



**Photovoltaik-
System
SUSE**

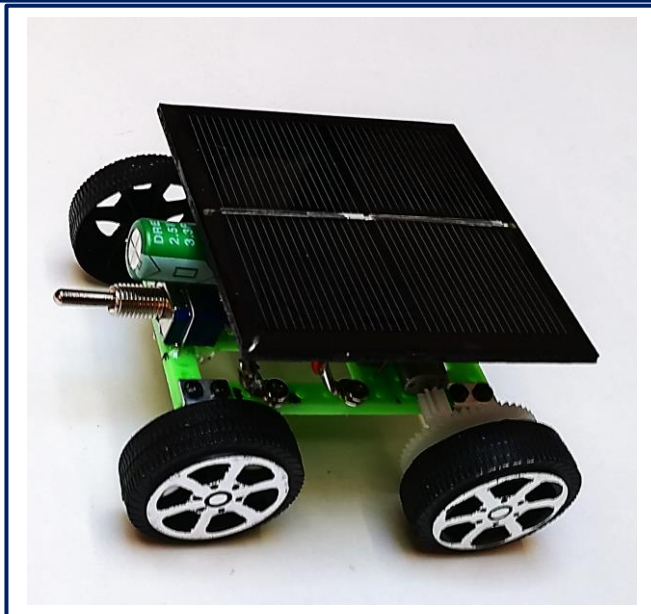
**Solarthermiesystem
Wärme von der Sonne**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung



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 ($C = 3,3 \text{ F} / U = 2,4 \text{ V}$) angeordnet, er kann die vom Solarmodul gelieferte Energiemenge von 2,62 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). Das Fahrzeug ist das Modell eines autarken realen Elektrofahrzeuges mit eigenem Solarmodul.

Die Experimente zur Auswahl:

1. **Fahrbetrieb + Messungen**
2. **Messung der Geschwindigkeit in m/s und in km/h**
3. **Messung der Solarzellenspannung und des Kurzschlussstroms beider Solarmodule**
4. **Bestimmung der Stärke der Sonnenstrahlung/Lichtstrahlung in W/m^2**
5. **Weitere Experimente**

1. **Fahrbetrieb + Messungen**

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 1- 2 Minuten.

Im Ruhemodus steht der Betriebsschalter auf **AUS**, zum Aufladen wird der Schalter auf **LADEN** gestellt (**grüner Punkt**). Nach ca. 1-2 min. ist die Ladung vollendet, der Schalter wird wieder auf **AUS** gestellt.

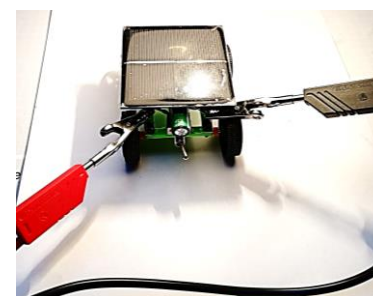
Im Innenraum kann die Aufladung durch Bestrahlung mit einer Halogenlampe oder einer Rotlichtlampe aus ca. 40 cm Abstand durchgeführt werden.

Nun wird das Fahrzeug auf eine ebene Fläche gestellt, anschließend der Schalter auf **FAHREN (roter Punkt)** gestellt, das Fahrzeug flitzt davon!

Messungen zur Aufladung:

Die Aufladung kann mit einer Spannungsmessung beobachtet werden.

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



auf **LADEN** startet die Aufladung, die Spannungssteigerung kann beobachtet werden.

Bei einer 2. Messung kannst Du die Anzeige jede 10 Sekunden ablesen und in die Tabelle eintragen:

| Zeit in s Ab dem Start | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|---------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Spannung in V | | | | | | | | | | |

Bei Interesse kannst Du mit Excel oder auf mm- Papier die Aufladekurve zeichnen! Mit einem Messinterface kann die Kurve mit einem Laptop oder PC aufgenommen werden.

Notiere Deine Beobachtungen und Auswertungen hier:

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

Markiere eine Messstrecke von 2m und bestimme mit der Stoppuhr im Smartphone die Zeit für diese Strecke. Wenn Du nun die Messstrecke durch die Zeit teilst, bekommst Du die Geschwindigkeit in m/s.

