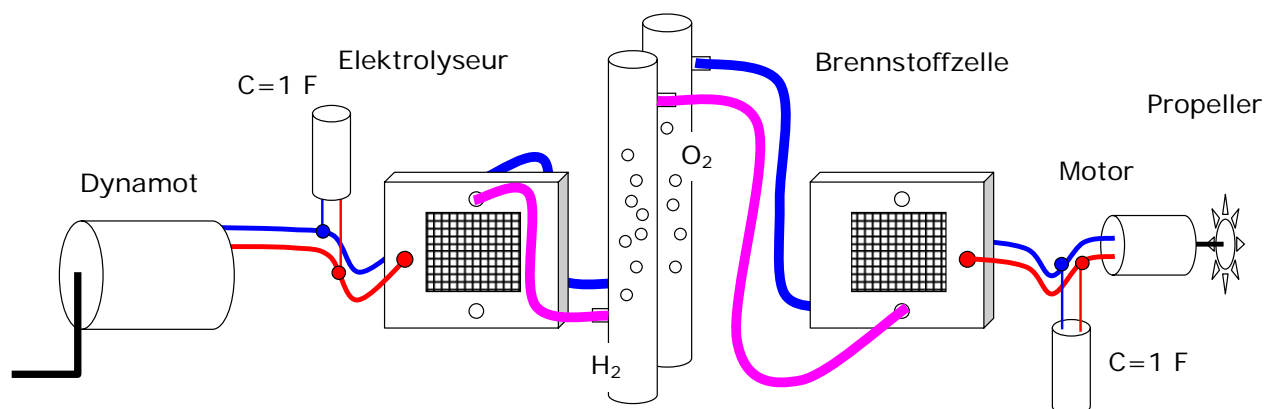


## Brennstoff-Zellen-Text zum Unterrichts

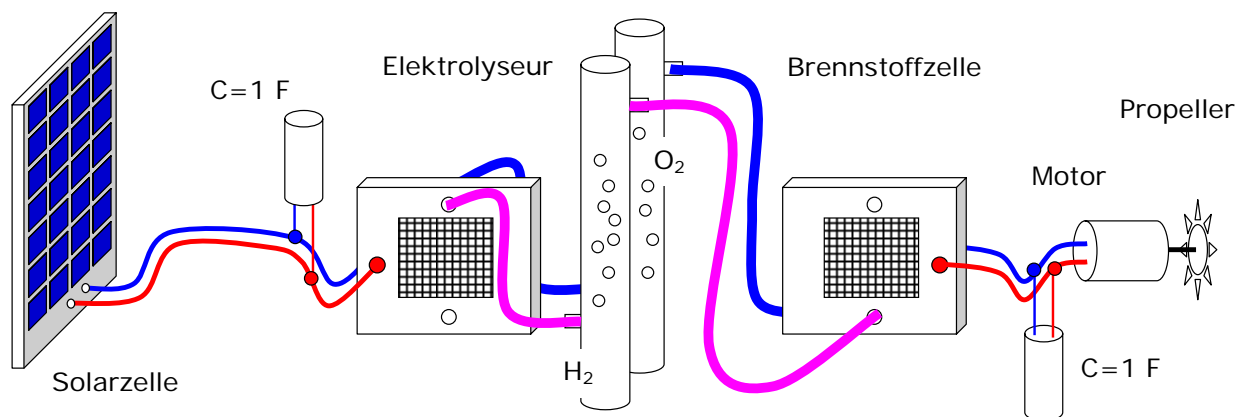
Ein experimenteller Aufbau zeigt eine Kette an Energieumwandlungen vom Sonnenlicht bis hin zum Wind. Verschiedene experimentelle Varianten werden angeboten:

### Dynamot-Variante

Ein Dynamot ist an einen so genannten Elektrolyseur angeschlossen. Parallel zum Elektrolyseur sitzt ein Goldcap (1F). Der Elektrolyseur erzeugt Wasserstoff- und Sauerstoff-Gas. Die beiden Schläuche des Elektrolyseurs führen zu einer Brennstoffzelle. Am anderen Ende der Brennstoffzelle ist ein Elektromotor angeschlossen, der einen Propeller antreibt. Parallel zum Elektromotor liegt ein weiterer Goldcap.<sup>1</sup>



### Solarzellen-Variante



Der Dynamot in der ersten Anlage wird durch eine Solarzelle hinreichender Fläche ersetzt, die am so genannten Elektrolyseur angeschlossen ist. Bei hinreichend intensiver Sonneneinstrahlung funktioniert die Anlage auch in dieser Variante. Parallel zum Elektrolyseur sitzt ein Goldcap (1F). Der Elektrolyseur erzeugt Wasserstoff- und Sauerstoff-Gas. Die beiden Schläuche des Elektrolyseurs führen zu einer Brennstoffzelle. Am anderen Ende der Brennstoffzelle ist ein Elektromotor angeschlossen, der einen Propeller antreibt. Parallel zum Elektromotor liegt ein weiterer Goldcap.

<sup>1</sup> Die Schaltbilder findet man weiter hinten.

## Unterrichtsorganisation

### 1. Schritt - Beobachtung ...

Auf dem Labortisch sind beide Varianten aufgebaut und die Teams dürfen – bei der „Dynamot-Variante“ die Anlage durch Drehen der Kurbel in Gang setzen. Hier soll genau beobachtet werden, was in der Anlage passiert. So z.B. kann man spüren, dass sich die Kurbel des Dynamot nur sehr mühsam drehen lässt, dass Gasblasen im Elektrolyseur aufsteigen, dass sich der Propeller erst nach einer ganzen Weile dreht, dass die Handkurbel weiterläuft, wenn man sie loslässt, dass die Gasblasen eine ganze Weile noch aufsteigen, auch wenn man nicht mehr am Dynamot dreht, dass der Propeller noch eine ganze Weile „nachläuft“, auch wenn man nicht mehr am Dynamot dreht, dass doppelt so viele Wasserstoffblasen als Sauerstoffblasen aufsteigen, dass man kaum bemerkt, wie der Wasserspiegel sinkt, während man kräftige Gasblasen beobachtet, dass man den Sauerstoffschlauch von der Brennstoffzelle abziehen kann und der Motor mit dem Propeller munter weiter läuft, dass der Propeller einen merklichen Luftzug (Wind) erzeugt .... usw.

Euer Team benennt die einzelnen Geräte und erläutert deren Funktionsweise. Die Teams zeichnen das Blockschaltbild dieser Anlage mit den Geräte-Bezeichnungen in das Heft.

### 2. Schritt - Hausarbeit ...

Die Teams Recherchen bis zur nächsten Physikstunde die Funktionsweise der Geräteteile in dieser Experimentieranlage.

### 3. Schritt - Gruppenpuzzle - Expertenrunde ...

Die Teams (Stammgruppe) schicken jeweils einen Vertreter in die Expertengruppen.

#### Expertengruppen:

Die Anlage bestand im Prinzip aus 7 Geräteteilen:

- Dynamot (bzw. bei der Alternative: Solarzelle)
- Elektrolyseur
- Goldcap am Elektrolyseur
- Brennstoffzelle
- Goldcap an der Brennstoffzelle
- Elektromotor
- Propeller

Die Expertengruppen erklären die Funktionsweise der ihnen zugeordneten Geräteteile. Sie sind aufgefordert, bzgl. des ihnen vorliegenden Geräteteils ein Energieflussbild zu zeichnen und die zweite physikalische Größe finden, die zusammen mit der Energie gewissermaßen mitfließt.

#### Stammgruppen

Die Teams = Stammgruppen erstellen aus den Einzelbeiträgen ihrer Experten ein Energieflussbild der Gesamtanlage. Hierbei wird sowohl den Energiefluss als auch die Energiespeicher in der Anlage beschrieben.

Die Teams=Stammgruppen dokumentieren die zusammengetragenen Ergebnisse. Diese Dokumentation wurde als Teamarbeit bewertet.

Darüber hinaus planen sie eine geeignete Präsentation – PowerPoint, Plakatpräsentation ... oder eine Alternative.

## Lösungsbeispiele aus dem Unterricht

Zwei Blitzlichter soll zeigen, welches Denkniveau bei dieser differenzierten Unterrichtsform möglich wird:

### **Anders als gedacht ...**

Einer Schülerin fiel auf, dass sich die Kurbel nach dem Loslassen weiterdreht und dass auch dann noch Gasblasen aufsteigen, wenn man die Kurbel loslässt. Als Ursache für diese „Nachlaufen“ erklärten die zuständigen Experten die eingebauten elektrischen Energiespeicher (Goldcap), die sie aus dem vorangegangenen Unterricht schon kannten.

Warum konnte die Schülerin auch nicht mehr erklären – aber sie kam auf die Idee, die Goldcap-Kondensatoren abzutrennen. Und sie stellte erstaunt fest, dass die Kurbel immer noch nachläuft ... und sich der Propeller am Ende der Energie-Kette immer dreht – ABER dass das Aufsteigen der Gasblasen im Elektrolyseur sofort aufhört, wenn der Goldcap-Kondensator nicht mehr eingeschaltet ist.

Das Nachlaufen des Propellers konnte man schnell klären ... der Elektrolyseur erzeugt in den beiden Gasschläuchen einen gewissen Druck ... und die Brennstoffzelle arbeitet so lange weiter, bis kein Wasserstoff- und Sauerstoffgas mehr nachgeliefert wird.

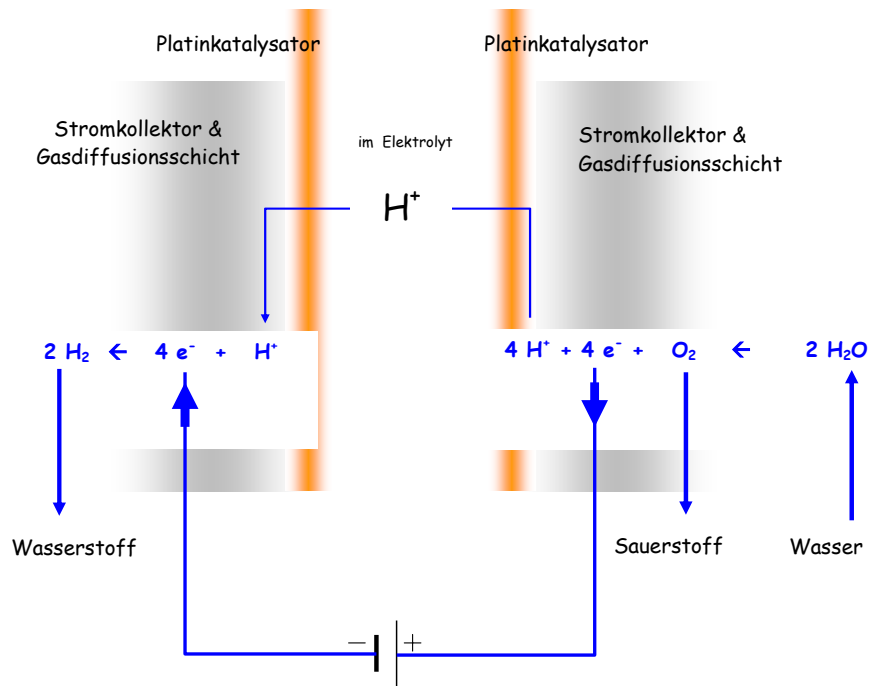
Aber beim Nachlaufen des Dynamots nach dem Loslassen, hatte man ein kleines Problem. Die Schülerin stellt folgende Frage: „ ... *in welcher Weise wirkt der Elektrolyseur als Speicher, der den Dynamot antreibt?*“

Diese Frage wurde von der Klasse (Schülerinnen, Schüler und Lehrer) auf „Halde geschoben“ und dann schneller gelöst, als man dachte.

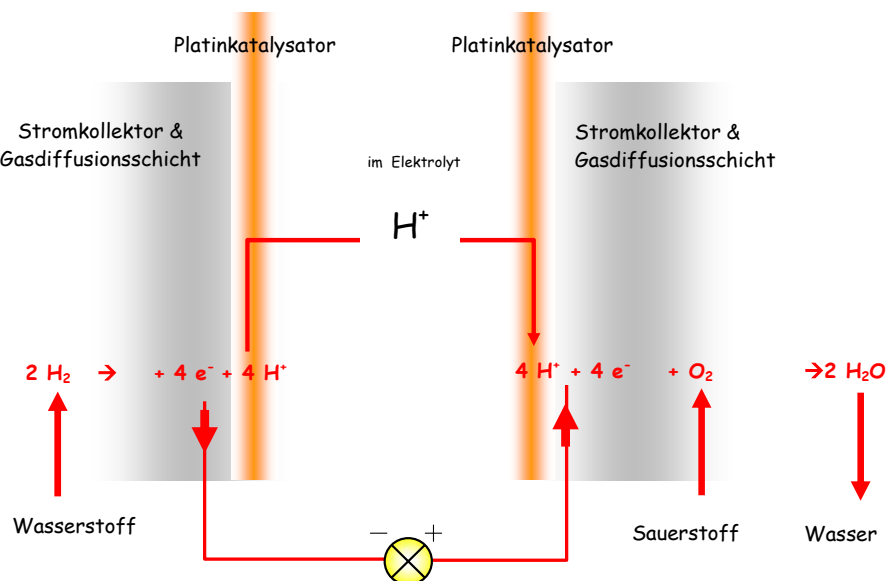
## Umkehrung

Sowohl die Dynamot- als auch die Solarzellen-Variante waren auf dem Labortisch aufgebaut. Eine der Expertengruppen bearbeitete die Funktionsweise der Brennstoffzelle – eine andere Expertengruppe den Elektrolyseur. Eigentlich war nur daran gedacht, die Funktionsweise der Brennstoffzelle als Energieflussbild zu zeichnen. Die Formulierung einer chemischen Reaktionsgleichung war bei diesem Gruppenpuzzle überhaupt nicht vorgesehen. Trotzdem gingen die Brennstoffzellen- und die Elektrolyseur-Zellen-Experten so weit, auch die chemischen Reaktionen zu formulieren.

Als die Experten in ihre Stammgruppe zurückkehren und von ihren Ergebnissen berichten, fällt einem der Stammgruppenmitglieder auf, wie ähnlich die chemischen Formeln sind, die von den beiden Experten vorgetragen werden. Nach einigem Umschreiben ergeben sich dann folgende zwei Bilder:



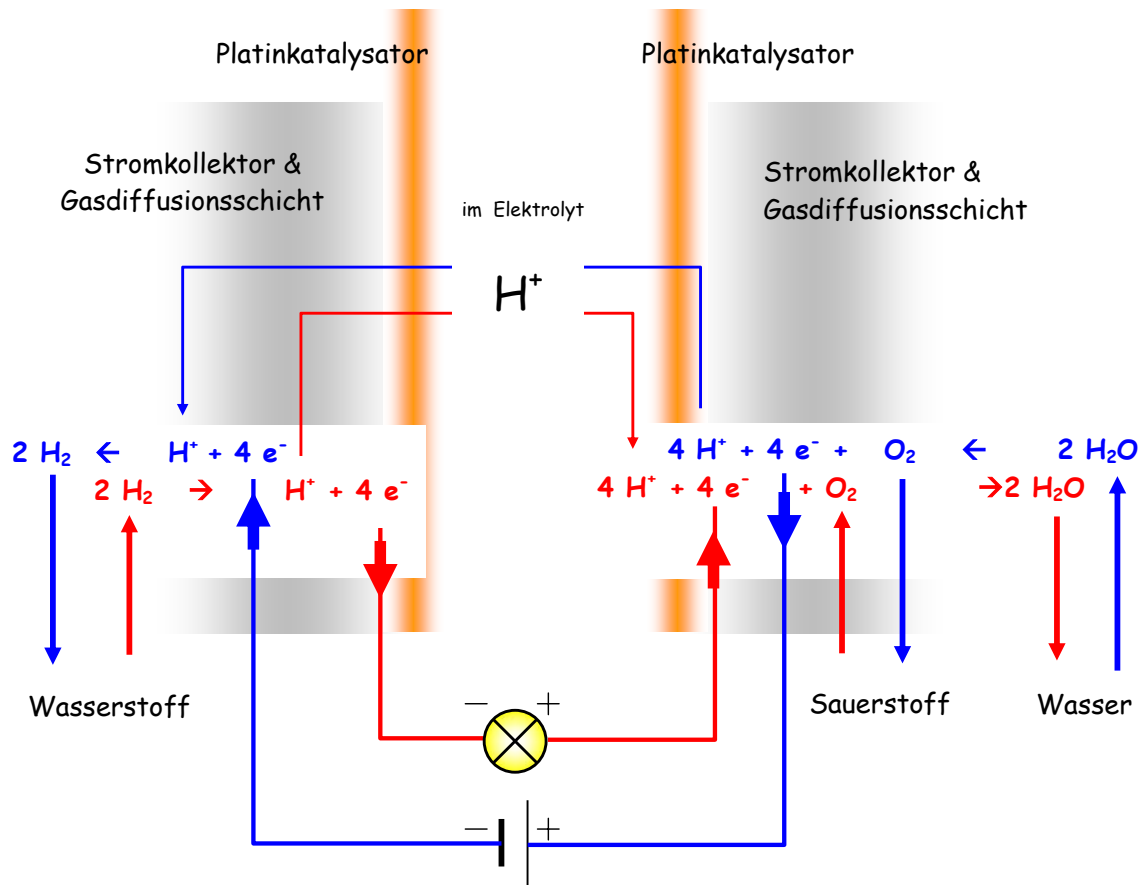
## Elektrolyseur



## Brennstoffzelle<sup>2</sup>

<sup>2</sup> aus PdN-PhiS. 3/54. Jg. 2005 – H Krenn, Die Physik von Kontakten: „... Im Falle der Wasserstoff-Brennstoffzelle laufen folgende chemische Reaktionen ab:  $2 \text{H}_2 \rightarrow 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$  (an der Anode) und  $\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$  (an der Kathode).

## Brennstoffzelle & Elektrolyseur in einem Bild



Der nächste Schritt liegt auf der Hand und wird von den Schülerinnen und Schülern sofort gegangenen: Wenn diese Darstellungen korrekt sind ... könnte es nicht sein, dass ein Elektrolyseur auch als Brennstoffzelle funktioniert. Der Physiklehrer ist über das Ergebnis zunächst sprachlos – findet keinen Fehler ... und stimmt der Theorie zu. Nun stellt sich für ihn die Frage, soll|darf|kann er dem Schülerwunsch nachgeben, diese Umkehrung zu probieren. In der Betriebsanleitung des Elektrolyseurs steht kein Wort davon, dass man ihn auch als Brennstoffzelle betreiben kann ... in keinem Vortrag, den der Physiklehrer bisher gehört hat, wurde auch nur ein Wort davon erwähnt, dass das möglich ist.

Die Spannung der Schülerinnen und Schüler UND des Physiklehrers, ob dieser Schluss zutrifft, ist beim Umbau der Anlage zu spüren. Der Physiklehrer hat zudem leise Bedenken, ob der Elektrolyseur durch diese „artfremde Verwendung“ als Brennstoffzelle noch in seiner „alten Funktion“ als „Elektrolyseur“ arbeiten wird?

Können Sie sich die Freude vorstellen, als deutlich wird, dass die theoretische Vorhersage tatsächlich korrekt ist und der Elektrolyseur als Brennstoffzelle wunderbar funktioniert und sich der Propeller in Bewegung setzt?

---

Diese Reaktion läuft normalerweise explosionsartig ab, wenn sie „gezündet“ wird (Knallgasreaktion). In der Brennstoffzelle wird diese Reaktion gebändigt, sie läuft kontrolliert und bei Raumtemperatur ab. Wasserstoff reagiert hier nicht direkt mit dem Luftsauerstoff, sondern gibt seine Elektronen an der Platinanode ab, die als Katalysator wirkt. Die zurückbleibende  $H^+$ -Ionen diffundieren durch die Polymermembran (sie ist nur durchlässig für  $H^+$ -Ionen, also semipermeabel). Die im äußeren Stromkreis zur Kathode fließenden Leitungselektronen neutralisieren die  $H^+$ -Ionen zu H-Radikalen (wiederum über Vermittlung der Katalysatorwirkung des Platins), die mit dem Luftsauerstoff zu  $H_2O$  reagieren, welches abgeführt wird. Die Betriebsspannung einer einfachen Zelle liegt bei 0,3 bis 0,9 Volt ...“  
 ... mit anderen Worten: An der linken und rechten Elektrode werden Wasserstoff- ( $H_2$ ) und Sauerstoffmoleküle ( $O_2$ ) mit Hilfe des Katalysators jeweils in „Einzelatome“ zerlegt. Wasserstoffatome geben Elektronen an die rechte metallische Elektrode ab, während das Proton durch den Elektrolyten („Protonenventil“ – lässt nur Protonen durch!) zur rechten Elektrode wandern kann ... an der rechten Elektrode entsteht aus Protonen, Elektronen und Sauerstoffatomen ein Wassermolekül.

UND ganz leise bemerkt die Schülerin, der das Nachlaufen des Dynamots ohne Goldcap im Kopf herumging: Jetzt verstehe ich auch das Nachlaufen; der Elektrolyseur verbraucht das zuvor selbst erzeugte Wasserstoff- und Sauerstoffgas als Brennstoffzelle und treibt den Dynamot als Motor an.

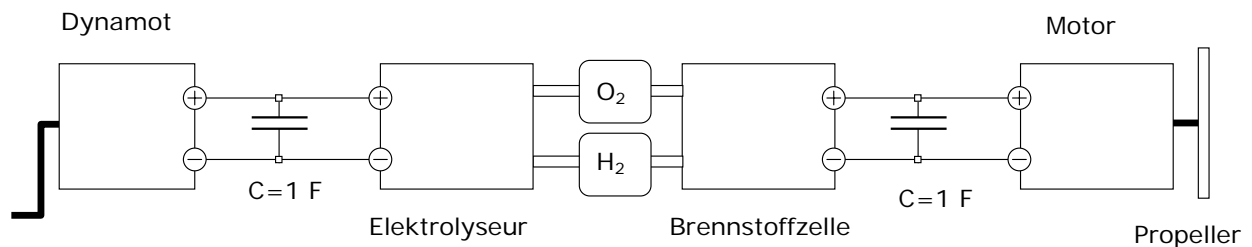
Können Sie sich die Erleichterung des Physiklehrers vorstellen, der anschließend beruhigt feststellt, dass der Elektrolyseur bei dieser Umfunktionierung keinen Schaden genommen hat - bis dann die nächste Schülerfrage kommt: „Dass verstehe ich ja alles – ABER wieso läuft die Kurbel nicht „anders herum“ ... warum läuft sie in der gleichen Richtung weiter ... die Energie fließt doch das eine Mal hinein ... und das andere Mal kommt sie heraus ... die Richtung dreht sich doch um ... warum dreht sich die Drehrichtung der Kurbel nicht um?“

Wie der Unterricht weiter geht, findet man im Kapitel: „Unterrichtseinheit „Induktion“.

Solche authentischen Momente – bei denen man die „Osterhasenpädagogik“ nun wirklich ganz abgelegt hat - sind sicher schwer zu realisieren – aber ganz wesentlich für das Lernen.

## Schaltbilder

### Dynamot-Variante



### Solarzellen-Variante

