedecktem Himmel dauert es ca. 2-3 Minuten.

**Das 2. Modell- E- Auto SUSE Solarflitzer turbo SC** gewinnt seine elektrische Energie zum Aufladen des Speicherkondensators (2x 5F) aus dem kleinen Solarmodul auf dem Dach des Fahrzeugs. In der Realität existiert diese Version bei PKWs mit integrierten Solarmodulen (z.B. Sono- Motors oder Lightyear One) zur Reichweitenverlängerung. Im ISFH gibt es ein Forschungsprojekt mit einem Solar- Streetscooter mit 2kW- Photovoltaikanlage auf dem Fahrzeug, siehe Datei bei den solardidaktischen Grundlagen. Auch mit diesem Modell- E-Fahrzeug lassen sich interessante Experimente zur solaren Elektromobilität durchführen!

**Die Station 4 ist 2-fach vorhanden**, die SchülerInnen arbeiten in 3er Gruppen an dieser Lernstation. Die betreuende Lehrkraft wählt aus dem Kapitel „Experimente“ die für das Zeitbudget und die Leistungsstärke 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.

Für Schul-Projekte zur Solaren Elektromobilität lässt sich der SUSE- Solarflitzer turboSC auch im Klassensatz als Bausatz durch Schülerinnen und Schüler selbst herstellen und anschließend mit diesem Auto ausführlich experimentieren! Bezugsquelle: [www.sundidactics.de](http://www.sundidactics.de) oder mail an [info@sundidactics.de](mailto:info@sundidactics.de)



## Sonnenfängerbox Sekundarstufe I Ein experimenteller Klassensatz zur Solarenergie

# Handbuch zur Sonnenfängerbox SEKI Station 4

### 4-2 Gerätedateien mit technischen Daten und Sicherheitshinweisen

Auf den nachfolgenden Seiten werden die im Gerätesatz der Station 4 vorhandenen Geräte mit ihren technischen Daten und Sicherheitshinweisen vorgestellt, **bitte die Sicherheitshinweise beachten!**

### Das Gerätesystem der Lernstation 4

Lernstation 4 ist 2-fach in der Sonnenfängerbox

Lernstation Thema	Experimentiergeräte für 1 Lernstation	Messtechnik und Zubehör	Themenschwerpunkte der Experimente
Lernstation 4  Solarmodule II  Solare Elektromobilität I	1 SUSE Solarfahrzeug 1.2 1 Solarmodul Solartankstelle SUSE 4.35 1 Solarfahrzeug SUSE Solarflitzer turboSC  von Schule: 1 Overheadprojektor zum Experimentieren auf der Glasplatte von Schule: 1 Halogenstrahler 120W oder Rotlichtlampe	1 Dig. Multimeter 4 Laborkabel mit 4mm Stecker 2x schwarz + 2x rot 1 Stoppuhr im priv. Smartphone 1 Zollstock 1 Handbuch in pdf	Elektromobilität, Auftanken eines Solarfahrzeuges am Solarmodul mit unterschiedlichen Spannungen, Auf- und Entladen eines Superkondensators, Fahrexperimente mit dem Solarfahrzeug SF1.2 Fahrexperimente mit dem Solarfahrzeug SUSE Solarflitzer turboSC

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!  
Weiterhin wird der Zollstock zum Abstecken einer Messstrecke (z.B. 5 m) zur Geschwindigkeitsbestimmung des Fahrzeugs benötigt.
- Die Stoppuhr im priv. Smartph. dient zur Zeitmessung bei der Geschwindigkeitsmessung. Teilt man die Wegstrecke  $s$  (in m) durch die Zeit  $t$  (in s), erhält man die Geschwindigkeit  $v$  (in m/s).  
 $v = s/t$  = Geschwindigkeit in m/s multipliziert man diesen Wert mit 3,6, erhält man die Geschwindigkeit in km/h.



# 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 SUSE- Solarfahrzeug 1.2

Solare Elektromobilität Solarfahrzeug mit Superkondensator-  
Energiespeicher 8 F zum Aufladen an einer Solartankstelle

$U_{max} = 5,6V$ , Antrieb mit SUSE- Solarmotor und 2- stufigem Getriebe

Solarfahrzeug 1.2



Maße: Länge ca. 190 mm, Breite ca.95 mm, Höhe ca. 35 mm

### Ansicht von oben:

**Links vorne** erkennt man den Solarmotor mit dem 2- stufigen Getriebe an der Vorderachse.

**Oben** befindet sich die Elektronik-Platine, auf deren Unterseite sind die beiden elektrischen Energiespeicher (2 Superkondensatoren 8 F in Reihenschaltung). In der Mitte oben ist der Betriebsschalter, darunter 3 Buchsen. An das rot- schwarze Buchsenpaar lassen sich zum Laden der Superkondensatoren Laborkabel einstecken, die grüne Buchse ist eine Messbuchse zur Spannungsmessung an den Superkondensatoren.

## Das SUSE- Solar- Fahrzeug 1.2 mit 2 Superkondensatoren für $U_{max} = 5,6 V DC$

Für das **Aufladen** an Solarmodulen bis zu **8 Solarzellen in Reihenschaltung** ist das Fahrzeug mit 2 Superkondensatoren mit je 8 F in Reihenschaltung ausgestattet, die mit einer Spannung bis zu 5,6 V aufgeladen werden können.

Dadurch fährt das Fahrzeug sehr schnell und speichert bis zu **100 J Energie** nach vollem Auftanken mit 5V DC! Das Fahrzeug hat keine eigene Solarzelle, sondern wird vor der Fahrt an einer Solartankstelle „getankt“, dabei wird der elektrische Energiespeicher mit max. 5,6 V DC aufgeladen.

Mit einer Ladung fährt das Auto mit **hoher Geschwindigkeit > 50 m**.

Je nach Lichtintensität = Bestrahlungsstärke S dauert der Ladevorgang nur ca. 1 - 2 min. bei strahlendem Sonnenschein bzw. ca. 3 min. bei bedecktem Himmel.

So kann das Fahrzeug auch bei sehr stark bedecktem Himmel geladen werden, ein reines Solarzellen- Fahrzeug ohne Speicher würde bei diesen Lichtverhältnissen nicht mehr fahren. Mit dem Fahrzeug lassen sich umfangreiche Experimente (z.B. Kondensator- Auf- und Entladung) durchführen.

Zum Aufladen der Superkondensatoren werden an die Buchsen Laborkabel eingesteckt, die zum Solarmodul führen. Der **Betriebsschalter hat 3 Positionen: 1. Laden** (nach hinten geschaltet) **2. AUS** (Mittelposition) **3. Fahren** (Schalter nach vorne geschaltet). Der Auflade- oder Entladevorgang der Superkondensatoren lässt sich durch eine Spannungsmessung am der grün-schwarzen Buchsenpaar oder durch eine Stromstärkemessung in der Zuleitung vom Solarmodul beobachten und messen. Das Fahrzeug kann auch mit einer 4.5 V Flachbatterie aufgeladen werden. Das Fahrzeug und auch das passende Solarmodul sind als Bausatz oder Fertigerät bei SUNdidactics oder NILS- ISFH erhältlich.



Das Solarfahrzeug 1.2 an der **Solartankstelle** (Solarmodul SUSE 4.35), ein Solarmodul mit 2,5V + 5,0V Ausgangsspannung, 8 Solarzellen in interner Reihenschaltung, ideal zum Laden des Solarfahrzeugs.

## Die Betriebsanleitung

### Die Funktion:

Die beiden Superkondensatoren sind die elektrischen Energiespeicher des Fahrzeugs, aus ihm bezieht der Elektromotor die Energie zum Fahren, dabei entladen sich die Kondensatoren. Bei realen Elektrofahrzeugen wird ein Akku verwendet. Vorteil des Superkondensators ist die schnelle Ladung, bei strahlendem Sonnenschein dauert die Aufladung mit einem Solarmodul (= Solartankstelle) nur ca. 1- 2 Minuten. Im Gegensatz zum Akku benötigt der Superkondensator auch keine Ladeelektronik mit bestimmten Ladestromstärken. Die Reichweite des Fahrzeugs bei voll aufgeladenem Superkondensator und glatter Fahrbahn ist ca. 100 m.

Bei bedecktem Himmel oder geringer Strahlung dauert das Aufladen länger, die Aufladung kann mit einem Voltmeter beobachtet/gemessen werden. Im **Innenraum** kann das Solarmodul vor einem Halogenstrahler, einer Rotlichtlampe oder auf der Platte eines Overheadprojektors positioniert werden.

**Geeignete Solarmodule zum Aufladen: SUSE 4.3RB, SUSE 4.32, SUSE 4.35** oder 8 Solarzellen in Reihe.

**Maximale Ladespannung: 5,6 V, bei höheren Spannungen werden die Superkondensatoren zerstört.**

Das Fahrzeug hat **3 Buchsen** für 4mm- Laborkabel:

- |                        |                                                                                 |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Buchse rot:</b>     | <b>Pluspol</b> der Zuleitung vom Solarmodul (Solartankstelle)                   |
| <b>Buchse schwarz:</b> | <b>Minuspol</b> der Zuleitung vom Solarmodul zum Minuspol des Superkondensators |
| <b>Buchse grün:</b>    | <b>Pluspol</b> des Superkondensators = Messbuchse zur Spannungsmessung          |

**Funktion des Schalters**, der Schalter hat 3 Positionen:

- A** In Fahrtrichtung nach vorne: **Fahrbetrieb**, der Elektromotor ist an den Superkondensator angeschlossen
- B** Mitte: **AUS** Weder Fahrbetrieb noch Aufladebetrieb
- C** In Fahrtrichtung nach hinten: **Tanken = Aufladebetrieb**, die Superkondensatoren sind an das rot-schwarze Buchsenpaar zum Aufladen angeschlossen.

## 1. Die Bedienung des Fahrzeuges

### 1.1 Aufladung

Der Pluspol des Solarmoduls wird mit einem roten Laborkabel mit der roten Buchse des Fahrzeugs verbunden, der Minuspol des Solarmoduls mit einem schwarzen Laborkabel mit der schwarzen Buchse. Nun wird der Schalter nach hinten auf „**Laden**“ geschaltet, der Ladevorgang beginnt. Je nach Lichtintensität dauert der Ladevorgang nur <1-ca. 3 Minuten. Mit einem Voltmeter am rot-schwarzen Buchsenpaar (Messbereich 20V DC) kann der Ladevorgang beobachtet werden. Die Spannung steigt beim Aufladen langsam an und erreicht die Modulspannung des Solarmoduls. **Nach erfolgreicher Aufladung wird der Schalter auf AUS (Mittelposition) geschaltet!**

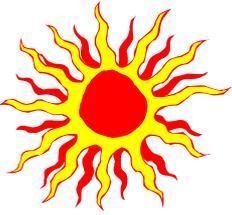
### 2.2 Fahren

Das Laborkabelpaar wird aus den Buchsen entfernt, das Fahrzeug wird auf den Boden auf eine ebene und glatte Fläche gestellt. Dann wird der Schalter nach vorne auf „**Fahren**“ geschaltet, das Fahrzeug fährt davon. Während der Fahrt entlädt sich der Superkondensator, die Geschwindigkeit wird geringer, bei ca. 0,3 V bleibt das Fahrzeug stehen. Wenn bei der Fahrt die Entladung des Superkondensators beobachtet werden soll, wird das Fahrzeug aufgebockt, so dass sich die Räder frei in der Luft drehen, an das grün- schwarze Buchsenpaar wird ein Voltmeter angeschlossen (Messbereich 20V DC), man erkennt das allmähliche Absinken der Spannung am Superkondensator.

### 2.3 Experimente

Mit der ausführlichen Experimentieranleitung zum Solarfahrzeug 1.2 lassen sich umfangreiche Experimente mit dem Fahrzeug durchführen:

- Fahrbetrieb mit verschiedenen Ladespannungen, Messungen der Geschwindigkeiten und Reichweiten
- Fahrbetrieb bei verschiedener Lichtintensität, Messungen der Geschwindigkeiten und Reichweiten
- Analyse der Aufladung des Superkondensators bei verschiedenen Bestrahlungsstärken,
- Analyse der Entladung des Superkondensators, Bestimmung der Halbwertszeiten
- Energiespeicherung und Energie- Umwandlungsvorgänge



**Photovoltaik-System SUSE**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung

**Solarthermiesystem**  
 Wärme von der Sonne



## Das Solarmodul SUSE 4.35

**Solarmodul 2,5 V/ 5,0 V/ 630 mA/2,4 W** mit 8 Solarzellen in interner Reihenschaltung  
 besonders geeignet für Experimente mit dem Solarspeicher SUSE 4.12, Solarmotor 4.16,  
 LED- Module 4.15, Solarradio 4.36 und als Solartankstelle für das Solarfahrzeug 1.2

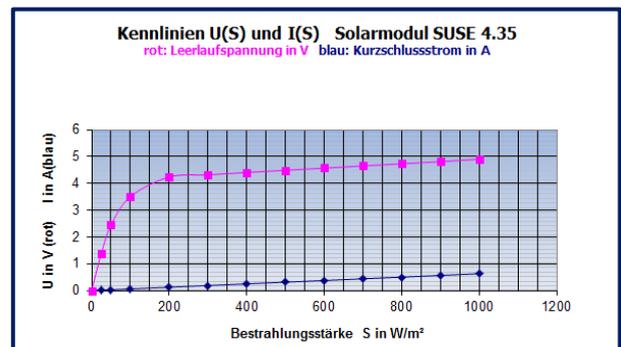


**Das Solarmodul SUSE 4.35** ist ein robustes Solarmodul mit 8 Solarzellen in interner Reihenschaltung. Die **Modulspannung ist 4,96 V**, der **Kurzschlussstrom 630 mA**, die **Leistung 2,4 W** bei Standard-Test- Bedingungen (Bestrahlungsstärke 1000 W/m<sup>2</sup>, T = 25°C, AM 1,5). Die Solarzellen sind auf einem um 75° gebogenen Plexiglasträger befestigt, auf der kurzen Seite sind 3 Buchsen **Plus 4,96 V (rot)**, **Plus 2,48 V (grün)** und **Minus (schwarz)** und unter der grünen Buchse eine **grüne Indikator LED** montiert, diese signalisiert die Betriebsbereitschaft.

