

# Selbstgemacht: Farbstoff-Solarzellen

## Schritt 1: Vorbereitung des leitfähig beschichteten Glases

*Material: leitfähig beschichtete Glasscheibe, Multimeter, Kabel mit Bananensteckern, Papiertuch, Klebefilm*

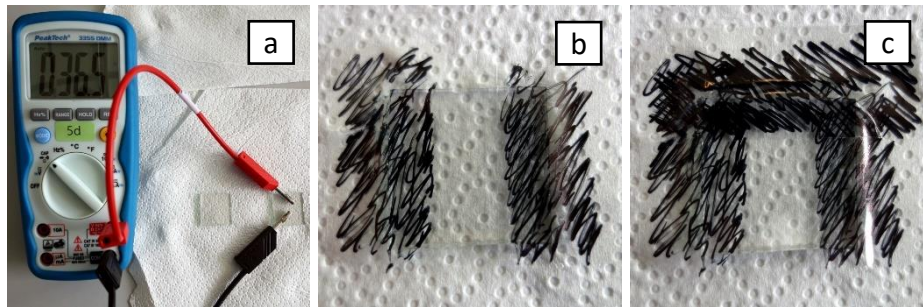


Abbildung 1

(Das Klebeband ist nur zur besseren Sichtbarkeit eingefärbt.)

1. Die Glasscheibe ist nur auf einer Seite leitfähig beschichtet. Messe den elektrischen Widerstand zwischen zwei Punkten auf der Scheibe mit dem Multimeter. Auf der beschichteten Seite sollte der Widerstand unter  $100\Omega$  liegen. (Abb. 1 a)
2. Klebe die Glasscheibe nun mit dem Klebeband auf ein Papiertuch (beschichtete Seite nach oben). (Abb. 1 b,c). Das Klebeband muss dabei falten- und blasenfrei auf dem Glas kleben.

Mit Fluor-dotiertem Zinnoxid (FTO) beschichtetes Glas ist mit verschiedenen Flächenwiderständen im Handel erhältlich. Für diesen Versuch sind alle gängigen Beschichtungen geeignet. Das Vorschneiden auf Quadrate mit ca. 2 cm Seitenlänge erledigt man besser als Lehrkraft vorbereitend. Das Glas kann nach Reinigung mehrmals verwendet werden.

Die in Abbildung 1 b vertikal geklebten Klebestreifen definieren später die Schichtdicke der  $\text{TiO}_2$ -Schicht, sie sollten deshalb faltenfrei geklebt sein. Je weiter sie auseinander liegen, desto schwerer wird es den S\*S fallen, eine lückenlose Schicht herzustellen, außerdem sind breitere Schichten eher von Ablösung gefährdet. Dafür steigt natürlich der Kurzschlussstrom proportional mit der beschichteten Fläche.

## Schritt 2: Herstellung der $\text{TiO}_2$ -Elektrode

*Material: Papiertücher, Schutzbrille, Schutzhandschuhe, Isopropanol, Essigessenz,  $\text{TiO}_2$ -Paste, Objektträgerglas*

Theoretisch ist es zwar möglich, dass die S\*S die  $\text{TiO}_2$ -Paste selbst herstellen. Dieser Schritt würde aber überproportional viel Zeit in Anspruch nehmen, führt zu erheblichem Reinigungsaufwand und ist wegen der Einstufung von feinen  $\text{TiO}_2$ -Stäuben als potentiell krebserregend nicht unbedenklich. Daher sollte die Paste durch die Lehrkraft bereitgestellt werden, am besten in einer Einmal-Spritze gelagert.

Zur Herstellung der Paste wird  $\text{TiO}_2$ -Pulver tröpfchenweise mit Essigessenz im Mörser zunächst zu einer dicken Paste vermischt (Kristalle werden im Mörser zerkleinert) und anschließend unter weiterer vorsichtiger Zugabe von Essigessenz auf die Konsistenz von Wandfarbe verdünnt. Zum Schluss wird etwas Flüssigseife zur Herabsetzung der Oberflächenspannung zugegeben (Achtung: Blasenbildung vermeiden).

