



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

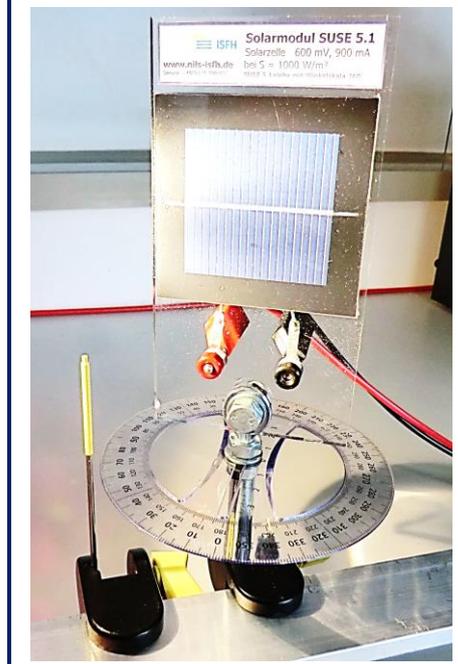
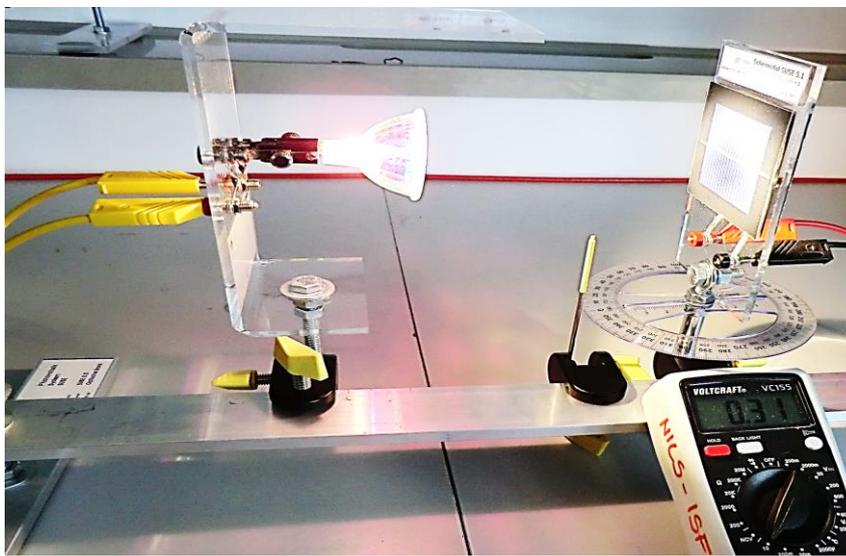
Phone: +49(0)5121 860730 Fax: +49(0)3222 3706689 Mail: info@sundidactics.de Mobile: +49(0)1757660607 Web: www.sundidactics.de skype: wolfschanz

Das Solarmodul SUSE 5.1alpha

Solarmodul mit Solarzelle 0,65 V/ 1025 mA mit Stativstange und Winkelskala 360°
drehbar gelagert, zur Messung der Winkelabhängigkeit von U,I,P



SUSE 5.1-alpha



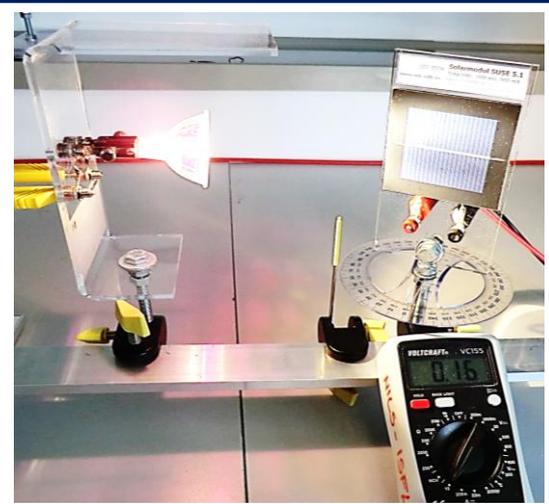
Das Foto oben rechts zeigt das **Solarmodul SUSE 5.1alpha** auf der optischen Bank SUSE 5.0. Auf der oberen Seite befindet sich die Solarzelle SUSEmod218 mit 2 Anschlussbuchsen, darunter die Winkelscheibe 360°, das Modul ist drehbar gelagert auf einer Stativstange 8 mm. Mit dem Metallstab (Messspitze) links (mit gelber Spitze) kann die Winkelposition zur einfallenden Lichtstrahlung an der Winkelscheibe abgelesen werden.

