

Strom aus Sonnenlicht, Wandfarbe und Fruchtsaft

Solarzellen wandeln die Energie des Sonnenlichts in elektrische Energie um. Die Herstellung ist aufwendig und energieintensiv. Eine Solarzelle hat erst nach einigen Betriebsjahren mehr Energie bereitgestellt, als bei ihrer Herstellung aufgewendet wurde.

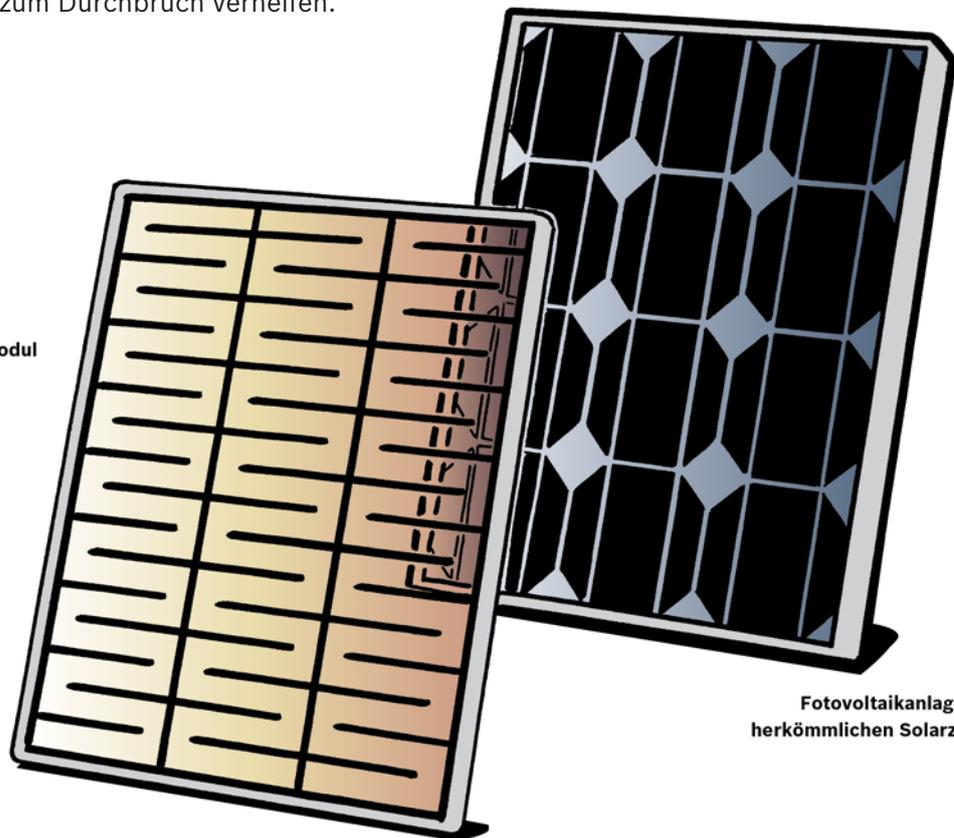
Vor etwa 20 Jahren hatte Prof. Grätzel aus der Schweiz eine geniale Idee: Warum sich nicht die Natur zum Vorbild nehmen und Solarzellen verbessern, indem man der Natur abguckt, wie sie die Energie des Lichtes nutzt? Das tut sie nämlich seit Jahrmillionen mit der Fotosynthese – eine grundsätzlich andere Herangehensweise als bei der herkömmlichen Solarzelle.

So wurde von Prof. Grätzel und seinem Team die sogenannte Farbstoffsolarzelle erfunden. Sie ist so eng mit dem Namen des Professors verbunden, dass sie meist schlicht „Grätzelzelle“ heißt. Die Grätzelzelle benötigt kein Silizium wie die herkömmliche Solarzelle, sie besteht einfach aus zwei Glasplatten, die mit einer Strom leitenden Schicht bedeckt sind, Titandioxid (ist auch in Zahncreme, Wandfarbe und Sonnenmilch enthalten), Pflanzenfarbstoff (Beerensaft, Fruchtsaft, Blütenextrakte, Chlorophyll usw.), Grafit (wie im Bleistift) und einem Elektrolyten (z. B. Kochsalzlösung oder Iodidlösung). Die Herstellung einer solchen Zelle benötigt wesentlich weniger Energie, als für die Herstellung einer herkömmlichen Solarzelle nötig wäre. Derzeit wird daran gearbeitet, ihre Haltbarkeit zu verbessern.

Strom aus dem Fenster

Die Grätzelzelle verspricht nicht nur preiswerte, flexible Solarzellen, die auf Oberflächen wie Fassaden, Fenstern und sogar Textilien eingesetzt werden können. Die Farbstoffsolarzelle arbeitet auch bei diffusem Licht (Bewölkung). Wird die Grätzelzelle noch weiter optimiert, könnte sie eines Tages der Solarenergie endgültig zum Durchbruch verhelfen.

Transparentes Farbstoffsolarmodul



Fotovoltaikanlage aus herkömmlichen Solarzellen

Herstellung einer Farbstoffsolarzelle

Der Aufbau einer Farbstoffsolarzelle (Grätzelzelle)

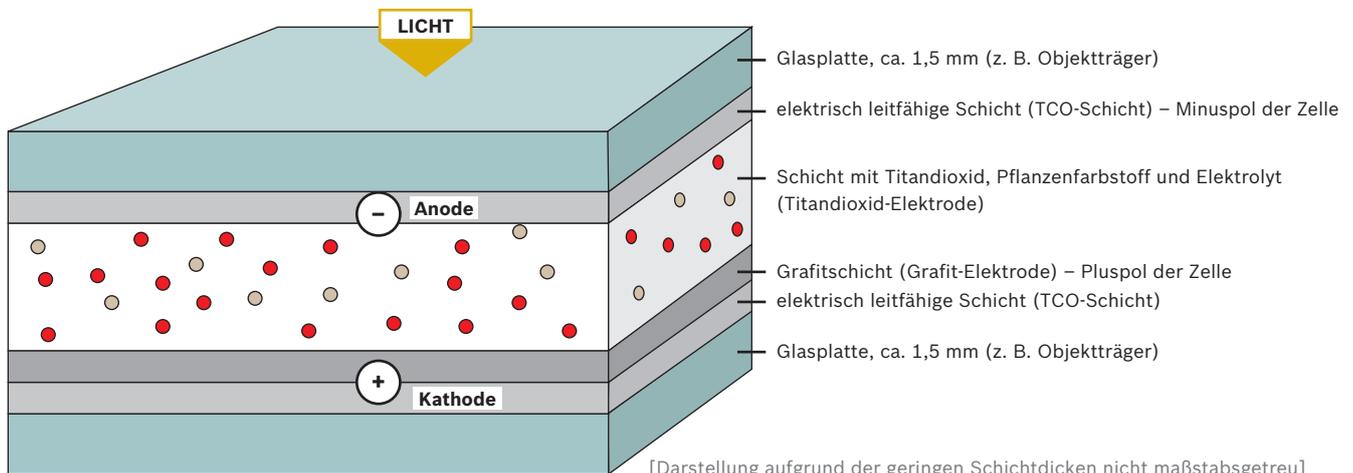
BLATT 2/6



Aufbau wie ein Sandwich

Eine Farbstoffsolarzelle verwendet zur Absorption von Licht nicht ein Halbleitermaterial wie Silizium, sondern organische Farbstoffe, zum Beispiel den Blattfarbstoff Chlorophyll oder Anthocyane, das sind wasserlösliche Pflanzenfarbstoffe in Blüten und Früchten mit roter, violetter oder blauschwarzer Färbung.

Die Farbstoffsolarzelle besteht aus zwei lichtdurchlässigen Glasplatten, die auf der Innenseite jeweils mit elektrisch leitendem Zinnoxid beschichtet sind (TCO-Schicht – Transparent Conducting Oxide). Auf die eine der beiden Glasplatten wird im Ofen eine dünne Schicht aus sehr fein gemahlenem Titandioxid (TiO_2) „aufgebacken“ (gesintert*). Auf diese Schicht wird der Farbstoff aufgebracht, der sich möglichst gut um die TiO_2 -Körnchen legen soll. Hinzu kommt dann noch die Elektrolytlösung. Verschlussen wird die Zelle mit einer grafitbeschichteten TCO-Glasplatte.



Vorteile und Nachteile der Farbstoffsolarzelle

VORTEILE

- › geringe Umweltbelastung bei der Herstellung
- › wesentlich geringerer Materialaufwand, Materialien sind keine Mangelware, TiO_2 ist ungiftig
- › kostengünstige und einfache Herstellung (ca. 20% der Kosten einer Siliziumzelle)
- › ist auch für Entwicklungsländer finanzierbar
- › kann das Lichtspektrum sehr gut ausnutzen; arbeitet auch bei Bewölkung
- › Wirkungsgrad ist weniger temperaturabhängig als bei der Siliziumzelle
- › semi-transparente und farbige Gestaltung möglich (Anwendung auf verschiedenen Oberflächen)

NACHTEILE

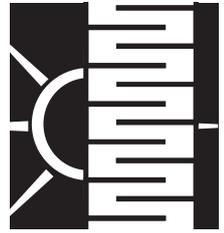
- › Schwierigkeiten bei der Abdichtung der Zelle
- › Wirkungsgrad (ca. 10%) noch nicht so gut wie bei Siliziumzelle (ca. 20%); in der Zukunft ist eine Steigerung aber sehr wahrscheinlich
- › noch nicht stabil über längere Zeit; Farbstoff wird mit der Zeit zerstört
- › bei höherem Wirkungsgrad muss der Farbstoff der Zelle gereinigt werden, dies verursacht Kosten

* Durch das Sintern wird das TiO_2 fest mit der Glasplatte verbunden und die Oberfläche vergrößert. Dadurch kann mehr Farbstoff in der TiO_2 -Schicht festgehalten werden.

Herstellung einer Farbstoffsolarzelle

Funktionsweise einer Farbstoffsolarzelle

BLATT 3/6

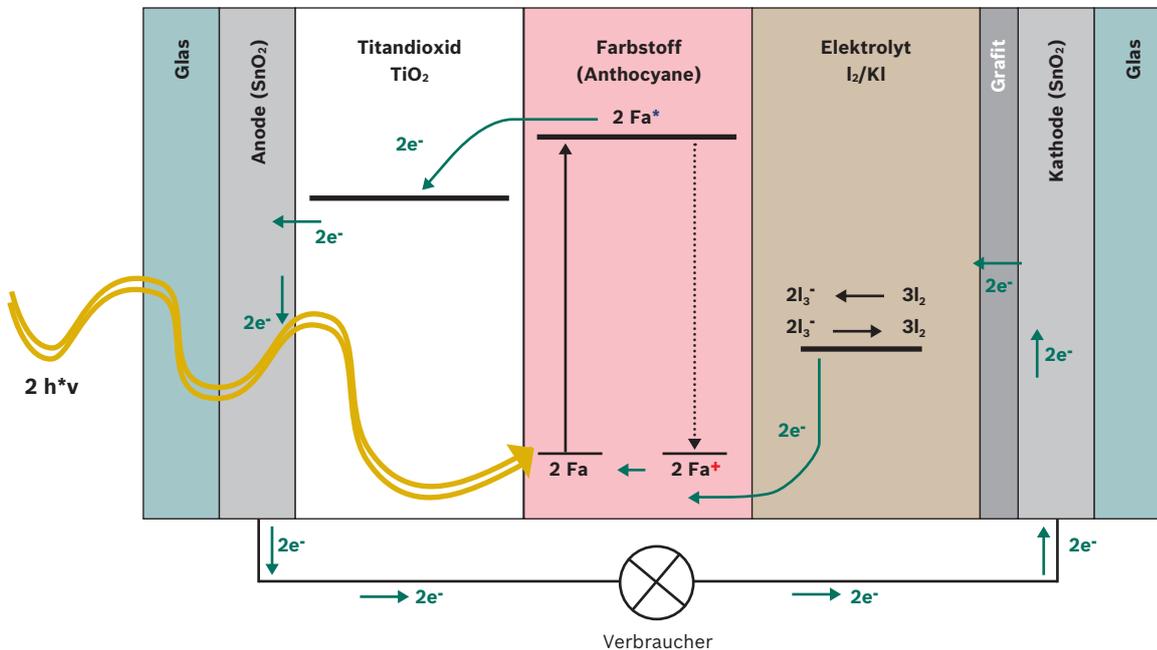


Titandioxid und Naturfarbstoff

Im Gegensatz zu herkömmlichen Solarzellen basiert die Farbstoffsolarzelle nicht auf Silizium. In einer herkömmlichen Solarzelle übernimmt das Silizium zwei wichtige Aufgaben: Es liefert die Elektronen und befördert diese dank seiner elektrischen Leitfähigkeit zu den Elektroden.

In der Farbstoffsolarzelle gibt es für diese Aufgaben zwei verschiedene Stoffe, nämlich Titandioxid und den Naturfarbstoff. Trifft Licht auf die Zelle, werden in den Farbstoffmolekülen Elektronen (e^-) angeregt (Fa^+) und auf Titandioxid übertragen. Dann werden die Elektronen durch das elektrisch leitende Titandioxid zur Anode (negative Elektrode) abgeführt. Im Unterschied zur normalen Solarzelle liegt hier kein elektrisches Feld vor, das die Elektronen zur Anode „zwingt“. Es muss daher dafür gesorgt werden, dass die Elektronen nicht wieder zu den ionisierten Farbstoffmolekülen „umkehren“, da es dann keinen Stromfluss geben würde.

Aus diesem Grunde ist der Elektrolyt so wichtig, etwa Iod-Kaliumiodid-Lösung (I_2/KI). Die negativ geladenen Iodid-Ionen (I_3^-) geben je ein Elektron an die positiv geladenen Farbstoffmoleküle (Fa^+) ab. Die freien Elektronen im Titandioxid werden nun über die Anode an einen Verbraucher abgegeben und gelangen über die Kathode (positive Elektrode) zum Elektrolyten, genauer zum neutralen Iod, aus dem dann die Triiodid-Anionen (I_3^-) zurückgebildet werden. Die Vorgänge im Elektrolyten werden durch Graphit positiv beeinflusst, da er als Katalysator für diese Reaktionen wirkt.



Grafik nach W. Wagner, Universität Bayreuth

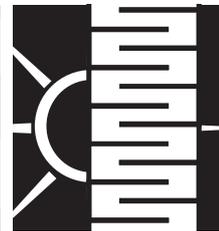
Hinweis

Die Bezeichnungen Anode und Kathode gelten für die Sicht aus dem Inneren der Zelle. Die Anode nimmt vom Elektrolyten Elektronen auf, die Kathode liefert ihm Elektronen. Von außen gesehen ist die Elektrode, die innen die Anode war, der Minuspol, jene, die die Kathode war, der Pluspol.

Herstellung einer Farbstoffsolarzelle

Anleitung zur Herstellung

BLATT 4/6



AUFGABE

Eine Gruppe von 3 bis 4 Schülerinnen und Schülern arbeitet zusammen und baut eine Farbstoffsolarzelle (Grätzelzelle) anhand der hier vorgegebenen Anleitung.

DAS BRAUCHST DU:

Spatel, Pipette mit Hütchen, Tesafilm, Brenner mit Stativ, Plattenhalter und Ceran-Platte, 2 Glasschalen, Föhn, 2 kleine Bechergläser, Tiegelzange, Multimeter, weicher Bleistift, Feuerzeug, Lampe mit Stativ, je 1 Folienstift M rot und blau, 2 Verbindungskabel mit Krokodilklemmen
1 x rot, 1 x schwarz, Kunststoffbeutel, Wasserkocher

Für die Solarzelle: 2 TCO-beschichtete Glasplättchen*, TiO_2 -Pastemix*, Elektrolyt*, Naturfarbstoffe – getrocknete Hibiskus- bzw. Malvenblüten, Beerensaft (Brombeere, Himbeere etc.) – den Saft am besten frisch gepresst, es geht aber auch gekaufter (reiner) Beerensaft

UND SO GEHT'S:

- 1) Glasplatten prüfen.** Nimm die beiden TCO-beschichteten Glasplättchen und prüfe mithilfe einer Widerstandsmessung mit dem Multimeter, auf welcher Seite die elektrisch leitende Schicht angebracht ist. Auf der leitenden Seite sollte das Gerät einen Wert von wenigen Ohm bis null Ohm anzeigen.
- 2) Platten mit Titandioxid bestreichen.** Eines der Plättchen wird mit Tesafilm zuerst an den beiden langen und dann an einem der kurzen Ränder (Abb. 1) sorgfältig und blasenfrei abgeklebt.
- 3)** Entlang der Abklebung an der schmalen Seite des Plättchens trägst du nun etwa 2–3 Tropfen der Paste mit dem Spatel auf (Abb. 2) und streichst sie mit einem Glasplättchen durch Längsbewegung und etwas Druck glatt (Abb. 3).
- 4)** Trockne die TiO_2 -Schicht mit dem Föhn auf warmer Stufe für ca. 3 Minuten und ziehe dann den Tesafilm ab.
- 5) Brennen/Sintern der Platten.** Lege die Platte mit der TiO_2 -Schicht auf die Ceranplatte und erhitze sie mit dem Brenner bei voller Leistung etwa 5 Minuten lang (Abb. 4). Die TiO_2 -Schicht verfärbt sich zunächst braun bis dunkelgrau und hellt dann wieder auf. Das Brennen ist beendet, wenn die Schicht wieder weiß ist. Lass die Platte ungefähr 10 Minuten abkühlen.

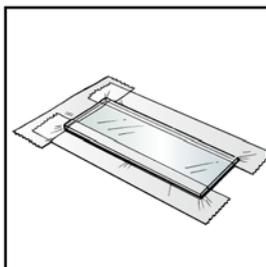


Abb. 1

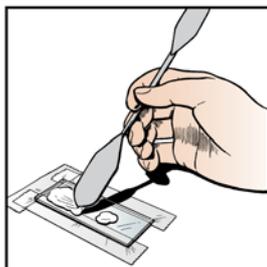


Abb. 2

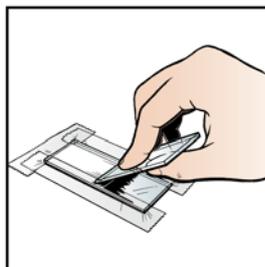


Abb. 3

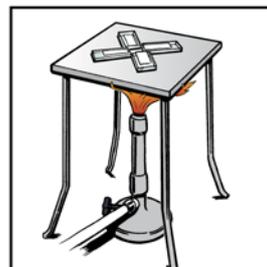


Abb. 4

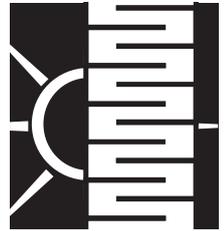
* Zu beziehen über ManSolar, Niederlande (www.mansolar.com)

