

## Die Farbstoff-Solarzelle (Grätzelzelle)

### 1 Kurzübersicht

In diesem Modul geht es darum, mit einfachen Mitteln eine Solarzelle auf Basis organischer Farbstoffe, eine sogenannte Grätzelzelle, zusammenzusetzen. Benannt ist diese Photovoltaikzelle nach ihrem Erfinder Michael Grätzel, der sie im Jahre 1992 zum Patent angemeldet hat. Statt zur Absorption von Licht Dotierungen (in Halbleitern üblich) zu verwenden, finden hier pflanzliche Farbstoffe Anwendung. Beide Glasplättchen sind einseitig mit einem Material namens TCO (transparent conductive oxide) beschichtet. Das ermöglicht einen Stromfluss auf der Glasoberfläche.

## Aufbau der Farbstoff-Solarzelle

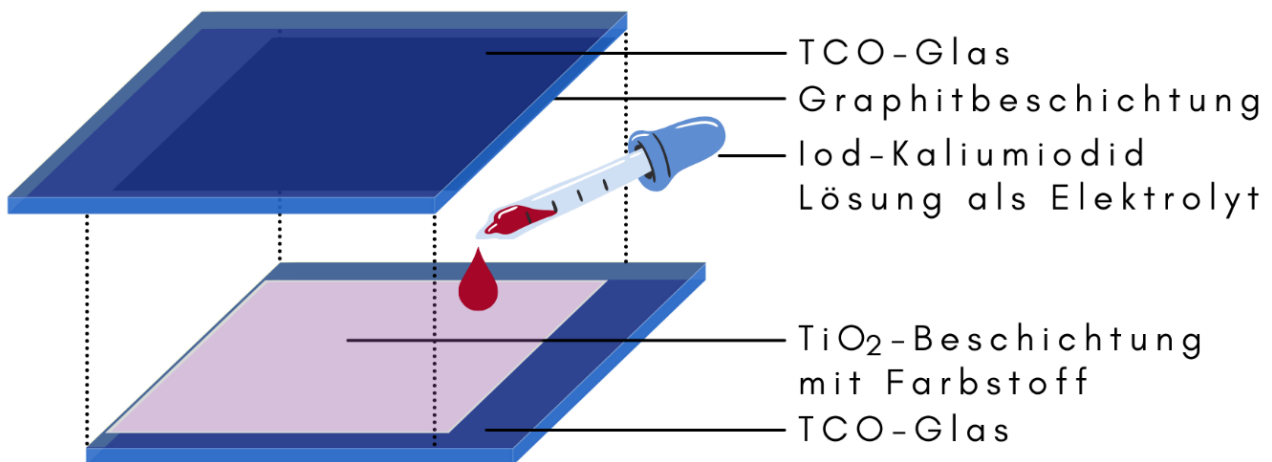


Abbildung 1 Aufbau Farbstoff-Solarzelle

Eine dieser Plättchen ist zusätzlich bereits mit dem Halbleitermaterial Titandioxid TiO<sub>2</sub> beschichtet. Dieses wird zusammen mit Farbstoff (z. B. aus den Hibiskusblüten) die positive Elektrode der Solarzelle bilden (vgl. Abb. 1). Die andere Glasplatte wird mit Graphit (Bleistift) beschichtet und mit einem Elektrolyten (Iod-Kaliumiodid-Lösung) zusammengefügt.

### 2 Benötigte Materialien

Im SENSOR-Paket enthalten:

