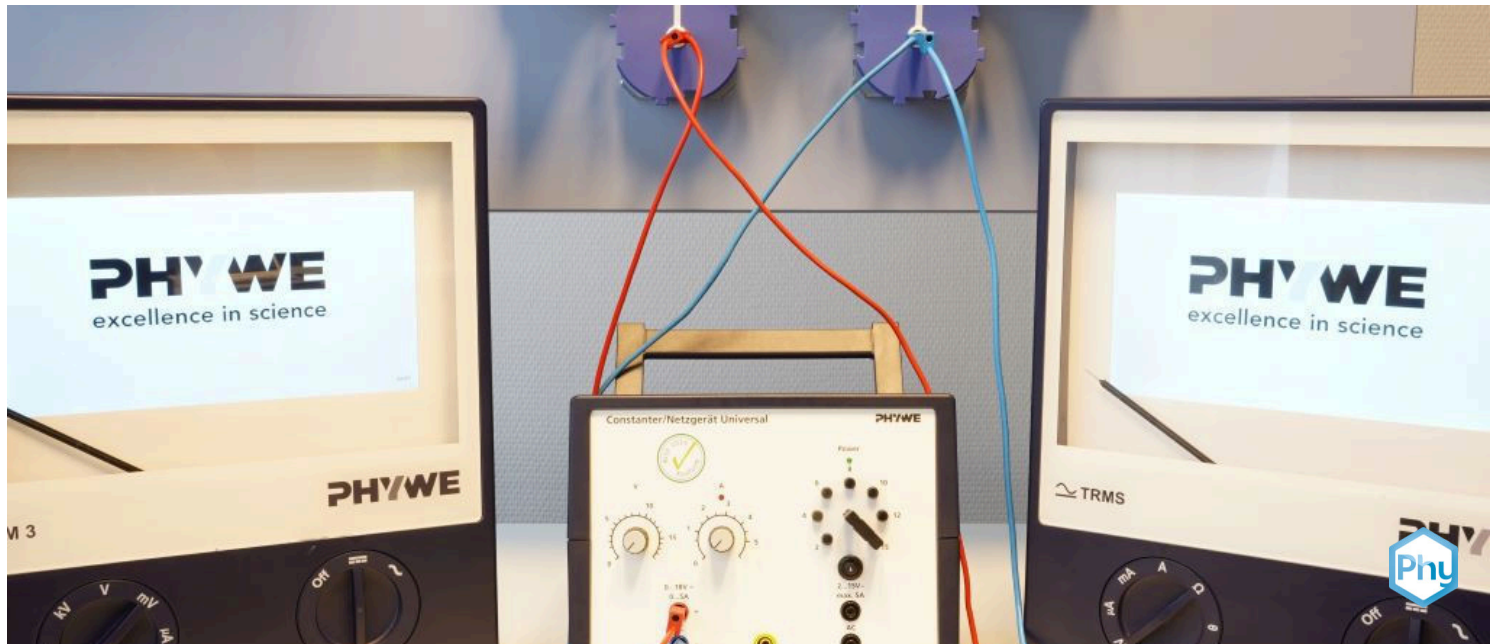


Faradayscher und energetischer Wirkungsgrad eines PEM Elektrolyseurs mit ADM3



Die Schüler lernen das Prinzip des faradayischen und energetischen Effizients kennen.

Physik

Energie

Erneuerbare Energien: Wasser



Schwierigkeitsgrad

schwer



Gruppengröße

1



Vorbereitungszeit

10 Minuten



Durchführungszeit

20 Minuten

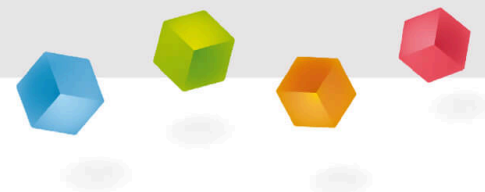
This content can also be found online at:



<http://localhost:1337/c/608da51276e9660003ec338e>

PHYWE

Lehrerinformationen



Anwendung

PHYWE



Versuchsaufbau

Neben dem PEM Elektrolyseur gibt es auch noch diverse andere Arten der Elektrolyse. Üblich für die Trennung von Wasser sind auch die alkalische Elektrolyse und die Hochtemperaturelektrolyse. Gerade mit der letzteren lassen sich sogar deutlich bessere Wirkungsgrade erzielen als mit dem PEM Elektrolyseur. Dafür werden aber Temperaturen von über 800°C benötigt. Alkalische Elektrolyse erreichen ähnliche Werte für den Wirkungsgrad, jedoch wird dafür eine Kalilauge benötigt. Trotz der Kosten oder der Bedingungen, die für die Elektrolyse benötigt werden, werden in erster Linie die drei genannten Varianten verwendet, da zum Beispiel die chemische oder biologische Herstellung von Wasserstoff deutlich schwieriger und kostspieliger ist und meist auch nicht Wasserstoff in der Reinheit liefern kann, wie es die Elektrolyse kann.

