



**Photovoltaik-System
SUSE**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung

**Solarthermiesystem
Wärme von der Sonne**



Experimente mit dem Solarmodul SUSE 4.35

Solarmodul 4,9 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



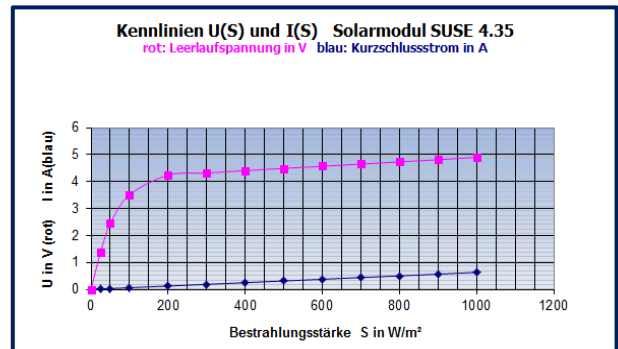
Oben: Das Solarmodul SUSE 4.35, auf der Vorderseite befinden sich 2 Module SUSEmod6, auf der Rückseite erkennt man die 2 Buchsen rot (+) und schwarz (-), dazwischen die grüne LED zur Betriebsanzeige. Das Voltmeter zeigt die Modulspannung 4,9 V an.

Das Solarmodul SUSE 4.35 ist ein robustes Modul mit 2 Solarmodulen SUSEmod6 mit 8 Solarzellen in interner Reihenschaltung. Die **Modulspannung ist 4,9 V**, der **Kurzschlussstrom 630 mA**, die **Leistung 2,4 W** bei Standard- Test- Bedingungen (Bestrahlungsstärke 1000 W/m², 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 4,9 V (rot), Plus 2 2,45 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/m². 0 ist absolute Dunkelheit, 1000 ist strahlender Sonnenschein bei tiefblauem Himmel im Sommerhalbjahr.
Die **Modulspannung U_{oc} (roter Graph)** steigt zunächst von 0 aus stark an und nähert sich allmählich dem Wert 4,9 V, mathematisch ist es eine e- Funktion.
Der **Kurzschlussstrom I_{sc}** 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 2,45 V zwischen schwarz (minus) und grün (plus) sowie 4,9 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 rote 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 das rot-schwarze Kabelpaar vom Multimeter (Messbereich 20V DC) bei Aufladen an das rot- schwarze Kabelpaar beim Solarmodul ergänzend anstecken. Beobachte den Ladevorgang!

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 und Messungen 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 SUSE 4.0 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.

Licht Energieform	Notiere hier Eigenschaften der Energieform Licht
	
Solarzelle 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 2,48 V** liegen, **bei bedecktem Himmel 2,3 V**, im **Innenraum bei ca. 1,5 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 oder auf OHProjektor	Draußen bei Sonnenschein im Schatten	Draußen bei bedecktem Himmel	Im beleuchteten Innenraum
Leerlaufspannung U in V				

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/m² 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
Kurzschlussstrom I_{sc} in A				

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/m² Einstrahlung 2,4 W** sein. Der Faktor 0,8 erklärt sich über die Kennlinie und den MPP der Solarzelle.

Weitere Berechnungen:

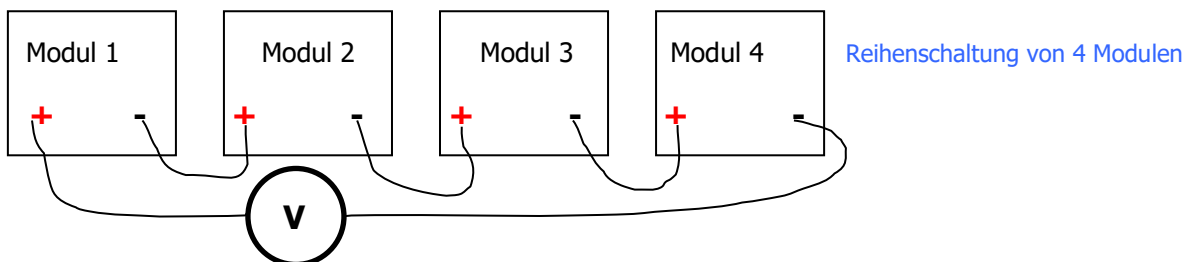
Ort der Messung	Draußen bei Sonnenschein zur Sonne gerichtet	Draußen bei Sonnenschein im Schatten	Draußen bei bedecktem Himmel	Im beleuchteten Innenraum
Kurzschlussstrom I_{sc} in A Werte übernehmen				
Spannung U_{oc} in V Werte übernehmen				
Leistung P in W $U_{oc} \times I_{sc} \times 0,8$				

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/m²

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/m² ist die Intensität der Lichtstrahlung der Sonne bei wolkenlosem Himmel im Sommer und ist internationaler Standard- Messwert für Solarzellen.

Kurzschlussstrom I_{sc} der Solarzelle bei einer Bestrahlung von 1000 W/m²

I_{sc} =0,63.....A =630.....mA

Messung der Bestrahlungsstärke S von Licht (Lichtintensität) in W/m²:

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

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

Dabei ist:	I _{sc} in A	der kalibrierte Kurzschlussstrom bei 1000 W/m ² = 0,63 A
	I _{mess} in A	der gemessene Kurzschlussstrom bei der Bestrahlungsstärke S _x
	S _x in W/m ²	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 über der Platte eines Overheadprojektors		
40 cm vor Halogenstrahler 150 W		
Im Innenraum Zum Fenster hin ausgerichtet		

Was fällt Dir auf, erläutere hier: