

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 5.22

Solarmodul mit 2 identischen Solarzellen in steckbarer Reihenschaltung
 für Experimente zur Kennlinienaufnahme $U(S)$ und $I(S)$, Reihen- und Parallelschaltung
 besonders geeignet für den experimentellen Unterricht in den Jahrgängen 10 - 13



Das Photovoltaik- Experimentiergerät **SUSE 5.22** besteht aus 2 identischen Solarzellen (0,6 V / 1025 mA) mit jeweils eigenen + und – Anschlussbuchsen (**Solarzelle 1: + rot, - schwarz; Solarzelle 2 + grün, - blau**). Die Solarzellen können einzeln getrennt oder mit einem Verbindungs- Schalter in Reihenschaltung verwendet werden. **SUSE 5.22** ist speziell für Experimente mit der optischen Bank **SUSE 5.0** oder schulüblichen Stativsystemen in der gymnasialen Oberstufe ab Klassenstufe 10 geeignet.

Mit **SUSE 5.22** lassen sich folgende Experimente im Freien im Sonnenlicht oder im Labor bei Bestrahlung mit Licht einer Halogenlampe (z.B. SUSE 5.16) durchführen:

- Physikalische Messungen an **einer** Solarzelle, Bestimmung aller relevanten Messdaten.
- Bestimmung der **Bestrahlungsstärke S des Lichts** aus dem Kurzschlussstrom der Solarzelle.
- Physikalische Messungen an einer **Reihenschaltung** oder an einer **Parallelschaltung** von **zwei Solarzellen**.
- **Gleichzeitige Messung** von **Leerlaufspannung** und **Kurzschlussstrom** bei verschiedenen Bestrahlungsstärken (Lichtintensität), um die gegenseitige Abhängigkeit und die Kennlinien experimentell zu ermitteln.

Mit diesen Experimenten lassen sich experimentell ermittelte Graphen zur Abhängigkeit des Solarzellenspannung, des Kurzschlussstroms und der Solarzellenleistung in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke S des Lichts erstellen.

Um Kabelschatten bei den Experimenten zu vermeiden, sollen die Laborkabel immer von der Rückseite gesteckt werden, die Buchsen sind beidseitig nutzbar!

Maße: Plexiglasträger 220 x 100 x 5 mm, Stativstange M8, Länge ca. 80 mm

Auf den Folgeseiten finden sich die technischen Daten der verwendeten Solarzelle SUSEmod218. In der Reihenschaltung ist die Gesamtspannung 1,3 V, der Kurzschlussstrom bleibt unverändert.



Foto oben:

Das **Solarmodul SUSE 5.22** mit den beiden identischen Solarzellen SUSEmod218. Jede Solarzelle hat ein eigenes Buchsenpaar **rot/schwarz** (obere Zelle) bzw. **grün/blau** (untere Zelle). In der Mitte zwischen den Buchsen befindet sich der Schalter S , **wird S nach rechts geschaltet, sind die beiden Solarzellen in Reihenschaltung verbunden**. Die Summenspannung liegt dann zwischen **rot +** und **blau -**. Unten befindet sich die Stativstange M8 zur Befestigung mit einer Muffe auf einer optischen Bank.

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

Solarzellenmaße: 52 x 52 mm

Das speziell für **Sundidactics Solar Systems** konzipierte und gefertigte **Solarmodul SUSEmod218** enthält eine monokristalline Hochleistungssolarzelle der Abmessungen 52mm x 52mm x 0,18mm. Die Solarzelle ist bruchsicher 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.

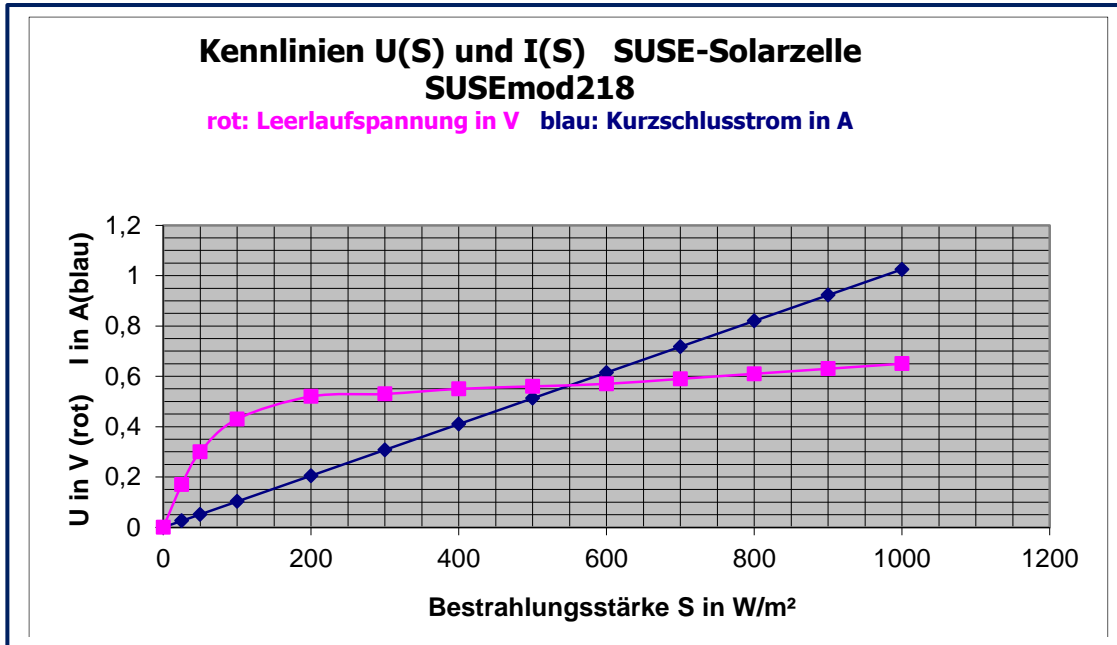
Solarzelle: Monokristalline Solarzelle 52 x 52 mm, quadratisch, Oberseite blau-schwarz durch Siliziumnitrid-Antireflexschicht, Oberfläche ist matt durch saure Texturierung.