| Bezeichnung   | Anzahl | Bezugsquelle (Beispiel)   |
|---|--------|---|
| beschichtete Glasträger<br>6 Stk. TCO, TiO <sub>2</sub> , 6Stk. TCO | 1      | <a href="https://www.solaronix.com/materials/kits/educationcellkit/">https://www.solaronix.com/materials/kits/educationcellkit/</a>   |
| Elektrolyt<br>Iod-Kaliumiodid-Lösung                                | 1      | <a href="https://www.laborladen.de/Lugolsche-Loesung-5-Iod-Kaliumiodid-Loesung">https://www.laborladen.de/Lugolsche-Loesung-5-Iod-Kaliumiodid-Loesung</a>   |
| Hibiskusblüten (Tee)  | 1      | <a href="https://www.herbathek.com/bio-heilkraeuter-tees-gewuerze/einzelkraeuter/hibiskusblueten-ganze-blueten-bio?number=HP7149-0500&amp;msclid=71931668805711ed9d12d21dcd34d406">https://www.herbathek.com/bio-heilkraeuter-tees-gewuerze/einzelkraeuter/hibiskusblueten-ganze-blueten-bio?number=HP7149-0500&amp;msclid=71931668805711ed9d12d21dcd34d406</a> |
| Messleitungen   | 1      | <a href="https://www.pollin.de/p/messleitungen-mit-krokodilklemmen-830143?gclid=CjwKCAiAiML-BRAAEiwAuWVggoY1wx17VxUi-TToRsSOMQmrugQsUW-3na69ddMUw2P-weHJV_XSBoCrmgQAvD_BwE">https://www.pollin.de/p/messleitungen-mit-krokodilklemmen-830143?gclid=CjwKCAiAiML-BRAAEiwAuWVggoY1wx17VxUi-TToRsSOMQmrugQsUW-3na69ddMUw2P-weHJV_XSBoCrmgQAvD_BwE</a>               |
| Multimeter  | 1      | <a href="https://www.reichelt.de/steckernetzteil-12-w-12-v-1-a-hnp-12-120l6-p177059.html?&amp;trstct=pos_2&amp;NBC=1">https://www.reichelt.de/steckernetzteil-12-w-12-v-1-a-hnp-12-120l6-p177059.html?&amp;trstct=pos_2&amp;NBC=1</a>   |
| Schreibtischlampe   | 1      |   |
| DC Leichtlaufmotor 0,4 - 5,9 V                                      | 1      | <a href="https://www.reichelt.de/solar-und-leichtlaufmotor-0-4-5-9-v-solar-90002l-p175933.html?&amp;trstct=pol_0&amp;NBC=1">https://www.reichelt.de/solar-und-leichtlaufmotor-0-4-5-9-v-solar-90002l-p175933.html?&amp;trstct=pol_0&amp;NBC=1</a>   |
| Mehrzweckklammern   | 12     | <a href="https://www.otto-office.com/de/OTTO-Office-Foldback-Klammern-19mm,-schwarz,-12-Stueck/292604/p">https://www.otto-office.com/de/OTTO-Office-Foldback-Klammern-19mm,-schwarz,-12-Stueck/292604/p</a>   |

**Zusätzliche Hilfsmittel (Bereitstellung vor Ort):**

| Bezeichnung          | Anzahl |
|----------------------|--------|
| Laborkittel          | 1      |
| Gummihandschuhe      | 1      |
| Wasserkocher         | 1      |
| eine kleine Schale   | 1      |
| (Weitere) Multimeter | 5      |
| Krokodilklemmen      | 7      |

### 3 Ablauf

#### 3.1. Vorbereitung

Für diesen Versuch benötigen wir am Arbeitsplatz folgende Gegenstände:

- ✓ eine leitfähig beschichtete TCO-Glasplatte
- ✓ eine leitfähig beschichtete TCO-Glasplatte mit zusätzlicher weißer Titandioxidbeschichtung
- ✓ einen weichen Bleistift
- ✓ 1 Blatt Küchenpapier
- ✓ Gummihandschuhe und Laborkittel
- ✓ zwei Mehrzweckklammern
- ✓ ein Multimeter mit Krokodilklemmen



Abbildung 2 Versuchsaufbau

Am Lehrer\*innenpult wird zusätzlich bereitgestellt:

- ✓ eine Keramikschale
- ✓ Hibiskusextrakt
- ✓ ein Wasserkocher
- ✓ die Elektrolytlösung aus Iod-Kaliumiodid (Lugol'sche Lösung)
- ✓ eine Schreibtischleuchte
- ✓ Krokodilklemmen mit Kabeln (0,5 m - 1 m)
- ✓ einen Elektromotor

### 3.2. Einleitung

Zu Beginn können wir uns mit einem kurzen Film über die Farbstoffzellen und ihren Erfinder informieren:

|   |  |
|---|--|
|  | <p>FUTUREMAG auf Deutsch – ARTE (2015): Michael Grätzel, Pionier neuer Solartechniken - FUTUREMAG – ARTE. URL: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=E4_U0Cw5IYU">https://www.youtube.com/watch?v=E4_U0Cw5IYU</a>, letzter Zugriff: 20.12.2022.</p> |
|---|--|

### 3.3. Versuchsdurchführung Zellenbau

- Da der Hibiskus-Sud einige Minuten ziehen sollte, empfiehlt es sich, zu Beginn des Experiments etwa einen Teelöffel Hibiskusblüten mit etwas kochendem Wasser aufzugießen. Der Sud sollte einige Minuten ziehen und etwas abkühlen, sodass keine Verbrennungsgefahr mehr besteht.
- Die mit Titandioxid beschichtete TCO-Glasplatte wird in den Hibiskus-Aufguss gegeben und verbleibt einige Minuten darin (vgl. Abb. 3).