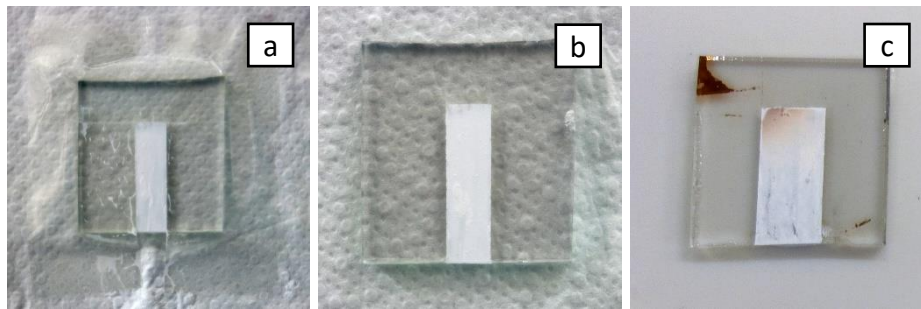


Abbildung 2

- Arbeite mit Schutzbrille und Schutzhandschuhen
- 1. Reinige die nicht mit Klebefilm bedeckte Oberfläche mit Isopropanol, benetze sie anschließend mit einem Tropfen Essigessenz und wische sie trocken.
- 2. Jetzt musst du zügig arbeiten: Tropfe eine kleine Menge  $\text{TiO}_2$ -Paste aus der vorbereiteten Spritze auf die Oberfläche und verteile sie mit dem Objektträgerglas. Noch bevor die  $\text{TiO}_2$ -Paste antrocknen kann, muss sie durch Verstreichen mit dem Objektträger zu einer gleichmäßig dünnen Schicht gezogen werden. Der Klebefilm an den Seiten dient dabei als Auflage für den Objektträger und definiert die Schichthöhe. Im Idealfall stellst du die Schicht in einem Zug fertig und überschüssiges Material landet auf dem Papiertuch. (Abb. 2 a)
- 3. Entferne den Klebefilm vorsichtig. (Abb. 2 b)
- 4. Heize deine  $\text{TiO}_2$ -Schicht bei 400-500 °C auf einer Heizplatte aus. Du kannst beobachten, dass sie sich zunächst bräunlich färbt, weil organische Reste aus der  $\text{TiO}_2$ -Paste verbrennen (Abb. 2 c). Wenn die Schicht wieder rein weiß ist und auch alle Klebefilmreste verbrannt sind, kann die Scheibe wieder langsam abkühlen.

Die Reinigung mit Isopropanol dient der Entfettung (Fingerabdrücke), das Abreiben auch der Entfernung von evtl. vorhandenen Trocknungsflecken, die eine homogene Schichtbildung verhindern könnten. Der Tropfen Essigessenz kann evtl. entfallen, wenn es Bedenken wegen Geruchsbelastung und sicherem Umgang gibt, Stichversuche haben gezeigt, dass  $\text{TiO}_2$ -Schichten mit diesem Schritt seltener von Ablösung betroffen sind.

Der Sinter-Schritt ist für eine später funktionsfähige Solarzelle zwingend erforderlich. Falls keine Heizplatte verfügbar ist, ist auch ein Sintern über der Bunsenbrennerflamme möglich. Dieses Vorgehen ist allerdings bezüglich Glasbruch gefährlicher (schnelleres Aufheizen- und Abkühlen).

### Schritt 3: Der Farbstoff

*Material: Schutzbrille, Schutzhandschuhe, Farbstoff-Lösung (z.B. Hibiskus-Tee, Brombeersaft, Safran-Extrakt, Chlorophyll-Extrakt), Petrischale, Isopropanol*



Abbildung 3

Achtung: Arbeite hier vorsichtig, die  $\text{TiO}_2$ -Schicht könnte sich von der Scheibe lösen.

1. Lege deine Glasscheibe mit  $\text{TiO}_2$ -Schicht vorsichtig in eine Petrischale mit Farbstoff-Lösung, die  $\text{TiO}_2$ -Schicht muss vollständig bedeckt sein. (Abb. 3)

2. Je länger du wartest, desto mehr Farbstoff kann anhaften. Eine Wartezeit von ca. 10 Minuten sollte aber ausreichen, um eine funktionierende Solarzelle zu erhalten.
3. Entnimm die Glasscheibe wieder und spüle Reste von Wasser und Farbstoff vorsichtig mit Isopropanol herunter. Lasse die Schicht an der Luft trocknen.

