

## B6 Erneuerbare Energien – Sonne, Wasser, Wind, Wasserstoff, Brennstoffzelle

### 1 Elektrische Energie aus der Strahlungsenergie des Lichts

Dieses Experiment kann von vier Schülergruppen gleichzeitig durchgeführt werden.

#### 1.1 Geräte und Materialien

- 1 Digitalmultimeter
- 1 Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz
- 1 Solarmotor groß, Eisenanker, 0,4 V/25 mA
- 1 Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA\*
- 2 Solarzellen, 0,5 V/150 mA
- 5 Verbindungskabel Kroko/Kroko
- evtl. Leuchte mit Halogenglühlampe

\*Da dieser Motor nur einmal vorhanden ist, muss er nach Benutzung an die anderen Gruppen weitergegeben werden.

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Geräte und Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 1.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

#### 1.3 Versuchsdurchführung

- Schließe eine Solarzelle über die Messkabel an das Multimeter an (Pluspol und Minuspol beachten!) und richte sie so zur Lichtquelle (Sonnenlicht oder Lichtstrahler) aus, dass du die höchste messbare Spannung (in mV) und den höchsten messbaren Strom (in mA) ermitteln kannst.
- Danach versuchst du, die beiden zur Verfügung stehenden Solarzellen so zu verbinden, dass du die höchste Spannung oder die höchste Stromstärke erreichst. Beachte dabei, dass bei einer Reihenschaltung der Pluspol der einen Solarzelle mit dem Minuspol der anderen Solarzelle und bei einer Parallelschaltung Pluspol mit Pluspol und Minuspol mit Minuspol verbunden ist. Orientiere dich an den in den Abbildungen gezeigten Schaltplänen und Tipps zur Verkabelung.
- Damit beide Solarzellen dasselbe Licht bekommen, sollten sie nebeneinander, wie abgebildet (siehe Abb. 4) auf einen Pappstreifen montiert werden.

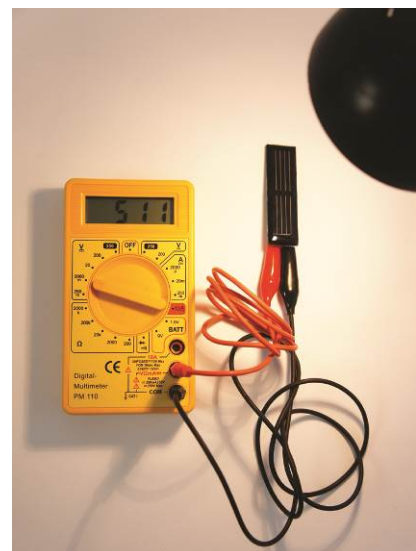


Abb. 1: Messung mit einer Solarzelle.

- Schließe nun nach Lichtverhältnissen erst eine Solarzelle an den großen Solarmotor. Wenn er sich noch nicht zu drehen beginnt, dann schließe zwei hintereinander geschaltete Solarzellen an.
- Messe, wenn der Motor sich zu drehen beginnt, die hierzu notwendigen Werte für Spannung und Stromstärke.
- Falls sehr wenig Licht zur Verfügung steht, müsst ihr den Versuch mit dem kleinen, empfindlicheren Solarmotor wiederholen.

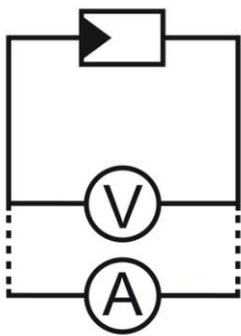


Abb. 2: Schaltplan zur Messung an einer Solarzelle mit einem Multimeter durch Umschalten des Messbereichs von Spannung (V) nach Stromstärke (A).

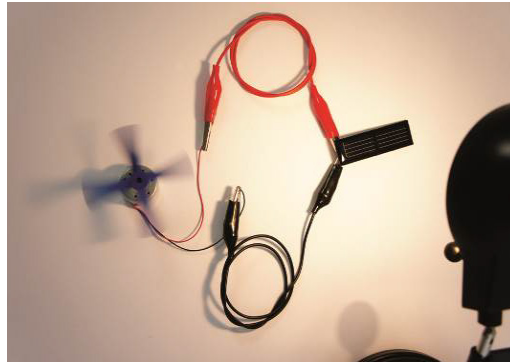


Abb. 3: Betrieb des großen Solarmotors an einer Solarzelle.



Abb. 4: Montage der Solarzellen auf einen Pappstreifen mittels Gummiband.