Abbildung 3 Eintauchen des TiO<sub>2</sub>-beschichteten TCO-Glasplättchens

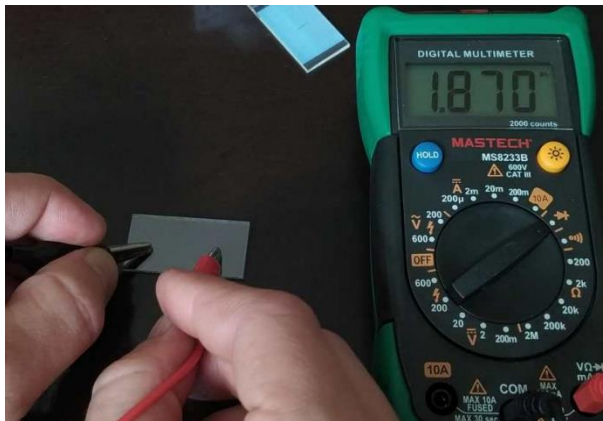


Abbildung 4 Leitfähigkeitstest des TCO-Glasplättchens mittels Multimeter

- Während das Plättchen den Farbstoff aufnimmt, wird ein Multimeter auf die Stellung Durchflussprüfung gestellt und geprüft, welche Seite des unbeschichteten TCO-Glasplättchens die leitfähig ist (vgl. Abb. 4).

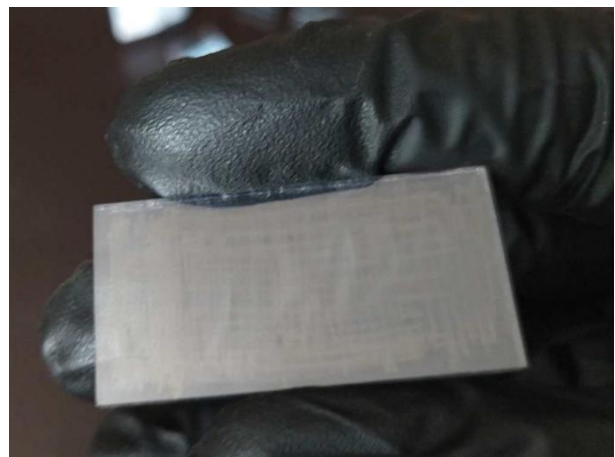


Abbildung 5 TCO-Glasplättchen mit Graphitschicht



Abbildung 6 Entnehmen des TiO<sub>2</sub> Glasplättchens

- Die leitfähige Seite wird nun sehr dicht mit einem weichen Bleistift kreuz und quer bemalt, sodass sich überall eine Graphitschicht befindet (vgl. Abb. 5).
- Das mit TiO<sub>2</sub> beschichtete Glasplättchen kann nun aus dem Farbstoff entnommen werden (vgl. Abb. 6). Im Anschluss daran wird es entweder vorsichtig mit etwas Küchenrolle abgetupft oder es muss gewartet werden, bis die Restflüssigkeit verdunstet ist.

- Bevor wir nun die zwei Plättchen mit den bearbeiteten Oberflächen zueinander fügen können, muss noch ein Tropfen Elektrolyt (Iod-Kaliumiodid-Lösung) hinzugefügt werden (vgl. Abb. 7). Die Lösung färbt sehr stark Stoff und Haut. Sauberes Arbeiten sowie das Tragen von Schutzkittel und Handschuhen ist ab diesem Schritt zwingend notwendig.



Abbildung 8 Zusammenbau der Solarzelle

- Die Solarzelle sollte nun aussehen, wie in Abbildung 9. Überstehendes Elektrolyt kann mit einem Stück Zellstoffpapier aufgesaugt werden, damit es nicht heruntertropft.