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 hochwertige Silizium- Solarzellen |
| 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

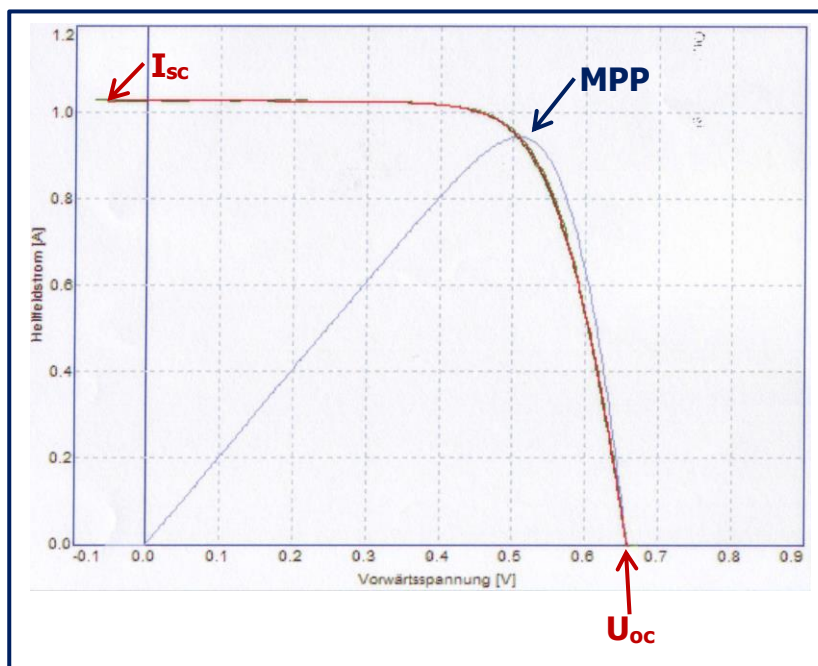
1. Abhängigkeit von Leerlaufspannung U_{oc} und Kurzschlussstrom I_{sc} von der Lichtintensität (Bestrahlungsstärke S in W/m^2)



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 (AM = Airmass)
aufgenommen im Kennlinienlabor des ISFH



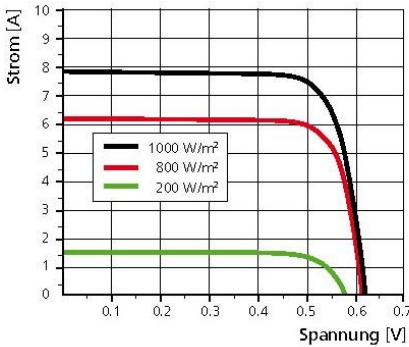
Die **$I-U$ -Kennlinie** zeigt die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung bei Belastung der Solarzelle mit einem variablen Lastwiderstand, bei einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m^2 und einer Temperatur von $25^\circ C$. Der Schnittpunkt mit der x-Achse (U- Achse) ist die Leerlaufspannung U_{oc}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

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

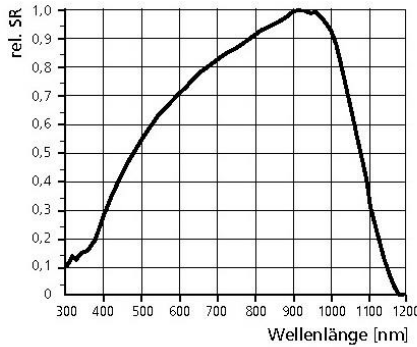
IV-Kennlinie



IV-Verhalten für unterschiedliche Bestrahlungsstärken.

3.2 Spektrale Empfindlichkeit

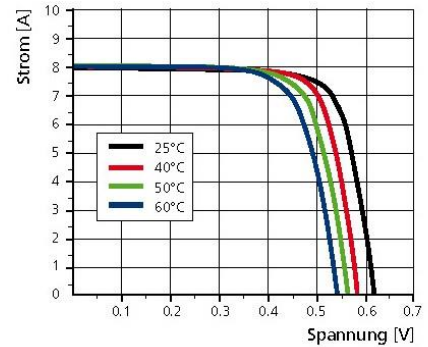
Spektrale Empfindlichkeit



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: $I_{sc} = c * S$ $c = const.$

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 Sperrrichtung (Dunkelstrom) in A
 S = Bestrahlungsstärke S in W/m²