



**Photovoltaik-System SUSE**

innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung

**Solarthermiesystem  
Wärme von der Sonne**



Name: ..... Schule: ..... Datum: .....

# Photovoltaik- Experimente mit dem Solarmodul SUSE CM309



Das Solarmodul SUSE CM309 enthält 2 unterschiedliche Solarzellen:

1. Kristalline Si- Solarzelle 0,63V / 450 mA, rot- schwarzes Buchsenpaar (oben).
2. Dünnschicht- Solarmodul amorphes Silizium ca. 3V / 20 mA mit 4 Solarzellen in interner Reihenschaltung, grün- blaues Buchsenpaar (unten).

Die technischen Daten beider Solarzellen/-module sind am Ende der Anleitung beigefügt.

## Die Experimente:



### A Experimente mit der kristallinen Solarzelle 0,63 V/ 450 mA, rot- schwarzes Buchsenpaar

#### A1 Spannung, Stromstärke, Leistung durch Messungen bestimmen

Du benötigst dazu ein Multimeter mit 2 Laborkabeln (rot + schwarz) und das Grundgerät SUSE 4.0 (Halogenstrahler 120W) oder eine Rotlichtlampe in 40 cm Abstand

**Einstellungen am Multimeter** für die Spannungsmessung: 20V DC, schwarzes Minuskabel in Buchse com, rotes Pluskabel in Buchse V, für die Stromstärkemessung 10A DC, schwarzes Minuskabel in Buchse com, rotes Pluskabel in Buchse 10A (im Innenraum Messbereich 20 mA DC verwenden).

Ort der Messung	Spannung U in V	Kurzschlussstrom I in A	Leistung P in W $P = U \cdot I \cdot 0,8$
Auf Glasplatte (Mitte) des Overheadprojektors			
40 cm vor Halogenstrahler 120W			
Draußen, strahlender Sonnenschein			
Draußen, bedeckter Himmel oder Schatten			
Im Innenraum bei normaler Raumbelichtung			

Was fällt Dir auf? Notiere Deine Beobachtungen zu den Messungen hier:

## A2 Die Bestrahlungsstärke S (Lichtintensität) in W/m<sup>2</sup> des Lichts bestimmen

Du benötigst dazu ein **Multimeter im Messbereich 10A DC** mit 2 Laborkabeln (rot + schwarz), schalte den Motor für die Messungen aus! Schwarzes Minuskabel in Buchse com, rotes Pluskabel in Buchse 10A DC.

Die Intensität des Lichts (= Bestrahlungsstärke S in W/m<sup>2</sup>) kann durch Messung des Kurzschlussstroms bestimmt werden, da dieser direkt proportional zur Bestrahlungsstärke ist. Mit dieser Gleichung lässt sich S aus dem Kurzschlussstrom berechnen:

Ort der Messung	Kurzschlussstrom I in A	Bestrahlungsstärke S in W/m <sup>2</sup>
Auf Glasplatte (Mitte) des Overheadprojektors		
Draußen im Sonnenschein, zur Sonne ausgerichtet		
Draußen bei bedecktem Himmel, nach Süden ausgerichtet		
Draußen im Schatten		

**I in A \* 1000**

S =  $\frac{\text{I in A} * 1000}{1000} \text{ W/m}^2$

**0,45 A**

0,45 A ist der Kurzschlussstrom der Solarzelle bei S = 1000W/m<sup>2</sup>

Notiere Deine Beobachtungen und Auswertungen hier:

### A3 Reihenschaltung von Solarzellen

Du benötigst dazu ein Multimeter im Messbereich 20V DC mit 2 Laborkabeln (rot + schwarz). Weitere Laborkabel benötigst Du zum Verbinden mehrerer Module.

Da Solarzellen nur eine geringe Spannung von ca. 0,6 V haben, werden sie in großen Solarmodulen elektrisch in Reihe geschaltet, meist 36 oder 60 oder sogar 72 Zellen. Dadurch erhöht sich die Spannung.