Wenn Du diese Zahl mit 3,6 multiplizierst, hast Du die Geschwindigkeit in km/h.

Gib Deine Geschwindigkeit hier an:m/s *3,6 =km/h

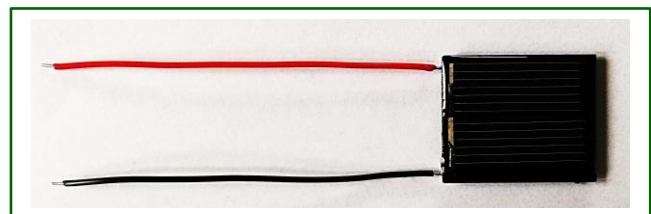
3. Messung der Solarzellenspannung und des Kurzschlussstroms

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 den 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 Ablösen 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. 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 Solarzelle.

Messergebnisse: Trage Deine Messergebnisse in die folgende Tabelle ein!

| | | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------|------------------------|-------------------------|
| Solarstrahlung | 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!

Messergebnisse: Trage Deine Messergebnisse in die Tabelle ein!

| | | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------|------------------------|-------------------------|
| Solarstrahlung | Strahlender Sonnenschein | Leicht Bedeckter Himmel | stärker bedeckter Himmel | Schatten | 40 cm vor Halogenlampe | 40 cm vor Rotlichtlampe |
| Stromstärke in A Großes Solarmodul | | | | | | |
| Kleines Solarmodul | | | | | | |
| Bestrahlungsstärke S in W/m² (Aufgabe 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?

4. Bestimmung der Stärke der Sonnenstrahlung/Lichtstrahlung in W/m²

Experiment nur mit dem großen Solarmodul! 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/m² gemessen, strahlender Sonnenschein im Sommer sind 1000 W/m², bewölkter Himmel ca. 100- 500 W/m², Dunkelheit 0 W/m². 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 auf Seite 3 ein!

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

5. 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:

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

Die technischen Daten des Solarmoduls SUSEmod8

aufgenommen im Kennlinienlabor des ISFH

SUSEmod8- ein leistungsstarkes und robustes 1,26 V- Solarmodul für PV- 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.

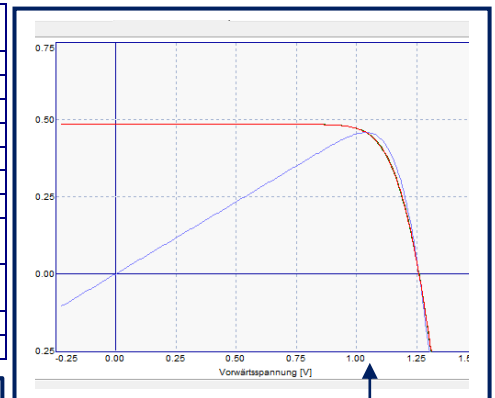
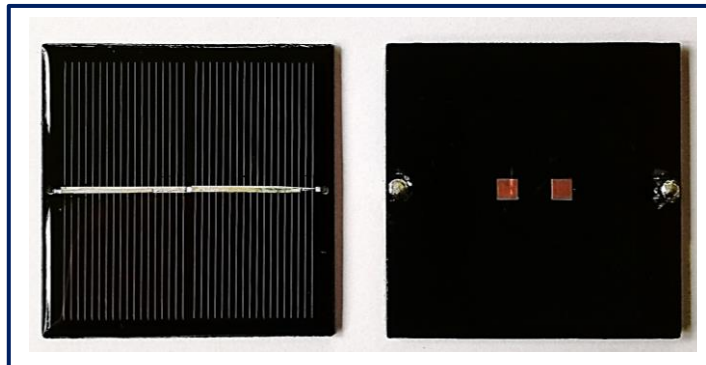
Das Solarmodul kann rückseitig mit doppelseitigem Klebeband oder mit Klebstoff auf glatte Oberflächen aufgeklebt werden. Im Lieferzustand ist die Vorderseite mit einer Schutzfolie bedeckt, diese wird vor Erstgebrauch entfernt.

