



**Photovoltaik-System SUSE**

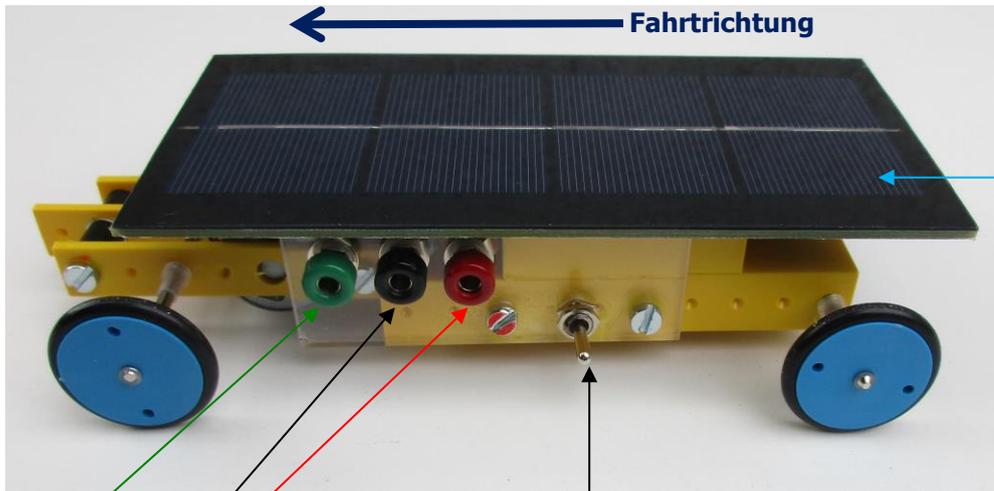
innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung

**Solarthermiesystem Wärme von der Sonne**



# Experimente mit dem SUSE Solarfahrzeug 3

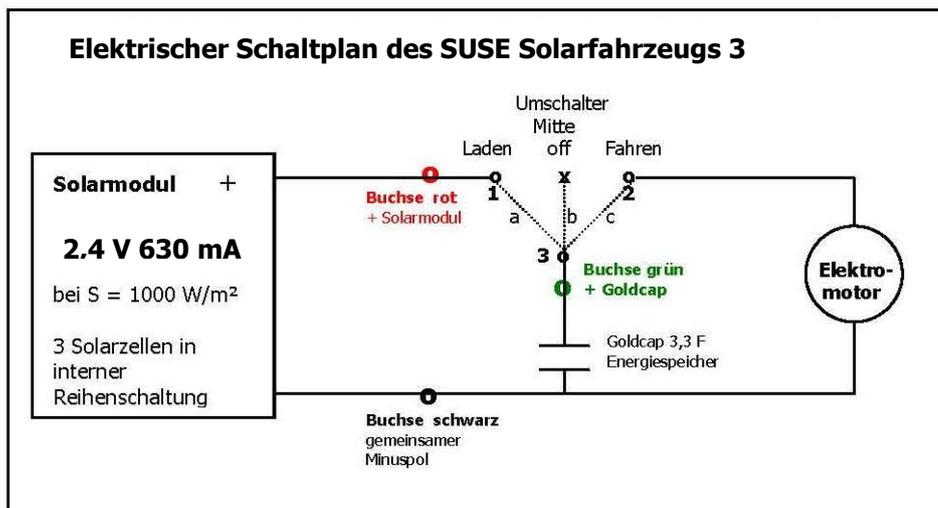
**Lern Station C12**



Experimente SF3  
 Solarmodul SUSEmod6  
 2,4 V/630 mA  
 bei S = 1000 W/m<sup>2</sup>

**Buchse grün** = +Pol GoldCap  
**Buchse schwarz** = gemeinsamer Minuspol  
**Buchse rot** = Pluspol Solarmodul

**Schalterpositionen:**  
 a In Fahrtrichtung nach hinten geschaltet: Aufladung GoldCap am Modul  
 b Mitte: AUS  
 c In Fahrtrichtung nach vorne geschaltet: Fahren, GoldCap am Solarmotor



**Experiment 1: Nur Aufladen und Fahren** Seite 2

**Experimente 2: Photovoltaik- Experimente mit dem Solarmodul SUSEmod6** Seiten 3- 8

**Experimente 3: Messungen des Aufladevorgangs am GoldCap** Seiten 8 - 10

**Experimente 4: Messungen des Entladevorgangs am GoldCap** Seite 11

## Experiment 1: Nur Aufladen und Fahren

Lichtquellen: Draußen: natürliches Sonnenlicht oder Licht des bedeckten Himmels  
Innenraum: Halogenstrahler 35....150 W, Glühbirne 60 W, kein LED Licht!  
optimal: Platte des Overheadprojektors

**Experiment 1.1:** Das Solarmodul wird mit Licht beleuchtet, das Solarmodul wird zu Lichtquelle ausgerichtet. Der Schalter wird in Pos. a nach hinten geschaltet, nun lädt sich der GoldCap-Kondensator mit der Spannung des Solarmoduls auf, der Aufladevorgang dauert je nach Lichtintensität 30s.....3 min.