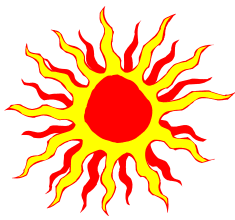
Stelle 2 Solarmodule SUSE CM309 ins Licht eines Halogenstrahlers oder einer Rotlichtlampe und verbinde den Minuspol des Moduls 1 mit dem Pluspol des Moduls 2. Die Gesamtspannung kannst Du nun zwischen dem Pluspol von Modul 1 und dem Minuspol von Modul 2 messen. Trage die Werte in die Tabelle ein und erweitere die Schaltung auf 3 oder 4 Module in Reihenschaltung.

Anzahl der Module	Spannung Modul 1 in V	Spannung Modul 2 in V	Spannung Modul 3 in V	Spannung Modul 4 in V	Gesamtspannung in V
2			XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX	
3				XXXXXXXXXX	
4					

Zusätzlich kannst Du auch einen Solarmotor SUSE 4.16 an die Gesamtspannung anschließen oder ein LED- Modul SUSE 4.15 oder das Radio SUSE 4.36. Evtl. benötigst Du mehr als 4 Solarzellen in Reihenschaltung zum Betrieb der Zusatzgeräte.

**Notiere Deine Beobachtungen und Auswertungen hier:**

Auf der Folgeseite befinden sich die technischen Daten der verwendeten Solarzelle.



**Photovoltaik-  
System  
SUSE**

**Solarthermiesystem  
Wärme von der Sonne**

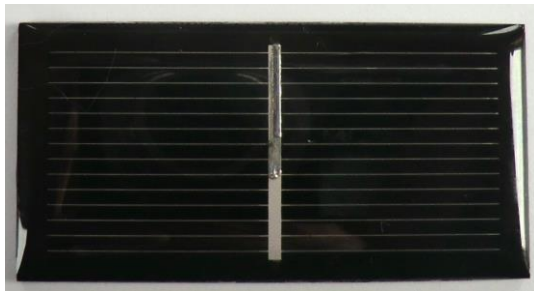
**innovative Solarsysteme für Schule und Ausbildung**



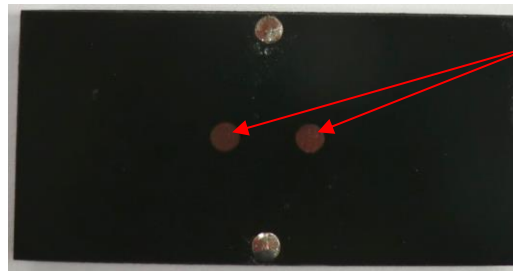
**BNE**  
Bildung für  
Nachhaltige  
Entwicklung

## SUSEmod5- ein preiswertes, leistungsstarkes und robustes Solarmodul für PV- Experimente

Das **Solarmodul SUSEmod5** enthält eine Solarzelle mit genau der halben Fläche des Solarmoduls SUSEmod215, Solarzellengröße 52mm x 26mm, Modulgröße 60mm x 30mm



**Vorderseite**



**Rückseite**

Die beiden Cu-Plättchen in der Mitte sind die (markierten) Pole der Solarzelle. An ihnen lassen sich Zellverbinder oder Schaltdrähte anlöten

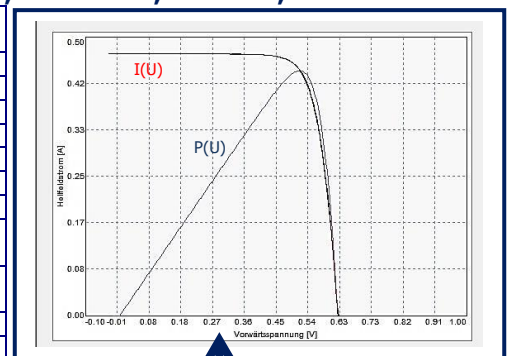
Das Solarmodul **SUSEmod5** enthält eine Solarzelle mit der Hälfte der Fläche der bekannten SUSE- Solarzelle SUSEmod215, die Länge der Solarzelle ist 52 mm, die Breite 26 mm. Die Solarzelle ist bruchsicher eingebettet in ein Kunststoffplättchen der Größe 60mm x 30mm. Die Oberseite über der Solarzelle ist hochtransparent mit Kunststoff 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 dieser Solarzelle lassen sich Einzelexperimente sowie Versuche zur Reihen- und Parallelschaltung durchführen, z.B. im Modul SUSE CM3xx, SUSE 4.31 und weiteren Geräten.

