

NWA- TAG 2007

STOFFWECHSEL- UND ENERGIEUMWANDLUNGSPROZESSE

„Wir bauen eine Brennstoffzelle“ -Ein Selbstversuch-



Erstellt von:
Christine Henne und Corinna Lehr

Inhaltsverzeichnis

1	WAS IST EINE BRENNSTOFFZELLE	3
1.1	GESCHICHTE	3
1.2	FUNKTIONSWEISE	3
1.3	ANWENDUNG UND EINSATZMÖGLICHKEITEN	4
2	EINSATZMÖGLICHKEITEN IM UNTERRICHT	7
2.1	BEZUG ZUM BILDUNGSPLAN	7
2.2	BRENNSTOFFZELLE ALS UNTERRICHTSTHEMA	8
2.3	SICHERHEITSHINWEISE	9
3	PRAKTISCHE UMSETZUNG ZUM BAU EINER BRENNSTOFFZELLE	10
3.1	KOSMOS- EXPERIMENTIERKASTEN	
	„BRENNSTOFFZELLEN- AUTO“	10
3.2	LOW- COST- MODELL	12
4	LITERATUR	14

1 Was ist eine Brennstoffzelle

1.1 Geschichte

1780 wird der Grundstein der Wasserstoff-Technologie gelegt. **Luigi Galvani** stellt zum ersten Mal die **Theorie der Umwandlung von chemischer in elektrische Energie** auf.

1839 experimentiert **Entdecker Sir William Grove** mit der Elektrolyse von Wasser und entdeckt, dass der Prozess umkehrbar ist. Wasser wird bei der Elektrolyse mit Hilfe von Elektrizität in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Umgekehrt kann man in einer Brennstoffzelle Elektrizität erzeugen, indem Wasserstoff und Sauerstoff verbunden werden.

Aufgrund der Erfindung der Dynamomaschine durch Werner von Siemens geriet die von ihm als „Galvanische Gasbatterie“ bezeichnete Erfindung zunächst in Vergessenheit.

Ihre Renaissance erlebte die Brennstoffzelle ab den 1950er Jahren mit der beginnenden Raumfahrtforschung. Sie gewinnt seitdem kontinuierlich an Bedeutung (vgl. 1.3 Anwendung und Einsatzmöglichkeit).

1.2 Funktionsweise

Grundlegendes zur Brennstoffzelle

Die Gewinnung von elektrischer Energie aus chemischen Energieträgern erfolgt heute zumeist durch Verbrennung in einer Wärmekraftmaschine in Verbindung mit einem Generator. Hierbei muss jedoch der Umweg über die thermische und die Bewegungsenergie in Kauf genommen werden. Die Brennstoffzelle hingegen ist geeignet, diese Umformung ohne Umweg zu erreichen und damit potenziell effizienter zu sein.

Bei der Elektrolyse wird Wasser mithilfe elektrischer Energie in seine gasförmigen Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Die Brennstoffzelle kehrt im Prinzip den Prozess der Elektrolyse um: Die Brennstoffzelle nimmt die beiden Gase und verwandelt sie wieder zu Wasser, wobei elektrische Energie gewonnen wird.

Aufbau der Brennstoffzelle

Eine Brennstoffzelle besteht aus zwei Elektroden, die durch eine Membran voneinander getrennt sind. Die Anode wird mit dem Brennstoff umspült (meist Wasserstoff, es sind aber auch weitere Stoffe wie Methan, Methanol oder Glukoselösung möglich), der dort oxidiert wird. Die Kathode wird mit dem Oxidationsmittel umspült (zum Beispiel Sauerstoff, Wasserstoffperoxid oder Kaliumthiocyanat), das dort reduziert wird.

Die verwendeten Materialien sind je nach Brennstoffzellentyp verschieden. Die Elektrodenplatten/ Bipolarplatten bestehen meist aus Metall oder Nano-Carbon-Röhrchen, diese sind mit einem Katalysator beschichtet (zum Beispiel Platin oder Palladium).

