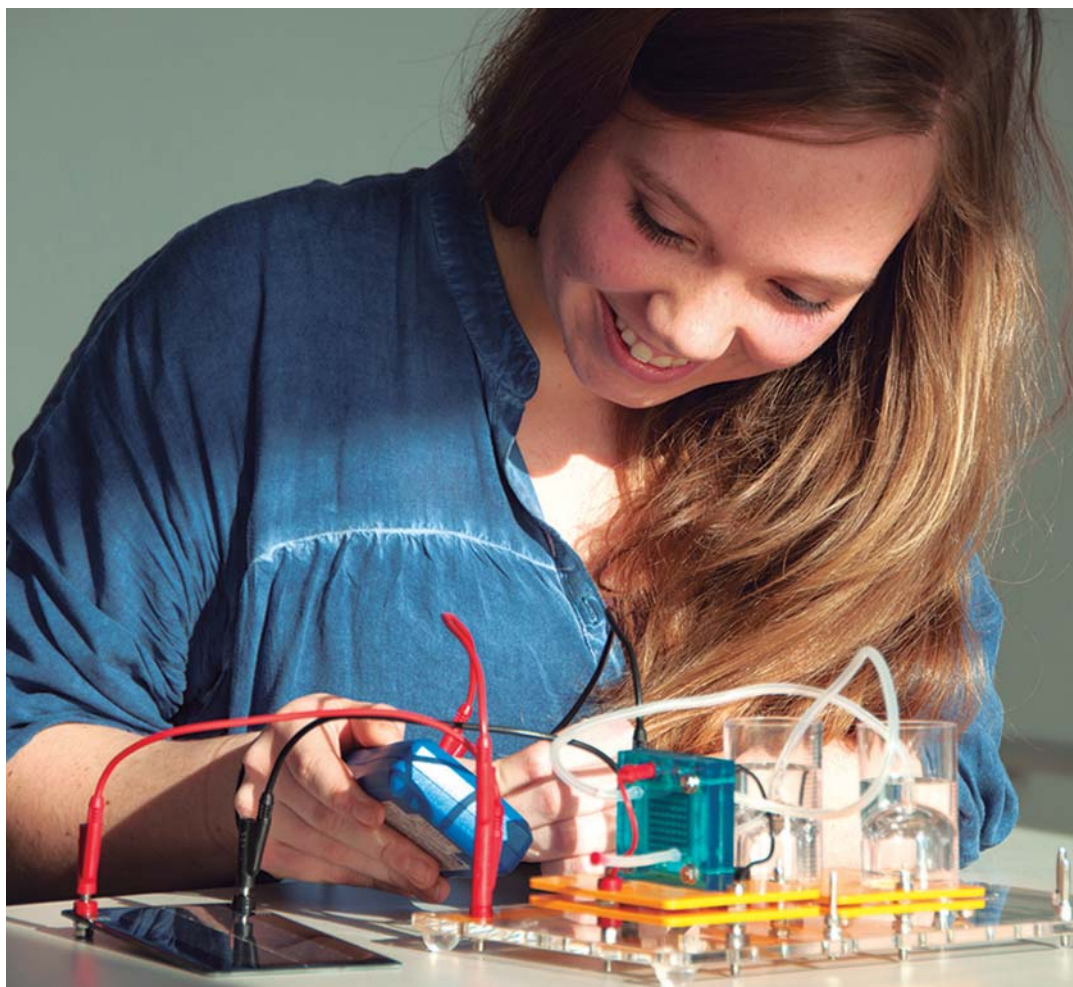


# leXsolar-H<sub>2</sub> Ready-to-go



Lehrerheft

# leXsolar-H<sub>2</sub> Ready-to-go

## Lehrerheft


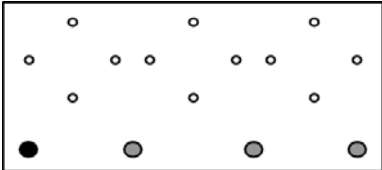

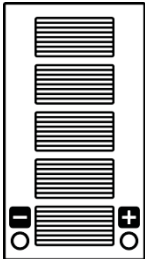
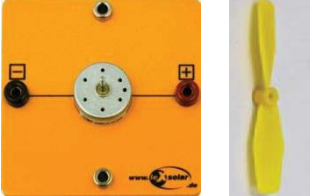


