



Sicherheitshinweis

Mit dem Herunterladen bzw. Ausdrucken dieses Praktikumsskriptes erklären Sie sich bereit, die folgenden Versuche unter eigener Verantwortung und nur mit ausreichendem chemischem Wissen und geeigneten Schutzvorrichtungen durchzuführen!

Der Autor kann für jegliche Personen- und Sachschäden durch mögliche Fehlversuche nicht haftbar gemacht werden!

Das Praktikumsskript befindet sich auf den folgenden Seiten.



Praktikum mit SchülerInnen der 8. und 9. Klasse

Bau und Funktionsweise einer Grätzelzelle

Letzte Aktualisierung: 10.12.2008

© Science Forum an der Universität Siegen
Didaktik der Chemie
Adolf-Reichwein-Straße 2, 57068 Siegen
www.science-forum.de

 **Universität
Siegen**
Didaktik **der Chemie**

I. Die Umwandlung von Energieformen

Wichtige Energieformen mit Beispielen:

- potentielle Energie oder Lageenergie E_{pot} , z. B. ein Buch auf dem Tisch
- kinetische Energie oder Bewegungsenergie E_{kin} , z. B. ein fahrendes Auto
- thermische Energie oder Wärmeenergie E_{therm} , z. B. eine heiße Herdplatte
- Lichtenergie E_L , z. B. die Sonne
- elektrische Energie E_{el} , z. B. eine Batterie
- chemische Energie E_{chem} , z. B. Benzin

Energieumwandlungen	Technische Beispiele
E_{pot} in E_{kin}	Wasserkraftwerk
E_{kin} in E_{el}	Fahrraddynamo
E_{chem} in E_{therm}	Kohlekraftwerk
E_{chem} in E_{el}	Autobatterie
E_L in E_{el}	Solarzelle
E_{chem} in E_{kin}	Raketenantrieb
E_{kin} in E_{therm}	Wirkung einer Bremse
E_{kin} in E_{pot}	Skilift

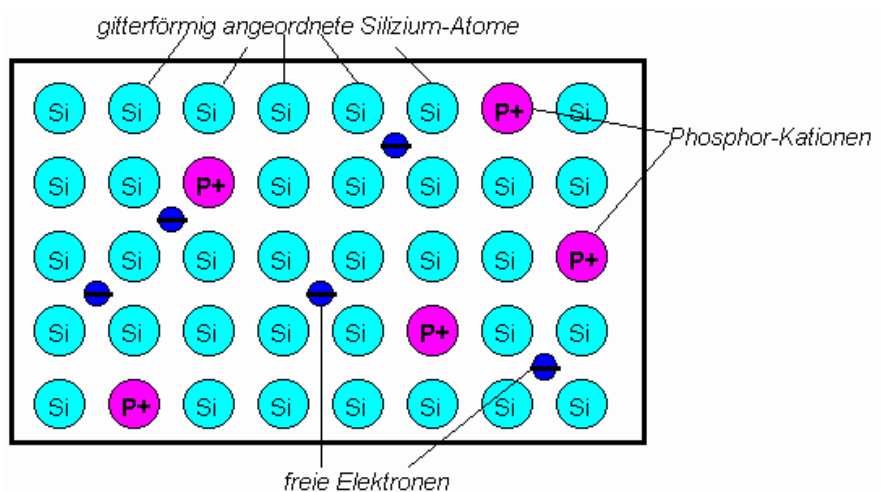
II. Die Solarzelle: Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie

Aufbau:

Hauptbestandteil ist das Silizium. Als Element der IV. Hauptgruppe besitzt ein Silizium-Atom vier Valenzelektronen, also vier Elektronen auf der äußersten Schale. Die Funktion einer Solarzelle wird durch ihren Aufbau aus zwei verschiedenen Silizium-Schichten ermöglicht.

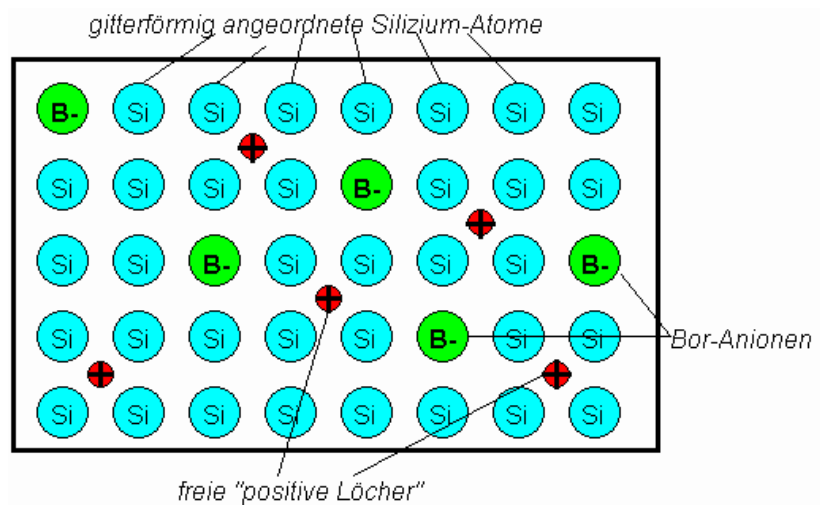
In der ersten Schicht wird in das Silizium-Gitter eine z. B. geringe Anzahl an Phosphor-Atomen eingelagert. Man bezeichnet diesen Vorgang als **Dotieren** (Verunreinigen). Phosphor ist ein Element der V. Hauptgruppe, d. h. Phosphor-Atome besitzen ein Elektron mehr als Silizium-Atome.

Dies nennt man daher **negative Dotierung** oder **n-Dotierung**. Die Phosphor-Atome sind dabei bestrebt, ebenso wie die Silizium-Atome, vier Valenzelektronen zu erhalten. Folglich gibt jedes Phosphor-Atom ein Elektron ab, wodurch nun im Gitter positiv geladene Phosphor-Kationen und frei bewegliche Elektronen vorliegen.



In der zweiten Schicht wird in das Silizium-Gitter z. B. eine geringe Anzahl an Bor-Atomen eingelagert.

Bor ist ein Element der III. Hauptgruppe, d. h. Bor-Atome besitzen ein Elektron weniger als Silizium-Atome. Dies nennt man daher **positive Dotierung** oder **p-Dotierung**. Auch die Bor-Atome sind dabei bestrebt, die gleiche Anzahl an Valenzelektronen zu erhalten wie das Silizium.



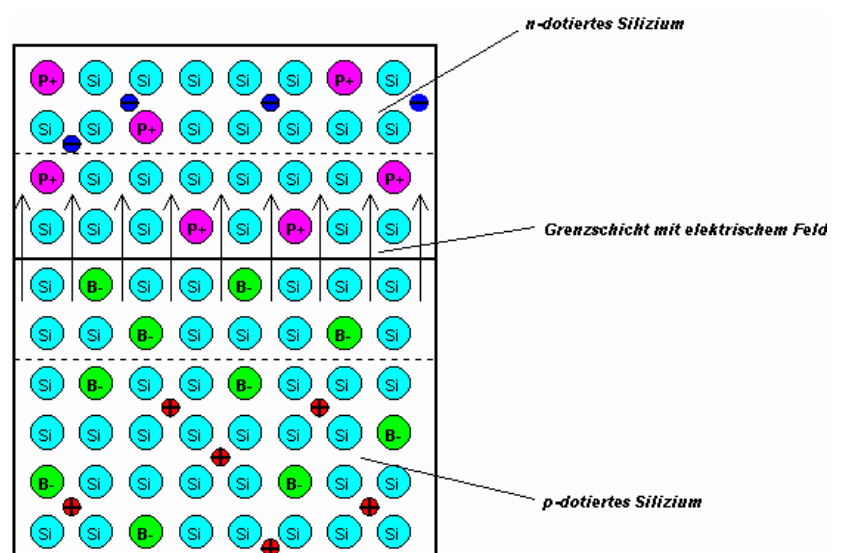
Also nimmt jedes Bor-Atom ein Elektron von einem benachbarten Silizium-Atom auf, wodurch nun im Gitter negativ geladene Bor-Anionen vorliegen. An dem jeweiligen betreffenden Silizium-Atom entsteht folglich eine Elektronenlücke.

Um diesen Mangel auszugleichen, nimmt das entstehende positiv geladene Silizium-Kation ein Elektron eines weiteren benachbarten Silizium-Atoms auf usw. Dies hat zur Folge, dass die Elektronenlücken „wandern“.

Bringt man nun beide Schichten zusammen, so werden an der Grenzschicht die Elektronenlücken der 2. Schicht von den freien Elektronen der 1. Schicht besetzt. Es liegen dann als Ladungsträger nur noch Phosphor-Kationen und Bor-Anionen vor.

Durch die Tatsache, dass auf der einen Seite nur positive Ionen, auf der anderen Seite nur negative Ionen sind, wird ein elektrisches Feld aufgebaut. Dieses Feld ist von der p-Schicht zur n-Schicht gerichtet.

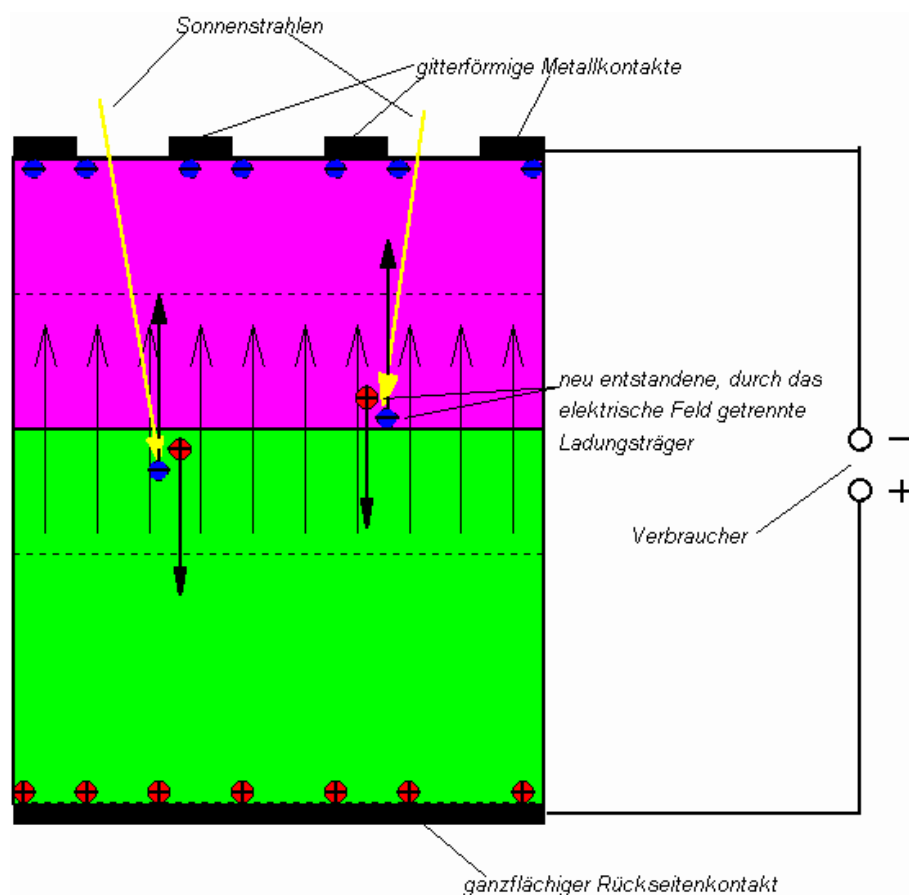
Somit ist es den restlichen freien Elektronen nicht mehr möglich, die verbliebenen positiven Löcher „zu stopfen“. Durch das elektrische Feld kommt es also zum Aufbau einer Sperrschicht.



