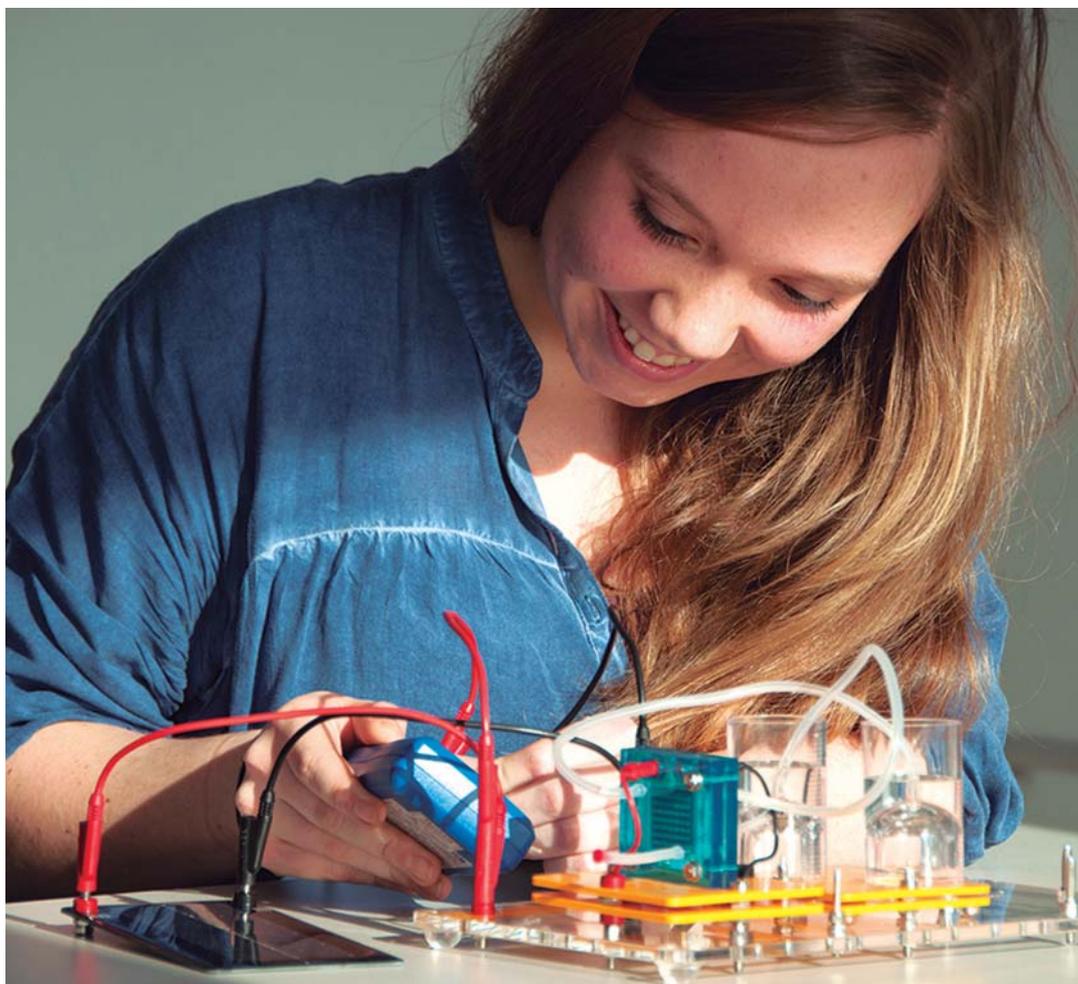
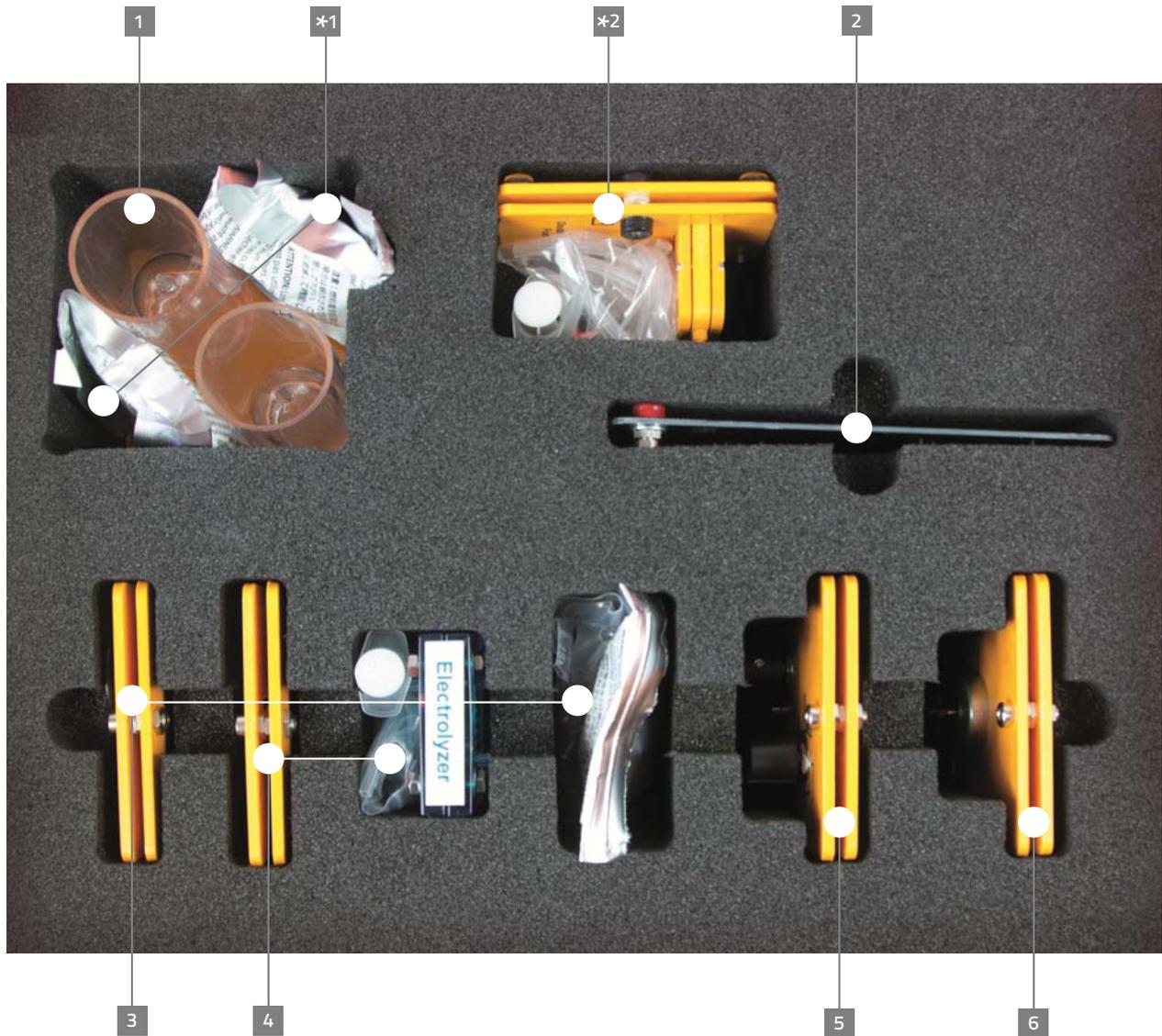


# leXsolar-H<sub>2</sub> Large



Lehrerheft

Layout diagram leXsolar-H<sub>2</sub> Large 2.0  
 Item-No.1218  
 Bestückungsplan leXsolar-H<sub>2</sub> Large 2.0  
 Art.-Nr.1218



- 1** 1213-01 Gas storage module  
1213-01 Gasspeichermodul
- 2** 1100-31 Solar panel 2.5 V, 420 mA  
1100-31 Solarmodul 2.5 V, 420 mA
- 3** 1218-02 PEM-Fuel cell module  
1218-02 PEM-Brennstoffzellenmodul
- 4** 1218-03 Electrolyzer module 2.0  
1218-03 Elektrolyseurmodul 2.0
- 5** 1100-23 Potentiometer module  
1100-23 Potentiometermodul
- 6** 1100-27 Motor module with  
L2-02-017 Yellow propeller  
1100-27 Motormodul ohne Getriebe mit  
L2-02-017 Luftschaube (Propeller) gelb

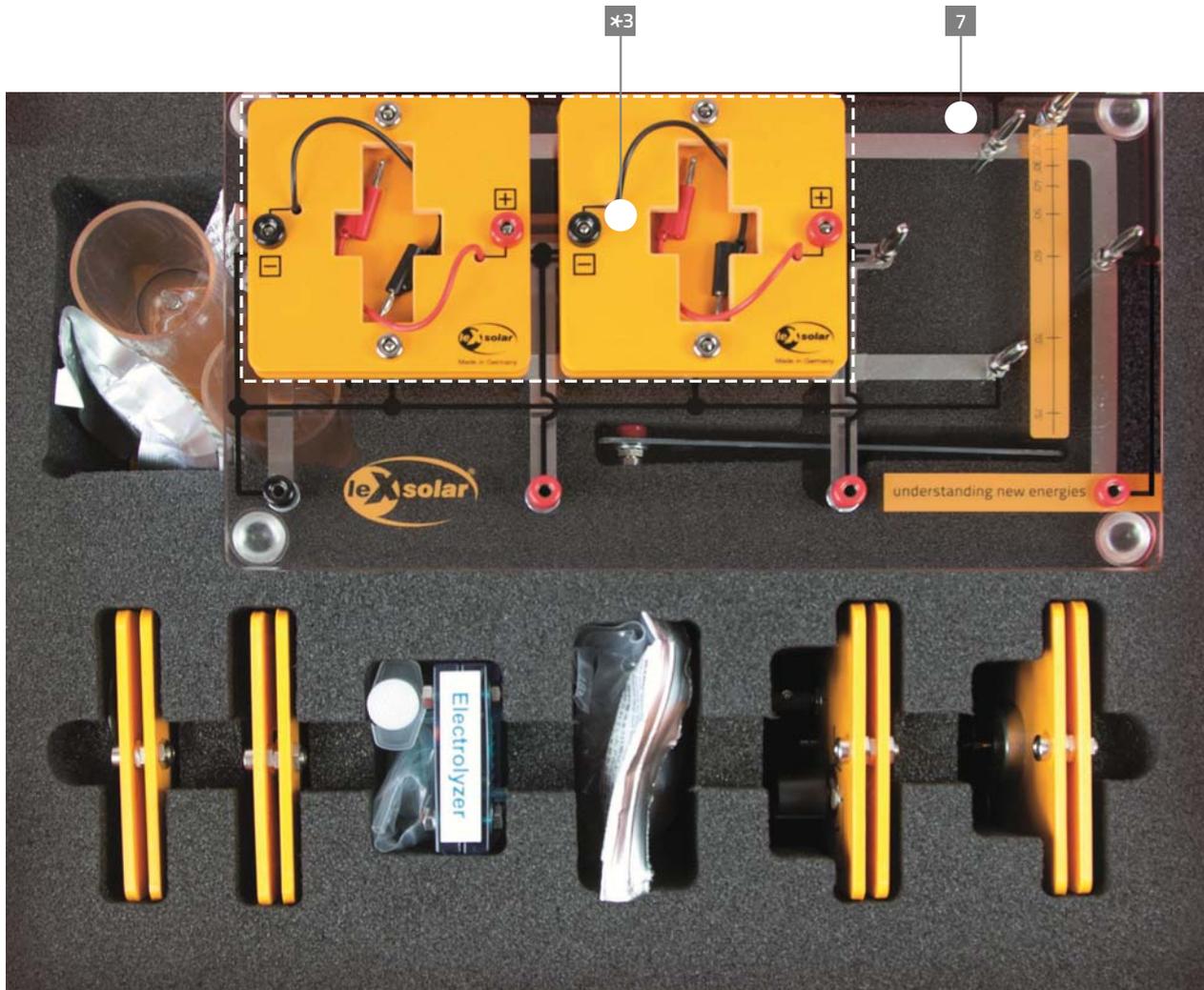
Optional expansions  
 Optionale Erweiterungen

- \*1** 2x1218-02 PEM-Fuel cell module with **\*3**  
2x1218-02 PEM-Brennstoffzellenmodul mit **\*3**
- \*2** 1700-01 Ethanol fuel cell module  
1700-01 Ethanol-Brennstoffzellenmodul

Version number  
 Versionsnummer

L3-03-164\_16.03.2017

Layout diagram leXsolar-H<sub>2</sub> Large 2.0  
 Item-No.1218  
 Bestückungsplan leXsolar-H<sub>2</sub> Large 2.0  
 Art.-Nr.1218



7 1100-19 Base unit large  
 1100-19 Grundeinheit groß

Optional expansions  
 Optionale Erweiterungen

x3 2x1218-02 PEM-Fuel cell module with x1  
 2x1218-02 PEM-Brennstoffzellenmodul mit x1

# leXsolar-H<sub>2</sub> Large

## Lehrerheft

### I EINFÜHRUNG

1	Bezeichnungen der Bauteile .....	5
	Mögliche Erweiterungen: .....	7
2	Hinweise zur Handhabung .....	8
	2.1. <i>Betrieb des Elektrolyseurs</i> .....	8
	2.2. <i>Betrieb der PEM-Brennstoffzelle</i> .....	10
	2.3. <i>Betrieb H<sub>2</sub>-Charger und H<sub>2</sub>-Storage (erhältlich als Erweiterung)</i> .....	11

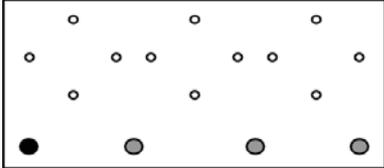
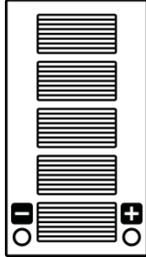
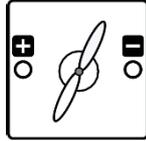
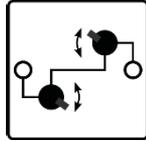
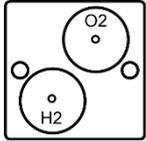
### II EXPERIMENTE

1.	Kennlinie des Solarmoduls .....	15
2.1	Eigenschaften eines Elektrolyseurs .....	17
2.2	Kennlinie des Elektrolyseurs .....	18
2.3	FARADAY- und Energiewirkungsgrad des Elektrolyseurs .....	20
2.4	Herleitung des 1. FARADAYschen Gesetzes .....	22
3.1	Eigenschaften einer PEM-Brennstoffzelle .....	25
3.2	Kennlinie der PEM-Brennstoffzelle .....	27
3.3	FARADAY- und Energiewirkungsgrad der PEM-Brennstoffzelle .....	30
3.4*	Reihen- und Parallelschaltung von PEM-Brennstoffzellen .....	32
4.1**	Funktionsweise einer Ethanol-Brennstoffzelle .....	35
4.2**	Kennlinie einer Ethanol-Brennstoffzelle .....	37
4.3**	Temperaturabhängigkeit der Leistung einer Ethanol-Brennstoffzelle .....	39
4.4**	Konzentrationsabhängigkeit der Leistung einer Ethanol-Brennstoffzelle .....	41

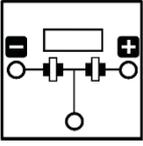
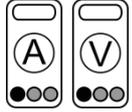
\* Dieser Versuch ist nur möglich mit zusätzlichen 2 x 1218-02 PEM-Brennstoffzellenmodulen

\*\* Diese Versuche sind nur möglich mit der Erweiterung 1700-01 Ethanol-Brennstoffzellenmodul

# 1 Bezeichnungen der Bauteile

Grundausrüstung von leXsolar-H <sub>2</sub> Large		
Bauteil	Bezeichnung	Symbol im Versuchsaufbau
	Grundeinheit	
	Solarmodul (2.5V, 420mA)	
	Motormodul ohne Getriebe	
	Potentiometermodul	
	Gasspeichermodul	

### Mögliche Erweiterungen:

	Ethanol-Brennstoffzellenmodul	
	H <sub>2</sub> -Charger	
	H <sub>2</sub> -Storage	
	Stromversorgungsgerät	
	Messgeräte und Kabel	
	Lampe	

## 2 Hinweise zur Handhabung

Bei der Durchführung der Experimente mit leXsolar-H<sub>2</sub> Large sind einige Hinweise zum Umgang mit Geräten und Bauteilen zu beachten.

### 2.1. Betrieb des Elektrolyseurs

#### Spezifikationen:

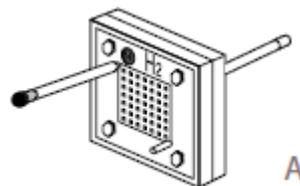
- Eingangsspannung: 1.8V ~ 3V (D.C.)
- Eingangsstrom: 0.7A
- Wasserstoffproduktionsrate: 7ml pro Minute bei 1A
- Sauerstoffproduktionsrate: 3,5ml pro Minute bei 1A

#### Wichtige Hinweise zur Handhabung:

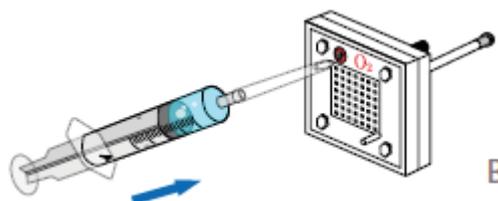
- Der Elektrolyseur sollte bei Nichtbenutzung in einem luftdichten Plastik-Beutel gelagert werden, um ihn vor Austrocknung zu schützen
- Positiver und negativer Pol des Elektrolyseurs sollten stets korrekt mit der Spannungsquelle verbunden werden, um Schäden am Elektrolyseur zu vermeiden.
- Die Membranen des Elektrolyseurs sollten nur im feuchten Zustand betrieben werden. Das destillierte Wasser muss stets auf der O<sub>2</sub>-Seite eingefüllt werden und anschließend etwa 3min einwirken. Wenn der Elektrolyseur im trockenen Zustand an eine Spannungsquelle oder das Solarmodul angeschlossen wird, kann es zu irreparablen Beschädigungen kommen.

#### Gebrauchsanweisung:

1. Zum Betrieb des Elektrolyseurs sollte dieser auf einer flachen Oberfläche aufgestellt werden. Das kurze Schlauchstück wird an dem oberen Anschluss der H<sub>2</sub>-Seite (schwarzer Anschluss) angebracht (A) und mit dem schwarzen Pin verschlossen.



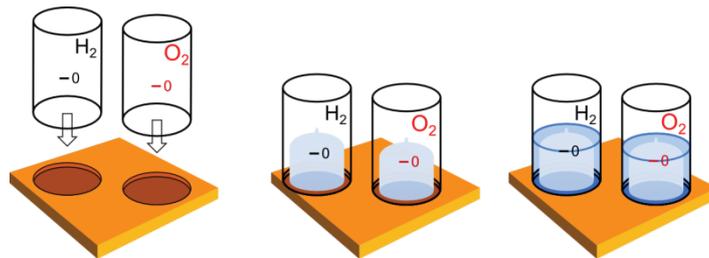
2. Nun wird die Spritze mit destilliertem Wasser befüllt und ein kurzes Schlauchstück auf die Spritze aufgesteckt. Das andere Ende des Schlauches wird mit dem oberen Anschluss auf der O<sub>2</sub>-Seite (roter Anschluss) verbunden (B).



## Hinweise zur Handhabung

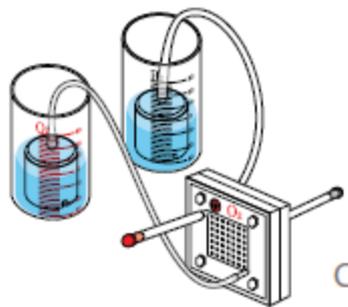
Nun wird mit Hilfe der Spritze langsam Wasser in den Elektrolyseur gepumpt, bis dieses am unteren Anschluss austritt. Die Spritze kann dann vom Schlauch abgezogen werden und das Schlauchende wird mit dem roten Pin verschlossen. Der Elektrolyseur sollte nun für 3min ruhend stehen.

3. Anschließend werden die zugehörigen Gastanks bis zur Nullmarkierung mit destilliertem Wasser aufgefüllt.



4. Je ein Gasvorratsbehälter („Glocke“) wird auf den Halterungsring am Boden des Wasserbehälters aufgesteckt, sodass die Kerben am unteren Ende der Gasbehälter innerhalb der Unterbrechungen in den Halterungsringen liegen. Überschüssiges Wasser kann anschließend mit der Spritze abgesaugt werden.

5. Anschließend werden die Gasbehälter mit Hilfe der Schläuche mit den unteren Anschlüssen des Elektrolyseurs verbunden. Der Anschluss auf der schwarzen  $H_2$ -Seite wird mit dem  $H_2$ -Gasbehälter verbunden und analog verhält es sich für den  $O_2$ -Anschluss (C).



6. Der Elektrolyseur wird anschließend auf die Modulplatte aufgebracht und mit den jeweiligen Kabeln verbunden (rotes Kabel auf  $O_2$ -Seite, schwarzes Kabel auf  $H_2$ -Seite).

7. Das Grundmodul kann nun an das Solarmodul oder eine externe Spannungsquelle angeschlossen werden, um den Elektrolyse-Vorgang zu starten.

**HINWEIS:** Wenn das Wasserstoff-Gas später für einen Brennstoffzellenversuch verwendet werden soll, empfiehlt es sich, eine Schlauchklemme an das Schlauchstück zwischen  $H_2$ -Seite des Elektrolyseurs und den  $H_2$ -Gasbehälter anzubringen. Diese kann nach der Gasproduktion geschlossen werden, damit beim Umstecken des Schlauches an die Brennstoffzelle kein Gas entweichen kann.

## Hinweise zur Handhabung

### 2.2. Betrieb der PEM-Brennstoffzelle

#### Spezifikationen:

- Ausgangsleistung: 270mW
- Ausgangsspannung: 0,6V (DC)
- Ausgangsstromstärke: 0,45A

#### Wichtige Hinweise zur Handhabung:

- Die Brennstoffzelle sollte bei Nichtbenutzung in einem luftdichten Plastik-Beutel gelagert werden, um sie vor Austrocknung zu schützen.