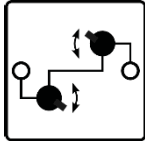

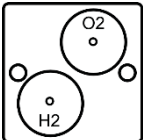
### I EINFÜHRUNG



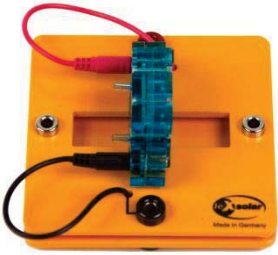
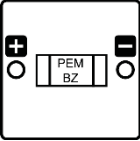

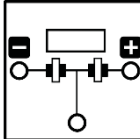
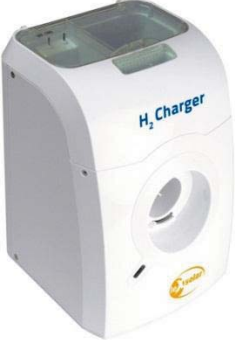


1	Bezeichnungen der Bauteile .....	5
2	Hinweise zur Handhabung .....	8
	2.1. <i>Betrieb des Elektrolyseurs</i> .....	8
	2.2. <i>Betrieb der PEM-Brennstoffzelle</i> .....	10
	2.3. <i>Betrieb H<sub>2</sub>-Charger und H<sub>2</sub>-Storage</i> .....	11

### 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

# 1 Bezeichnungen der Bauteile

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

	<p>Elektrolyseurmodul</p>	
	<p>PEM-Brennstoffzellenmodul</p>	
	<p>Ethanol-Brennstoffzellenmodul</p>	
	<p>H<sub>2</sub>-Charger</p>	
	<p>H<sub>2</sub>-Storage</p>	
	<p>Stromversorgungsgerät</p>	

	<p>Messgeräte und Kabel</p>	
	<p>Lampe</p>	

## 2 Hinweise zur Handhabung

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

### 2.1. Betrieb des Elektrolyseurs

#### Spezifikationen:

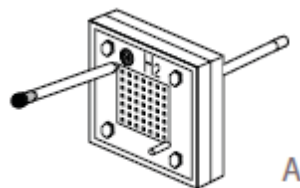
- Eingangsspannung: 1.8V ~ 3V (D.C.)
- Eingangsstrom: 0.7A
- Wasserstoffproduktionsrate: 7ml pro Minute bei 1A
- Sauerstoffproduktionsrate: 3,5ml pro Minute bei 1A

#### Wichtige Hinweise zur Handhabung:

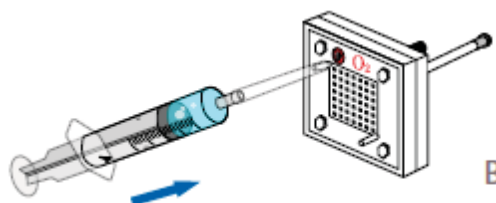
- Der Elektrolyseur sollte bei Nichtbenutzung in einem luftdichten Plastik-Beutel gelagert werden, um ihn vor Austrocknung zu schützen
- Positiver und negativer Pol des Elektrolyseurs sollten stets korrekt mit der Spannungsquelle verbunden werden, um Schäden am Elektrolyseur zu vermeiden.
- Die Membranen 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).