Funktionsweise:

Fällt Licht auf ein aus solchen zwei Schichten aufgebautes Silizium-Gitter, so kann je ein Valenzelektron eines Silizium-Atoms energetisch angeregt werden. Ausgestattet mit dieser Energie ist es dem Elektron möglich, sich vom Atom „loszureißen“. Es liegen nun also wieder freie Elektronen und „positive Löcher“ vor. Durch das elektrische Feld werden die Elektronen auf die n-dotierte Seite gezogen, die Löcher gelangen auf die p-dotierte Seite.

Auf direktem Weg können die Elektronen die Löcher nun nicht mehr ausgleichen, da sie sich entgegen dem elektrischen Feld nicht bewegen können. Bringt man jedoch an der Solarzelle zwei Kontakte an, die mit einem Verbraucher (z.B. einer Glühlampe) verbunden sind, so fließen die freien Elektronen über den Verbraucher zu den positiven Löchern. Es fließt also ein elektrischer Strom.



Einfache Experimente mit Solarzellen:

Experiment 1

Geräte: Solarzelle, Pappe zum Abdecken, Flachbatterie (4,5 V), Glühlampe, Messgerät, 4 Kabel

Durchführung:

1. Decke die Solarzelle lichtdicht mit der Pappe ab.
2. Baue einen einfachen Stromkreis aus der Solarzelle, der Glühlampe, dem Strommesser und der Flachbatterie auf.
3. Miss die auftretende Stromstärke und pole die Solarzelle um.

Ergebnisse:

Experiment 2

Geräte: Solarzelle, Lampe, Pappe zum Abdecken, Messgerät, Lineal, 2 Kabel

Durchführung:

1. Stelle die Lampe in einem Abstand von ca. 10 cm vor der Solarzelle auf.
2. Beleuchte die Solarzelle und miss die auftretende Spannung.
3. Decke die Solarzelle schrittweise – in Vierteln zunehmend – mit Pappe ab und miss die auftretenden Spannungen.
4. Führe den Versuch nochmals durch und miss nun die auftretenden Stromstärken.

Ergebnisse:

Abdeckung	Spannung (Leerlaufspannung)	Stromstärke (Kurzschluss-Stromstärke)
keine		
ein Viertel		
die Hälfte		
drei Viertel		
vollständig		

Experiment 3

Geräte: 2 Solarzellen, Lampe, 4 Kabel, Messgerät

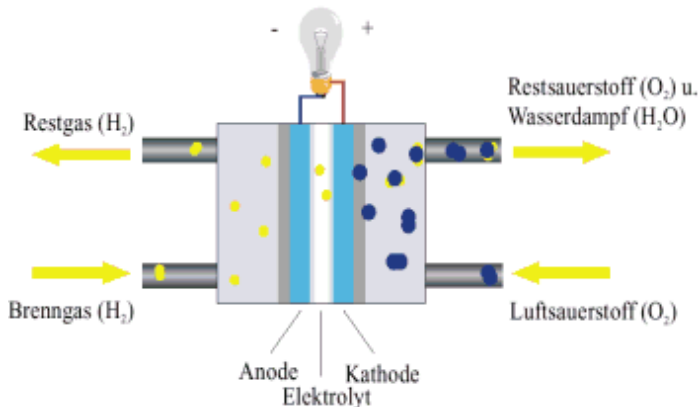
Durchführung:

1. Schalte die beiden beleuchteten Solarzellen in Reihe und miss die auftretenden Spannungen und Stromstärken.
2. Schalte die beiden beleuchteten Solarzellen nun parallel und miss wiederum die auftretenden Spannungen und Stromstärken.

Ergebnisse:

III. Die Brennstoffzelle: Umwandlung von chemischer Energie in elektrische Energie

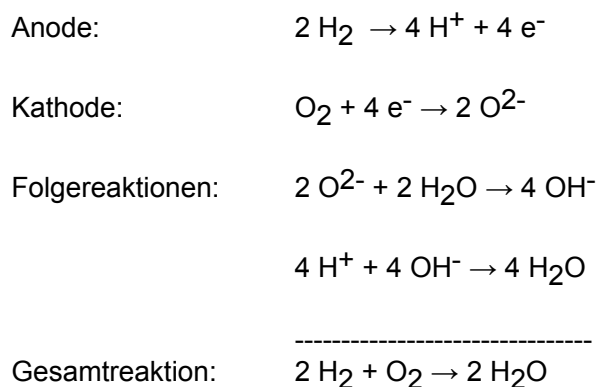
Aufbau und Funktionsweise:



In einer Brennstoffzelle wird die chemische Energie, die bei Oxidationsprozessen frei wird, unmittelbar in elektrische Energie umgewandelt. Sie funktionieren ähnlich wie einfache Batterien, nur wird die Energie nicht zwischen den Elektroden, sondern in einem externen Tank gespeichert. Die Brennstoffzellen-Technologie ist bereits seit mehr als 100 Jahren bekannt. Gegenwärtige Anwendungsgebiete sind Kraft-Wärme-Kopplungssysteme, wie sie etwa in Blockheizkraftwerke vorkommen und der Einsatz bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen. Im Gegensatz zu batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen erzielen mit Brennstoffzellen betriebene Fahrzeuge Leistungsdichten und Reichweiten konventioneller Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotor.

Folgende Prozesse laufen in einer Brennstoffzelle ab, die auf der Oxidation von Wasserstoff zu Wasser beruht:

Die beiden platinbeschichteten Elektroden befinden sich in einem Elektrolyten. Im einfachsten Falle handelt es sich dabei um eine Lauge, etwa konzentrierte Kalilauge. Die Anode wird mit Wasserstoff gespült. Bedingt durch das Platin geben zwei Wasserstoff-Moleküle je zwei Elektronen (insgesamt also vier) an die Anode ab. Diese wandern über einen Verbraucher - etwa eine Glühlampe oder einen Elektromotor - zur Kathode. Zurück bleiben vier positiv geladene Wasserstoff-Ionen. Die Kathode wird mit Sauerstoff gespült. Die ankommenden Elektronen werden aufgenommen und man erhält zwei zweifach negativ geladene Sauerstoff-Ionen. Durch den Elektrolyten liegt in der Brennstoffzelle bereits Wasser vor. Zwei Sauerstoff-Ionen reagieren nun mit zwei Wasser-Molekülen zu vier Hydroxid-Ionen. Letztlich verbinden sich diese Ionen mit den vier vorher entstandenen Wasserstoff-Ionen zu vier Wasser-Molekülen. Addiert man alle ablaufenden Reaktionen, so zeigt sich, dass Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser reagiert hat:

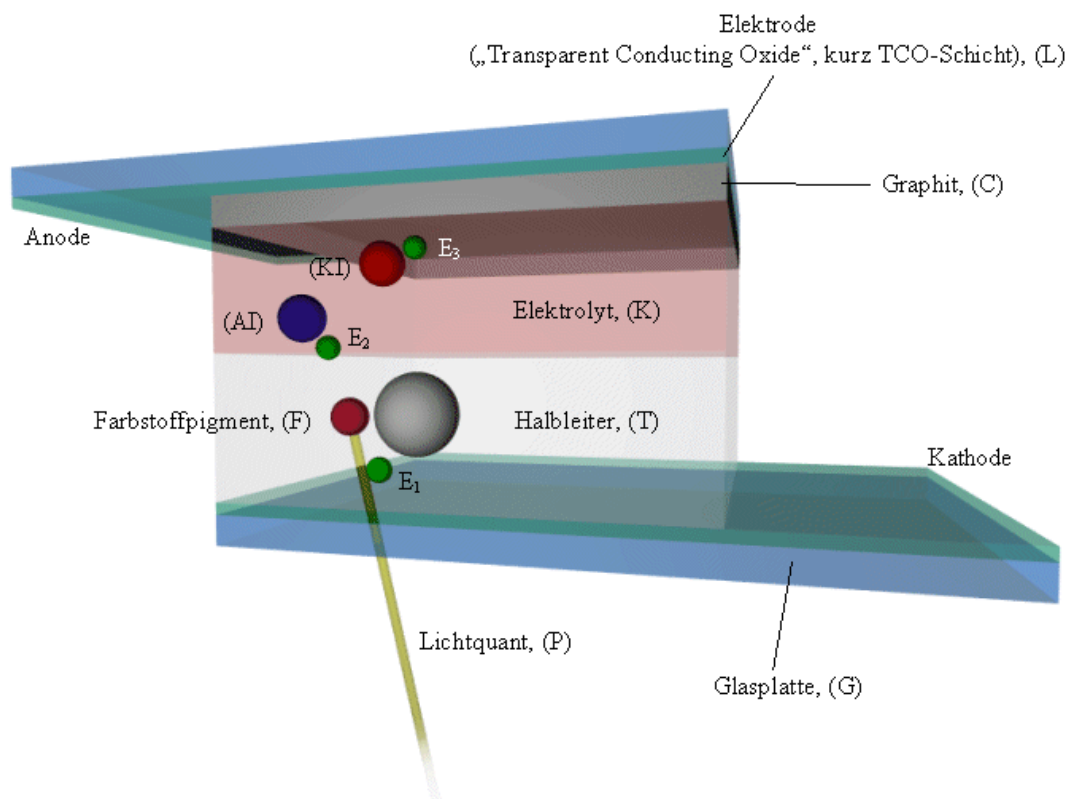


IV. Die Grätzel-Zelle

Aufbau und Funktionsweise:

Im Gegensatz zu herkömmlichen Solarzellen basiert die Grätzel-Zelle nicht auf Silizium. Wie gesehen übernimmt das Silizium in der Solarzelle zwei wichtige Aufgaben. Es liefert die Elektronen und befördert diese dank seiner elektrischen Leitfähigkeit zu den Elektroden. In der Grätzel-Zelle gibt es für diese Aufgaben zwei verschiedene Stoffe, nämlich Titandioxid und einen meist organischen Farbstoff.

Durch einfallende Lichtstrahlen werden in den Farbstoff-Molekülen (z.B. Blattgrün oder Farbstoffe aus Früchten) Elektronen (E_1) freigesetzt. Diese werden durch das elektrisch leitende Material Titandioxid zu der Anode (negative Elektrode) abgeführt. Im Unterschied zur normalen Solarzelle liegt hier kein elektrisches Feld vor, welches die Elektronen zur Anode „zwingt“. Es muss nun auf andere Weise dafür gesorgt werden, dass die Elektronen auf ihrem Weg nicht wieder zu den ionisierten Farbstoff-Molekülen „umkehren“, da es dann keinen Stromfluss geben würde. Aus diesem Grunde fügt man einen Elektrolyten bei, etwa Iod-Kaliumiodid-Lösung. Die negativ geladenen Iodid-Ionen (AI) geben je ein überschüssiges Elektron (E_2) an die positiv geladenen Farbmoleküle 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 zu den positiv geladenen Kalium-Ionen (KI), so dass diese elektrisch neutral werden. Die Vorgänge im Elektrolyten werden durch Graphit positiv begünstigt, da er als Katalysator für diese Reaktionen wirkt.



Bau einer Grätzelzelle im Schülerexperiment:

Experiment 1: Beschichtung der Glasplatten

Chemikalien: Antimon(III)-oxid, Zinntetrachlorid-Pentahydrat, Methanol, konz. Salzsäure (als Lösung vorbereitet)



Geräte: 6 Glasplatten (Objektträger) pro Schülergruppe, Zerstäuber, Transformator, 2 Kabel mit Krokodilklemmen, Amperemeter, Muffelofen, Metallplatten, Kupfer-Elektroden

Durchführung:

1. Lege 6 Objektträger auf Metallplatten und lasse sie von einem Betreuer im Muffelofen bei 550- 600 °C für 10-15 Min. erwärmen.
2. Nun werden die heißen Glasplatten mit der vorbereiteten Lösung¹ aus Antimon(III)-oxid, Zinntetrachlorid, Methanol und konz. Salzsäure besprüht. Führe diesen Schritt unter Aufsicht eines Betreuers durch.
3. Teste nach dem Abkühlen der Platten deren Leitfähigkeit in folgender Weise: Baue einen einfachen Stromkreis aus einer Spannungsquelle, einem Amperemeter und zwei Kupfer-Elektroden. Es liegt eine elektrische Leitfähigkeit der Glasplatten vor, wenn eine deutliche Stromstärke I gemessen werden kann.