Der Schalter wird nun auf die Mittelposition b geschaltet, der Kondensator hat die el. Ladung gespeichert. **Wichtig! Schalter nach dem Aufladen immer in Mittelposition AUS bringen, da sich sonst bei geringerer Lichteinstrahlung der GoldCap über das Solarmodul entlädt (Solarmodul wirkt wie Diode).**

Das Fahrzeug wird nun auf eine glatte, ebene Fläche gestellt, der Schalter nach vorne geschaltet, das Fahrzeug fährt.

### Weitere Experimente:

Testen Sie die Reichweite des fahrenden Autos nach der Aufladung mit unterschiedlich hellen Lichtquellen!

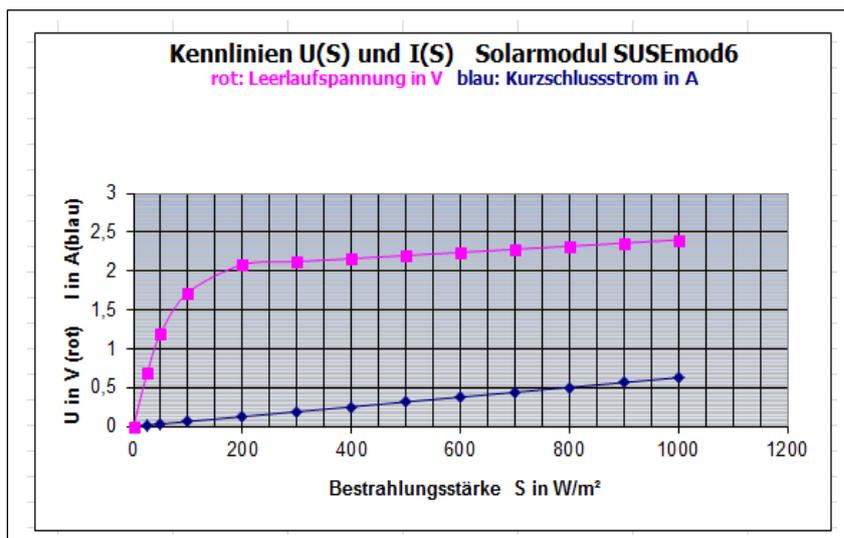
Messen Sie die Geschwindigkeit des Fahrzeugs mit Messstrecke und Stoppuhr ( $v = s/t$ ) nach der Aufladung mit unterschiedlich hellen Lichtquellen!

## Experimente 2: Photovoltaik- Experimente mit dem Solarmodul SUSEmod6

Wird der Schalter in die Mittelposition b geschaltet, ist das Solarmodul elektrisch getrennt, am rot- schwarzen Buchsenpaar können Spannung und Stromstärke gemessen werden, mit diesen Daten können wichtige Größen von Solarzellen/modul bestimmt werden.

### Die technischen Daten des Solarmoduls SUSEmod6

#### 1. Die Kennlinien:



**Die x- Achse** ist die Lichtintensität, die Bestrahlungsstärke S in W/m<sup>2</sup> (1000 W/m<sup>2</sup> = strahlender Sonnenschein bei blauem Himmel im Sommer, Dunkelheit = 0 W/m<sup>2</sup>)

#### y- Achse:

Der violette Graph ist die Leerlaufspannung U<sub>oc</sub> des Moduls in V, eine komplexe e-Funktion

Der blaue Graph zeigt den Kurzschlussstrom I<sub>sc</sub> des Moduls in A, es ist eine einfache lineare Funktion, eine Ursprungsgerade

#### 2. weitere technische Daten:

Im Modul sind 4 Solarzellen in Reihe geschaltet, Modulmaße: 160 x 75 mm

Maße einer Solarzelle: 52 x 35 mm

2 Lötunkte zum Anlöten von Schaltdrähten auf der Unterseite, Pole gekennzeichnet

### 3. Experimente zur Leerlaufspannung des Solarmoduls

Die Leerlaufspannung  $U_{oc}$  ist die elektrische Spannung des unbelasteten Solarmoduls (oc = open circuit), sie wird mit einem Multimeter im **Messbereich 20V DC** bestimmt.

**Schließen Sie die Messkabel an die rote und schwarze Buchse an, achten Sie darauf, dass der Schalter in Mittelposition ist.**

Die Leerlaufspannung hängt von der Lichtintensität und vom Material/Qualität der Solarzelle ab, die 4 Solarzellen im Modul bestehen aus Silizium Si. Der Wert der Modul-Spannung sollte im Sonnenlicht zwischen 2,3 und 2,4 V liegen, bei bedecktem Himmel 2,1 – 2,3 V, im Innenraum bei ca. 1,2 – 1,5 V, unabhängig von der Fläche!

