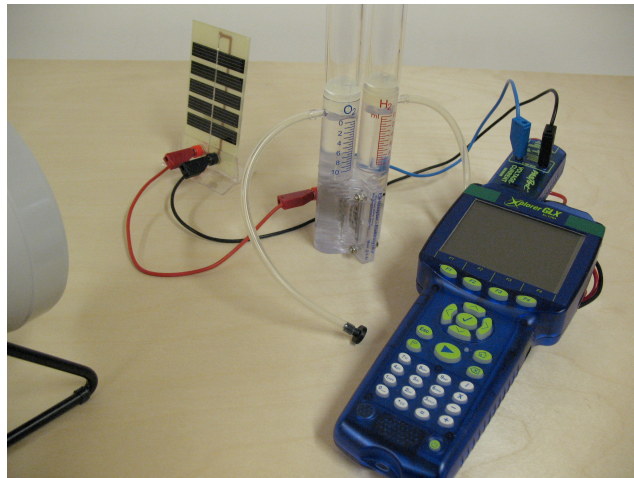


**Brennstoffzelle – Molvolumen von Gasen**


Klassenstufe	Oberthemen	Unterthemen	Anforderungs-niveau	Durchführungs-niveau	Vorlauf Vorbereitung Durchführung
S I	Elektrizitätslehre	Brennstoffzelle	● ●	■ ■	- 0 - 15 Min 45 Min

**Lehrziele**

- die Schüler ermitteln an einem Elektrolyseur (Brennstoffzelle) die Ladungsmenge, die zur Abscheidung einer bestimmten Gasmenge (Wasserstoff bzw. Sauerstoff) erforderlich ist und berechnen daraus das Molvolumen von Gasen (fachlicher Inhalt)
- die Schüler führen eine Strommessung mit Hilfe eines Stromsensors und dem Messinterface Xplorer GLX durch (technische Kompetenz)
- die Schüler ermitteln die transportierte Ladung durch Integration der Messkurve für die Stromstärke, sie verwenden dabei das Auswertetool **Fläche** (Methodenkompetenz)
- die Schüler berechnen daraus mit Hilfe der Schlussrechnung (Dreisatz) das Volumen, das ein Mol des betreffenden Gases bei Normtemperatur einnimmt (Methodenkompetenz)

**Einführung**

Dieser Ausflug in die Elektrochemie verknüpft drei wichtige physikalische bzw. chemische Konstanten, das molare Volumen von Gasen, die Avogadro-Zahl und die Elementarladung. Zwei dieser Konstanten muss man in die Auswertung des Experiments einbringen, um aus dem Messergebnis die dritte Konstante zu bestimmen. Wir haben uns in der Anleitung für die Bestimmung des molaren Volumens von Gasen entschieden, ebenso gut könnte man hier auch mit Hilfe des molaren Volumens die Elementarladung oder die Avogadro-Zahl ermitteln. Nachdem sich die Elementarladung in der Physik gut mit Hilfe des Millikan-Experiments darstellen lässt, erschien uns dieses Versuchsziel naheliegend. Zudem ergibt sich im Vergleich von entstandenem Wasserstoff und Sauerstoff schön, dass das Molvolumen für beide Gase gleich groß ist.

## Notwendiges Material

Elektrolyseur (Brennstoffzelle)  
Solarmodul  
Lampe  
Spritzflasche mit destilliertem Wasser  
Leitungen

Xplorer GLX  
Strom-/Spannungssensor

## Didaktische und methodische Hinweise

Im Anhang finden sich ein Handbuch sowie ein Schülerarbeitsblatt.

Das Handbuch ist als Lehrsaalexemplar gedacht und sollte jeder Arbeitsgruppe in einem Schnellhefter oder Ordner zur Verfügung stehen, es führt die Schüler step-by-step durch den Versuch und erläutert insbesondere sehr ausführlich die Bedienung des Xplorer GLX. Das Schülerarbeitsblatt enthält eine Kurzfassung von Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung (zur häuslichen Wiederholung) sowie Fragen zur Auswertung der Versuchsergebnisse. Die Abbildungen zeigen den Aufbau mit der weit verbreiteten Brennstoffzelle von Heliocentris. Andere Fabrikate können aber ebenso verwendet werden. Für die Stromversorgung des Elektrolyseurs empfehlen wir die zugehörige Solarzelle mit Lampe, damit ist eine Beschädigung der Brennstoffzellenmembran durch eine zu große Stromstärke ausgeschlossen. Soll statt dessen ein Netzgerät zum Einsatz kommen, so ist ein stabilisiertes Netzgerät mit einstellbarer Strombegrenzung zu empfehlen (beachten sie die Empfehlungen in der Anleitung der verwendeten Brennstoffzelle).