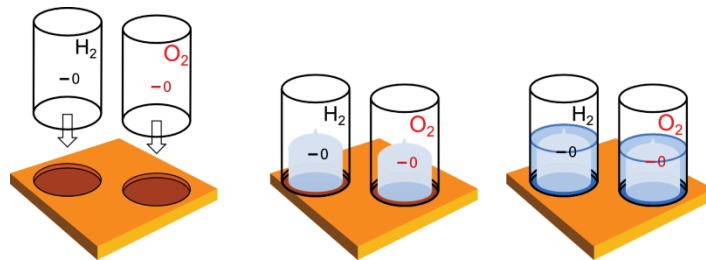




## Hinweise zur Handhabung

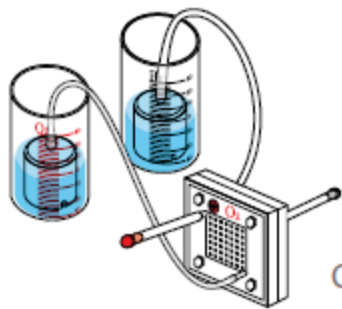
Nun wird mit Hilfe der Spritze langsam Wasser in den Elektrolyseur gepumpt, bis dieses am unteren Anschluss austritt. Die Spritze kann dann vom Schlauch abgezogen werden und das Schlauchende wird mit dem roten Pin verschlossen. Der Elektrolyseur sollte nun für 3min ruhend stehen.

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<sub>2</sub>-Seite wird mit dem H<sub>2</sub>-Gasbehälter verbunden und analog verhält es sich für den O<sub>2</sub>-Anschluss (C).



6. Der Elektrolyseur wird anschließend auf die Modulplatte aufgebracht und mit den jeweiligen Kabeln verbunden (rotes Kabel auf O<sub>2</sub>-Seite, schwarzes Kabel auf H<sub>2</sub>-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<sub>2</sub>-Seite des Elektrolyseurs und den H<sub>2</sub>-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.

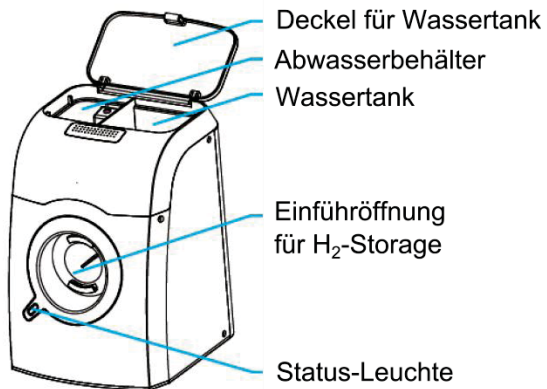
**HINWEIS:** Bei quantitativen Versuchen, wie zum Beispiel die Aufnahme einer Kennlinie empfiehlt es sich, die Brennstoffzelle kurz mit Wasserstoff zu spülen. Dazu wird die Wasserstoffzufuhr gestartet (Öffnen der Schlauchsperrung oder Öffnen des Ventils bei Verwendung des H<sub>2</sub>-Storage) und der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



## Hinweise zur Handhabung

### 2.3. Betrieb H<sub>2</sub>-Charger und H<sub>2</sub>-Storage

#### Bezeichnungen:



#### Spezifikationen H<sub>2</sub>-Charger:

- Leistung: 23W
- Eingangsspannung: 10V-19V (DC)
- Verwendung: De-ionisiertes oder destilliertes Wasser (10-40°C)
- Wasserverbrauch: ca. 20ml/h
- Wasserstoffdruck: 0-3MPaG
- Wasserstofferzeugungsrate: ca. 3l/h
- Wasserstoffreinheit: 99,99%
- Nachfüllzeit pro Kartusche: rund 4h

## Hinweise zur Handhabung

### Spezifikationen H<sub>2</sub>-Storage:

- Kapazität: 10l Wasserstoff
- Speichermaterial: AB5 Metallhydrid
- Ladedruck: 3 MPa
- Arbeitstemperatur: 0-55°C

### Wichtige Hinweise zur Handhabung:

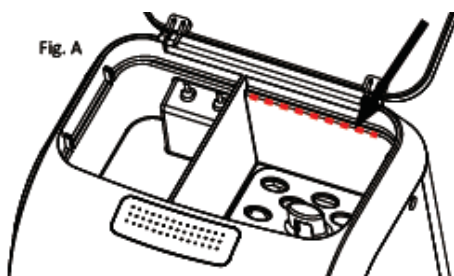
- Der H<sub>2</sub>-Charger darf nicht auseinandergebaut werden
- H<sub>2</sub>-Charger und H<sub>2</sub>-Storage müssen vor offenen Flammen und großer Hitze einwirkung ferngehalten werden
- Der H<sub>2</sub>-Charger sollte in aufrechter Position angewendet werden
- Der Betrieb sollte in einem gut belüfteten Raum stattfinden
- Die elektrischen Verbindungen sollten nicht mit Wasser in Berührung kommen