Es gibt verschiedene Brennstoffzellen-Typen, die sich in Aufbau und Funktionsweise unterscheiden. Wir werden an diese Stelle nur auf die PEM-Brennstoffzelle näher eingehen.

Chemische Reaktion

Der Brennstoff, hier Wasserstoff, wird an der Anode katalytisch oxidiert. Das Wasserstoffmolekül wird folglich in zwei Protonen (H^+) und zwei Elektronen gespalten. Die Protonen gelangen durch die Ionen-Austausch-Membran in die Kammer mit dem Oxidationsmittel. Die Elektronen werden aus der Brennstoffzelle abgeleitet und fließen über einen elektrischen Verbraucher, zum Beispiel eine Glühlampe, zur Kathode. An der Kathode wird das Oxidationsmittel, hier Sauerstoff, durch Aufnahme der Elektronen zu Anionen reduziert und reagiert gleichzeitig mit den durch den Elektrolyt zur Kathode gewanderten Protonen zu Wasser ($O^2 + 2e + 2H^+ \rightarrow H_2O$).

Vorteile der Brennstoffzelle

- Ein hoher Wirkungsgrad - verglichen mit herkömmlicher Energieumwandlung.
- Als Reaktionsprodukt bildet sich nur Wasser (gilt nur für die Wasserstoff betriebene Brennstoffzelle)
- Es entstehen keine atmosphärischen Schadstoffe wie die Stickoxide oder Schwefeldioxid. Diese bilden sich nur bei echtem, heißem Feuer.

Deutlich wird der Vorteil der Brennstoffzelle auch beim Vergleich mit einer herkömmlichen Batterie oder einem Akkumulator:

Die Batterien verbrauchen sich selbst. Deshalb hat man ökologisch bedenklichen Abfall. Akkus muss man ständig aufladen. Das bedeutet eine Unterbrechung im Betrieb. Eine Brennstoffzelle kann jahrelang kontinuierlich laufen, ohne dass man den Betrieb unterbrechen muss.

1.3 Anwendung und Einsatzmöglichkeiten

Anwendung fand die Brennstoffzelle zuerst in den Bereichen, in denen die Kosten eine untergeordnete Rolle spielten und der spezifische Vorteil gegenüber günstigeren Dieselgeneratoren im Vordergrund stand.

Als erstes waren es das Militär und die Raumfahrt, die an der Brennstoffzelle interessiert waren, da ihr großer Vorteil im geringen Gewicht und der Effizienz als Akkumulator liegen.

Energiewirtschaft

Die Wasserstoff- Sauerstoff- Brennstoffzelle ist vor allem aus ökologischer Sicht besonders interessant, da Wasserstoff unter Einsatz erneuerbarer Energien gewonnen werden kann, wobei der Sauerstoff aus der Erdatmosphäre entnommen werden kann. So ist es bspw. möglich Wasserstoff mithilfe der Elektrolyse unter Einsatz von Solartechnik zu gewinnen. Eine weitere, günstigere Variante ist das Steam- Reforming, bei welchem Wasserstoff durch die direkte chemische Umwandlung von Biomasse gewonnen wird. Dieses Verfahren bietet neue Aussichten für eine fortwährende Energieerzeugung.

Ein weiterer Grund, warum die solare Wasserstoffwirtschaft der heutigen Energiewirtschaft überlegen wäre, ist dieser, dass die Umwandlung von Primärenergie in Wasserstoff wesentlich effizienter als die Umwandlung von Primärenergie in Strom ist. Zudem wäre die solare Wasserstoffwirtschaft emissionsfrei und klimaneutral.

Problematisch ist allerdings bis heute, dass die notwendige Infrastruktur für Lagerung und Transport von Wasserstoff noch nicht vorhanden ist, u.a. aus Gründen des besonders hohen Diffusionsvermögens, welches eine besondere technische, organisatorische und ökonomische Herausforderung darstellt.

