

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

Die Abfolge von Telexperimenten zu Photovoltaik, Wasserkraft, Windkraft und Wasserstofftechnologie bietet einen hochaktuellen Einstieg in das Thema Regenerative Energien. Der zeitliche und inhaltliche Umfang ist allerdings relativ groß. Deshalb eignet sich der Einsatz der Experimente vor allem in Form eines Projekts bzw. Projekttags zum Thema Energiewende. Aufgrund des Umfangs ist es auch kaum möglich, die zugrundeliegenden naturwissenschaftlichen Themen von den Schülerinnen und Schülern im Experiment erarbeiten zu lassen. Gewisse Grundkenntnisse vorausgesetzt, können sie allerdings ihr bereits vorhandenes physikalisches und chemisches Grundwissen anhand der Experimente bestens verifizieren. Alternativ können natürlich die Telexperimente auch einzeln dazu verwendet werden, anhand einer lebensnahen technischen Anwendung den Einstieg in eines der naturwissenschaftlichen Basisthemen zu finden. Eine Möglichkeit ist, die Klasse in Gruppen aufzuteilen, die dann unterschiedliche Telexperimente ausführen.

1 Zentrale Fragestellung

Die Abnahme abbauwürdiger und bezahlbarer Ressourcen von Steinkohle, Erdöl und Erdgas (fossile Brennstoffe), die äußerst risikoreiche Nutzung der Kernenergie, der Klimawandel und das zunehmende Umweltbewusstsein haben die beschleunigte Einführung geeigneter erneuerbarer Energien nötig gemacht.

Erneuerbare oder regenerative Energien sind nachhaltig, da sie im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen (Kohle, Erdgas und Erdöl) durch die Nutzung z. B. der Sonnenenergie praktisch unbegrenzt vorhanden sind. Bekannte Beispiele für erneuerbare Energien sind die direkt genutzte Sonnenenergie (Solarthermie und Photovoltaik), Biomasse (z. B. Holz, Biogas, Bioethanol), Windenergie, Wasserkraft und Erdwärme (Geothermie). Außer bei Biomasse entstehen Kosten nur für die Anlagen, die Energieträger selbst sind kostenlos.

Die Schülerinnen und Schüler haben die Möglichkeit, sich in dieser Experimentier-Einheit mit der Problematik der bestehenden Energieversorgung auseinander zu setzen und die alternative Nutzung von erneuerbaren Energien als einen möglichen Lösungsweg zu erkennen.

Dabei sollen sie die Vielfältigkeit des Begriffs **Energie** erfassen, insbesondere die vier zentralen Grundideen: Energieumwandlung, Energietransport, Energieerhaltung und Energieentwertung.

Die verschiedenen Formen von erneuerbaren Energien sollen an ausgewählten Beispielen (Sonnenenergie, Wasserkraft, Windenergie) experimentell behandelt werden.

Am Beispiel der Umwandlung von elektrischer Energie in chemische Energie (Wasserstoff) sollen die Schülerinnen und Schüler ein Verfahren zur Speicherung und zum Transport von Energie kennen lernen. Wahrscheinlich wird es noch eine Weile dauern, bis man an den Tankstellen anstelle der bisherigen fossilen Treibstoffe Wasserstoff tanken kann. Aber als stationärer Speicher für Wind- und Solarstrom ist Wasserstoff bereits heute schon in praktischer Erprobung.

2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

2.1 Fachliche Grundlagen

Das Thema Energie wird im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht immer in seiner vollen Tragweite behandelt, obwohl biologische und physikalische Vorgänge und chemische Reaktionen immer mit Energieumwandlungen verbunden sind. Auch im Alltag macht man sich häufig über die Verfügbarkeit von Energieträgern (Elektrizität, Treibstoffe, Nahrungsmittel usw.) erst dann Gedanken, wenn es plötzlich keinen Nachschub mehr gibt.

