

# H<sub>2</sub>-TRAINER *junior*

**Experimente zur Wasserstofftechnik**

Anleitungen



Vervielfältigung nur  
für Unterrichts-  
zwecke in  
Verbindung mit  
dem H<sub>2</sub>-Trainer  
junior

Ausgabe 01/2015

IKS Photovoltaik GmbH  
An der Kurhessenhalle 16 b  
D-34134 Kassel  
Tel. 0561 / 9538050  
Fax 0561 / 9538051  
[www.iks-photovoltaik.de](http://www.iks-photovoltaik.de)  
[info@iks-photovoltaik.de](mailto:info@iks-photovoltaik.de)



Lehrsysteme  
Messtechnik  
Sonderentwicklungen

Grundlage

Experimente zur Wasserstofftechnik  
Arbeitskreis Schulinformation Energie  
Frankfurt / Main  
Autoren  
Viola Franke Johannes Lemke  
Thomas Niebur

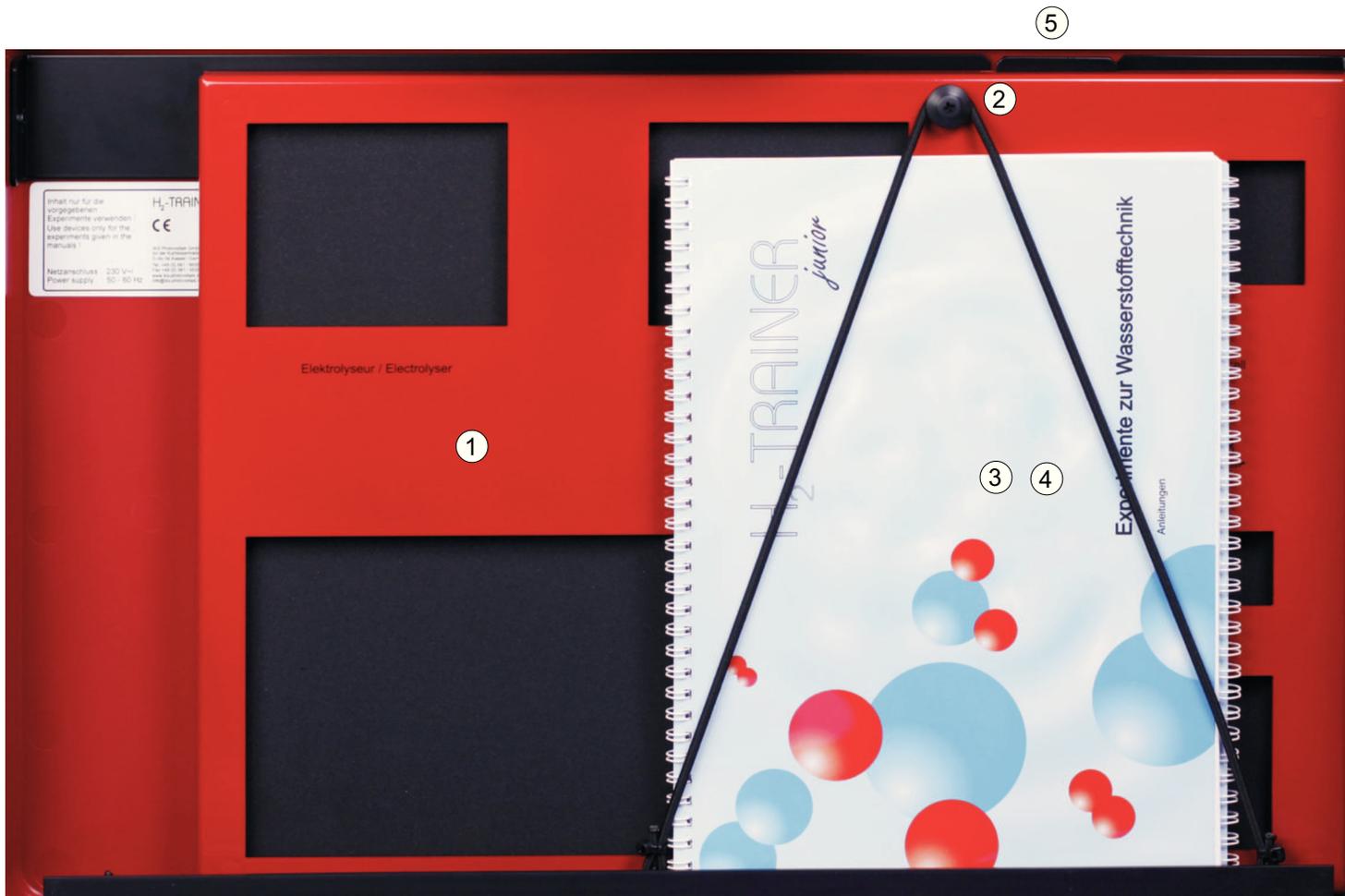
Autoren

Dipl.-Ing. Holger Kunsch  
Michael Schröder

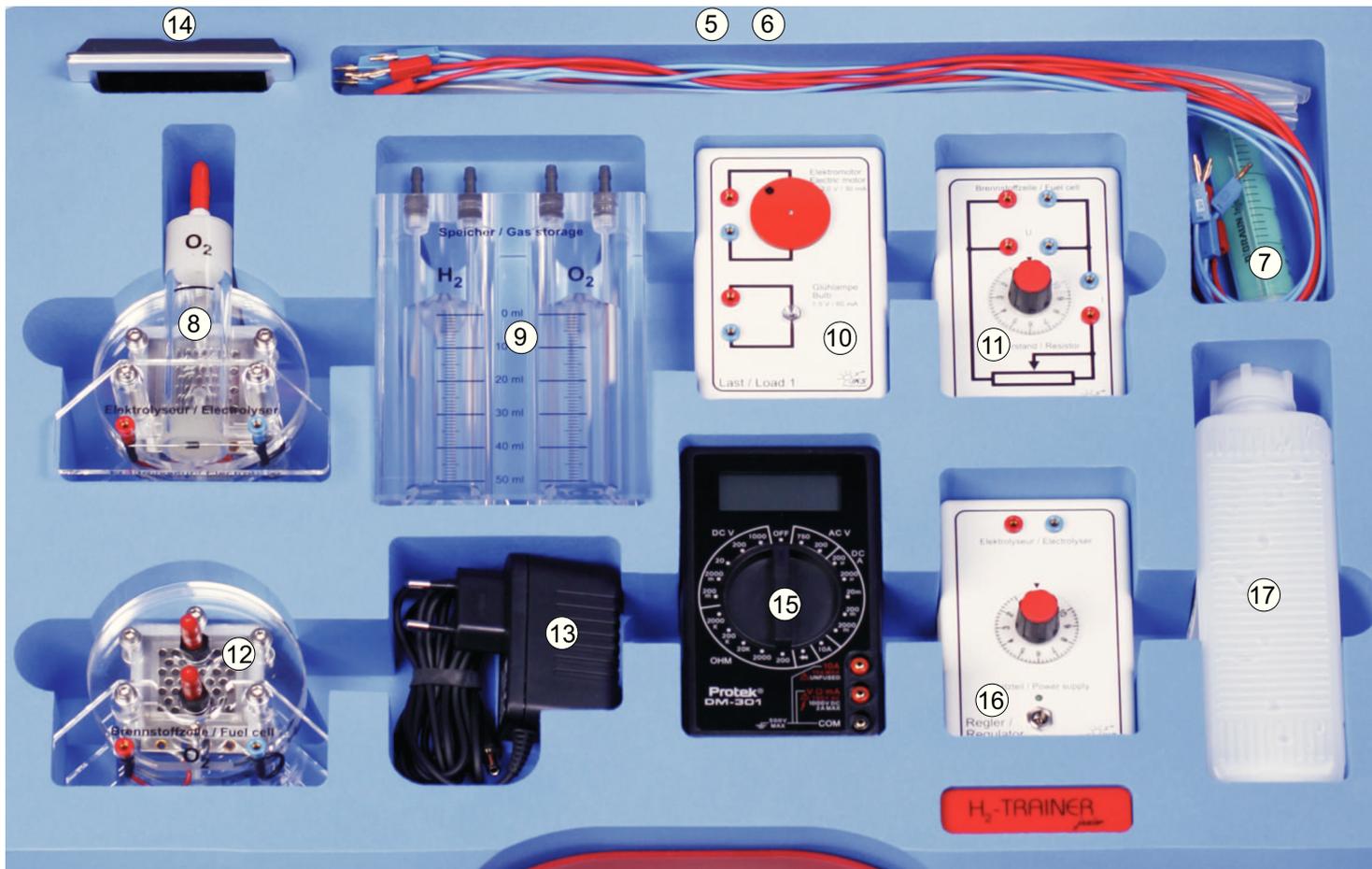
<b>Inhalt und Anordnung im Koffer</b>	.....	1
<b>Vorstellung der einzelnen Komponenten</b>	.....	2
<b>Aufbau des Systems</b>	.....	7
<b>Bestimmungsgemäße Verwendung / Sicherheitshinweise</b>	.....	8
 <b>Experimente zur Wasserstofftechnik</b>		
<b>Inbetriebnahme</b>	Vorbereitung der einzelnen Geräte für die Experimente.....	9
<b>Experiment 1</b>	Messung des Volumenverhältnisses der erzeugten Gase.....	11
<b>Experiment 2</b>	Messung der produzierten Gasmengen pro Zeiteinheit in Abhängigkeit von der Stromstärke.....	12
<b>Experiment 3</b>	Bestimmung von Energie- und Faraday-Wirkungsgrad des Elektrolyseurs.....	14
<b>Experiment 4</b>	Bestimmung der Strom-Spannungs-Kennlinie des Elektrolyseurs.....	16
<b>Experiment 5</b>	Bestimmung von Energie- und Faraday-Wirkungsgrad der Brennstoffzelle.....	17
<b>Experiment 6</b>	Bestimmung der Spannungs-Strom-Kennlinie der Brennstoffzelle.....	19
<b>Experiment 7</b>	Betrieb des Elektrolyseurs mit Solarzellen.....	20

<b>Experiment 8</b>	Betrieb des Elektrolyseurs mit einer Windenergieanlage .....	22
<b>Außerbetriebnahme</b>	Vorbereitung der einzelnen Geräte für die Aufbewahrung im Koffer .....	23
<b>Schaltsymbole und Begriffe</b>	.....	25

## Inhalt und Anordnung im Koffer

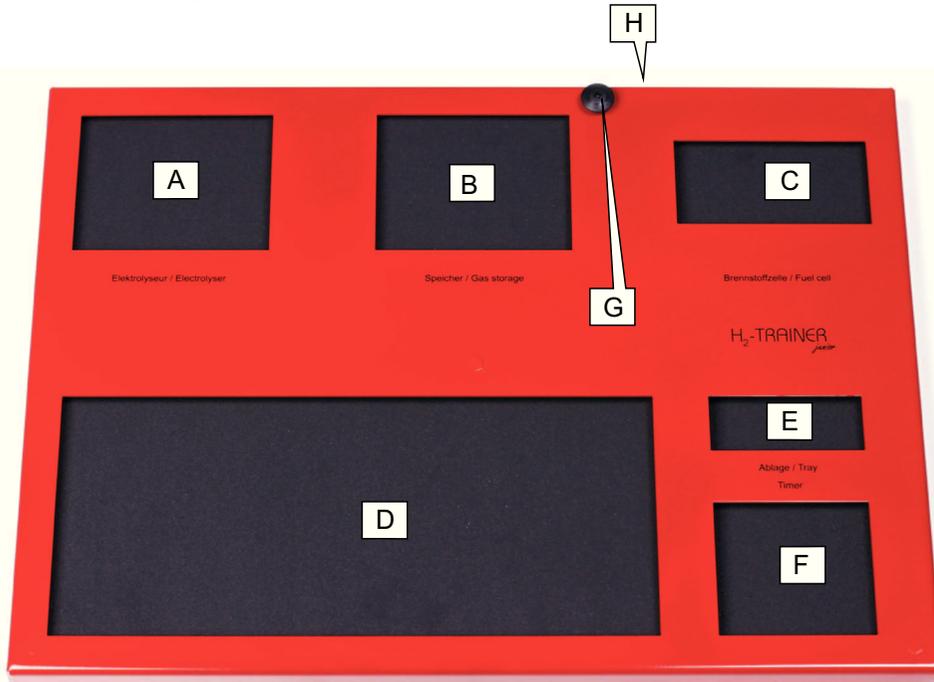


- ① Grundplatte
- ② Halteknopf für Gummischnur (Heftfixierung)
- ③ Anleitungen
- ④ Lösungen
- ⑤ Aufhängung für Grundplatte



- ⑤ 8 Messkabel, 4x rot, 4x blau
- ⑥ 4 Silikonschläuche
- ⑦ Spritze mit Tülle
- ⑧ Elektrolyseur
- ⑨ Gasspeicher
- ⑩ Last 1
- ⑪ Last 2
- ⑫ Brennstoffzelle
- ⑬ Netzteil
- ⑭ Timer
- ⑮ 2 Multimeter (übereinander)
- ⑯ Regler
- ⑰ Flasche mit destilliertem Wasser

## Vorstellung der einzelnen Komponenten



### Grundplatte ①

Dient zur Aufnahme des Elektrolyseurs ⑧, des Gasspeichers ⑨, der Brennstoffzelle ⑫ sowie der Ablage der Experimentiermodule ⑩, ⑪, ⑯, der Messgeräte ⑮ und des Timers ⑭.

- A** Aussparung zum Einsetzen des Elektrolyseurs ⑧
- B** Aussparung zum Einsetzen des Gasspeichers ⑨
- C** Aussparung zum Einsetzen der Brennstoffzelle ⑫
- D** Ablage für Experimentiermodule ⑩ ⑪ ⑯ und Messgeräte ⑮
- E** Ablage für Verschlusskappen des Elektrolyseurs und der Brennstoffzelle
- F** Aussparung zum Einsetzen des Timers ⑭
- G** Halteknopf für Gummischnur zur Fixierung der Hefte ③ ④ im Kofferdeckel
- H** Schlitz zur Aufhängung der Grundplatte im Kofferdeckel

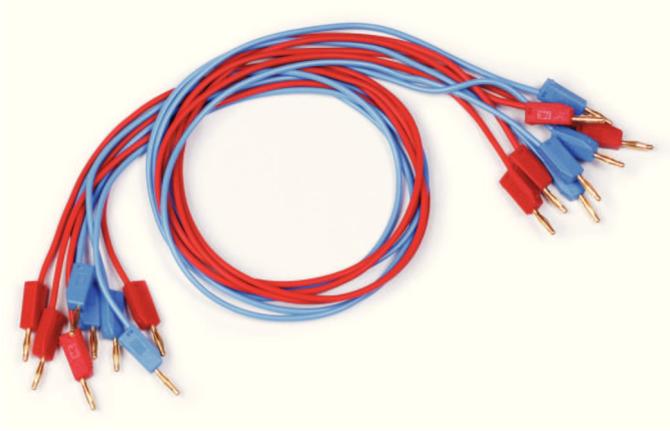


### Anleitung ③

Beschreibung der Experimente.

### Lösung ④

Hintergrundinformationen und Lösungen.



### Messkabel ⑤

4 Stück rot, 4 Stück blau, hochflexible Verbindungsleitungen mit 2 mm Steckern und Abgriffbuchsen. Kontaktflächen vergoldet, Bemessungsstrom max. 10 A.

**Maximal zulässige Betriebsspannung 25 V Wechselstrom, 60 V Gleichstrom!**



### Silikonschläuche ⑥

4 Stück, transparent.

Dienen zur Verbindung des Elektrolyseurs ⑧ mit dem Gasspeicher ⑨ sowie der Brennstoffzelle ⑫ mit dem Gasspeicher ⑨.

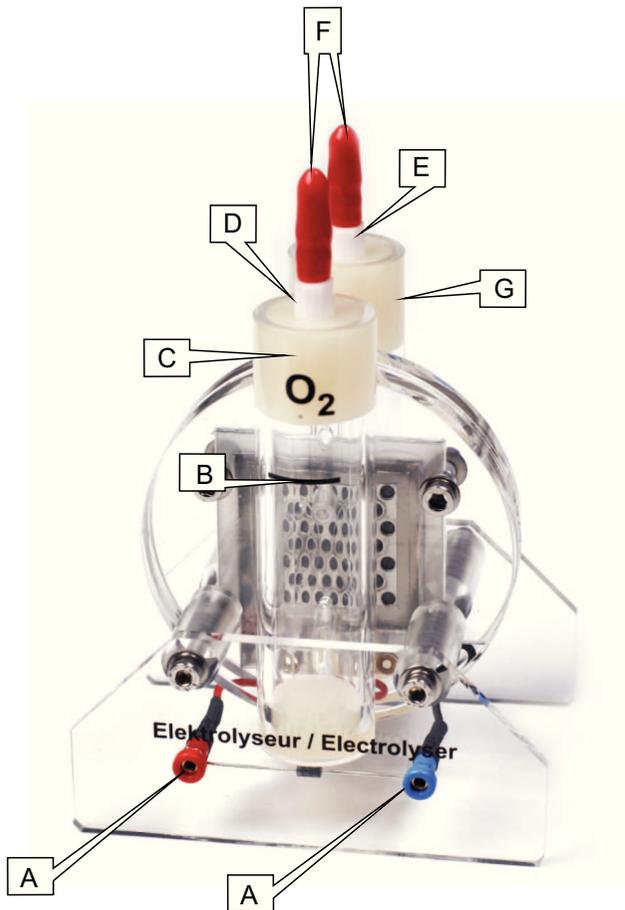


### Spritze mit Tülle ⑦

Dient als Saugheber zur Wasserstandsregulierung im Elektrolyseur ⑧ und im Gasspeicher ⑨. Die aufgesetzte Tülle kann in den Anschlussstutzen des Elektrolyseurs ⑧ eingeführt werden. Nur destilliertes Wasser verwenden.