Im Bild oben ist der Messaufbau dargestellt. Auf der optischen Bank SUSE 5.0 befinden sich von links aus gesehen der Halogenstrahler SUSE 5.16 und rechts das Solarmodul SUSE 5.1alpha mit der gelben Winkel- Messspitze.

Mit dem Multimeter wird der Kurzschlussstrom gemessen, hier $I = 0,31$ A. Zur Messung der Leerlaufspannung U wird lediglich das Messgerät umgeschaltet. Nun kann das Modul in Winkelschritten gedreht werden und Messwertpaare I bzw. U vom Winkel können abgelesen werden.

Gleichzeitig kann der zu erwartende Wert auch theoretisch berechnet werden, die Abhängigkeit hat eine \cos - Funktion, bei einer Drehung um 60° halbiert sich die Stromstärke.

Diesen Effekt zeigt das untere Bild: I reduziert sich auf die Hälfte (0,16 A, vorher 0,31 A). Die Leistung P lässt sich aus U und I berechnen. Zum Lieferumfang gehört eine ausführliche Experimentieranleitung.



SUSEmod218

ein leistungsstarkes, hocheffizientes robustes Solarmodul



Das Solarmodul SUSEmod218

Im Innern erkennt man die mit Epoxidharz- Resin beschichtete monokristalline Si- Solarzelle, links ein quadratisches Element, rechts ein Eckstück mit abgeschrägter Ecke, charakteristisch für Monokristalline Solarzellen.

Modulmaße: 75 x 75 mm

Das neu konzipierte **Sundidactics Solarmodul SUSEmod218** ist die Weiterentwicklung des bisher verwendeten Moduls SUSEmod215. Das Solarmodul **SUSEmod218** enthält eine monokristalline Hochleistungssolarzelle der Abmessungen 52mm x 52mm x 0,18mm. Die Solarzelle ist bruchsticher eingebettet in ein Kunststoffplättchen der Größe 75 x 75 mm. Die Oberseite über der Solarzelle ist hochtransparent und mit Kunststoff vergossen Material: Epoxid/Resin. Auf der Rückseite sind 2 Lötkontakte zum Anlöten der Plus- und Minusleiter (Schalt draht). Das Solarmodul kann rückseitig mit doppelseitigem Klebeband oder mit Klebstoff auf glatte Oberflächen aufgeklebt werden.

Modul: Kunststoffträger quadratisch 75 x 75 x 2,6 mm mit hochtransparenter Oberfläche, sehr robust.