Besonders geeignet ist dieses Modul als Solartankstelle für das SUSE- Solarfahrzeug 1.2 sowie für Experimente mit dem Speichermodul SUSE 4.12, LED- Module SUSE 4.15, Solarmotoren SUSE 4.16 und Solarradio SUSE 4.36. Das Gerät ist auf einem Plexiglasträger 160 x 330 mm aufgebaut, um 75° gebogen.

**Oben:** Das Solarmodul SUSE 4.35, auf der Vorderseite befinden sich die 8 Solarzellen in einem Modul, auf der Rückseite erkennt man die Buchsen rot (+4,96 V, grün (+2,48 V) und schwarz (-), darunter die grüne LED zur Betriebsanzeige.

**Links:** Das Amperemeter zeigt den Kurzschlussstrom 0,63 A = 630 mA an  
**Unten:** Die U(S)- und die I(S)- Kennlinie des Solarmoduls SUSE 4.35



Die x- Achse ist die Lichtintensität = Bestrahlungsstärke S des Lichts in W/m<sup>2</sup>. 0 ist absolute Dunkelheit, 1000 ist strahlender Sonnenschein bei tiefblauem Himmel im Sommerhalbjahr. Die **Modulspannung U<sub>oc</sub> (roter Graph)** steigt zunächst von 0 aus stark an und nähert sich allmählich dem Wert 4,96 V, mathematisch ist es eine e- Funktion. Der **Kurzschlussstrom I<sub>sc</sub>** steigt linear, als Gerade, von 0 bis zu seinem Maximalwert 0,63 A = 630 mA an. Wegen des linearen Verlaufs lässt sich aus dem Kurzschlussstrom einfach die Bestrahlungsstärke des Lichts bestimmen, dies wird bei den Experimenten mit einer Dreisatzrechnung durchgeführt.

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

## SUNdidactics Solar Systems Hildesheim, Germany

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

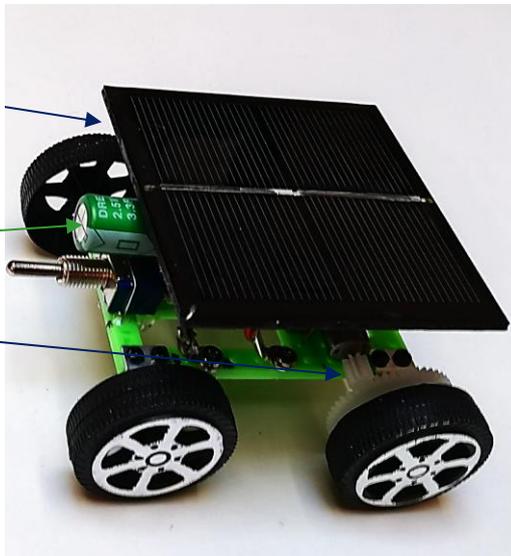
# Solare Elektromobilität Der Solarflitzer turboSC

## Einsteiger- Solarfahrzeug mit Solarmodul und Speicherkondensator Gerätebeschreibung und Betriebsanleitung

QR Solarflitzer turboSC



Auf der Oberseite  
 Befindet sich das  
 Solarmodul 1,26V/  
 480 mA bei  $S = 1000$   
 $W/m^2$ .  
 Links ist der  
 Betriebsschalter  
 Laden-Aus-Fahren,  
 darüber der grüne  
 Speicherkondensator,  
 Kapazität 5F.  
 Rechts unten erkennt  
 man die weißen  
 Zahnräder des  
 Getriebes, dahinter  
 den Elektromotor.  
 An den Lötösen  
 lassen sich mit einem  
 Multimeter  
 Messungen  
 durchführen.



Mit einem Voltmeter lassen sich am Fahrzeug die  
 Modulspannung, der Kurzschlussstrom sowie die  
 Aufladung und die Entladung des Speicherkondensators  
 messen und Messkurven erstellen. Hier wird bei der  
 Aufladung der Messwert 1,20 V angezeigt.

## Das Solarfahrzeug SUSE Solarflitzer turboSC

Auf dem Chassis des bewährten Solarfahrzeuges SUSE Solarflitzer befindet sich auf dem Distanzwürfel das Solarmodul mit 2 Solarzellen in integrierter Reihenschaltung ( $U_{oc} = 1,26 V / I_{sc} = 480 mA$ ). Links erkennt man den Betriebsschalter mit den 3 Positionen Laden-Aus-Fahren.

Über dem 3-Positions-Schalter ist der Speicherkondensator (Superkondensator 5F) angeordnet, er kann die vom Solarmodul gelieferte Energiemenge von 4 J speichern und nach Umschalten zum Fahren nutzen. Nach dem Umschalten fährt das Auto mit dieser Energie ca. 30m, auch in lichtschwachen Räumen. Aufladen lässt sich der Speicherkondensator entweder Outdoor im Sonnenschein/ Tageslicht oder im Innenraum mit Halogen- oder Rotlichtlampe (LED- Lampen sind wegen des ungeeigneten Lichtspektrums nicht verwendbar). Zum Fahrzeug gibt es zusätzlich einen Bau- und eine Experimentieranleitung!

### Technische Daten:

#### Fahrzeug

Fahrzeuginnenlänge: 85 mm  
 Fahrzeuginnenbreite: 65 mm  
 Fahrzeuginnenhöhe: 43 mm

#### Antrieb

Mini- Elektromotor mit Untersetzungsgetriebe

#### Solarmodul

Modulmaß 60 x 60 mm  
 2 Solarzellen in interner  
 Reihenschaltung  
 $U_{oc} = 1,26 V I_{sc} = 480 mA$

**Energiespeicher:** Superkondensator 5F

### Experimente mit Anleitung

1. Photovoltaik- Experimente mit dem Solarmodul
2. Experimente zur solaren Elektromobilität

### Bauanleitung



### Experimentier- Anleitung



### Die Bedienungsanleitung: Im Normalfall ist der Schalter in Mittelposition AUS

**Aufladen:** Sie gehen mit dem Fahrzeug hinaus ins helle Tageslicht und richten die Solarzelle zur Sonne aus und schalten den Schalter nach **rechts zur Position L**, Ladezeit ca. 2 min. Lichtquellen im Innenraum: Halogenlampen, Overheadproj, Rotlicht  
**Nach dem Laden Schalter wieder auf Mittelposition stellen!**

**Fahren:** Das Fahrzeug wird auf eine ebene Boden- oder Tischfläche gestellt und der Schalter nach **links auf Position F** gestellt, es fährt zügig davon!

Das Fahrzeug wird als Bausatz geliefert, für Anfänger nicht geeignet! Notwendige Werkzeuge für den Bausatzbau:

Kreuzschlitzschraubendreher (in Bausatz enthalten), Spitzzange, Seitenschneider, Abisolierzange, Lötstation mit bleifreiem Lötzinn. Für die Experimente der Experimentieranleitung wird ein Multimeter mit 2 Laborkabeln und 2 Krokodilklemmen benötigt.

## Der Solar- Streetscooter – Ein Forschungsprojekt des ISFH

Als Forschungsprojekt für die solare Elektromobilität wird am ISFH derzeit ein Solar- Streetscooter eingesetzt und im Fahrbetrieb mit vielen Sensoren vermessen. Die solare Modulleistung (15 Module!) liegt bei max. 2,18 kW, sie reicht nicht zum autarken Fahrbetrieb, sie dient zur Reichweitenverlängerung von derzeit ca. 20%.



## Das Solarmodul auf dem Solarflitzer turboSC

### SUSEmod8- ein leistungsstarkes und robustes 1,26 V- Solarmodul für Photovoltaik- Experimente

Das Solarmodul SUSEmod8 enthält **2 Solarzellen in interner Reihenschaltung.**

Modulgröße 60mm x 60mm, 2 Solarzellen mit je 26mm x 52mm

Links: Vorderseite des Solarmoduls  
Rechts: Rückseite des Solarmoduls

Das Solarmodul **SUSEmod8** enthält 2 Solarzellen (1,26V/480mA) in interner Reihenschaltung. Die Solarzellen sind bruchsicher eingebettet in eine Kunststoffplatte der Größe 60mm x 60mm.

Die Oberseite über der Solarzelle ist hochtransparent mit Epoxidharz beschichtet. Auf der Rückseite befinden sich 2 Lötkontakte zum Anlöten der Plus- und Minusleiter.

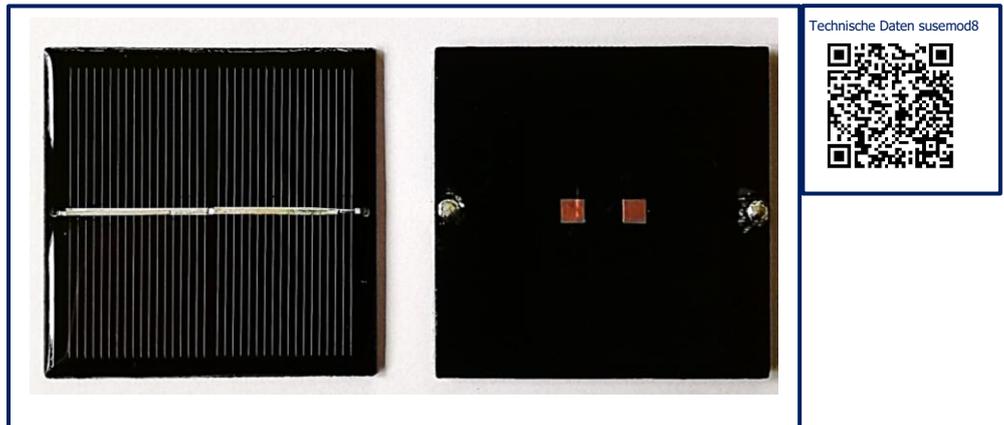
Das Solarmodul kann rückseitig mit doppelseitigem Klebeband oder mit Klebstoff auf glatte Oberflächen aufgeklebt werden. Im Lieferzustand ist die Vorderseite mit einer Schutzfolie bedeckt, diese wird vor Erstgebrauch entfernt.

**Modul:** Kunststoffträger 60mm x 60mm mit hochtransparenter Oberfläche, mechanisch sehr robust

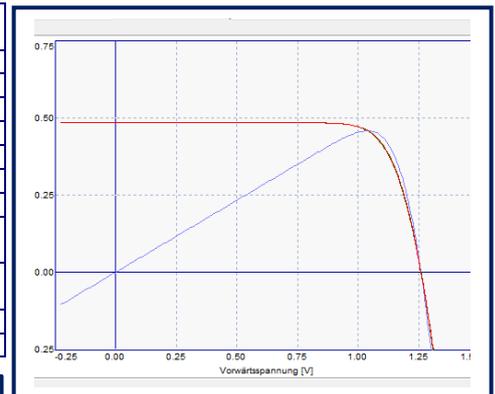
**Solarzellen:** 2 hochwertige monokristalline Solarzellen 26mm x 52mm in interner Reihenschaltung

**Technische Daten bei einer Einstrahlung von  $S = 1000 \text{ W/m}^2$ ,  $T = 25^\circ\text{C}$ ,  $AM = 1,5$**  gemessen im Flasher- Labor des ISFH

Physikalische Größe	Symbol	Zahlenwert	Physikalische Einheit	Bemerkungen
Maße der Solarzellen	s	2x 26 x 52	mm	2 Monokristalline Solarzellen
Leerlaufspannung	$U_{oc}$	1,26	V	Typisch für Silizium
Kurzschlussstrom	$I_{sc}$	0,48	A	Proportional zur Lichtintensität S
El. Leistung im MPP	P	0,475	W	bei Sonnenspektrum, AM 1,5
Wirkungsgrad (Zelle)	$\eta$	17,5	%	Wirkungsgrad der Energieumwandlung
Füllfaktor	FF	78,24	%	FF ist ein Qualitätsmerkmal
Stromdichte	j	35,6	mA/cm <sup>2</sup>	j ist ein Qualitätsmerkmal
Temperaturverhalten Leerlaufspannung $U_{oc}$		- 0,36	% /K	Die Spannung mindert sich bei Erwärmung um 0,36% pro 1K
Temperaturverhalten Kurzschlussstrom $I_{sc}$		+ 0,06	% /K	Der Kurzschlussstrom vergrößert sich um 0,06 % pro 1K
Spannung im MPP	$U_{MPP}$	1,04	V	
Stromstärke im MPP	$I_{MPP}$	0,46	A	

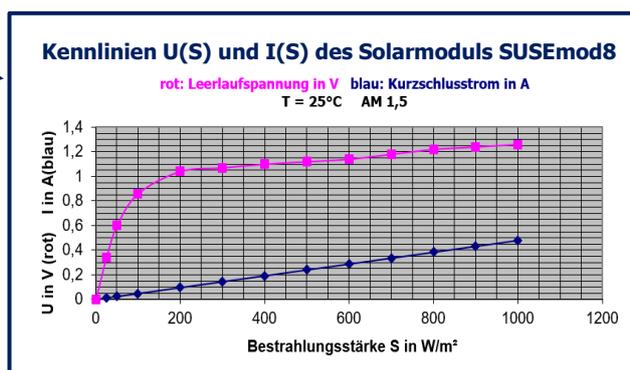


Technische Daten susemod8



### Die U(S)- Kennlinie (rot) und die I(S)- Kennlinie (blau)

Die Kennlinien zeigen die Abhängigkeiten der Leerlaufspannung U (e- Funktion) und des Kurzschlussstroms I (lineare Funktion) von der Bestrahlungsstärke S (Intensität des Lichts) 0 = absolute Dunkelheit 1000 = strahlender Sonnenschein im Sommerhalbjahr bei tiefblauem Himmel



### Die I(U) und die P(U)- Kennlinie

Die rote I(U)- Kennlinie zeigt die Abhängigkeit des Solarzellenstroms von der Solarzellenspannung bei einer ohmschen Belastung der Solarzelle. Der Schnittpunkt mit der x- Achse ist die Leerlaufspannung  $U_{oc}$  der Solarzelle, der Schnittpunkt mit der 0.00- Achse ist die Kurzschlussstromstärke. Die Leistungskurve (blau) zeigt im Maximum den Punkt der maximalen Leistung, den Maximum-Power-Point MPP.