Inhalt 20 ml.

## Vorstellung der einzelnen Komponenten



### Elektrolyseur (PEM) ⑧

Durch Anlegen einer Spannung an die elektrischen Anschlüsse **A** wird die Elektrolyse in Gang gesetzt. Reines Wasser wird in gasförmigen Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Der Wasserstoff entsteht an der Kathode (Minus), der Sauerstoff an der Anode (Plus).

Als Kernstück besitzt der Elektrolyseur eine Nafion-Membran, auf der beidseitig die Elektroden als dünne poröse Schichten aufgebracht sind. Auf diese Schichten folgt jeweils ein Metallnetz, das mit einem elektrischen Anschluss verbunden ist (2 mm Anschlussbuchsen **A**).

Die Netzstruktur gewährleistet den Wasser- und Gasaustausch an den Elektroden bei gleichzeitiger, flächiger Verteilung des Stromes. Die Membran dient als fester Elektrolyt, der für Wasserstoffionen durchlässig ist, so dass der Elektrolyseur mit reinem Wasser arbeiten kann.

Die an den Elektroden entstehenden Gase steigen durch das Wasser in den Vorlagebehälter auf und können an den Anschlussstutzen **D** und **E** entnommen werden.

Der Elektrolyseur wird mit destilliertem Wasser gefüllt (**siehe Inbetriebnahme Seite 9**). Das Wasser kann auch nach dem Betrieb im Elektrolyseur verbleiben. Die beiden Anschlussstutzen **D** und **E** sind vor dem Einpacken des Elektrolyseurs in den Koffer sorgfältig mit den Verschlusskappen **F** zu verschließen, damit das destillierte Wasser nicht ausläuft.

Während der Elektrolyse nimmt der Wasservorrat auf der Kathodenseite zu und auf der Anodenseite ab. Sobald der Wasserpegel ca. 5 mm von dem angegebenen Füllstand **B** abweicht, sollte er wieder auf den Füllstand eingestellt werden. Hierzu die Tülle auf die mitgelieferte Spritze aufsetzen, in den Anschlussstutzen **D/E** einführen und destilliertes Wasser bis zum Füllstand **B** absaugen oder auffüllen.

#### Bitte beachten Sie:

**Das destillierte Wasser kann im Elektrolyseur bleiben. Bei Lagerung, Betrieb und Transport vor Frost schützen!**

**Der Wasserstand darf höchstens + / - 5 mm vom Füllstand **B** abweichen.**

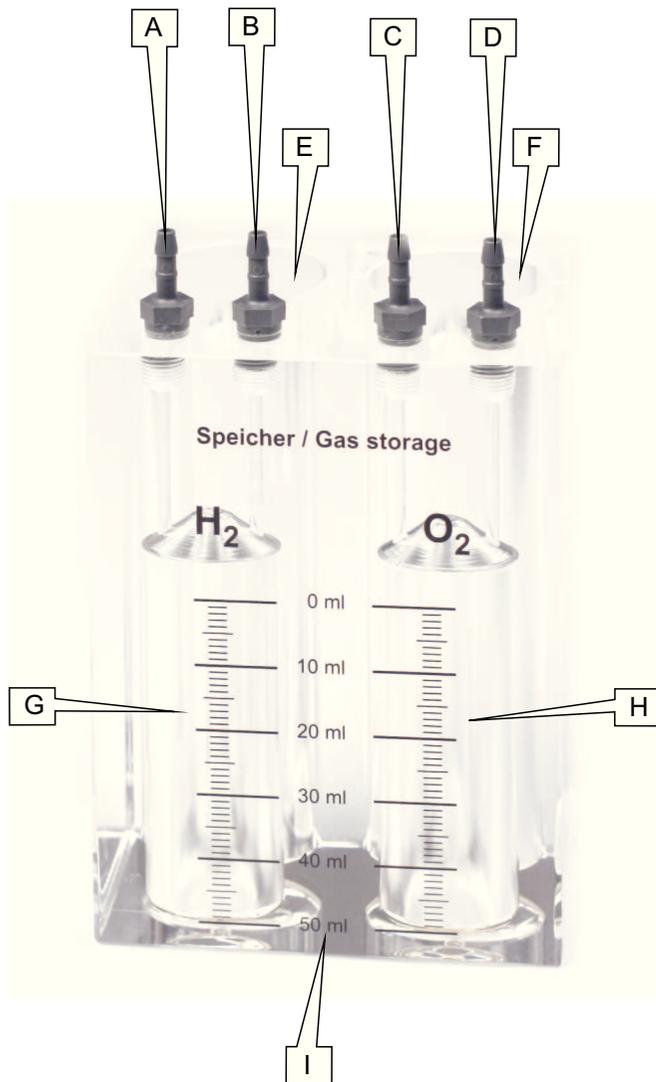
**Zum Betrieb n u r destilliertes Wasser verwenden!**

**Der Elektrolyseur darf nicht verkehrt gepolt betrieben werden. Zur Sicherheit befindet sich eine Diode zwischen den Anschlüssen **A**.**

**Betriebsspannung 1,4-1,9 V Gleichstrom, Betriebsstrom maximal 550 mA.**

**Die Leistung des Elektrolyseurs ist von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig und verringert sich über die Lebensdauer des Produkts. Alle Angaben in den Lösungen entsprechen der Leistung zum Auslieferungszeitpunkt.**

- A** Anschlussbuchse Plus (Sauerstoffseite O<sub>2</sub>) und Anschlussbuchse Minus (Wasserstoffseite H<sub>2</sub>)
- B** Füllstandmarke für destilliertes Wasser
- C** Sauerstoffseite O<sub>2</sub> (Anode +)
- D** Anschlussstutzen zur Ableitung des Sauerstoffs
- E** Anschlussstutzen zur Ableitung des Wasserstoffs
- F** Verschlusskappen (2 Stück)
- G** Wasserstoffseite H<sub>2</sub> (Kathode -)



### Gasspeicher ⑨

Dient zur Speicherung des mit dem Elektrolyseur ⑧ erzeugten Wasserstoffs und Sauerstoffs. In die Öffnungen **E** und **F** wird destilliertes Wasser bis zum Füllstand **0 ml** aufgefüllt. An den Anschlussstutzen **A** wird die Wasserstoffseite des Elektrolyseurs ⑧, an den Anschlussstutzen **B** wird die Wasserstoffseite der Brennstoffzelle ⑫ angeschlossen. Der Anschlussstutzen **C** wird mit der Sauerstoffseite des Elektrolyseurs, der Anschlussstutzen **D** wird mit der Sauerstoffseite der Brennstoffzelle verbunden.

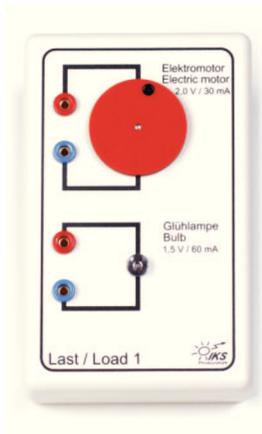
Die Hohlzylinder **G** und **E** (bzw. **H** und **F**) sind am unteren Ende mit einer Bohrung verbunden. Das erzeugte Gas sammelt sich im Hohlzylinder **G** (bzw. **H**) und verdrängt die dort befindliche Wassersäule. Auf der Skala **I** kann die Menge des erzeugten Gases abgelesen werden.

### Bitte beachten Sie:

**Wenn eine Füllmenge von 50 ml erreicht ist, den Gaserzeugungsvorgang abbrechen!  
Nach Gebrauch Gasspeicher wieder entleeren.**

- A** Anschlussstutzen zur Wasserstoffseite des Elektrolyseurs ( $H_2$ )
- B** Anschlussstutzen zur Wasserstoffseite der Brennstoffzelle ( $H_2$ )
- C** Anschlussstutzen zur Sauerstoffseite des Elektrolyseurs ( $O_2$ )
- D** Anschlussstutzen zur Sauerstoffseite der Brennstoffzelle ( $O_2$ )
- E** Einfüllöffnung für destilliertes Wasser
- F** Einfüllöffnung für destilliertes Wasser
- G** Gassammelraum für Wasserstoff ( $H_2$ )
- H** Gassammelraum für Sauerstoff ( $O_2$ )
- I** Skala Gasmenge

## Vorstellung der einzelnen Komponenten



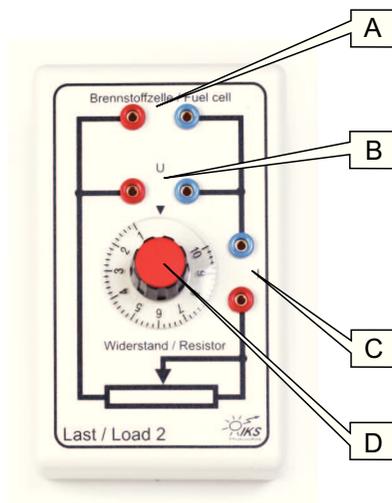
### Last 1 ⑩

Elektromotor:

Betriebsspannung max. 2,0 V Gleichstrom  
Leerlaufstrom ca. 15 mA bei 1,5 V

Glühlampe:

Betriebsspannung max. 1,5 V Gleichstrom  
Stromaufnahme ca. 60 mA bei 1,5 V



### Last 2 ⑪

Zur Belastung der Brennstoffzelle ⑫ mit dem Lastwiderstand und zur Messung der Spannung und des Stromes.

Kennwerte Lastwiderstand:

Widerstand  $5 \Omega$   
Belastbarkeit max. 2 W

- A Anschluss Brennstoffzelle
- B Anschluss Multimeter zur Spannungsmessung
- C Anschluss Multimeter zur Strommessung
- D Drehknopf, Rechtsdrehung erhöht den Widerstand

## Brennstoffzelle (PEM) ⑫

Durch Umsetzung von Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt die Brennstoffzelle eine elektrische Spannung, die an den Anschlüssen **A** und **D** abgenommen werden kann. Auf der Seite der Wasserstoffzuleitung (Kathode) entsteht ein negatives, auf der Seite der Sauerstoffzuleitung (Anode) ein positives Potential. Wird an den Anschlüssen ein elektrischer Verbraucher angelegt, fließt elektrischer Strom.

Als Kernstück besitzt die PEM-Brennstoffzelle eine Nafion-Membran-Elektrodeneinheit. An beiden Seiten dieser Einheit befindet sich je ein Metallnetz, das durch seine Struktur den Wasser- und Gasaustausch an den Elektroden sowie die flächige Verteilung des Stroms gewährleistet. Die Metallnetze sind mit den 2 mm Anschlussbuchsen **A** bzw. **D** verbunden.

Auf beiden Seiten der Brennstoffzelle befinden sich je zwei Anschlussstutzen. Die oberen Anschlussstutzen **C** und **E** dienen der Zuleitung der Gase und werden durch Schläuche mit dem Wasserstoff- bzw. Sauerstoffspeicher des Gasspeichers verbunden. Die untere Anschlussstutzen **B** und **F** dienen zum Entlüften der Brennstoffzelle. Die Brennstoffzelle kann in zwei Betriebsarten arbeiten:

Im offenen Betrieb bleiben die Ableitungsstutzen **B** und **F** geöffnet. Dies ist z.B. bei der Entlüftung des Systems während der Inbetriebnahme notwendig.

Im geschlossenen Betrieb werden die Ableitungsstutzen **B** und **F** mit den Verschlusskappen **G** abgedichtet. Überschüssig erzeugtes Gas wird im Gasspeicher gespeichert und steht bei Bedarf der Brennstoffzelle zur Verfügung.

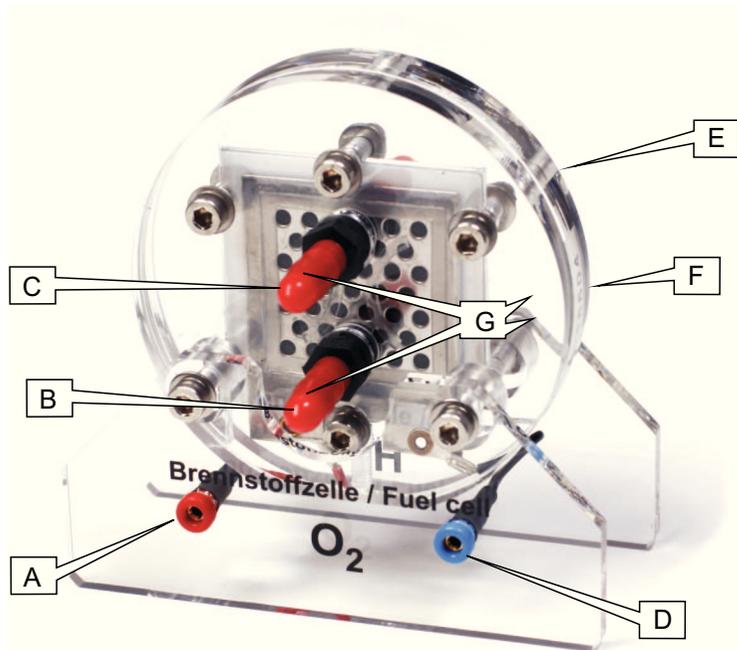
Falls sich bei längerem Betrieb Reaktionswasser in der Brennstoffzelle ansammelt, muss dies durch kurzes Abziehen und wieder Aufstecken der Schläuche von den Abschlussstutzen **C** und **E** abgelassen werden. Danach muss die Brennstoffzelle wieder nach Anleitung auf Seite 10 entlüftet werden.

### Bitte beachten Sie:

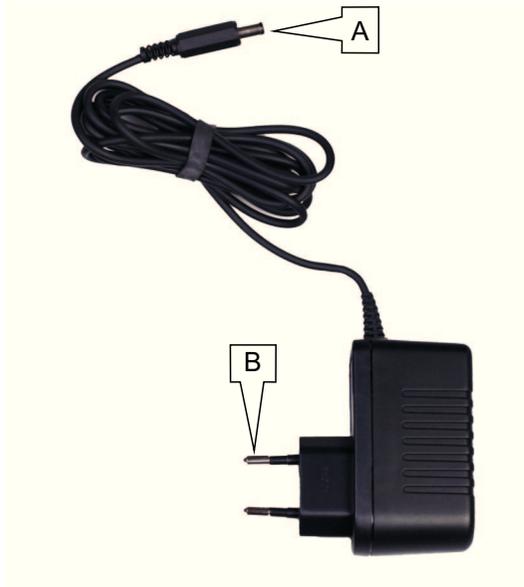
**Während des Betriebs sammelt sich ein wenig Feuchtigkeit in der Brennstoffzelle, dies ist normal, deshalb sind die Anschlussstutzen **B**, **C**, **E** und **F** vor dem Einpacken der Brennstoffzelle in den Koffer sorgfältig mit den Verschlusskappen **G** zu verschließen. Bei Lagerung, Betrieb und Transport vor Frost schützen!**

**Die Leistung der Brennstoffzelle ist von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig und verringert sich über die Lebensdauer des Produkts. Alle Angaben in den Lösungen entsprechen der Leistung zum Auslieferungszeitpunkt.**

- A** Anschlussbuchse Plus
- B** Anschlussstutzen zur Zuleitung von Sauerstoff aus dem Gasspeicher Sauerstoff (O<sub>2</sub>)
- C** Anschlussstutzen zur Ableitung von Sauerstoff beim Entlüften
- D** Anschlussbuchse Minus
- E** Anschlussstutzen zur Ableitung von Wasserstoff beim Entlüften
- F** Anschlussstutzen zur Zuleitung von Wasserstoff aus dem Gasspeicher Wasserstoff (H<sub>2</sub>)
- G** Verschlusskappen (4 Stück)



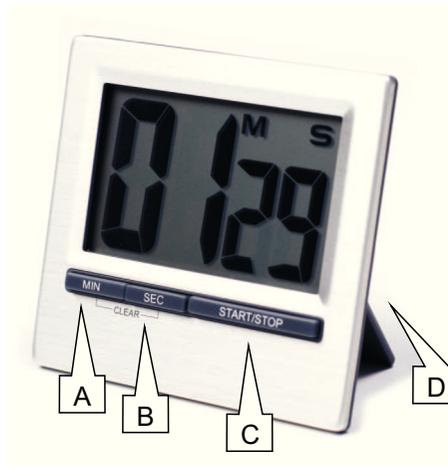
## Vorstellung der einzelnen Komponenten



### Netzteil (13)

Zum Betrieb des Elektrolyseurs (8) über den Regler (16).