#### Gebrauchsanweisung:

1. Um die PEM-Brennstoffzelle in Betrieb zu nehmen, ist Wasserstoff notwendig. Dieser kann aus dem Gasspeicher oder dem H<sub>2</sub> Storage entnommen werden.
2. Wird Wasserstoff aus dem Gasspeicher entnommen, muss zunächst die Schlauchsperrung geschlossen werden, um ein Entweichen des Wasserstoffs zu verhindern.
3. Der Schlauch vom H<sub>2</sub>-Gasspeicher wird anschließend mit dem unteren Anschluss an der Brennstoffzelle verbunden. Die O<sub>2</sub>-Zufuhr wird beim verwendeten Modell durch die Umgebungsluft gewährleistet.
4. Der obere Anschluss an der Brennstoffzelle wird mit einem kurzen Schlauchstück und einem Pin verschlossen.
5. Die Brennstoffzelle wird anschließend auf der Modulplatte in die passende Aussparung gesteckt und mit den Kabeln elektrisch verbunden. Dabei ist auf die richtige Polarität zu achten (rotes Kabel an roten Anschluss, analog schwarzes Kabel an schwarzen Anschluss).
6. Nun kann ein elektrischer Verbraucher an die Modulplatte angeschlossen werden (Polarität beachten!).
7. Mit Öffnen der Schlauchsperrung wird die Wasserstoffzufuhr gestartet und das Experiment kann starten.

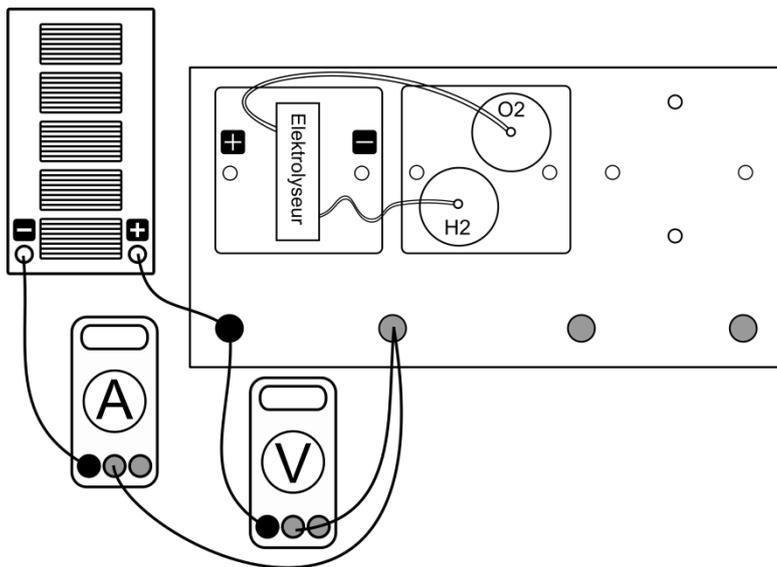
**HINWEIS:** Bei quantitativen Versuchen, wie zum Beispiel die Aufnahme einer Kennlinie empfiehlt es sich, die Brennstoffzelle kurz mit Wasserstoff zu spülen. Dazu wird die Wasserstoffzufuhr gestartet (Öffnen der Schlauchsperrung oder Öffnen des Ventils bei Verwendung des H<sub>2</sub>-Storage) und der Pin am kurzen Schlauchende wird für 1-2 Sekunden kurz entfernt und gleich wieder aufgesteckt.

## 2.3 FARADAY- und Energiewirkungsgrad des Elektrolyseurs

### Aufgabe

Ermittle den FARADAY- und Energiewirkungsgrad des Elektrolyseurs.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Elektrolyseurmodul
- Solarmodul
- Spannungsmessgerät
- Strommessgerät
- Schläuche
- Gasspeichermodul
- Kabel
- Stoppuhr
- Destilliertes Wasser
- Lampe

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Positioniere die Lampe vor dem Solarmodul (Abstand 30cm). Hinweise zum Gebrauch des Elektrolyseurmoduls findest du auf Seite 8.
2. Schalte die Lampe ein.
  1. Miss Stromstärke und Spannung während des Elektrolysevorgangs.
  2. Lies nach 5min das produzierte Volumen an Wasserstoff ab und notiere deine Werte in der Tabelle.