# 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 normalen Laborkabeln mit Bananenstecker durchführen!**

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



Nur für 10A DC Minus Plus-Input Spannung-Strom 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!**



# SUNdidactics

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

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

NILS ISFH

**Kooperationspartner**  
**cooperation partner**

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

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

**Solartechnik**  
**Experimentiergeräte**  
**Solare Experimente**  
**von der Grundschule**  
**bis zum Abitur**  
*Solar technology*  
*Experimentation devices*  
*Solar experiments*

**BNE**

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

*Education*  
*for*  
*Sustainable*  
*Development*

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

## SUNdidactics Solar Systems

**Wolf- Rüdiger Schanz, OStR aD, Schaperbleek 15, D-31139 Hildesheim, Germany**

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

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

**Stapelbar = Stecker hat hinterseitige Buchse zum Einstecken weiterer Stecker.**

**Länge 0,5 m oder 1 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!!**



## Sonnenfängerbox Sekundarstufe I

Ein experimenteller Klassensatz zur Solarenergie

# Handbuch zur Sonnenfängerbox SEKI Station 4

## 4-3 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. Das Projekt „Solar- Streetscooter“ des ISFH

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

Die Solar- Fahrzeuge SUSE SF1.2 und Solarflitzer turboSC haben 2 Superkondensatoren als elektrische Energiespeicher, Superkondensatoren lassen sich schneller aufladen und entladen als Akkus, haben aber weniger gespeicherte Energie.

Im strahlenden Sonnenschein dauert die Aufladung max. 1 Minute, bei bedecktem Himmel dauert es ca. 2-3 Minuten. Das Fahrzeug fährt mit 1 vollen Aufladung ca. 50m. Vom Modell zur Realität:



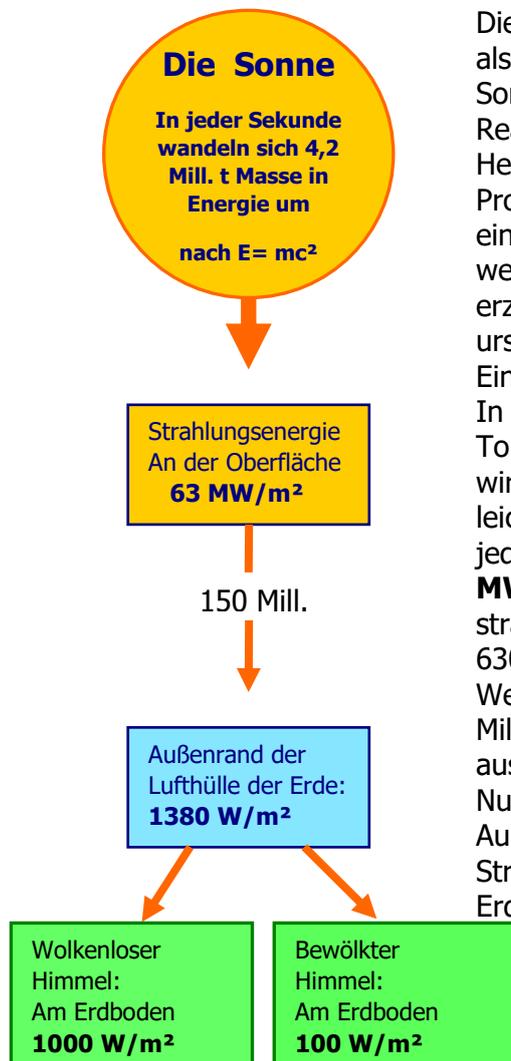
Das Foto links zeigt einen Solarcarport mit Solarmodulen auf dem Dach zum Laden eines E- Fahrzeugs. An der Rückwand befindet sich ein Akkuspeicher, der die Energie bei Nichtbenutzung des Carports speichert, am Balken links eine Wallbox mit Ladekabel zum Aufladen des Fahrzeugs. (Quelle: Solarwatt/BMW)

Das Foto unten zeigt den Solar- Streetscooter des ISFH.





## 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<sup>2</sup> bedeutet. 10 m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup>**, 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/m<sup>2</sup>**.

**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/m<sup>2</sup>** an, die restliche Energie von 380 W/m<sup>2</sup> wird für chemisch- physikalische Reaktionen in der Atmosphäre benötigt (z.B. in der Ozonschicht). Diesen Messwert 1000 W/m<sup>2</sup> können wir bei strahlendem Sonnenschein im Sommer präzise messen.

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

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)**

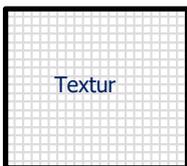
**1. Silizium (Si) -Wafer** p- dotiert mit Bor bei der Herstellung des Wafers



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).

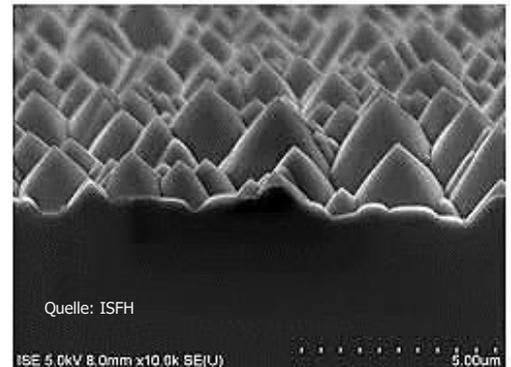


**2. Texturierung mit Lauge**



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

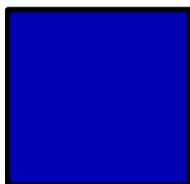


**3. n- Dotierung mit Phosphor (P)**



In einem Ofen strömt bei 900°C - 950°C Phosphoroxychlorid (POCl<sub>3</sub>) 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 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (Siliziumnitrid)**



Im Vakuum wird in einem Plasmaprozess bei ca. 300 °C eine **transparente** ca. 75 nm (= 0,000075 mm) dicke Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> - 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 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- Schicht aufgebracht, auf der wiederum eine 70 – 120 nm dicke Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-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

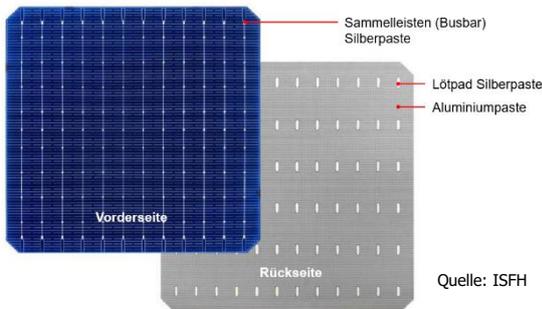
Die dielektrische  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - Schicht auf der Rückseite der Solarzelle wird mit einem Laserprozess geöffnet, d.h. es werden mit einem Laserstrahl die Schichten lokal verdampft. Die Öffnungen sind Punkte mit einem Durchmesser von 20 – 50  $\mu\text{m}$ .

## 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  $\mu\text{m}$ ) 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  $\mu\text{m}$ ), weil durch Silber kein Licht in die Solarzelle eindringen kann. Die Silberdrucke werden anschließend bei 800–900 °C eingebrannt.

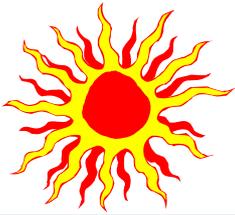
### Nun ist die Solarzelle fertig und einsatzbereit.

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<sub>p</sub>) 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><b>Solarmodul von Solarwatt</b>  <b>Leistung ~320 W</b>          60 Solarzellen in interner Reihenschaltung in 6 Reihen mit je 10 Solarzellen.</p>	<p><b>Solarmodul von Hanwha Q Cells ~335 W</b>          Reihenschaltung von 60 halben Solarzellen in 2 parallelen Strings.</p>	<p><b>Beispiel eines bifacialen Solarmoduls</b>          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

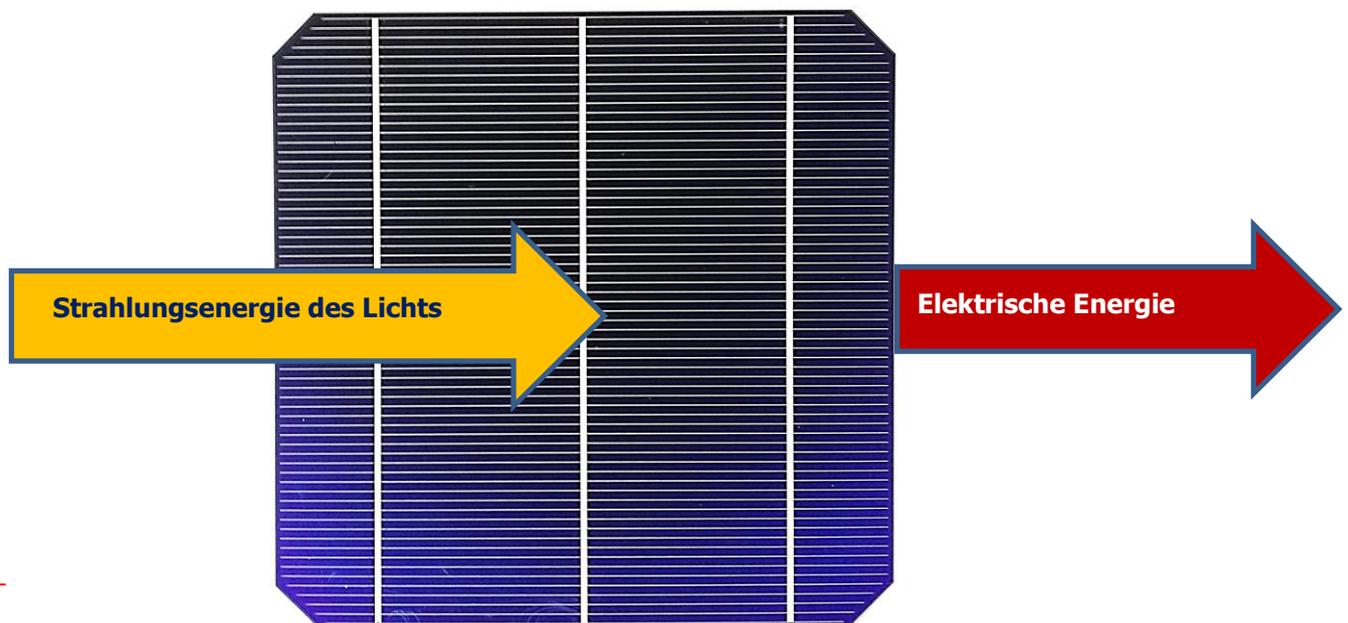


**Eine Solarzelle ist ein Energiewandler, sie wandelt die Strahlungsenergie von Licht in elektrische Energie um.**

Die Verwendung von Sonnenlicht zur Erzeugung von elektrischer Energie ist sehr umweltfreundlich und nachhaltig, es entstehen bei der Energieumwandlung keine Schadstoffe, wie z.B. CO<sub>2</sub>.

**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.



**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  
 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

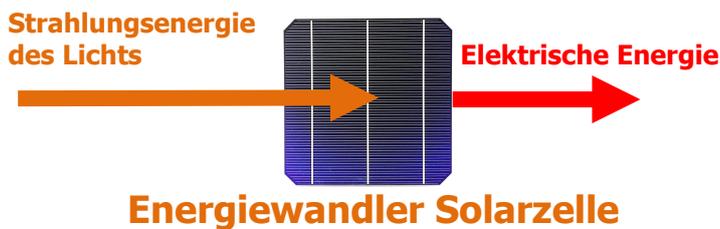
Klassenstufen 7-8 Alter 13-14 Jahre

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 ( $\text{SiO}_2$ ).

