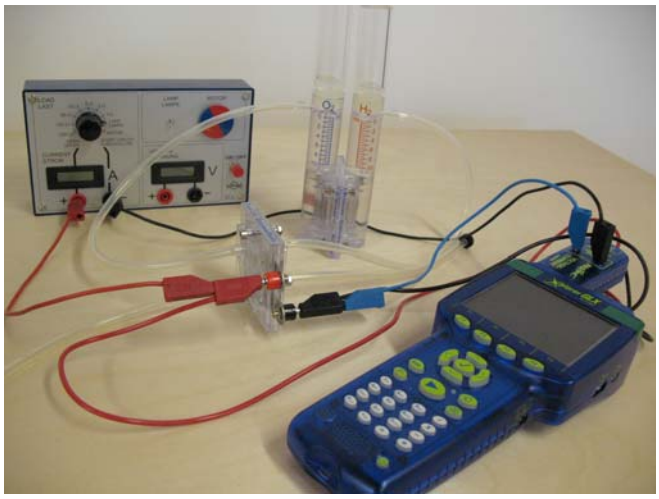
Brennstoffzelle – Wirkungsgrad des Systems



Klassenstufe	Oberthemen	Unterthemen	Anforderungs-niveau	Durchführungs-niveau	Vorlauf Vorbereitung Durchführung
S I / II	Elektrizitätslehre	Brennstoffzelle	●●	■■■	- 0 - 15 Min 45 - 90 Min

Lehrziele

- die Schüler ermitteln an einem Elektrolyseur (Brennstoffzelle) und einer separaten Brennstoffzelle die jeweils umgesetzten Energien für Elektrolyse und Synthese einer bestimmten Wasserstoffmenge und bestimmen daraus den Wirkungsgrad des Systems (fachlicher Inhalt)
- die Schüler führen zwei Leistungsmessungen mit Hilfe eines Strom-/Spannungssensors und dem Messinterface Xplorer GLX durch (technische Kompetenz)
- die Schüler ermitteln die jeweils umgesetzten Energien durch Integration der Messkurven für die Leistung, sie verwenden dabei das Auswertetool **Fläche** (Methodenkompetenz)
- die Schüler berechnen daraus den Wirkungsgrad des Systems (Methodenkompetenz)

Einführung

In einer zunehmend komplexeren Welt kommt der Fähigkeit, in Systemen zu denken, eine immer wichtigere Rolle zu. Markantester Indikator für das allgegenwärtige Ziel „Effizienzsteigerung“ ist dabei der Wirkungsgrad. Die Kombination aus Elektrolyseur und Brennstoffzelle ist ein sehr übersichtliches und dennoch anspruchsvolles Beispiel, an dem der Wirkungsgrad eines Systems auch mit Schulmitteln untersucht werden kann. Dabei kann prinzipiell ein Vergleich der Leistungen im fortlaufenden Betrieb, aber auch ein Vergleich der Energien für einen abgeschlossenen Elektrolyse- und Synthesevorgang erfolgen. Wir haben uns für letzteres entschieden, da hier die Bedeutung des Wasserstoffes als Speichermedium deutlicher zu Tage tritt.

CONATEX-DIDACTIC Lehrmittel GmbH - Rombachstr. 65 - D-66539 Neunkirchen
Kundenservice (kostenfrei): 00800 0266 2839 (D, CH, A, L) oder 0049 (0) 6821 - 94 11-0
www.conatex.com - email: didactic@conatex.com

Der Versuch ist technisch durchaus anspruchsvoll, da zwei Messreihen mit jeweils zwei Messgrößen durchgeführt werden müssen und dazwischen noch ein Umbau der Messtechnik erforderlich ist. Um vernünftige Messwerte zu erhalten, ist zudem eine Spülung des Systems nötig. Der experimentelle Aufwand wird dann allerdings mit einem sehr griffigen Resultat (Systemwirkungsgrad) belohnt, das in guter Übereinstimmung mit der Literatur steht. Bei den eingesetzten Demosystemen erhält man typischerweise Wirkungsgrade um die 30 %, während größere, leistungsorientierte Systeme im Alltagseinsatz mit deutlich besseren Werten aufwarten können. Die Zwischenspeicherung des erzeugten Wasserstoffs im Elektrolyseur erlaubt zudem einen Vergleich der verwendeten Gasmenge mit den gemessenen Energien.