### Status-Leuchte:

Grün	Rot	System-Status
an		H <sub>2</sub> -Storage gefüllt
1 Sekunde an, 1 Sekunde aus		Warten mit dem Auffüllen von H <sub>2</sub> -Storage
	an	H <sub>2</sub> -Storage wird aufgefüllt
	1 Sekunde an, 3 Sekunden aus	Fügen Sie Wartungspulver hinzu („Apple Acid Powder“)
	1 Sekunde an, 1 Sekunde aus	Fügen Sie Wasser hinzu oder leeren sie den Abwasserbehälter

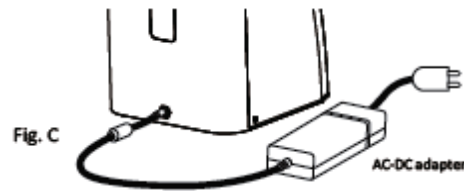
### Gebrauchsanweisung:

1. Zunächst wird destilliertes oder de-ionisiertes Wasser in den Wassertank bis zum Rand aufgefüllt (im Bild durch rot markierte Linie, beziehungsweise Pfeil gekennzeichnet).

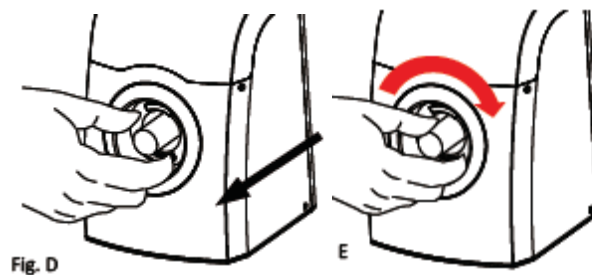


## Hinweise zur Handhabung

2. Im Anschluss wird das zugehörige Netzteil an den H<sub>2</sub>-Charger angeschlossen. Die Status-Leuchte sollte grün aufleuchten.



3. Setzen Sie den H<sub>2</sub>-Storage in die Einführöffnung an der Vorderseite des H<sub>2</sub>-Charger ein. Der Stick wird dazu im Uhrzeigersinn in das Gewinde eingedreht, bis er einen sicheren Halt hat. Dabei sollte nicht zu viel Kraft aufgewendet werden!



4. Während die Statusleuchte rot leuchtet, wird der H<sub>2</sub>-Storage gefüllt. Erst wenn die der Status ein grünes Leuchten anzeigt, ist die Kartusche vollständig aufgefüllt. Der Stick kann dann durch Drehen gegen den Uhrzeigersinn wieder entfernt werden.

5. Entfernen Sie anschließend den Netzstecker vom H<sub>2</sub>-Charger und leeren Sie den Wassertank, falls der Charger länger als eine Woche lang nicht benutzt wird. Wenn weitere Kartuschen gefüllt werden sollen, beginnen Sie wieder bei Schritt 3.

**HINWEIS:** Geräusche während des Ladevorgangs (Puffen oder Pfeifen) sind normal und werden durch den Säuberungsprozess hervorgerufen.

# I. Musterlösungen der Experimente

Die ausgefüllten Formulare des Schülerheftes geben eine Darstellung von zu erwartenden Ergebnissen der Experimente und zeigen Antwortmöglichkeiten für die Fragestellungen der Auswertung. Die dargestellten Lösungen sind als Richtlinie zu verstehen. Jeder Lehrer sollte selbst entscheiden, welche Ergebnisse er von den Schülern fordert.

Als Hilfestellung für den Lehrer wurden zusätzliche Kommentare zu den jeweiligen Aufgaben in Klammern angegeben. Bei einigen Fragestellungen ist es außerdem notwendig, die Antworten auf einem weiteren Blatt zu ergänzen, wenn der zur Verfügung gestellte Platz nicht ausreicht.