Nicht jeder Farbstoff wird sich gut an die  $\text{TiO}_2$ -Partikel anlagern. Anthocyane aus Hibiskus-Tee (häufig Hagebuttentee beigemischt) ist gut geeignet, weil der Tee trocken lange gelagert werden kann. Brombeersaft und Himbeersaft (z.B. aus gefrorenen gelagerten Beeren) funktioniert ebenfalls. Ein Chlorophyll-Auszug in Ethanol ergibt ebenfalls funktionierende Solarzellen, allerdings mit sehr niedrigem Kurzschlussstrom. Ein wässriger Auszug aus gemahlenem Safran färbt kaum sichtbar, liefert aber gute Ergebnisse. Hier kann man die S\*S experimentieren lassen, oder aber ihnen gut durchgezogenen Hibiskus-Tee zur Verfügung stellen. Das Spülen mit Isopropanol könnte auch mit DI-Wasser erfolgen. In diesem Fall ist die Trocknung aber langwieriger.

### Schritt 4: Graphit-Elektrode und Zusammenbau

*Material: leitfähig beschichtetes Glas, weicher Bleistift (z. B. 6B), Klebefilm, Folienstift, Foldback-Klammern, Schutzhandschuhe, Schutzbrille, Iod-Kaliumiodid-Lösung in Fläschchen mit Pipette.*

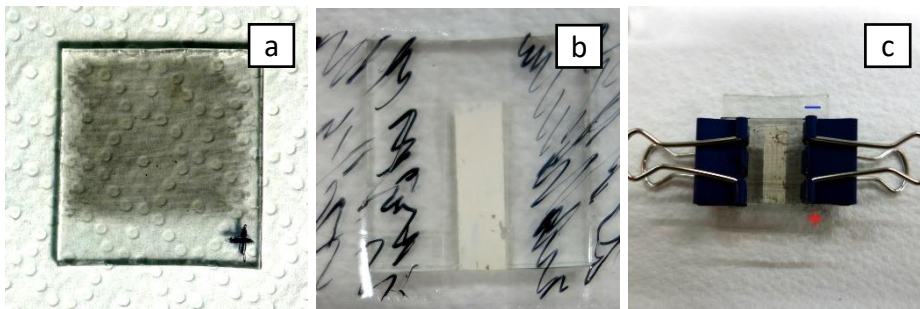


Abbildung 4

(Das Klebeband ist nur zur besseren Sichtbarkeit eingefärbt.)

1. Stelle eine Graphit-Elektrode her, indem du die leitfähig beschichtete Seite der Glasscheibe bis auf einen Randstreifen mit einem weichen Bleistift bemalst. (Abb. 4 a)
2. Zum Schutz vor Kurzschlüssen: Beklebe den unbeschichteten Rand der  $\text{TiO}_2$ -Elektrode mit Klebefilm. (Abb. 4 b)
3. Lege die beiden Elektroden mit den beschichteten Seiten so aufeinander, dass zu beiden Seiten der nicht von dir beschichtete Teil freiliegt. Reibe die Schichten nicht übereinander!
4. Verwende zwei Foldback-Klammern um die Glasscheiben dauerhaft zusammenzuhalten. (Abb. 4 c)
5. Beschrifte die  $\text{TiO}_2$ -Elektrode auf dem freiliegenden Teil mit einem „-“ und die Graphit-Elektrode mit einem „+“.
6. Verwende hier Schutzhandschuhe und Schutzbrille: Benetze die Solarzelle mit einem Tropfen Elektrolyt-Lösung (Iod-Kaliumiodid-Lösung). Gib den Tropfen dafür an die Kante, an der beide Glasscheiben aufeinander liegen. Die Lösung wird sichtbar durch den Kapillareffekt in den Zwischenraum zwischen den Elektroden gezogen.