Die 4 Solarzellen im Modul sind in Reihe geschaltet, daher addieren sich ihre Einzelspannungen.

Ort der Messung	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet oder auf OHPProjektor	Draußen bei Sonnenschein im Schatten oder auf OHP mit Blatt Papier zwischen Modul und Glasplatte	Draußen bei bedecktem Himmel oder auf OHP mit 2 Blatt Papier zwischen Modul und Glasplatte	Im beleuchteten Innenraum
Leerlaufspannung U in V				
Leerlaufspannung U in V von einer Solarzelle				

Was fällt Ihnen auf, notieren Sie Ihre Ergebnisse hier:

### 4. Experimente zum Kurzschlussstrom $I_{sc}$ des Solarmoduls (sc = shortcut)

Solarzellen oder Solarmodule darf man kurzschließen, die Stromstärke kann nie höher werden als die vom Licht maximal generierte Stromstärke. Das Problem bei Kurzschlüssen sonstiger Stromquellen besteht hier nicht. Der Kurzschlussstrom ist eine wichtige Größe, da er direkt linear von der Bestrahlungsstärke S (und von der Fläche der Solarzelle) abhängt.

Die 3 Solarzellen im Modul sind in Reihe geschaltet, daher verändert sich der Kurzschlussstrom nicht, er hat den Wert einer Solarzelle.

Zur **Messung des Kurzschlussstroms** stellen wir am Multimeter den **Messbereich 10 A** ein, lediglich bei Messungen im Innenraum gehen wir in den Bereich 200 oder 20 mA.

<b>Ort der Messung</b>	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet oder auf Glasplatte eines OHProjektors	Draußen bei Sonnenschein im Schatten oder auf OHP mit 1 Blatt Papier zwischen Modul und Glasplatte	Draußen bei bedecktem Himmel oder auf OHP mit 2 Blatt Papier zwischen Modul und Glasplatte	Im beleuchteten Innenraum
<b>Kurzschlussstrom <math>I_{sc}</math> in A</b>				

Was fällt Ihnen auf, notieren Sie Ihre Ergebnisse hier:

## 5. Experimente zur elektrischen Leistung der Solarzelle P in W (Watt)

**So berechnet sich die elektrische Leistung:  $P_E = U_{oc} \times I_{sc} \times 0,8$  in W**

vereinfachter Ansatz, P ist Leerlaufspannung x Kurzschlussstrom x 0,8, **P sollte also im**

Keine erneute Messung notwendig, Berechnung mit den beiden bereits bestimmten Messwerten  $U_{oc}$  und  $I_{sc}$

**Idealfall bei  $1000 \text{ W/m}^2$  Einstrahlung ca.  $0,9 \text{ W}$  sein.** (Der Faktor 0,8 erklärt sich über die Kennlinie und den MPP der Solarzelle)

<b>Ort der Messung</b> Werte aus Exp. 3+4 übernehmen ↓	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet oder auf Glasplatte eines OHProjektors	Draußen bei Sonnenschein im Schatten oder auf OHP mit 1 Blatt Papier zwischen Modul und Glasplatte	Draußen bei bedecktem Himmel oder auf OHP mit 2 Blatt Papier zwischen Modul und Glasplatte	Im beleuchteten Innenraum
<b>Kurzschlussstrom <math>I_{sc}</math> in A</b>				
<b>Leerlaufspannung U in V</b>				
<b>Leistung P in W</b> $U * I * 0,8$				

Was fällt Ihnen auf, notieren Sie Ihre Ergebnisse hier:

## 6. Experimente zur Qualität der verwendeten Solarzellen

Wird durch die Stromdichte bestimmt, d.h. wie viel Strom (in mA) wird von 1 cm<sup>2</sup> Zellenfläche generiert = = Stromdichte  $j$  in mA/cm<sup>2</sup>. Hierbei muss die **Einstrahlung 1000 W/m<sup>2</sup> betragen**, also Messungen im strahlenden Sonnenschein oder auf einem Overheadprojektor. Bei den Experimenten 7 wird die Messung der Bestrahlungsstärke erklärt und durchgeführt. Die Maße der Solarzelle finden Sie bei den technischen Daten auf Seite 2.

Verwenden Sie die Messung des Kurzschlussstroms bei Experiment 4 oder nehmen Sie die Herstellerangabe, 630 mA. Mit dieser Methode lässt sich auch ganz einfach die Qualität unbekannter Solarzellen bestimmen.