- A**     Niedervoltausgang, Anschluss an Buchse **D** des Reglers (16)
- B**     Netzstecker, Betriebsspannung 100-240 V ~ / 50-60 Hz



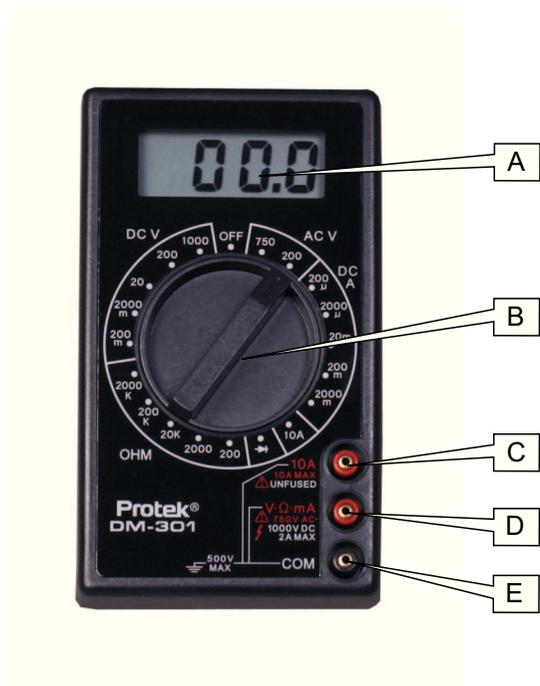
### Timer (14)

Dient zur Messung von voreingestellten Zeitintervallen.

Die Zeitvorgabe erfolgt durch die Tasten **A** (MIN) und **B** (SEC), die Count-down Zählung beginnt mit Drücken der Taste **C** (START/STOP).

Bei Ablauf ertönt ein Signalton welcher mit der Taste **C** (Start/Stop) beendet werden kann. Rücksetzen der Anzeige durch gleichzeitiges Drücken der Tasten **A** (MIN) und **B** (SEC).

- A**     Taste Eingabe Minuten, Rücksetzfunktion durch zusätzliches Betätigen der Taste **B**
- B**     Taste Eingabe Sekunden, Rücksetzfunktion durch zusätzliches Betätigen der Taste **A**
- C**     Taste Start/Stop
- D**     Batteriefach rückseitig, Batterie Typ AAA  
Altbatterie fachgerecht entsorgen!



## Multimeter 15

<b>A</b>	Anzeigefeld (3 ½ -stellig, 7 Segmente, Ziffernhöhe 13 mm)	
<b>B</b>	Funktions- und Messbereichswahlschalter In der Stellung: OFF ist das Gerät ausgeschaltet. Bei Nichtgebrauch in diese Position schalten (Batterieschonung) Vor dem Umschalten der Messbereiche Messkabel herausziehen! Gewünschten Messbereich wählen:	
	AC V Wechselfspannung	Anschlussbuchsen <b>D</b> und <b>E</b> max. 500 V Genauigkeit 1,2% +10 Digit
	DC A Gleichstrom	Anschlussbuchsen <b>D</b> und <b>E</b> max. 2000 mA Sicherung 2 A / 250 V Genauigkeit 1,0% +2 Digit im Bereich 200uA bis 20 mA, Genauigkeit 1,2% +2 Digit im Bereich 200 mA Genauigkeit 1,5% +2 Digit im Bereich 2000 mA
	10 A Gleichstrom	Anschlussbuchsen <b>C</b> und <b>E</b> max. 10A Anschluß ungesichert Genauigkeit 1,5 % +2 Digit
	Diodentest	-
	Ω Widerstandsmessung	Anschlussbuchsen <b>D</b> und <b>E</b> nur spannungslos messen Genauigkeit 0,7% +2 Digit im Bereich 200 Ω bis 200 kΩ, Genauigkeit 1,0% 2 Digit im Bereich 2000 kΩ
	DC V Gleichspannungsmessung	Anschlussbuchsen <b>D</b> und <b>E</b> max. 500 V Genauigkeit 0,7% +2 Digit in allen Bereichen
<b>C</b>	2 mm Anschlussbuchse +	10 A Gleichstrom
<b>D</b>	2 mm Anschlussbuchse +	V / Ω / mA
<b>E</b>	2 mm Anschlussbuchse -	für alle Messbereiche

## Vorstellung der einzelnen Komponenten

### Batteriewechsel

Messkabelanschlüsse trennen, Gerät ausschalten (Pos. OFF), rückseitigen Deckel abschrauben.  
Nur auslaufsichere Batterie Typ: 9 V Blockbatterie verwenden.  
**Auf Polarität achten!**  
**Fachgerecht entsorgen!**

### Sicherungswechsel

rückseitigen Deckel abschrauben,  
nur Typ 2 A /250 V verwenden.

**Multimeter nur in Verbindung mit den Experimenten des SOLARTRAINER junior, WINDTRAINER junior und H<sub>2</sub>-TRAINER junior verwenden!**



### Regler ⑩

Dient zur Regelung des Stromes, mit dem der Elektrolyseur betrieben wird.

- A** Anschluss Elektrolyseur ⑧
- B** Einstellknopf für die Stromstärke
- C** Kontrolllampe für Betriebsbereitschaft
- D** Anschlussbuchse für Netzteilstecker **A**



### Flasche mit destilliertem Wasser ⑰

Zum Betrieb des Systems **nur** destilliertes Wasser verwenden.

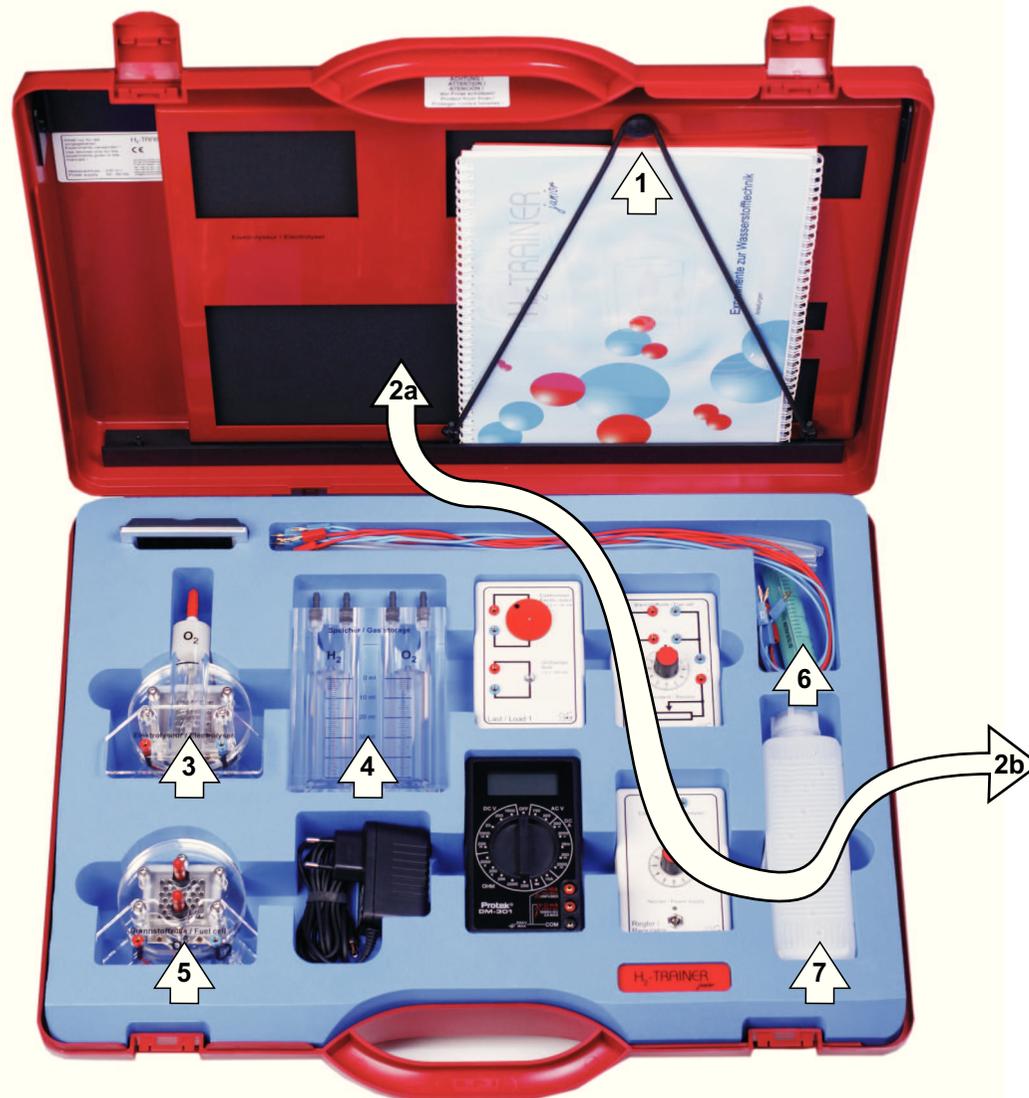
Nachfüllung der Flasche **nur** mit destilliertem Wasser.

Inhalt 500 ml

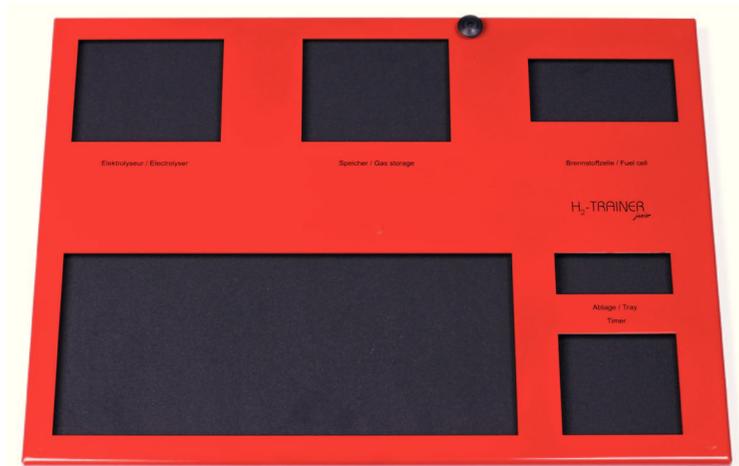
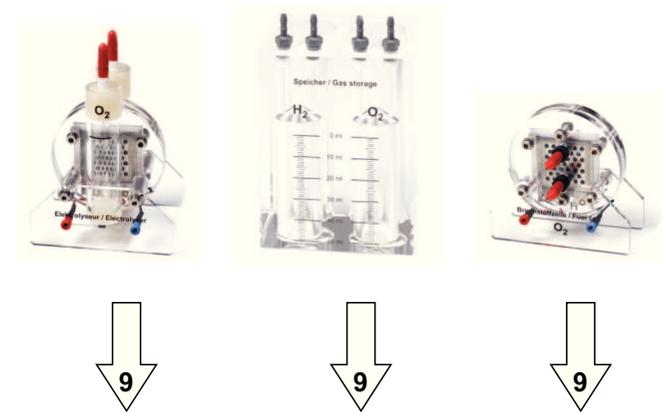
#### Hinweis:

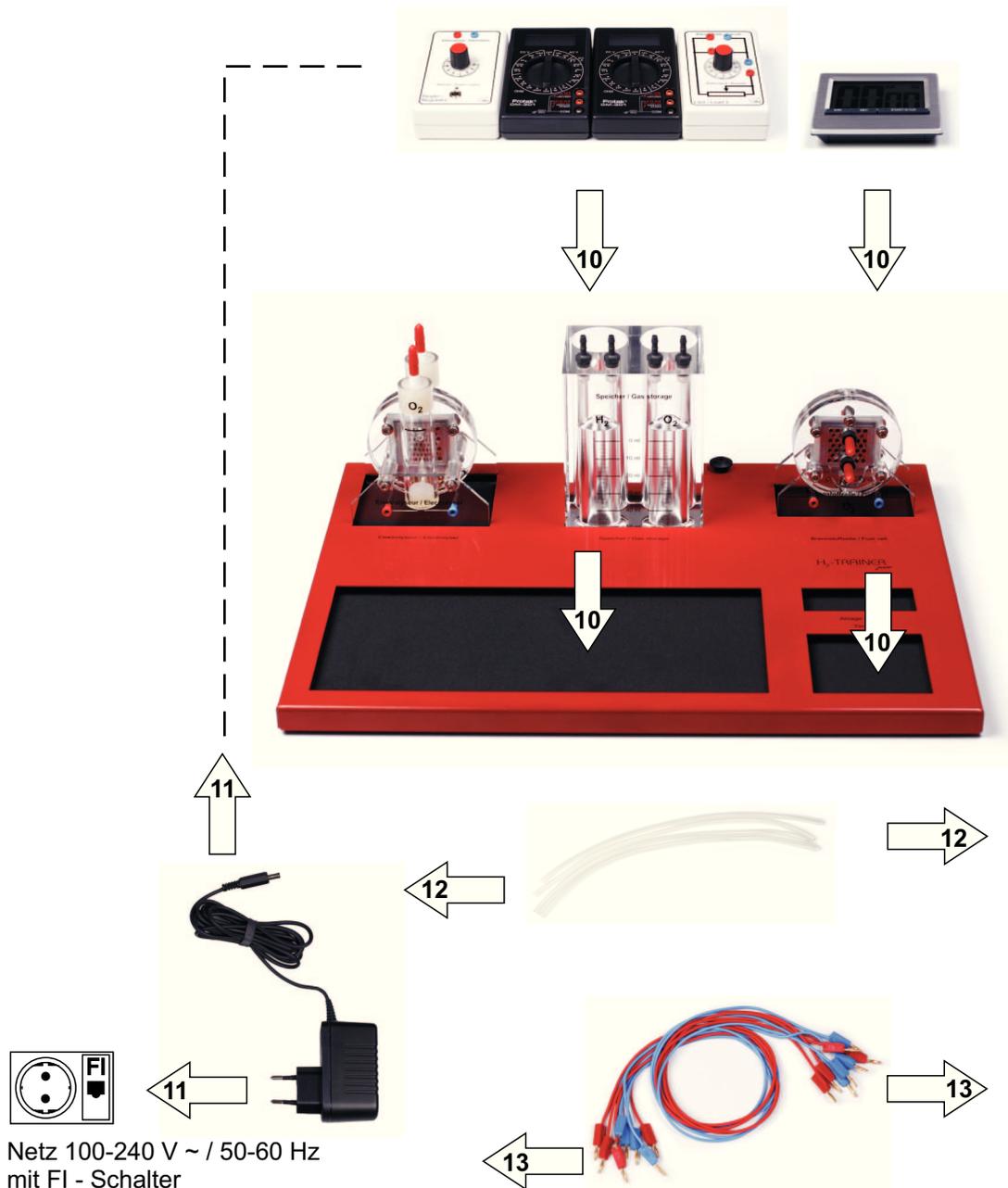
**Destilliertes Wasser nicht als Trinkwasser verwenden!  
Bei Lagerung, Betrieb und Transport vor Frost schützen!**

# Aufbau des Systems



8 → Inbetriebnahme gemäß Anleitung S. 9 und 10 vornehmen





- 1 Gummischnur aushängen und Hefte herausnehmen.
- 2a /2b Grundplatte anheben, herausnehmen und aufstellen.
- 3,4,5 Elektrolyseur, Speicher und Brennstoffzelle entnehmen.
- 6,7 Spritze mit Tülle und Flasche mit destilliertem Wasser entnehmen.
- 8 Elektrolyseur, Speicher und Brennstoffzelle gemäß Inbetriebnahmeanweisung Seite 9 und 10 vorbereiten.
- 9 Elektrolyseur, Speicher und Brennstoffzelle auf der Grundplatte platzieren.
- 10 Die in den Anleitungen angegebenen Module und Multi-  
meter in der Ablage der Grundplatte anordnen.
- 11 Netzteil an Steckdose mit FI-Schalter anschließen und  
Niederspannungsstecker in Regler einstecken.  
Regelknopf auf Minimum einstellen.
- 12 Aufbau nach Anleitung mit Silikonschläuchen verbinden.  
Schläuche nicht knicken!
- 13 Aufbau nach Anleitung mit Messkabeln verbinden.
- 14 **Sicherheitshinweise auf Seite 8 beachten!**

### Vorsicht!

**Beim Betrieb des Systems entsteht Wasserstoff.  
Gefahr der Entstehung von Knallgas! Vermeiden Sie  
Umgang mit offenem Feuer, heißen Gegenständen  
sowie elektrischen Funken in der Nähe des Aufbaus!**