### Messwerte

$$t = 300s$$

$$U = 1,7V$$

$$I = 53mA$$

$$V_{H_2} = 2ml$$

### Auswertung

1. Berechne den FARADAY-Wirkungsgrad des Elektrolyseurs.
2. Berechne den Energiewirkungsgrad des Elektrolyseurs.



## 2.3 FARADAY- und Energiewirkungsgrad des Elektrolyseurs

### Auswertung

1. Der FARADAY-Wirkungsgrad wird mit Hilfe folgender Formel berechnet:

$$\eta = V_{\text{H}_2} / V_{\text{H}_2\text{theoretisch}}$$

$$V_{\text{H}_2\text{theoretisch}} = I \cdot t \cdot V_m / Q_m$$

$V_m = 24 \text{ l mol}^{-1}$  (molares Volumen  $\text{H}_2$  bei 20 °C, Normaldruck)

$Q_m = 192\,968 \text{ C mol}^{-1}$  (stoffbezogene Ladung)

Lsg.:  $\eta = V_{\text{H}_2} / V_{\text{H}_2\text{theoretisch}}$

$$\begin{aligned} V_{\text{H}_2\text{theoretisch}} &= I \cdot t \cdot V_m / Q_m \\ &= 53\text{mA} \cdot 300\text{s} \cdot 24 \text{ l mol}^{-1} / 192\,968 \text{ C mol}^{-1} \\ &= 1,98\text{ml} \end{aligned}$$

$$V_{\text{H}_2} = 2\text{ml}$$

$$\begin{aligned} \eta &= 2\text{ml} / 1,98\text{ml} \\ &\approx 1 \end{aligned}$$

2. Der Energiewirkungsgrad wird mit Hilfe folgender Formel berechnet:

$$\eta = H_{0\text{H}_2} \cdot V_{\text{H}_2} / U \cdot I \cdot t$$

$H_{0\text{H}_2} = 11920 \text{ kJ m}^{-3}$ .

Lsg.:  $\eta = \text{Energiegehalt Wasserstoff} / \text{elektrische Energie}$

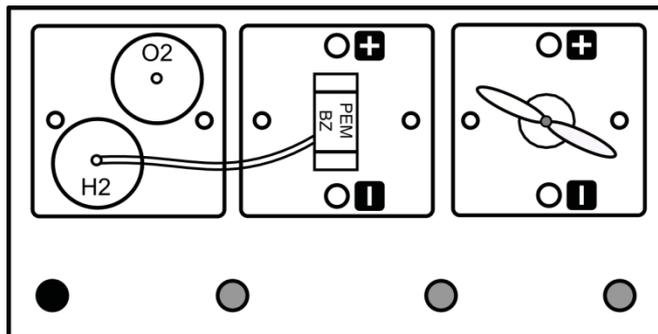
$$\begin{aligned} \eta &= H_{0\text{H}_2} \cdot V_{\text{H}_2} / U \cdot I \cdot t \\ &= 11920 \text{ kJ m}^{-3} \cdot 2 \text{ ml} / 1,7 \text{ V} \cdot 53 \text{ mA} \cdot 300 \text{ s} \\ &= 0,88 \end{aligned}$$

## 3.1 Eigenschaften einer PEM-Brennstoffzelle

### Aufgabe

Treibe einen Motor mit Hilfe einer PEM-Brennstoffzelle an.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- PEM-Brennstoffzelle
- Schläuche
- Motor-Modul
- Gasspeicher (gefüllt), alternativ H<sub>2</sub>Storage

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Der Gasspeicher muss vor dem Versuch gefüllt werden. Hinweise hierzu findest du im Experiment „Eigenschaften eines Elektrolyseurs“ oder auf Seite 8. Alternativ kann statt den Gasspeichern ein H<sub>2</sub>-Storage verwendet werden.
2. Beobachte den Motor und den H<sub>2</sub>-Verbrauch im Gasspeicher. Notiere deine Beobachtungen.
3. Entferne nun die Schläuche von der Brennstoffzelle und beobachte, was passiert.

### Beobachtung

Wenn der Brennstoffzelle Wasserstoff zugeführt wird, beginnt der Motor, sich zu drehen. Die Brennstoffzelle produziert Strom. Das Gas im Behälter wird langsam verbraucht. Werden die Schläuche von der Brennstoffzelle entfernt, wird der Motor langsamer und hört schließlich auf, sich zu drehen.

### Auswertung

1. Welche Energieumwandlungen finden in dem Experiment statt?
2. Warum ist an der Brennstoffzelle nur ein Wasserstoffanschluss vorhanden, wohingegen für die Erzeugung von Strom Wasserstoff und Sauerstoff benötigt wird?
3. Wohin „verschwindet“ das Gas aus dem Gasbehälter?