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

Die Stromdichte der verwendeten Zelle ist.....mA/cm<sup>2</sup>

Die Qualität der Solarzelle ist.....  
Sehr gut – gut – mittel- schlecht

### Vergleichstabelle zur Stromdichte

Sehr Gut:	> 34 mA/cm <sup>2</sup>
Gut	28-34 mA/cm <sup>2</sup>
Mittel:	24....28 mA/cm <sup>2</sup>
Schlecht:	< 24 mA/cm <sup>2</sup>
Bei einer Bestrahlungsstärke von 1000W/m <sup>2</sup> !!	
Maximal möglicher theoretischer Wert: 44 mA/cm <sup>2</sup>	

## 7. Reihenschaltung mehrerer Solarmodule

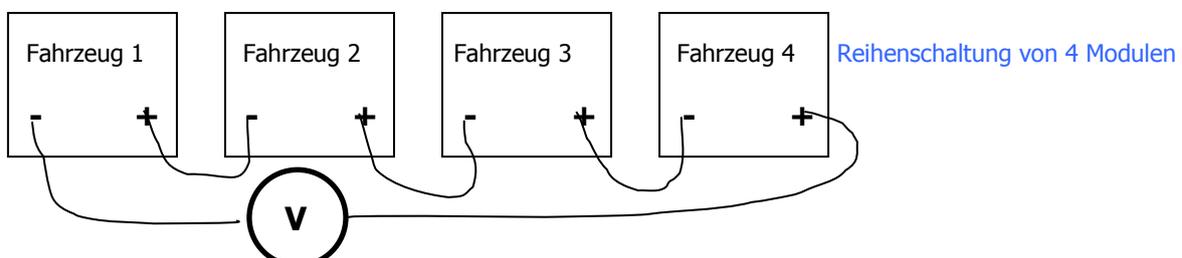
Mehrere Solarmodule (= mehrere Fahrzeuge) lassen sich beliebig in Reihe schalten und höhere Spannungen erreichen!

(In der Photovoltaik- Technik werden in den großen Solarmodulen meist 36...72 Solarzellen in Reihe geschaltet)

### Mehrere Module 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)

Du kannst natürlich auch mehr als 4 Module in Reihe schalten, mit 8 Solarzellen in Reihenschaltung kannst Du schon ein 3V-Radio betreiben! Probiere es aus!



Achten Sie bei den Messungen auf gleiche Lichtintensität auf allen 4 Modulen, optimal wären Messungen im Freien

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

**Werte für die Reihenschaltung von 4 Solar- Modulen:**

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

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

Was fällt Ihnen auf, notieren Sie Ihre Ergebnisse hier, überprüfen Sie die Gesetze der Reihenschaltung!

## 8. Experimente zur Wirkungsgradbestimmung einer Solarzelle

**Voraussetzung: Overheadprojektor oder Sonnenlicht mit der Bestrahlungsstärke 1000 W/m<sup>2</sup> oder theoretische Bestimmung mit den Herstellerangaben** klein dahinter

Der Wirkungsgrad gibt an, wie viel % der eingestrahnten Lichtleistung in elektrische Leistung umgewandelt werden.

- Umrechnung der Lichtleistung  $P_L$  mit  $S = 1000 \text{ W/m}^2$  bzw.  $0,1 \text{ W/cm}^2$  auf die **wirkliche Fläche** der Solarzelle:

**Die Einzel- Zelle hat eine Fläche von 18,2 cm<sup>2</sup>, sie erhält bei 1000 W/m<sup>2</sup>**

**eine Lichtleistung  $P_L$  von :.....W** 1,82 W

- Die **elektrische Leistung**  $P_E$  von Exp.4 war bei einer Solarzelle im Modul:

**$P_E = \dots\dots\dots W$**  0,300 W

**3. Wirkungsgrad = elektrische Leistung  $P_E$  : Lichtleistung  $P_L$  \* 100 = Wirkungsgrad in %**

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

Der Wirkungsgrad der verwendeten Solarzelle ist.....% 16,48 %

**Wirkungsgrade von Solarzellen:**

Monokristalline Zellen: 17- 22 % Polykristalline Zellen: 15 – 19 %

Ihr gemessener Wirkungsgrad war:.....  
 sehr gut ---gut---mittel---schlecht

**9. Messungen der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke) in W/m<sup>2</sup>**

Mit der hier verwendeten Solarzelle kann die **Lichtintensität 1000 W/m<sup>2</sup>** von Lichtquellen oder vom natürlichen Tages/Sonnenlicht genau bestimmt werden.