**Modul:** Kunststoffträger 60mm x 30mm mit hochtransparenter Oberfläche, mechanisch sehr robust

**Solarzelle:** Monokristalline Solarzelle 52mm x 26mm

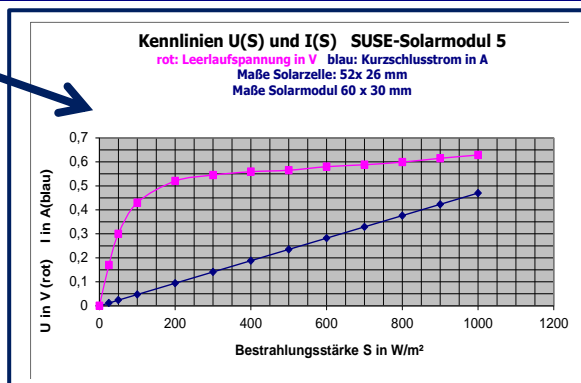
### Technische Daten bei einer Einstrahlung von $S = 1000 \text{ W/m}^2$ , $T = 25^\circ\text{C}$ , $AM = 1,5$

Physikalische Größe	Symbol	Zahlenwert	Physikalische Einheit	Bemerkungen
Maße der Solarzelle		52 x 26	mm	Monokristalline Zelle
Leerlaufspannung	$U_{oc}$	0,63	V	Typisch für Silizium
Kurzschlussstrom	$I_{sc}$	0,468	A	Proportional zur Lichtintensität S
El. Leistung	P	0,228	W	bei Sonnenspektrum, AM 1,5
Wirkungsgrad	$\eta$	17,0	%	Wirkungsgrad der Energieumwandlung
Füllfaktor	FF	77,3	%	FF ist ein Qualitätsmerkmal
Stromdichte	j	34,7	$\text{mA/cm}^2$	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	$U_{MPP}$	0,52	V	<b>MPP= Maximum- Power- Point</b>
Stromstärke im MPP	$I_{MPP}$	0,44	A	Das Produkt beider Werte ergibt die elektrische Leistung
Leistung im MPP	$P_{MPP}$	0,23	W	



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

Die Kennlinien zeigen die Abhängigkeiten der Leerlaufspannung U und des Kurzschlussstroms I von der Bestrahlungsstärke S (Intensität des Lichts)  
0 = absolute Dunkelheit  
1000 = strahlender Sonnenschein im Sommerhalbjahr bei tiefblauem Himmel, bei  $T = 25^\circ\text{C}$  und  $AM 1,5$ .



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

aufgenommen im Kennlinienlabor des ISFH  
Die **rote I(U)- Kennlinie** zeigt die Abhängigkeit des Solarzellen- Kurzschlussstroms von der Solarzellenspannung bei einer ohmschen Belastung der Solarzelle. Der Schnittpunkt mit der x- Achse ist die Leerlaufspannung der Solarzelle (0,63 V), der Schnittpunkt mit der y- Achse ist die Kurzschlussstromstärke (0,468 A).  
Die Leistungskurve P(U) (blau) zeigt an der höchsten Stelle den Punkt der maximalen Leistung, den Maximum-Power-Point MPP mit  $P_{max} = 0,23 \text{ W}$ .