Sonstige Lehrerinformationen (1/2)

PHYWE

Vorwissen



Die Schüler sollten mit dem Prinzip der Elektrolyse vertraut sein.

Prinzip



Wirkungsgrade beschreiben die Effizienz eines Vorganges unter bestimmten Aspekten. Im ersten Versuchsteil wird dazu der energetische Wirkungsgrad bestimmt. Er ist das Verhältnis zwischen nutzbarer und dafür aufgebrachter Energie. Danach wird der faradaysche Wirkungsgrad untersucht, welcher das Verhältnis zwischen der real erzeugten Gasmenge und dem theoretisch errechneten Wert ist.

Sonstige Lehrerinformationen (2/2)

PHYWE

Lernziel



Die Schüler lernen das Prinzip des faradayischen und energetischen Effizients kennen.

Aufgaben



Nutze den Elektrolyseur, um die faradaysche und energetische Effizienz zu bestimmen.

Sicherheitshinweise

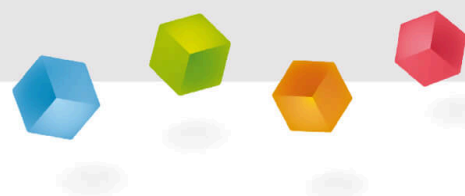
PHYWE



- Schutzbrille tragen.
- Beachten Sie für die H- und P-Sätze bitte die zugehörigen Sicherheitsdatenblätter.
- Für diesen Versuch gelten die allgemeinen Hinweise zum sicheren Experimentieren im naturwissenschaftlichen

PHYWE

Schülerinformationen



Motivation

PHYWE

Neben dem PEM Elektrolyseur gibt es auch noch diverse andere Arten der Elektrolyse. Üblich für die Trennung von Wasser sind auch die alkalische Elektrolyse und die Hochtemperaturelektrolyse. Gerade mit der letzteren lassen sich sogar deutlich bessere Wirkungsgrade erzielen als mit dem PEM Elektrolyseur. Dafür werden aber Temperaturen von über 800°C benötigt. Alkalische Elektrolyse erreichen ähnliche Werte für den Wirkungsgrad, jedoch wird dafür eine Kalilauge benötigt. Trotz der Kosten oder der Bedingungen, die für die Elektrolyse benötigt werden, werden in erster Linie die drei genannten Varianten verwendet, da zum Beispiel die chemische oder biologische Herstellung von Wasserstoff deutlich schwieriger und kostspieliger ist und meist auch nicht Wasserstoff in der Reinheit liefern kann, wie es die Elektrolyse kann.



E-Auto an der Ladestation

Material

Position	Material	Menge
1	PHYWE Hafttafel mit Gestell, Demo Physik	1
2	Verbindungsleitung, 32 A, 250 mm, gelb Experimentierkabel, 4 mm Stecker	1
3	Verbindungsleitung, 32 A, 250 mm, blau Experimentierkabel, 4 mm Stecker	1
4	Verbindungsleitung, 32 A, 750 mm, rot Experimentierkabel, 4 mm Stecker	1
5	Verbindungsleitung, 32 A, 750 mm, blau Experimentierkabel, 4 mm Stecker	1
6	Leitungs-Baustein, winklig, DB	2
7	Leitungs-Baustein, Anschlussbaustein, DB	2
8	Doppel PEM Elektrolyseur, DB	1
9	Gasspeicher auf Magnetplatte, incl. Klemmen und Schlauch	2
10	Baustein mit Magnetplatte, DB	2
11	Metallwinkel für Baustein mit Magnetplatte	2
12	PHYWE Netzgerät, universal, RiSU 2019 DC: 0...18 V, 0...5 A / AC: 2/4/6/8/10/12/15 V, 5 A	1
13	Tauchfühler, NiCr-Ni, Edelstahl, -50...400°C	1
14	PHYWE Demo-Multimeter ADM 3: Strom, Spannung, Widerstand, Temperatur	2

Aufbau (1/3)

PHYWE

- Den Stromkreis für den Elektrolyseur nach Abb. 1 aufbauen.
- Das Netzgerät ist ausgeschaltet.
- Auf die Polung des PEM Elektrolyseurs achten.
- Die beiden Gasspeicher rechts und links neben den Stromkreis setzen und mit dem PEM Elektrolyseur über die Silikonschläuche verbinden (Abb. 2).