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

**Kurzschlussstrom I<sub>sc</sub> der 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 <sub>sc</sub> in A = I <sub>mess</sub>	Bestrahlungsstärke S <sub>x</sub> in W/m <sup>2</sup>
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 Halogenlampe 35 W (Strahler SUSE 5.16)		
40 cm vor Halogenstrahler 150 W		
Im Innenraum Zum Fenster hin ausgerichtet		
Im Innenraum Zur Decke hin ausgerichtet		

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

### Experimente 3: Messungen des Aufladevorgangs am GoldCap

**Vorweg etwas Theorie:** Wenn der Schalter nach hinten geschaltet wird, ist der GoldCap-Kondensator elektrisch mit dem Solarmodul verbunden und lädt sich von 0 V bis auf die Modulspannung auf. Je nach Lichtintensität geht dieser Vorgang verschieden schnell, der maximale Strom des Moduls (Kurzschlussstrom) bestimmt die Schnelligkeit der Aufladung. Hat der GoldCap- Kondensator die Modulspannung  $U_{\max}$  erreicht, hat er elektrische Energie  $W$  der Größe  $W = \frac{1}{2} CU^2$  gespeichert, mit  $C = 3,3 \text{ F}$ . Die **Ladespannung  $U_C$**  beginnt bei 0V und erreicht in einer ansteigenden e- Funktion  $U_{\max}$ .

Der Ladestrom  $I_C$  kann ebenfalls gemessen werden, er ist zu Beginn der Aufladung sehr groß und verringert sich in einer abfallenden e- Funktion langsam auf 0.

Eine günstige Lichtquelle zur experimentellen Untersuchung ist die Glasplatte eines Overheadprojektors, auf die das Auto mit dem Modul nach unten aufgelegt wird.

#### Experiment 3.1: Beobachtung des Aufladespannung

Zuerst wird bei Mittelstellung des Schalters der GoldCap vollständig entladen, indem die grüne und die schwarze Buchse kurz mit einem Laborkabel verbunden werden.

Dann wird ein Voltmeter im Messbereich 20 V DC an das grün- schwarze Buchsenpaar angeschlossen und zum Start der Schalter von der Mittelposition nach hinten geschaltet. Man erkennt am Multimeter die ansteigende Spannung, die von 0 bis zur maximalen Modulspannung ansteigt. Der Vorgang dauert je nach Lichtintensität zwischen 15.....100 Sekunden. Nach der vollständigen Aufladung den Schalter wieder in Mittelposition schalten, damit sich der GoldCap nicht über das Modul entlädt.

### Experiment 3.2: Manuelle Messung des zeitlichen Verlaufs $U(t)$ der Aufladespannung

Der Schalter wird in Mittelposition geschaltet. Dann wird der GoldCap- Kondensator wieder völlig entladen, indem kurz die schwarze und die grüne Buchse verbunden wird.

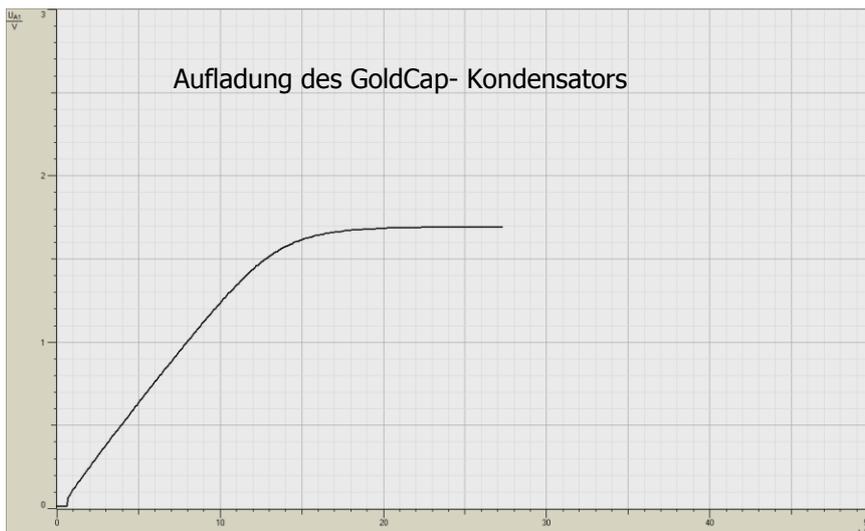
Nun wird das Modul mit Licht bestrahlt (z.B. natürliches Sonnen-/Tageslicht oder Platte eines Overheadprojektors). An das grün- schwarze Messbuchsenpaar wird ein Multimeter im Messbereich 20V DC angeschlossen (+ an grün, - an schwarz). Mit dem Umlegen des Schalters nach hinten auf Ladeposition beginnt die Aufladung. Im 3- Sekunden- Takt werden die Spannungswerte aufgenommen und in die Tabelle eingetragen