Bereits im Jahr 2005 verabschiedete das Europäische Parlament das „Wasserstoffmanifest“, welches eine „grüne“ Wasserstoffwirtschaft in naher Zukunft fordert. Diese hatte neben den ökologischen Aspekten auch den Vorteil, dass die Energiepreise für Strom, Wärme und Verkehr in Europa deutlich zurückgehen würden und Europa ebenso energieautark, also unabhängig von Lieferanten fossiler Brennstoffe, wäre.

Mobiler Einsatz

Seit bereits 20 Jahren forschen mehrere Automobilhersteller an Fahrzeugen, deren Treibstoff Wasserstoff sein soll und welche zur Energieumwandlung die Brennstoffzelle sowie einen Elektromotor als Antrieb nutzen.

Zum Einsatz ist die Brennstoffzelle im Automobil bis heute jedoch noch nicht gekommen, da für den breiten Einsatz der mobilen Wasserstoffanwendung zuvor ein Aufbau von Wasserstofftankstellen erforderlich ist. Des Weiteren gestaltet sich der Transport von Wasserstoff in Fahrzeugen als problematisch, da hierfür nur Druckbehälter oder Metallhydride in Frage kommen.

Weitere Hürden stellt momentan noch die Leistungsstärke der Brennstoffzellen dar, da die Leistungsstärke dieser noch weiter ausgebaut werden muss, um Brennstoffzellenautomobile mit mehr als 100 kW realisieren zu können. Zudem kommt, dass bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt die Startfähigkeit der Brennstoffzelle durch das Gefrieren des Wassers gefährdet sein kann. Dieses Problem kann jedoch mittels einer geeigneten Elektrodenstruktur behoben werden, sodass bereits verschiedene Hersteller einen Gefrierstart bei Temperaturen von bis zu -20°C sicherstellen konnten.

Deutschland ist bislang der einzige Anbieter von U- Booten mit serienmäßig hergestellten Modellen mit Brennstoffzellen als Antrieb. Seit 2005 wurden bereits 212 solcher U- Boote ausgeliefert, die über einen Antrieb mit einer Leistung von ca. 300 kW also 408 PS verfügen. Alternative Treibstoffe gegenüber dem Wasserstoff sind Ethanol, Methanol oder andere Kohlenwasserstoffe, aus denen kurz vor Gebrauch der Wasserstoff durch katalytische Verfahren gewonnen wird. Dieses Verfahren trübt durch einen nennenswerten CO₂ – Ausstoß jedoch die sonst vollkommene Umweltverträglichkeit der Brennstoffzelle.

Seit Mitte 2005 verwendet die Luftfahrt in ihren Drohnen Brennstoffzellen und Ende Oktober 2006 erklärte der Automobilhersteller VW den endgültigen Durchbruch in kostengünstigeren und leistungsfähigeren Brennstoffzellen im Hochtemperaturbereich. Somit liegen die Probleme der Zukunft nicht auf der Seite der Fahrzeughersteller, sondern in der kostengünstigen und umweltschonenden Herstellung von Wasserstoff.

Portabler Einsatz

Auch ein portabler Einsatz der Brennstoffzelle ist geplant, etwa um Batterien und Akkus in kleineren Geräten wie Laptops zu ersetzen. Dies ermöglicht längere Einsatzmöglichkeiten und ein Nachfüllen mit Methanol abseits des Stromnetzes. Charakteristische Einsatzgebiete werden Observation, Umweltmesstechnik, Telekommunikation, Filmkameras, Notebooks, Reisemobile und Segelboote sein.

Die unbefriedigende Situation bei den Technologien zur Speicherung von Wasserstoff in kleinen Mengen erlahmt jedoch bisher die Einführung dieser.

Stationärer Einsatz

Da Wasserstoff in Wasserstoffnetzen derzeit noch nicht zu Verfügung steht, sind momentan die Erdgas- Brennstoffzellen dabei, die bisherigen Generatoren in der Kraft- Wärme- Koppelung zu verdrängen. Dienen könnte ein solches Blockheizkraftwerk zur Versorgung eines größeren Einzugsgebietes oder eines Gebäudes.