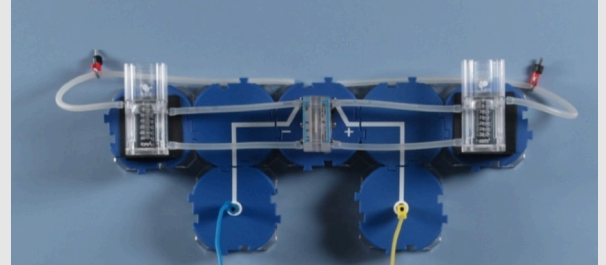


Abb. 1: Versuchsaufbau

Aufbau (2/3)

PHYWE

- An das jeweils freie Ende beider Gasspeicher einen weiteren Siliconschlauch anbringen und mit einer Schlauchklemme verschließen.
- Gasspeicher bis knapp unter die obere Markierung mit destilliertem Wasser füllen (Abb. 3).
- Schläuche nach oben halten und Schlauchklemmen öffnen, sodass das Wasser in den unteren Teil der Gasbehälter fließt.
- Die Schlauchklemmen schließen.

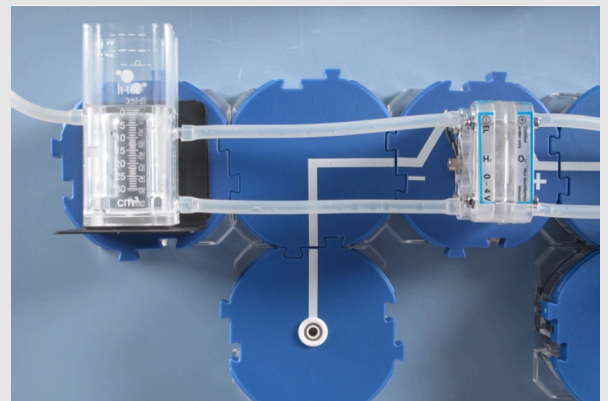


Abb. 2: Gasspeicher verbinden

Aufbau (3/3)

PHYWE

- Zwischen Netzgerät und Elektrolyseur ein ADM3 in Reihe schalten.
- Das andere ADM3 parallel zum Elektrolyseur schalten, um die abfallende Spannung zu messen.

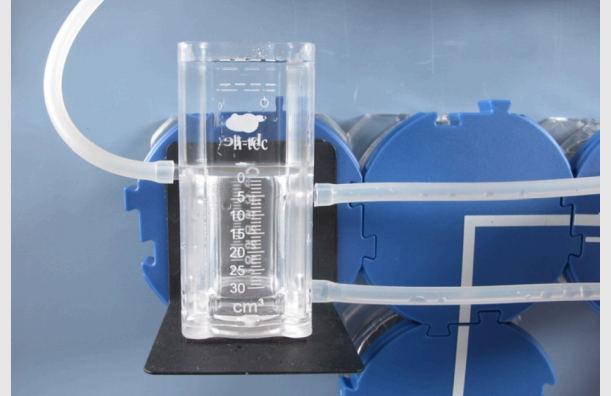


Abb. 3: Gasspeicher füllen

Durchführung (1/2)

PHYWE

Bestimmung energetischer und faradayscher Wirkungsgrad

- Die Gasmengen in den beiden Gasspeichern zu Beginn des Versuches ablesen und notieren.
- Am Netzgerät die Spannung auf 0 V und die Strombegrenzung auf 2 A einstellen.
- Das Netzgerät einschalten.
- Zeitmessung starten und zügig die Spannung auf 4 V einstellen.
- Etwa 10 Sekunden warten und die stabilen Strom- und Spannungswerte notieren.
- Wenn der Wasserstoffspeicher auf der negativen Seite des Elektrolyseurs die 30 cm³ Marke erreicht, dann die Spannung wieder auf 0 V stellen und die Zeitmessung beenden.

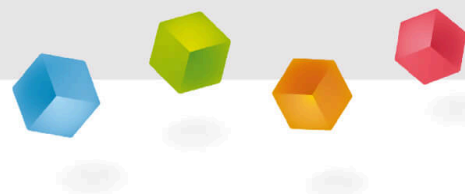
Durchführung (2/2)

PHYWE

- Zur Bestimmung der erzeugten Gasmenge müssen eventuelle Gasmenge, die bei Beginn des Experiments bereits im Gasspeicher vorhanden waren, von den 30 cm^3 abgezogen werden.
- Netzgerät ausschalten.
- Schlauchklemmen öffnen, damit das Wasser zurück in die Gasspeicher gelangt.
- Schlauchklemmen wieder schließen.