t in s	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
U in V												

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

### Experiment 3.3: Automatische Messung des zeitlichen Verlaufs $U(t)$ der Aufladespannung mit einem PC- Interface

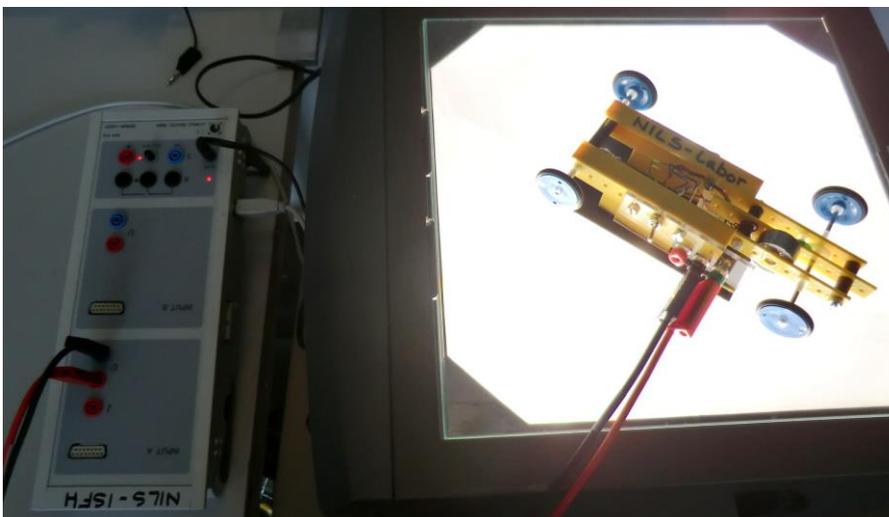
Mit einem PC- Interface, z.B. CassyLab lassen sich Graph und Messwerttabelle aufnehmen, die nachfolgende Grafik zeigt eine solche  $U(t)$ - Aufnahme:



Der Graph zeigt die **Spannung  $U$  des Kondensators** in Abhängigkeit von der Zeit **bei der Aufladung**, gemessen mit **CassyLab**. Wie das untenstehende Foto zeigt, liegt das Fahrzeug mit dem Solarmodul nach unten auf einem Overheadprojektor mit ca. 600 W/m<sup>2</sup>.

Die Spannung beginnt bei 0 V und erreicht nach ca. 25 s den Endwert 1,7 V.

Der Graph entspricht nicht genau der typischen Aufladekurve eines Kondensators an einem Netzgerät, da das Solarmodul den Ladestrom begrenzt und die ideale e- Funktion verändert.



#### Experiment- Aufbau

Rechts das Solarfahrzeug 3B mit dem Solarmodul nach unten auf der Platte des OHP, seitlich sind die Laborkabel zur Aufnahme der  $U(t)$ - Aufladekurve angeschlossen. Links das PC- Interface CassyLab, die Laborkabel sind am U- Eingang eingesteckt.

### Experiment 3.4: Beobachtung des Aufladestroms $I(t)$

Zuerst wird bei Mittelstellung des Schalters der GoldCap vollständig entladen, indem die grüne und die schwarze Buchse kurz mit einem Laborkabel verbunden werden.

Dann wird ein Amperemeter im Messbereich 10A DC an das grün- rote Buchsenpaar angeschlossen, ein Stecker des Amperemeterkabels wird erst zum Start in das Amperemeter eingesteckt.

Man erkennt am Amperemeter die exponentiell fallende Stromstärke, die zu Beginn ihren Maximalwert hat und bei voller Aufladung auf 0 geht. Der Vorgang dauert je nach Lichtintensität zwischen 15.....100 Sekunden.

### Experiment 3.5: Manuelle Messung des zeitlichen Verlaufs $U(t)$ der Aufladespannung

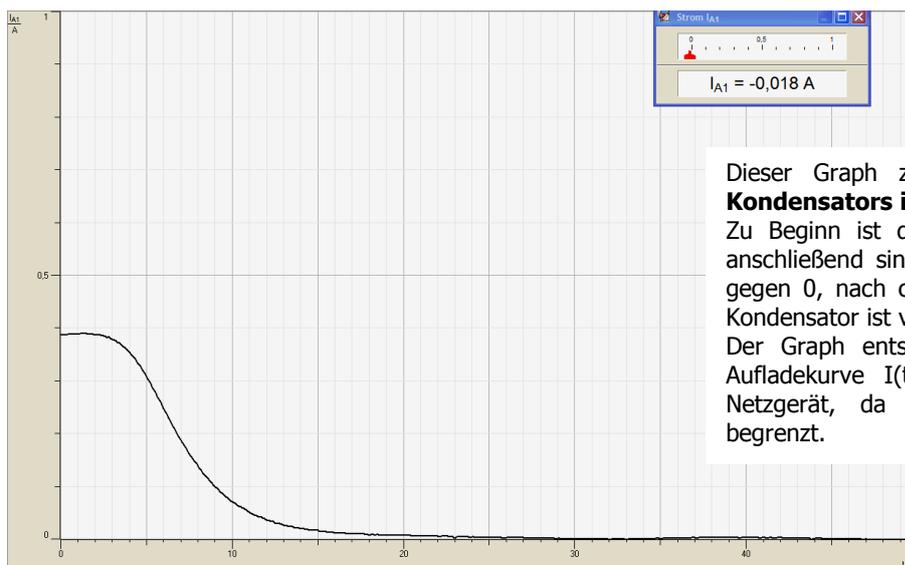
Der Schalter wird in Mittelposition geschaltet. Dann wird der GoldCap- Kondensator wieder völlig entladen, indem kurz die schwarze und die grüne Buchse verbunden wird.