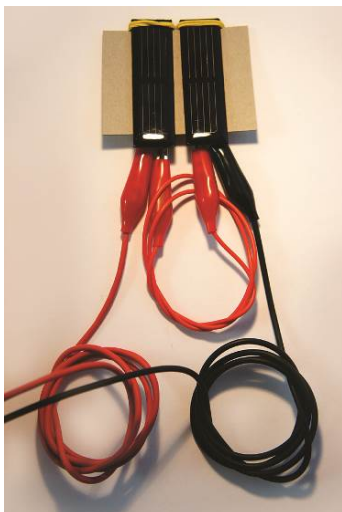


Abb. 5: Verkabelung an der Solarzelle bei serieller Schaltung.

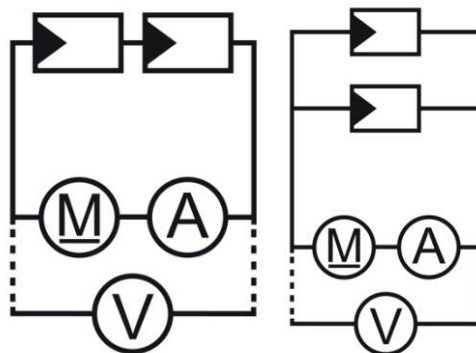


Abb. 6: Schaltpläne Reihenschaltung (links) und Parallelschaltung (rechts).

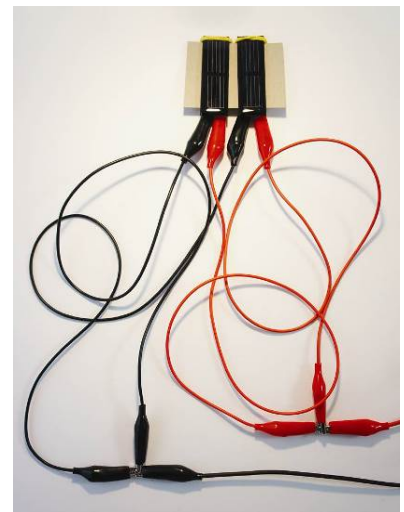


Abb. 7: Verkabelung bei paralleler Schaltung. Zweite Solarzelle nicht direkt an der ersten anschließen (Gefahr von Wackelkontakt und Kurzschluss)! Stattdessen über Kreuzungspunkt der Kabel verbinden.

## 1.4 Beobachtung

Ermittle jeweils die höchsten Messwerte von Spannung und Strom, rechne sie in Volt (V) und Ampere (A) um und notiere sie in einer Tabelle.

## 1.5 Auswertung

Die Leistung  $P$  berechnet man aus der gemessenen Spannung  $U$  und der Stromstärke  $I$ :

$$\text{Leistung } P = \text{Spannung } U \cdot \text{Stromstärke } I$$

Beispiel für 0,3 V und 0,05 A  $\Rightarrow P = 0,3 \text{ V} \cdot 0,05 \text{ A} = 0,015 \text{ W}$

Berechne aus den gemessenen Werten die Leistung:

Anzahl Zellen	Schaltung	Spannung [V]	Stromstärke [A]	Leistung [W]
1	-			
2	Reihenschaltung			
2	Parallelschaltung			

## 1.6 Fragen

- Nenne die Schaltung, die sich am besten eignet, um die höchste Spannung bzw. die höchste Stromstärke zu erhalten.
- Vergleiche die berechnete Leistung bei gleicher Zellenzahl, aber verschiedener Schaltung (Reihenschaltung oder Parallelschaltung) und erkläre.

## 2 Elektrische Energie aus Wasserkraft

Dieses Experiment kann von vier Schülergruppen gleichzeitig durchgeführt werden.

### 2.1 Geräte und Materialien

- 1 Digitalmultimeter
- Eimer oder große Schale zum Auffangen des Wassers
- Klebeband
- Leitungswasser
- 1 Lineal
- 1 Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz
- 1 Pflanzenclip, u. a. als Motorhalterung
- 1 Propeller (für Solarmotor groß)
- 1 Solarmotor groß, Eisenanker, 0,4 V/25 mA
- 1 Spritze (konische Spitze), 100 ml
- 1 Uhr
- evtl. Teelicht

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 2.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

### 2.3 Versuchsdurchführung

- Falls noch keiner vor dir den Versuch gemacht hat, musst du den Propeller zu einem Wasserrad umformen. Halte den Propeller für ca. zehn Sekunden über die Flamme eines Teelichts. Der Ansatz des zu verformenden Flügels sollte ca. 3 cm über der Flamme sein. Benutze den Pflanzenclip, um das heiße Flügelrad von 45 Grad auf 90 Grad zu biegen. Wiederhole diesen Vorgang, bis alle vier Flügel auf 90 Grad stehen.