Die Schüler befüllen zunächst die Zylinder des Elektrolyseurs mit **destilliertem Wasser**. Dieses wird am besten in Spritzflaschen bereit gestellt. Von der Sorgfalt beim Befüllen hängt die Genauigkeit des Versuchsergebnisses ab, da das erzeugte Gasvolumen an der Veränderung des Flüssigkeitspegels im Zylinder gemessen wird. Schaltungstechnisch sollte der Aufbau keine Probleme bereiten, allerdings ist die korrekte Polung der verwendeten Bauteile zu prüfen (die Brennstoffzelle von Heliocentris ist mit einer Freilaufdiode geschützt). Der Sensor wird automatisch erkannt, die eingestellte Abtastrate passt bereits zum Versuch. Mit dem Strom (durch die beleuchtete Solarzelle) setzt auch schon die Elektrolyse von Wasser und damit die Gasproduktion in der Brennstoffzelle ein, gut zu erkennen durch die aufsteigenden Gasbläschen. Schnell wird dabei deutlich, dass beim Wasserstoff doppelt soviel Volumenanteile entstehen als beim Sauerstoff. Die Stromstärke wird in ihrem zeitlichen Verlauf vermessen, sie schwankt während des Versuches etwas um ihren Mittelwert.

Wichtigstes Analyseinstrument bei der Auswertung ist das Tool **Fläche**, das eine bestimmte Integration der Messkurve über die gesamte Messdauer durchführt. Damit lässt sich die in der Brennstoffzelle transportierte Ladungsmenge ermitteln. Dieses graphische Berechnungsverfahren wird von uns präferiert, auch wenn der Schüler zu diesem Zeitpunkt die Integration in der Mathematik noch nicht kennengelernt hat. Sollte bei der Auswertung nicht die gesamte Fläche unter dem Graphen markiert sein, so müssen die Integrationsgrenzen bis nach außen verschoben werden. Dies geschieht für den aktiven Cursorpunkt einfach mit den Cursorastern, der zweite Cursorpunkt (anderes Ende) kann im Menü *Auswerten* mit dem Befehl **Cursorwahl** aktiviert werden. Wem die Nutzung eines noch nicht eingeführten Verfahrens an dieser Stelle Unbehagen verursacht, der kann hier ebenso gut das Tool **Statistik** einsetzen und den Durchschnittswert der

**GLX 34: Brennstoffzelle – Molvolumen von Gasen**

Stromstärke verwenden. Dann lässt sich die Ladungsmenge wie in der Mittelstufe üblich als Produkt aus mittlerer Stromstärke und Zeit berechnen. In beiden Fällen ergibt sich daraus mit der Elementarladung direkt die Menge der abgeschiedenen Wasserstoffatome, die allerdings sofort zu Wasserstoffmolekülen kombinieren. Die Berechnung erfolgt von Hand auf dem Schülerarbeitsblatt, ebenso die Umrechnung des Volumens auf ein Mol Wasserstoff. Aus der Zweiwertigkeit der Sauerstoffionen und dem halben Volumen beim Sauerstoff ergibt sich sofort für beide Gase das gleiche molare Gasvolumen.

Mit den angegebenen Bauteilen haben wir im Versuch einen Wert von 24 Liter pro Mol für das molare Volumen bei Normtemperatur 0°C ermittelt, der Literaturwert liegt bei 22,4 Liter pro Mol. Bei Wiederholung des Versuchs ergibt sich in der Regel ein anderer Wert, da dann noch Wasserstoffbläschen in Bereich der Brennstoffzellenmembran vorhanden sind. Wer es ganz genau vergleichen will, der muss dann auch noch den Umgebungsdruck messen und außerdem den Schweredruck aufgrund der Flüssigkeitssäule über dem Gasvolumen berücksichtigen (dieser Einfluss ist aber gering). Für ein Schülerexperiment also ein ordentliches Ergebnis, zumal hier mit einem relativ leicht bedienbaren Versuchsaufbau ein Zugang in die Elektrochemie gelingt. Besonders beeindruckend wird das Volumenverhältnis von erzeugtem Wasserstoff und Sauerstoff wahrgenommen.