Nun wird das Modul mit Licht bestrahlt (z.B. natürliches Sonnen-/Tageslicht oder Platte eines Overheadprojektors). An das grün- rote Messbuchsenpaar wird ein Multimeter im Messbereich 10A DC angeschlossen, Erst zum Start wird einer der Stecker in das Multimeter gesteckt, dann beginnt die Aufladung. Im 3- Sekunden- Takt werden die Stromstärkewerte aufgenommen und in die Tabelle eingetragen

t in s	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
I in A												

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

### Experiment 3.6: Automatische Messung des zeitlichen Verlaufs $I(t)$ der Aufladestromstärke mit einem PC- Interface



Dieser Graph zeigt die **Ladestromstärke des Kondensators in Abhängigkeit von der Zeit**. Zu Beginn ist der Ladestrom groß, ca. 380 mA, anschließend sinkt er als e- Funktion asymptotisch gegen 0, nach ca. 25 s ist die Stromstärke 0, der Kondensator ist voll aufgeladen. Der Graph entspricht nicht genau der typischen Aufladekurve  $I(t)$  eines Kondensators an einem Netzgerät, da das Solarmodul den Ladestrom begrenzt.

### Experiment 3.7: Aufladung des GoldCap- Kondensators mit dem Elektromotor als Generator

Wenn man das Fahrzeug auf einem Tisch mehrmals schnell vorwärts schiebt, wirkt der Elektromotor als Generator und lädt den GoldCap- Kondensator auf. Man zeigt das, indem man das Fahrzeug hochhebt, die Räder der Vorderachse drehen sich deutlich sichtbar.

## Experimente 4: Messungen des Entladevorgangs am GoldCap

Wenn der geladene GoldCap durch Umlegen des Schalters nach vorne an den Elektromotor gelegt wird, dreht sich der Motor und über das Getriebe die Vorderachse. Die Entladung dauert wesentlich länger als die Aufladung. Da im fahrenden Zustand keine Kabel an die Buchsen angeschlossen werden können, wird das Auto umgekehrt auf das Solarmodul gelegt, so dass sich die Räder frei in der Luft drehen können.

### Experiment 4.1: Beobachtung der Entladespannung $U_c(t)$

Der GoldCap- Kondensator wird voll aufgeladen, an das grün- schwarze Buchsenpaar wird ein Multimeter im Bereich 20 V DC angeschlossen. Nun wird der Schalter nach vorne umgeschaltet, die Entladung beginnt, die Räder drehen sich.

Man kann die Verringerung der Spannung des GoldCap mit der Zeit gut beobachten.

### Experiment 4.2: Manuelle Messung des zeitlichen Verlaufs $U(t)$ der Entladespannung

Der GoldCap- Kondensator wird voll aufgeladen, an das grün- schwarze Buchsenpaar wird ein Multimeter im Bereich 20 V DC angeschlossen.

Zum Start wird der Schalter nach vorne geschaltet, die Aufladung beginnt.

Im 30-60 Sekunden- Takt werden die Spannungswerte aufgenommen und in die Tabelle eingetragen

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

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

### Experiment 4.3: Automatische Messung des zeitlichen Verlaufs $U(t)$ der Entladespannung mit einem PC- Interface

Mit einem PC- Interface, z.B. CassyLab lassen sich Graph und Messwerttabelle aufnehmen, die nachfolgende Grafik zeigt eine solche  $U(t)$ - Aufnahme:



Die Entladespannung startet bei ca. 1,6 V und verringert sich erwartungsgemäß, der Knick bei **Punkt A** bedeutet das Ende der Drehung des Motors, die mechanische Last (Getriebe, Achsen) fällt weg. Die Entladung geht – wenn auch langsamer- über die Wicklung der Drahtspule im Motor weiter und dauert länger als 500 s.