**Deine Solarzelle ist jetzt fertig!**

Anstelle des weichen Bleistiftes kann auch Ruß verwendet werden (wie in vielen Quellen beschrieben). Dafür wird die FTO-beschichtete Seite der Glasscheibe zügig mehrfach durch die Mitte einer Kerzenflamme geführt. Durch die Abkühlung in der Flamme entsteht vermehrt Ruß, der sich auf dem Glas ablagert. Der Glasrand wird dann anschließend mit einem Wattestäbchen vom Ruß befreit. Da sich der so abgeschiedene Ruß nur sehr lose auf dem Glas anlagert, wird er später durch die Elektrolyt-Lösung teilweise fortgetragen.

Die Klebestreifen sind vor allem bei schmalen  $\text{TiO}_2$ -Schichten notwendig, da es am Rand durch den Druck der Klammern zu Kontakt zwischen den beiden FTO-Gläsern kommt und damit zum Kurzschluss. Wenn mit sehr breiten Schichten gearbeitet wird kann darauf verzichtet werden, dann sollten die Klammern auf die  $\text{TiO}_2$ -Schicht selbst drücken (teilweise Verschattung).

Anstelle der Foldback-Klammern ist auch ein enges Umwickeln mit transparentem Klebefilm möglich. Da die Gläser aber möglichst nicht übereinander gerieben werden sollten, um eine Beschädigung der Elektroden zu vermeiden, ist die Methode mit den Klammern erheblich leichter in der Handhabung.

Die Iod-Kaliumiodid-Lösung ist im Handel als Lugolsche Lösung erhältlich. Mit der Zeit trocknet die Lösung aus. Wenn die Solarzellen über mehrere Tage oder Wochen Gegenstand des Unterrichts sind, ist es möglich sie durch Benetzung mit DI-Wasser wieder „aufzuwecken“.

## Schritt 5: Funktioniert die Solarzelle?

*Material: Farbstoff-Solarzelle, Multimeter, Kabel mit Krokodilklemmen, evtl. Lichtquelle*

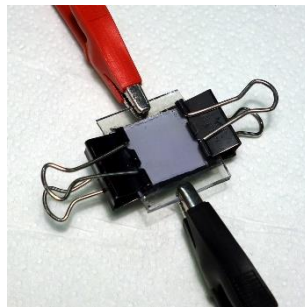


Abbildung 5

( $\text{TiO}_2$ -Elektrode  
oben, mit schwarzer  
Krokodilklemme  
verbunden)

Prüfe die Funktion der Solarzelle, indem du die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom misst. Beleuchte die Solarzelle dafür auf der Seite der  $\text{TiO}_2$ -Elektrode.

7. Kontaktiere die Solarzelle mit den Krokodilklemmen (Graphit-Elektrode am positiven Pol,  $\text{TiO}_2$ -Elektrode am negativen Pol wie in Abb. 5)
8. Der Kurzschlussstrom (Multimeter im  $\mu\text{A}$ -Bereich) hängt von der Fläche, der Menge des Farbstoffes und der Lichtintensität ab. Prüfe, ob du die Abhängigkeit von der Lichtintensität messen kannst.
9. Die Leerlaufspannung ist abhängig von der Lichtintensität. Prüfe wie groß sie in direkter Sonne oder bei kräftiger Beleuchtung ist, es sollten über 200 mV sein.

Je nach Beleuchtungsstärke sind Stromstärken unter  $20 \mu\text{A}$  zu erwarten (gute Zellen erreichen in der direkten Sonne über  $100 \mu\text{A}$ ). Es wird also in der Regel nicht möglich sein Lämpchen o. ä. zu betreiben. Durch Reihenschaltung mehrerer Zellen kann aber eine ausreichende Spannung erreicht werden, mit der genügsame Elektronik (z. B. kleine Taschenrechner) betrieben werden kann. Falls eine sehr niedrige Leerlaufspannung gemessen wird, kann ein Kurzschluss die Ursache sein (Widerstands-Messung, Klebefilm-Isolation verwenden). Prüfen Sie außerdem die Benetzung durch Elektrolyt-Lösung. Mit einem gewissen irreparablen Ausschuss ist leider zu rechnen.