Experiment 2: Aufbringen der Titandioxid-Schicht (sintern)

Chemikalien: Titandioxid, verd. Salzsäure (c= 0,001 mol/l)



Geräte: Mörser, Glasstab, Messzylinder, Tesafilm, drei Glasplatten aus Versuch 1, eine unbehandelte Glasplatte

Durchführung:

1. Verrühre 6 g Titandioxid unter Zugabe von wenig verdünnter Salzsäure im Mörser zu einem Brei.
2. Fixiere die beschichtete Glasplatte mit Tesafilm auf einem Blatt Papier.
3. Gib auf die Mitte der beschichteten Fläche mit dem Glasstab etwas Titandioxid-Brei und verteile mit dem unbehandelten Glas den Brei dünn und gleichmäßig über die gesamte beschichtete Glasplatte.
4. Die drei Glasplatten werden anschließend für 8 min im Muffelofen bei 450 - 500°C gesintert.

¹ Die Lösung ist wie folgt herzustellen: Man löst unter Rühren 1 g Antimon(III)-oxid in einem Gemisch aus 3 ml konzentrierter Salzsäure und 17 ml Methanol (Lösung 1). Ferner erwärmt man eine Mischung aus 25 g Zinntetrachlorid und 6 ml Methanol unter Rühren auf 50°C (bis sich das Salz vollständig gelöst hat, Lösung 2). Schließlich gibt man 3 ml von Lsg. 1 zu Lsg. 2.

Experiment 3: Aufbringen des Farbstoffes (sensibilisieren)

Chemikalien: a. Farbstoff aus Früchten: Kirschen bzw. andere rote Früchte
 b. Farbstoff aus grünen Blättern: z. B. Spinatblätter, Sand, Aceton;
 c. Farbstoff aus Fruchtee: Tee, dest. Wasser



Geräte: Glasplatten aus Versuch 2
 a. für den Farbstoff aus Kirschen: Mörser mit Pistill, Becherglas (BG) 150 ml
 b. für den Farbstoff aus Blättern: Mörser mit Pistill, Trichter mit Filterpapier, BG 150
 c. für den Farbstoff aus Tee: BG 200, Bunsenbrenner, Dreifuß mit Drahtnetz

Durchführung:

- a. Farbstoff aus Früchten:
Zerkleinere einige Kirschen im Mörser und gib den Saft in das Becherglas.
- b. Farbstoff aus Blättern:
Verreibe die Spinatblätter in einem Mörser mit Sand und gib anschließend etwa 10 ml Aceton hinzu, damit das Blattgrün aus den Blättern heraus gelöst wird. Dekantiere die Lösung vom Sand und den Blättern ab und sammle sie in dem BG.
- c. Farbstoff aus Tee:
Erhitze in einem BG dest. Wasser mittels Brenner zum Sieden und gib anschließend den Tee hinzu

Die jeweilige Farbstofflösung wird mit einer Pasteurpipette vorsichtig auf die gesinterten Titandioxid-Elektroden gegeben, danach trocknet man die Glasplatten vorsichtig mit einem Fön.

Experiment 4: Aufbringen des Elektrolyten

Chemikalien: Iod-Kaliumiodid-Lösung



Geräte: Glasplatten aus Versuch 3, Pipette

Durchführung: Gib mit einer Pipette einige Tropfen der Iod-Kaliumiodid-Lösung auf die Titandioxid-Schicht (beschichtete Glasplatten aus Versuch 3) und trockne anschließend vorsichtig mit einem Fön.

Experiment 5: Herstellung der Graphit-Elektrode

Chemikalien: Graphitpulver

Geräte: die drei übrigen Glasplatten aus Versuch 1

Durchführung:

Bringe durch Bestreuen vorsichtig eine dünne Graphit-Schicht auf drei der in Experiment 1 beschichteten Platten.