**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 ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), 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**

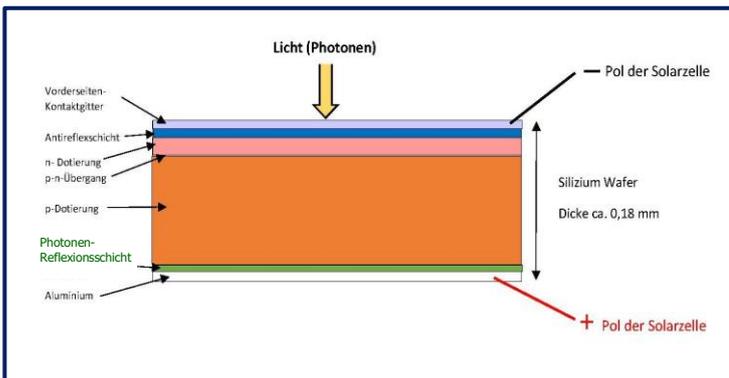
**W.R. Schanz, OStR aD, Hildesheim, Germany**

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  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . 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:

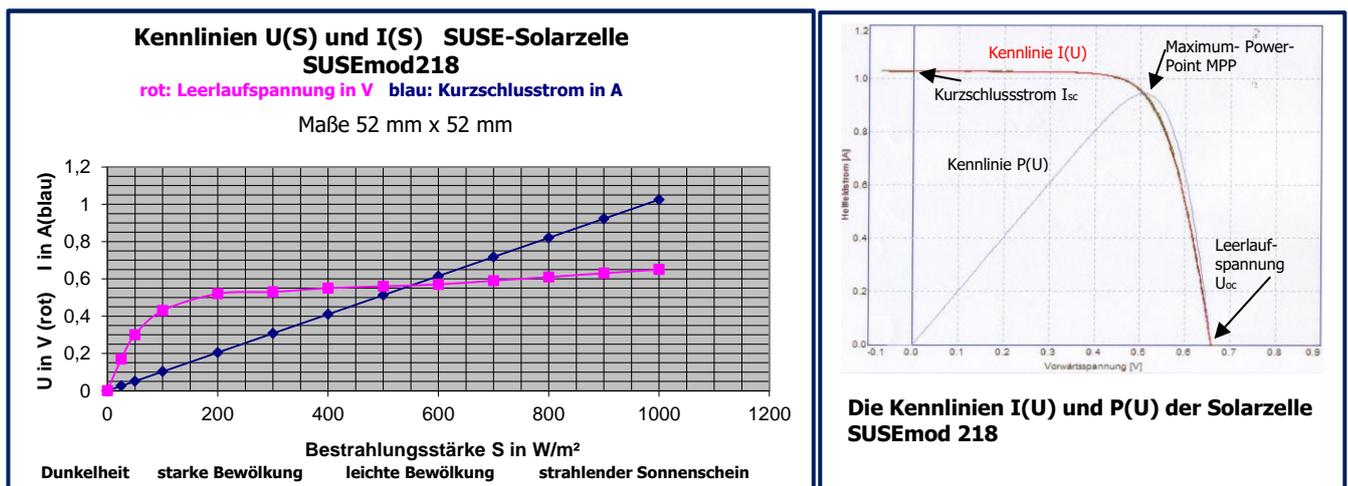
- **Fläche der Solarzelle:** Je höher die Fläche, desto höher ist  $I$  (direkt proportional)!
- **Intensität der auftreffenden Lichtstrahlung:** Je höher die Lichtintensität  $S$ , desto höher ist  $I_{sc}$  (direkt proportional)!
- **Qualität der Solarzelle** (sehr guter Solarzellen:  $I_{sc} = 38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

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.

# Praxistaugliche Reichweitenverlängerung eines leichten E-Lieferfahrzeugs durch fahrzeugintegrierte Photovoltaik mit Hochvolt-Anschluss

Publikation ISFH

Ein Elektrofahrzeug (fast) ohne Abhängigkeit von Ladestationen – das klingt nach Zukunftsmusik, aber erste Schritte dazu werden gerade gemacht.

Das Konsortium des Forschungsprojektes „Street“ um das koordinierende Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH), die Firmen Vitesco Technologies, a2-solar und Meyer Burger sowie das Forschungszentrum Jülich, das Helmholtz-Zentrum Berlin und das MBE-Institut der Leibniz Universität Hannover, hat jetzt in enger Zusammenarbeit mit Continental Engineering Services einen Prototypen eines leichten Nutzfahrzeuges auf die Straße gebracht, das mit hocheffizienter fahrzeugintegrierter Photovoltaik (*vehicle integrated photovoltaics*, VIPV) ausgestattet ist.

Das Besondere daran: Die aus dem Sonnenlicht konvertierte Energie kann in das Hochvolt-Bordnetz eingespeist und damit direkt zur Reichweitenverlängerung genutzt werden.

Ansprechpartner:

**Prof. Robby Peibst**

Fon: +49 (0) 5151 999 313

Fax: +49 (0) 5151 999 400

Mail: [peibst@isfh.de](mailto:peibst@isfh.de)



Der **Solar- Streetscooter** des ISFH bei einer Fahrt im Weserbergland (Foto: ISFH)



Die **solare Elektronik** im Streetscooter: **Rechts** befinden sich die 10x MPP- Tracker zum Anpassen der Solarmodule an den 12V-Zwischenspeicher- Akku, der unten am Boden steht.

**In der Mitte**, über dem 12V- Akku ist der DC-DC- Wandler, der die 12V DC in 400V DC umwandelt und dann über das orange Kabel in das 400V- Bordnetz des E- Autos einspeist **Mittig und links oben** sitzt die Messtechnik, mit der alle relevanten Daten (Wetterdaten, Temperatur, Strahlung, Fahrzeugdaten, Fahrdaten, Solarstromeinspeisung) erfasst und gespeichert werden. (Foto: Schanz)



Der ISFH- Solar- Streetscooter

Photovoltaikmodule wandeln das Sonnenlicht in elektrische Energie um. Moderne batterieelektrische Fahrzeuge haben stets zwei Stromspeicher an Bord: Eine kleine 12 V-Batterie, die elektrische Verbraucher, Licht und Servolenkung versorgen kann, sowie eine große Traktionsbatterie, die bei höherer Spannung von 400 V arbeitet und den Elektroantrieb mit Energie versorgt. Damit die durch VIPV gewonnene Energie in die große Traktionsbatterie eingespeist werden kann und so zur Reichweitenverlängerung beiträgt, ist eine Ankopplung der PV-Module an das Hochvolt- Bordnetz notwendig. Das ist technisch sehr anspruchsvoll, da dies eine Konvertierung von 12 V auf 400 V erfordert und mit vielen Sicherheitsaspekten verknüpft ist. Genau diese Herausforderung hat nun das Street-Konsortium erfolgreich adressiert. Die Grundlage dafür bildete die Kombination verschiedener Kompetenzen: Die Umwandlung der solaren Energie in elektrische Energie erfolgt in für den Automotive-Einsatz entwickelten PV-Modulen von a2-solar. Diese basieren auf hocheffizienten Silizium-Heterojunction- Solarzellen von Meyer Burger, die am ISFH durch Smartwire-Verbindungstechnologie verschaltet wurden. Diese in Europa entwickelte Technologie ermöglicht nicht nur maximale Zell- und Modulwirkungsgrade, sondern durch einen geringeren Temperaturkoeffizienten auch maximale Modulerträge. Für die Regelung auf den Punkt mit maximaler Leistung sorgt Elektronik von Vitesco Technologies, die außerdem als zentrale Innovation den DC/DC-Konverter von 12 V auf 400 V entwickelt hat. Continental Engineering Services übernahm die Integration sämtlicher Komponenten und deren Einbindung in das Fahrzeug-Bordnetz.

Das als Demonstrator verwendete leichte Nutzfahrzeug „WORK L“ der Firma StreetScooter bietet ideale Voraussetzungen für VIPV: Für die 10 PV-Module steht eine Fläche von insgesamt 15 m<sup>2</sup> zur Verfügung. Im Gegensatz zur Integration auf PKWs mussten die Module weder gewölbt noch eingefärbt werden. Ihre nominelle Gesamtleistung beträgt 2180 W<sub>p</sub>. Gleichzeitig ist der Energiebedarf für das Fahren mit ca. 19 kWh / 100 km ähnlich gering wie bei PKWs.

„Wir erwarten eine jährliche Reichweitenverlängerung von ca. 5200 km bei Fahrten in Niedersachsen, und noch deutlich mehr in südlicheren Regionen. Damit würde mehr als jeder vierte netzbasierte Ladestopp eingespart“, sagt Prof. Robby Peibst, Koordinator des Street-Projektes. „Unsere Ergebnisse werden die Attraktivität von fahrzeugintegrierter Photovoltaik zunächst für derartige leichte Nutzfahrzeuge aufzeigen. Darüber hinaus liefern sie aber auch wichtige Erkenntnisse zur Übertragung von VIPV in andere Fahrzeugklassen.“

Das Demonstrator-Fahrzeug hat eine Straßenzulassung nach StVZO und erste Tests absolviert. Es ist mit zahlreichen Sensoren ausgestattet, um die Energieflüsse genau verfolgen zu können. Bis Projektende sollen alle Komponenten im Rahmen von Testfahrten zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten und unterschiedlichen Wetterbedingungen auf Herz und Nieren geprüft werden. Das Fahrzeug wird daher in nächster Zeit oft auf den Straßen des Weserberglandes, der Region Hannover und in der Landeshauptstadt selbst zu sehen sein. Das Nummernschild „HM-PV-30E“ nimmt Bezug auf das Potential für Solarenergie in Niedersachsen: Studien des ISFH zeigen, dass in einem nach Kosten optimierten nachhaltigen Energiesystem in Niedersachsen bis zu 30 % des Endenergiebedarfs aus PV bereitgestellt werden können.

Das Forschungsprojekt „Street“ wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert (Förderkennzeichen [01183157](#)). Die Ergebnisse des Projekts fließen auch in die internationale Arbeitsgruppe „Task 17 – PV for Transport“ im *Photovoltaic Power Systems* Programm der Internationalen Energieagentur (IEA) ein. Dort tauschen sich Experten weltweit über Ansätze aus, mittels Photovoltaik die CO<sub>2</sub>-Emission des Transportsektors zu senken.

Fahrzeugintegrierte Photovoltaik (VIPV) wurde bereits in den sechziger Jahren konzipiert. Die Hauptanwendung lag allerdings über viele Jahre in der Nische von Wettbewerben spezieller stromlinienförmiger Leichtbau-Solarfahrzeuge. Seit einigen Jahren gibt es von verschiedenen Herstellern auch PKW-Modelle mit Solardächern oder auf LKW-Kühlkoffern integrierte PV-Module. Dabei wird die PV-konvertierte Energie für „Zusatzfunktionen“ wie Klimaanlage oder Kühlung verwendet. Diese Anwendungen laufen auf Niederspannungsniveau von typischerweise 12 V, für ein Aufladen der Hochvolt-Traktionsbatterie eines Elektrofahrzeugs sind die am Markt verfügbaren Systeme nicht geeignet.

Das ISFH entwickelt mit derzeit 155 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in zwei Abteilungen innovative Technologien für die Solarenergienutzung. Die Abteilung Photovoltaik entwickelt neue industrienaher Solarzelltechnologien, hocheffiziente industrialisierbare Photovoltaikmodule und forscht, wie in diesem Fall, an der Integration von PV in innovative Systeme. Das ISFH ist Mitglied im Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE) und der Zuse-Gemeinschaft sowie An-Institut der Leibniz Universität Hannover.



# Sonnenfängerbox Sekundarstufe I Ein experimenteller Klassensatz zur Solarenergie

## Handbuch zur Sonnenfängerbox SEKI Station 4

### Die Experimente der Lernstation 4 Die Lernstation 4 ist 2fach in der Sonnenfängerbox

Lernstation Thema	Experimentiergeräte für 1 Lernstation	Messtechnik und Zubehör	Themenschwerpunkte der Experimente
<b>Lernstation 4</b>  <b>Solarmodule II</b>  <b>Solare</b> <b>Elektromobilität I</b>  <b>4</b>	1 SUSE Solarfahrzeug 1.2 1 Solarmodul Solartankstelle SUSE 4.35 1 Solarfahrzeug Solarflitzer turboSC  von Schule: 1 Overheadprojektor zum Experimentieren auf der Glasplatte von Schule: 1 Halogenstrahler 120W oder Rotlichtlampe	1 Dig. Multimeter 4 Laborkabel je 50 cm 4mm Stecker 2x schwarz + 2x rot 1 Stoppuhr im priv. Smartphone 1 Zollstock 1 Handbuch in pdf	Solare Elektromobilität, Auftanken eines Solarfahrzeuges am Solarmodul mit unterschiedlichen Spannungen, Auf- und Entladen eines Superkondensators, Fahrexperimente mit dem Solarfahrzeug SF1.2 Fahrexperimente mit dem Solarfahrzeug SUSE Solarflitzer turboSC

## 4-4 Experimente mit den Geräten der Station 4

Experimente für 2 Lerngruppen mit je 2- 3 Schülerinnen/Schüler.

Nachfolgend sind die Experimente mit der Solartankstelle SUSE 4.35 dem Solarfahrzeug SF1.2 und dem Solarfahrzeug Solarflitzer turboSC aufgeführt, die mit den Zusatzgeräten, Messtechnik und Zubehör durchgeführt werden können. Die betreuende Lehrkraft wählt die für die Lerngruppe passenden Experimente aus.