**Es herrscht Rauchverbot!**

**Die für Schullabore geltenden Schutzvorschriften  
sind zu beachten.**

# Bestimmungsgemäße Verwendung

## Sicherheitshinweise

-  Der Betrieb der Baugruppen darf nur an der dafür vorgeschriebenen Spannung erfolgen.
-  Falls das Netzkabel beschädigt ist, darf es nur von einem Fachmann ausgetauscht werden.
-  Beim Herausziehen des Netzkabels ausschließlich am Stecker und niemals am Kabel anfassen. Stellen Sie niemals schwere Gegenstände auf das Netzkabel und biegen Sie es nicht in einem zu engen Radius oder um scharfe Ecken.
-  Die zulässige Umgebungstemperatur (Raumtemperatur) darf während des Betriebes 10 °C und 40 ° C nicht unter- bzw. überschreiten.
-  Das System ist für den Gebrauch in trockenen und sauberen Räumen bestimmt.
-  Bei Bildung von Kondenswasser muss eine Akklimatisierungszeit von bis zu 5 Stunden abgewartet werden.
-  Ein Betrieb des Systems im Freien bzw. in Feuchträumen ist unzulässig.
-  Schützen Sie das System vor Feuchtigkeit, Spritzwasser und Hitzeeinwirkung.
-  Das System darf nicht in Verbindung mit leicht entflammaren und brennbaren Flüssigkeiten, Gasen oder Stäuben verwendet werden.
-  Die Module dürfen nur unter Aufsicht und Anleitung eines fachkundigen Lehrers in Betrieb genommen werden.  
In Schulen bzw. Ausbildungseinrichtungen ist das Betreiben des Systems durch geschultes Fachpersonal verantwortlich zu überwachen.
-  In gewerblichen Einrichtungen sind die Unfallverhütungsvorschriften des Verbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften für elektrische Anlagen und Betriebsmittel zu beachten.
-  Falls ein Modul repariert werden muss, dürfen nur Original-Ersatzteile verwendet werden ! Die Verwendung abweichender Ersatzteile kann zu ernsthaften Sach- und Personenschäden führen !
-  Eine Reparatur darf nur vom Fachmann durchgeführt werden !
-  Das System ist nach Gebrauch stets von der Versorgungsspannung zu trennen.
-  Dringt irgendeine Flüssigkeit in ein Modul ein, so könnte es dadurch beschädigt werden. Sollten Sie irgendwelche Flüssigkeiten in oder über die Baugruppe verschüttet haben, so muss das Gerät vom Netz getrennt und von einem qualifizierten Fachmann überprüft werden.
-  Im Umgang mit Produkten, die mit elektrischer Spannung in Berührung kommen, müssen die gültigen VDE-Vorschriften beachtet werden, insbesondere VDE 0100, VDE 0550/0551, VDE 0700, VDE 0711 und VDE 0860.
-  Vor Öffnen eines Modules stets den Netzstecker ziehen oder sicherstellen, dass das Gerät stromlos ist.
-  Der netzseitige Anschluss sollte nur über einen FI-Schalter und einen Stromkreis mit Not-Aus-Funktion betrieben werden.
-  Verkabelung darf nur mit beiliegenden Messleitungen erfolgen.
-  Bei Betrieb der Module ist stets auf die strikte Einhaltung der in der zugehörigen Beschreibung genannten Kenndaten für elektrische Größen zu achten.
-  Bei Versuchsaufbauten ist vor der Inbetriebnahme der Module generell von fachkundigem Lehr- oder Aufsichtspersonal zu prüfen, ob diese ordnungsgemäß verkabelt/angeschlossen sind.
-  Bei Verwendung der Module für Versuchsaufbauten, die nicht in den Anleitungen beschrieben sind, ist grundsätzlich zu prüfen, ob die entsprechenden Module für diese Anwendung geeignet sind.  
Im Zweifelsfalle ist unbedingt Rückfrage bei dem Hersteller notwendig.
-  Die Reinigung der Komponenten darf nicht mit Lösungsmitteln erfolgen. Reinigung mit weichem, trockenem oder mit ganz schwach feuchtem Tuch durchführen.
-  Die werkseitigen Schilder und Kennzeichnungen dürfen nicht verändert, entfernt oder unkenntlich gemacht werden.

## Haftungsausschluss

Sowohl das Einhalten dieser Anleitung und der Versuchsanleitungen als auch die Bedingungen und Methoden bei Verschaltung, Betrieb, Verwendung und Wartung des Systems können von der IKS Photovoltaik GmbH nicht überwacht werden.

Bitte beachten Sie, dass Bedien- und Anschlussfehler außerhalb unseres Einflussbereiches liegen.

Eine unsachgemäße Ausführung der Zusammenschaltung oder falsche Bedienung kann zu Sachschäden führen und in Folge Personen gefährden.

Daher übernehmen wir keinerlei Verantwortung und Haftung für Verluste, Schäden oder Kosten, die sich aus fehlerhafter Verkabelung, unsachgemäßem Betrieb sowie falscher Verwendung und Wartung ergeben, oder in irgendeiner Weise damit zusammenhängen.

Wir behalten uns das Recht vor, ohne vorherige Mitteilung Änderungen bezüglich Produkt, technischer Daten oder Bedienungs- und Versuchsanleitung vorzunehmen.

## Bestimmungsgemäße Verwendung

Der bestimmungsgemäße Einsatz der einzelnen Module ist in den vorhergehenden Seiten und den Anleitungen beschrieben. Ein anderer Einsatz als vorgegeben ist nicht zulässig, bzw. geschieht auf eigene Gefahr des Anwenders.

## Garantie

1. Das Liefergut ist unverzüglich nach Eintreffen am Bestimmungsort vom Auftraggeber auf Transportschäden zu prüfen. Beanstandungen wegen unvollständiger oder unrichtiger Lieferung sind uns spätestens innerhalb von 8 Werktagen nach Ankunft der Lieferung am Bestimmungsort mit begründeter Information anzuzeigen. Nach Ablauf dieser Frist gilt die Lieferung als vertragsgemäß ausgeführt.
2. Für verborgene Mängel, die bei unverzüglicher Untersuchung nicht festzustellen sind, stehen wir 24 Monate ab Versandtag in der Weise ein, dass wir das fehlerhafte Material nach unserer Wahl nachbessern oder mangelfrei ersetzen. Ist dies unmöglich, fehlgeschlagen oder unzumutbar, so kann der Auftraggeber nur Herabsetzung des Kaufpreises oder Rücktritt von dem mangelhaften Teil des Vertrages verlangen. Das mangelhafte Teil ist in jedem Fall zum Zwecke der Nachbesserung oder Ersatzteillieferung und bei Vertragsrücktritt vom Auftraggeber an unsere Anschrift zurückzusenden. Für wesentliche Fremderzeugnisse beschränkt sich die Haftung des Lieferers auf die Abtretung der Haftungsansprüche, die ihm gegen den Lieferer des Fremderzeugnisses zustehen.
3. Das Recht des Auftraggebers, Ansprüche aus Mängeln geltend zu machen, verjährt in allen Fällen vom Zeitpunkt der rechtzeitigen Anzeige an in 24 Monaten, frühestens jedoch mit Ablauf der Gewährleistung.
4. Natürlicher Verschleiß, unsachgemäße Behandlung, Fahrlässigkeit, schädigende Einwirkungen Unbefugter, unbeaufsichtigte Benutzung sowie Änderungen am Liefergut, die durch den Auftraggeber oder durch Dritte ohne unsere schriftliche Zustimmung erfolgen, schließen unsere Mängelhaftung und Gewährleistungspflicht ohne Einschränkung aus.
5. Für die Beseitigung von Mängeln hat uns der Auftraggeber die erforderliche Zeit und Gelegenheit einzuräumen. Ist der Auftraggeber hierzu nicht oder nur mit unzumutbaren Auflagen bereit, entfällt für uns jede Gewährleistungspflicht. Das gilt auch bei Mängelanzeigen gemäß Punkt 1.
6. Für das Ersatzstück und die Ausbesserung beträgt die Gewährleistungsfrist drei Monate, sie läuft mindestens aber bis zum Ablauf der ursprünglichen Gewährleistungsfrist für den Liefergegenstand. Die Frist für Mängelhaftung an dem Liefergegenstand wird um die Dauer der durch die Nachbesserungsarbeiten verursachten Betriebsunterbrechung verlängert. Weitere Gewährleistungs- und Schadensersatzansprüche des Auftraggebers in jeglicher Form sind ausgeschlossen; insbesondere ein Anspruch auf Ersatz von Schaden, der nicht an dem Liefergegenstand selbst entstanden ist, sowie Ansprüche des Auftraggebers aus unerlaubter Handlung des Lieferers sind, soweit gesetzlich zulässig, ausgeschlossen. Soweit der vorstehende Haftungsausschluss gesetzlich nicht zulässig ist, ist unsere Haftung unabhängig vom Rechtsgrund begrenzt auf maximal 5% des Kaufpreises desjenigen Materials, das den Schaden verursacht hat oder Gegenstand des Anpruchs ist oder in direktem Bezug dazu steht

**Die in den Lösungen angegebenen Werte können aufgrund von Toleranzen der Bauteile und verschiedenen Betriebsbedingungen von den aktuell gemessenen Werten abweichen. Besondere Sorgfalt gilt der genauen Ablesung der Gasmengen des Gasspeichers. Bereits geringe Fehler können zu einer Fehlinterpretation des Ergebnisses führen. Achten Sie bei der Ermittlung der Stromwerte unbedingt auf die angegebenen Messbereiche für die Multimeter. Der Bereich: 10 A hat einen kleineren Innenwiderstand als der Messbereich: DCA 2000mA. Während der Messung muss auf ein Umschalten auf einen anderen Messbereich verzichtet werden, da sonst die Messreihe verfälscht wird.**

**Achten Sie darauf, dass zum Betrieb des gesamten Systems nur destilliertes Wasser verwendet werden darf.**

**Auf richtige Polung beim Elektrolyseur achten. Der Wasserstand im Elektrolyseur darf höchstens + / - 5 mm vom Pegel abweichen.**

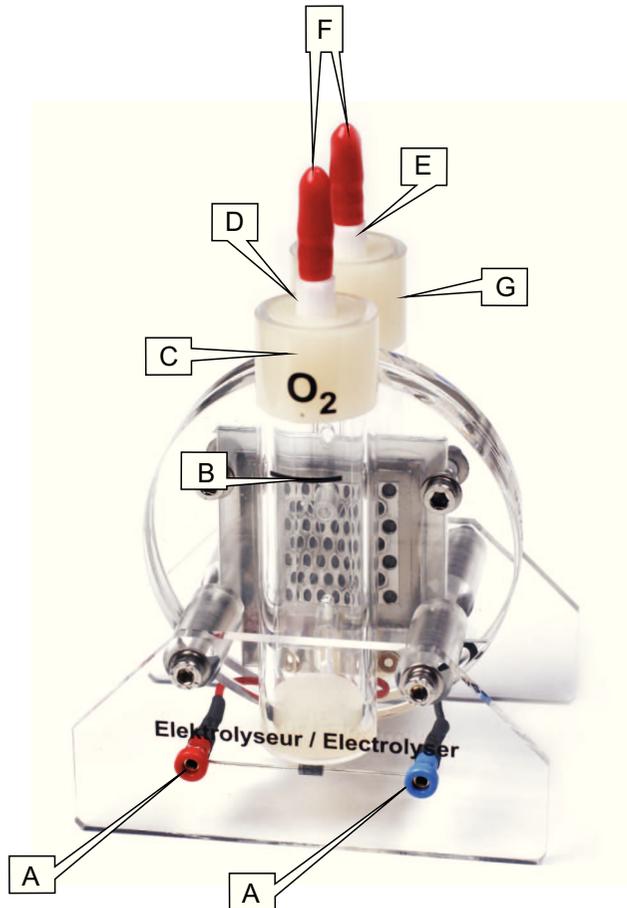
**Der Gasspeicher darf nicht überfüllt werden.**

**Beim Betrieb des Systems entsteht Wasserstoff. Vermeiden Sie Umgang mit offenem Feuer, heißen Gegenständen sowie elektrischen Funken in der Nähe des Aufbaus!**

**Es herrscht Rauchverbot!**

**Die für Schullabore geltenden Schutzvorschriften sind zu beachten.**

## Elektrolyseur

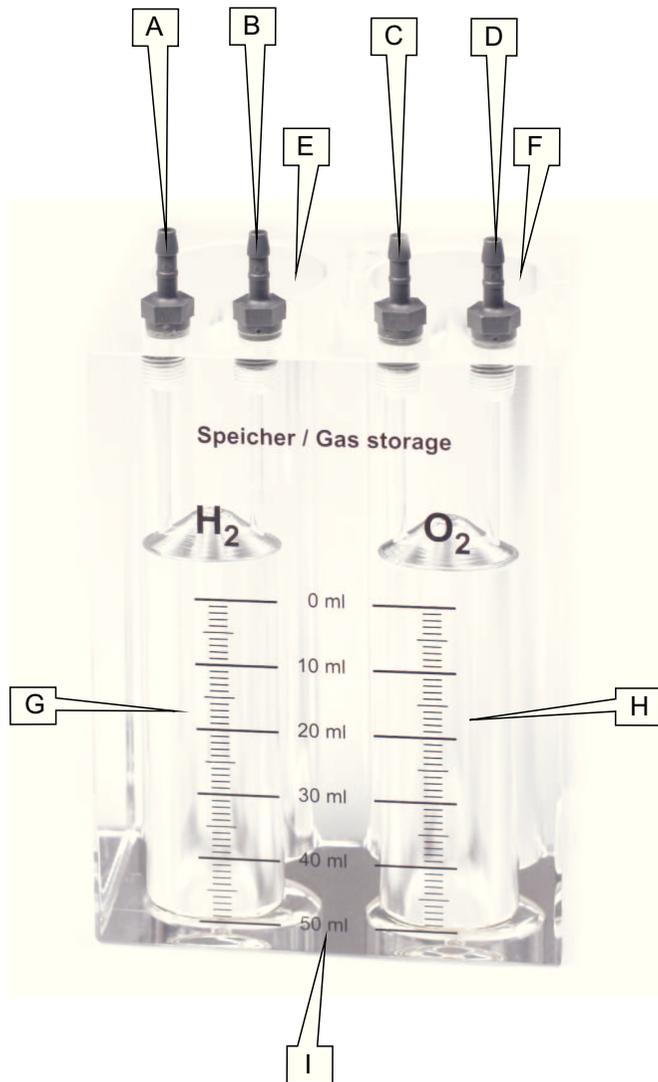


1. Nehmen Sie die Verschlusskappen **F** von den Anschlussstutzen **D** und **E** und legen Sie diese in das Ablagefach **E** der Grundplatte **(1)**.
2. Prüfen Sie den Füllstand auf der Sauerstoff- und Wasserstoffseite (**C** und **G**). Der Wasserstand muss sich in Höhe der Füllmarken **B** befinden. Falls dies nicht der Fall ist, setzen Sie auf die beiliegende Spritze **(7)** die Tülle auf. Diese können Sie in die Anschlussstutzen **D/E** einführen. Saugen Sie Wasser ab oder füllen Sie Wasser aus der Vorratsflasche **(17)** auf.

**Zum Betrieb n u r destilliertes Wasser verwenden!**

**Achten Sie auf die richtige Polung an den Anschlüssen **A**.  
Der Elektrolyseur darf nicht verkehrt gepolt betrieben werden.  
Bei Lagerung, Betrieb und Transport vor Frost schützen!**

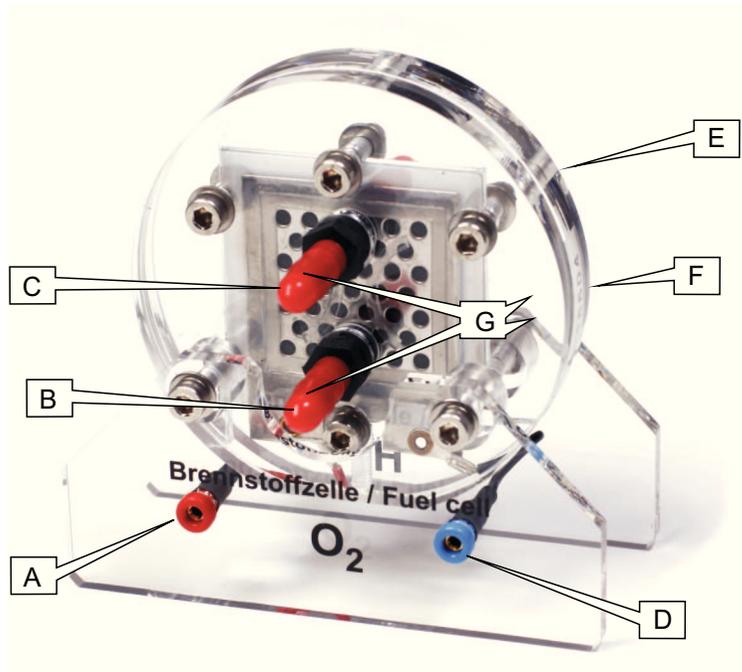
## Gasspeicher



Füllen Sie in die Öffnungen **E** und **F** des Gasspeichers **⑨** destilliertes Wasser, bis der Wasserpegel im Gassammelraum **G** und **H** genau die **0 ml**-Füllmarke auf der Skala **I** erreicht. Wird die Füllmarke überschritten, nehmen Sie das überschüssige Wasser mit der beiliegenden Spritze **⑦** wieder ab.

**Zum Befüllen n u r destilliertes Wasser verwenden!**

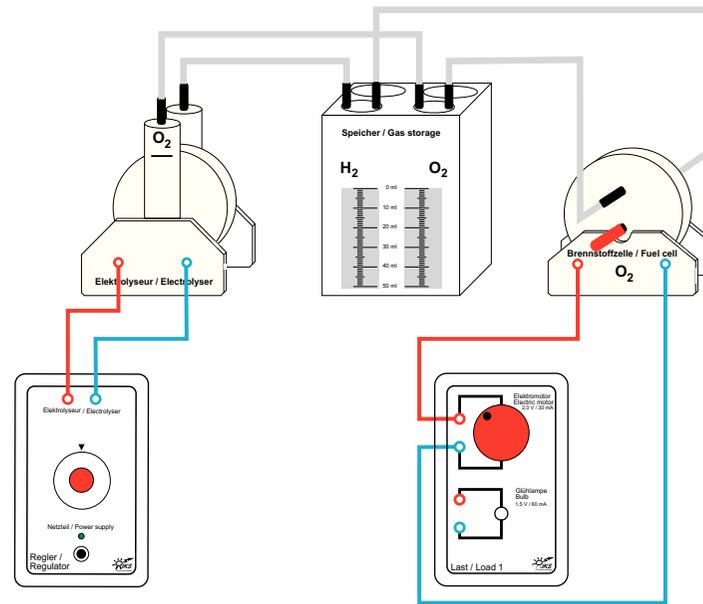
## Brennstoffzelle



Entfernen Sie die Verschlusskappen **G** von den Anschlussstutzen **B** und **F** und legen Sie diese auf das Ablagefach **E** der Grundplatte ①.