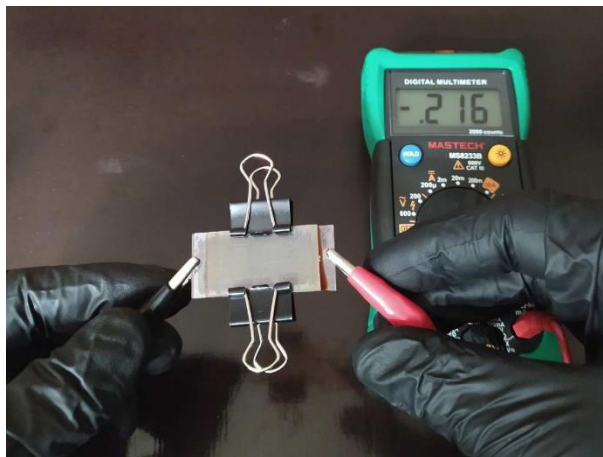


Abbildung 10 Angeschlossene Solarzelle

- Halten wir die Zelle jetzt unter eine Lichtquelle, steigt die Spannung auf etwa 0,4 V. Ab diesem Versuchsschritt können die Zellen miteinander verglichen werden und es kann gemeinsam überlegt werden, wie sich Strom und Spannung mit Parallel- und Reihenschaltung solcher Zellen erhöhen lassen.



Abbildung 7 Hinzufügen von Iod-Kaliumiodid-Lösung

- Nun werden die beiden Plättchen etwas versetzt mit den bearbeiteten Seiten aufeinandergelegt und an den langen Seiten mit den Klammern fixiert (vgl. Abb. 8).

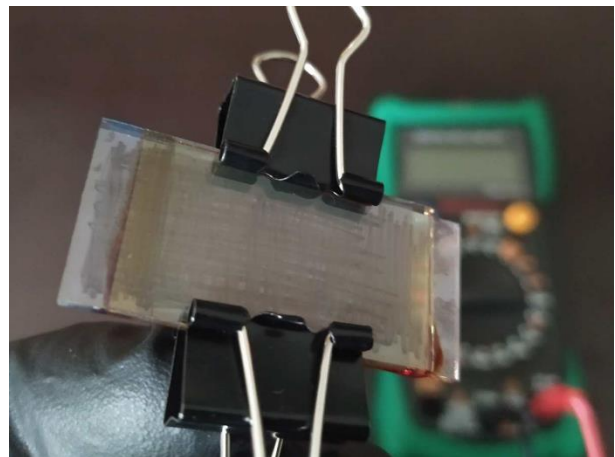


Abbildung 9 Fertige Solarzelle

- Nun wird das Multimeter auf die kleinstmögliche Spannung gestellt und die Zelle mittels Krokodilklemmen angeschlossen (vgl. Abb. 10). Wenn die Spannung negativ (mit einem Minus) angezeigt wird, kann die Zelle einfach andersherum angeklemt werden.

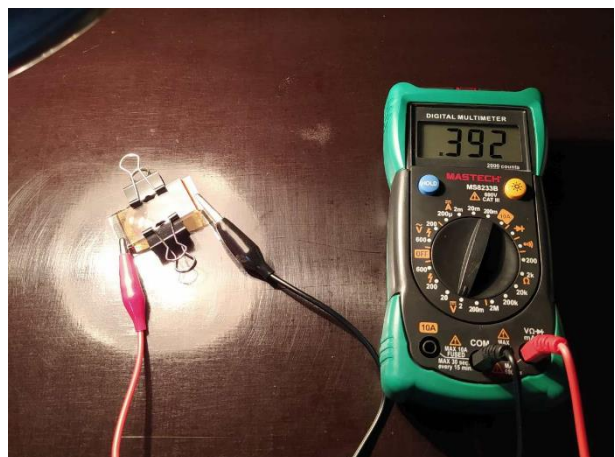


Abbildung 11 Solarzelle unter Lichtquelle

### 3.4. Versuchsdurchführung Reihenschaltung

Haben alle Teilnehmenden ihre Solarzellen erfolgreich getestet, können diese mit Krokodilklemmen in Reihe geschaltet werden. Diese Reihenschaltung ermöglicht das Anschließen von Verbrauchern, die eine höhere Spannung benötigen, als eine Einzelzelle zur Verfügung stellt (vgl. Abb. 12).