Hierbei wird Erdgas als Energieträger zugeführt und in einem Reformier bei hohen Temperaturen der Wasserstoff von den Kohlenwasserstoffen abgelöst und der Brennstoffzelle zur Energieerzeugung zugeführt. Dadurch entstehen Strom und Wärme, welche für die Brauch- und Heizwassererwärmung eingesetzt werden. Im Hinblick auf die Stromversorgung liegen die Vorteile der dezentralen Erzeugung in der Vermeidung von Umspann- und Leitungsverlusten im Netz der Energieversorger. Betrachtet man die Wärmeseite so entfallen die Transportverluste. Allerdings sind auch bei dieser Form der Anwendung gewisse CO₂- Immissionen nicht zu vermeiden, diese liegen jedoch unter der Immission bisheriger Verfahren.

2 Einsatzmöglichkeiten im Unterricht

2.1 Bezug zum Bildungsplan

Das Unterrichtsthema Brennstoffzelle kann folgenden Punkten des Bildungsplans zugeordnet werden:

Kompetenzerwerb durch das erschließen von Phänomenen, Begriffen und Strukturen

DEN ENERGIEBEGRIFF VERSTEHEN UND ANWENDEN:

Schülerinnen und Schüler können selbstständig die Grundzüge eines mechanischen, elektrischen, durch Wärme oder chemische Energieträger geprägten Energieversorgungssystems darstellen. Sie können Vorgänge, bei denen Energie von einem Träger zum anderen übergeht, beschreiben, die Menge und die Kosten der transportierten Energie berechnen und die Übertragungseffektivität quantifizieren. Sie können

- die Bildung des Energiebegriffs und seine Quantifizierung nachvollziehen;
- Energieübertragung beschreiben und erklären;
- einem System Energie zuführen oder entnehmen;
- die übertragbare Energiemenge abschätzen und berechnen;
- Energiespeichermöglichkeiten im Alltag kennen und verstehen;
- mit Sonnenenergie umgehen.

PHÄNOMENE UND MÖGLICHKEITEN IHRER BESCHREIBUNG ERLEBEN:

Die Schülerinnen und Schüler können Phänomene, die mit Licht, Kraft, Wärme, Elektrizität, Radioaktivität verbunden sind oder die sich durch den Blick ins Weltall eröffnen, in der Umgangssprache beschreiben, sie modellhaft darstellen oder in definierte Größen quantifizieren. Sie erkennen die Grenzen von Darstellungsmöglichkeiten. Im Einzelnen können sie

- Alltagserfahrungen mit elektrischen Phänomenen beschreiben, mit geeigneten Freihandversuchen in Beziehung setzen und mit einfachen Modellvorstellungen erklären;
- Elektrizität mit den Größen Energie, Stromstärke und Spannung beschreiben und den elektrischen Widerstand als Eigenschaft eines Wandlers erkennen;
- elektrische Leitungsvorgänge in Metallen, Flüssigkeiten, Gasen, dem Vakuum und Halbleitern beschreiben.

Kompetenzen im projektorientierten Unterricht der Klasse 10

Der Fächerverbund „Naturwissenschaftliches Arbeiten“ wird in Klasse 10 projektorientiert unterrichtet.

- Wasserstofftechnologie
- Regenerative Energien
- Elektrochemie/ Galvanik
- Globale Stoffkreisläufe
- Treibhaus- und Ozonproblematik.

2.2 Brennstoffzelle als Unterrichtsthema

Es gibt vielfältige Möglichkeiten die Thematik Brennstoffzelle im Unterricht zu verwirklichen. Die folgende Tabelle gibt eine grobe Übersicht über die mögliche Behandlung des Themas Brennstoffzelle im NWA- Unterricht.