**Bei Lagerung, Betrieb und Transport vor Frost schützen!**

## Entlüften des Systems zur Vorbereitung der Experimente 5 und 6



### Achtung:

Werden Experimente mit der Brennstoffzelle durchgeführt, ist es extrem wichtig vorher die atmosphärische Luft aus dem Versuchsaufbau zu entfernen. Andernfalls würde sie sich vor der Membran der Brennstoffzelle ansammeln und die Brennstoffzelle hätte keine oder nur sehr geringe Leistung. Mit dieser Entlüftungsanweisung stellen Sie sicher, dass sich nur Wasserstoff bzw. Sauerstoff vor der Membran befindet.

Bauen Sie die Komponenten gemäß obiger Darstellung auf. Die Verschlusskappen sind auf die **unteren** Anschlussstutzen **B** und **F** aufgesteckt. Beachten Sie die Polung am Elektrolyseur!

Nach dem Zusammenbau sind der Elektrolyseur, der Gasspeicher, die Brennstoffzelle und die Schläuche mit Luft gefüllt. Zum entlüften der Apparatur müssen Sie wie folgt vorgehen:

Füllen Sie in die Öffnungen **E** und **F** des Gasspeichers destilliertes Wasser, bis der Wasserpegel im Gassammelraum **G** und **H** genau die **0 ml**-Marke auf der Skala **I** erreicht.

Wird die Marke überschritten, nehmen Sie das überschüssige Wasser mit der beiliegenden Spritze wieder ab.

Stellen Sie den Regler auf Maximum. Warten Sie, bis der Speicher **50 ml H<sub>2</sub> / 25 ml O<sub>2</sub>** enthält.

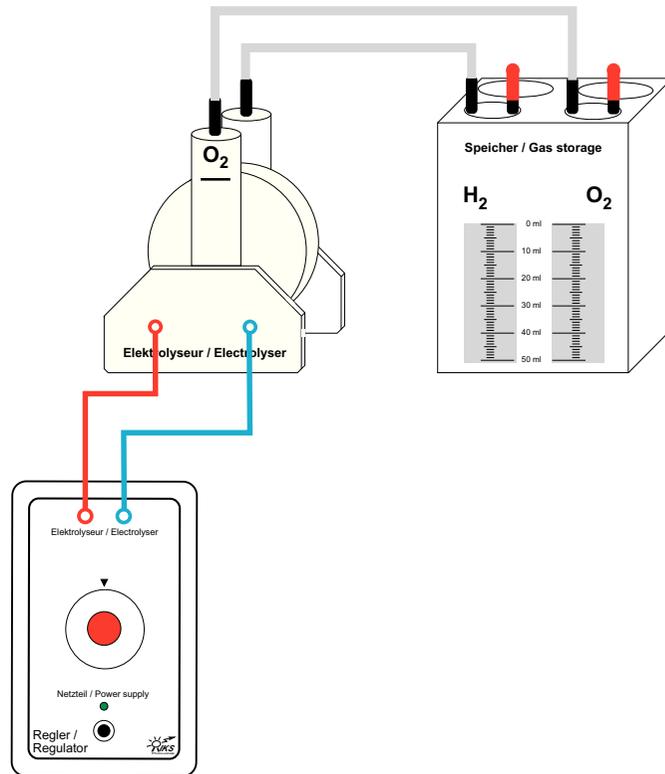
Entfernen Sie dann die Verschlusskappen **G** von den **unteren** Anschlussstutzen **B** und **F** der Brennstoffzelle und lassen Sie die Gase fast vollständig, bis **kurz vor** der Füllmarke: **0 ml** ausströmen. Der Elektromotor der Last 1 dreht sich als Nachweis für die Energieumwandlung. Anschließend die Verschlusskappen sofort wieder aufsetzen.

Stellen Sie den Regler auf **0** und entfernen Sie die Messkabel zur Last 1.

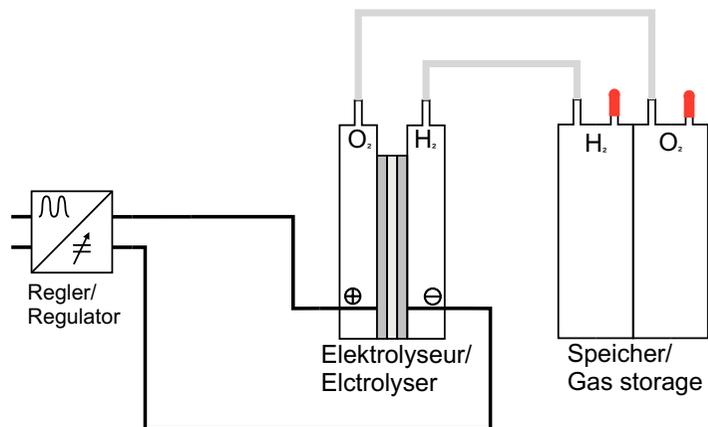
Falls die Brennstoffzelle, bei den weiteren Experimenten, nicht genügend Leistung bringt, wiederholen Sie die Entlüftungsanweisung.

Der Aufbau ist nun für die Experimente mit der Brennstoffzelle vorbereitet.

Aufbau



Schaltplan



### Information

Bei der Elektrolyse werden aus flüssigem Wasser die Gase Sauerstoff und Wasserstoff gewonnen. In diesem Experiment wird untersucht, in welchem Verhältnis die produzierten Gasvolumina entstehen.

### Aufgabe

Bauen Sie das Experiment entsprechend der oben gezeigten Darstellung auf.

#### Beachten Sie die Polung am Elektrolyseur!

Der Gasspeicher muss jeweils bis zur **0 ml**-Füllmarke mit destilliertem Wasser gefüllt sein.

Verschließen Sie die jeweils rechten Anschlussstutzen des Gasspeichers mit den Verschlusskappen, damit die Gase nicht entweichen können.

Stellen Sie den Regler auf Maximum. Warten Sie, bis ca. **20 ml** Wasserstoff erzeugt wurden. Lesen Sie die erzeugten Gasvolumina für Wasserstoff und Sauerstoff ab und tragen die Werte in die Tabelle ein.

	Erzeugtes Gasvolumen V in ml
Wasserstoff	
Sauerstoff	

1. In welchem Verhältnis stehen die erzeugten Gasvolumina ?

$$\frac{V(\text{H}_2)}{V(\text{O}_2)} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

2. Wie lässt sich dieses Verhältnis erklären ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Formulieren Sie die an der Anode und Kathode stattfindenden Reaktionen und die Gesamtreaktionsgleichung.

.....

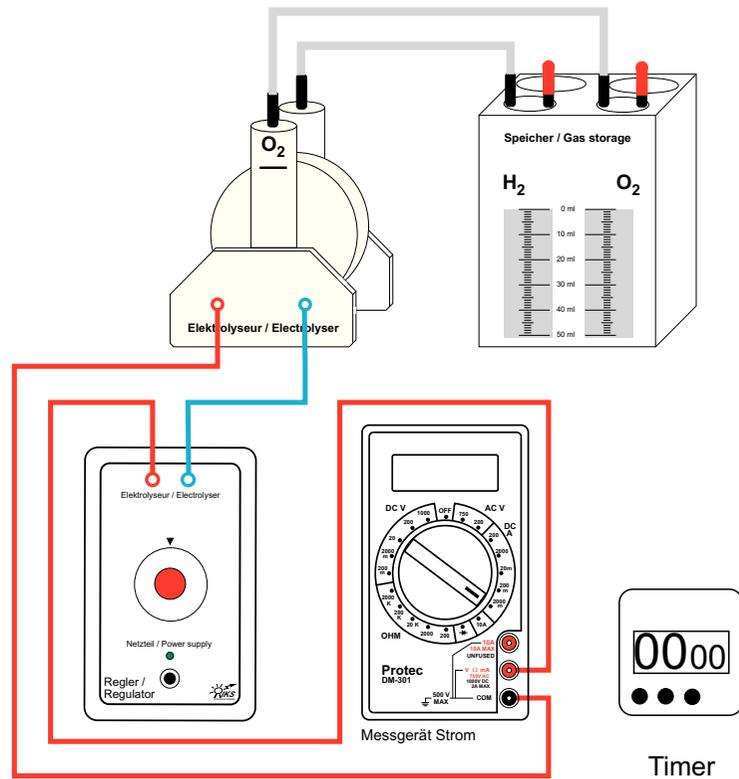
.....

.....

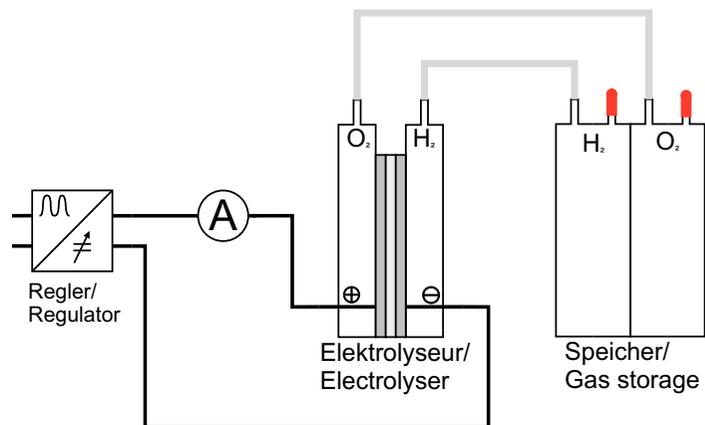
.....

.....

Aufbau



Schaltplan



### Information

Bei der Elektrolyse bestimmt die Stromstärke die erzeugten Gasmengen pro Zeiteinheit.

Dieser Zusammenhang wird durch das 1. Faradaysche Gesetz beschrieben.

Das 2. Faradaysche Gesetz behandelt die Abscheidung unterschiedlicher Stoffe. Beide Gesetze werden in diesem Experiment untersucht.

### Aufgabe

Bauen Sie das Experiment entsprechend der oben gezeigten Darstellung auf.

#### Beachten Sie die Polung am Elektrolyseur!

Der Gasspeicher muss jeweils bis zur **0 ml**-Füllmarke mit destilliertem Wasser gefüllt sein.

Verschließen Sie die jeweils rechten Anschlussstutzen des Gasspeichers mit den Verschlusskappen, damit die Gase nicht entweichen können.

Stellen Sie den Regler zu Beginn auf **0 mA** und das Multimeter als Amperemeter auf den Messbereich **DC A 2000 m**.

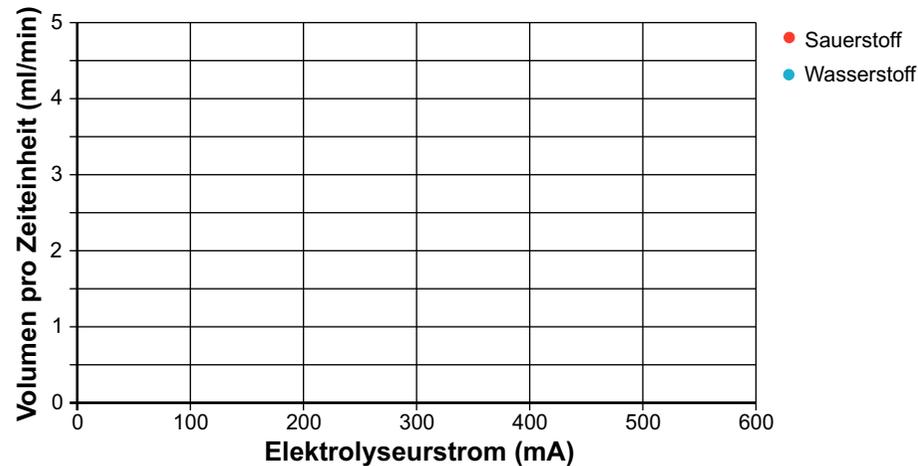
Es sind mehrere Messungen bei verschiedenen Stromstärken durchzuführen.

Stellen Sie die vorgegebene Stromstärke über den Regler ein und notieren Sie die anfänglichen Füllstände in der Tabelle. Geben Sie die zugehörigen Zeitintervalle in den Timer ein und starten Sie die Zeitmessung.

Notieren Sie nach Ablauf der Zeit die neuen Füllstände und fahren Sie mit der nächsten Stromstärke fort.

Strom I in mA	Zeit t in min	Wasserstoff				Sauerstoff			
		Volumen H <sub>2</sub> in ml		Δ V in ml	ΔV/t in ml/min	Volumen O <sub>2</sub> in ml		Δ V in ml	Δ V/t in ml/min
		Start	Ende			Start	Ende		
0	0								
100	6								
200	5								
300	3								
400	2								
500	2								

Gasmenge pro Zeiteinheit zur Stromstärke



- Berechnen Sie die erzeugten Gasvolumina  $\Delta V$  für Wasserstoff aus den Start - und Endfüllständen des Gasspeichers sowie die pro Minute erzeugten Gasvolumina  $\Delta V / t$ . Tragen Sie die berechneten Werte in das Diagramm ein und diskutieren Sie das Ergebnis.

.....

.....

.....

.....

.....

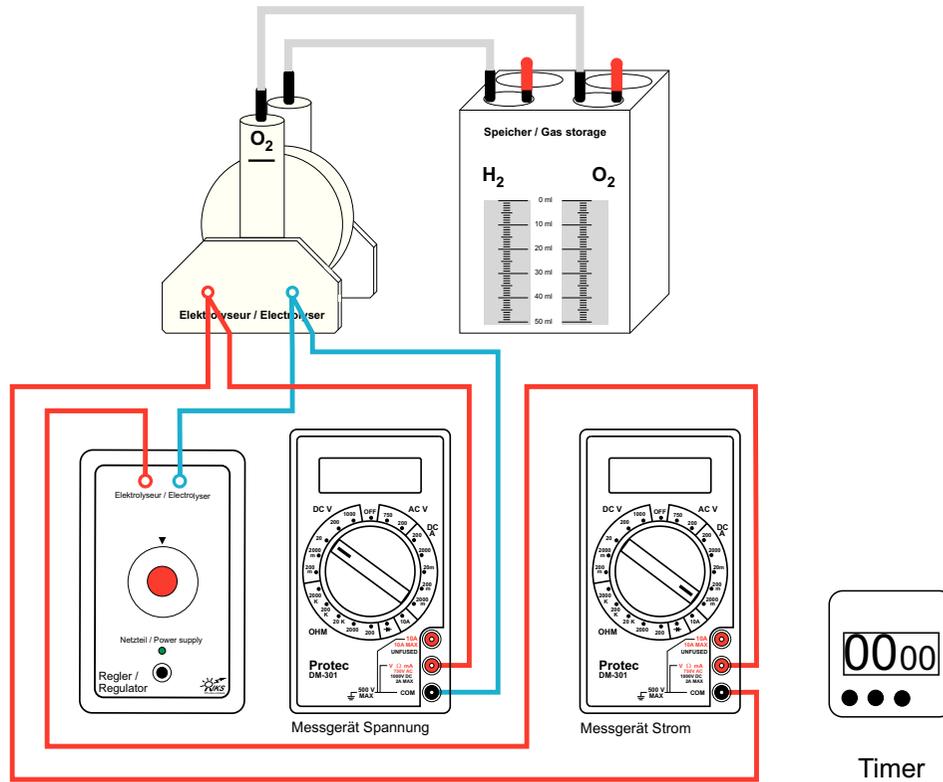
.....

Fortsetzung der Aufgaben nächste Seite →

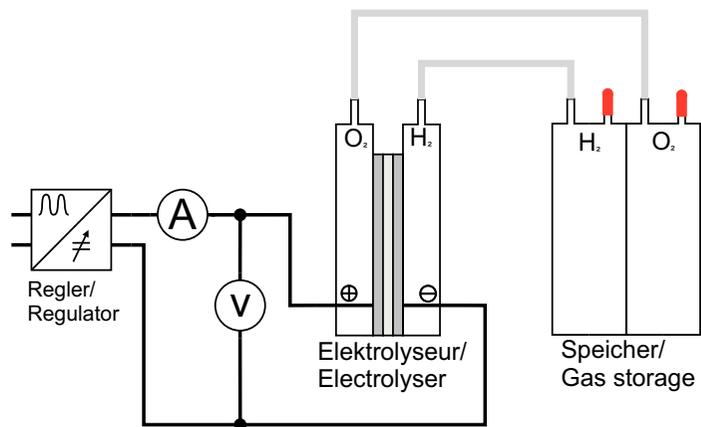




Aufbau



Schaltplan



### Information

Zur elektrolytischen Zersetzung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff wird elektrischer Strom benötigt. Über das erzeugte Gasvolumen und die eingesetzte Strommenge lassen sich der Energie- und der Faraday-Wirkungsgrad des Elektrolyseurs berechnen.

### Aufgabe

Bauen Sie den Versuch entsprechend der obigen Darstellung auf.

#### Beachten sie die Polung am Elektrolyseur!

Verschließen Sie die jeweils rechten Anschlussstutzen des Gasspeichers mit den Verschlusskappen, damit die Gase nicht entweichen können.

Stellen Sie das Multimeter als Amperemeter auf den Bereich **DC A 2000 m** und das Multimeter als Voltmeter auf den Bereich **DC V 20** ein.

Es sind zwei Messungen bei unterschiedlichen Stromstärken durchzuführen.

Stellen Sie die vorgegebene Stromstärke (**0,1 A**) über den Regler ein und notieren Sie den anfänglichen Füllstand des Wasserstoffspeichers in der Tabelle.

Geben Sie das zugehörige Zeitintervall (**12 min**) in den Timer ein und starten Sie die Zeitmessung.

Messen Sie die Spannung und notieren Sie nach Ablauf der Zeit den neuen Füllstand.

Geben Sie das zugehörige Zeitintervall (**4 min**) in den Timer ein und starten Sie die Zeitmessung.

Fahren Sie dann von diesem Füllstand aus mit der nächsten Stromstärke (**0,5 A**) fort.

Messen Sie die Spannung und notieren Sie nach Ablauf der Zeit den neuen Füllstand.

Berechnen Sie die erzeugten Gasvolumina aus den Start- und Endfüllständen des Wasserstoffgasspeichers.

Strom I in mA	Spannung U in V	Zeit t in min	Volumen H <sub>2</sub> in ml Start	Volumen H <sub>2</sub> in ml Ende	Δ V in ml
100		12			
500		4			

1. Definieren Sie den Energiewirkungsgrad  $\eta_E$  des Elektrolyseurs.

.....

.....

.....

.....

.....

2. Berechnen Sie den Energiewirkungsgrad  $\eta_E$  des Elektrolyseurs. Die chemische Energie wird über den Brennwert von Wasserstoff berechnet. Er beträgt 286 kJ / mol. Ein Mol Wasserstoff hat ein Volumen von  $V_m = 22414$  ml (bei 1 bar und 0° C) bzw.  $V_m = 24414$  ml (bei 1 bar und 20° C).

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Fortsetzung der Aufgaben nächste Seite →



5. Berechnen Sie den Faraday-Wirkungsgrad  $\eta_F$  des Elektrolyseurs für die verwendeten Stromstärken. Beachten Sie: Ein Mol Wasserstoff hat ein Volumen von  $V_m = 22414$  ml (bei 1 bar und  $0^\circ$  C) bzw.  $V_m = 24414$  ml (bei 1 bar und  $20^\circ$  C) und besteht aus zwei Mol Wasserstoffionen.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Strom I in mA	theoretisch herstellbare Gasmenge $V_{\text{theo}}$ in ml	Faraday-Wirkungsgrad $\eta_F$ in %
100		
500		

6. Welche Vorgänge beeinflussen den Faraday-Wirkungsgrad  $\eta_F$  des Elektrolyseurs?

.....

.....

.....

.....

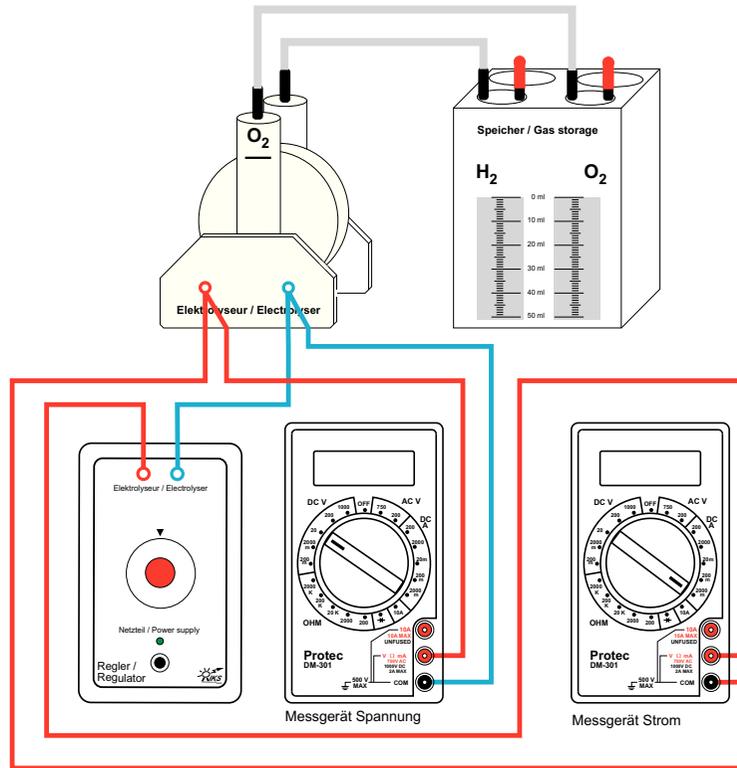
.....

.....

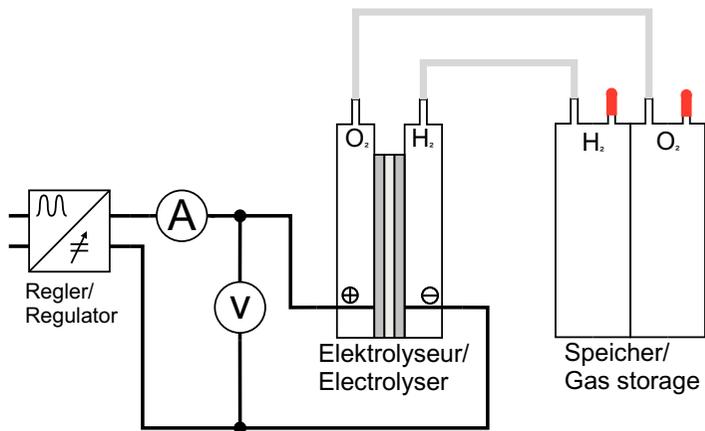
.....

.....

Aufbau



Schaltplan



### Information

An der Strom-Spannungs-Kennlinie lassen sich die elektrischen Eigenschaften des Elektrolyseurs am genauesten ablesen.  
Sie wird in diesem Experiment näher untersucht.

### Aufgabe

Bauen Sie das Experiment entsprechend der obigen Darstellung auf.

### Beachten Sie die Polung am Elektrolyseur!

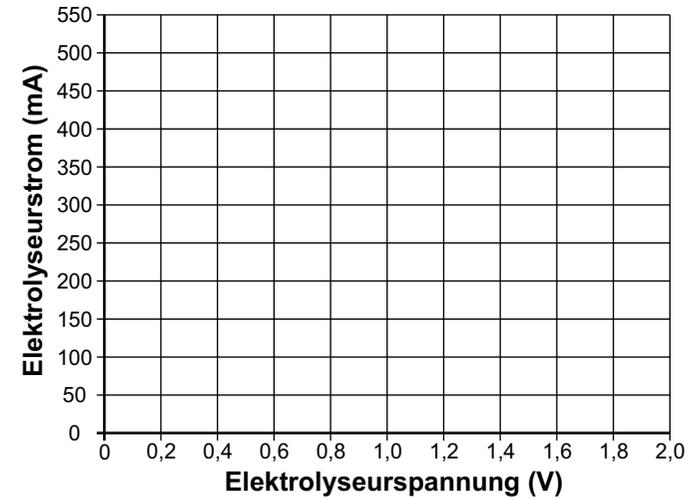
Verschließen Sie die jeweils rechten Anschlussstutzen des Gasspeichers mit den Verschlusskappen, damit die Gase nicht entweichen können.  
Stellen Sie das Multimeter als Amperemeter auf den Messbereich **DC A 2000 m** und das Multimeter als Voltmeter auf den Bereich **DC V 20** ein.

Es sind Messungen bei unterschiedlichen Stromstärken durchzuführen.

Stellen Sie die vorgegebene Stromstärke über den Regler ein und notieren Sie die zugehörige Spannung in nebenstehende Tabelle.

Strom I in mA	Spannung U in V
0	
20	
40	
60	
100	
200	
300	
400	
500	

Strom-Spannungs-Kennlinie des Elektrolyseurs



1. Tragen Sie die Werte in das Diagramm ein und zeichnen Sie eine Ausgleichskurve.
2. Was ist an der Strom-Spannungs-Kennlinie auffällig? Begründen Sie dies.

.....

.....

.....

.....

.....

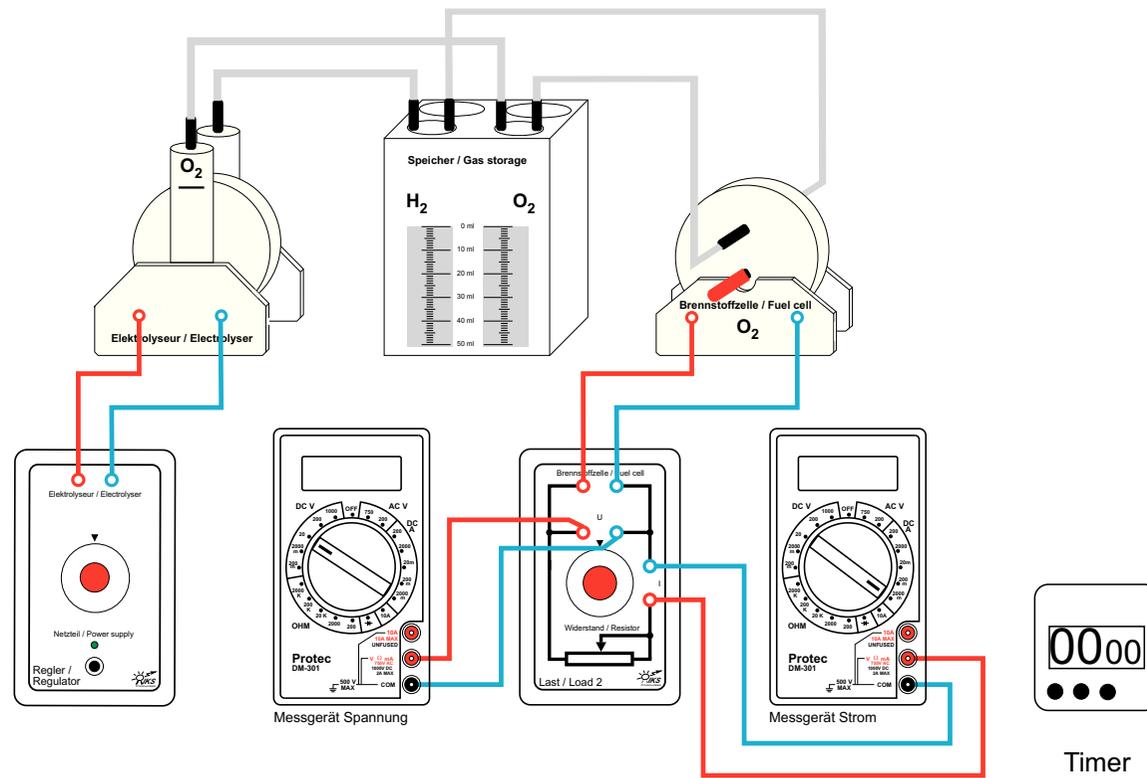
.....

.....

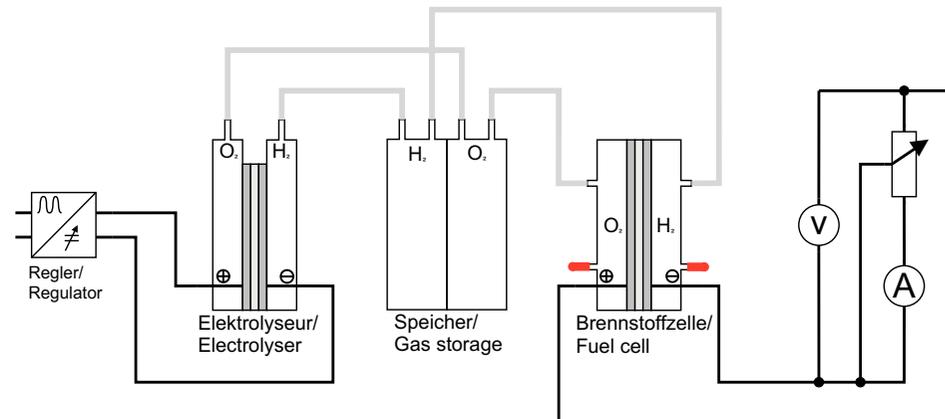
.....

.....

Aufbau



Schaltplan



### Information

Die Brennstoffzelle wandelt die chemische Energie des Wasserstoffs und des Sauerstoffs in nutzbare elektrische Energie um.

Über das verbrauchte Gasvolumen und den gewonnenen Strom wird in diesem Experiment der Energie- und der Faraday-Wirkungsgrad berechnet.

### Aufgabe

**Hinweis: vor diesem Experimenten die Brennstoffzelle bitte noch einmal sorgfältig entlüften. Siehe: Inbetriebnahme Seite 9 - 10.**

Bauen Sie das Experiment entsprechend der obigen Darstellung auf.

#### Beachten Sie die Polung am Elektrolyseur!

Stellen Sie ein Multimeter als Amperemeter auf den Messbereich **DC A 2000 m** und ein Multimeter als Voltmeter auf den Bereich **DC V 20** ein.

Vor dem eigentlichen Experiment wird der Gasspeicher mit Gas gefüllt.

Stellen Sie dazu den Regler auf Maximum.

Während der Messung darf keine Elektrolyse stattfinden. Der Regler muss auf **0** stehen. Sollte der Gasvorrat knapp werden, wird der Speicher zwischen den Messungen wieder aufgefüllt.

Es sollen Messungen bei zwei verschiedenen Belastungswiderständen durchgeführt werden. Stellen Sie die vorgegebene Stromstärke (**0,5 A**) über den Belastungswiderstand der Last 2 ein und halten Sie den anfänglichen Füllstand des Wasserstoffgasspeichers in der Tabelle fest.

Geben Sie das zugehörige Zeitintervall in den Timer ein und starten Sie die Zeitmessung.

**Die eingestellte Stromstärke, bitte bei Bedarf, durch vorsichtiges Nachregeln konstant halten.**

Messen Sie die Spannung und notieren Sie nach Ablauf der Zeit den neuen Füllstand.

Fahren Sie dann mit der nächsten Stromstärke (**0,2 A**) fort.

**Die eingestellte Stromstärke, bitte bei Bedarf, durch vorsichtiges Nachregeln konstant halten.**

Berechnen Sie aus der Differenz von Start- und Endfüllstand einer Messung jeweils das verbrauchte Gasvolumen.

Strom I in mA	Spannung U in V	Zeit t in min	Volumen H <sub>2</sub> in ml Start	Volumen H <sub>2</sub> in ml Ende	Δ V in ml
500		2			
200		3			

1. Definieren Sie den Energiewirkungsgrad  $\eta_E$  der Brennstoffzelle.

.....

.....

.....

.....

.....

2. Berechnen Sie den Energiewirkungsgrad  $\eta_E$  der Brennstoffzelle. Die chemische Energie wird über den Brennwert von Wasserstoff berechnet. Er beträgt 286 kJ / mol. Ein Mol Wasserstoff hat ein Volumen von  $V_m = 22414$  ml (bei 1 bar und 0° C) bzw.  $V_m = 24414$  ml (bei 1 bar und 20° C).

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Fortsetzung der Aufgaben nächste Seite →



5. Berechnen Sie den Faraday-Wirkungsgrad  $\eta_F$  der Brennstoffzelle für die verwendeten Stromstärken. Beachten Sie: Ein Mol Wasserstoff hat ein Volumen von  $V_m = 22414$  ml (bei 1 bar und  $0^\circ$  C) bzw.  $V_m = 24414$  ml (bei 1 bar und  $20^\circ$  C) und besteht aus zwei Mol Wasserstoffionen.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Strom I in mA	theoretisch herstellbare Gasmenge $V_{\text{theo}}$ in ml	Faraday-Wirkungsgrad $\eta_F$ in %
500		
200		

6. Welche Vorgänge beeinflussen den Faraday-Wirkungsgrad  $\eta_F$  der Brennstoffzelle?.

.....

.....

.....

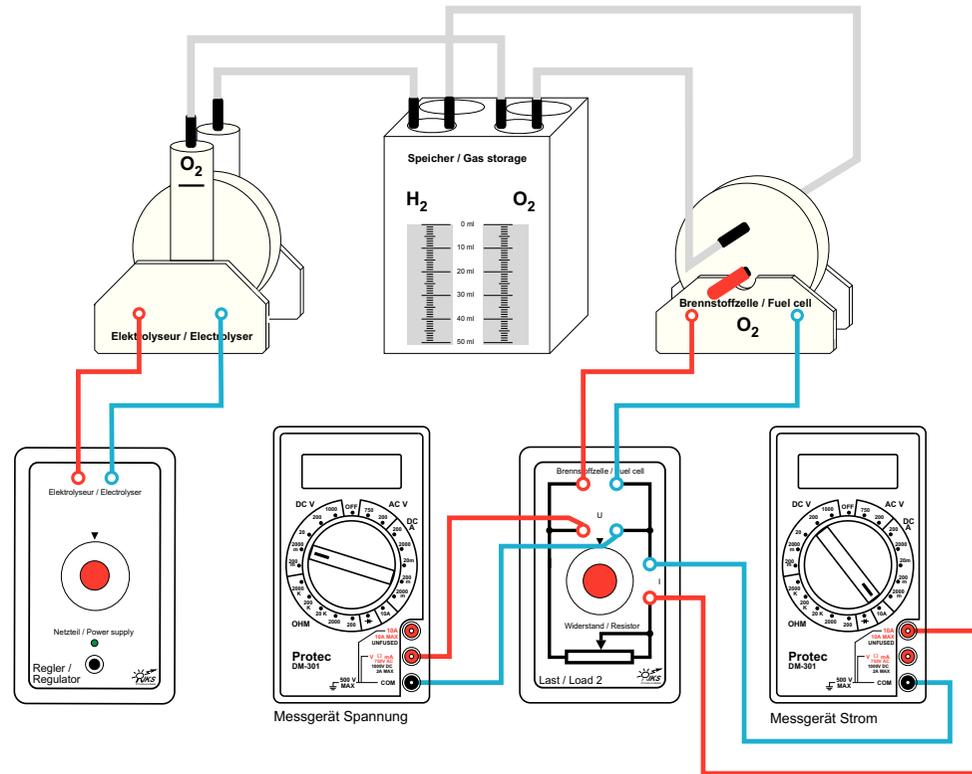
.....