Versuchsanleitung nach: W. Wagner, Universität Bayreuth. www.lehrer-online.de > Suche: Grätzelzelle

Herstellung einer Farbstoffsolarzelle

Anleitung zur Herstellung

BLATT 5/6



6) Farbstoff herstellen

Bring einen halben Liter Wasser zum Kochen. Fülle ca. 20 Hibiskus- oder Malvenblüten in ein Becherglas und gieße 100 ml des heißen Wassers über die Blüten. Nach 5 Minuten ist der dunkelrote Tee fertig und kann in eine Glasschale gefüllt werden.

7) Färben

Platte 1 legst du mit der TiO_2 -Schicht nach oben in den Blütentee (Abb. 5). Sie nimmt eine tiefviolette Farbe an. Nach etwa 2 Minuten legst du sie in eine Glasschale mit Wasser und spülst die Platte durch leichtes Schwenken. Anschließend wird sie mit dem Föhn (auf warmer Stufe) getrocknet. Die violette Färbung hellt auf. Danach schreibst du auf die Rückseite (Platte in der Hand halten) mit dem schwarzen Folienstift an jenem Ende, an dem kein TiO_2 zu sehen ist, ein großes - (minus). Dies ist der Minuspol der Solarzelle.

8) Grafit auftragen

Bestreiche Platte 2 mit dem weichen Bleistift auf der leitenden Fläche so, dass eine gleichmäßige dunkelgraue Schicht entsteht (Abb. 6). Schreibe auf die Rückseite an einem Ende mit dem roten Folienstift ein großes +. Hier ist der Pluspol der Solarzelle.

9) Zusammenbau der Zelle

Lege Platte 1 mit der TiO_2 -Schicht nach oben auf den Tisch und Platte 2 überlappend mit der Grafit-Schicht nach unten darauf. Die TiO_2 -Schicht muss vollständig bedeckt sein (Abb. 7). Nun wickelst du einen Streifen Tesafilm quer und fest um die Mitte.

10) Testen der Zelle

Drehe die Zelle so um, dass der Minuspol oben zu liegen kommt. Verbinde mithilfe der Kabel diesen Pol mit dem gleichen Pol (schwarze Buchse) des Multimeters (Messbereich Millivolt) und den Pluspol der Zelle mit dem Pluspol des Messgerätes (rote Buchse). Schalte nun die Lampe ein. Es wird keine Spannung angezeigt.

11) Zugabe des Elektrolyten

Gib nun an einem der schmalen Enden einen Tropfen Elektrolyt-Lösung genau an die Stelle, an der sich die beiden Glasplatten berühren (Abb. 8). Das Messgerät zeigt eine schnell auf 200 – 400 mV ansteigende Spannung an. Spannungen über 300 mV bedeuten, dass die Zelle sehr gut, Spannungen zwischen 250 und 300 mV, dass sie gut gelungen ist.

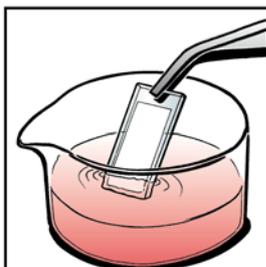


Abb. 5



Abb. 6

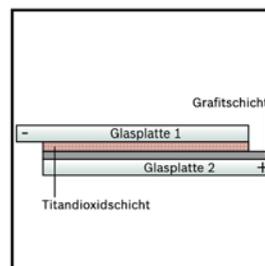


Abb. 7

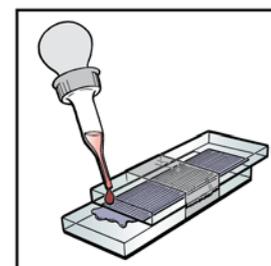


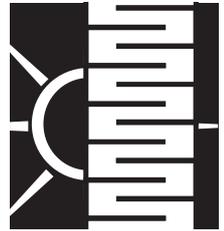
Abb. 8

Versuchsanleitung nach: W. Wagner, Universität Bayreuth. www.lehrer-online.de > Suche: Grätzelzelle

Herstellung einer Farbstoffsolarzelle

Leistungsbestimmung der Solarzelle

BLATT 6/6



AUFGABE

Führe eine Leistungsbestimmung deiner Farbstoffsolarzelle durch und vergleiche deine Messergebnisse mit denen deiner Mitschülerinnen und Mitschüler.