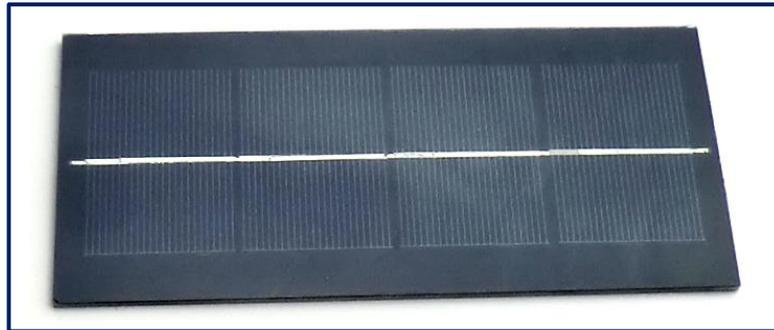


## Photovoltaik-System Solarthermiesystem Wärme von der Sonne SUSE innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung



### SUSEmod6- ein leistungsstarkes und robustes 2,48 V- Solarmodul für PV- Experimente

Das Solarmodul **SUSEmod6** enthält 4 Solarzellen in **interner Reihenschaltung**  
Modulgröße 160 x 75 mm,  
4 Solarzellen mit je  
52 x 35 mm



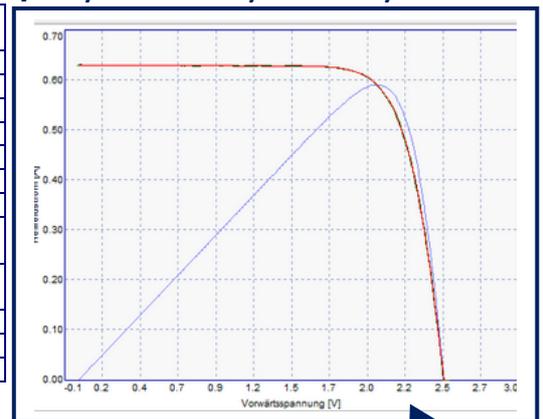
Das Solarmodul **SUSEmod6** enthält 4 Solarzellen in interner Reihenschaltung. Die Solarzellen sind bruchsicher eingebettet in eine Kunststoffplatte der Größe 160 x 75 mm. Die Oberseite über der Solarzelle ist hochtransparent laminiert. Auf der Rückseite sind 2 Lötkontakte zum Anlöten der Plus- und Minusleiter. Das Solarmodul kann rückseitig mit doppelseitigem Klebeband oder mit Klebstoff auf glatte Oberflächen aufgeklebt werden. Mit diesem Solarmodul lassen sich Einzelexperimente sowie Versuche zur Reihen- und Parallelschaltung durchführen oder als Solartankstelle für Solarfahrzeuge verwenden z.B. in Modul SUSE 4.34, SUSE 4.35 und beim SUSE- Solarboot 4. Besonders geeignet ist das Modul für Experimente mit Speicher- GoldCaps 2,5 V und mit LED's.

**Modul:** Kunststoffträger 160 x 75 mm mit hochtransparenter Oberfläche, mechanisch sehr robust

**Solarzelle:** Multikristalline Solarzellen 52 x 35 mm

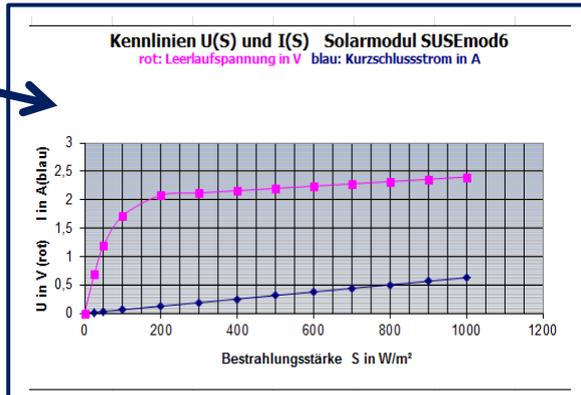
#### Technische Daten bei einer Einstrahlung von $S = 1000 \text{ W/m}^2$ , $T = 25^\circ\text{C}$ , $AM = 1,5$

Physikalische Größe	Symbol	Zahlenwert	Physikalische Einheit	Bemerkungen
Maße der Solarzellen		52 x 35	mm	Multikristalline Zellen
Leerlaufspannung	$U_{oc}$	2,49	V	Typisch für Silizium
Kurzschlussstrom	$I_{sc}$	0,63	A	Proportional zur Lichtintensität S
El. Leistung	P	1,2	W	bei Sonnenspektrum, AM 1,5
Wirkungsgrad	$\eta$	mind. 16,0	%	Wirkungsgrad der Energieumwandlung
Füllfaktor	FF	77	%	FF ist ein Qualitätsmerkmal
Stromdichte	j	34,6	$\text{mA/cm}^2$	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	$U_{MPP}$	2,03	V	
Stromstärke im MPP	$I_{MPP}$	0,59	A	
Leistung im MPP	$P_{MPP}$	1,2	W	



#### 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 der Solarzelle, der Schnittpunkt mit der y- Achse ist die Kurzschlussstromstärke.  
Die Leistungskurve (blau) zeigt den Punkt der maximalen Leistung, den Maximum-Power-Point MPP.