Abb. 8: Verformung des Propellers zu einem Wasserrad.

- Klebe zunächst mit dem Klebeband die Öffnungen des Solarmotors so zu, dass er spritzwasserdicht wird.
- Stecke das Wasserrad auf den Solarmotor, der jetzt als Generator arbeiten soll, und verbinde diesen mit dem Multimeter.

- Ziehe aus der 100 ml Spritze den Kolben heraus, fülle in die Spritze 100 ml Wasser und halte die Öffnung mit einem Finger zu
- Deine Partnerin oder dein Partner hält den Generator mit Wasserrad am besten mittels Pflanzenclip über ein Auffanggefäß und du lässt aus ca. 30 cm Höhe das Wasser aus der Spritze auf das Wasserrad fließen. (Nicht vergessen: Die Entfernung Wasserradschaufel zu Austrittsöffnung des Spritzenzylinders zu Beginn des Versuchs exakt messen und während des ganzen Versuchs auch konstant halten!)
- Miss die Laufzeit des Motors mit der Uhr.

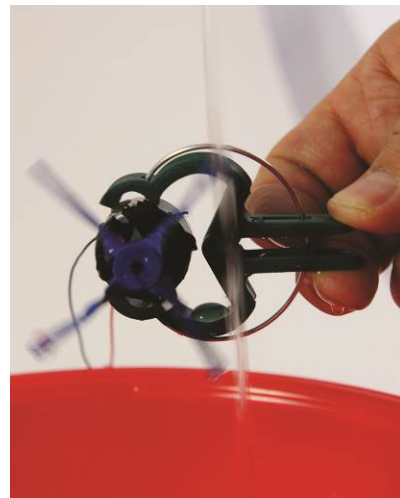


Abb. 9: Das Wasserrad läuft im Wasserstrahl.

- Wiederholt den Versuch mit verschiedenen Höhen, bis ihr die maximalen Werte für die Spannung (in mV), die Stromstärke (in mA) und die Laufzeit des Motors (in s) ermittelt habt.
- Wenn zwei Stative zur Verfügung stehen, könnt ihr den Motor und die Spritze einspannen und den Wasserstrahl auf das Wasserrad justieren.

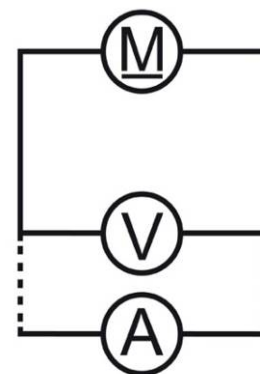


Abb. 10: Schaltplan zur Messung von Strom bzw. Spannung.

## 2.4 Beobachtung

- Notiert die ermittelten maximalen Werte für die Spannung (in mV), die Stromstärke (in mA) und die Laufzeit des Motors (in s).
- Rechnet die erhaltenen Werte in Volt (V) und Ampere (A) um und tragt die Werte in eine Tabelle nach folgendem Muster ein:

Höhe [cm]	Spannung [V]	Stromstärke [A]	Zeit [s]	Leistung [W]	Energie [Ws]

## 2.5 Auswertung

Die umgewandelte elektrische Energie berechnet sich aus der Leistung  $P$  und der Zeit  $t$ :

$$\text{Energie } E = \text{Leistung } P \cdot \text{Zeit } t$$

Beispiel für 0,03 W und 5,5 s  $\Rightarrow E = 0,03 \text{ W} \cdot 5,5 \text{ s} = 0,165 \text{ Ws} = 0,165 \text{ J}$

- a) Erkläre, welchen Einfluss die Fallhöhe des Wassers auf die vom Wasser abgegebene Energie und damit die Leistung des Wasserrads hat.
- b) Berechne die durch das Wasserrad erzeugte Leistung und Energie aus den ermittelten Werten und trage sie in die Tabelle ein!
- c) Begründe, welche Versuchsanordnungen du wählen würdest, um möglichst viel elektrische Energie mit dem Wasserrad zu erzeugen.