Vor oder nach der quantitativen Auswertung kann noch ein Nachweis der entstandenen Gase erfolgen. Die üblichen Nachweismethoden aus der Chemie hierfür (Knallgasprobe und Glimmspanprobe) sind im Handbuch beschrieben.

**Hinweis zum Zeitbedarf**

Die Anleitung ist für einen Ersteinsatz von GLX und Stromsensor in der Mittelstufe konzipiert, die Bedienung ist (inklusive aller Einstellarbeiten) ausführlich erklärt. Da nur eine Messreihe durchgeführt werden muss, sollte man mit 45 min problemlos zurechtkommen. Ein separater Versuch ohne GLX zur Einführung in die Bedienung der Brennstoffzelle ist allerdings hilfreich, dort wird eventuell auch der Nachweis der entstandenen Gase bereits vorgenommen. Vor allem die Befüllung des Elektrolyseurs gelingt mit etwas Übung doch deutlich schneller und genauer. Die Auswertung kann problemlos in die häusliche Nachbereitung verlagert werden, allerdings sollten die Schüler mit dem Begriff Mol vertraut sein, vermutlich eher aus dem Chemie- als aus dem Physikunterricht. Bezüglich der Rechenfertigkeit stellt die Auswertung den Schüler vor keine großen Probleme. Die Beherrschung der Schlussrechnung (Dreisatz) ist hier vollkommen ausreichend, auf Formeln wurde in der Anleitung auf dem Schülerblatt deshalb verzichtet.

**Erweiterung**

Falls mehr Zeit zum Experimentieren zur Verfügung steht, kann der Versuch natürlich wiederholt werden, z. B. mit veränderter Stromstärke (anderer Abstand Lampe – Solarzelle) oder mit anderen erzeugten Gasmengen (z.B. Versuchsende bereits bei 5 ml erzeugtem Wasserstoff).

**Arbeitsblatt (-blätter)**

- Handbuch für den Experimentierraum (4 Seiten farbig, ein Exemplar pro Gruppe)
- Schülerarbeitsblatt (1 Seite s/w, zum Kopieren für jeden Schüler)

**Aufgabe:**

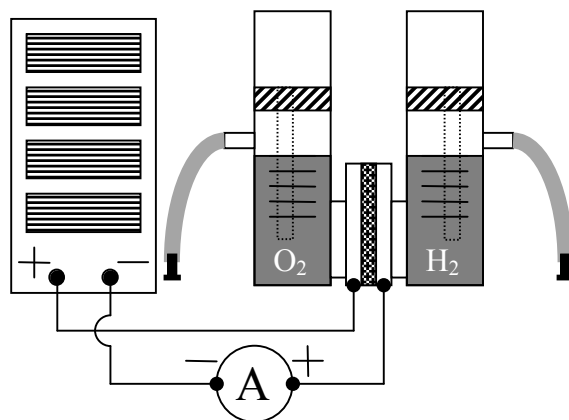
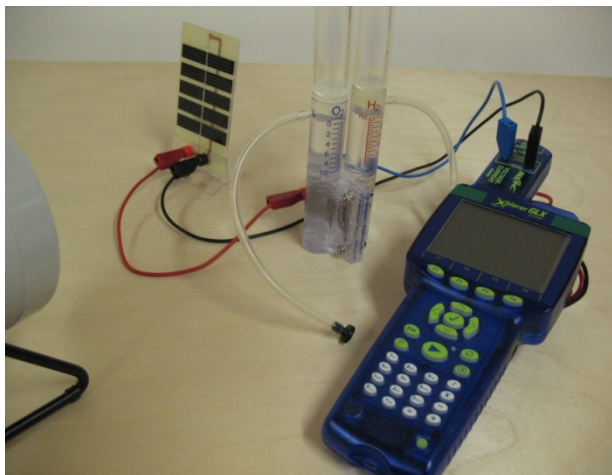
Das Mol ist eine vor allem aus der Chemie bekannte Einheit für die Stoffmenge. Ein Mol bezeichnet etwa  $6,022 \cdot 10^{23}$  Teilchen, wobei es sich dabei um Atome oder Moleküle handeln kann. Aufgrund der Größe dieser sogenannten Avogadro-Zahl erscheint es ein ziemlich aussichtsloses Unterfangen, auch nur Bruchteile von Molen in überschaubarer Zeit „abzuzählen“. Mit dem Prinzip der Strommessung haben wir aber ein ausgesprochen schlagkräftiges Werkzeug zur Hand, das uns erlaubt, eine große Anzahl von Ionen zu zählen. Ziel unseres Versuches ist es herauszufinden, welches Volumen ein Mol eines Gases beansprucht.