DAS BRAUCHST DU:

Multimeter, Krokodilklemmen, Messkabel, die Farbstoffsolarzelle, Lampe (Halogenlampe oder Overheadprojektor), Verbraucher* (Taschenrechner, Soundchip). Eine Energiesparlampe ist nicht geeignet, da ihr Lichtspektrum Linien und Lücken aufweist.

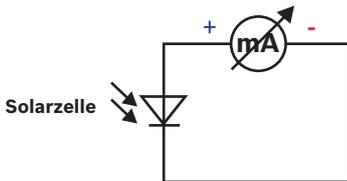
Leistungsbestimmung:

Die Leistung P ist das Produkt aus Spannung und Stromstärke: $P = U \times I$

Die Spannung ist bereits bekannt: $U = \dots\dots\dots$ mV (trage jeweils deine Messwerte ein).

Bestimmung der Stromstärke:

Baue einen Stromkreis aus einem Multimeter (Milliampere-Bereich), der Solarzelle und den beiden Krokodilklemmen-Kabeln. Klemme die Kabel an die beschichteten Seiten der Glasplatten und berücksichtige dabei die Polung.



Miss den Kurzschlussstrom im Messbereich 2 mA. Der Kurzschlussstrom ist eine wichtige Größe zur Leistungsbestimmung bei Solarzellen und zur Qualitätsanalyse; er liegt im Bereich zwischen 1 und 3 mA.

Die Leistung P der Solarzelle wird in mW (= Milliwatt) angegeben; sie ist das Produkt aus der Spannung (in mV) und der Kurzschlussstromstärke (in mA), multipliziert mit dem Faktor 0,8:

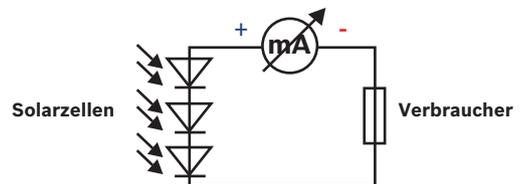
$$P = U \times I \times 0,8 = \dots\dots\dots \text{ mV } \times \dots\dots\dots \text{ mA } \times 0,8 =$$

Variation der Lichtstärke:

Die Leistung der Zelle hängt natürlich von der eingestrahlenen Lichtstärke ab. Variiere die Intensität der Lampe, z. B. durch Dimmen bzw. (teilweises) Abdunkeln mit Papier oder Pappe.

Reihenschaltung:

Schalte drei bis vier Solarzellen zusammen. Die Gesamtspannung sollte in etwa einen Wert von 1,0–1,2 V erreichen und ausreichen, um einen Verbraucher wie den Taschenrechner oder den Soundchip zu betreiben.



HINWEIS:

Die gemessene Spannung (ohne Verbraucher) ist die Leerlaufspannung der Solarzelle, der gemessene Strom (ohne Verbraucher) ist der Kurzschlussstrom. Der Faktor 0,8 ergibt sich dadurch, dass zur Leistungsbestimmung eigentlich die $I(U)$ -Kennlinie aufgenommen werden muss; sie zeigt die maximale Leistung MPP (Maximum Power-Point), die das ca. 0,8-fache des Produkts $U \times I$ ist.

* Bezug eines geeigneten Verbrauchers mit Direktanschluss z. B. über ManSolar: www.mansolar.com