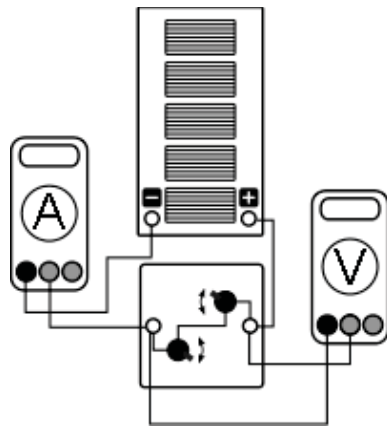
Die Zuordnung der einzelnen Experimente zu den Klassenstufen variiert je nach Lehrplan. Details der Einsatzmöglichkeiten sind bei jedem Versuch angegeben. Für einige Experimente gibt es verschiedenen Altersgruppen angepasste Versuchsanordnungen. Der phänomenologische Teil der Versuche ist geeignet für jüngere Klassenstufen, die Versuche zur Leistungsmessung sind vor allem für ältere Schüler (ab Klasse 9) geeignet, da teilweise physikalische und mathematische Grundlagen vorausgesetzt werden. Die Anleitungen liegen alle als Word-Datei vor, sodass sie nach eigenem Ermessen geändert und angepasst werden können.

## 1. Kennlinie des Solarmoduls

### Aufgabe

Nimm die U-I Kennlinie des Solarmoduls auf und interpretiere deren Verlauf.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Solarmodul
- Lampe
- Kabel
- Strommessgerät
- Spannungsmessgerät
- Potentiometer

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf.
2. Stelle einen Abstand von 30cm zwischen Lampe und Solarmodul ein.
3. Gib Dir anschließend sinnvolle Werte für die Spannung vor und miss für diese jeweils die Stromstärke! Verändere dazu zuerst den 1k $\Omega$ -Widerstand und zur Feineinstellung den 100 $\Omega$ -Widerstand!
4. Trage alle Messwerte in die Tabelle ein.

### Messwerte

U in V	I in mA	P in mW
0,13	38,4	4,99
0,60	38,4	23,04
0,75	38,3	28,73
1,00	38,5	38,50
1,25	38,6	48,25
1,50	38,2	57,30
1,75	38,2	66,85
2,00	36,0	72,00
2,25	25,7	57,83
2,50	6,0	15
2,55	0	0

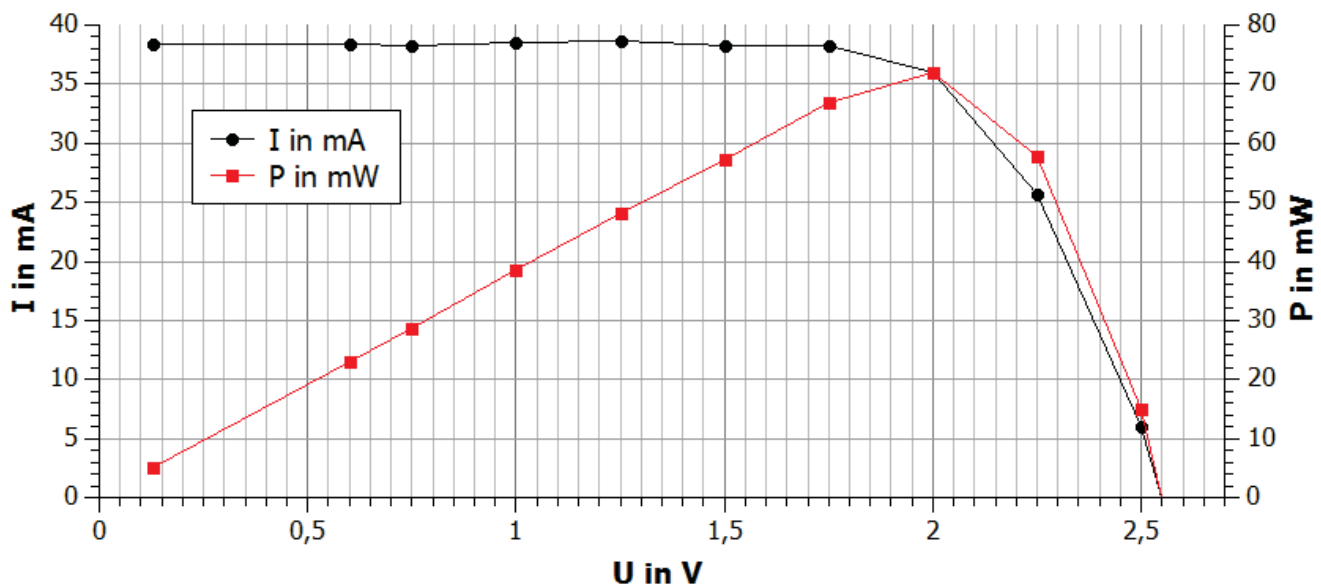
# 1. Kennlinie des Solarmoduls

## Auswertung

1. Berechne für die jeweiligen Strom- und Spannungswerte die Leistung und trage deine Ergebnisse in die Tabelle ein.
2. Trage die Wertepaare in das zugehörige Diagramm ein.
3. Beschreibe den Verlauf der Stromstärke und der Leistung über der Spannung.

## Diagramme

2.



3.

Die Form der U-I Kennlinie eines Solarmoduls entspricht der einer einzelnen Zelle. Im ersten Abschnitt der Kennlinie bleibt die Stromstärke bei steigender Spannung annähernd konstant.

Ab einer Spannung von etwa 1,7V sinkt die Stromstärke mit steigender Spannung stark ab.

Leistung des Solarmoduls steigt im ersten Abschnitt steil an und weist bei etwa 2V ein Maximum auf.

Dieser Punkt der Kennlinie wird als „MPP – Maximum Power Point“ bezeichnet. Solarzellen sollten stets im Bereich des MPP betrieben werden, um die maximale Leistung der Solarzellen auszuschöpfen.

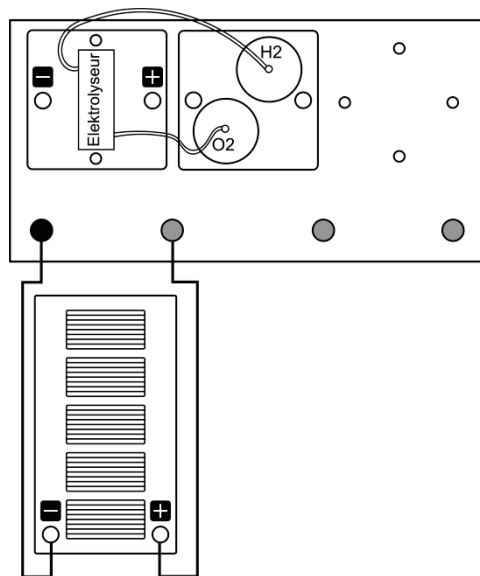


## 2.1 Eigenschaften eines Elektrolyseurs

### Aufgabe

Untersuche die Eigenschaft eines Elektrolyseurs, Wasser in seine Bestandteile zu zersetzen.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Grundeinheit
- Elektrolyseurmodul
- Gasspeichermodul
- Schläuche
- Solarmodul
- Lampe
- Kabel
- Destilliertes Wasser

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Positioniere die Lampe vor dem Solarmodul (Abstand etwa 30cm).  
Hinweise zum Gebrauch des Elektrolyseurmoduls findest du auf Seite 8.
2. Schalte die Lampe ein.
3. Beobachte, was in den Gasspeichern passiert.
4. Notiere die Füllstände nach 15 Minuten.

### Beobachtung

Produzierte Menge H<sub>2</sub>: 6ml

Produzierte Menge O<sub>2</sub>: 3ml

### Auswertung

1. Wie setzt sich Wasser zusammen? Nutze dazu die gemessenen Gasmengen.

Wasser setzt sich aus zwei Teilen Wasserstoff und einem Teil Sauerstoff zusammen.

Deswegen wird im Gasspeicher doppelt so viel Wasserstoff wie Sauerstoff erzeugt.

