

## Energie kann man speichern – Station 5b

### Umwandlung von elektrischer Energie in chemische Energie (Solar Hydrogen Education Kit)

#### 1 Zentrale Fragestellung

Die Nutzung von erneuerbaren Energien ist mit einer großen technischen Herausforderung bei der stationären Energieversorgung verbunden. Es stellt sich die Frage, inwiefern die bei starken Wind oder starker Sonneneinstrahlung erzeugte Energie gespeichert werden kann. Station 5 betrachtet diese Problemstellung am Beispiel Wasserstoff.

Es lassen sich folgende Telexperimente untergliedern:

- Experiment 1: Laden des Energiespeichers
- Experiment 2: Entladen des Energiespeichers

Anstelle eines selbst erbauten Energiespeichers wird das Solar Hydrogen Education Kit verwendet. Es kann als Ersatz- oder Zusatzexperiment für Station 5a in den Unterricht eingebracht werden.

#### 2 Allgemeine Hinweise

##### 2.1 Aufbau der Arbeitsblätter

Die Telexperimente können ohne weiteres Begleitmaterial das Erreichen der Lernziele nicht sicherstellen. Zu diesem Zwecke werden sie mit einem Arbeitsblatt ergänzt. Dieses beinhaltet eine Auflistung der zur Verfügung stehenden Geräte sowie eine Experimentieranleitung. Die Durchführung der zwei Telexperimente wird jeweils von Aufgaben unterstützt. Eine chronologische Bearbeitung dieser ist sinnvoll. Es handelt sich bei den gewählten Aufgaben um Vorschläge, welche je nach Belieben weiter ergänzt, ersetzt oder reduziert werden können.

##### 2.2 Materialien

Für eine leichtere Durchführung und Organisation der Experimente, sollten die benötigten Geräte und Materialien vorab durch die Lehrkraft jeweils für eine Station in einer so genannten „Stationenkiste“ (Papp- oder Plastikkiste) zusammengestellt werden. Die Schülerinnen und Schüler können aus dieser Stationenkiste alle benötigten Materialien ohne großes Suchen entnehmen. Damit mehrere Schüler gleichzeitig eine Station bearbeiten können, sollten die Materialien in mehrfacher Ausführung in der Kiste zu finden sein. Lehrkräfte, die in Besitz eines Experimento | 10+ Kastens sind, verwenden das Material aus dem Kasten. Es werden aber auch zusätzliche Materialien verwendet, die nicht im Experimento | 10+ Kasten enthalten sind.

##### 2.3 Sicherheitshinweise

Es muss darauf geachtet werden, dass die Anschlüsse der Solarzelle mit denen der Brennstoffzelle richtig gewählt werden. Weisen Sie ihre Schüler darauf hin, auf die jeweiligen Markierungen (rot/schwarz) zu achten. Es könnten andernfalls Systemschäden entstehen. Eine Gefahr für die Schülerinnen und Schüler kann jedoch ausgeschlossen werden.

Sie sollten sich im Vorfeld bei Experimento | 10+ über die Funktionsweise des Digitalmultimeters erkundigen. Zur Messung und Schaltung finden Sie dort einen Grundkurs, der Sie einweist. Die Materialien dürfen nur derart eingesetzt werden, wie es den Anweisungen der Lehrkraft bzw. der Versuchsanleitung entspricht. Es treten dann keine Gefahren auf.

### 2.4 Reinigungshinweise

Weisen Sie die Schülerinnen und Schüler darauf hin, dass alle im Experiment verwendeten Geräte gereinigt, getrocknet und sauber in die Stationenkiste zurückgelegt werden sollen.

## 3 Didaktische Hinweise

### 3.1 Lehrplanbezug

Das Thema „Energiespeicherung“ kann im Fach Chemie im Zusammenhang mit exothermen und endothermen Reaktionen, dem Auftreten unterschiedlicher Energieformen und der damit verbundenen Energieerhaltung behandelt werden. Die Teilerperimente beinhalten chemische Reaktionen, welche hinsichtlich ihrer Stoff- und Energieumwandlungen näher untersucht werden sollen. Das Laden des Energiespeichers und die damit einhergehende Elektrolyse von Wasser werden in Experiment 1 näher betrachtet. Das Aufstellen der Teilgleichungen der Redoxreaktion wird nicht behandelt. Es folgt Experiment 2, welches die Umwandlung der chemisch gespeicherten Energie in elektrische Energie thematisiert. Es wird vorausgesetzt, dass die Schülerinnen und Schüler Stoffe aufgrund ihrer Kenneigenschaften ordnen und chemische Formeln sowie Reaktionsgleichungen verstehen/interpretieren können.

Das **Solar Hydrogen Education Kit** visualisiert die chemischen Vorgänge beim (Ent-)Laden eines Energiespeichers sehr deutlich. Im Vergleich zu Station 5a wird vor allem die Gasbildung in den beiden inneren Behältern der Zylinder veranschaulicht. Das Experiment ist für leistungsstärkere Lerner gedacht, die mithilfe des Kits und ihres Vorwissens eigenständig auf die Spaltung von Wasser schließen und die chemischen Vorgänge sowie Energieumwandlungen erklären können. Mithilfe des Kits wird das selbstständige Experimentieren der Schülerinnen und Schüler gefahrlos gefördert. Die Schülerinnen und Schüler erhalten eine detaillierte Experimentieranleitung. Damit können sie aufgrund des komplexeren Versuchsaufbaus ihre praktischen chemischen Fähigkeiten ausbauen.

(Die Gase werden in dieser Unterrichtseinheit von den Schülerinnen und Schülern nicht näher untersucht. Das eigenständige Durchführen der Nachweisreaktion wurde bereits oder wird in späteren Unterrichtsstunden behandelt.)

Die Teilerperimente beinhalten die Anforderungen, die der Lehrplan für das Gymnasium in Bayern im Fach Chemie bereithält. ISB, 2004:

- <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26448>
- <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26447>

#### 3.1.1 CNTG 8.1 Stoffe und Reaktionen (SG: 9. Klasse)

Die Schülerinnen und Schüler kennen bereits die chemischen Hintergründe von exo- und endothermen Reaktionen. Anhand der Teilerperimente vertiefen sie die bisher erlernte Theorie. Sie interpretieren chemische Vorgänge und üben das Erstellen von Reaktionsgleichungen.

Reaktionsenergie als Änderung der inneren Energie; Auftreten unterschiedlicher Energieformen; exotherme und endotherme Reaktion; Erhaltung der Energie [→ Ph 8.1 Energie als Erhaltungsgröße, Ph 8.2 Wärmelehre]

### 3.1.2 CNTG 9.5 Elektronenübergänge

Nachdem die Redoxreaktionen eingeführt wurden, kann deren Bedeutung an alltäglichen Beispielen wie der „Brennstoffzelle“ näher betrachtet werden. Die Schülerinnen und Schüler sind mit dem Aufstellen von Redoxreaktionen vertraut, verstehen diese als Elektronenübergänge und können mithilfe der Teilerperimente die Redoxvorgänge selbstständig praktisch vertiefen.

- wechselseitige Umwandlung chemischer in elektrische Energie bei Redoxvorgängen: Batterie oder Akkumulator, Brennstoffzelle [→ Ph 9.4 Energietechnik]
- Elektrolyse

## 3.2 Kompetenzen

Das Solar Hydrogen Education Kit gibt den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, die Bedeutung des Themas „Energiespeicherung“ am Beispiel des Wasserstoffs selbstständig zu erarbeiten. Neben den fachlichen Inhalten, welche sich dem Basiskonzept zur energetischen Betrachtung von Stoffumwandlungen zuordnen lassen, stellt die Handlungsdimension eine wichtige Rolle dar. Einerseits fordert der Kompetenzbereich „Fachwissen“ von den Schülerinnen und Schülern, dass sie die Brennstoffzelle und seine Wirkungsweise als chemisches Phänomen verstehen und erklären können. Das Verständnis chemischer Begriffe wird mithilfe der Aufgabenstellungen im Arbeitsblatt gefördert. Andererseits soll eine Erkenntnisgewinnung durch das experimentelle Arbeiten sichergestellt werden. Die Schülerinnen und Schüler planen und organisieren ihre Arbeitsschritte. Ergebnisse werden eigenständig untersucht und mit dem bisherigen Wissen vertikal vernetzt. Die Bearbeitung der Aufgaben fördert die chemischen Kompetenzen in den Bereichen „Kommunikation“ und „Bewertung“. Daher wurden die Arbeitsaufträge so konzipiert, dass in den Gruppen ein fachbezogener Informationsaustausch stattfinden kann. Alltagsbezüge der chemischen Sachverhalte können dadurch diskutiert und analysiert werden. Das (Ent-)Laden des Energiespeichers wird erkannt und bewertet. Darüber hinaus wird der Einsatz von Fachsprache sowohl in selbstregulierten, als auch in kooperativen Arbeitsphasen gefördert. Chemische Begriffe sollen verstanden und korrekt angewendet werden.

Folgende Lernziele lassen sich für die Teilerperimente formulieren:

### 3.2.1 Experiment 1 – Laden des Energiespeichers

Die Schülerinnen und Schüler...

- können die Bildung von Wasserstoff (Minuspole) und Sauerstoff (Pluspole) bei der Elektrolyse von Wasser oder einer wässrigen Natriumcarbonat-Lösung („Sodalösung“) beschreiben.
- verstehen die Elektrolyse als endotherme Reaktion.

### 3.2.2 Experiment 2 – Entladen des Energiespeichers

Die Schülerinnen und Schüler ...

- können die Umsetzung von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser in einer Brennstoffzelle beschreiben.

- verstehen die Vorgänge in der Brennstoffzelle als exotherme Reaktion.
- erkennen die Elektrolysezelle als möglichen Energiespeicher für Windenergie, wobei aus der Windenergie Wasserstoff (chemische Energie) gewonnen wird, der durch Brennstoffzellen wieder in elektrische Energie umgewandelt werden kann.

### 3.3 Schülerschwierigkeiten

Um den Schülerinnen und Schülern bei Schwierigkeiten zu helfen wurden Hilfekarten entwickelt, die das selbstständige Experimentieren unterstützen. Diese sollten chronologisch verwendet werden, da sie aufeinander aufbauen.

#### 3.3.1 Experiment 1 – Laden des Energiespeichers

Das Anfertigen einer Skizze des Versuchsaufbaus könnte Probleme verursachen, vor allem wenn es diese zu beschriften gilt. Um sicherzustellen, dass die Skizze korrekt dargestellt wird, liegt Hilfekarte 1 vor (Aufgabe a). Außerdem hilft ihnen die auf dem Arbeitsblatt angeführte Abbildung 12. Die Schülerinnen und Schüler müssen darauf achten, wo sich Plus- und Minuspol in ihrem Versuchsaufbau befinden. Die beigelegte Hilfekarte 2 soll die Schülerinnen und Schüler darauf hinweisen, was sie wo zu beschriften haben (Aufgabe b). Der Umgang mit Fachsprache könnte ihnen Schwierigkeiten bereiten, wodurch die Hilfekarten leistungsschwächere Schülerinnen und Schüler an die jeweiligen Fachbegriffe erinnern sollen.

Es ist vorauszusetzen, dass die Apparatur (mithilfe der Hilfekarten) richtig aufgebaut wurde. Daher sollte das Eintragen der Volumenzunahme (Aufgabe c) ohne Probleme funktionieren. Das Beschreiben der Beobachtungen sollte im Vergleich zu Station 5a einfacher sein, könnte jedoch trotzdem mit einigen Hürden verbunden sein. Aufgabe d stellt eine offene Frage dar, wodurch Schwierigkeiten beim Ablesen, Interpretieren des Ergebnisses sowie im Umgang mit der Fachsprache entstehen könnten. Hierfür wurden die Hilfekarten 3, 4 und 5 entwickelt. Hilfekarte 3 konkretisiert die Aufgabenstellung. Hilfekarte 4 zeigt die Unterschiede an den Polen auf und hilft den Schülerinnen und Schülern, dies mit dem eigenen Experiment zu vergleichen. Die Kompetenz Kommunikation wird mit den Hilfekarten 5, 6 und 7 gefördert und zeigt den Schülerinnen und Schülern auf, wie die Fachsprache korrekt eingesetzt werden kann.

#### 3.3.2 Experiment 2 – Entladen des Energiespeichers

Einige Schülerinnen und Schüler haben möglicherweise Probleme bei der selbstständigen Vorgehensweise. Selbst wenn die Schülerinnen und Schüler wissen, dass sie den Motor mit Propeller für den Versuch verwenden sollen, könnte es zu Schwierigkeiten bei dem Aufbau der Versuchsaapparatur kommen. Hilfekarte 8 hilft ihnen die Skizze anzufertigen und das Experiment richtig aufzubauen (Aufgabe g). Die Versuchsdurchführung sollte nach Beendigung von Aufgabe g erfolgen. Hilfekarte 10 stellt sicher, dass alle Schülerinnen und Schüler die zugrundeliegende Energieumwandlung verstanden haben. Es könnten aufgrund des höheren Anforderungsbereichs in Aufgabe i Probleme beim Aufstellen von Begründungen entstehen. Hilfekarte 11 hilft ihnen diese zu beseitigen. Aufgaben l und n beinhalten eine Recherche. Ein Zugang zum Internet sollte gewährleistet werden und ersetzt damit weitere Hilfekarten.

## 4 Zeitliche Einordnung der Telexperimente

Die zeitliche Einordnung der Telexperimente bezieht sich auf die Vorbereitung, Durchführung und gleichzeitige Bearbeitung der Arbeitsblätter. Eine Besprechung der Ergebnisse ist in dieser Auflis-

nung nicht mitinbegriffen (vergleichen Sie hierzu die Experimentieranleitung „Experimento |10+: B7 Kondensator, Wasserstoff, Redox-Flow – Wir speichern regenerative Energie“).

Die hier angeführte zeitliche Einordnung kann je nach Leistungsstärke der Schülerinnen und Schüler, Jahrgangsstufe oder Schulart von der tatsächlichen Durchführung abweichen.

	<b>Experiment 1</b>	<b>Experiment 2</b>
Vorbereitung	20 min	20 min
Durchführung/Aufgabenbearbeitung	25 min	15 min

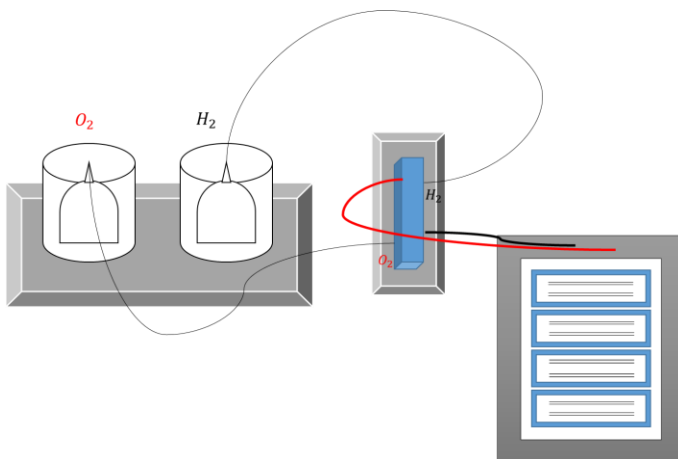
Im Ganzen sollten sich die beiden Experimente in einer Doppelstunde umsetzen lassen. Es verbleiben 10 Minuten, welche für das Reinigen und Aufräumen der Geräte verwendet werden können.

## 5 Lösungen zu den Telexperimenten

### 5.1 Lösungen zu Experiment 1 – Laden des Energiespeichers

#### 5.1.1 Aufgabe a

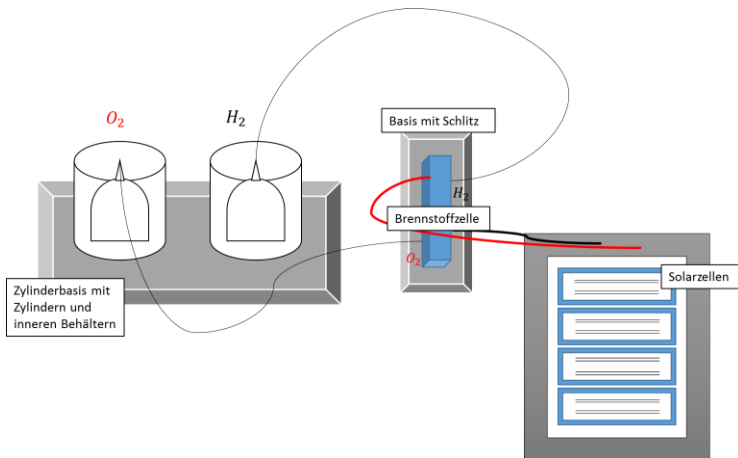
Fertigt eine Skizze eures Versuchsaufbaus an. Nutzt hierfür Abbildung 12 (bzw. euren eigenen Versuchsaufbau).



(Hilfekarte 1)

### 5.1.2 Aufgabe b

Beschriftet die Skizze und tragt ein, wo sich Plus- und Minuspol in der Brennstoffzelle befinden.



Auf der Wasserstoffseite der Brennstoffzelle befindet sich der Minuspol. Auf der Sauerstoffseite der Brennstoffzelle befindet sich der Pluspol.

(Hilfekarte2)

### 5.1.3 Aufgabe c

Beobachtet nun einige Minuten genau, was in der Apparatur passiert. Tragt eure Beobachtungen in die Tabelle ein.

Zeit	Volumen am Pluspol	Volumen am Minuspol
Bei Anschluss der Stromquelle	0 ml	0 ml
30 Sekunden	0 ml	1 ml
2 Minuten	2 ml	4 ml
6 Minuten	4 ml	8 ml
10 Minuten	10 ml	20 ml

Die angegebenen Werte wurden unter sehr starker Beleuchtung gemessen und können je nach Bestrahlung abweichen.

### 5.1.4 Aufgabe d

Was passiert nach Anschluss der bestrahlten Solarzellen? Beschreibt nun kurz, was der elektrische Strom in der Brennstoffzelle bewirkt. Wo kannst du deine Ergebnisse in der Apparatur ablesen?

Zu beobachten ist eine Gasbildung am Plus- und Minuspol der Brennstoffzelle. Die Gase werden über die beiden jeweiligen Schläuche in die inneren Behälter der beiden Zylinder transportiert. Auffallend dabei ist das Volumenverhältnis 2:1. Am Minuspol bildet sich im Vergleich zum Pluspol doppelt so viel Gas.

(Hilfekarten 3, 4 und 5)

### 5.1.5 Aufgabe e

In welcher Form wird die elektrische Energie aus dem Akku offensichtlich gespeichert? Kreuze die richtige Antwort an:

elektrische Energie  chemische Energie  Wärmeenergie

(Hilfekarte 6)

### 5.1.6 Aufgabe f

Wie lautet der Fachbegriff, der die in der Brennstoffzelle ablaufende chemische Reaktion beschreibt?

Kannst du dich erinnern? Der Buchstabensalat kann dir dabei helfen, wenn du die Buchstaben in der richtigen Reihenfolge ordnest:

E L E K T R O L Y S E

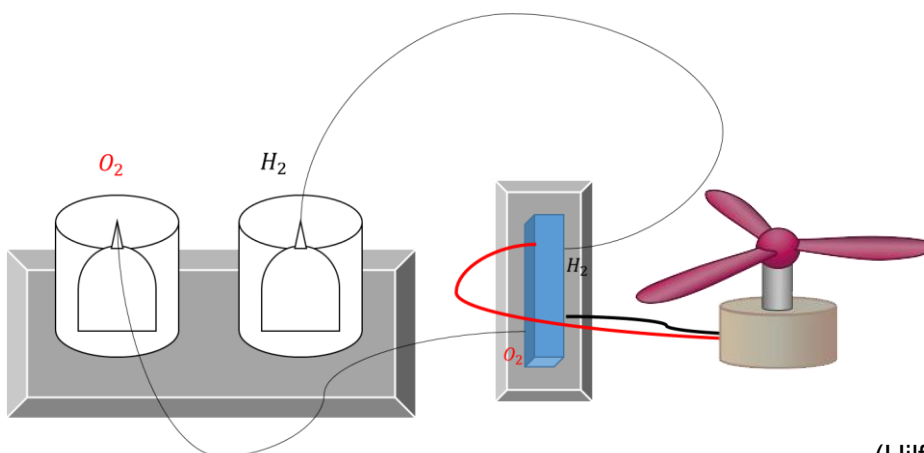
(Hilfekarte 7)

## 5.2 Experiment 2 – Entladen des Energiespeichers

### 5.2.1 Aufgabe g

Wie könnte der Motor mit Propeller an die Brennstoffzelle angeschlossen werden? Bespreche dich mit deinen Gruppenmitgliedern. Haltet eure Überlegungen schriftlich fest und fertigt eine Skizze zum Versuchsaufbau an:

Der Motor mit Propeller stellt einen elektrischen Verbraucher dar. Wir schließen statt der Solarzellen den Motor mit Propeller an.



(Hilfekarte 8)

### 5.2.2 Aufgabe i

Welche Energieumwandlung liegt in Experiment 2 vor?

Tom, Sarah, Kathrin und Mia diskutieren. Welche/r Schüler/in hat recht? Begründe deine Wahl.

Tom sagt: „Ich denke, dass es sich um eine Umwandlung von chemischer Energie in chemische Energie handelt.“

Sarah vermutet: „Meiner Meinung nach wird elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt.“

Kathrin erklärt: „Wenn ihr mich fragt, dann liegt hier gar keine weitere Energieumwandlung vor.“

Mia wirft ein: „Ich glaube, dass chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt wird.“

Mias Aussage ist korrekt. Es liegen chemische Gase vor (elektrische Energie). Sobald der Propeller angeschlossen wird, dreht sich dieser (elektrische Energie) und die Gase in den inneren Behältern der Zylinder werden zurück in die Brennstoffzelle transportiert. Die chemische Energie wird in elektrische Energie umgewandelt.

(Hilfekarten 9, 10 und 11)

### 5.2.3 Aufgabe j

Welche Aussagen könnt ihr über die Gase machen, die sich in den Zellen unseres Energiespeichers gebildet haben? Formuliert mindestens drei klare Aussagen.

Die folgenden Begriffe sollen euch dabei helfen:

Wasser – Wasserstoff – Sauerstoff – Volumenverhältnis.

1. Es hat sich Sauerstoff am Pluspol gebildet.
2. Es hat sich Wasserstoff am Minuspol gebildet.
3. Es liegt ein Volumenverhältnis von 2:1 (Wasserstoff : Sauerstoff) vor.

### 5.2.4 Aufgabe k

Erklärt mithilfe der durchgeführten Versuche und in eigenen Worten, wie der soeben untersuchte Energiespeicher grundsätzlich funktionieren sollte.

Durch Zufuhr von elektrischer Energie werden Wasserstoff und Sauerstoff gebildet (Experimente 1 und 3). Wenn die Elektroden genügend mit Wasserstoff und Sauerstoff umgeben sind, kann die Zelle kurzfristig als Brennstoffzelle funktionieren: Die überschüssige elektrische Energie wird in Form von Wasserstoff als chemische Energie gespeichert. Wasserstoff und Sauerstoff werden wieder zu Wasser und elektrischer Energie umgewandelt. Der Propeller dreht sich (Experiment 2).



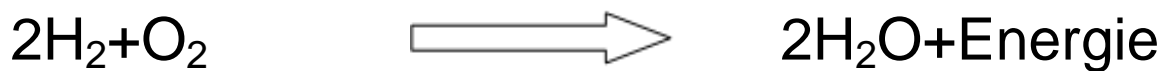
### 5.2.5 Aufgabe I

Bei der chemischen Reaktion in der Brennstoffzelle beim Laden handelt es sich um eine Elektrolyse von Wasser. Recherchiert die Reaktionsgleichung und benennt die Reaktionsprodukte.



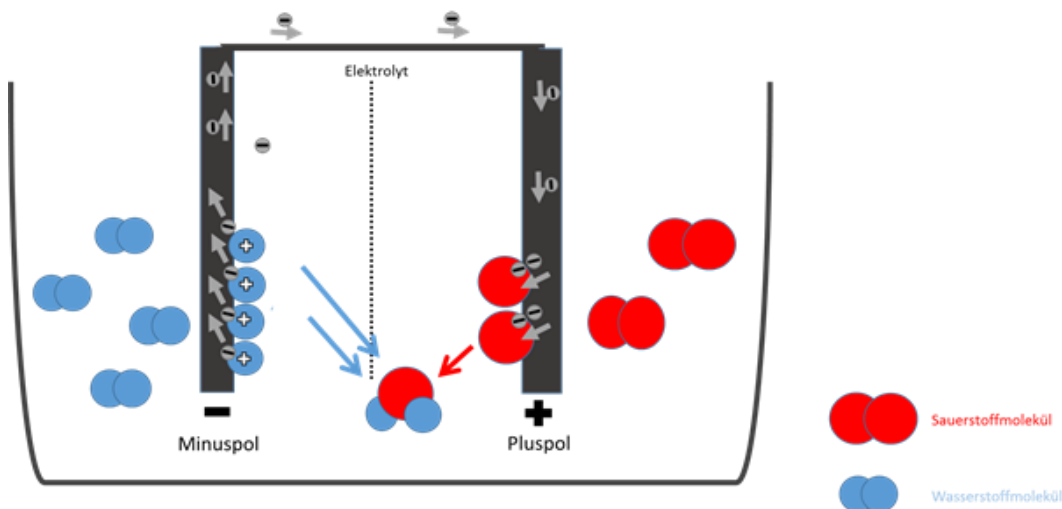
### 5.2.6 Aufgabe m

Beim Entladen des Speichers wird die beim Laden ablaufende Reaktion umgekehrt. Stellt die Reaktionsgleichung auf:



### 5.2.7 Aufgabe n

Informiert euch über den Bau und die Funktionsweise von Brennstoffzellen. Fertigt eine einfache, beschriftete Skizze hierzu an und erklärt mithilfe dieser die Funktionsweise von Brennstoffzellen.



In der Brennstoffzelle wird die chemisch gespeicherte Energie in elektrische Energie umgewandelt. Es handelt sich dabei um eine Umkehrung der Elektrolyse. Die Skizze zeigt einen Pluspol und einen Minuspol. Diese sind mittels Elektrolyten voneinander getrennt. Der am Minuspol gebildete Wasserstoff (H<sub>2</sub>) gibt je Atom ein Elektron (e<sup>-</sup>) ab. Es entstehen zwei positiv geladene Wasserstoff-Protonen (H<sup>+</sup>). Die freien Elektronen wandern als elektrischer Strom vom Minuspol zum Pluspol und werden dort von dem Sauerstoff (O<sub>2</sub>) aufgenommen. Dabei werden zweifach negativ geladene Sauerstoff-Anionen (O<sup>2-</sup>) gebildet. Indem die positiv geladenen Wasserstoffteilchen durch den Elektrolyten zum Pluspol wandern, reagieren zwei Protonen (H<sup>+</sup>) mit einem Sauerstoff-Anion (O<sup>2-</sup>) zu Wasser (H<sub>2</sub>O).