Jahrgangstufe	Großlernziele	Lernvoraussetzung
Klasse 5 bis 7 (innerhalb des Fächer- verbund NWA)	<ul style="list-style-type: none"> kennen lernen der Brennstoffzelle als Energiewandler (durch die Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff wird chemische in elektrische Energie umgewandelt) kennen lernen der Brennstoffzelle als Gegenstand mit dem elektrische Geräte innerhalb eines geschlossenen elektrischen Stromkreises mit elektrischer Energie betrieben werden können zeichnen der Brennstoffzelle in einem Energieflussdiagramm 	<ul style="list-style-type: none"> verschiedene Energieformen verschiedene Energiewandler elektrischer Stromkreis
Klasse 8 und 9 (innerhalb der Module Physik und Chemie)	<ul style="list-style-type: none"> Aufbau der Brennstoffzelle und ihre Anwendungen Messung von Spannung und Stromstärke einer Brennstoffzelle zeichnerische Darstellung der Messergebnisse 	<ul style="list-style-type: none"> Messung von elektrischen Größen elektrische Ladungsträger erstellen von Graphen
Klasse 10 (innerhalb des projekt- orientierten Unterrichts NWA)	<ul style="list-style-type: none"> kennen lernen der regenerativen Erzeugung von Wasserstoff mit einem Elektrolyseur Funktionsweise einer Brennstoffzelle Erklärung der Energieumwandlung in der Brennstoffzelle mittels einer chemischen Reaktionsgleichung Berechnung von Leistung und Energie einer Brennstoffzelle Erörtern der Möglichkeiten und Grenzen von Wasserstoff als Energieträger 	<ul style="list-style-type: none"> Aufbau von Atomen und Molekülen (Wasser als Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff) Chemisches und physikalisches Verhalten von Wasserstoff Umgang mit chemischen Reaktionsgleichungen Aufbau und

		Funktionsweise eines galvanischen Elements <ul style="list-style-type: none"> ▪ Berechnung der elektrischen Leistung und der elektrischen Energie
--	--	---

Die Schüler/innen in Klasse 5 bis 7 können die Umwandlung von chemischer in elektrische Energie (durch die Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff) lediglich als Phänomen kennen lernen, dieses jedoch noch nicht erklären.

Hierfür sind in Klasse 8 und 9 Voraussetzungen sowohl aus dem Modul Physik als auch Chemie nötig. So muss unter anderem die Wasserstoffgewinnung durch Elektrolyse einsichtig werden (Chemie). Nachdem die Wasserstoffherstellung behandelt wurde, könnte der Aufbau und die Funktionsweise einer Brennstoffzelle innerhalb des Moduls Physik folgen. Hierbei sollten die Schüler/innen auch Messungen von Spannung und Stromstärke durchführen. Diese könnten innerhalb von Schaubildern, Diagrammen dargestellt werden (ggf. fächerübergreifend im Fach Mathematik). Die chemischen Prozesse welche innerhalb der Brennstoffzelle ablaufen könnten auch anhand der Reaktionsgleichungen erörtert werden (Chemie).

In Klasse 10 könnten die globalen Zukunftsvisionen im Vordergrund stehen. Die Schüler/innen betrachten die Brennstoffzelle kritisch im Hinblick auf eine mögliche Wasserstoffwirtschaft, in welcher diese als Energiewandler eine Schlüsselrolle innerhalb einer alternativen Energieversorgung einnimmt.

Das Thema Brennstoffzelle eignet sich auch im Hinblick auf die fachinterne Überprüfung in Klasse 10, als auch für die fächerübergreifende Kompetenzprüfung (beispielsweise in Verbindung mit dem Fach EWG, welches die weltwirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen in einer Weltwasserstoffwirtschaft aufzeigt und hinterfragt).