**Sicherheitshinweis:**


**Brennstoffzellen nur mit destilliertem Wasser befüllen und als Stromquelle nur das beiliegende Solarmodul verwenden.**

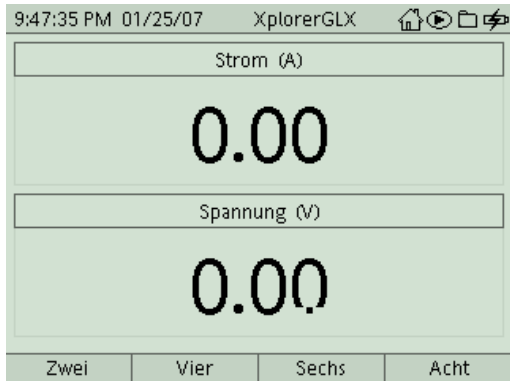
**Versuchsaufbau:**

1. Befülle beide Zylinder des Elektrolyseurs durch die kleine Öffnung in den Gummistopfen mit Hilfe der Spritzflasche **mit destilliertem Wasser genau bis zur Nullmarke** (normales Leitungswasser würde unsere Brennstoffzelle zerstören).
2. Stecke die zwei kurzen Schläuche jeweils auf die Abgänge an den Zylindern und verschließe beide mit den kleinen schwarzen Stopfen.
3. Stecke die beiden kurzen Glaszylinder auf die Gummistopfen (siehe Bild, etwas Wasser erleichtert das Aufstecken).
4. Baue einen Stromkreis, der den Elektrolyseur mit dem Strom aus der Solarzelle versorgt (**falsche Beschaltung führt zu Schäden an den Komponenten**):
  - Rot von der Solarzelle geht an Rot am Elektrolyseur,
  - Schwarz von der Solarzelle geht Buchse – am Stromsensor an,
  - Schwarz am Elektrolyseur geht an Buchse + am Stromsensor (**Current**),
  - die festen Messleitungen am Strom-/Spannungssensor sind nicht belegt
5. Falls der Experimentierraum sehr hell ist, dann lege das Solarmodul zunächst mit der aktiven Fläche nach unten auf den Tisch, so dass noch kein Strom fließt.
6. Positioniere die Lampe etwa 30 cm (Länge eines DIN A4 – Blatts) vor dem Solarmodul und richte sie darauf aus. Die Lampe wird **noch nicht** angeschaltet.






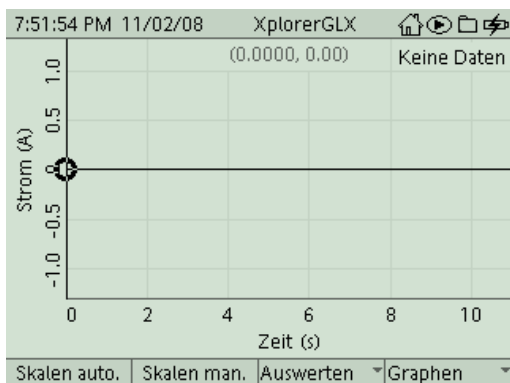
### Versuchsdurchführung (Bedienung des GLX):


1. Schließe den Netzadapter am GLX an oder schalte es mit  ein .
2. Stecke den Spannungs-/Stromsensor (Voltage/Current) vorsichtig (**ohne zu verkanten**) am GLX im Port 1 ein. Dabei öffnet automatisch folgendes Messfenster:

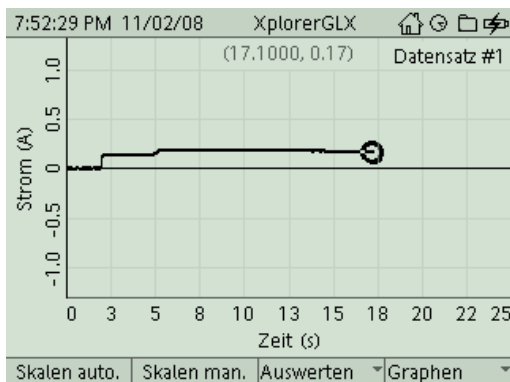


3. In der Digitalanzeige werden bereits laufend die aktuellen Messwerte dargestellt (Nullpunktsschwankung!).

4. Wechsle mit  und  ins Menü . Es erscheint ein Messfenster, in dem der Strom gegen die Zeit aufgetragen wird.



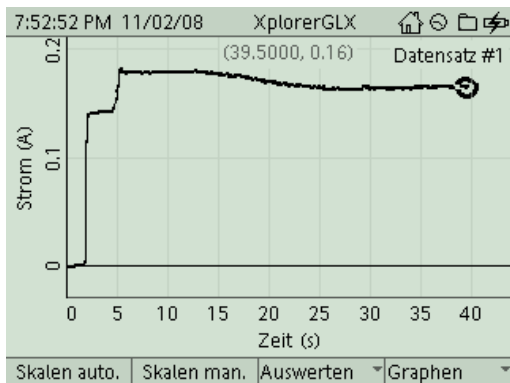
5. Beginne die Messaufzeichnung mit  und schalte die Lampe ein (Stelle das Solar-Modul senkrecht, falls Du es zuvor flach auf den Tisch gelegt hast). Die Messung erscheint zunächst sehr unscheinbar.



Mit dem Stromfluss setzt auch die Produktion von Wasserstoff und Sauerstoff durch

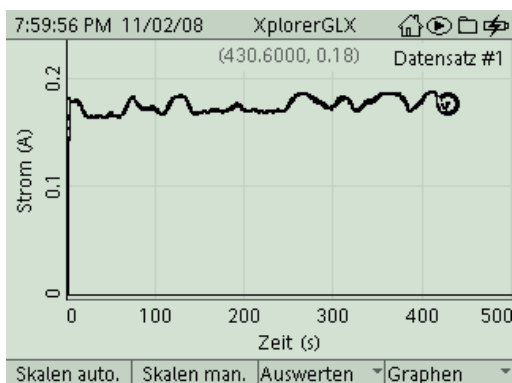
Zerlegung der Wassermoleküle ein (Elektrolyse). Die aufsteigenden Gasbläschen kannst Du gut erkennen. Die produzierten Gase sammeln sich im oberen Teil der Zylinder des Elektrolyseurs und drücken das Wasser durch das Steigröhrchen nach oben (es sammelt sich oberhalb des Gummistopfens in den Zusatzröhrchen). Auf diese Weise können wir im skalierten Bereich der Zylinder direkt das Volumen der neu entstandenen Gase messen. Vergleiche die Volumina von Wasserstoff (H<sub>2</sub>, rot) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>, blau)! Was fällt Dir dabei auf? Wie kannst Du diese Beobachtung erklären?

6. Aktiviere mit **F1** die Funktion **Skalieren automatisch**, um ein deutlicheres Bild der Messkurve zu erhalten:

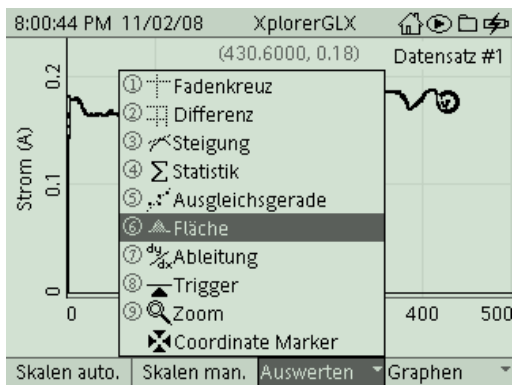


Der kleine Absatz zu Beginn der Messung entstand durch einen Ruckler an der Lampe zu Beginn der Messung, auf unser Versuchsergebnis hat er keinen Einfluss.