## 2.6 Fragen

Kraftwerke erzeugen nachts überschüssigen elektrischen Strom, den man für den Verbrauch tagsüber speichern möchte. Entwickle eine technische Anlage unter Einbeziehung von Wasserturbinen, um ein funktionsfähiges Speichersystem zu bauen.

### 3 Elektrische Energie aus Windenergie

Dieses Experiment kann von zwei Schülergruppen gleichzeitig durchgeführt werden.

#### 3.1 Geräte und Materialien

- 1 Digitalmultimeter
- 1 Doppel-Propeller für Solarmotor klein
- 1 LED rot (klares Gehäuse), 1,7 V
- 1 Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz
- 1 Pflanzclip als Motorhalterung
- 1 Propeller (für Solarmotor groß)
- 1 Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA\*
- 1 Solarmotor groß, Eisenanker, 0,4 V/25 mA
- 5 Verbindungskabel Kroko/Kroko

\*Da dieser Motor nur einmal vorhanden ist, muss er nach Benutzung an die anderen Gruppen weitergegeben werden.

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

#### 3.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

#### 3.3 Versuchsdurchführung

- Verbinde den großen Solarmotor (25 mA) mit dem kleinen, hochempfindlichen Solarmotor (2 mA) und versuche, durch Anpusten des Doppelpropellers des kleinen Motors den großen Motor zum Laufen zu bringen.
- Schließe nun eine LED an den kleinen, hochempfindlichen Solarmotor (2 mA) an (Pole beachten: Das lange Bein der LED ist der Pluspol!) und puste kräftig, bis die LED kurz aufleuchtet. Ermittle dabei die Spannung mit dem Multimeter, indem du das Messgerät mit den Krokoklemmen zusätzlich an die Beine der LED anschließt.

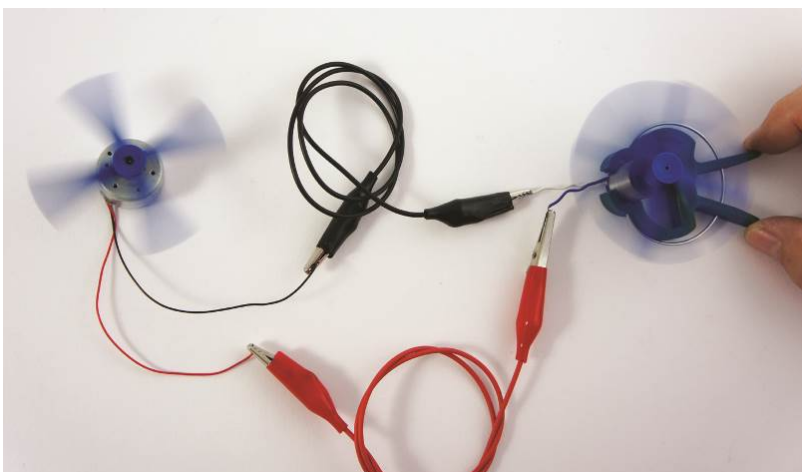


Abb. 11: Versuchsanordnung zum Betrieb des großen Motors mit dem kleinen als Windturbine. Der kleine Motor wird dabei am besten mit dem Pflanzclip gehalten.

- Schließe den kleinen, hochempfindlichen Solarmotor (2 mA) mit zwei übereinander aufgesteckten Propellern („Doppelpropeller“) über die Messleitungen an das Multimeter an (Achtung: Pluspol und Minuspol beachten!) und bestimme die höchste Spannung (in mV) und die höchste Stromstärke (in mA), die du durch das Anpusten des Doppelpropellers erreichen kannst.

Wiederhole den Versuch, in dem nun deine Partner pusten. Trage in die Tabelle auch die Ergebnisse deiner Partner ein.

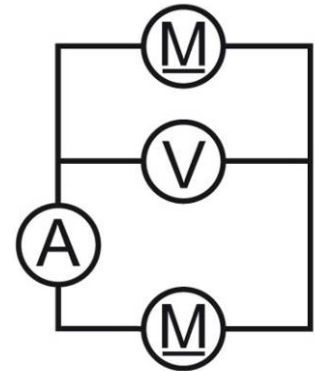


Abb. 12: Schaltplan zur Messung von Strom und Spannung.

### 3.4 Beobachtung

- Notiere, welche Spannung (in mV) und welche Stromstärke (in mA) du maximal erreicht hast.
- Rechne die Werte in Volt (V) und Ampere (A) um und trage sie in eine Tabelle nach folgendem Muster ein:

Messung	Spannung [V]	Stromstärke [A]	Leistung [W]
1			
2			
3			

- Überlege, wie hoch die Spannung (in mV) etwa sein muss, damit die LED sichtbar leuchtet.