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

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

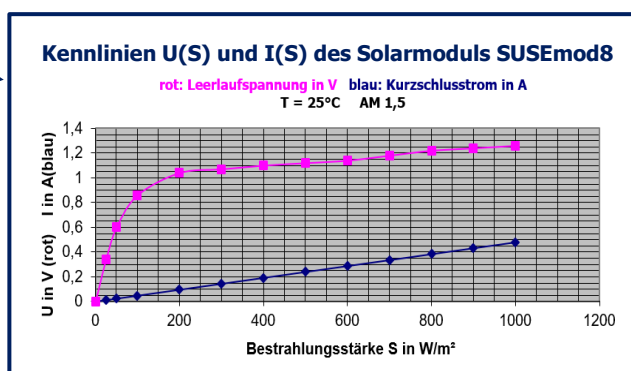
Technische Daten bei einer Einstrahlung von $S = 1000 \text{ W/m}^2$, $T = 25^\circ\text{C}$, $AM = 1,5$ gemessen im Flasher- Labor des ISFH

| 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) | η | 17,5 | % | Wirkungsgrad der Energieumwandlung |
| Füllfaktor | FF | 78,24 | % | FF ist ein Qualitätsmerkmal |
| Stromdichte | j | 35,6 | mA/cm ² | 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 | |



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

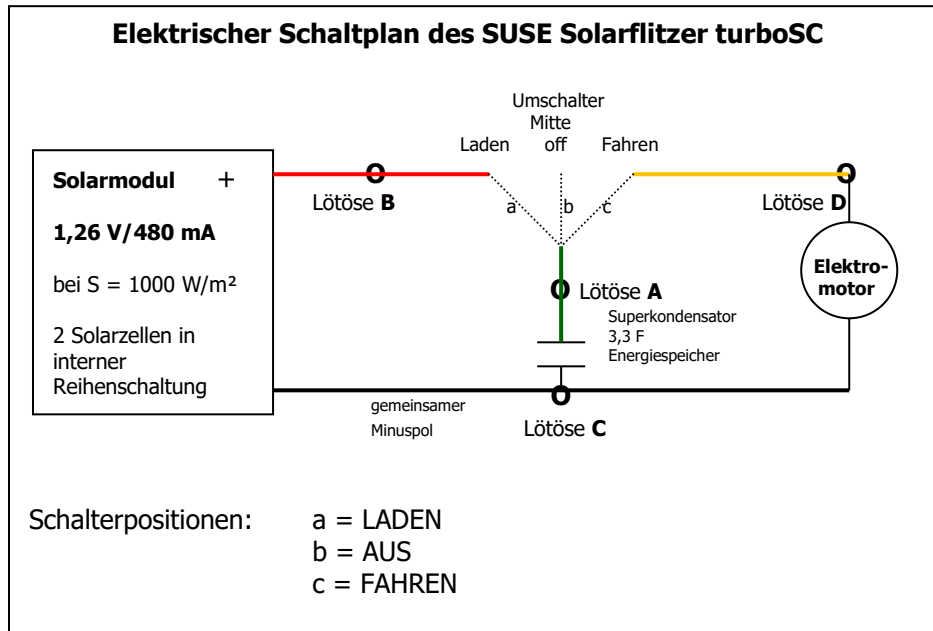
Die Kennlinien zeigen die Abhängigkeiten der Leerlaufspannung U (e- Funktion) und des Kurzschlussstroms I (lineare Funktion) von der Bestrahlungsstärke S (Intensität des Lichts) 0 = absolute Dunkelheit 1000 = strahlender Sonnenschein im Sommerhalbjahr bei tiefblauem Himmel



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

Die rote I(U)- Kennlinie zeigt die Abhängigkeit des Solarzellenstroms von der Solarzellen Spannung 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.



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 beim Laden gemessen werden (Schalter LADEN), es ergibt sich eine e-Funktion!

Mit einem Multimeter kann an den Lötösen A und D die Kondensatorentladung beim Fahren (Fahrzeug aufbocken!) gemessen werden (Schalter FAHREN), es ergibt sich eine e-Funktion!