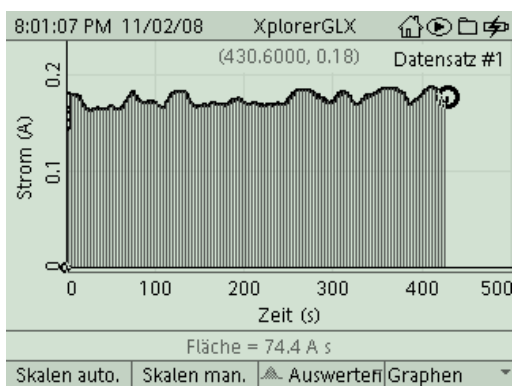
7. Beende die Messung mit **▶**, **wenn** der Wasserspiegel im Zylinder für **Wasserstoff (H<sub>2</sub>, rot) die Marke 10 ml** erreicht hat und **schalte die Lampe aus**. Im Verlauf der Messung hast Du wohl erkannt, dass der Strom nicht konstant ist, sondern etwas schwankt. Auf diesen Verlauf hat sowohl das Solarmodul, als auch die Brennstoffzelle einen Einfluss. Unser Versuchsergebnis bleibt davon unbeschadet.



8. Für konstanten Strom könnten wir die Ladungsmenge  $Q$  als Produkt von Stromstärke  $I$  mal Zeit  $t$  berechnen:  $Q = I \cdot t$ , das entspricht einer Rechtecksfläche unter dem Graphen. In unserem Fall ist diese Rechtecksfläche an der Oberseite ziemlich ausgefranst, da der Strom nicht konstant war. Das Tool **Fläche** erlaubt uns aber auch die Bestimmung dieser ausgefranst Fläche (in der Oberstufe lernst Du die math. Technik unter dem Begriff „Integral“ kennen). Wähle dafür mit **F3** das Untermenü *Auswerten* und hier mit **✓** und **✓** (oder Zifferntaste) das Tool **Fläche**.



9. In der Messkurve erscheint nun die berechnete Fläche schraffiert, unter dem Diagramm wird ihr Wert angegeben (die Einheit dafür ist As bzw. C, da es sich physikalisch ja um eine Ladungsmenge handelt).



10. Notiere den Wert für diese Ladungsmenge zunächst auf Deinem Arbeitsblatt. Bevor Du dort die quantitative Auswertung des Versuches durchführst, beschäftigen wir uns zunächst nochmal mit dem Inhalt des Elektrolyseurs. Nachweismethoden für die beiden Gase Wasserstoff und Sauerstoff hast Du vermutlich im Chemieunterricht bereits kennengelernt.

11. Wasserstoff, Knallgasprobe

- stelle eine brennende Kerze und ein Reagenzglas bereit
- klemme den Schlauch an dem mit Wasserstoff gefüllten Zylinder mit den Fingerkuppen zusammen und entnimm den schwarzen Verschlussstopfen
- halte das Reagenzglas mit der Öffnung nach unten, leite den Wasserstoff mit dem Schlauch in den Zylinder und verschließe diesen sofort mit dem Daumen
- führe das Reagenzglas zur Kerzenflamme (Öffnung nach unten), gib die Öffnung frei und entzünde den Wasserstoff (der notwendige Sauerstoff wird aus der Umgebungsluft beigesteuert)

12. Sauerstoff, Glimmspanprobe

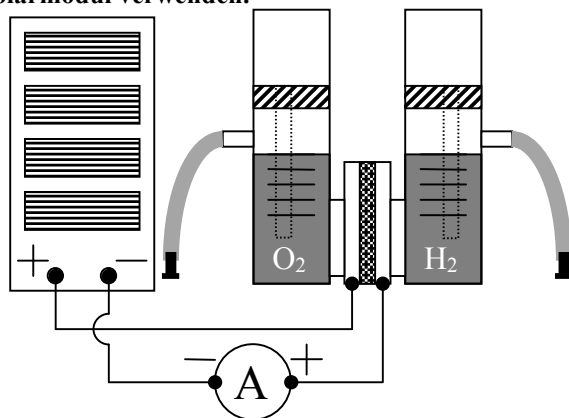
- stelle eine brennende Kerze, ein Holzstäbchen und ein Reagenzglas bereit
- klemme den Schlauch an dem mit Sauerstoff gefüllten Zylinder mit den Fingerkuppen zusammen und entnimm den schwarzen Verschlussstopfen
- halte das Reagenzglas mit der Öffnung nach oben, leite den Sauerstoff mit dem Schlauch in den Zylinder und verschließe diesen sofort mit dem Daumen
- entzünde das Holzstäbchen, blas die Flamme gleich wieder aus und führe das noch glimmende Stäbchen von oben in das Reagenzglas ein

**Aufgabe:**

Das Mol ist eine vor allem aus der Chemie bekannte Einheit für die Stoffmenge. Ein Mol bezeichnet etwa  $6,022 \cdot 10^{23}$  Teilchen, wobei es sich dabei um Atome oder Moleküle handeln kann. Ziel unseres Versuches ist herauszufinden, welches Volumen ein Mol eines Gases beansprucht.

**Sicherheitshinweise:**

**Brennstoffzellen nur mit destilliertem Wasser befüllen und als Stromquelle nur das beiliegende Solarmodul verwenden.**

**Aufbau und Durchführung:**

Eine ausführliche Anleitung findest Du im „Experimentierhandbuch Explorer GLX“ unter der Nummer 34.

1. Befülle beide Zylinder des Elektrolyseurs **mit destilliertem Wasser** genau bis zur Nullmarke.
2. Schließe das Solarmodul zur Stromversorgung an den Elektrolyseur an. Verwende den Datenlogger Explorer GLX zur Strommessung. Füge den Stromsensor als Amperemeter (A) in den Stromkreis ein (siehe Schaltplan). Beachte die Polung und vermeide Kurzschluss.
3. Beleuchte die Solarzelle. Der erzeugte Strom zerlegt im Elektrolyseur die Wassermoleküle in Wasserstoff und Sauerstoff. Diese beiden Gase werden in den beiden Zylindern des Elektrolyseurs aufgefangen, ihr Volumen kann an einer Skala gemessen werden.
4. Beende die Messung, nachdem sich 10 ml Wasserstoff gebildet haben.

**Auswertung:**

1. Vergleiche die Volumina der entstehenden Gase. Welcher Zusammenhang lässt sich erkennen und wie kannst Du diesen erklären?

.....

2. Die transportierte Ladungsmenge  $Q$  ergibt sich allgemein als Produkt aus Strom und Zeit. Nachdem der Strom bei unserer Messung nicht konstant war, verwendeten wir ein allgemeineres Verfahren, bei dem die Fläche unter dem Graphen im  $t - I$  - Diagramm als Maß für die Ladungsmenge bestimmt wird.

$Q =$  .....

3. Wie vielen Elektronen entspricht das? ( $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ )

4. Wie viele Wasserstoffionen  $\text{H}^+$  konnten damit aus  $\text{H}_2\text{O}$  - Verbindungen gelöst werden und wie viele Wasserstoffmoleküle  $\text{H}_2$  sind damit entstanden?

5. Gib die Menge von Wasserstoffmolekülen in Mol an! Diese Menge hat in unserem Versuch ein Volumen von 10 ml beansprucht. Berechne daraus das Volumen, das ein ganzes Mol einnimmt!

7. Die Angabe des Molvolumens wird auf eine Gastemperatur von  $0^\circ\text{C}$  bezogen. Mit Hilfe des Gesetzes von Gay-Lussac kannst Du Dein Versuchsergebnis ( $V_1$ ) umrechnen:  $V1T1=V0T0$  wobei T absolute Temperatur in Kelvin ( $T_0=273\text{K}$ )

**Ergebnis:**

Ein Mol Wasserstoff nimmt bei Normtemperatur ( $0^\circ\text{C}$ ) ein Volumen von .....  
(Literaturwert 22,4 l) ein. Für Sauerstoff ergibt sich in unserem Versuch der  
..... Wert, da ..... so viele Moleküle entstanden sind, die  
.....-soviel Volumen beansprucht haben.