.....

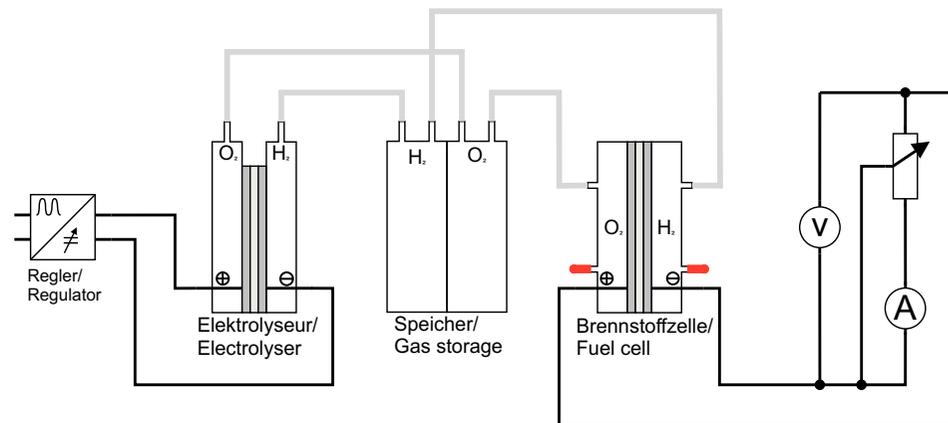
.....

.....

Aufbau



Schaltplan



**Information**

Die Strom-Spannungs-Kennlinie ist ein wichtiges Charakteristikum für stromerzeugende Systeme. In diesem Experiment wird die Kennlinie der Brennstoffzelle untersucht und in Beziehung zur Leistungskurve der Zelle gesetzt.

**Aufgabe**

Hinweis: Bei Experimenten mit der Brennstoffzelle siehe Inbetriebnahme Seite **9-10**.

Bauen Sie das Experiment entsprechend der obigen Darstellung auf.

**Beachten Sie die Polung am Elektrolyseur!**

Stellen Sie das Multimeter als Amperemeter auf den Messbereich **DC A 10A** ein. Das Plus-Kabel von Last 2 wird jedoch erst zu Beginn des Experimentes mit der obersten Messbuchse des Stromstärkemessgerätes verbunden, andernfalls würde die Brennstoffzelle bereits Gas verbrauchen.

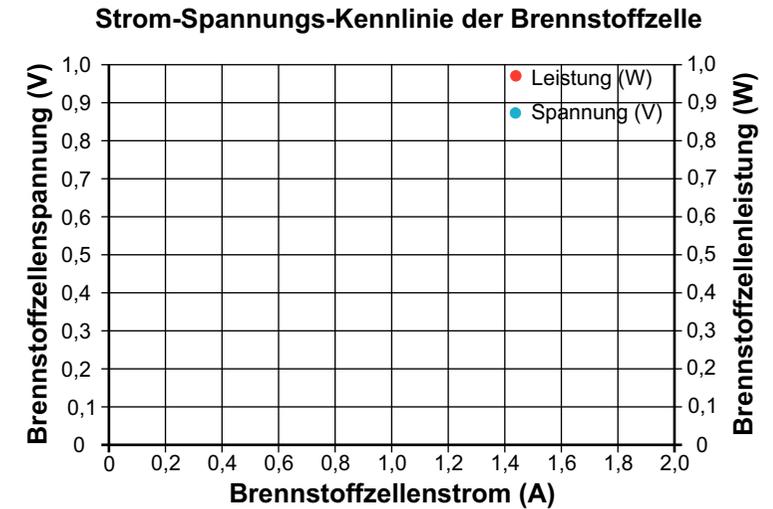
Vor dem eigentlichen Experiment wird die Anlage nach (Inbetriebnahme Seite **10**) entlüftet. Danach wird der Gasspeicher mit Gas gefüllt. Stellen Sie dazu den Regler auf Maximum. Während der Messung kann der Elektrolyseur weiter in Betrieb sein.

Stellen Sie das Multimeter als Voltmeter auf den Bereich **DC V 2000 m** ein und messen Sie die Leerlaufspannung (Strom  $I = 0$ ). Schließen Sie danach das Stromstärkemessgerät an.

Stellen Sie nun über das Potentiometer von Last 2 die Stromstärken ein. Beginnen Sie mit einem großen Widerstand und reduzieren ihn so, dass jeweils im Abstand von **0,2 A** ein Messpunkt erhalten wird. Messen Sie die dazugehörige Spannung und tragen Sie die Werte in die Tabelle ein.

**Die letzten Messpunkte sollten zügig aufgenommen werden, damit der Gasspeicher nicht leer läuft.**

Strom I in A	Spannung U in V	Leistung P in W
0,0		
0,2		
0,4		
0,6		
0,8		
1,0		
1,2		
1,4		
1,6		
1,8		



1. Tragen Sie die gemessenen Werte für die Stromstärken I und die Spannungen U in das Diagramm ein und zeichnen Sie eine Ausgleichskurve. Diskutieren Sie die Strom-Spannungs-Kennlinie der Brennstoffzelle.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Berechnen Sie aus der Stromstärke I und der Spannung U die jeweilige Leistung P. Tragen Sie die berechneten Werte in das Diagramm ein und zeichnen Sie eine Ausgleichskurve. An welchem Punkt wird die größte Leistung der Brennstoffzelle entnommen (Leistungsanpassung)? Warum wird die Brennstoffzelle jedoch meist nicht in diesem Punkt, sondern bei einer geringeren Stromstärke betrieben?

.....

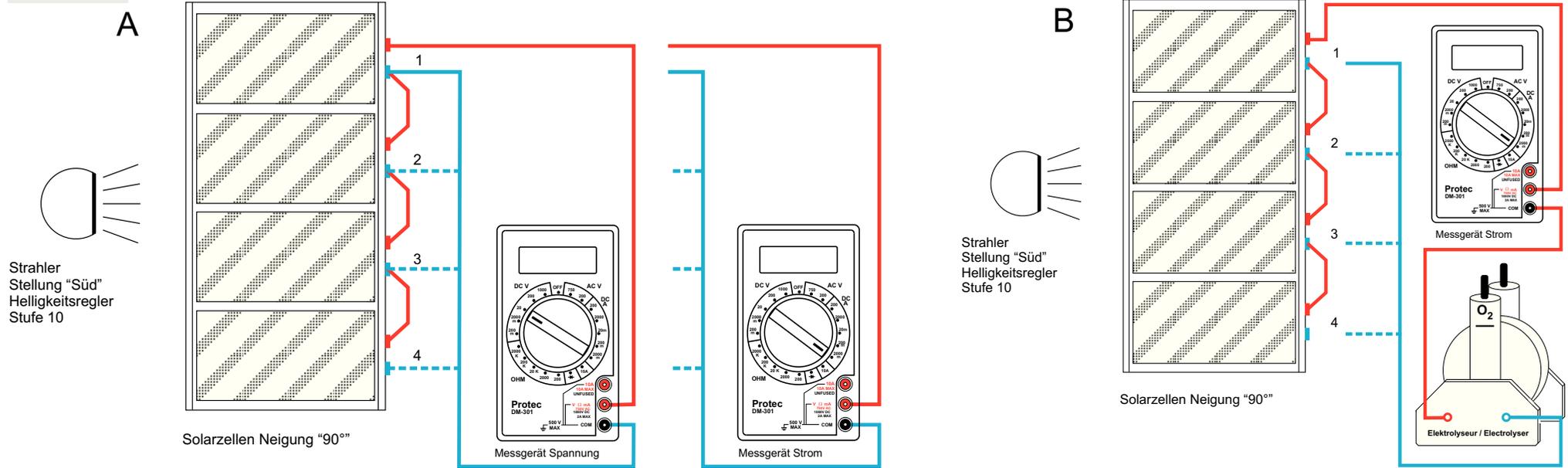
.....

.....

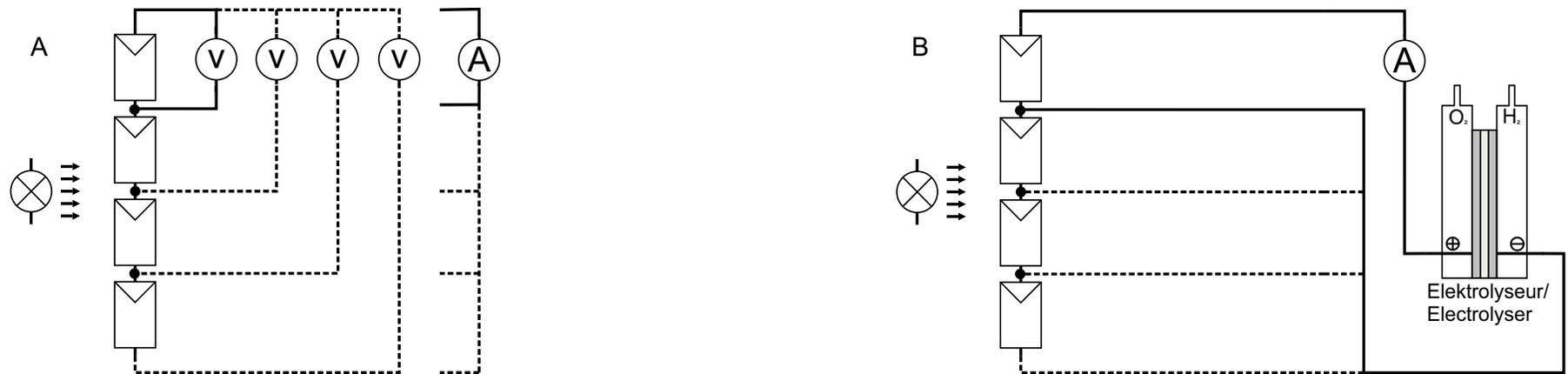
# Betrieb des Elektrolyseurs mit Solarzellen

# Experiment 7

## Aufbau



## Schaltplan



## Information

Die Wasserstofftechnik wird insbesondere dann interessant, wenn zur Erzeugung des Wasserstoffs regenerative Energien, z.B. Solarenergie, zum Einsatz kommen. In diesem Experiment wird der Betrieb des Elektrolyseurs mit Solarzellen untersucht.

**Hinweis: Für die Durchführung dieses Experimentes wird das Experimentiersystem SOLARTRAINER junior benötigt.**

## Aufgabe

**A:** Bauen Sie das Experiment zunächst entsprechend der obigen linken Darstellung auf.

Messen Sie jeweils die Leerlaufspannung und die Kurzschlussstromstärke für eine Solarzelle bzw. zwei, drei und vier in Reihe geschaltete Solarzellen.

Verwenden Sie zur Spannungsmessung ein Multimeter als Voltmeter mit dem Messbereich **DC V 20** und zur Stromstärkemessung ein Multimeter als Amperemeter mit dem Messbereich **DC A 2000 m**.

Tragen Sie die Werte in die Tabelle 1 ein.

**B:** Bauen Sie das Experiment dann nach der obigen rechten Darstellung auf.

Messen Sie nun für eine Solarzelle bzw. für zwei, drei und vier in Reihe geschaltete Solarzellen die Stromstärke, die durch den Elektrolyseur fließt und halten Sie die Messwerte ebenfalls in der Tabelle 1 fest.

Beachten Sie zusätzlich die Gasentwicklung.

**Tabelle 1**

Zahl der in Reihe geschalteten Solarzellen	1	2	3	4
Leerlaufspannung des Solarmoduls $U_{LL}$ in V				
Kurzschlussstrom des Solarmoduls $I_k$ in mA				
Strom durch den Elektrolyseur				

Fortsetzung der Aufgaben nächste Seite →

**Aufgabe**

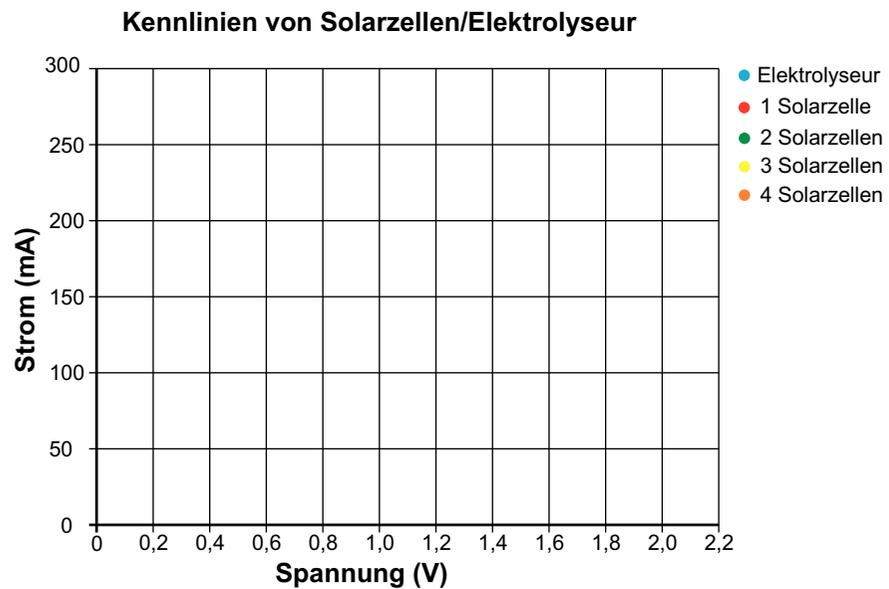
1. Verwenden Sie die Messwerte für die I/U - Kennlinie des Elektrolyseurs bitte von Experiment 4 Seite 16 und übertragen sie in die Tabelle 2. Dann zeichnen Sie die I/U - Kennlinie des Elektrolyseurs in das Diagramm ein.
2. Zeichnen Sie die Kennlinien der Module aus einer, zwei, drei und vier Solarzellen in das Diagramm ein.

**Hinweis:**

Die Kennlinien für die Solarzellenmodule entsprechen von der Form, denen einer einzelnen Solarzelle. Verwenden Sie die gemessenen Leerlaufspannungen  $U_{LL}$  und die Kurzschlussstromstärken  $I_{KS}$  aus Tabelle 1 als Eckpunkte und tragen die Kurvenform anhand dieser in das Diagramm ein.

**Tabelle: 2 (Werte von Experiment 4)**

Elektrolyseur: I/U Kennlinie	
Strom I in mA	Spannung U in V
0	
20	
40	
60	
100	
130	
150	
200	
300	



3. Wie viele Solarzellen werden mindestens benötigt, damit sich im Elektrolyseur eine Stromstärke  $I$  größer **null** einstellt? Kennzeichnen Sie die Stelle auf der Elektrolyseur-kennlinie mit **A**. Lohnt es sich weitere Solarzellen in Reihe zu schalten? Wenn ja, kennzeichnen Sie die Stelle auf der Elektrolyseurkennlinie mit **B**. Begründen Sie Ihre Antwort mit Hilfe der skizzierten Kennlinien.

.....

.....

.....

.....

4. Wie könnte die Wasserstoffproduktion gesteigert werden?

Lohnt es sich, weitere Solarzellen parallel zu schalten? Begründen Sie Ihre Antwort mit einer zusätzlich eingezeichneten Kennlinie. Kennzeichnen Sie den Punkt auf der Elektrolyseurkennlinie mit **B**.