Notwendiges Material

Elektrolyseur (Brennstoffzelle)
Brennstoffzelle
Schläuche und Stopfen
Solarmodul
Lampe
Spritzflasche mit destilliertem Wasser
Messleitungen

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 Brennstoff-zellenmembran durch eine zu große Stromstärke ausgeschlossen. Soll stattdessen 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. Schaltungstechnisch ist der Aufbau anspruchsvoller als GLX 34, da gleichzeitig Strom und Spannung gemessen werden. Insbesondere 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. Zunächst werden die Messwerte für Strom und Spannung allerdings noch nicht gespeichert. Die Abgangsschläuche in

CONATEX-DIDACTIC Lehrmittel GmbH - Rombachstr. 65 - D-66539 Neunkirchen
Kundenservice (kostenfrei): 00800 0266 2839 (D, CH, A, L) oder 0049 (0) 6821 - 94 11-0
www.conatex.com - email: didactic@conatex.com

der Brennstoffzelle sind noch offen und das System wird im Durchlauf betrieben und dadurch mit den entstehenden Gasen gespült. Ein Verbraucher an der Brennstoffzelle sorgt für eine Abnahme der dort freigesetzten Energie und verhindert, dass die Synthese der Gase durch ein sich aufbauendes Gegenfeld behindert wird. Diese Vorspülung des Systems ist für ein vernünftiges Anlaufen der Brennstoffzelle während der Messung unabdingbar. Danach wird die Brennstoffzelle außer Betrieb genommen und die Abgänge werden verschlossen. Damit beginnt der Aufbau eines Wasserstoffvorrates im Elektrolyseur. Gemessen wird lediglich eine Teilproduktion des Wasserstoffes (zwischen den Marken 4 ml und 6 ml im Elektrolyseur). Aufgezeichnet wird dabei sofort die elektrische Leistung, die das GLX aus den Messgrößen Strom und Spannung bestimmt. Aus der Messkurve für die Leistung wird durch Integration mit Hilfe des Tools **Fläche** die eingesetzte Energiemenge ermittelt. Dieses graphische Berechnungsverfahren wird von uns präferiert, auch wenn die Schüler zu diesem Zeitpunkt die Integration in der Mathematik noch nicht kennengelernt haben. 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 Leistung verwenden. Dann lässt sich die Energiemenge wie in der Mittelstufe üblich als Produkt aus mittlerer Leistung und Zeit bestimmen.
Vor der Synthese der Gase zur Gewinnung von elektrischer Energie muss zunächst die Beschaltung geändert werden. Am einfachsten geht das, indem man die (doppelt belegten) Stecker vom Elektrolyseur zur Brennstoffzelle umsetzt und das Solarmodul gegen die Verbrauchermessbox ersetzt. Bei dieser Vorgehensweise ist zwar der Stromsensor verkehrt gepolt (der gemessene Strom erscheint negativ), dies hat aber auf die Darstellung der Leistung keinen Einfluss (die wird immer positiv dargestellt). Die Leistung und damit letztendlich auch der Wirkungsgrad hängen natürlich stark von der Belastung der Brennstoffzelle und damit von der Wahl des Verbrauchers ab (hierzu ein anderer Versuch). Als sinnvolle Wahl für diesen Versuch hat sich das Lämpchen erwiesen. Der Strom ist dabei groß genug, um die Messdauer auf ein erträgliches Maß zu beschränken, andererseits noch so klein, dass der Wirkungsgrad noch nicht „in den Keller rauscht“. Zudem haben die Schüler über die leicht glimmende Wendel gleich eine Sichtkontrolle über die Funktion. Auch hier beschränkt sich die Messung wieder auf den Pegelstand von 6 ml bis 4 ml (also die gleiche Gasmenge wie bei der Erzeugung). Die Bestimmung der elektrischen Energie erfolgt in gleicher Weise wie vorher. Die Berechnung des energetischen Wirkungsgrades erfolgt dann durch einfache Rechnung, er sollte im Bereich zwischen 20 % und 40 % liegen.
Bewusst werden im Hauptversuch die Vorratsspeicher der Gase nicht bis zum Ende (0 ml) „entladen“. Dort nehmen nämlich Spannung und Stromstärke deutlich ab (so wie man das auch von einem Akku kennt), die Messzeit erhöht sich dementsprechend, der Wirkungsgrad geht zurück. Tatsächlich entspricht diese Schlussphase ja auch nicht dem regulären Betrieb, dort wird der Tank wohl auch nie ganz „leergefahren“. Falls noch Zeit bleibt, kann man aber auch diesen Bereich noch messtechnisch darstellen. Insbesondere liefert aber die Betrachtung der ebenso aufgezeichneten Spannungskurven die Begründung für den doch vergleichsweise schlechten Systemwirkungsgrad. Die Ladespannung wird etwa im Bereich von 1,6 V liegen, die Entlade-spannung bei etwa 0,7 V. Diese Diskrepanz erklärt (bei theoretisch gleicher Ladungsmenge in beiden Vorgängen) den Wirkungsgrad von deutlich unter 50 %. Den gleichen Effekt kennt man ja von herkömmlichen Akkumulatoren, allerdings ist dort der Spannungsunterschied erheblich geringer (wie auch bei Leistungsbrennstoffzellen). Entscheidende Größe ist hierbei der Innenwiderstand der Zelle. Der chemische Energiegehalt der betrachteten Wasserstoffmenge lässt sich dann schön zwischen der Energiemenge zur Erzeugung und der bei der Synthese einordnen.