## B Experimente mit dem a-Si Dünnschicht- Solarmodul (grün- blaues Buchsenpaar)

### B1 Spannung, Stromstärke, Leistung durch Messungen bestimmen

Du benötigst dazu ein Multimeter mit 2 Laborkabeln (rot + schwarz) und das Grundgerät SUSE 4.0 (Halogenstrahler 120W) oder eine Rotlichtlampe in 40 cm Abstand

**Einstellungen am Multimeter** für die Spannungsmessung: 20V DC, schwarzes Minuskabel in Buchse com, rotes Pluskabel in Buchse V, für die Stromstärkemessung 200 mA DC, schwarzes Minuskabel in Buchse com, rotes Pluskabel in Buchse mA.

Ort der Messung	Spannung U in V	Kurzschlussstrom I in mA	Leistung P in W $P = U \cdot I \cdot 0,8$
Auf Glasplatte (Mitte) des Overheadprojektors			
40 cm vor Halogenstrahler 120W			
Draußen, strahlender Sonnenschein			
Draußen, bedeckter Himmel oder Schatten			
Im Innenraum bei normaler Raumbeleuchtung			

**Notiere Deine Beobachtungen und Auswertungen hier, vergleiche die beiden Solarzellen!**

### B2 Reihenschaltung von Solarzellen

Du benötigst dazu ein Multimeter im Messbereich 20V DC mit 2 Laborkabeln (rot + schwarz). Weitere Laborkabel benötigst Du zum Verbinden mehrerer Module.

Da Solarzellen nur eine geringe Spannung von ca. 0,6 V haben, werden sie in großen Solarmodulen elektrisch in Reihe geschaltet, meist 36 oder 60 oder sogar 72 Zellen. Dadurch erhöht sich die Spannung.



verbinde den Minuspol des Moduls 1 mit dem Pluspol des Moduls 2. Die Gesamtspannung kannst Du nun zwischen dem Pluspol von Modul 1 und dem Minuspol von Modul 2 messen. Trage die Werte in die Tabelle ein und erweitere die Schaltung auf 3 oder 4 Module in Reihenschaltung.

Anzahl der Module	Spannung Modul 1 in V	Spannung Modul 2 in V	Spannung Modul 3 in V	Spannung Modul 4 in V	Gesamtspannung in V
2			XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX	
3				XXXXXXXXXX	
4					

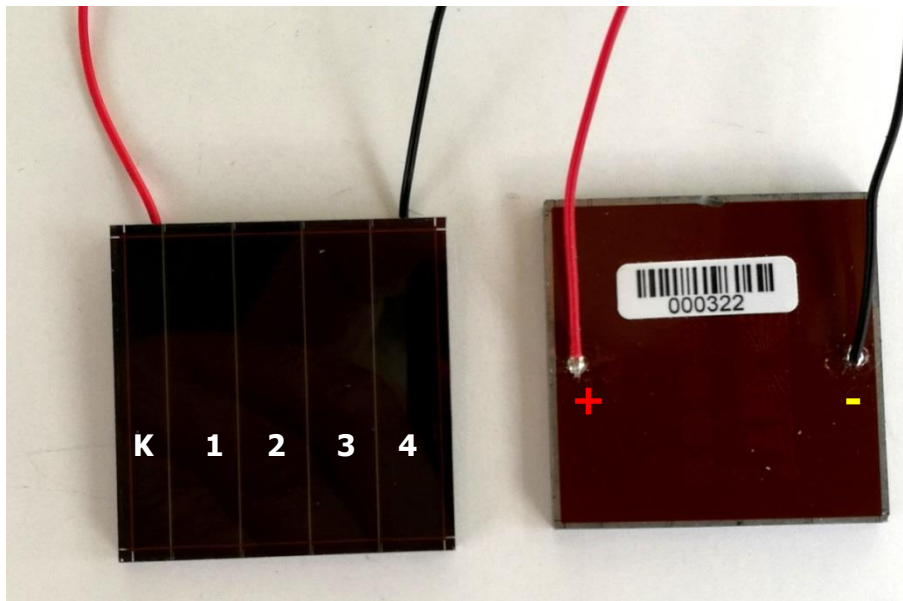
Zusätzlich kannst Du auch einen Solarmotor SUSE 4.16 an die Gesamtspannung anschließen oder ein LED- Modul SUSE 4.15 oder das Radio SUSE 4.36. Evtl. benötigst Du mehr als 4 Solarzellen in Reihenschaltung zum Betrieb der Zusatzgeräte.

**Notiere Deine Beobachtungen und Auswertungen hier, vergleiche die beiden Solarzellen!**

Auf den nachfolgenden Seiten befinden sich die technischen Daten des a-Si- Solarmoduls.

## Technische Daten

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



Vorderseite

Rückseite mit + und - Kabel

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

#### Technische Daten:

bei

$S = 1000 \text{ W/m}^2$

$T = 25^\circ\text{C}$

AM 1,5

Maße:

Leerlaufspannung:

Kurzschlussstrom:

Spannung im MPP:

Strom im MPP:

Material:

35,5 x 35,5 x 3,2 mm, Glasträger

ca. 3,2 V

ca. 28 mA

2,0 V

19,6 mA

Dünnschicht, amorphes Silizium

Aufbauzeichnung und Beschreibung Folgeseite



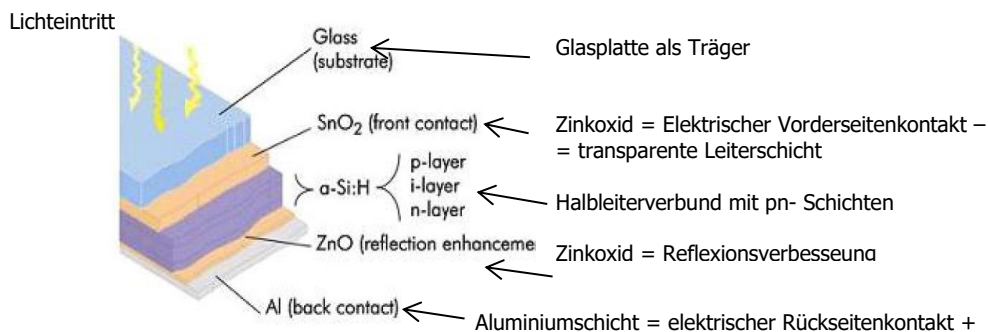
## Aufbau und Funktion einer a-Si Dünnschicht Solarzelle

Im Modul befinden sich 4 Dünnschicht- Solarzellen, die elektrisch in Reihe geschaltet sind.

### Amorphous Silicon Thin Film Technology

Amorphous silicon (a-Si) is the non-crystalline form of silicon. The material can be alloyed with hydrogen to form hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) resulting in a significantly lower number of defects and hence a practical material for semi-conductive device applications, including photovoltaic.

Amorphous silicon photovoltaic modules are made with thin layers of a-Si:H on a conductive substrate. Amorphous silicon-based thin-film photovoltaic modules were invented in 1976, and have since been successfully used in a wide range of solar battery applications for several decades. Here is a typical module structure:



There are several key advantages to a-Si:H based thin-film PV modules. First, a-Si thin-film can be deposited onto a variety of substrates at relatively low temperatures, presenting many interesting application opportunities. Second, a-Si thin film can be deposited over large areas by PECVD (plasma enhanced chemical vapor deposition) technology. Third, a-Si thin film modules use silicon, which is abundant and environmental friendly, as compared to the materials needed for other thin film technologies.

Thin-film based PV modules offer a great opportunity to reduce manufacturing costs.

One reason is that very little material is needed for each module. The energy consumed in the thin film PV manufacturing process is significantly less than that consumed in the crystalline silicon PV module manufacturing process. In addition, thin film PV modules are significantly thinner than conventional crystalline solar PV modules. As a result, the silicon materials used in thin film PV module manufacturing are only approximately 1% to 2% of those used to produce crystalline

#### Amorphe Silizium-Dünnschichttechnologie

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

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

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

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

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