### 3.5 Auswertung

- Berechne die erreichten Leistungen der Windturbine.
- Erläutere, welchen Einfluss die Windstärke, also die Stärke deines Pustens, auf die Leistung einer Windturbine hat.

### 3.6 Fragen

Erkläre, welche einfachen Veränderungen du an der Windturbine vornehmen müsstest, um ihre Leistung zu erhöhen.



## 4 Umwandlung von elektrischer Energie in chemische Energie und umgekehrt

Dieses Experiment kann von zwei Schülergruppen gleichzeitig durchgeführt werden.

### 4.1 Geräte und Materialien

- 1 Akku, 9 V
- 2 Einweghähne (passend zu Schlauch 7 mm/4 mm und Luer Lock)
- 1 Elektrolysezelle
- 1 Feuerzeug bzw. Streichhölzer
- Gesättigte Soda-Lösung\*\*
- 2 Reagenzgläser aus Kunststoff (PP), mini
- 1 Schutzbrille pro Schüler
- 1 Stück Silikonschlauch 7 mm/4 mm, ca. 3,5 cm lang
- Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA\*
- 3 Spritzen Luer Lock, 10 ml
- 4 Verbindungskabel Kroko/Kroko

\*Da dieser Motor nur einmal vorhanden ist, muss er nach Benutzung an die anderen Gruppen weitergegeben werden.

\*\*Falls noch keine Sodalösung vorhanden ist, müsst ihr sie bereiten. Eure Lehrkraft wird euch sagen, wie.

**Achtung:** Nach Beendigung des Experiments sind die Materialien gemäß den Anweisungen der Lehrkraft zurückzugeben bzw. fachgerecht zu entsorgen.

### 4.2 Sicherheitshinweise

Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht.

- Trage während des ganzen Versuchs eine Schutzbrille! Gelangen dennoch Spritzer der Sodalösung ins Auge oder auf die Haut, wasche sie sofort mit viel klarem Wasser ab!
- Sei vorsichtig beim Arbeiten mit Feuer, es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr!
- Das Gasgemisch darf nur in den Mini-Reagenzgläsern aus Kunststoff (PP) vorsichtig entzündet werden.
- Schließe den Akku auf keinen Fall kurz! Es besteht Explosions- und Brandgefahr!

### 4.3 Versuchsdurchführung

Falls noch keine andere Gruppe vor euch diesen Versuch gemacht hat, müsst ihr die Elektrolysezelle aus den mitgelieferten Teilen (siehe Abb. 13) erst einmal aufbauen. Entfernt dazu die Isolierung (etwa 2 cm) an den Enden der beiliegenden Kupferkabel und biegt diese nach der beigefügten Abbildung (siehe Abb. 14). Verbindet nun jeweils ein gebogenes Kupferkabel mithilfe eines Schlauchstücks mit der Graphitelektrode (siehe Abb. 15) und befestigt beide Elektroden am Becherrand. Nun stehen die Elektroden im Becher und die Spritzenzylinder können darüber geschoben werden (siehe Abb. 16).



Abb. 13: Teile für Elektrolysezellen-Set.

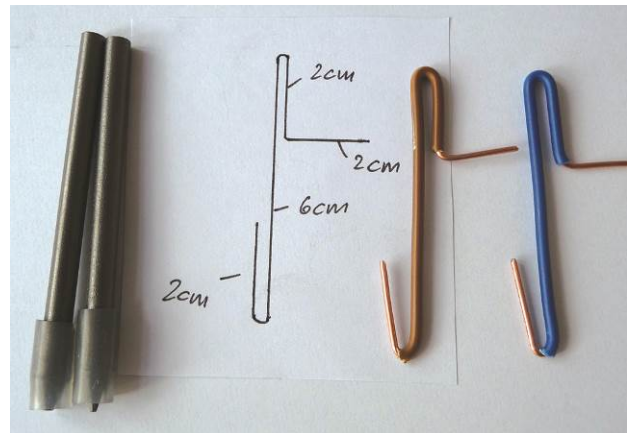


Abb. 14: Zurechtbiegen der Kupferkabel.