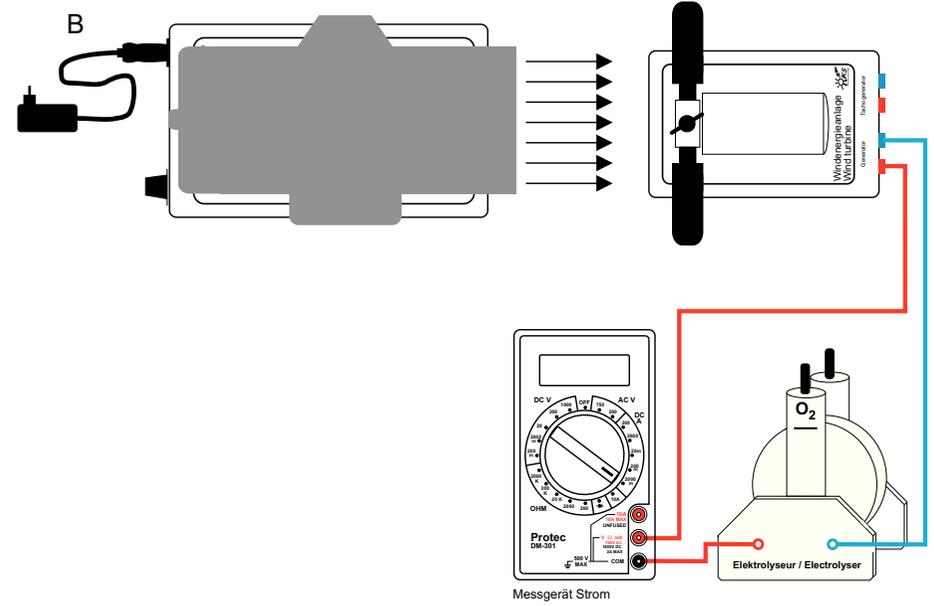
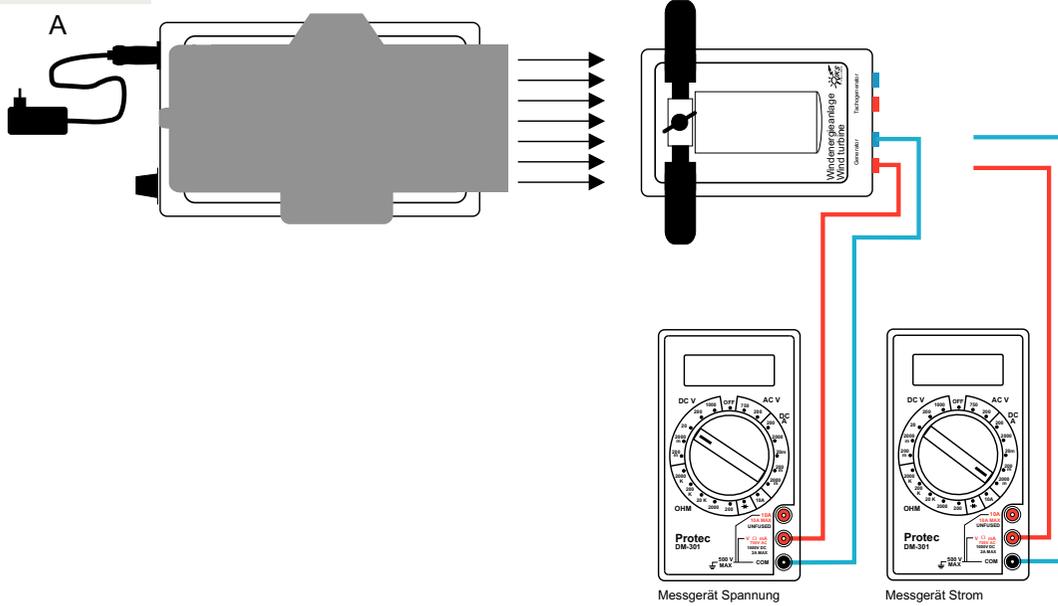
.....

.....

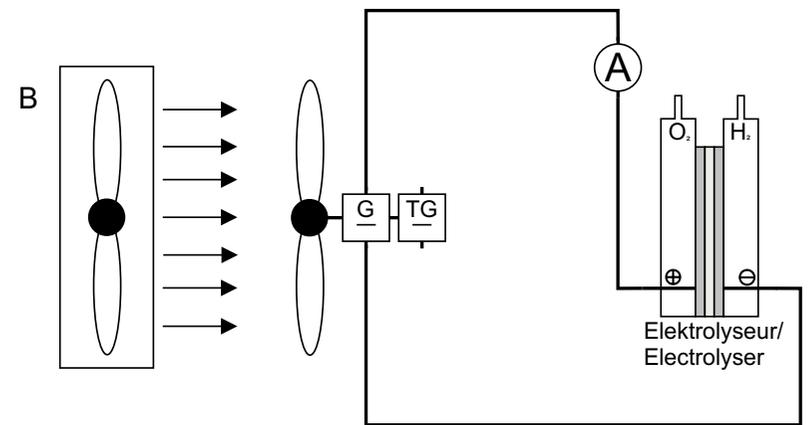
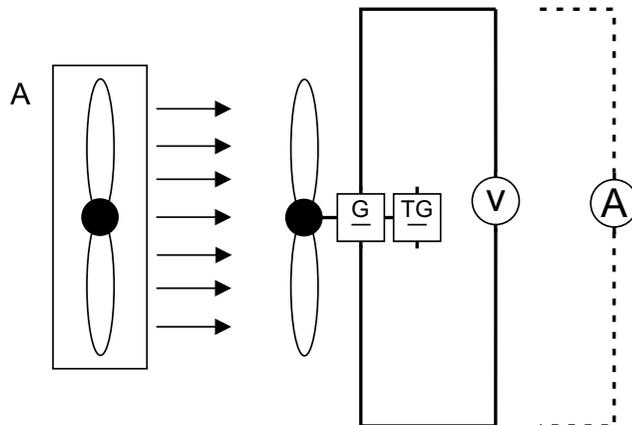
.....

.....

Aufbau



Schaltplan



### Information

Zur Erzeugung von Wasserstoff aus regenerativen Energien eignet sich neben der Solar- auch die Windenergie. In diesem Experiment wird der Betrieb des Elektrolyseurs mit einer Windenergieanlage untersucht.

**Hinweis: Für die Durchführung dieses Experimentes wird das Experimentiersystem WINDTRAINER junior benötigt.**

### Aufgabe

Bauen Sie das Experiment entsprechend der oben gezeigten Darstellung und den unten aufgeführten Einstellungen auf. Verwenden Sie zur Spannungsmessung das Multimeter als Voltmeter mit dem Messbereich **DC V 20** und zur Stromstärkemessung das Multimeter als Amperemeter mit dem Messbereich **DC A 2000 m**.

- A:** Messen Sie jeweils die Leerlaufspannung und die Kurzschlussstromstärke der Windenergieanlage. Tragen Sie die Messwerte in Tabelle 1 ein.
- B:** Schließen Sie nun den Elektrolyseur an die Windenergieanlage an. Beachten Sie die Polung!  
Messen Sie, bei Windgeschwindigkeit **10 m/s**, die Stromstärke, die durch den Elektrolyseur fließt und tragen sie in Tabelle 1 ein. Beachten Sie zusätzlich die Gasentwicklung. Verringern Sie die Windgeschwindigkeit, bis die Stromstärke durch den Elektrolyseur auf **null** zurückgeht. Messen Sie die Windgeschwindigkeit, die dazugehörige Leerlaufspannung, die Kurzschlussstromstärke der Windenergieanlage und tragen die Werte in Tabelle 2 ein.
- C:** Zeichnen Sie die I/U-Kennlinien des Elektrolyseurs (Werte bitte von Experiment 4 S. 16 übernehmen) und die der Windenergieanlage für beide Windgeschwindigkeiten in das Diagramm ein. Nehmen Sie für die Kennlinien der Windenergieanlage näherungsweise eine Gerade an.

Einstellungen:

Windenergieanlagentyp: Auftrieb  
 Flügelanzahl: 4  
 Flügelform: gewölbt  
 Einstellwinkel: 75°  
 Windgeschwindigkeit: 10 m/s (maximal)

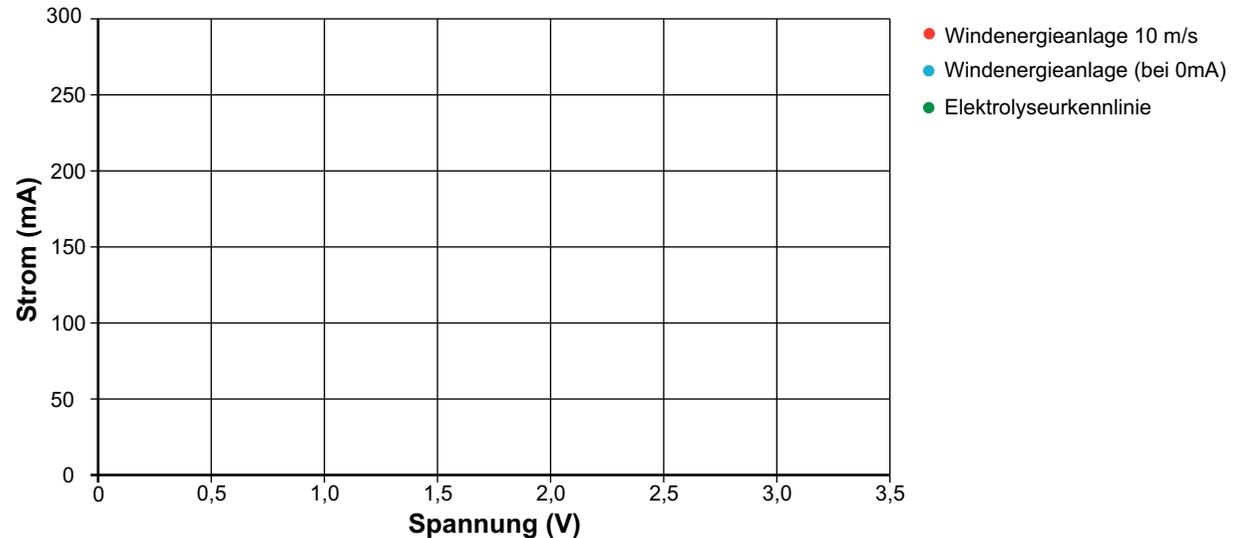
Tabelle 1

Leerlaufspannung der Windenergieanlage $U_{LL}$ in V	
Kurzschlussstrom der Windenergieanlage $I_k$ in mA	
Strom durch den Elektrolyseur in mA	

Tabelle 2

Grenzfall ( $I=0$ )	
Grenz-Windgeschwindigkeit in m/s	
Leerlaufspannung der Windenergieanlage $U_{LL}$ in V	
Kurzschlussstrom der Windenergieanlage $I_{KS}$ in mA	

Kennlinien von Windenergieanlage/Elektrolyseur



1. Wie erklärt es sich, dass die Stromstärke auf null sinkt, bevor die Windgeschwindigkeit gleich null ist? Verwenden Sie zur Erklärung das Diagramm mit den Kennlinien.

.....

.....

.....

.....

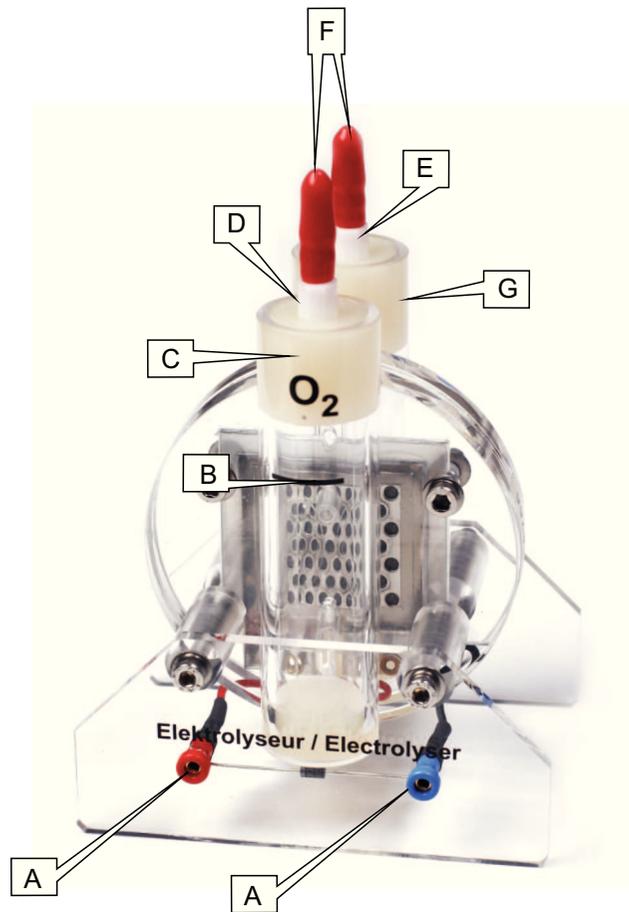
.....

.....

.....

.....

Elektrolyseur



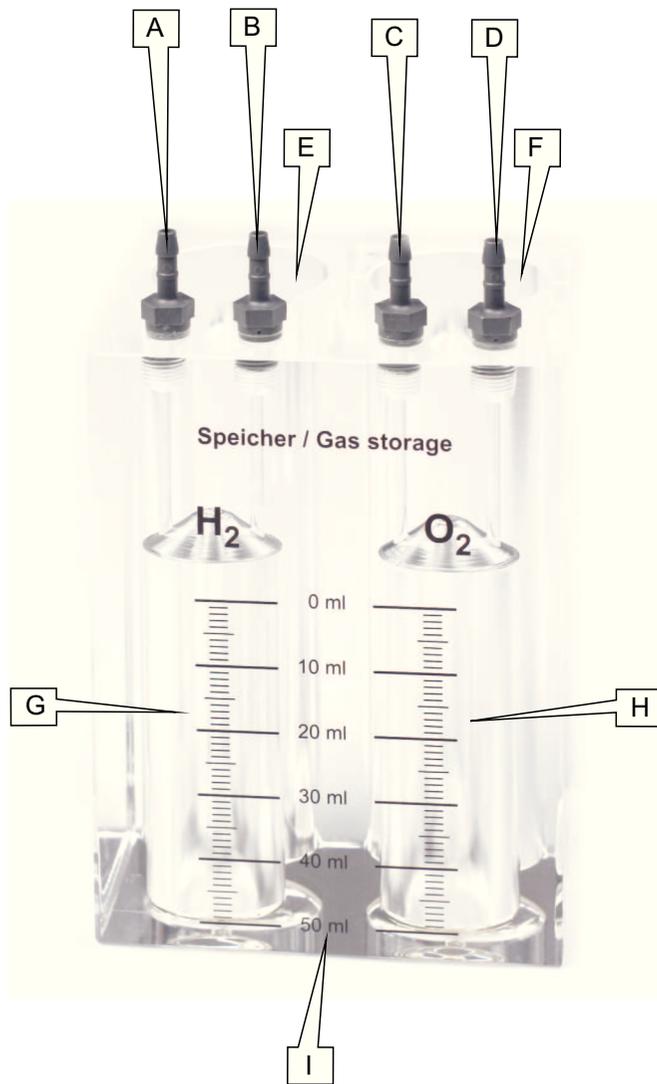
**Das Wasser kann im Elektrolyseur verbleiben.**

Verschließen Sie die Anschlussstutzen **D** und **E** sorgfältig mit den Verschlusskappen **F**, damit der Elektrolyseur im Koffer nicht ausläuft.

**Bitte beachten Sie:**

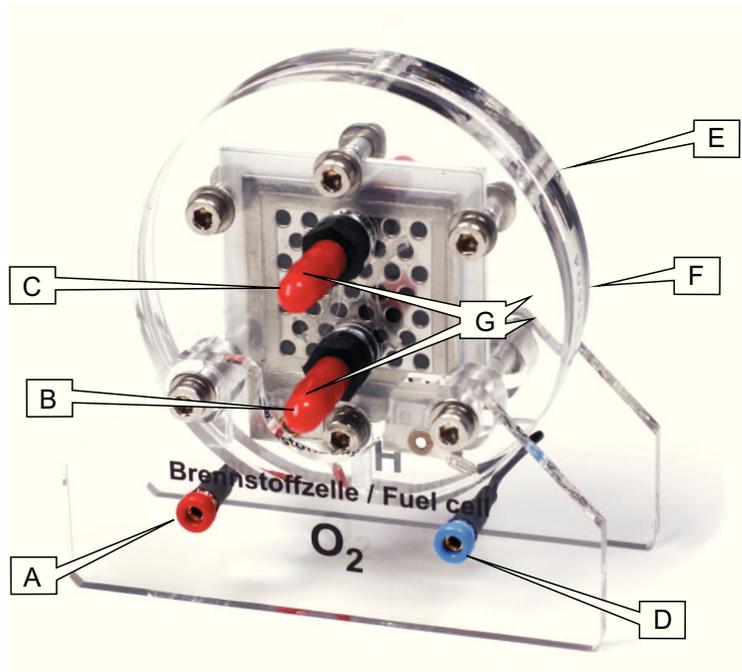
**Bei Lagerung, Betrieb und Transport vor Frost schützen!**

## Gasspeicher



Entleeren Sie den Gasspeicher ⑨ vollständig mit Hilfe der beiliegenden Spritze ⑦. Wasserreste ggf. mit einem fusselfreien Tuch abwischen.

Brennstoffzelle



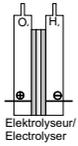
Weil sich in der Brennstoffzelle während des Betriebs Feuchtigkeit sammelt, sind die Anschlussstutzen B , C , E und F vor dem Einpacken der Brennstoffzelle in den Koffer sorgfältig mit den Verschlusskappen G zu verschließen.

Bitte beachten Sie:

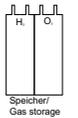
Bei Lagerung, Betrieb und Transport vor Frost schützen!



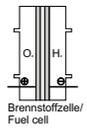
## Schalt Symbole und Begriffe



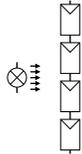
Elektrolyseur



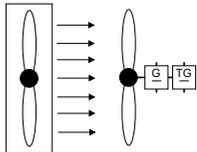
Gasspeicher



Brennstoffzelle



Halogenstrahler mit Solarzellen



Gebläse mit Windenergieanlage, bestehend aus Flügeln, Generator und Tachogenerator



Voltmeter



Amperemeter



regelbarer Widerstand



Glühlampe



Motor



Diode



Anschlussbuchse