Wünschenswert wäre, wenn die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass der Anteil der erneuerbaren Energien an der weltweiten Energieversorgung zunehmen muss, um die zurückgehenden Vorräte an fossilen Brennstoffen auszugleichen und den zunehmenden Energieverbrauch umweltverträglicher zu gestalten.

Im „Leitfaden Naturwissenschaften, Technik und Werte“ der Siemens Stiftung finden Sie zusätzlich Ideen, wie Sie zum Beispiel anhand einer Dilemmadiskussion zum Thema Windkraft bei den Schülerinnen und Schülern Werte wie *Umweltbewusstsein*, *Nachhaltigkeit* und *Verantwortungsübernahme* stärken können.

Die Gewinnung von erneuerbaren Energien durch Windkraftwerke, Wasserkraftwerke oder Solarkraftwerke liegt im Erfahrungsbereich der Schülerinnen und Schüler. Weniger bekannt ist dagegen, wie man diese erneuerbaren Energien in eine so vielfältig einsetzbare Energieform wie den Wasserstoff umwandeln kann, um ihn dann z. B. für den Antrieb von Gasturbinen oder Brennstoffzellen zu nutzen.

Kenntnisse über das Energiestufenmodell, das Prinzip der Elektrolyse und die Basisbegriffe der Elektrizitätslehre (Spannung, Stromstärke und Leistung) sind hilfreich, um die einzelnen Experimente erfolgreich durchführen und auswerten zu können.

2.2 Lehrplanrelevanz

In der Altersstufe bis 15 Jahre sollen die Schülerinnen und Schüler einen Überblick über die im Alltag und in der Technik genutzten fossilen und erneuerbaren Energieträger und die aus ihnen gewonnenen Energieformen (z. B. elektrische Energie, Wärmeenergie, Bewegungsenergie, chemische Energie) erhalten. Sie sollen verstehen, dass die primär genutzte Energieform je nach Bedarf in andere Energieformen umgewandelt werden kann, wobei ein bestimmter „Energieverlust“ (Energieentwertung) zu beachten ist. Energie geht bei einer solchen Umwandlung aber nicht verloren, sondern wird zu einem bestimmten Anteil in eine andere als die gewünschte Energieform umgewandelt (Beispiel: In einer Glühlampe wird nur etwa 5 % der elektrischen Energie in Lichtenergie und 95 % in Wärmeenergie umgewandelt).

In der Altersstufe ab 16 Jahre kann neben dem qualitativen auch der quantitative Aspekt der Energieumwandlung behandelt werden. So können die Leistung von Solarzellen und Brennstoffzellen berechnet oder der Wirkungsgrad von Generatoren bestimmt werden.

Obwohl der fachliche Schwerpunkt dieses Themenbereichs im Fach Physik liegt, werden mit der „Wasserstofftechnologie“ auch Lehrplaninhalte des Faches Chemie behandelt.

Themen und Begriffe: Arbeit, Biomasse (z. B. Holz, Biogas, Bioethanol), Definition des Begriffs Energie („Energie ist die Fähigkeit eines Systems, Arbeit zu verrichten“ oder „Energie ist gespeicherte Arbeit“), Energiestufenmodell, Energieumwandlung, „Energieverbrauch“, Energieversorgung, Erdwärme (tiefe Geothermie), Fallhöhe des Wassers, Gasturbinen, Gezeitenkraftwerke, Last, Leistung, Methan, Nachhaltigkeit, Nutzlast, Parallelschaltung, Photovoltaik, Reihenschaltung, Solarthermie, Solarzellen, Spannung, Spitzenlaststrom, Strom, Wasserkraft, Wasserrad, Wasserturbine, Windenergie, Windrad

2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler sollen ...

- mit der Silizium-Solarzelle experimentieren können.
- den Einfluss von Serien- und Parallelschaltung von Solarzellen auf die Spannung und die Stromstärke beschreiben.
- den Einfluss der Windstärke auf die Leistung einer Windturbine erklären.
- die Leistung von Wasserturbinen und Windturbinen berechnen.
- die Herstellung von Wasserstoff bei der Elektrolyse einer Soda-Lösung erläutern.
- die freigesetzte chemische Energie bei einer Knallgas-Reaktion erkennen.
- die Umwandlung der im Wasserstoff und Sauerstoff gespeicherten chemischen Energie in elektrische Energie (in der Brennstoffzelle) beschreiben.
- ein einfaches Konzept für eine Wasserstofftechnologie entwickeln können.
- mit den anderen Gruppen die erhaltenen Ergebnisse kommunizieren.

2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

Die Physik definiert: „Energie ist die Fähigkeit eines Systems, Arbeit zu verrichten“, oder „Energie ist gespeicherte Arbeit“. Eine anschauliche Beschreibung für die Schule: „Ein System besitzt Energie, wenn es etwas anheben, bewegen, erwärmen oder zum Leuchten bringen kann.“

Bei der Behandlung des Themas spielen die Energiearten, -umwandlung, -transport, -speicherung und -entwertung eine zentrale Rolle.

Menschen, Tiere und Pflanzen benötigen Energie zum Leben und in der Technik funktioniert nichts ohne Energie.

Die international gültige Einheit für die Energie ist das Joule (J). Dabei gilt für Umrechnungen: 1 Joule = 1 J = 1 Newtonmeter = 1 Nm = 1 Wattsekunde = 1 Ws = 0,239 Kilokalorien (kcal).

Ein Joule ist gleich der Energie, die benötigt wird, um ...

- die Masse von 100 g um (ungefähr) einen Meter anzuheben.

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot \Delta h = 0,1 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 1 \text{ m} = 0,981 \text{ J}$$

- für die Dauer von einer Sekunde die Leistung von einem Watt aufzubringen (z. B. ein Herz einmal schlagen zu lassen).

$$E = P \cdot t = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$$

- ein Gramm Wasser (bei 15 °C) um 0,239 °C zu erwärmen.

$$E = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1 \text{ g} \cdot 0,239 ^\circ\text{C} = 1 \text{ J}$$

Über ihren täglichen Energieumsatz oder den Energiegehalt von Lebensmitteln können die Schülerinnen und Schüler eine Vorstellung über den Energiebedarf in technischen Bereichen entwickeln. Der tägliche Energieverbrauch eines Jugendlichen von ca. 10.000 Kilojoule (kJ) entspricht etwa der Energie um ...

- ein 1.000-Watt-Gerät 2,8 Stunden laufen zu lassen.
- 30 Liter Wasser von 20 °C auf 100 °C zu erwärmen.

Hinweis: Auch, wenn die Begriffe Energiegewinnung und Energieverbrauch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ständig verwendete Begriffe sind, müssen die Schülerinnen und Schüler wissen, dass sie physikalisch und technisch falsch sind. Energie kann man weder gewinnen noch verbrauchen, sondern nur von einer Form in die andere umwandeln: In Telexperiment 1 erfolgt die Um-

wandlung von Strahlungsenergie in elektrische Energie und dann wieder in mechanische Energie (Motor). In Telexperiment 2 von mechanischer Energie in elektrische und dann wieder in mechanische Energie. In Telexperiment 3 von mechanischer Energie in elektrische und dann wieder in mechanische Energie. In Telexperiment 4 von elektrischer Energie in chemische und dann wieder in elektrische Energie.

2.4.1 Telexperiment 1: Elektrische Energie aus der Strahlungsenergie des Lichts

An den Solarzellen misst man Spannung und Strom. Die Leistung P berechnet man aus der gemessenen Spannung U und der Stromstärke I :

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

Mögliche Messwerte in diesem Experiment sind:

Anzahl Zellen	Schaltung	Spannung [V]	Stromstärke [A]	Leistung [W]
1	-	0,5	0,2	0,1
2	Reihenschaltung	1,0	0,2	0,2
2	Parallelschaltung	0,5	0,4	0,2

Hinweis: Die aus der Leerlaufspannung und dem Kurzschlussstrom errechnete Leistung ist zwar ein typischer Kennwert für die Solarzelle, entspricht aber nicht der tatsächlichen Leistung unter Last, also bei Anschluss eines Verbrauchers. Auch der verwendete Solarmotor ist zur Bestimmung der maximal möglichen Leistung der Solarzelle nicht geeignet. Zur dieser Bestimmung müsste nämlich der Lastwiderstand und Erfassung der Strom und Spannungswerte variiert werden. Darauf sollten die Schülerinnen und Schüler zur Vermeidung von Missverständnissen hingewiesen werden. (Zur Bestimmung der realen Leistung einer Solarzelle gibt es ein Telexperiment im Experiment A5 Eigenschaften von Solarzellen – Spannung, Strom und Leistung.)

Die Messungen zeigen deutlich, dass die höchste Spannung bei einer Reihenschaltung entsteht; das ist vergleichbar mit der Reihenschaltung von Batterien, um eine höhere Spannung bereit zu stellen. Die höchste Stromstärke wird mit einer Parallelschaltung erreicht.

Bei dieser Messung ist die jeweils erreichte Leistung mit z. B. zwei Zellen gleich, da sich die Änderung der Stromstärke und der Spannung praktisch kompensieren.

Der Solarmotor beginnt sich zu drehen, wenn eine Spannung von etwa 0,4 Volt und eine Stromstärke von etwa 0,014 Ampere erreicht werden. Diese Werte sind je nach Lichtstärke mit einer bis drei Solarzellen erreichbar (Reihenschaltung).

Zum Weiterforschen: Als Erweiterung des Experiments könnte man auch noch einen Brennspeigel zur Verstärkung des Lichts bzw. zur Bündelung des Lichts auf die Solarzelle einsetzen.

2.4.2 Telexperiment 2: Elektrische Energie aus Wasserkraft

Bei dieser Versuchsanordnung wird die potenzielle Energie des Wassers in elektrische Energie umgewandelt, wobei Messwerte von z. B. 0,4 Volt und 0,025 Ampere für eine Dauer von 8 Sekunden zu erwarten sind. Die umgewandelte elektrische Energie berechnet sich aus der Leistung P und der Zeit t :

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

Spannung [V]	Stromstärke [A]	Leistung [W]	Zeit [t]	Energie [Ws]
0,4	0,025	0,01	8	0,08

(Siehe auch Hinweis zur Problematik der Leistungsbestimmung unter 2.4.1!)

Die Schülerinnen und Schüler sollen erkennen, dass mit größerer Fallhöhe des Wassers die Spannung und die Stromstärke zunehmen und damit die elektrische Leistung größer wird. Denn mit zunehmender Fallhöhe des Wassers und steigender Wassermenge erhöht sich die potenzielle Energie des Wassers und damit auch die daraus erzeugte elektrische Energie. Die Schülerinnen und Schüler sollen das Prinzip eines Speicherkraftwerks beschreiben: Bei Energieüberschuss wird Wasser hochgepumpt, bei Energiebedarf wieder durch die Wasserturbinen abgelassen, wobei potenzielle in elektrische Energie umgewandelt wird. (Quellen zur Vertiefung des Themas Wasserkraftwerke findet man unter Punkt 3 „Ergänzende Informationen zum Experiment“.)

2.4.3 Telexperiment 3: Elektrische Energie aus Windenergie

Ein mit Propeller bestückter Elektromotor wird angeblasen und dient als Generator. Mögliche Ergebnisse in diesem Experiment sind:

Spannung [V]	Stromstärke [A]	Leistung [W]
3,1	0,030	0,093

Die Leuchtdiode, die hier als Verbraucher eingesetzt wird, leuchtet erkennbar ab einer Spannung von 1,8 Volt.

Die Schülerinnen und Schüler sollen erkennen, dass die Leistung einer Windturbine abhängig ist von der Form und Fläche des Propellers und der Windstärke.

2.4.4 Telexperiment 4: Umwandlung von elektrischer Energie in chemische Energie und umgekehrt

Die Schülerinnen und Schüler sollen durch die Experimente erkennen, dass Wasserstoff (am Minuspol) und Sauerstoff (am Pluspol) im Verhältnis 2:1 entstanden sind. Beim Entzünden verpufft reiner Wasserstoff, ein Gemisch von Wasserstoff und Sauerstoff (Volumenverhältnis 2:1) dagegen erzeugt ein knallendes Geräusch (Knallgas).

Wenn die Wasserstoff-Elektrolyse nicht nur mit dem 9-Volt-Akku, sondern auch mit den Solarzellen durchgeführt wird, wird klar: Ab ca. 2 bis 2,2 Volt (vier bis fünf Solarzellen in Reihe geschaltet) beginnt eine sichtbare Gasbildung in der Elektrolysezelle. Die elektrische Energie des Akkus bzw. der Solarzellen wurde in chemische Energie (Wasserstoff und Sauerstoff) umgewandelt.

Die mit Wasserstoff und Sauerstoff gesättigten Graphitelektroden der Elektrolysezelle können nun selbst zur Stromquelle werden: Schließt man einen Motor anstelle der Batterie bzw. Solarzelle an die Elektrolysezelle an, so funktioniert diese nun als Brennstoffzelle, da durch die Rückreaktion von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser elektrischer Strom produziert wird.

Bei Anwendung dieser Wasserstofftechnologie könnte elektrischer Strom aus erneuerbaren Energiequellen vor Ort durch Elektrolysezellen in Wasserstoff umgewandelt werden. Dieser könnte dann z. B. ins Erdgasnetz eingespeist und zum Verbraucher transportiert werden. Gerade erprobt man auch den Wasserstoff direkt in Inland-Windparks. Bei Windüberschuss wird der Strom zur Wasserstofferzeugung verwendet und vor Ort in Tanks gespeichert. Bei Windstille kann dann die chemische Energie des Wasserstoffs durch Brennstoffzellen in elektrischen Strom zurück verwandelt werden.

Derzeit erproben Forschende erste Pilotanlagen, um aus dem mit regenerativem Überschussstrom gewonnenen Wasserstoff durch Katalyse mit CO_2 Methan herzustellen – ein Verfahren, das schon seit 70 Jahren bekannt ist. Mit diesem regenerativen Methan könnte man das Erdgasnetz sowohl als Energiespeicher als auch als Energieverteiler nutzen! In fernerer Zukunft liefen die Gasturbinen zur Gewinnung des Spitzenlaststroms dann nicht mehr mit fossilem, sondern mit regenerativem Brennstoff.

Anhand der abgebildeten Versuchsanordnung wurde die Wasserstoff-Brennstoffzelle entdeckt. Im Unterschied dazu verwenden wir in unserem Versuch statt Pt-Elektroden Graphitelektroden und verzichten auf eine Zweiteilung der Brennstoffzelle durch eine Membran. Als Elektrolyt verwenden wir nicht reines Wasser, sondern eine gesättigte Natriumcarbonat-Lösung. Auf die Membran kann für einen nicht kontinuierlichen, kurzzeitigen Betrieb verzichtet werden. Die Natriumcarbonat-Lösung benötigen wir zur Absenkung der Zersetzungsspannung des Wassers. Im Detail wird das in der Lehreranleitung zum Experiment **B7 Kondensator, Wasserstoff, Redox-Flow – Wir speichern regenerative Energie** erklärt.

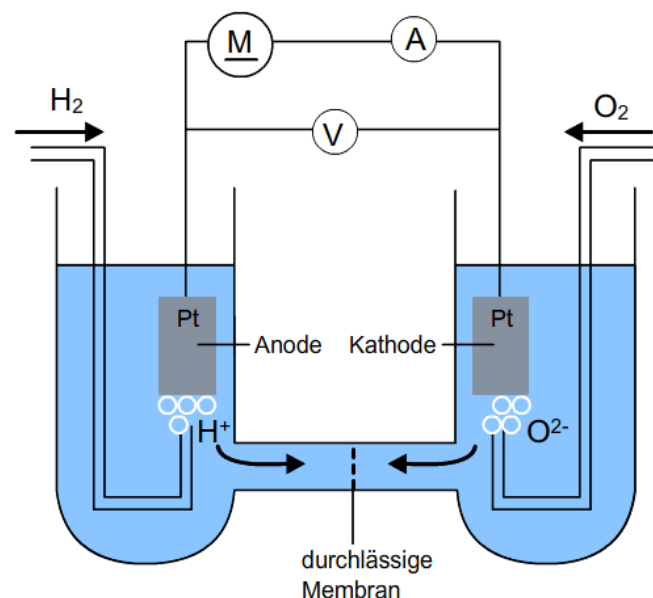


Abb. 1: Das Urprinzip der Wasserstoff-Brennstoffzelle.

2.5 Durchführungsvarianten

Die verschiedenen Teilerperimente können zum Beispiel von unterschiedlichen Gruppen durchgeführt werden. Bei ausreichender Zeit können die Gruppen die Geräte tauschen und die Teilerperimente der anderen Gruppen durchführen. Wichtig ist der Austausch bzw. der Vergleich der Ergebnisse der Gruppen untereinander. Wenn die Schülerinnen und Schüler mit den Berechnungen überfordert sind, sollte nur eine Beschreibung des Phänomens gefordert werden.

3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

Des Weiteren gibt es auf dem Medienportal passend zu einzelnen Aspekten der erneuerbaren Energien die folgenden Medienpakete:

- Regenerative Energien – die Zukunft ist sonnig!
- Wasser und Windkraft – traditionelle Energielieferanten neu entdeckt
- Solarthermie und Photovoltaik – Energien mit Zukunft

4 Hinweise zur Durchführung der Teilexperimente

4.1 Räumlichkeiten

Es sind keine besonderen Räumlichkeiten notwendig.

4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung und Durchführung, Auswertung, Fragen
Teilexperiment 1 und 2	Bis zu 120 min
Teilexperiment 3 und 4	Bis zu 120 min
Alle Teilexperimente en bloc	Bis zu 240 min

4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesen Experimenten achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Es besteht Verbrennungsgefahr und Brandgefahr beim Arbeiten mit dem Feuer. Vor der ersten Benutzung der Feuerzeuge sind diese von der Lehrkraft auf ordnungsgemäße Funktion zu überprüfen, insbesondere die Regulierung der Flammengröße.
- Es muss darauf geachtet werden, dass der Akku nicht kurzgeschlossen wird. Es besteht Explosions- und Brandgefahr!
- Für die Knallgasprobe müssen die Reagenzgläser aus Kunststoff (PP) verwendet werden, auf keinen Fall Reagenzgläser aus Glas!
- Beim Teilexperiment 4 müssen die Schülerinnen und Schüler Schutzbrillen tragen. Weisen Sie die Schülerinnen und Schüler auf Maßnahmen zur ersten Hilfe bei Spritzern von Natriumcarbonat bzw. Soda-Lösung ins Auge oder auf die Haut hin (sofortiges Aus- bzw. Abspülen mit Wasser reicht aus).

Nach internationaler Gefahrstoffkennzeichnung GHS: „Achtung“



H-Sätze: H319
P-Sätze: P260, P305+P351+P338

4.4 Benötigte Materialien

Die richtige Verkabelung und die richtige Benutzung von Multimeter, LEDs und Motor sollten je nach Kenntnistand der Schülerinnen und Schüler von der Lehrkraft vorab erklärt, ggf. demonstriert werden.

Sicherheitsrelevante Materialien und Geräte sind vor Aushändigung an die Schülerinnen und Schüler auf ihre ordnungsgemäße Funktion zu testen.

Für die **Teilexperimente 1 – 3**, werden für **eine** Schülergruppe folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Becher, 500 ml	1
Digitalmultimeter	1
Doppel-Propeller für Solarmotor klein	1
Eimer oder große Schüssel als Auffanggefäß	1
Gummibänder	2
Klebeband	1
LED rot (klares Gehäuse), 1,7 V	1
Leitungswasser	nach Bedarf
Lineal	1
Messkabel-Set Banane/Kroko, je rot und schwarz	1
Pappstreifen für die Montage der Solarzellen	1
Pflanzenclip (als Reagenzglasständer)	1
Propeller (für Solarmotor groß)	1
Helle Schreibtischlampe (Falls kein ausreichendes Sonnenlicht)	1
Sodalösung (Aus Sicherheitsgründen sollte die Lehrkraft am besten selbst vor Versuchsbeginn die gesättigte Sodalösung in einem geeigneten Vorratsgefäß ansetzen)	ca. 500 ml
Solarmotor groß, Eisenanker, 0,4 V/25 mA	1
Solarmotor klein, Glockenanker, 0,1 V/2 mA	1
Solarzelle, 0,5 V/150 mA	2
Spritze (konische Spitze), 100 ml	1
Uhr (eine Armbanduhr genügt)	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	5

- Wird das **Teilexperiment 2** zum ersten Mal durchgeführt, müssen auch ein Teelicht und ein Feuerzeug pro Schülergruppe mitgenommen werden, damit der Propeller auf die Wasserradfunktion umgebogen werden kann.
- Für das **Teilexperiment 4**: Pro Schülergruppe ein Feuerzeug (wenn möglich ein Stabfeuerzeug) bzw. Streichhölzer



Abb. 2: Geräte bzw. Materialien pro Schülergruppe für die Teilerperimente 1 – 3, beispielhafte Abbildung.

Für das **Teilexperiment 4** werden für **eine** Schülergruppe jeweils **zusätzlich** folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Akku, 9 V*	1
Einweghahn (passend zu Schlauch 7/4mm und Luer Lock)	2
Elektrolysezelle**	1
Reagenzglas aus Kunststoff (PP), mini	1
Schutzbrille	1
Silikonschlauch 7mm/4mm, 3,5 m (passend zu Luer Lock) Beim ersten Mal pro Gruppe 1 Stück zu 3,5 cm schneiden, das dann immer wieder verwendet werden kann.	1 für die ganze Klasse
Spritze Luer Lock, 10 ml (als Auffanggefäß)	3
Waschsoda (Natriumcarbonat), Packung***	1

*Die Akkus müssen aufgeladen sein und sollten nach Gebrauch sofort wieder geladen werden.

**Die Elektrolysezelle ist als Teil-Set (Becher, 2 Graphitelektroden, 2 Drahtstücke, 2 Schlauchabschnitte) erhältlich und muss von der ersten Schülergruppe noch montiert werden (Anleitung im Teil für Schülerinnen und Schüler).

*****Hinweis:** Ein Selbstansatz der für das Experiment erforderlichen Sodalösung durch die Schülerinnen und Schüler erscheint wenig sinnvoll. Zumal die Lösung immer wiederverwendet werden kann. Zur Vorbereitung von Teilexperiment 4 sollten deshalb von der Lehrkraft etwa 500 ml gesättigte Natriumcarbonat-Lösung hergestellt werden.

(Bei 20 °C lösen sich maximal 217 g Natriumcarbonat in einem Liter Wasser.) Die Lösung sollte in einem gut verschließbaren Gefäß bereitgestellt werden.



Abb. 3: Geräte bzw. Materialien pro Schülergruppe für Teilexperiment 4, beispielhafte Abbildung.

4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind.

Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.