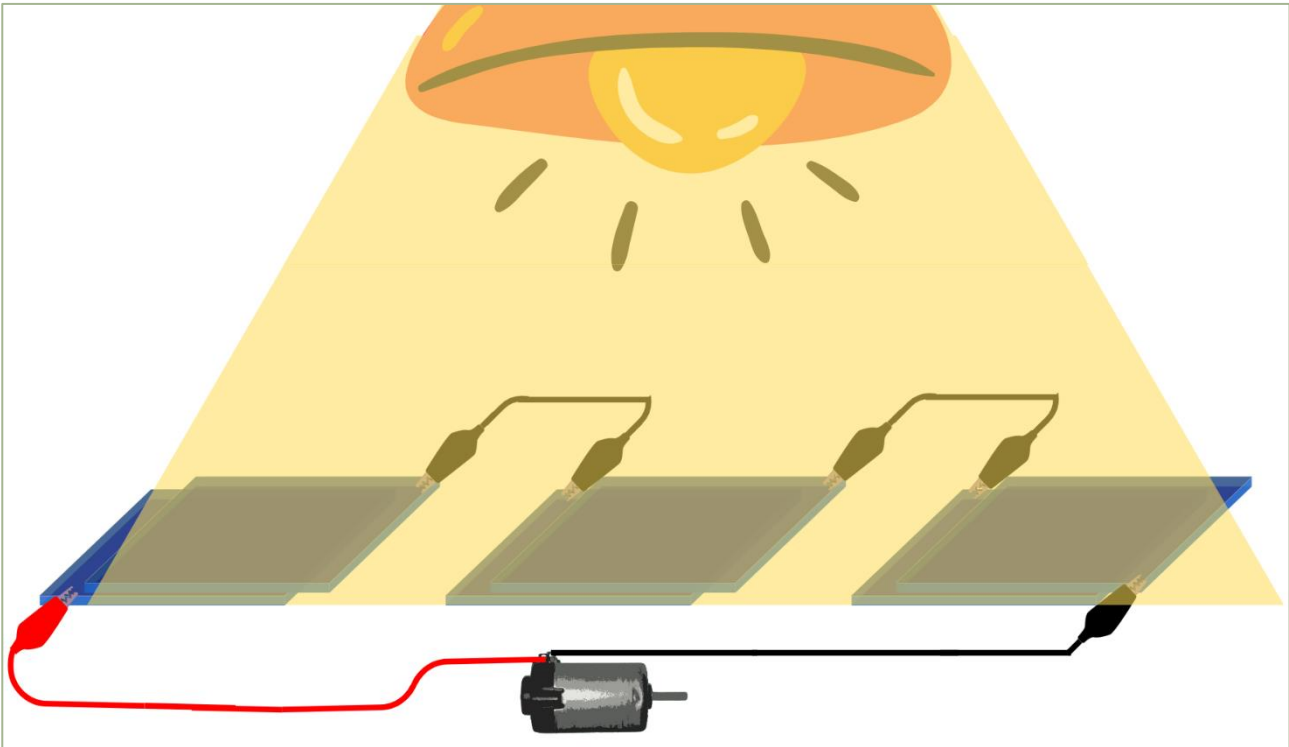


Abbildung 12 Reihenschaltung von Farbstoff-Solarzellen

Mit Krokodilklemmen werden die Einzelzellen mit gleichmäßiger Polung gemäß folgendem Schaltbild (vgl. Abb. 13) angeschlossen.

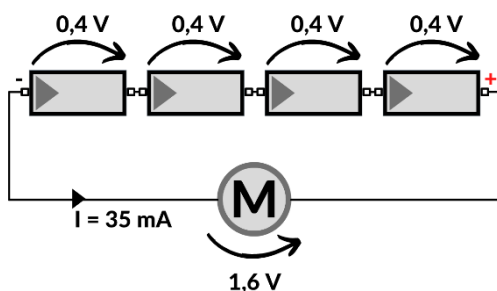


Abbildung 13 Schaltbild Solarzellverschaltung

Diese Module werden in Solaranlagen wiederum zu sogenannten Strings in Reihe verschaltet. Dabei können Spannungen von bis zu 1500 V bei Strömen von maximal 20 A pro MPP-Tracker (Leistungselektronik zum Finden des Punktes maximaler Energieausbeute) im Wechselrichter erreicht werden. Die Modulanzahl bei einer solchen Verschaltung beträgt etwa 44 Photovoltaikmodule à 350 Wp.

Je mehr Zellen dem Licht ausgesetzt werden, desto höher ist die Gesamtspannung im Schaltkreis.

Auf die gleiche Weise sind handelsübliche Solarzellen intern miteinander verschaltet. Die Qualität unserer Zellen kann mit einer Solarzelle aus dem Handel (im SENSOR-Paket beiliegend) verglichen werden.

In den Solarmodulen bei Photovoltaikanlagen sind einzelne Zellen intern sowohl parallel als auch in Reihe geschaltet.