Experiment 6: Test der Grätzel-Zelle

Geräte: Glasplatten aus Versuch 4 und 5, 2 Klemmen, 2 Kabel, Spannungsmessgerät, Kupfer-Elektroden, Stativmaterial, Kartonstück, Lichtquelle

Durchführung:

1. Lege die beiden unterschiedlichen Glasplatten etwa zur Hälfte übereinander und befestige diese mit geeignetem Stativmaterial.
2. Bestrahle die so erhaltene Photozelle mit einer Lampe.
3. Messe nun die durch die Grätzel-Zelle erzeugte Spannung U . Baue dazu einen Stromkreis aus einem Voltmeter, der Grätzel-Zelle (als Gleichspannungsquelle) und den beiden Kupfer-Elektroden. Berühre mit den Elektroden die beschichteten Seiten der Glasplatten; berücksichtige dabei die Polung.
4. Notiere die gemessene Spannung in deinem Skript. Die Ergebnisse der Gruppen werden später zusammengetragen und besprochen.
5. Versuche auch einmal, die Lichtzufuhr zu variieren. Zum Abdunkeln der Photozelle liegt ein Kartonstück bereit. Wie ändert sich die vorliegende Spannung?

Sicheres Arbeiten im Labor

1. Im Labor darf weder gegessen noch getrunken werden!
2. Jacken und Taschen dürfen nicht ins Labor mitgenommen werden!
3. Trage beim Experimentieren immer Kittel und Schutzbrille!
4. Lies vor jedem Experiment genau die Versuchsanleitung, frage bei Problemen deinen Betreuer. Lasse den Versuchsaufbau stets von deinem Betreuer kontrollieren!
5. Gehe sorgfältig und sachgerecht mit allen Dir überlassenen Geräten um!
6. Halte die Laborräume sauber!
7. Wasche Dir nach dem Verlassen des Labors unbedingt die Hände!
8. Verfahre ebenso, wenn Du beim Experimentieren mit Chemikalien in Kontakt gekommen bist!
9. Mache bei den verwendeten Chemikalien auf keinen Fall eine Geschmacksprobe!
10. Prüfe den Geruch einer Chemikalie stets durch Zufächeln!
11. Halte ungenutzte Abzüge geschlossen!
12. Für Notfälle sind alle Laborräume mit Augenduschen, Notduschen, Verbandskästen und Telefonen versehen.



Übersicht der verwendeten Gefahrstoffe

Antimon(III)oxid:



- R 40 Irreversibler Schaden möglich
 S 22 Staub nicht einatmen
 S 36/37 Bei der Arbeit geeignete Schutzhandschuhe und Schutzkleidung tragen

Methanol:



- R 11 Leichtentzündlich
 R 23/24/25 Giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Berührung mit der Haut



- R 39 Ernste Gefahr irreversiblen Schadens
 S 7 Behälter dicht geschlossen halten
 S 16 Von Zündquellen fernhalten – Nicht rauchen

- S 36/37 Bei der Arbeit geeignete Schutzhandschuhe und Schutzkleidung tragen
 S 45 Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt zuziehen (wenn möglich, dieses Etikett vorzeigen)

konz. Salzsäure:



- R 34 Verursacht Verätzungen
 R 37 Reizt die Atmungsorgane

- S 26 Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren
 S 36/37/39 Bei der Arbeit geeignete Schutzkleidung, Schutzhandschuhe und Schutzbrille / Gesichtsschutz tragen
 S 45 Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt zuziehen (wenn möglich, dieses Etikett vorzeigen)

Iod:



- R 20/21 Gesundheitsschädlich beim Einatmen und bei Berührung mit der Haut

- R 50 Sehr giftig für Wasserorganismen
 S 23.2 Dampf nicht einatmen
 S 25 Berührung mit den Augen vermeiden
 S 61 Freisetzung in die Umwelt vermeiden. Besondere Anweisungen einholen / Sicherheitsdatenblatt zu Rate ziehen

Aceton:



- R 11 Leichtentzündlich
 R 36 Reizt die Augen
 S 9 Behälter an einem gut gelüfteten Ort aufbewahren
 S 16 Von Zündquellen fernhalten – Nicht rauchen
 S 26 Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren