

## Innovationen in der Chemie

### Arbeitsmaterial Kapitel 5 – Energie

Weiterführende Aufgaben und Experimente	Thema	Niveau
Kapitel 5	Energie	
Aufgabe 5.1	Wasserstofftechnologie – ein Quiz	Sekundarstufe I
Aufgabe 5.2	„Power-to-Gas“ – Strom als Gas speichern	Sekundarstufe II
Experiment 5.1	Großtechnische Wasserstofferzeugung	Sekundarstufe II
Station 1	Funktionsweise eines PEM-Elektrolyseurs	Sekundarstufe II
Station 2	Funktionsweise einer Polymermembran	Sekundarstufe II
Station 3	Herstellung von Wasserstoff	Sekundarstufe II
Station 4	Energetischer Wirkungsgrad des Elektrolyseurs	Sekundarstufe II
Station 5	Strom-Spannungs-Kennlinie des PEM-Elektrolyseurs	Sekundarstufe II
Station 6	Neue Membranmaterialien für den PEM-Wasserelektrolyseur	Sekundarstufe II
Aufgabe 5.3	„Wasserstoffwirtschaft – die Lösung für unsere Energieprobleme?“ (Pro/Contra „Fishbowl“)	Sekundarstufe I/II
Aufgabe 5.4	„Redox-Flow-Batterie“ und „Supercaps“ – Energiespeicher der Zukunft („Kugellager“-Methode)	Sekundarstufe II

## Sekundarstufe I

## Aufgabe 5.1: Wasserstofftechnologie – ein Quiz

## Quiz

Trage die richtige/n Antwort/en (A, B, C oder D) rechts ein

Ein Energieträger, der in Zukunft viel wichtiger werden könnte, ist ...

- |                |                       |
|----------------|-----------------------|
| A) Wasserdampf | B) Wasserstoffperoxid |
| C) Wasserstoff | D) Sauerstoff         |

  
richtige Antwort

Die Energiewende hat das Ziel, der folgenden Entwicklung entgegenzuwirken:

- |                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| A) Luftveränderung | B) Treibhauseffekt |
| C) Klimawandel     | D) Erderwärmung    |

  
richtige Antwort

Um aus Wasser Wasserstoff herzustellen, nutzt man:

- |                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| A) Generatoren      | B) Elektrolyseure |
| C) Brennstoffzellen | D) Turbinen       |

  
richtige Antwort

Windstrom in Gas umzuwandeln funktioniert im ersten Schritt mittels:

- |                   |                |
|-------------------|----------------|
| A) Elektrotechnik | B) Elektrik    |
| C) Elektronik     | D) Elektrolyse |

  
richtige Antwort

## Sekundarstufe II

## Aufgabe 5.2: „Power to Gas“ – Strom als Gas speichern

Eine der größten Herausforderungen der Energiewende ist es, den regenerativ erzeugten Strom, dessen Menge je nach Wetterbedingungen stark schwankt, zu speichern und bei Bedarf wieder zur Verfügung zu stellen. Ein vielversprechender Ansatz zur Lösung dieses Problems ist das Verfahren „Power-to-Gas“, bei dem die überschüssige Energie zur elektrolytischen Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff genutzt wird. Der Wasserstoff kann dann entweder direkt als Brennstoff genutzt werden oder aber mit Kohlenstoffdioxid in Methan (Methanisierung) überführt werden, das problemlos ins Erdgasnetz eingespeist werden kann. In Deutschland gibt es derzeit über 20 Forschungs- und Pilotanlagen, in denen das „Power-to-Gas“-Verfahren eingesetzt und weiterentwickelt wird.

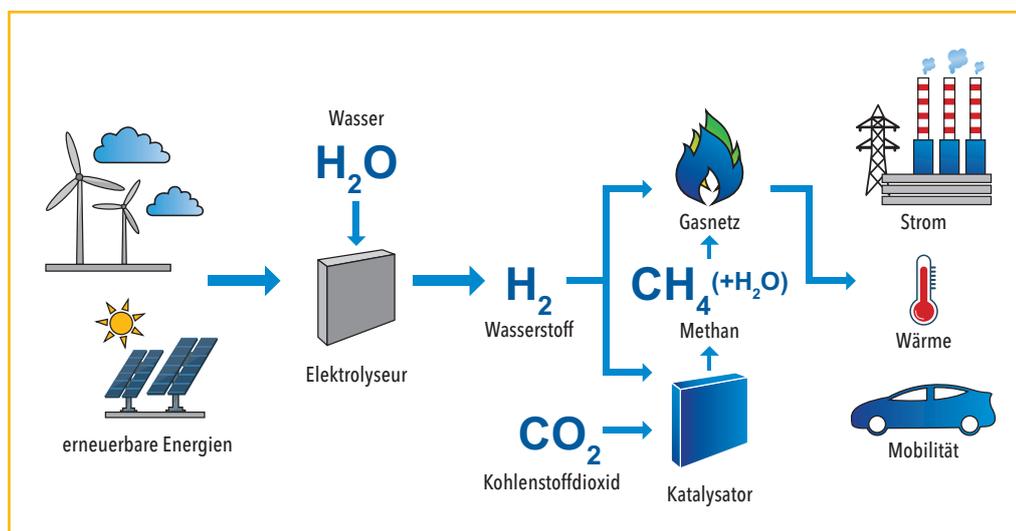


Abbildung 5.1: „Power-to-Gas“ – Strom als Gas speichern

 Quelle: [www.energie-tipp.de/neue-energie/speicher/power-to-gas-so-funktioniert/](http://www.energie-tipp.de/neue-energie/speicher/power-to-gas-so-funktioniert/) (mod., Abruf: 08/2018)

**Zusatzinformationen** Standardreaktionsenthalpie für die Verbrennung von Wasserstoff:  $\Delta_r H^\circ = -285,8 \text{ kJ/mol}$   
 Standardreaktionsenthalpie für die Verbrennung von Methan:  $\Delta_r H^\circ = -802,4 \text{ kJ/mol}$

- a) Beschreiben Sie anhand der Abbildung 5.1 das „Power-to-Gas“-Verfahren. Geben Sie für die chemischen Prozesse (Wasserspaltung, Herstellung von Methan) die Reaktionsgleichungen an.

---



---



---



---

## Sekundarstufe II

- b) Berechnen Sie anhand der Reaktionsgleichung und der Standardreaktionsenthalpien den Wirkungsgrad für die Methanisierung (Wirkungsgrad = Verhältnis der Standardreaktionsenthalpien für die Verbrennung von Methan und Wasserstoff). Erklären Sie Ihr Ergebnis.

---

---

---

---

- c) Recherchieren Sie im Internet, wofür die Produkte des „Power-to-Gas“-Verfahrens, Wasserstoff und Methan, genutzt werden können.

---

---

---

---

---

- d) Begründen Sie, warum das „Power-to-Gas“-Verfahren einen vielversprechenden Ansatz zur Umsetzung der Ziele der Energiewende (Reduktion der Treibhausgase bis 2050 um 80 Prozent, Steigerung des Anteils an erneuerbaren Energien am Bruttoenergieverbrauch bis 2050 um 60 Prozent) darstellt.

---

---

---

---

---



## Sekundarstufe II

- b) Geben Sie die Reaktionsgleichungen für die beiden Elektrodenreaktionen und die Gesamtgleichung der Reaktion an und begründen Sie, warum es sich um Redoxreaktionen handelt.

---

---

---

---

- c) Erklären Sie, warum die Membran, die die beiden Reaktionsräume im technischen Verfahren voneinander trennt, gasdicht, aber für Hydroxidionen durchlässig sein muss.

---

---

---

---

---

- d) Warum kann im vorgeschlagenen Versuchsaufbau auf eine ionenselektive Membran verzichtet werden?

---

---

---

## Sekundarstufe II

e) Führen Sie das Modellexperiment durch und weisen Sie die entstehenden Gase nach.

## Material

- drei bis vier Luer-Lock-Spritzen (50 Milliliter)
- zwei Luer-Lock-Spritzenhülsen (50 Milliliter)
- zwei Drei-Wege-Hähne (DWH)
- zwei Elektroden aus langen Kanülen in U-Form
- Netzgerät oder 9-Volt-Batterie
- zwei Kabel mit Krokodilklemmen
- Becherglas (250 Milliliter) oder Kristallisierschale

Chemikalien	Piktogramme	H-Sätze	P-Sätze	E-Ratschläge (GUV-SR 2004, Vers. 8, 2010)
Kaliumhydroxid- lösung ( $c = 1 \text{ mol/l}$ )		-	-	

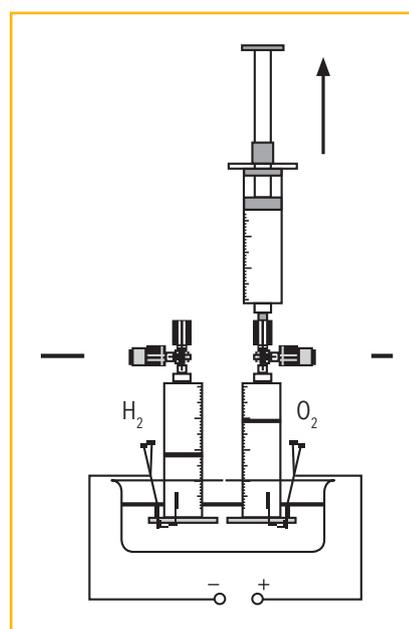
## Durchführung

Die Apparatur wird wie abgebildet (siehe Abbildung 5.3) zusammgebaut und die Kristallisierschale wird mit Kaliumhydroxidlösung ( $c = 1 \text{ mol/l}$ ) gefüllt.

Die Kalilauge wird mit Hilfe einer zusätzlichen Spritze, die seitlich an den DWH angeschlossen wird, in die unteren beiden Spritzenhülsen gezogen.

Die Kanülen müssen im mittleren Bereich, zum Beispiel mittels eines Überzugs aus Nagellack, isoliert werden. So findet die Elektrolyse nur an den Spitzen der Kanülen statt und die entstehenden Gase werden vollständig aufgefangen. Die Spannungsversorgung wird über die Krokodilklemmen an die Kanülen angeschlossen. Man elektrolysiert mit etwa neun Volt.

Die entstehenden Gase können über den DWH in die oberen Spritzen gefüllt werden, um sie für Nachweisreaktionen zu nutzen.



## Hinweis

**!** Das Experiment kann auch mit verdünnter Schwefelsäure (saure Elektrolyse) durchgeführt werden. Führen Sie die Nachweisreaktionen nicht in den Spritzen durch, sondern füllen Sie das Gas pneumatisch in Reagenzgläser um.

Abbildung 5.3: Aufbau des Elektrolyseurs

Quelle: Borstel, Gregor von (2010): Chemie macht Spaß. Kompetenzorientierte Unterrichtsplanung im Chemieunterricht. Material der Lehrerfortbildung BR Köln. S. 58

Abbildung: Brand, Bernd-H. (2006): Low-cost-Experimente. Versuche mit medizintechnischen Geräten. S. 33, Versuch 7.37 (mod.)

## Sekundarstufe II

f) Begründen Sie, warum es sich bei dem Experiment um ein Modellexperiment handelt.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Sekundarstufe II

## Stationenarbeit mit Aufgaben und Experimenten: Funktionsweise eines PEM-Elektrolyseurs (Lernzirkel)

Neben den alkalischen Elektrolyseuren werden zurzeit PEM-Elektrolyseure (PEM: proton exchange membrane) großtechnisch erprobt. Anhand der sechs Stationen können Sie sich über die Funktionsweise eines PEM-Elektrolyseurs informieren.

## Station 1: Funktionsweise eines PEM-Elektrolyseurs

Im PEM-Elektrolyseur erfolgt die elektrolytische Wasserspaltung mit Hilfe von Edelmetall-Katalysatoren. Der Elektrolyt des Elektrolyseurs besteht aus einer protonendurchlässigen Polymerelektrolytmembran. Diese Membran ist auf der Kathodenseite mit in Kohlenstoff eingebrachten Platinpartikeln und auf der Anodenseite mit metallischen oder als Oxide vorliegenden Edelmetallen (meist Iridium oder Ruthenium) beschichtet (siehe Abbildung 5.4). Die Edelmetalle fungieren als Katalysatoren.

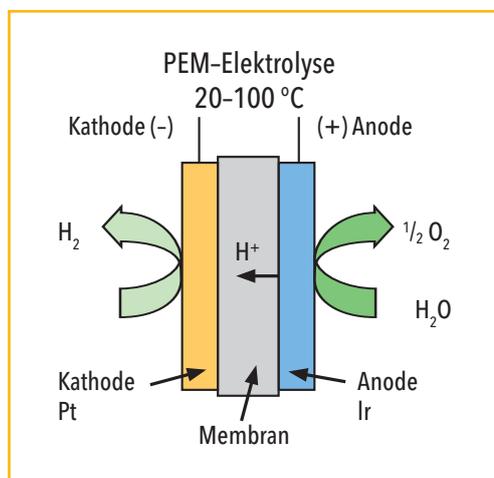


Abbildung 5.4: Bau eines PEM-Elektrolyseurs

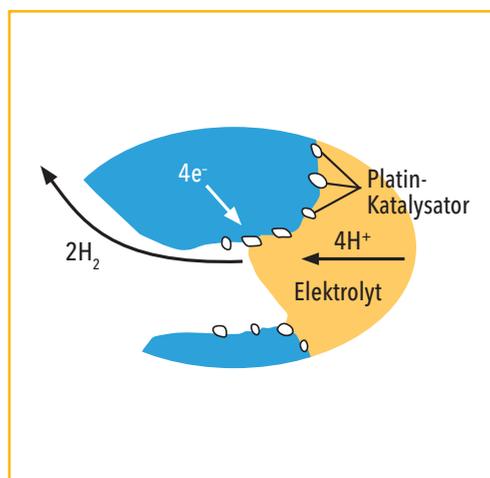


Abbildung 5.5: Ausschnitt aus der Kathode

Quellen:

 Abbildung 5.4: [http://forschung-energiespeicher.info/fileadmin/user\\_upload/projektassets/MaPEL/BMBF\\_MAPEL\\_4\\_PEM\\_Elektrolyse\\_Schematische\\_Darstellung.jpg](http://forschung-energiespeicher.info/fileadmin/user_upload/projektassets/MaPEL/BMBF_MAPEL_4_PEM_Elektrolyse_Schematische_Darstellung.jpg) (mod.)

Abbildung 5.5: Parchmann, Ilka; Demuth, Reinhard; Ralle, Bernd (2006), Materialien zur Brennstoffzelle aus Chemie im Kontext, Cornelsen Verlag Berlin (mod.)

a) Beschreiben Sie den Aufbau eines PEM-Elektrolyseurs (siehe Abbildung 5.4).

---



---



---

## Sekundarstufe II

b) Geben Sie die Reaktionsgleichungen für die Anoden- und für die Kathodenreaktion an.

c) Erläutern Sie unter Berücksichtigung der Abbildung 5.5 die Funktionsweise des Elektrolyseurs.

---



---



---



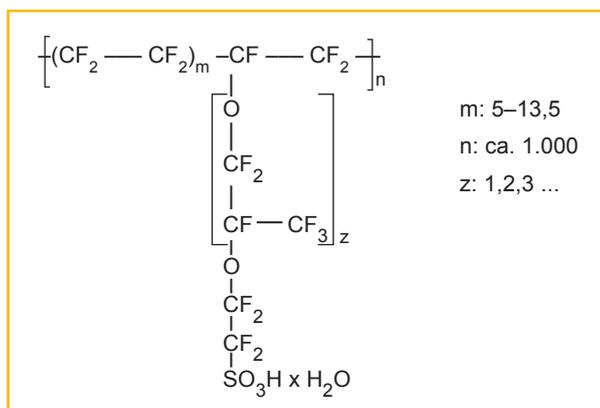
---



---

## Station 2: Funktionsweise einer Polymermembran

Die Membran des PEM-Elektrolyseurs besteht aus einem Kunststoff. Dabei handelt es sich um ein Copolymer aus Tetrafluorethylen und Perfluoroalkylvinylether. Am Ende der Seitenketten befinden sich Sulfonsäuregruppen (siehe Strukturformel). Kommt die Membran mit Wasser in Berührung, geben die Sulfonsäuregruppen ihr Proton ab, und es bilden sich Hydrathüllen um das Säurerest-Anion. Nafion ist so in der Lage, bis zu 22 Gewichtsprozent Wasser aufzunehmen. Die deprotonierten Sulfonsäuregruppen sind wiederum in der Lage, ein Proton aufzunehmen.



## Sekundarstufe II

- a) Markieren Sie im obigen Molekülausschnitt das Tetrafluorethylen-Gerüst rot und die Perfluoroalkylvinylether-Seitenkette blau. Kennzeichnen Sie die Sulfonsäuregruppe.
- b) Geben Sie die Protolysegleichung für die Reaktion der Sulfonsäuregruppe mit Wasser an und erläutern Sie mit Hilfe des Säure-Base-Konzepts nach Brönsted den sauren Charakter der Nafionmembran.

---



---



---

- c) Erklären Sie, warum die Membran nur für Protonen, nicht aber für Elektronen oder Hydroxid-Ionen durchlässig ist.

---



---



---

### Station 3: Herstellung von Wasserstoff

- a) Führen Sie das Experiment 5.2 durch und weisen Sie die entstandenen Gase nach.

### Experiment 5.2:

#### Material

- Modell-Elektrolyseur mit zwei Gasspeichern (zum Beispiel Solar Hydrogen Education Kit (Horizon) oder Brennstoffzelle (H-Tec))
- Solarmodul
- Halogen-Baustrahler (100 Watt)
- Strommessgerät
- Stoppuhr

Chemikalien	Piktogramme	H-Sätze	P-Sätze	E-Ratschläge (GUV-SR 2004, Vers. 8, 2010)
destilliertes Wasser		-	-	

## Sekundarstufe II

### Durchführung

Der Modell-Elektrolyseur (E) wird gemäß mitgelieferter Anleitung mit destilliertem Wasser befüllt. Die Solarzelle wird mit dem Strommessgerät und dem Elektrolyseur verbunden (vgl. Abbildung 5.6). Der Baustrahler wird in ca. 30 Zentimeter Entfernung von der Solarzelle aufgestellt und eingeschaltet. Es wird solange elektrolysiert, bis ein Tank komplett mit Gas gefüllt ist.

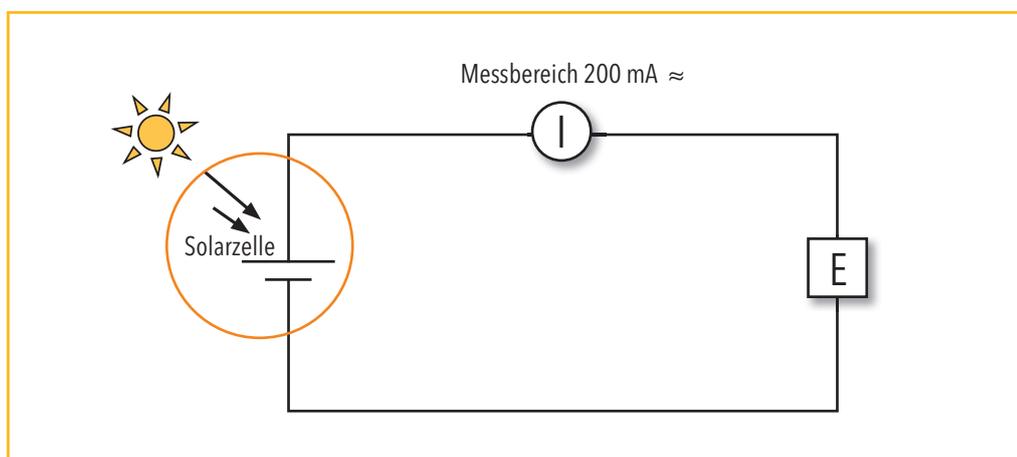


Abbildung 5.6: Schaltskizze Experiment 5.2

b) Werten Sie Ihre Versuchsbeobachtungen unter Angabe der entsprechenden Reaktionsgleichungen aus.

---



---



---

## Sekundarstufe II

## Station 4: Energetischer Wirkungsgrad des Elektrolyseurs

Der energetische Wirkungsgrad ( $\eta_{\text{energetisch}}$ ) gibt an, wie viel der zugeführten Energie ( $E_{\text{zu}}$ ) tatsächlich als nutzbare Energie ( $E_{\text{nutz}}$ ) das System (hier: Elektrolyseur) verlässt. Je größer der Wirkungsgrad, desto besser ist die Energienutzung.

$$\eta_{\text{energetisch}} = E_{\text{nutz}} / E_{\text{zu}} = E_{\text{Wasserstoff}} / E_{\text{elektrisch}} \quad \text{mit } E_{\text{elektronisch}} = U \cdot I \cdot t \quad \text{und } E_{\text{Wasserstoff}} = H_o \cdot V_{\text{H}_2}$$

$$H_o: \text{Brennwert des Wasserstoffs (Energie, die bei der Verbrennung von Wasserstoff frei wird)} \\ = 12,745 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3$$

I: Stromstärke in A, U: Spannung in V, t: Zeit in s,  $V_{\text{H}_2}$ : erzeugte Menge an Wasserstoff in  $\text{m}^3$

## Durchführung

- a) Führen Sie die Messung durch (Experiment 5.3) und notieren Sie Ihre Messergebnisse in einer Tabelle nach folgendem Muster:

$V_{\text{H}_2}$ in $\text{cm}^3$	t in Sekunden	U in Volt	I in Ampere
0	0	1,9	
5			

## Sekundarstufe II

## Experiment 5.3:

## Material

- Modell-Elektrolyseur mit zwei Gasspeichern  
(zum Beispiel Solar Hydrogen Education Kit (Horizon) oder Brennstoffzelle (H-Tec))
- regelbare Spannungsquelle (zum Beispiel Labornetzgerät)
- Strommessgerät
- Spannungsmessgerät
- Stoppuhr

Chemikalien	Piktogramme	H-Sätze	P-Sätze	E-Ratschläge (GUV-SR 2004, Vers. 8, 2010)
destilliertes Wasser		-	-	

## Durchführung

Der Elektrolyseur wird gemäß mitgelieferter Anleitung mit destilliertem Wasser befüllt. Die regelbare Spannungsquelle wird mit dem Strommessgerät, dem Spannungsmessgerät und dem Elektrolyseur verbunden (vgl. Abbildung 5.7). Es wird eine Spannung zwischen 1,5 und 2 Volt eingestellt (zum Beispiel 1,9 Volt).

Vor der eigentlichen Versuchsdurchführung wird einige Minuten lang Gas produziert. Anschließend wird die Stromversorgung zum Elektrolyseur unterbrochen und die Gastanks werden belüftet, um den Wasserstand wieder auf die Nullmarkierung zu setzen.

Die Messung wird durch Anschalten der Spannungsquelle gestartet. Es werden jeweils die Zeit, die anliegende Spannung und die Stromstärke bei gut ablesbaren Wasserstoffgasmengen notiert. Die Messung ist beendet, wenn der Wasserstoffspeicher maximal gefüllt ist.

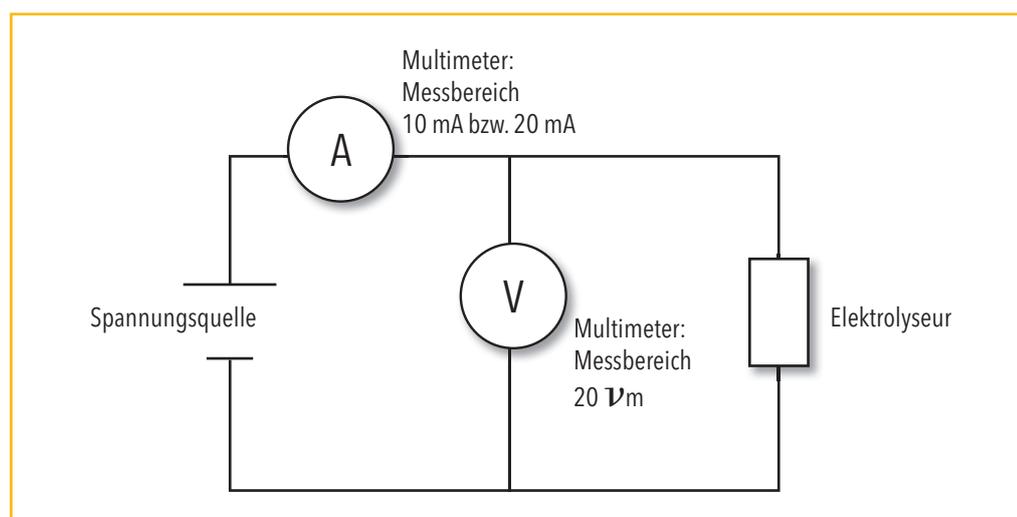


Abbildung 5.7: Schaltskizze Experiment 5.3

## Sekundarstufe II

b) Stellen Sie Ihre Messwerte (produziertes Gasvolumen in Abhängigkeit von der Zeit) in einem Diagramm dar.

c) Berechnen Sie den energetischen Wirkungsgrad des Elektrolyseurs.

Quelle: <https://www.h-tec.com/de/education/startseite/>

## Sekundarstufe II

 Station 5: **Strom-Spannungs-Kennlinie des PEM-Elektrolyseurs**

Um Wasser in die Elemente Sauerstoff und Wasserstoff zu spalten, muss die am Elektrolyseur angelegte Spannung die Zersetzungsspannung des Wassers überschreiten. Unterhalb dieser Spannung findet keine Reaktion statt. Mit dem folgenden Versuch kann die Zersetzungsspannung bestimmt werden.

- a) Führen Sie die Messung (Experiment 5.4) durch und notieren Sie Ihre Messwerte in einer Tabelle nach folgendem Muster:

Spannung in Volt	Stromstärke in Ampere
0	
0,1	
0,2	
0,3	
0,4	
0,5	
0,6	
0,7	
0,8	
0,9	
1,0	
1,1	
1,2	
1,3	
1,4	
<b>1,5</b>	
1,6	
1,7	
1,8	
1,9	
2,0	

Markieren Sie den Spannungswert, bei dem eine Gasproduktion einsetzt.

## Sekundarstufe II

## Experiment 5.4:

## Material

- Modell-Elektrolyseur mit zwei Gasspeichern  
(zum Beispiel Solar Hydrogen Education Kit (Horizon) oder Brennstoffzelle (H-Tec))
- regelbare Spannungsquelle (zum Beispiel Labornetzgerät)
- Strommessgerät
- Spannungsmessgerät

Chemikalien	Piktogramme	H-Sätze	P-Sätze	E-Ratschläge (GUV-SR 2004, Vers. 8, 2010)
destilliertes Wasser		-	-	

## Durchführung

Der Elektrolyseur wird gemäß mitgelieferter Anleitung mit destilliertem Wasser befüllt. Die regelbare Spannungsquelle wird mit dem Strommessgerät, dem Spannungsmessgerät und dem Elektrolyseur verbunden (vgl. Abbildung 5.8). Zu Beginn des Versuchs wird eine Spannung von 0 Volt eingestellt. Die Spannung wird an der Spannungsquelle kontinuierlich in 0,1 Volt-Schritten von 0 bis 2 Volt erhöht. Wenn sich die jeweiligen Spannungswerte stabilisiert haben, wird die Stromstärke abgelesen.

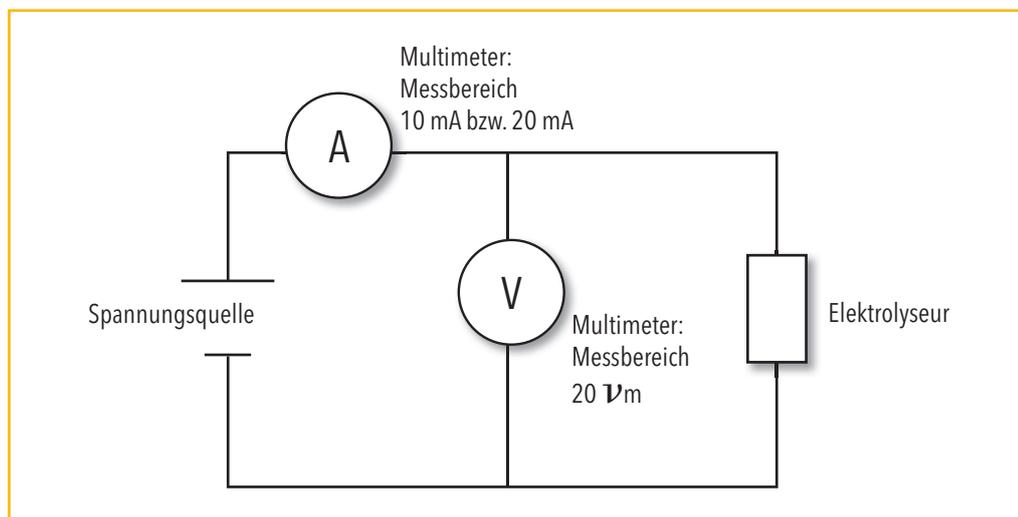


Abbildung 5.8: Schaltskizze Experiment 5.4

## Sekundarstufe II

- b) Stellen Sie die Stromstärke in Abhängigkeit von der Spannung grafisch dar (Strom-Spannungs-Kennlinie des Elektrolyseurs).

- c) Erläutern Sie den Kurvenverlauf und bestimmen Sie die Zersetzungsspannung von Wasser (Schnittpunkt des stark ansteigenden linearen Kurvenabschnitts mit der x-Achse).

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Sekundarstufe II

### Station 6: Neue Membranmaterialien für den PEM-Wasserelektrolyseur

Um die elektrolytische Wasserspaltung mit PEM-Wasserelektrolyseuren wettbewerbsfähig zu machen, sind weitere Technologieschritte erforderlich. Die niedrigen Leistungsdichten, die unzulängliche Stabilität und die hohen Kosten, die vor allem die Edelmetall-Katalysatoren verursachen, sind die Hauptursachen dafür, dass das Verfahren bisher nicht wirtschaftlich ist.

In einem Forschungsprojekt suchten Wissenschaftler nach Möglichkeiten, die Elektrolyse wirtschaftlicher zu gestalten und kombinierten die alkalische Elektrolyse mit der PEM-Elektrolyse. Dazu entwickelten sie eine laugenstabile und hochleitende Anionentauscher-Membran. Bei der Verwendung einer solchen Membran kann auf die Nutzung von Edelmetallen in der Katalysatorschicht verzichtet werden, wodurch die Kosten der Elektrolyse-Anlage deutlich reduziert werden.

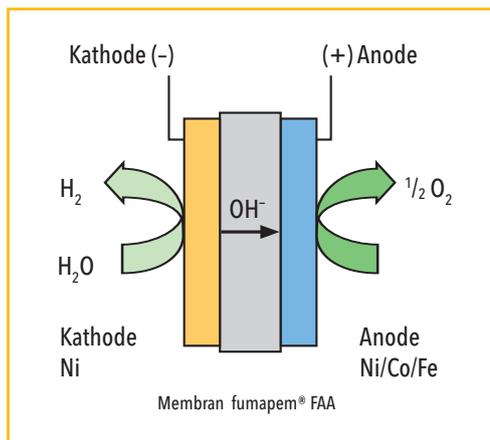


Abbildung 5.9: Alkalische PEM-Elektrolyse

Quelle: [http://forschung-energiespeicher.info/wind-zu-wasserstoff/projektliste/projekt-einzelansicht/74/Neue\\_Membranmaterialien\\_fuer\\_die\\_PEM\\_Wasserelektrolyse/](http://forschung-energiespeicher.info/wind-zu-wasserstoff/projektliste/projekt-einzelansicht/74/Neue_Membranmaterialien_fuer_die_PEM_Wasserelektrolyse/) (mod.)

- a) Beschreiben Sie den Aufbau des alkalischen PEM-Elektrolyseurs und erläutern Sie seine Funktion.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Sekundarstufe II

b) Geben Sie die Reaktionsgleichungen für die Anoden- und für die Kathodenreaktion an.

c) Vergleichen Sie den alkalischen PEM-Elektrolyseur mit dem sauren Elektrolyseur (Station 1).  
Nennen Sie die Vorteile des alkalischen Elektrolyseurs.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Sekundarstufe I/II

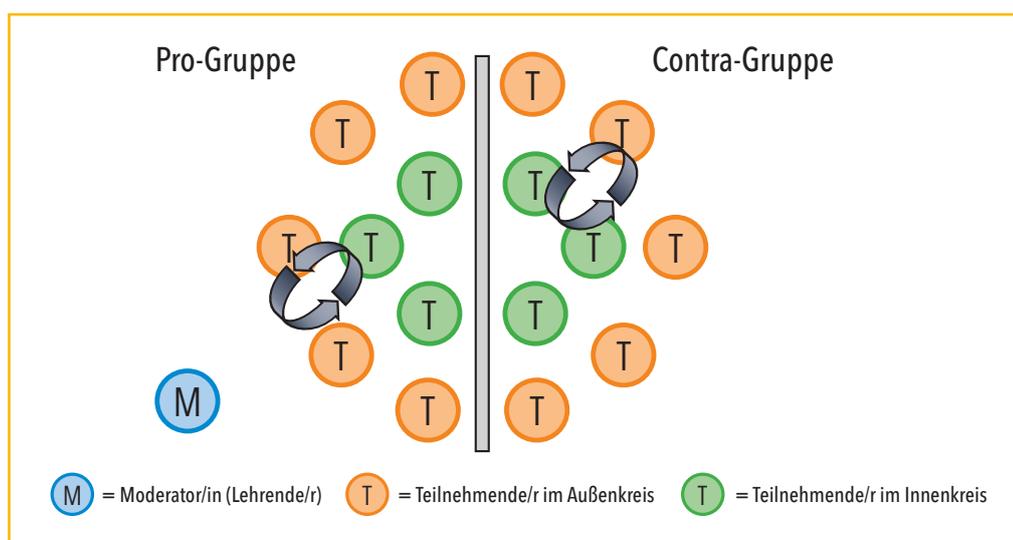
 Aufgabe 5.3: Wasserstoffwirtschaft – die Lösung für unsere Energieprobleme?  
 (Pro/Contra „Fishbowl“)


Abbildung 5.10: Pro/Contra „Fishbowl“

 Quelle: [http://ilias.uni-giessen.de/ilias/goto.php?target=cat\\_31104&client\\_id=JLUG](http://ilias.uni-giessen.de/ilias/goto.php?target=cat_31104&client_id=JLUG) (mod.)

## Arbeitsmaterial

Wasserstoff gilt im Hinblick auf den Klimawandel und die Endlichkeit fossiler Energieträger für viele als die Lösung der zukünftigen Energieversorgung. Das Konzept der Wasserstoffwirtschaft geht sogar soweit, dass eine zukünftige Energiewirtschaft hauptsächlich oder ausschließlich Wasserstoff als Energieträger verwendet. Insbesondere fossile Energieträger wie zum Beispiel Erdölprodukte sollen dabei durch Wasserstoff ersetzt werden.

Diskutieren Sie in Ihrer Lerngruppe, ob das Konzept der Wasserstoffwirtschaft realisierbar ist und ob es unsere Energieprobleme lösen kann. Recherchieren und sammeln Sie Pro- bzw. Contra-Argumente und bereiten Sie diese in Ihrer Gruppe für eine Diskussionsrunde auf. Wählen Sie zwei bis drei Personen aus Ihrer Gruppe aus, die die Argumente vorstellen und in der Diskussion verteidigen werden.

## Recherche

Recherchieren Sie zu folgenden Stichworten:

- Eigenschaften von Wasserstoff
- Herstellung von Wasserstoff
- Speicherung und Transport von Wasserstoff
- Energetische Nutzung von Wasserstoff  
 (Umwandlung in nutzbare Energie wie zum Beispiel elektrische Energie, Wärme)
- Wirkungsgrade einer Wasserstoffwirtschaft im Vergleich zur fossilen Energiewirtschaft
- Umwelt- und Klimaaspekte einer Wasserstoffwirtschaft

## Sekundarstufe II

### Aufgabe 5.4: „Redox-Flow-Batterie“ und „Supercaps“ – Energiespeicher der Zukunft („Kugellager“-Methode)

#### A. Arbeitsmaterial für die Gruppe „Redox-Flow-Batterie“

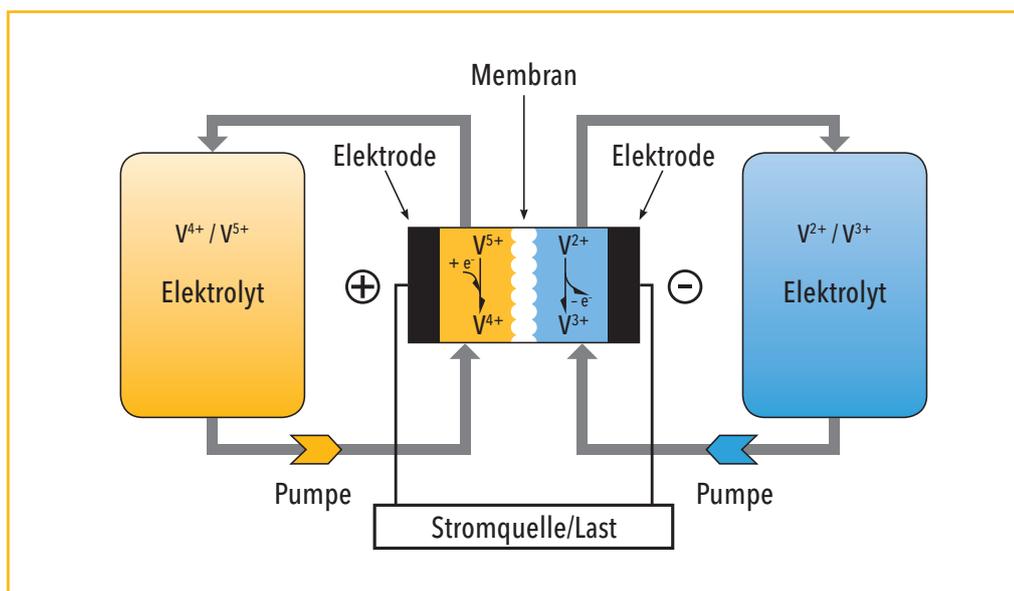
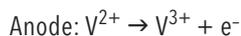
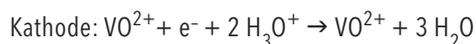


Abbildung 5.11: Aufbau und Funktionsweise einer Redox-Flow-Batterie

Quelle: Fraunhofer ICT (mod.)

Die Redox-Flow-Batterie speichert Strom als chemische Energie in zwei großen Tanks, in denen sich in Schwefelsäure gelöste Vanadiumsalze (Elektrolyte) mit unterschiedlichem Redoxpotential befinden. Die Tanks sind mit einer oder mehreren galvanischen Zellen verbunden, über die die Batterie geladen oder entladen wird. Dazu zirkulieren die Salzlösungen durch die Halbzellen, die durch eine selektiv durchlässige Membran voneinander getrennt sind. An den Graphitelektroden werden die entsprechenden Salzionen oxidiert bzw. reduziert und geben ihre Energie ab (entladen) oder nehmen Energie auf (laden).

Wird die Batterie entladen, laufen an den Elektroden die folgenden Redoxreaktionen ab:



Die Nennspannung einer Zelle beträgt ca. 1,4 Volt, die Energiedichte ist ähnlich der eines Bleiakkus. Vorteile im Vergleich zum Bleiakku sind eine sehr geringe Selbstentladung und aufgrund der inerten Graphitelektroden eine lange Lebensdauer.



## Sekundarstufe II

- c) Erläutern Sie, warum es sich bei der Redox-Flow-Batterie um einen Akku handelt. Geben Sie dazu die Reaktionsgleichungen für die Lade- und Entladereaktionen an.

---

---

---

---

---

- d) Recherchieren Sie, wozu die Redox-Flow-Batterie genutzt wird.

---

---

---

## Sekundarstufe II

### B: Arbeitsmaterial für die Gruppe „Supercaps“

Supercaps sind leistungsfähige, sehr langlebige (bis zu einer Million Lade-Entladezyklen) elektrochemische Superkondensatoren. Beim Supercap sind die beiden Elektroden des Kondensators von einer Elektrolytlösung mit mobilen Ionen umgeben und von einem porösen, nichtleitenden, aber ionendurchlässigen Separator voneinander getrennt. Die Elektroden bestehen zum Beispiel aus Aktivkohle oder Kohlenstoffasern mit einer besonders großen Oberfläche, der Elektrolyt zum Beispiel aus in einem polaren Lösemittel gelösten Alkalimetallperchloraten.

Wird an die Elektroden eine Spannung angelegt (Laden des Supercaps), bilden sich an der Phasengrenze zwischen Elektrode und Elektrolyt an beiden Elektroden zwei ionisierte Schichten, die sog. Helmholtz-Doppelschichten (siehe Abbildung 5.12). Auf der geladenen Elektrodenoberfläche lagert sich eine monomolekulare Schicht des polaren Lösemittels an, an die sich eine Schicht entgegengesetzt geladener, solvatisierter Ionen anschließt. Diese Doppelschicht hat die Eigenschaften eines Kondensators, wobei die geladene Elektrode und die solvatisierte Ionenschicht als Kondensatorplatten und die zwischen den beiden Schichten befindlichen Lösemittelmoleküle als Dielektrikum betrachtet werden können. Die elektrische Energie wird mittels statischer Ladungstrennung in Helmholtz-Doppelschichten gespeichert.

Wegen der sehr großen Elektrodenoberflächen  $A$  der Kohleelektroden und des geringen „Plattenabstands“  $d$  in der Helmholtz-Doppelschicht (weniger als 1 nm) ist die Kapazität eines solchen Kondensators  $C = \epsilon \cdot A/d$  sehr hoch (Doppelschichtkapazität).

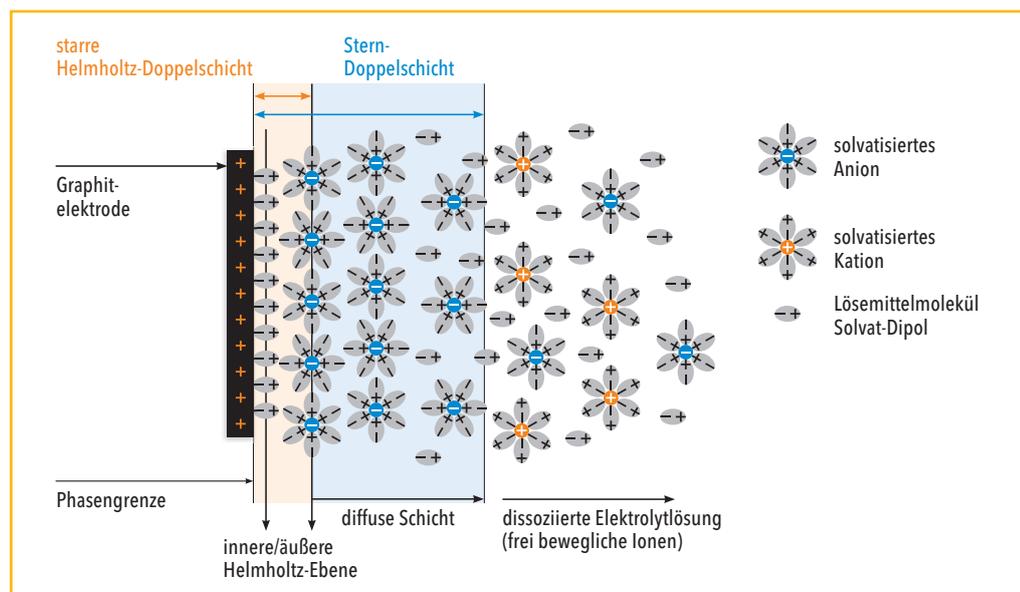


Abbildung 5.12: Aufbau und Funktionsweise eines Supercaps

Quelle: <http://elektroniktutor.de/bauteilkunde/goldcap.html> (mod., Abruf: 08/2018)



## Sekundarstufe II

c) Vergleichen Sie einen Plattenkondensator mit einem Supercap.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

d) Recherchieren Sie, wozu Supercaps genutzt werden.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Sekundarstufe II

## C: Austauschrunde („Kugellager“-Methode in der Speed-Date-Variante)

## Arbeitsaufträge:

1. Austauschrunde:  
Stellen Sie sich gegenseitig anhand der Abbildungen 5.11 bzw. 5.12 den Aufbau Ihres Energiespeichers vor.
2. Austauschrunde:  
Wiederholen Sie, wie der Energiespeicher, den Sie im Austausch neu kennengelernt haben, aufgebaut ist. Korrigieren Sie gegebenenfalls Fehler.
3. Austauschrunde:  
Erläutern Sie, gegebenenfalls unter Angabe von Reaktionsgleichungen, die Funktionsweise Ihres Energiespeichers.
4. Austauschrunde:  
Wiederholen Sie, wie der Energiespeicher, den Sie im Austausch neu kennengelernt haben, funktioniert. Vergleichen Sie gegebenenfalls die Reaktionsgleichungen und korrigieren Sie Fehler.
5. Austauschrunde:  
Nennen Sie Anwendungsbereiche und Vorteile Ihres Energiespeichers.
6. Austauschrunde:  
Wiederholen Sie, wozu der Energiespeicher, den Sie im Austausch neu kennengelernt haben, genutzt wird und welche Vorteile er hat. Korrigieren Sie gegebenenfalls Fehler.