**Photovoltaik-  
System  
SUSE**

**Solarthermiesystem  
Wärme von der Sonne**

**innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung**



## Das SUSE- Solarfahrzeug 1.2- Experimente

**Solarfahrzeug mit 2 Superkondensator- Energiespeicher 2x 8F  
zum Aufladen an einer Solartankstelle**

**$U_{\max} = 5,6 \text{ V}$  Antrieb mit SUSE- Solarmotor und 2- stufigem Getriebe**



**Links** erkennt man den Solarmotor mit dem 2- stufigen Getriebe an der Vorderachse.

**Rechts** befindet sich die Elektronik-Platine mit den beiden elektrischen Energiespeichern (2 Superkondensatoren je 8F in Reihenschaltung unter der Platine), den drei Buchsen (rot, schwarz, grün) und dem Betriebsschalter. An das rot- schwarze Buchsenpaar wird das Solarmodul als Solartankstelle angeschlossen, am grün- schwarzen Buchsenpaar lassen sich Kabel einstecken und Messungen am Superkondensator zur Auf- und Entladung durchführen.

## Das SUSE- Solar- Fahrzeug 1.2 mit 2 Superkondensatoren für $U_{\max} = 5,6 \text{ V}$ Gerätebeschreibung und Experimente

Häufig liefern Solarmodule zum „Tanken“ des Superkondensator- Energiespeichers höhere Spannungen als 2,8 V, die maximale Spannung eines Superkondensators. So liefern z.B. Solarmodule der Serie SUSE 4.3 3,6 V Spannung. Für das **Aufladen** an bis zu **8 Solarzellen in Reihenschaltung** ist das Fahrzeug mit **2 Superkondensators mit je 8F** ausgestattet, die in Reihe geschaltet sind und so mit einer **Spannung bis zu 5,6 V** aufgeladen werden können. Besonders geeignet als Solartankstelle 5 V ist das **5 V- Solarmodul SUSE 4.35**. Dadurch fährt das Fahrzeug sehr schnell und speichert bis zu 100 J Energie.

Das Fahrzeug hat keine eigene Solarzelle, sondern wird vor der Fahrt an einer Solartankstelle „getankt“, dabei wird der elektrische Energiespeicher Superkondensator mit max. 5 V DC aufgeladen, es wird eine **elektrische Energie von 100 J** gespeichert.

Mit einer Ladung fährt das Auto mit hoher Geschwindigkeit ca. 50- 100 m.

Je nach Lichtintensität = Bestrahlungsstärke  $S$  dauert der Ladevorgang nur 20s - wenige Minuten.

So kann das Fahrzeug auch bei sehr stark bedecktem Himmel geladen werden, ein reines Solarzellen- Fahrzeug würde bei diesen Lichtverhältnissen nicht mehr fahren. Mit dem Fahrzeug lassen sich umfangreiche Experimente (z.B. Kondensator- Auf- und Entladung) durchführen.

Zum Aufladen des Superkondensators werden an das rot-schwarze Buchsenpaar Laborkabel eingesteckt, die zum Solarmodul führen. Der Betriebsschalter hat **3 Positionen: Laden** (nach hinten)- **AUS** (Mitte)- **Fahren** (nach vorne).

Der Auflade- oder Entladevorgang am Superkondensator lässt sich durch eine Spannungsmessung am Superkondensator (grün- schwarzes Buchsenpaar) oder durch eine Stromstärkemessung in der Zuleitung vom Solarmodul beobachten und messen.

## Experimente mit dem Solarfahrzeug 1.2

Die beiden Superkondensatoren (in Reihenschaltung) bilden einen Energiespeicher, der auf maximal 5,6 V DC aufgeladen werden kann. Bei  $U = 5 \text{ V}$  ist die gespeicherte Energie nach  $W = \frac{1}{2} CU^2 = 100 \text{ J}$ .

In der **Praxis der realen Solarfahrzeuge** gibt es auch E- Autos, die mit Solarmodulen bestückt sind, diese dienen zur Reichweitenverlängerung oder zum Fahren auf kurzen Strecken. Die Fahrzeuge haben immer einen elektrischen Energiespeicher (Akku) an Bord, der auch mit elektrischer Energie aus dem Netz aufgeladen werden kann, idealerweise mit elektrischer Energie aus regenerativen Energiequellen.

**Mit dem SUSE- Solarfahrzeug 1.2 lässt sich im Modell diese Praxis durchführen.**

### Notwendige Experimentiergeräte:

- 1 SUSE- Solarfahrzeug 1.2
- 1 Solarmodul mit 6-8 Solarzellen in Reihenschaltung oder Einzel- Solarzellen z.B. 1x SUSE 4.35 oder 4.3 RB oder 2x SUSE 4.33 oder 8x SUSE- Solarmodule mit je 1 Solarzelle
- 1 Lichtquelle, wenn der Versuch nicht im Freien mit natürlichem Licht durchgeführt wird: z.B. Grundgerät SUSE 4.0 oder Halogenstrahler 120 W, Overheadprojektor oder Rotlichtlampe.
- 2 Laborkabel 1x rot + 1x schwarz
- 1 Multimeter für Messungen der Auf- und Entladung mit 2 Laborkabeln

### 1. Aufladen des Superkondensator- Energiespeichers:

Mit einem Solarmodul mit max. 8 Solarzellen in Reihenschaltung oder mit der 5V- Solartankstelle SUSE 4.35 wird der Superkondensator- Energiespeicher aufgeladen, dabei muss der **Schalter nach hinten geschaltet** werden, dann ist der Superkondensator- Energiespeicher elektrisch mit dem rot- schwarzen Buchsenpaar verbunden. Vom Solarmodul wird das Pluskabel in die rote Buchse gesteckt, das Minuskabel in die schwarze Buchse des Fahrzeugs.

Je nach der Lichtintensität dauert der Auflade- Vorgang nur ca. eine Minute bis wenige Minuten, der Superkondensator- Energiespeicher lädt sich auf die Modulspannung auf. Mit einem Voltmeter am grün- schwarzen Buchsenpaar kann der Aufladevorgang beobachtet werden (Messbereich 20 V DC). Wenn die Spannung nicht mehr ansteigt, ist der Superkondensator voll aufgeladen. Nun ist der Speicher aufgeladen, der Schalter wird auf die Mittelposition geschaltet, damit sich der Energiespeicher nicht über das Modul entladen kann, wichtig! Die Kabel werden von den Buchsen wieder abgezogen

### 2. Fahren des Fahrzeugs:

Das Fahrzeug wird auf den Boden gestellt, optimal wäre eine glatte Bodenfläche. Der Schalter wird nach vorne geschaltet, nun fährt das Fahrzeug mit hoher Geschwindigkeit los, wird allmählich langsamer und bleibt schließlich stehen. Die Fahrtstrecke beträgt je nach Bodenbeschaffenheit 50- >100 m.

### 3. Elektrische Messungen zur Ladung und Entladung:

#### 3.1 Spannungsmessung bei der Aufladung

Verwenden Sie ein Voltmeter im Messbereich 20 V DC

Der Superkondensator- Speicher sollte vor der Messung leer sein, schließen Sie den Superkondensator- Speicher kurz. Schalten Sie den Schalter anschließend in Mittelposition. Schließen Sie an die Polklemmen die beiden Kabel des Solarmoduls und die beiden Kabel des Voltmeters an. Das Voltmeter zeigt nun die aktuelle Modulspannung an. Schalten Sie nun auf „Ladung“ indem Sie den Schalter nach hinten schalten. Die Spannung wird sich minimieren und dann bei der Aufladung langsam erhöhen, bis die Modulspannung wieder erreicht ist, dann ist der

**Achtung! Vor jeder Messung sollte der Kondensator vollständig entladen werden,**  
hierzu das grün- schwarze Buchsenpaar für ca. 3 s kurzschließen!

Energiespeicher voll aufgeladen. Diese Spannungsänderung in Abhängigkeit zur Zeit lässt sich auch gut mit einem PC- Interface messen, um eine Ladekurve zu erhalten.

**Aufladung des Superkondensator- Energiespeichers**  
**Ladespannung**

Die Experimentdaten können auch mit excel o.ä. verarbeitet werden!

t in s Zeit	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
U in V Spannung														

**3.2 Spannungsmessung bei der Entladung**

Eigentlich müsste das Voltmeter mitfahren, das ist unpraktisch, daher bocken wir das Fahrzeug auf, so dass sich die Vorderräder frei drehen können und schließen das Voltmeter an das grün- schwarze Buchsenpaar des Superkondensator- Energiespeichers.

Nun schalten wir den Schalter nach vorne, der Superkondensator- Energiespeicher entlädt sich über den Elektromotor, die Räder drehen sich und die Spannung sinkt allmählich von der Modulspannung bis auf 0, bei ca. 0,4 V bleibt der Motor stehen, die Entladung geht aber über die Spule im Motor weiter bis auf 0V.

**Entladespannung**

t in s Zeit	0	30	60	90	120	180	240	300	360	420	480	540	600
U in V Spannung													

**3.3 Stromstärkemessung bei der Aufladung**

Vor der Messung soll der Superkondensator vollständig entladen werden. Dann wird in die Plusleitung vom Solarmodul ein Amperemeter im Messbereich 10A eingeschleift, schalten Sie den Schalter anschließend in Mittelposition. Schließen Sie an das rot- schwarze Buchsenpaar die beiden Kabel des Solarmoduls an. Das Amperemeter zeigt anfangs 0A an da die Ladung noch nicht begonnen hat. Schalten Sie nun auf „Ladung“ indem Sie den Schalter nach hinten schalten. Die Stromstärke ist sofort groß (zu Beginn der Kurzschlussstrom des Solarmoduls) und wird allmählich kleiner bis auf 0, dann ist der Superkondensator Energiespeicher voll aufgeladen. Auch dieser Stromstärkeverlauf lässt sich gut mit einem PC- Interface messen und graphisch darstellen.

**Auflade- Stromstärke**

t in s Zeit	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
I in A Stromstärke													

Der Graph kann auf das beigefügte mm- Papier gezeichnet oder mit excel dargestellt werden.

**Weitere Fragestellungen:**

1. Darstellung der Graphen zur Auf- und Entladung mit einem PC- Interface (CassyLab, Vernier o.ä.), testen Sie diese Version im NILS – Labor, der NILS- Berater berät Sie gerne!
2. Wie lässt sich der Wirkungsgrad von der elektrischen Energie (im Speicher) zur mechanischen Energie (drehende Räder) bestimmen? Überlegen Sie einen Messaufbau! Bauen Sie einen Messstand auf und bestimmen Sie den Wirkungsgrad!
3. Wie lässt sich die Reichweite des Fahrzeugs verdoppeln? (Achtung, maximale Motorspannung 5,4 V DC!) Überlegen Sie sich eine Version. Bauen Sie nach Rücksprache mit einem NILS- Berater diese Version auf und testen Sie!
4. Wie lässt sich die Geschwindigkeit während der ersten 2m Testfahrt bestimmen? Überlegen Sie sich eine Version. Bauen Sie nach Rücksprache mit einem NILS- Berater diese Version auf und testen Sie!

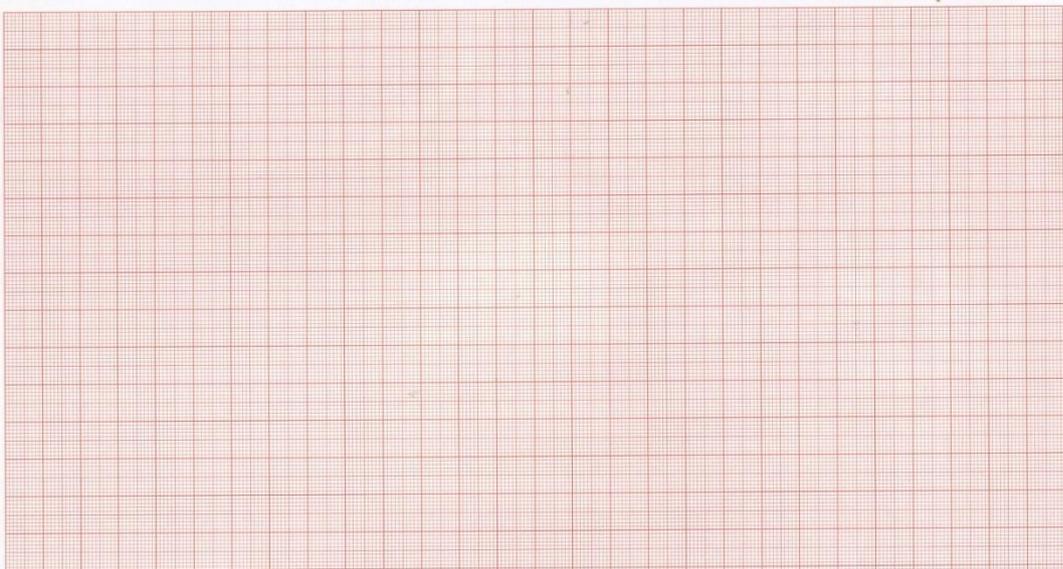
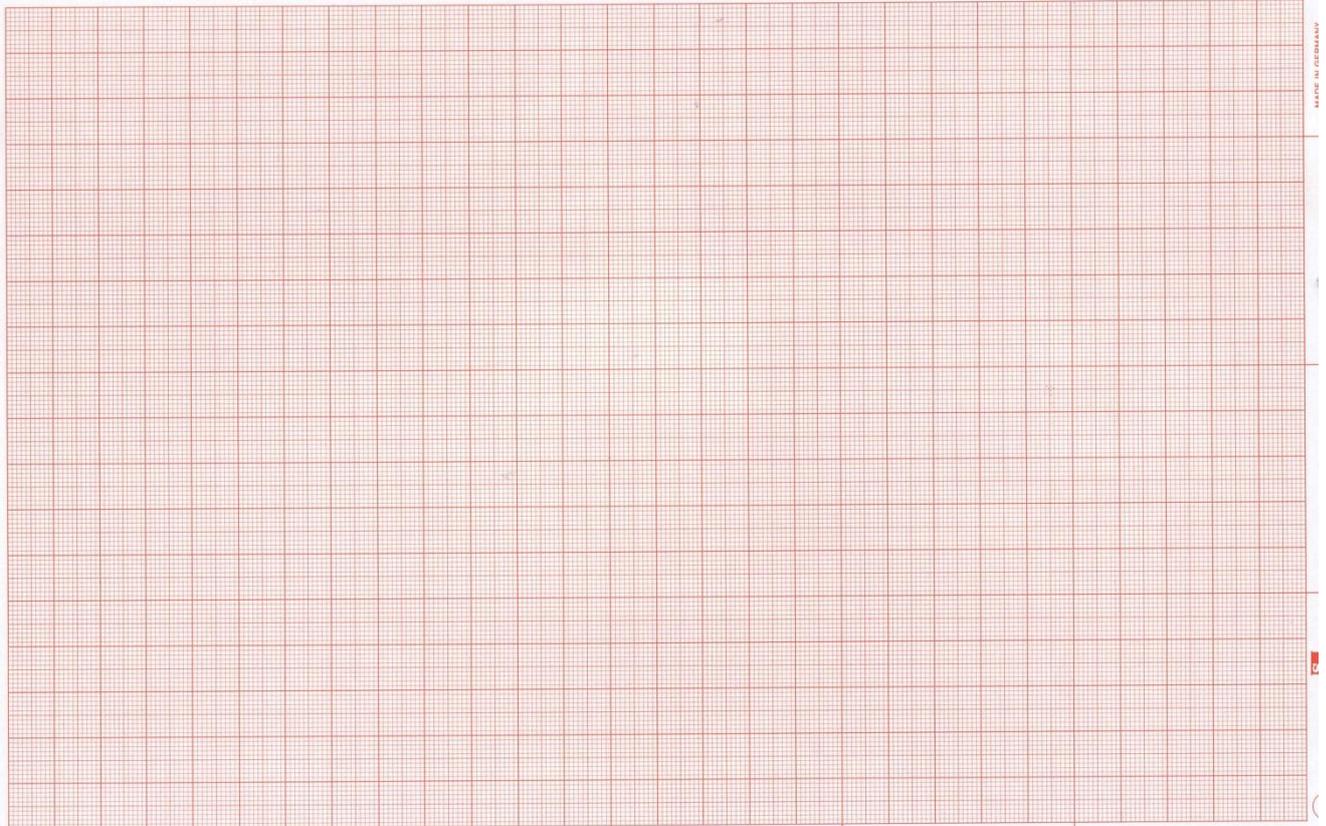
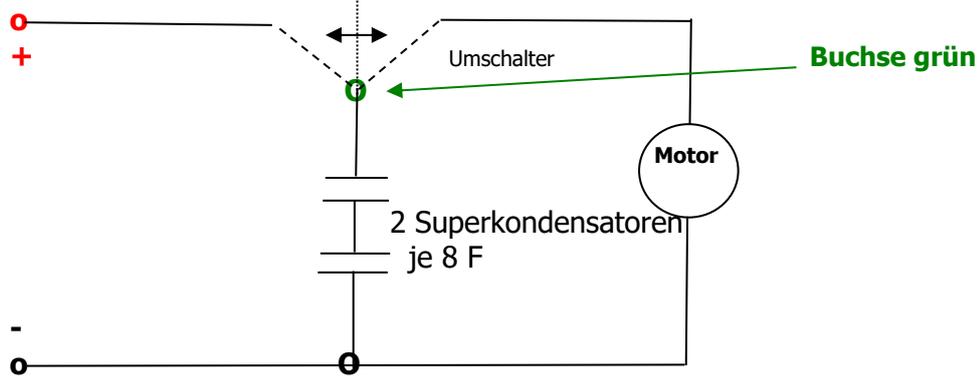
**Achtung! Spannungen über 5,6 V DC oder falsche Polung zerstören den Superkondensator Energiespeicher.**

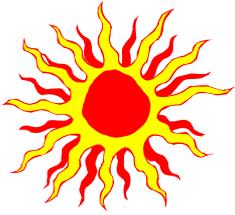
## Die elektrische Schaltung des Fahrzeugs:

**Buchse rot**

o  
+

Mittelposition des Schalters = AUS





**Photovoltaik-System SUSE**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung

**Solarthermiesystem**  
Wärme von der Sonne



## Experimente mit dem Solarmodul SUSE 4.35

**Solarmodul 4,96V/2,48V/ 630 mA/2,4 W** mit 8 Solarzellen in interner Reihenschaltung besonders geeignet für Experimente mit dem Solarspeicher SUSE 4.12, Solarmotor 4.16, LED- Module 4.15, Solarradio 4.36 und als Solartankstelle für das Solarfahrzeug 1.2



**Oben:** Das Solarmodul SUSE 4.35, auf der Vorderseite befinden sich die 8 Solarzellen in interner Reihenschaltung, auf der Rückseite erkennt man die 3 Buchsen rot (+), grün, und schwarz (-), darunter die grüne LED zur Betriebsanzeige.

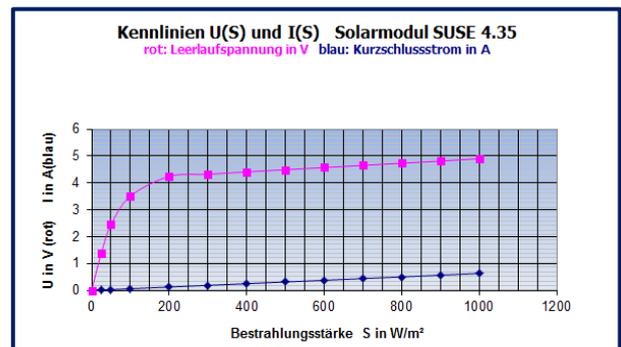
Das Solarmodul SUSE 4.35 ist ein robustes Modul mit 8 Solarzellen in interner Reihenschaltung. Die **Modulspannung ist 4,96 V** (rot- schwarz), **2,48 V** (grün-schwarz) der **Kurzschlussstrom 630 mA**, die **Leistung 2,4 W** bei Standard- Test- Bedingungen (Bestrahlungsstärke 1000 W/m<sup>2</sup>, T = 25°C, AM 1,5).

Die Solarzellen sind auf einem um 75° gebogenen Plexiglasträger befestigt, auf der kurzen Seite sind **3 Buchsen: Plus 1 4,96 V (rot), Plus 2 2,48 V (grün) und Minus (schwarz)** sowie eine grüne Indikator LED montiert, diese signalisiert die Betriebsbereitschaft.

Besonders geeignet ist dieses Modul als Solartankstelle für das SUSE- Solarfahrzeug 1.2 sowie für Experimente mit dem Speichermodul SUSE 4.12, LED- Module SUSE 4.15, Solarmotoren SUSE 4.16 und Solarradio SUSE 4.36. Das Gerät ist auf einem Plexiglasträger 160 x 330 mm aufgebaut, um 75° gebogen.



**Links:** Das Amperemeter zeigt den Kurzschlussstrom 0,63 A = 630 mA an  
**Unten:** Die U(S)- und die I(S)- Kennlinie des Solarmoduls SUSE 4.35



Die x- Achse ist die Lichtintensität = Bestrahlungsstärke S des Lichts in W/m<sup>2</sup>. 0 ist absolute Dunkelheit, 1000 ist strahlender Sonnenschein bei tiefblauem Himmel im Sommerhalbjahr.

Die **Modulspannung U<sub>oc</sub> (roter Graph)** steigt zunächst von 0 aus stark an und nähert sich allmählich dem Wert 4,96 V, mathematisch ist es eine e- Funktion.

Der **Kurzschlussstrom I<sub>sc</sub>** steigt linear, als Gerade, von 0 bis zu seinem Maximalwert 0,63 A = 630 mA an. Wegen des linearen Verlaufs lässt sich aus dem Kurzschlussstrom einfach die Bestrahlungsstärke des Lichts bestimmen, dies wird bei den Experimenten mit einer Dreisatzrechnung durchgeführt.

## Solarmodul SUSE 4.35 als E- Tankstelle für das Solarfahrzeug 1.2

Das Solarmodul liefert 2 unterschiedliche Spannungen zum Aufladen des Solarfahrzeugs, einmal 2,48 V zwischen schwarz (minus) und grün (plus) sowie 4,96 V zwischen rot (plus) und schwarz (minus).

### 1. Experimente im Freien:

Stelle das Modul im Freien so auf, dass es zur Sonne ausgerichtet ist. Bei bedecktem Himmel ohne direkte Sonnenstrahlung richte es nach Süden aus. Die grüne LED müsste leuchten, sie zeigt den Betriebszustand an.

#### Fahrbetrieb mit 4,9V:

Schalte den Schalter am Fahrzeug in Mittelposition und verbinde die rote Buchse am Solarmodul mit der roten Buchse am Fahrzeug mit einem roten Laborkabel, sowie die schwarzen Buchsen mit einem schwarzen Laborkabel.

Schalte nun den Schalter auf „Laden“, der Superkondensator lädt sich auf, es dauert bei strahlendem Sonnenschein ca. 1 Minute, bei bedecktem Himmel ca. 3 Minuten. Schalte nun den Schalter in die Mittelposition und entferne die Kabel vom Fahrzeug und stelle es auf eine ebene, glatte Fläche. Schalte den Schalter nun auf Fahren, das Auto wird davonflitzen!

#### Fahrbetrieb mit 2,45 V:

Gleicher Vorgang, nutze aber am Solarmodul die grüne Buchse für Plus!

#### Messung der Aufladung:

Wenn Du die Aufladung des Superkondensators messen möchtest, kannst Du beim Aufladen das rot-schwarze Kabelpaar vom Multimeter (Messbereich 20V DC) an das grün- schwarze Buchsenpaar beim Solarmodul ergänzend anstecken. Beobachte den Ladevorgang, erstelle eine Messwerttabelle und einen Graphen!

#### Messung der Geschwindigkeit:

Markiere mit dem Zollstock eine Messstrecke, z.B. 2 m auf einer ebenen Fläche. Mit der Stoppuhr kannst Du die Zeit starten, wenn das Auto ein in die Messstrecke einfährt, am Ende der Messstrecke stoppst Du die Uhr.

Wenn Du nun die Strecke durch die Zeit teilst, hast Du die Geschwindigkeit in m/s. Multipliziert man diesen Wert, hat man die Geschwindigkeit in km/h.

Notiere Deine Beobachtungen, Messungen und Auswertungen hier:

## Außer der Funktion als Solartankstelle für das Solar-E-Fahrzeug 1.2 lassen sich mit dem Solarmodul noch weitere Experimente zur Photovoltaik durchführen:

### Notwendige Materialien:

Multimeter, 6 Laborkabel, 1x rot, 1x schwarz, 4x gelb, bei Messungen im Innenraum 1 Halogenstrahler 120W oder eine Rotlichtlampe sowie 1 Overheadprojektor

1. Technische Basis- Informationen und Energieumwandlungsprozesse
2. Experimente zur Leerlaufspannung  $U_{sc}$
3. Experimente zum Kurzschlussstrom  $I_{sc}$
4. Experimente zur elektrischen Leistung  $P$
5. Experimente zur Reihenschaltung mehrerer Module SUSE 4.35
6. Experimente zur Bestimmung der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke  $S$ ) in  $W/m^2$

### 1. Technische Basis- Informationen und Energieumwandlungsprozesse

Mit dem Solarmodul SUSE 4.35 lassen sich Energie- Umwandlungsprozesse von Energie der Lichtstrahlung in elektrische Energie demonstrieren und technische/naturwissenschaftliche Erkenntnisse zur Photovoltaik gewinnen.

In diesem Solarmodul sind 4 gleiche Solarzellen in Reihe geschaltet, so dass sich deren Spannungen addieren, die Stromstärke bleibt unverändert. Die genauen technischen Daten und Graphen finden sich auf der Seite 1 dieser Anleitung. Die LED signalisiert die Betriebsbereitschaft und ist immer über einen Vorwiderstand an das Solarmodul angeschlossen.

Hierbei laufen mehrere Energieumwandlungsprozesse ab, bearbeite die nachfolgenden „Energiekästen“ und fülle sie mit einem eigenen Text aus. Falls der Platz nicht ausreicht, kannst Du auf der Rückseite ergänzen.

<b>Licht</b> Energieform	Notiere hier Eigenschaften der Energieform Licht
--------------------------	--------------------------------------------------



<b>Solarzelle</b> Energiewandler	Erkläre hier die Energie- Umwandlungsprozess in der Solarzelle
----------------------------------	----------------------------------------------------------------

Verwende ein Multimeter im Messbereich 20 V DC und schließe das Voltmeter mit 2 Laborkabeln polrichtig an die beiden Buchsen auf der Rückseite der Solarzellen an.

## 2. Die elektrische Spannung der Solarzellen

Der Wert der Spannung  $U_{oc}$  des Solarmoduls sollte **im Sonnenlicht bei 4,96 V** liegen, **bei bedecktem Himmel etwa 4,5 V**, im **Innenraum bei ca. 4,0 V**, *unabhängig von der Fläche!*  
**Die Leerlaufspannung hängt nur von der Lichtintensität, vom Material und der Qualität der Solarzelle ab. Bei unserer Solarzelle ist das Material Silizium Si.**

### Messungen zur elektrischen Spannung:

Ort der Messung	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet <b>oder</b> auf OHProjektor	Draußen bei Sonnenschein im Schatten	Draußen bei bedecktem Himmel	Im beleuchteten Innenraum
<b>Leerlaufspannung U in V</b> <b>Buchsenpaar rot-schwarz</b>				

## 3. Die maximale Stromstärke der Solarzelle = Kurzschlussstrom

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

Im Gegensatz zu anderen Stromquellen (Batterie, Netzgerät...) darf man Solarzellen kurzschließen, der Kurzschlussstrom ist sogar eine sehr wichtige Größe bei Solarzellen. Der Strom fließt hier direkt von Minus der Solarzelle über das Amperemeter nach Plus.

Verwende zur Stromstärkemessung ein Multimeter im Messbereich 10 A DC, welches mit Laborkabeln an + und - Buchse der Solarzelle angeschlossen wird  
 Nur für Messungen im Innenraum den Messbereich 20 mA oder 2 mA verwenden!

Der **Wert des Kurzschlussstroms** ist **direkt proportional zur Zellenfläche und zur Lichtintensität** /Bestrahlungsstärke, sowie abhängig von der Qualität. Standard-Test-Wert: Bei der Solarzelle dieses Moduls ist die Kurzschluss- Stromstärke bei einer Lichtintensität von 1000 W/m<sup>2</sup> genau **0,63 A = 630 mA**.

Ort der Messung	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet oder auf OHProjektor	Draußen bei Sonnenschein im Schatten	Draußen bei bedecktem Himmel	Im beleuchteten Innenraum
<b>Kurzschlussstrom <math>I_{sc}</math> in A</b>				

**Was fällt Dir bei der Spannungs- und Stromstärkemessung auf, notiere hier Deine Beobachtungen/ Erklärungen:**

#### 4. Die elektrische Leistung des Solarmoduls mit 4 Solarzellen $P_E$ in W (Watt)

$$P_E = U_{OC} \times I_{SC} \times 0,8 = \dots\dots\dots W$$

Der Faktor 0,8 ergibt sich aus der I(U) und P(U)- Kennlinie der Solarzelle, kann in einem SEK II- Experiment mit dem Solarmodul SUSE 5.15 genau bestimmt werden

Keine erneute Messung 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<sup>2</sup> Einstrahlung 2,4 W** sein. Der Faktor 0,8 erklärt sich über die Kennlinie und den MPP der Solarzelle.

#### Weitere Berechnungen:

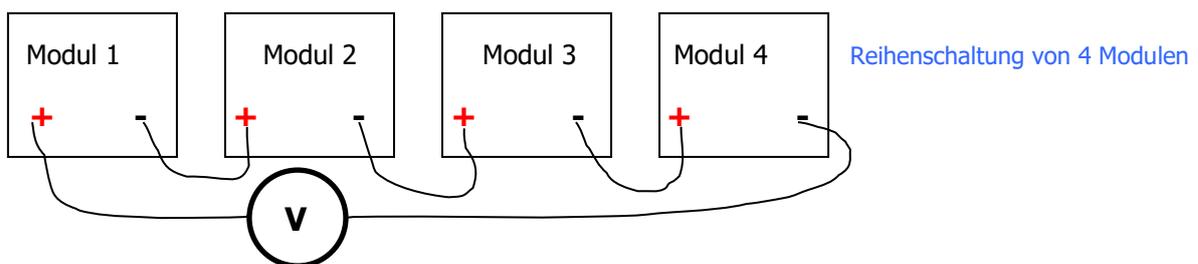
Ort der Messung	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet	Draußen bei Sonnenschein im Schatten	Draußen bei bedecktem Himmel	Im beleuchteten Innenraum
<b>Kurzschlussstrom <math>I_{SC}</math> in A</b> Werte übernehmen				
<b>Spannung <math>U_{OC}</math> in V</b> Werte übernehmen				
<b>Leistung P in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

#### 5. Reihenschaltung mehrerer Solarmodule SUSE 4.35

Solarzellen lassen sich in beliebiger Anzahl in Reihe schalten, um höhere Spannungen erreichen ! In der Photovoltaik- Technik werden in den großen Solarmodulen meist 36...72 Solarzellen in Reihe geschaltet.

#### Mehrere Module SUSE 4.35 in Reihenschaltung:

Lege die Module ins Sonnenlicht oder (mit der Oberseite nach unten!) auf einen Overheadprojektor und verschalte die Module in Reihe (wie in der Zeichnung dargestellt).



Einzelmodul:	$U_{OC}$ in V	$I_{SC}$ in A
Modul 1:.....		
Modul 2:.....		
Modul 3:.....		
Modul 4:.....		

**Werte für die Reihenschaltung von.....Modulen:**

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

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

Was fällt auf, beschreibe und erkläre!

Notiere hier die Ergebnisse und erkläre:

## 6. Messungen der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke S) in W/m<sup>2</sup>

Mit der hier verwendeten Solarzelle kann die Lichtintensität des Lichts genau bestimmt werden, da der Kurzschlussstrom proportional zur Lichtintensität = Bestrahlungsstärke S ist (siehe Grafik auf Seite 1).

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

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

**I<sub>sc</sub> = .....0,63.....A = .....630.....mA**

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

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

$$\frac{I_{sc} \text{ in A}}{1000 \text{ W/m}^2} = \frac{I_{mess} \text{ in A}}{S_x \text{ W/m}^2} \quad \text{oder nach } S_x \text{ umgestellt: } S_x = \frac{I_{mess} \text{ (in A)} * 1000}{0,63 \text{ A}}$$

Dabei ist:

I<sub>sc</sub> in A

der kalibrierte Kurzschlussstrom bei 1000 W/m<sup>2</sup> = **0,63 A**

I<sub>mess</sub> in A

der gemessene Kurzschlussstrom bei der Bestrahlungsstärke S<sub>x</sub>

S<sub>x</sub> in W/m<sup>2</sup>

die Bestrahlungsstärke von Lichtstrahlung

### Messungen im Freien und bei Lichtquellen:

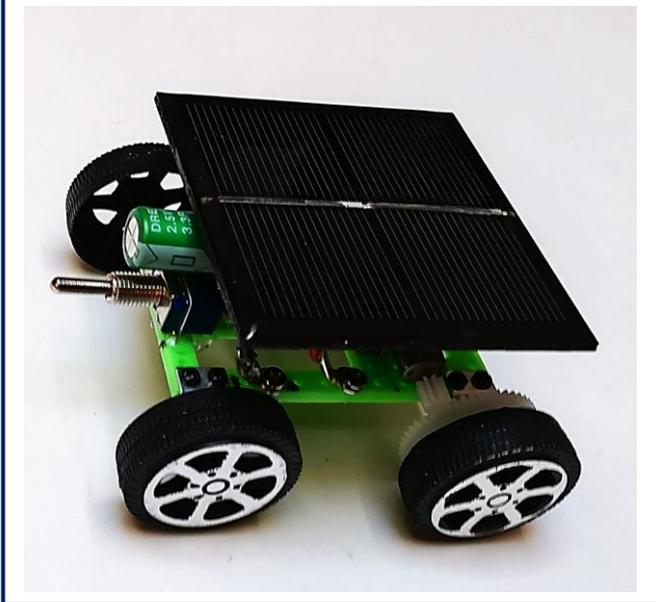
Lichtstrahlung	Kurzschlussstrom $I_{sc}$ in A	Bestrahlungsstärke $S_x$ in $W/m^2$
Strahlender Sonnenschein direkt zur Sonne gemessen		
Strahlender Sonnenschein im Schatten gemessen		
Bedeckter Himmel		
Sehr trübes Wetter		
Auf der Platte eines Overheadprojektors		
10 cm <b>über der Platte</b> eines Overheadprojektors		
40 cm vor Halogenstrahler 120 W oder Rotlichtlampe		
Im Innenraum Zum Fenster hin ausgerichtet		

**Was fällt Dir auf, erläutere hier:**



# Experimente mit dem SUSE Solarflitzer turboSC

Experimente mit dem Solarfahrzeug und Photovoltaik- Experimente mit den Solarzellen



## Der SUSE Solarflitzer turboSC

Auf dem Chassis des bewährten Solarfahrzeuges SUSE Solarflitzer befindet sich auf dem Distanzwürfel das Solarmodul mit 2 Solarzellen in integrierter Reihenschaltung ( $U_{oc} = 1,26 \text{ V} / I_{sc} = 480 \text{ mA}$ ). Links erkennt man den Betriebsschalter mit den 3 Positionen Laden-Aus-Fahren.

Über dem Schalter ist der Speicherkondensator ( $C = 8 \text{ F}$ ) angeordnet, er kann die vom Solarmodul gelieferte Energiemenge von 6 J speichern und nach dem Umschalten zum Fahren nutzen.

Nach dem Umschalten fährt das Auto mit dieser Energie ca. 30m, auch in lichtschwachen Räumen.

Aufladen lässt sich der Speicherkondensator entweder Outdoor im Sonnenschein/ Tageslicht oder im Innenraum mit Halogen- oder Rotlichtlampe (LED- Lampen sind wegen des ungeeigneten Lichtspektrums nicht verwendbar).

Das Fahrzeug ist das Modell eines autarken realen Elektrofahrzeuges mit eigenem Solarmodul.

## Die 7 Experimente

1. Tanken und Fahrbetrieb
2. Messung der Geschwindigkeit in m/s und in km/h
3. Experimente zum „Tanken“ (Aufladung des Speicherkondensators) des E-Fahrzeugs
4. Experimente zum Entladen des Speicherkondensators beim Fahren
5. Messung der Solarzellenspannung und des Kurzschlussstroms beider Solarmodule
6. Bestimmung der Stärke der Sonnenstrahlung/Lichtstrahlung in  $\text{W/m}^2$
7. Weitere Experimente und die elektrische Schaltung des Solarfahrzeuges

## Im Anhang: Elektrische Schaltung des Fahrzeugs und Datenblatt des Solarmoduls (QR-Code)

### 1. Tanken und Fahrbetrieb

Vor Beginn der Fahrt muss der Speicherkondensator mit Strom aus dem Solarmodul aufgeladen werden. Dazu geht man mit dem Fahrzeug ins Freie und richtet das Solarmodul zur Sonne oder bei bedecktem Himmel nach Süden aus. Je nach Lichtintensität dauert die Aufladung 20 Sekunden bis 2 Minuten.

Im Ruhemodus steht der Betriebsschalter in der Mitte auf **AUS**, zum Aufladen wird der Schalter auf **LADEN L** gestellt. Nach ca. 20 Sekunden bis 2 min. ist die Ladung vollendet, der Schalter wird wieder auf **AUS** gestellt.

Im Innenraum kann die Aufladung durch Bestrahlung mit einer Halogenlampe oder einer Rotlichtlampe aus ca. 40 cm Abstand durchgeführt werden, richte die Solarzelle zum Licht aus, die Ladung dauert ca. 1 Minute.

Nun wird das Fahrzeug auf eine ebene Fläche gestellt, anschließend der Schalter auf **FAHREN F** gestellt, das Fahrzeug flitzt davon!

## 2. Messung der Geschwindigkeit in m/s und in km/h

Markiere eine Messstrecke  $s$  von 2m und bestimme mit der Stoppuhr im Smartphone die **Zeit  $t$  für diese Strecke 2m**. Wenn Du nun die Messstrecke  $s = 2\text{m}$  durch die gemessene Zeit  $t$  teilst, bekommst Du die Geschwindigkeit  $v$  in der Maßeinheit m/s.

Messstrecke $s$	Gemessene Zeit $t$ in s	Geschwindigkeit $v$ in m/s	Geschwindigkeit $v$ in km/h
2m			
4m			

**Wenn Du die Geschwindigkeit in m/s mit 3,6 multiplizierst, hast Du die Geschwindigkeit in km/h.**

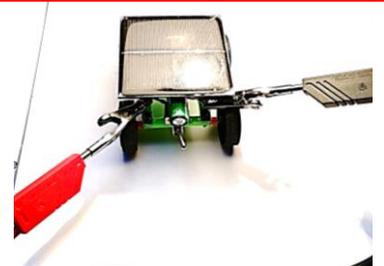
Wie kommt man auf diese Zahl 3,6? entdecke die Lösung und notiere hier:

## 3. Messungen zum Auftanken (Aufladung) des E- Fahrzeugs:

Die Aufladung kann mit einer Spannungsmessung beobachtet und gemessen werden.

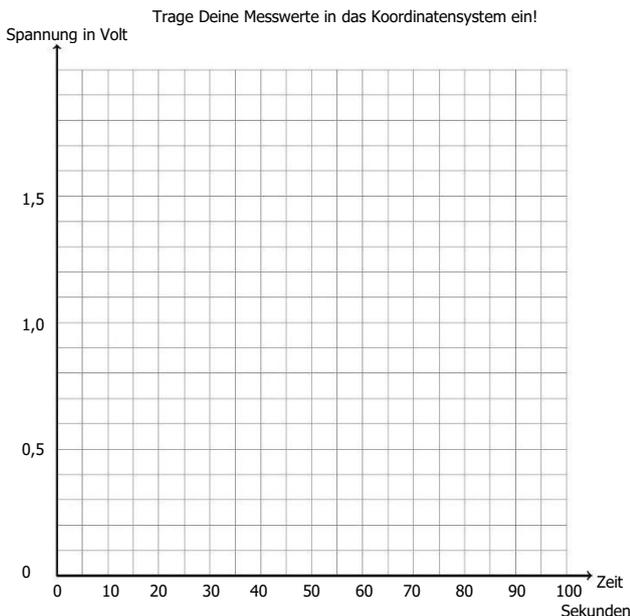
An den Speicherkondensator werden an den Lötösen **A(+)** und **C(-)** mit Krokodilklemmen 2 Laborkabel angeklemmt (siehe Foto), das Multimeter wird in Messbereich 20V DC geschaltet.

**Vor dem Aufladen verbinde die beiden Kabel am Multimeter für 3 Sekunden miteinander, damit sich der Speicherkondensator vor der Messung vollständig entleert.**



Mit dem Umschalten von **AUS** auf **LADEN** startet das Tanken, die Aufladung, die Spannungssteigerung kann nun beobachtet und gemessen werden. Für die Messung der Zeit verwendest Du wieder Dein Smartphone.

Zeit in s	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Ab dem Start									
Strahlender Sonnenschein oder sehr helles Licht, Abstand 20 cm zur Lampe <b>Spannung in V</b>									
Bedeckter Himmel oder größerer Abstand 40 cm zur Lampe <b>Spannung in V</b>									



**Was fällt Dir auf, notiere Deine Beobachtungen und Entdeckungen hier!**

- Welche Energieumwandlungen finden beim Aufladen statt?
- Wie lange dauert das vollständige Aufladen?

#### 4. Experimente zum Entladen des Speicherkondensators des beim Fahren

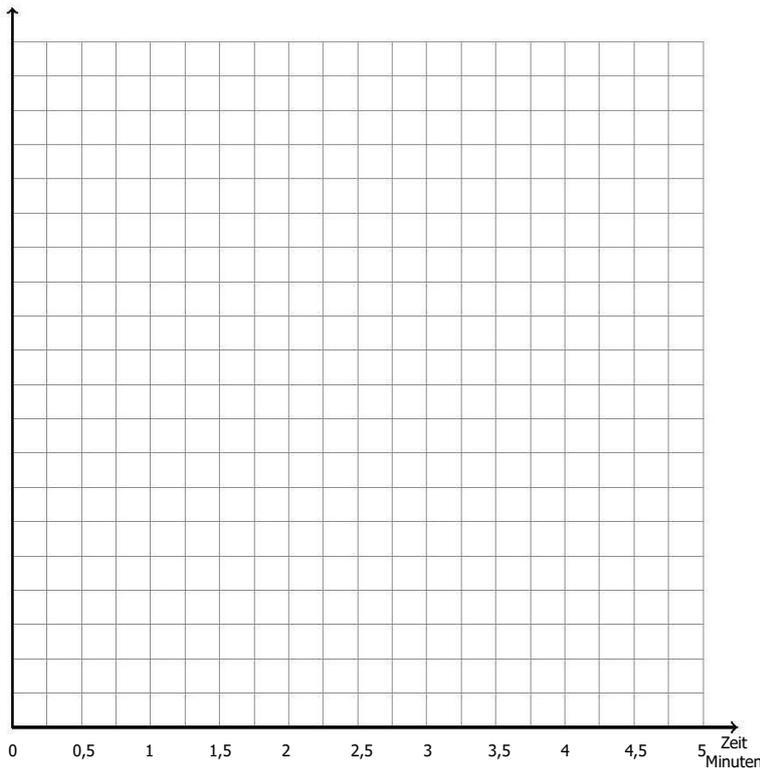
Da wir beim Fahren selbst mit dem Multimeter keine Messungen durchführen können, greifen wir zu einem Trick, wir legen das Auto nach dem Aufladen auf den Kopf und lassen die Räder frei laufen, dabei können wir die Spannung beim Entladen gut messen.

Zuerst laden wir das Fahrzeug wie bisher auf und schalten danach den Schalter auf Mittelposition AUS. Nun legen wir das Fahrzeug auf den Kopf (Solarzelle nach unten) und klemmen wieder die Krokodilklemmen an, das **rote Pluskabel an die Lötöse A**, das **schwarze Minuskabel an die Lötöse C**. Zum Start stellen wir den Schalter auf **F Fahren** und messen die Spannung **jede halbe Minute!** Trage die Messwerte in die Tabelle ein:

Zeit in min ab dem Start	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8,0	8,5	9	
<b>Spannung in Volt</b>																				

Zeichne die Messwerte in das Koordinatensystem ein!

Spannung in Volt



- Welche Energieumwandlungen finden beim Entladen statt?
- Wie lange dauert das vollständige Entladen?
- Der Energiespeicher ist ein Superkondensator, wie unterscheidet er sich von einem Akku?

Was fällt Dir auf, notiere Deine Beobachtungen, Ideen und Entdeckungen hier!

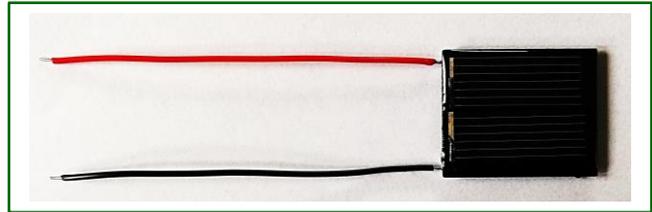
## 5. Messung der Solarzellenspannung und des Kurzschlussstroms

Für diese Experimente benötigst Du ein Multimeter, 2 Messkabel mit Krokodilklemmen. Messpunkte sind die beiden Lötösen an den Seiten des Autos, die **Lötöse B mit dem roten Moduldraht ist +, die Lötöse C mit dem schwarzen Moduldraht ist -**. Der Schalter muss in Position **AUS** stehen.

Am kleinen Solarmodul des Basisbausatzes müssen am Plus- und am Minuspol kurze Schaltdrähte rot (+) und schwarz (-) für die folgenden Versuche angelötet werden, hier können die Krokodilklemmen angeschlossen werden, siehe Foto:

### Das konfigurierte kleine Solarmodul

Nach dem Ablöten des Motors werden an die Anschlusskontakte des kleinen Solarmoduls 2 Schaltdrähte angelötet, **rot an +** und schwarz an -  
An die Enden der Drähte kann das Multimeter mit Krokodilklemmen angeschlossen werden.



### 5.1 Messung der Solarzellenspannung

Stelle das Multimeter in den Messbereich 20V DC und klemme beide Messkabel polrichtig an die Lötösen der Solarzelle C (-) und B(+), stelle den Schalter auf AUS! Nun bestimmst Du die Leerlaufspannung der Solarzelle. Bei der kleinen Solarzelle gehst Du genauso vor, hier klemmest Du die Krokodilklemmen der Messkabel an die Schaltdrähte der kleinen Solarzelle.

**Messergebnisse: Trage Deine Messergebnisse in die folgende Tabelle ein!**

Solarstrahlung oder Lichtstrahlung	Strahlender Sonnenschein	Leicht Bedeckter Himmel	stärker bedeckter Himmel	Schatten	40 cm vor Halogenlampe	40 cm vor Rotlichtlampe
Spannung in V Großes Solarmodul						
Kleines Solarmodul						

**Was fällt Dir auf? Notiere Deine Beobachtungen und Ideen hier:  
Du kannst auch einen Teil der Solarzellenfläche mit der Hand abdecken, was fällt Dir auf?**

### 5.2 Messung des Kurzschlussstroms (Kurzschlussstrom = maximale Stromstärke)

Stelle das Multimeter in den Messbereich 10A DC, klemme die Messkabel polrichtig an die Lötösen B und C bzw. an die Schaltdrähte beim kleinen Solarmodul. Nun bestimmst Du den Kurzschlussstrom, das ist die maximale Stromstärke, die die Solarzelle abgeben kann, der Kurzschlussstrom ist proportional zur Lichtintensität = Bestrahlungsstärke S!

**Trage Deine Messergebnisse in die nachfolgende Tabelle auf Seite 5 ein!**

<b>Solarstrahlung oder Lichtstrahlung</b>	Strahlender Sonnenschein	Leicht Bedeckter Himmel	stärker bedeckter Himmel	Schatten	40 cm vor Halogenlampe	40 cm vor Rotlichtlampe
<b>Stromstärke in A</b> großes Solarmodul						
kleines Solarmodul						
<b>Bestrahlungsstärke S in W/m<sup>2</sup></b> (Berechnung aus Exp. 6, nur großes Solarmodul)						

**Was fällt Dir auf? Notiere Deine Beobachtungen und Ideen hier:  
Du kannst auch einen Teil der Solarzellenfläche mit der Hand abdecken, was fällt Dir auf?**

### 6. Bestimmung der Stärke der Sonnenstrahlung/Lichtstrahlung in W/m<sup>2</sup>

Experiment nur mit dem großen Solarmodul auf dem Fahrzeug! Der Kurzschlussstrom der Solarzelle ist proportional zur Stärke der Lichtstrahlung und hat bei strahlendem Sonnenschein bei blauem unbewölktem Himmel bei senkrechtem Lichteinfall den Wert 0,48 A. **Die Stärke der Lichtstrahlung heißt Bestrahlungsstärke S und wird in W/m<sup>2</sup> gemessen**, strahlender Sonnenschein im Sommer sind 1000 W/m<sup>2</sup>, bewölkter Himmel ca. 100- 500 W/m<sup>2</sup>, Dunkelheit 0 W/m<sup>2</sup>. Aus der Proportionalität ergibt sich die Gleichung:

$$\text{Bestrahlungsstärke } S = \frac{\text{gemessener Kurzschlussstrom in A} \times 1000}{0,48 \text{ A}} \text{ W/m}^2$$

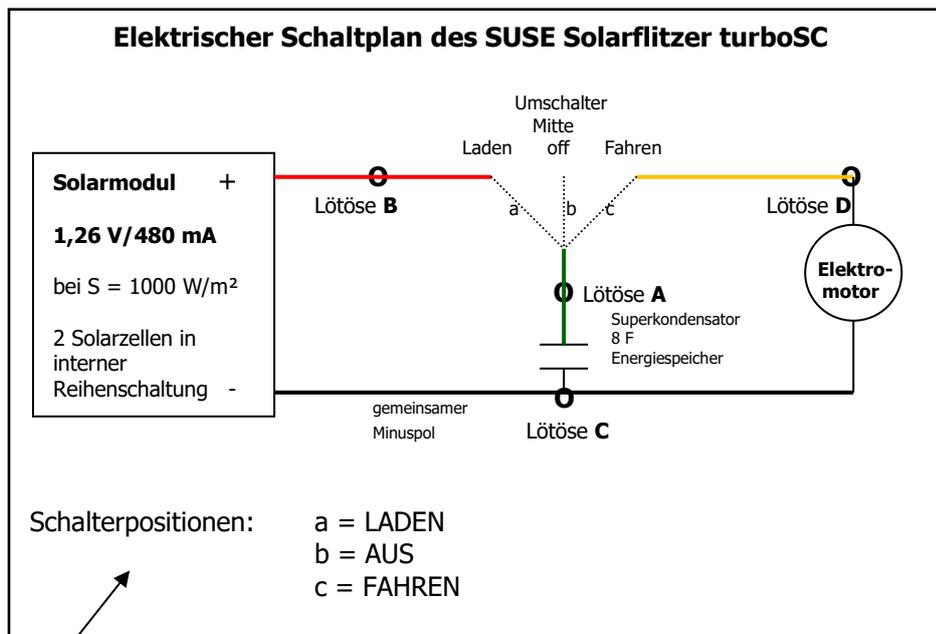
Berechne die Werte und trage sie in die Tabelle ein!

**Was fällt Dir auf? Notiere Deine Beobachtungen und Ideen hier:**

## 7. Weitere Experimente:

Mit dem kleinen Solarmodul kannst Du weitere Experimente zur Photovoltaik durchführen, z.B. Reihenschaltungen, Parallelschaltungen mehrerer Module oder auch eigene Ideen verwirklichen. Probiere Deine Ideen aus und berichte hier:

Notiere Deine Ideen und Experimente hier:



Der QR- Code führt Dich zu den technischen Daten des Solarmoduls auf dem Fahrzeug: SUSEmod8



### Das Bild zeigt die elektrische Schaltung des SUSE Solarflitzers turboSC.

Vom Solarmodul geht die rote Plusleitung zur Lötöse B, ebenso die rote Leitung vom Umschalter. Die grüne Leitung vom Umschalter geht zur Lötöse A, ebenso die Plusleitung des Superkondensators. Vom Umschalter geht die gelbe Leitung zur Lötöse D, ebenso die schwarze Plusleitung vom Elektromotor. Zum gemeinsamen Minusanschluss bei Lötöse C gehen die Minusleitung des Solarmoduls, die Minusleitung des Superkondensators und die schwarze Minusleitung des Elektromotors.

Bei Schalterposition **a LADEN** fließt der Ladestrom vom Solarmodul zum Speicherkondensator.  
Bei Schalterposition **b AUS** sind Solarmodul, Superkondensator und Elektromotor elektrisch getrennt.  
Bei Schalterposition **c FAHREN** fließt der Strom aus dem Superkondensator zum Elektromotor, das Auto fährt.

Mit einem Multimeter kann an den Lötösen B und C die Modulspannung und der Kurzschlussstrom des Solarmoduls gemessen werden (Schalter AUS).

Mit einem Multimeter kann an den Lötösen A und C die Kondensatoraufladung und – Entladung beim Laden und Entladen gemessen werden.