CONATEX-DIDACTIC Lehrmittel GmbH - Rombachstr. 65 - D-66539 Neunkirchen
Kundenservice (kostenfrei): 00800 0266 2839 (D, CH, A, L) oder 0049 (0) 6821 - 94 11-0
www.conatex.com - email: didactic@conatex.com

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 zwei Messreihen inklusive einem Umbau des Versuches durchgeführt werden müssen, wird der Zeitbedarf wohl eher über 45 min liegen. Erfahrungen im Umgang mit dem GLX und mit der Brennstoffzelle sind in jedem Fall zu empfehlen. Die Anleitung ist deshalb so gehalten, dass man so früh wie möglich zur Bestimmung des Wirkungsgrades kommt. In die häusliche Bearbeitung lässt sich hier wenig verlagern, da die Berechnung des Wirkungsgrades selbst kaum Zeit beansprucht. Auf die ergänzenden Betrachtungen kann man dagegen bei Zeitnot gut verzichten. Wenn die Schüler ihre Daten per USB-Stick mit nach Hause nehmen können, kann die Analyse der Spannungskurven auch dort durchgeführt werden.

Erweiterung

Falls mehr Zeit zum Experimentieren zur Verfügung steht, so können zunächst alle angegebenen Untersuchungsvorschläge umgesetzt werden. Zudem könnte man mit einer größeren Wasserstoffmenge arbeiten, was der Genauigkeit der Messung natürlich zu gute käme. Schließlich wären auch mehrere Versuchsdurchgänge mit unterschiedlichen Belastungen der Brennstoffzelle (Verbrauchermessbox) anzustreben. Bereits beim 3-Ohm-Widerstand geht die Leistung nach kurzer Zeit schon deutlich zurück.

Arbeitsblatt (-blätter)

- Handbuch für den Experimentierraum (6 Seiten farbig, ein Exemplar pro Gruppe)
- Schülerarbeitsblatt (1 Seite s/w, zum Kopieren für jeden Schüler)

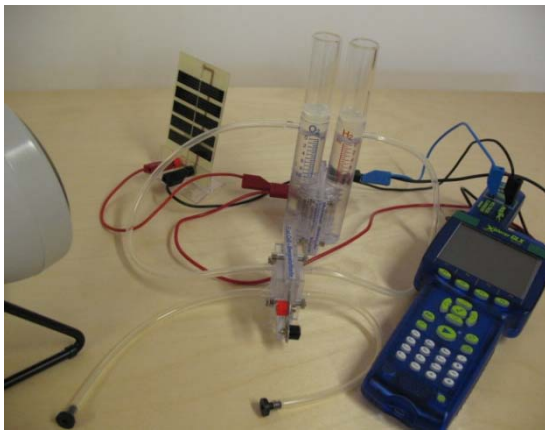
CONATEX-DIDACTIC Lehrmittel GmbH - Rombachstr. 65 - D-66539 Neunkirchen
Kundenservice (kostenfrei): 00800 0266 2839 (D, CH, A, L) oder 0049 (0) 6821 - 94 11-0
www.conatex.com - email: didactic@conatex.com

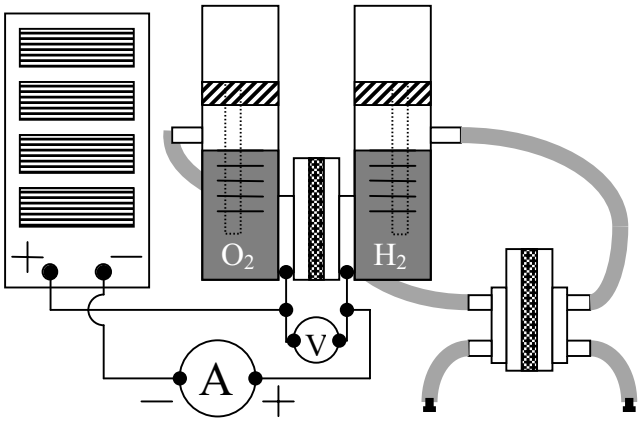
Brennstoffzelle – Wirkungsgrad des Systems GLX 35

Aufgabe:
In jeder politischen oder wissenschaftlichen Diskussion über das Thema Energienutzung und Klimawandel taucht das Wort Effizienzsteigerung als wichtigster Ansatz zur Lösung der weltweiten Probleme auf. Quantitativ darstellen lässt sich dieser Weg über die Wirkungsgrade der verschiedenen technischen Komponenten, die bei der Energiebereitstellung und –nutzung zusammenwirken. Der Wirkungsgrad eines Systems quantifiziert dessen Effizienz auf einer Skala von 0% bis 100%. Im folgenden Versuch spielst Du hierzu einen kompletten Prozess der Wasserstofftechnologie durch, von der Erzeugung des Wasserstoffs bis zur Nutzung der daraus erzeugten elektrischen Energie, z.B. für den Antrieb eines Autos der Zukunft. Für diesen Versuch solltest Du sowohl mit der Brennstoffzelle als auch dem GLX vertraut sein.

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

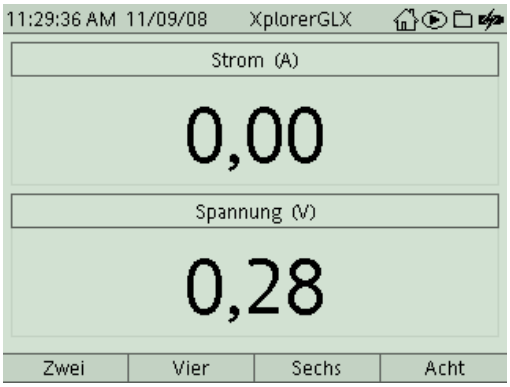
Versuchsaufbau:
1. Befülle beide Zylinder des Elektrolyseurs durch die kleine Öffnung in den Gummistopfen mit Hilfe der Spritzflasche **mit destilliertem Wasser** genau bis zur Nullmarke (normales Leitungswasser würde unsere Brennstoffzelle zerstören).
2. Stecke die beiden kurzen Glaszylinder auf die Gummistopfen (siehe Bild, etwas Wasser erleichtert das Aufstecken).
3. Stecke die zwei langen Schläuche jeweils auf die Abgänge an den Zylindern des Elektrolyseurs und führe sie zu den oberen Eingängen an der kleinen Brennstoffzelle (achte auf die Zuordnung **H_2 zu H_2** und **O_2 zu O_2**).
4. Stecke die zwei kurzen Schläuche jeweils auf die unteren Abgänge an der kleinen Brennstoffzelle, ihre Enden bleiben noch offen.
5. Schließe die festen Messleitungen des Strom-/Spannungssensors (**voltage**) an den Buchsen des Elektrolyseurs an (achte auf richtige Polung).
6. Baue einen Stromkreis, der den Elektrolyseur mit dem Strom aus der Solarzelle versorgt (**falsche Beschaltung führt zu Schäden an den Komponenten**):
    - die festen Messleitungen am Spannungssensor gehen an die entsprechenden Pole am Elektrolyseur
    - Rot von der Solarzelle geht an Rot am Elektrolyseur,
    - Schwarz von der Solarzelle geht an Buchse – am Stromsensor (**current**),
    - Schwarz vom Elektrolyseur geht an Buchse + am Stromsensor
7. 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.





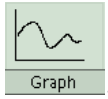
Versuchsdurchführung (Bedienung des GLX):

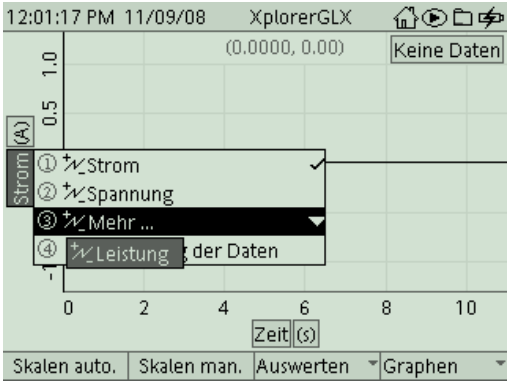
1. Schließe den Netzadapter am GLX an oder schalte es mit ein .
2. Stecke den Spannungs-/Stromsensor (Voltage/Current) vorsichtig (**ohne zu verkanten**) am GLX im Port 1 ein. Dabei öffnet automatisch folgendes Messfenster:



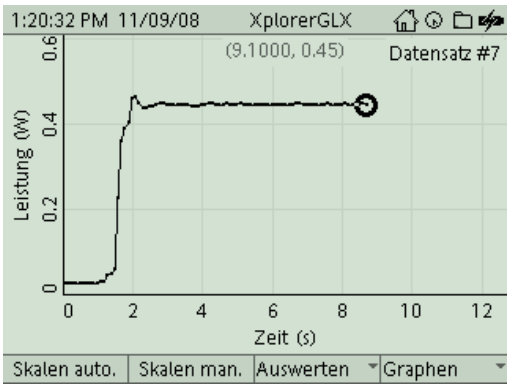
3. In der Digitalanzeige werden bereits laufend die aktuellen Messwerte dargestellt. Schalte nun die Lampe ein. Die angezeigten Werte werden dabei deutlich steigen und im Elektrolyseur kannst Du die aufsteigenden Gasbläschen erkennen.
   Um das gesamte System mit Wasserstoff zu spülen (das ist für einen zuverlässigen Versuchsablauf sehr wichtig) nehmen wir nun die kleine Brennstoffzelle in Betrieb. Schließe sie dazu an den Stromeingang der beiliegenden Messbox an und stelle den Wahlschalter auf „Motor“. Der Motor sollte sich nun gut sichtbar mindestens eine Minute lang drehen.

4. Wenn dieser erste Testlauf gut geklappt hat, gehen wir an die Wasserstoffproduktion. Entferne hierzu die Messbox wieder von der Brennstoffzelle und **verschließe die Enden der kurzen Schläuche mit den kleinen schwarzen Stopfen**. Der Wasserstoff wird nun im System gestaut und drückt über die Steigrohre Wasser aus dem Elektrolyseur. Durch die Skalierung auf den Zylindern kannst Du die Menge des erzeugten Wasserstoffs ablesen. Sobald der Pegel im **Wasserstoff**zylinder **4 ml** erreicht hat, unterbrichst Du die Produktion, indem Du die Lampe ausschaltest.

5. Wechsle mit und ins Menü  . Es erscheint ein Messfenster, in dem der Strom gegen die Zeit aufgetragen wird. Um die y-Achse auf die Darstellung der Leistung umzustellen, invertierst Du mit die Bezeichnung „Strom“. Dann öffnest Du mit ein Pulldown-Menü und wählst die Darstellung „Leistung“. Unter Umständen verbirgt sich diese Auswahl unter dem Begriff „Mehr“.

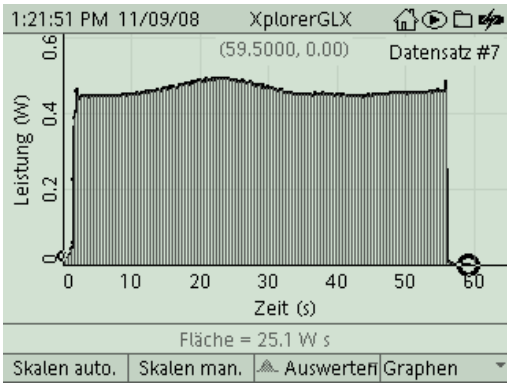


6. Beginne die Messaufzeichnung mit und schalte die Lampe wieder ein. Falls die Messung zunächst sehr unscheinbar erscheint, kannst Du die Darstellung natürlich mit automatisch skalieren lassen.



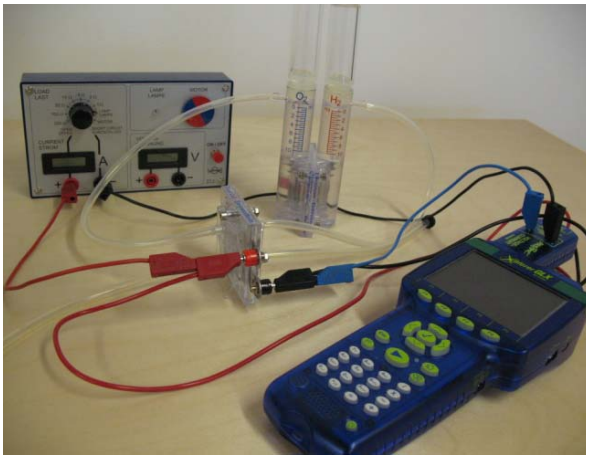
Wenn der Pegel im Wasserstoffzylinder 6 ml erreicht hat, stoppst Du die Produktion wieder, indem Du die Lampe ausschaltest. Beende dann auch die Messung mit .

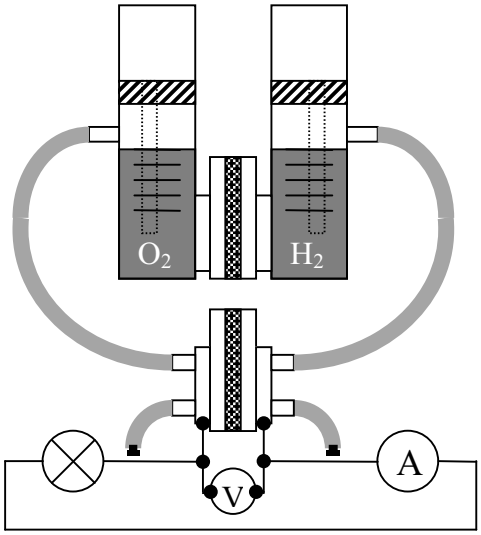
7. Damit hast Du nun eine Messkurve gewonnen, die die Herstellung von 2 ml Wasserstoff mit Hilfe unseres Elektrolyseurs beschreibt. Aus dieser Messung wollen wir die Menge an elektrischer Energie bestimmen, die dazu nötig war. Da die gemessene Leistung ja Energie pro Zeit darstellt, würde man im einfachen Fall die Energie einfach als Produkt $!"\#$ gewinnen. In unserem Fall ist aber die Leistung nicht konstant. Wie bereits in anderen Fällen ersetzen wir das Produkt durch die Fläche unter dem Graphen, hierzu steht uns das Auswertetool **Fläche** zur Verfügung. Wähle dafür mit das Untermenü *Auswerten* und hier mit und (oder Zifferntaste) das Tool **Fläche**.



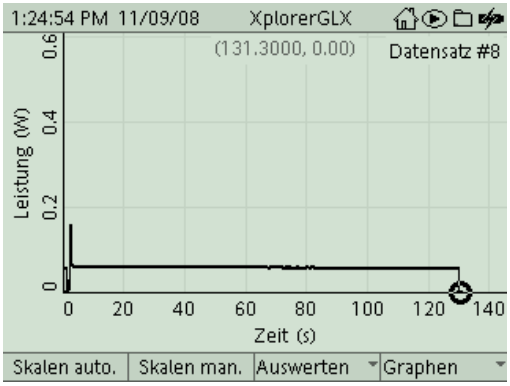
In der Messkurve erscheint nun die berechnete Fläche schraffiert, unter dem Diagramm wird ihr Wert angegeben (die Einheit dafür ist Ws bzw. J, da es sich physikalisch ja um eine Energiemenge handelt). Notiere den Wert auf Deinem Arbeitsblatt und deaktiviere das Tool Fläche wieder (im Menü *Auswerten*).

8. Nun wird kräftig umgebaut. Stecke die Leitungen, die am Elektrolyseur angeschlossen sind, an die entsprechenden Anschlüsse der kleinen Brennstoffzelle. Entferne das Solarmodul, ohne an den freiliegenden Leitungsenden einen Kurzschluss zu verursachen.



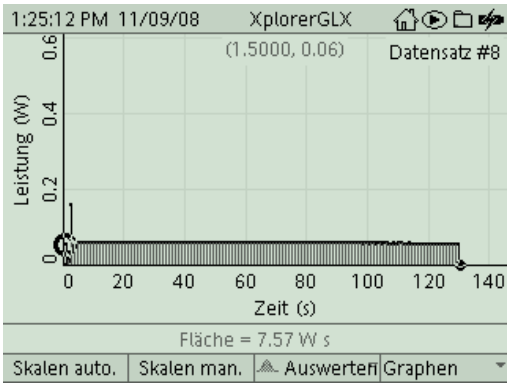


Starte eine neue Messung mit und schließe an der ursprünglichen Position des Solarmoduls nun die Messbox (Stromeingang) an. Wähle mit dem Schalter den Verbraucher **Lampe**. Sie wird wohl nur ganz leicht glimmen. Der Strom für ihren Betrieb stammt aus dem Wasserstoff, den Du eben selbst erzeugt hast.
Beobachte genau den Wasserstoffzylinder im Elektrolyseur und unterbreche die Verbindung an der Messbox, sobald der Pegel wieder auf 4 ml gefallen ist. Die zuvor vermessenen 2 ml Wasserstoff sind damit verbraucht.



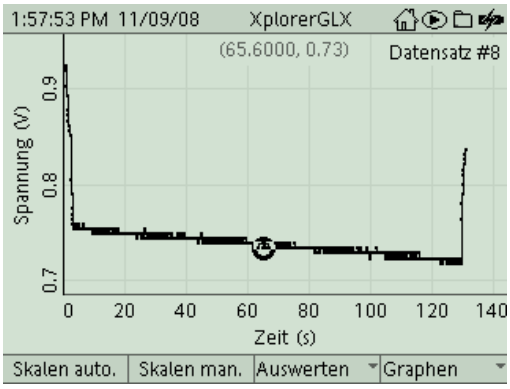
9. Sicherlich ist Dir die wesentlich kleinere Leistung beim Betrieb (im Vergleich zur Produktion) aufgefallen. Dafür dauerte die zweite Messung aber auch ein gutes Stück länger. Um beide Vorgänge miteinander zu vergleichen, müssen wir auch hier wieder die Energiemenge über die gesamte Zeit ermitteln. Dies gelingt wieder mit dem Tool **Fläche** wie im Punkt 7. Sollte nicht die gesamte Fläche schraffiert sein, so kannst Du im Menü *Auswerten*

mit dem Befehl **Cursorwahl** zum inaktiven Cursorpunkt wechseln und ihn mit den Cursortasten entsprechend verschieben (mit springst Du an den Start der Messreihe).



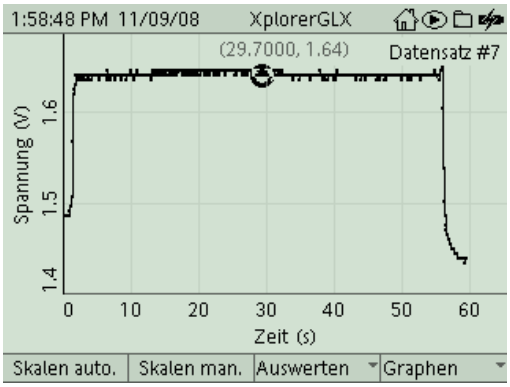
Mit diesem Messwert sind wir am Kern dieses Experiments angekommen. So viel elektrische Energie konnten wir mit Hilfe der Brennstoffzelle aus 2 ml Wasserstoff „herausholen“. Notiere auch diesen Wert und vergleiche ihn mit der Energiemenge, die wir zur Produktion dieser Wasserstoffmenge eingesetzt haben. Berechne daraus den Wirkungsgrad unseres Systems.

10. So recht mag uns nicht einleuchten, dass ein vergleichsweise kleiner Teil der eingesetzten Energie wieder aus dem System entnommen werden kann. Schließlich haben wir eine Eins-zu-Eins-Situation zwischen einzelnen Elektronen und Wasserstoffionen. Damit sollte man beim Kombinieren von Wasserstoff- und Sauerstoffatomen wieder genauso viele Elektronen bewegen können, als zur Elektrolyse erforderlich waren. Ein tieferes Verständnis für Vorgang liefert die Betrachtung der entsprechenden Spannungen. Stelle den Spannungsverlauf während der Betriebsphase dar (Tipp: mit zweimal die Belegung der y-Achse invertieren und Pulldown-Menü öffnen).



In welchem Bereich liegt hier die Spannung der Brennstoffzelle?

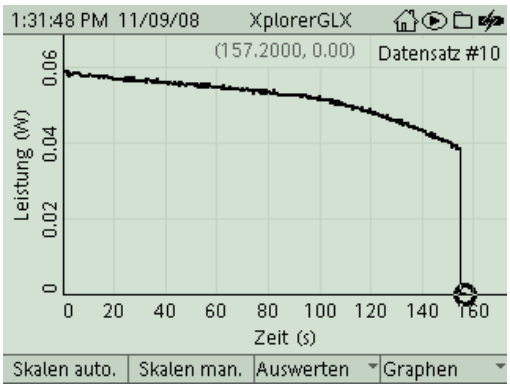
11. Vergleiche damit die Spannungslage während der Produktion. Hierzu musst Du die vorherige Messreihe aufrufen. Invertiere die y-Achse mit , springe mit zum Datensatzfeld und öffne hier mit ein Pulldown-Menü. Dort hast Du Zugriff zu allen vorherigen Messreihen.

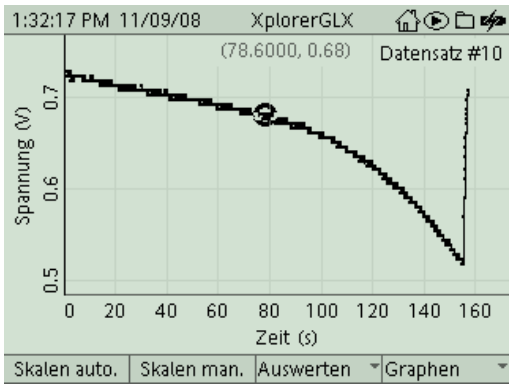


Vergleiche die Spannungslage während der Wasserstoffproduktion mit der Spannungslage während des Verbrauchs. Der Unterschied führt zu sehr unterschiedlichen Leistungen
(*$%&'#()*+,-.))()*",#/01'#2/3%*) und damit auch zu sehr unterschiedlichen Energiemengen. Dieses Problem tritt übrigens auch beim Laden von Akkus auf. Dabei sind die Spannungsunterschiede (bei Akkus wie auch Brennstoffzellen) nicht immer so hoch. Sie hängen insbesondere von der Konstruktion der Bauteile sowie der Belastung im Betrieb ab.

Solltest Du noch Zeit haben, so kannst Du noch eine weitere Messung durchführen:

12. Im Zylinder des Elektrolyseurs sollte sich immer noch Wasserstoff befinden. Schließe die Messbox wieder an die kleine Brennstoffzelle an und versorge damit die Lampe solange, bis der Pegel 2 ml erreicht hat. Starte dann mit eine neue Messung, mit der Du den Verbrauch der letzten 2 ml Wasserstoff untersuchst. Vermutlich wirst Du gegen Ende einen sehr starken Leistungseinbruch feststellen. Diesen Effekt kennst Du sicherlich bereits von Batterien oder Akkus, wenn man sich dem Ende der Entladung nähert. Auch der Spannungsverlauf spricht hier eine deutliche Sprache.





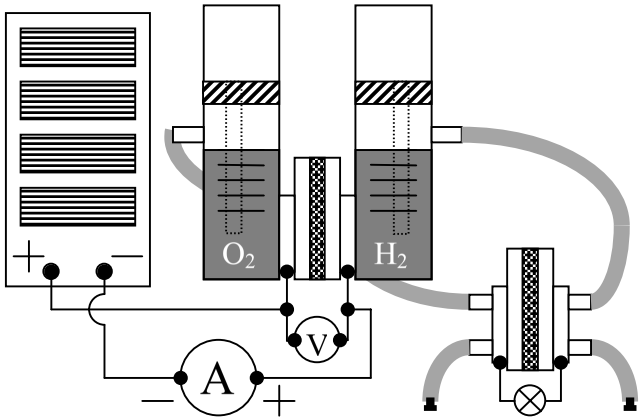
E 10 GLX 35	Brennstoffzelle – Wirkungsgrad des Systems	Brennstoffzelle, GLX

Aufgabe:

Der Wirkungsgrad eines Systems quantifiziert dessen Effizienz auf einer Skala von 0% bis 100%. Im Versuch spielst Du hierzu einen kompletten Prozess der Wasserstofftechnologie durch, von der Erzeugung des Wasserstoffs bis zur Nutzung der daraus erzeugten elektrischen Energie, z.B. für den Antrieb eines Autos der Zukunft.

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 35.

1. Befülle beide Zylinder des Elektrolyseurs **mit destilliertem Wasser**.
2. Schließe das Solarmodul zur Stromversorgung an den Elektrolyseur an. Verwende den Datenlogger Explorer GLX zur Strom- und Spannungsmessung. Das GLX kann damit die aktuelle elektrische Leistung messen.
3. Beleuchte die Solarzelle. Der erzeugte Strom zerlegt Wassermoleküle in Wasserstoff und Sauerstoff, die Gase werden im Elektrolyseur gespeichert.
4. Leite die Gase in die zweite Brennstoffzelle. Dort wird durch Synthese von Wasserstoff und Sauerstoff wieder Strom erzeugt, mit dem ein Lämpchen betrieben werden kann. Miss auch hier die elektrische Leistung, solange bis der vorher erzeugte Wasserstoffvorrat wieder verbraucht ist.

Auswertung:

1. Betrachte Deine erste Messkurve für die Erzeugung von Wasserstoff. Wie groß war die zugeführte elektrische Leistung während des Elektrolysevorganges ungefähr, wie lange hat der Vorgang gedauert?

   P_{zu} = ... t = ...
2. Die Energiemenge E ergibt sich allgemein als Produkt aus Leistung und Zeit. Nachdem die Leistung bei unserer Messung nicht konstant war, verwendeten wir ein allgemeineres Verfahren, bei dem die Fläche unter dem Graphen im t – P – Diagramm als Maß für die Energiemenge bestimmt wird.

   E_{zu} = ...
3. Betrachte Deine zweite Messkurve für die Synthese von Wasserstoff und Sauerstoff. Wie groß war die abgegebene elektrische Leistung während des Synthesevorganges ungefähr, wie lange hat der Vorgang gedauert?

   P_{ab} = ... t = ...
4. Bestimme wie bei 2. die abgegebene elektrische Energie während der Synthese des zuvor erzeugten Wasserstoffes.

   E_{ab} = ...
5. Bestimme den energetischen Wirkungsgrad in Prozent!

   !"#$%#&'"
6. Im Versuch haben wir 2 ml Wasserstoff verwendet. In Tabellen findet man einen Brennwert von ()*+,-./ für Wasserstoff, bezogen auf Normbedingungen (0°C). Unsere 2 ml entsprechen dann etwa 1,9 ml. Berechne den Brennwert dieser Wasserstoffmenge und vergleiche ihn mit den gemessenen Energiemengen.

   .....

Ergebnis:

Bei unserer Brennstoffzelle setzen wir zur Erzeugung einer bestimmten Menge

Wasserstoffes ..... Energie ein, als bei der Synthese zur Stromerzeugung danach wieder frei wird. Der gemessene Systemwirkungsgrad

beträgt ..... %. Bei Leistungsbrennstoffzellen für den industriellen Einsatz (Raumfahrt, U-Boote, Fahrzeugbau) ist der Wirkungsgrad wesentlich höher.