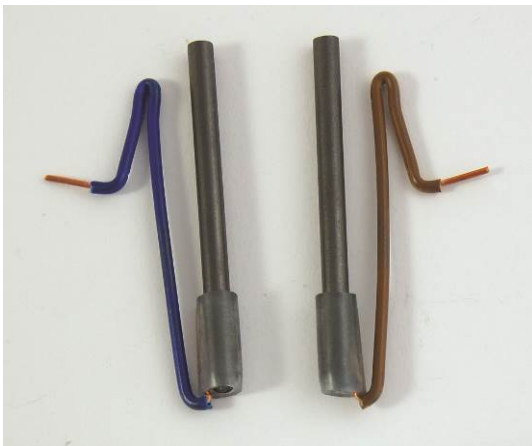


Abb. 15: Die Enden der Kupferkabel werden zwischen Schlauch und Elektrode geschoben.



Abb. 16: Endmontage der Zelle.

- Entferne aus zwei 10-ml-Spritzen die Spritzenkolben und schraube einen Einweghahn auf jede Spritze.
- Stecke nun die Spritzenzylinder bei geöffnetem Hahn auf die Graphitelektroden.
- Fülle etwa 100 ml gesättigte Soda-Lösung in die Elektrolysekammer.
- Saug mit einer 10-ml-Spritze mit Schlauchstück die restliche Luft aus den beiden Spritzen und verschließe die Hähne (siehe Abb. 17).
- Schließe nun den 9-Volt-Akku an die Elektroden (beachte Minuspol und Pluspol) und beobachte die Gasbildung (siehe Abb. 18).
- Wenn die Graphit-Elektroden mit Gas umgeben sind, schließe den kleinen Solarmotor (2 mA) anstelle des 9-Volt-Akkus an die Elektroden an (siehe Abb. 19).



Abb. 17: Absaugen der restlichen Luft, die Zylinder füllen sich mit Sodalösung.



Abb. 18: Die Erzeugung von Gas nach Anschluss des Akkus.



Abb. 19: Die mit Elektrolyse-Gas aufgeladene Zelle kann auch Strom abgeben.

- Entnahme am Minuspol 6 ml Gas mit einer Spritze und fülle damit ein PP-Reagenzglas, das du mit der Öffnung nach unten hältst. Entzünde das Gas mit einer Flamme.
- Wiederhole nun den Versuch mit einem Gemisch aus 4 ml Gas vom Minuspol und 2 ml Gas vom Pluspol.
- Bei ausreichendem Sonnenlicht oder mithilfe einer starken Lichtquelle kannst du auch die im Experimentierkasten vorhandenen Solarzellen als Energiequelle nutzen. Erkundige dich bei den anderen Gruppen, wie die Solarzellen geschaltet werden müssen, um eine möglichst hohe Spannung zu erreichen.

#### 4.4 Beobachtung

- Bestimme in etwa das Verhältnis der an Pluspol und Minuspol entstandenen Gasmengen.
- Halte ggf. fest, wie viele Solarzellen notwendig sind, um die Gasentwicklung in der Elektrolysezelle zu starten.
- Notiere, wie lange sich der angeschlossene Solarmotor gedreht hat.
- Fasse deine Wahrnehmungen beim Zünden des Gases bzw. des Gasgemischs schriftlich zusammen.

#### 4.5 Auswertung

- a) Nenne die Gase, die am Minuspol/Pluspol entstanden sind.
- b) Halte fest, in welchem Volumenverhältnis die Gase gebildet worden sind. Begründe dieses Volumenverhältnis aus der Zusammensetzung von Wasser.
- c) Gib ggf. an, bei welcher Spannung in etwa die Gasbildung in der Elektrolysezelle beginnt, wenn du von einer Spannung von 0,5 Volt pro Solarzelle ausgehen kannst.
- d) Nenne die Energieform, in die die elektrische Energie des 9-Volt-Akkus bzw. der Solarzellen in der Elektrolysezelle hauptsächlich umgewandelt wurde.
- e) Erkläre, warum beim Betrieb der Elektrolysezelle als Stromlieferant aus dieser eine Brennstoffzelle wird.
- f) In der Brennstoffzelle wird aus Wasserstoff und Sauerstoff elektrischer Strom erzeugt. Beschreibe die dabei ablaufenden chemischen Vorgänge.

## 4.6 Fragen

- a) Wenn du Internet-Anschluss hast, dann recherchiere, warum bei diesem Experiment nicht reines Wasser, sondern eine Sodalösung verwendet wird.
- b) Wie könnte aus deiner Sicht ein Energiekonzept aufgebaut sein, das auf der Wasserstofftechnologie beruht? Erstelle hierzu eine beschriftete Skizze!