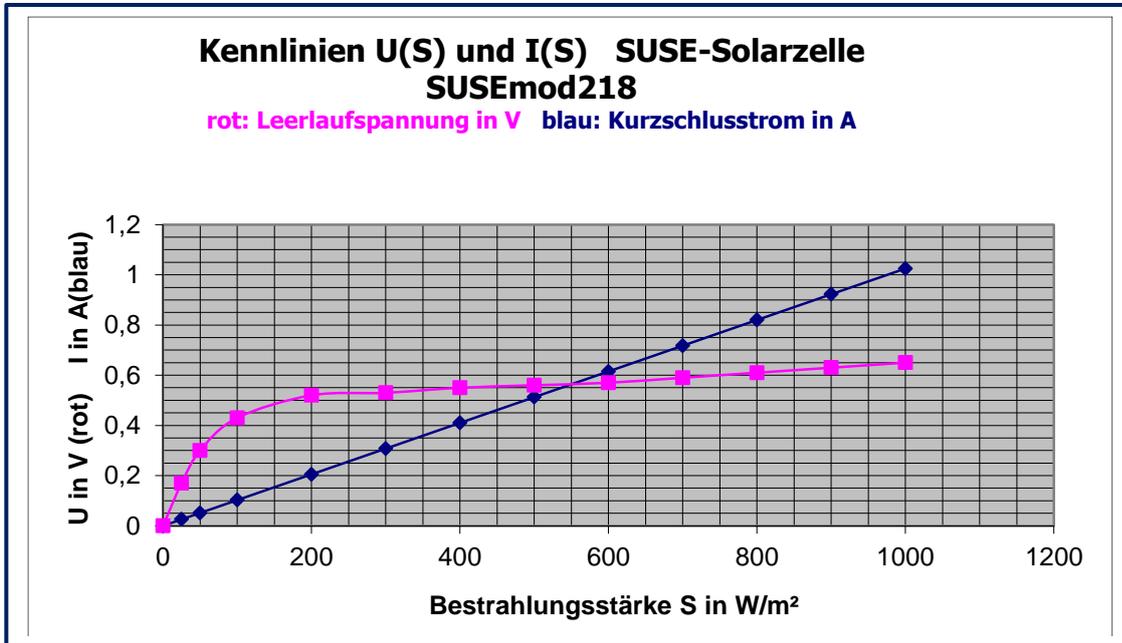
Solarzelle: Monokristalline Solarzelle 52 x 52 mm, quadratisch, Oberseite blau-schwarz durch SiN- Antireflexschicht, Oberfläche ist matt durch saure Texturierung.

Technische Daten bei einer Einstrahlung von 1000 W/m², T = 25°C, AM = 1,5 Toleranz 2 %

Physikalische Größe	Symbol	Zahlenwert	Physikalische Einheit	Bemerkungen
Maße der Solarzelle	s	52 x 52 x 0,18	mm	Quadratische Zelle, 1/9 6-Zoll-Zelle
Fläche	A	27,04	cm ²	1/9 einer 6 Zoll Solarzelle
Leerlaufspannung	U _{oc}	0,656	V	Typisch für Silizium
Kurzschlussstrom	I _{sc}	1,025	A	Proportional zur Lichtintensität S
Spannung im MPP	U _{MPP}	0,507	V	Spannung im (MPP) <small>Maximum Power Point</small>
Kurzschlussstrom im MPP	I _{MPP}	0,942	A	Kurzschlussstromstärke im MPP
Elektrische Leistung	P	0,477	W	Bei S = 1000 W/m ² , AM 1,5, 25°C
Wirkungsgrad	η	19,1	%	Qualitätsmerkmal
Füllfaktor	FF	71	%	FF ist ein Qualitätsmerkmal
Stromdichte	j	38,15	mA/cm ²	j ist ein Qualitätsmerkmal
Temperaturverhalten der Leerlaufspannung U _{oc}	ΔU _{oc}	- 0,36	% /K	Die Spannung mindert sich bei Erwärmung um 0,36% pro 1K
Temperaturverhalten des Kurzschlussstroms I _{sc}	ΔI _{sc}	+ 0,06	% /K	Der Kurzschlussstrom vergrößert sich um 0,06 % pro 1K
Serieller Widerstand	R _{ser}	0,097	Ω	Serieller Widerstand der Solarzelle Widerstand des Si und der Leiter
Shuntwiderstand	R _{shunt}	64,82	Ω	Parallelwiderstand der Solarzelle durch interne Kurzschlüsse im Si

Die Kennlinien der Solarzelle im Modul SUSEmod218

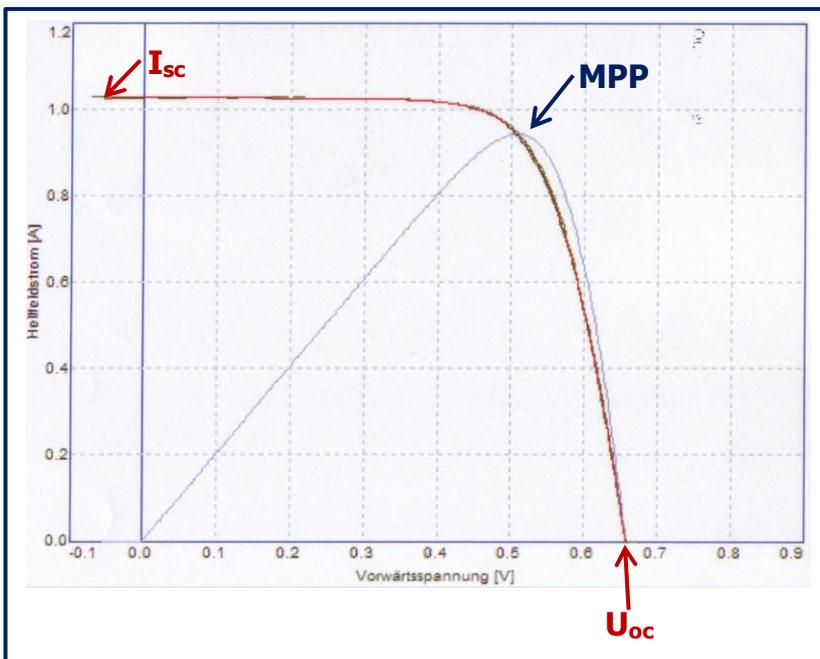
1. **Abhängigkeit von Leerlaufspannung U_{oc} und Kurzschlussstrom I_{sc} von der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke S in W/m^2)**



Die **Leerlaufspannung U_{oc}** (e- Funktion!) ist 0 bei totaler Dunkelheit, erhöht sich stark bei niedrigen Bestrahlungsstärken und wächst dann nur noch langsam bis zum Maximalwert 0,65 V bei 1000 W/m^2 (strahlender Sonnenschein bei blauem Himmel, Solarzelle zur Sonne hin ausgerichtet).

Der **Kurzschlussstrom I_{sc}** ist eine Ursprungsgerade und wächst linear von 0 bei totaler Dunkelheit auf 1,025 A bei 1000 W/m^2 .

2. **Die $I(U)$ und die $P(U)$ - Kennlinien der Solarzelle SUSEmod218 bei $S = 1000 W/m^2$, $T = 25^\circ C$, AM 1,5**
 aufgenommen im Kennlinienlabor des ISFH



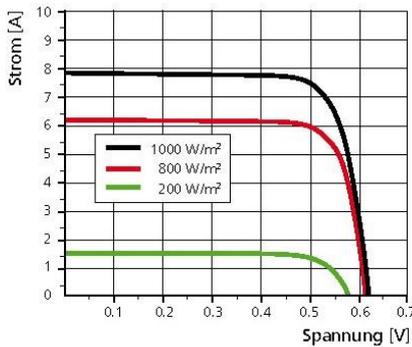
Die **$I-U$ -Kennlinie** zeigt die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung bei Belastung der Solarzelle mit einem variablen Lastwiderstand, bei einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m^2 und einer Temperatur von $25^\circ C$. Der Schnittpunkt mit der x- Achse (U- Achse) ist die Leerlaufspannung U_{oc} , der Schnittpunkt mit der y- Achse (I- Achse) ist der Kurzschlussstrom I_{sc} .

Die **$P-U$ -Kennlinie** ist die Leistungskurve, ihr Maximum ist der **Maximum- Power- Point**

3. Weitere Daten (für die ganze Solarzelle 156 x 156 mm!), für die Solarzelle 52x 52mm im Modul SUSEmod218 muss die Stromstärke bei 3.1 und 3.3 durch 9 geteilt werden!

3.1 Intensitätsabhängigkeit

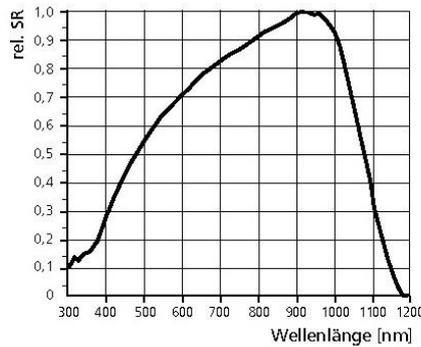
IV-Kennlinie



IV-Verhalten für unterschiedliche Bestrahlungsstärken.

3.2 Spektrale Empfindlichkeit

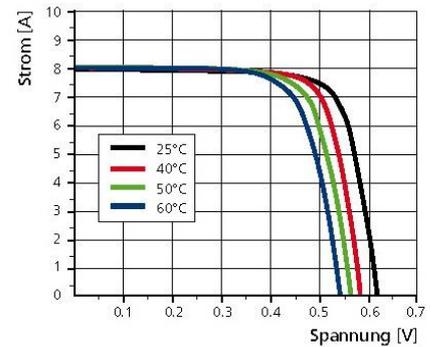
Spektrale Empfindlichkeit



Kennlinie der spektralen Empfindlichkeit.

3.3 Temperaturabhängigkeit

IV-Kennlinie



IV-Verhalten für unterschiedliche Temperaturen.

Der **linke Graph 3.1** zeigt die **Intensitätsabhängigkeit** der **I(U)- Kennlinien** in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke S des eingestrahlichten Lichts. (1000 W/m² entspricht dem strahlenden Sonnenschein im Sommer bei blauem, wolkenlosem Himmel, 0 W/m² ist absolute Dunkelheit).

Der **mittlere Graph 3.2** zeigt die **spektrale Empfindlichkeit** in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichts, die maximale Empfindlichkeit liegt bei ca. 950 nm im nahen Infrarot. Die Ursache ist der Bandabstand von Silizium bei ca. 1,1 eV, der dazu führt, dass Lichtquanten im Bereich 950 nm die genau passende Quantenenergie haben und optimal für den inneren lichtelektrischen Effekt geeignet sind. Für Licht kürzerer Wellenlänge ist die Quantenenergie zu hoch, der nicht nutzbare überschüssige Teil der Quantenenergie wird über kinetische Energie der freigesetzten Elektronen als thermische Energie in das Kristallgitter abgegeben, was zu Verlusten führt.

Daraus ergibt sich, dass für Experimente mit Si – Solarzellen Glühlampen- oder Halogenlampenlicht besonders gut geeignet ist, da sie hohe Anteile IR- Licht haben. Weißes LED- Licht ist weniger geeignet, da es kaum rotes bzw. IR- Licht enthält.

Der **rechte Graph 3.3** zeigt die **I(U)- Kennlinie** in **Abhängigkeit von der Temperatur**, man erkennt, dass die Leerlaufspannung sinkt, wenn die Temperatur steigt, der Kurzschlussstrom steigt nur sehr gering bei Temperaturerhöhung (j ist die Stromdichte = Kurzschlussstrom in mA pro cm² Zellenfläche). Das bedeutet auch, dass die elektrische Leistung P der Solarzelle bei Temperaturerhöhung sinkt.

Die Leerlaufspannung U_{oc} einer Solarzelle:
$$U_{oc} = \frac{kT}{e} * \ln \left(1 + \frac{I_{sc}}{I_s} \right)$$

Kurzschlussstrom einer Solarzelle:
$$I_{sc} = c * S \quad c = \text{const.}$$

c ist abhängig von der Fläche und der Qualität der Solarzelle und kann experimentell Bestimmt werden.

U_{oc} = Leerlaufspannung in V
 k = Boltzmann- Konstante in J/K
 T = absolute Temperatur in K
 e = elektrische Elementarladung in As
 I_{sc} = Kurzschlussstrom in A
 I_s = Sättigungsstrom in Sperrichtung (Dunkelstrom) in A
 S = Bestrahlungsstärke S in W/m²