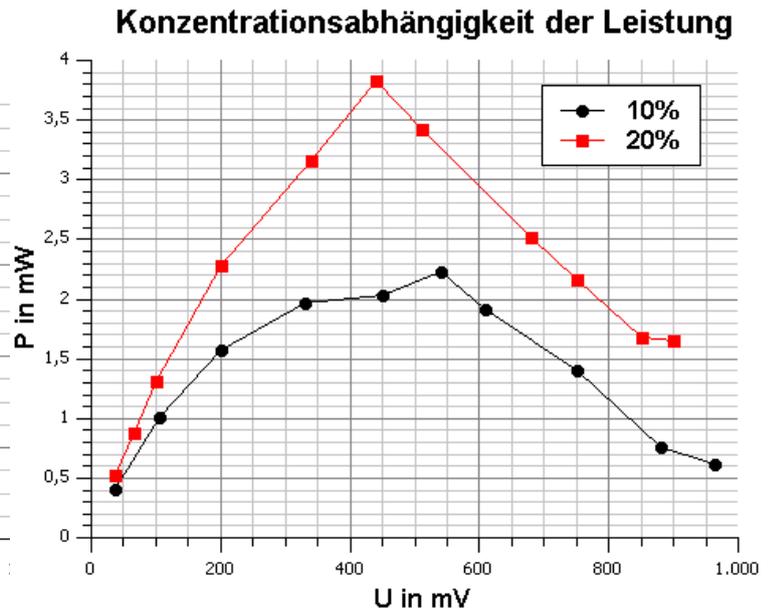
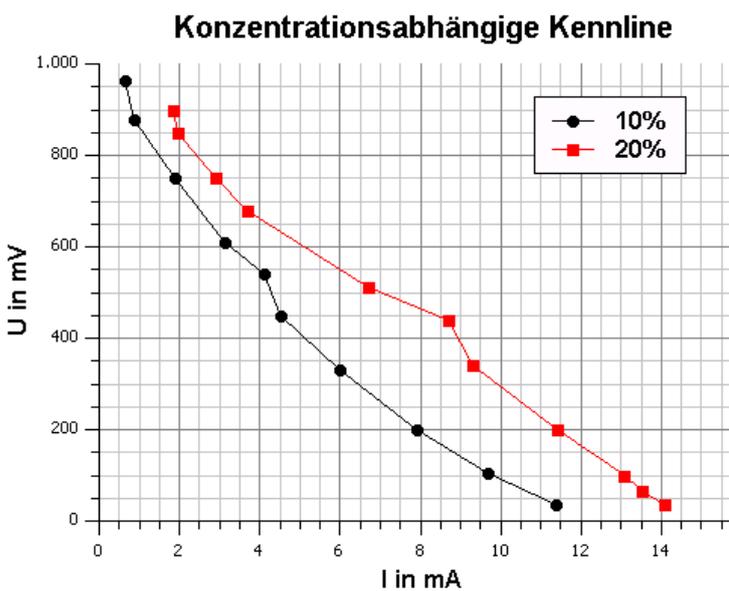


## 4.4 Konzentrationsabhängigkeit der Leistung einer Ethanol-Brennstoffzelle

### Auswertung

1. Berechne für alle Messpunkte die Leistung der Brennstoffzelle und trage deine Werte in die Tabelle ein.
2. Trage deine Messwerte in die abgebildeten Diagramme ein.
3. Was können die Kurven interpretiert werden?

### Diagramme



### Auswertung

3.

Es ist erkennbar, dass bei höherer Konzentration auch die Leistung ansteigt. Das liegt daran, dass bei einer höheren Konzentration mehr Ethanolmoleküle vorhanden sind und somit ein erhöhter Elektronenfluss zustande kommt. Die Lage des Leistungsmaximums scheint allerdings immer bei der gleichen Spannung zu liegen (ca. 450V). Dieses Wissen ist wichtig für die technische Anwendung der Brennstoffzelle. Bei gleicher Spannung hat die 20%-ige Lösung eine höhere Stromstärke als die 10%-ige Lösung. Das ist damit zu erklären, dass die Stromstärke als Anzahl der Ladungsträger auf einem bestimmten Querschnitt pro Zeiteinheit definiert ist. Bei einer höheren Ethanolkonzentration sind auch mehr Elektronen vorhanden, somit steigt die Stromstärke an.

leXsolar GmbH  
Strehleener Straße 12-14  
01069 Dresden / Germany

Telefon: +49 (0) 351 - 47 96 56 0  
Fax: +49 (0) 351 - 47 96 56 - 111  
E-Mail: [info@lexsolar.de](mailto:info@lexsolar.de)  
Web: [www.lexsolar.de](http://www.lexsolar.de)