PHYWE

Protokoll



Auswertung (1/6)

PHYWE

Versuchsteil 1: Energetischer Wirkungsgrad

Da die Strom- und Spannungswerte während des Experiments einigermaßen konstant sind, lässt sich die elektrische Arbeit durch eine Multiplikation der Stromstärke, Spannung und Zeit (zur Erzeugung von 30 cm³ Wasserstoff) bestimmen.

Der energetische Wirkungsgrad η_E ist das Verhältnis von nutzbarer zu zugeführter Energie. Die nutzbare Energie wird mit Hilfe des Brennwertes von Wasserstoff berechnet.

$$\eta_E = \frac{E_{ab}}{E_{zu}} = \frac{V_{H_2} \cdot H_{H_2}}{E_{el}}$$

Auswertung (2/6)

PHYWE

- η_E = energetischer Wirkungsgrad
- E_{ab} = abgeführte Energie bzw. Nutzenergie
- E_{zu} = zugeführte Energie
- E_{el} = elektrische Energie
- V_{H_2} = erzeugtes Wasserstoffgasvolumen
- H_{H_2} = Brennwert des Wasserstoffs = $12,745 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$

Der sich aus der Berechnung ergebende energetische Wirkungsgrad des Elektrolyseurs beschreibt den Anteil der zugeführten Energie, welche im Wasserstoffgas gespeichert wird.

Auswertung (3/6)

PHYWE

Versuchsteil 2: Faradayscher Wirkungsgrad

Mit der gemessenen der Stromstärke und der Zeit, die benötigt wird, um den Wasserstoffgasspeicher mit 30 cm^3 Gas zu füllen, lässt sich der faradaysche Wirkungsgrad bestimmen.

Der faradaysche Wirkungsgrad beschreibt das Verhältnis aus der erzeugten Gasmenge und der theoretisch möglichen Gasmenge, die mit der zugeführten Energie erzeugbar wäre. Aus dem zweiten faradayschen Gesetz: $Q = I \cdot t = n \cdot z \cdot F$, sowie der allgemeinen Zustandsgleichung für Gase: $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$ lässt sich folgern:

$$n = \frac{I \cdot t}{z \cdot F} \quad V = \frac{n \cdot R \cdot T}{p}$$

Setzt man den Term für n in die zweite Formel für V ein, kann man das theoretisch erzeugte Gasvolumen mit folgender Formel errechnen:

Auswertung (4/6)

PHYWE

$$V_{\text{theoretisch}} = \frac{2 \cdot I \cdot t \cdot R \cdot T}{z \cdot F \cdot p} =$$

Dabei ist zu beachten, dass der PEM Doppel­elektrolyseur aus zwei in Reihe geschalteten Elektrolysezellen besteht, sodass der Strom in jeder Zelle gleich ist und das errechnete Gasvolumen in jeder Zelle entsteht, wodurch der Faktor zwei zu erklären ist. Ferner gilt:

- Q = elektrische Ladung
- V_{theo} = theoretisch erzeugtes Gasvolumen
- I = mittlere Stromstärke
- T = Umgebungstemperatur ($25 \text{ °C} = 298,15 \text{ K}$)
- t = Zeit

Auswertung (5/6)

PHYWE

- $R = \text{universelle Gaskonstante} = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
- $F = \text{Faradaykonstante} = 96485 \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{mol}}$
- $p = \text{Umgebungsdruck in Pa (Normaldruck} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa bei } T = 25^\circ\text{C)}$
- $z = \text{Anzahl der benötigten Elektronen, um ein Molekül abzuscheiden } (Z_{H_2} = 2)$

Wird das erzeugte Volumen mit dem errechneten theoretischen Volumen ins Verhältnis gesetzt, erhält man mit folgender Formel den Farady'schen Wirkungsgrad η_{Faraday} :

$$\eta_{\text{Faraday}} = \frac{V_{H_2(\text{erzeugt})}}{V_{H_2(\text{theoretisch})}}$$

Auswertung (6/6)

PHYWE

Der faradaysche Wirkungsgrad ist deutlich größer als der energetische, weil dort lediglich Verluste bei der direkten Umwandlung durch Diffusion berücksichtigt werden. Das heißt, ein kleiner Teil der Gase diffundiert durch die Membran des Elektrolyseurs wo sie am Katalysator wieder zu Wasser reagieren. Dieser kleine Teil des erzeugten Gases der direkt wieder zu Wasser umgesetzt wird, kann nicht aus der Zelle austreten.

Beim energetischen Wirkungsgrad spielen zusätzlich Verluste durch die elektrodenspezifischen Überspannungen und den Innenwiderstand der Elektrolysezelle eine Rolle.