2.3 Sicherheitshinweise

Die meisten Versuche werden mit Sauer- und Wasserstoffflaschen durchgeführt. Im Hinblick auf den NWA- Tag und den alltäglichen Unterricht haben wir uns dafür entschieden diese Gefahrenquellen (siehe unten) zu umgehen. Daher werden in unseren Versuchen die Brennstoffzelle mit der Elektrolyse kombiniert: die benötigten Gase werden mit einem Elektrolyseur in kleinen Mengen selbst erzeugen und für die Brennstoffzelle direkt weiter verwendet. Dennoch sind bei den von uns durchgeführten Versuchen folgende Sicherheitshinweise zu beachten:

- die Brennstoffzelle darf nicht ohne Beaufsichtigung betrieben werden,
- Wasserstoff kann in Verbindung mit Sauerstoff ein explosionsfähiges Knallgasgemisch bilden, daher darf die Brennstoffzelle nur im Freien oder ausreichend belüfteten Räumen betrieben werden,

- der Kontakt zu offenen Feuerstellen sollte in jedem Fall unterbunden werden.

In alternativen Versuchen wird meistens reiner Wasserstoff aus Gasflaschen verwendet. Der Nachteil des Wasserstoffs sind die möglichen verheerenden Folgen, falls eine Gasflasche undicht sein sollte. In einem solchen Fall kann es zu einer Knallgasreaktion kommen, ebenso könnte die unter Druck stehende Gasflasche sogar explodieren. Aus diesen Gründen ist es Schüler/innen nicht erlaubt an Schulen mit Wasserstoff, aber auch mit Gasflaschen überhaupt, zu hantieren.

Um diese Gefahr zu vermeiden kann auch Methanol an Stelle von Wasserstoff eingesetzt werden, wobei hier zu beachten ist, dass Methanol in Massen- Konzentration größer 10 % als toxisch und in reiner Form als leicht entzündlich eingestuft wird. Dies bedeutet ernste Gefahr mit irreversiblen Schäden durch Einatmen, Berührungen mit der Haut und durch Verschlucken. Daher sind die Verwendung von Handschuhen und das Arbeiten unter dem Abzug notwendig.

3 Praktische Umsetzung zum Bau einer Brennstoffzelle

3.1 KOSMOS- Experimentierkasten „Brennstoffzellen- Auto“



Wir haben uns mit dem von der Firma KOSMOS produzierten Experimentierkasten beschäftigt, welcher im Spielzeughandel für ca. 140 € (unverbindliche Preisempfehlung), bei Conrad Elektronik für ca. 100 € zu beziehen ist und für Schulen zum Sonderpreis von ca. 70 € erhältlich ist unter:

- Modellbau und Schule, Postfach 1130, 74871 Sinsheim (avanti-WN@t-online.de)
- www.kosmos.de/index.htm

Der Experimentierbaukasten enthält alle Bauteile für ein Solarauto, welches mit einer Brennstoffzelle betrieben wird. Sowie darüber hinaus ein digitales Multimeter für Messungen und ein gut bebildertes und didaktisch- methodisch aufbereitetes Begleitbuch. In diesem finden sich Informationen zur Geschichte und Technik von Solarantrieb, Elektrolyse und Brennstoffzelle, sowie die chemischen und physikalischen Grundlagen, die zum Verständnis notwendig sind. Das Buch enthält außerdem 34 detaillierte Versuchsanleitungen, welche dem „Jungphysiker/in“ ab etwa 12 Jahren das selbstständige Arbeiten und Experimentieren ermöglichen- auch ohne Hilfe eines Lehrers. Dennoch eignet sich das Modell auch hervorragend für den Einsatz im NWA- Unterricht.

Folgende Schwierigkeiten haben sich im Umgang mit dem Experimentierbaukasten gezeigt:

- die 34 Versuche bauen aufeinander auf, wodurch es für Schüler/innen notwendig ist alle Versuche nacheinander zu bearbeiten um schlussendlich das fertige „Brennstoffzellen- Auto“ bauen zu können,
- das Kunststoffchassis und die Räder erwiesen sich als etwas anfällig, wodurch eine vorsichtige Handhabung dieser von Nöten ist,
- auch die Gummibereifung sollte fester auf den Rädern sitzen.



Funktionsweise des „Brennstoffzellen- Autos“:

Die mit Hilfe der Solarzellen gewonnene Energie wird genutzt, um eine Elektrolyse von Wasser zu durchzuführen. Die dabei entstehende Gase, Wasserstoff und Sauerstoff, werden in den jeweiligen Tanks gespeichert. Diese werden zum Betreiben der Brennstoffzelle genutzt. Das Auto fährt somit auch bei Beschattung (bis die Gasvorräte aufgebraucht sind).

Den größten Nachteil des KOSMOS- Experimentierbaukasten stellt sicherlich der Kostenfaktor dar. Aufgrund dessen stellen wir im Folgenden weitere Versuche dar, die mit einfachen/günstigen Mitteln durchzuführen sind.

3.2 Low- cost- Modell

Versuche mit einfachen Brennstoffzellen:

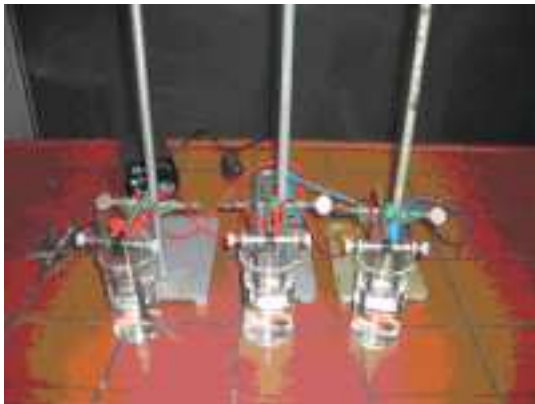


Hinweise zum Versuchsaufbau:

Für den Aufbau wählt man ein bspw. ein 250 ml- Becherglas. Weiter benötigt man zwei saubere Kohlestifte mit zugehöriger Halterung (alternativ kann man die Stäbe auch in feste Pappe stecken und die Verbindungsleitungen mittels Krokodilklemmen befestigen). Das Becherglas wird mit verdünnter Kalilauge gefüllt (z.B. 200 ml destilliertes Wasser und 1-2 Kaliumhydroxidplättchen) in welches die Stäbe ca. sechs Zentimeter eintauchen. Mit Verbindungsleitungen werden die Kohlestäbe mit einer Energiequelle verbunden. Die Becherglas- Anordnung ist- abhängig von der Verwendung- sowohl Elektrolysegerät als auch Brennstoffzelle. Durch die Elektrolyse werden in den porösen Kohlestiften Wasserstoff und Sauerstoff gespeichert. Solange diese beiden Gase vorhanden sind, kann die Anordnung als Brennstoffzelle betrieben werden. Sobald die Gase „verbraucht“, muss erneut für kurze Zeit eine Elektrolyse durchgeführt werden.

- Es wird eine Elektrolyse vorgenommen, indem man eine Stromquelle anschließt (Gleichspannung zwischen 6V und 12 V) anschließt. Nach kurzer Zeit ist an den Kohlestäben eine Gasentwicklung zu beobachten.
- Nach etwa 5 Minuten kann eine Spannung von etwa 1,6 V gemessen werden.

Anschließend werden drei einfache Brennstoffzellen in Reihe geschaltet. Wie zuvor wird eine Elektrolyse durchgeführt und danach die Gesamtspannung gemessen. Dabei wurde eine Spannung von etwa 4,5 V gemessen.



Da der Versuchsaufbau relativ einfach ist, kann dieser auch von den Schüler/innen selbst durchgeführt werden. Dabei sind genaue Arbeitsanweisungen und Hinweise zu Umgang mit den Arbeitsgeräten und Stoffen unerlässlich.

4 Literatur

Bahnemann, D.; u.a., 2005. KOSMOS Brennstoffzelle. Stuttgart: Franckh- Kosmos Verlags-GmbH & Co.

Kuhn, J., 2004. Naturwissenschaften im Unterricht Physik. Heft 79. Seelze: Velber.

Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden- Württemberg, 2004. Bildungsplan für die Realschule. Villingen- Schwenningen: Neckar- Verlag.

http://www.hydrogeit.de/wasserstoff_index.htm (letzter Abruf 07.06.2007)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzelle> (letzter Abruf 07.06.2007)