

Schulversuchspraktikum

Sebastian Gerke

Sommersemester 2012

Klassenstufen 9 & 10



---

# Die Brennstoffzelle

---

### **Auf einen Blick:**

In diesem Protokoll sind drei Lehrerversuche und zwei Schülerversuche zum Thema Brennstoffzelle enthalten. Dabei wird auf die Klassische Brennstoffzelle aus Wasserstoff und Sauerstoff sowie Alternative mit Kohlenwasserstoffen als Brennstoff eingegangen.

Das AB geht noch einmal genauer auf den Aufbau und die elektrochemischen Vorgänge in einer Brennstoffzelle ein.

## **Inhalt**

<b>1</b>	<b><u>BESCHREIBUNG DES THEMAS UND ZUGEHÖRIGE LERNZIELE</u></b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b><u>LEHRERVERSUCHE</u></b>	<b>2</b>
2.1	V 1 – DIE H <sub>2</sub> - O <sub>2</sub> – BRENNSTOFFZELLE MIT NICKELELEKTRODEN	2
2.2	V 2 – DIE H <sub>2</sub> - O <sub>2</sub> – BRENNSTOFFZELLE MIT PLATINELEKTRODEN	3
2.3	V 3 – DIE METHANOL – BRENNSTOFFZELLE	4
<b>3</b>	<b><u>SCHÜLERVERSUCHE</u></b>	<b>6</b>
3.1	V 4 – DIE GLUCOSE – BRENNSTOFFZELLE	6
3.2	V 5 – DIE ETHANOL – BRENNSTOFFZELLE	7
<b>4</b>	<b><u>REFLEXION DES ARBEITSBLATTES</u></b>	<b>10</b>
4.1	ERWARTUNGSHORIZONT (KERNCURRICULUM)	10
4.2	ERWARTUNGSHORIZONT (INHALTLICH)	10
<b>5</b>	<b><u>LITERATURVERZEICHNIS</u></b>	<b>11</b>

## 1 Beschreibung des Themas und zugehörige Lernziele

Das Thema „Brennstoffzelle“ ist in den Basiskonzepten *Stoff-Teilchen* sowie *chemische Reaktion*, *Donator-Akzeptor* und *Energie* zu finden. Es ist also nahezu in jedem Basiskonzept verankert. Brennstoffzellen haben in der heutigen Zeit eine hohe gesellschaftliche Bedeutung, da die Energieerzeugung eine große Rolle spielt. Die Erzeugung von Energie aus fossilen Energieträgern, wie Kohle, Erdgas oder Erdöl, wird zunehmend teurer, da die Reserven dieser Energieträger mehr und mehr schwinden. Die Kernenergie nimmt aktuell zwar noch einen großen Prozentsatz bei der Energieerzeugung ein, aufgrund der strahlenden Spaltungsprodukte und des in Zukunft anstehenden Uranmangels nimmt die Bedeutung jedoch immer mehr ab und Alternative Energiequellen müssen genutzt werden. Dabei kommen im Wesentlichen -Sonnen, Wind- und Wasserenergie in Betracht. Die Brennstoffzelle nutzt die Energie, die durch diese natürlichen Energiequellen gebunden wird. Dies kann je nach Brennstoffzelle Wasserstoff oder ein äquivalenter Energieträger sein. Die Chemie liefert somit ein Verfahren, um der Rohstoffknappheit fossiler Brennstoffe entgegen zu wirken und einen „Sauberen“ Energielieferanten zu haben.

In den vorgestellten Experimenten wird in 5 Versuchen auf verschiedene eingegangen. Als Treibstoffe werden dabei Ethanol, Wasserstoff, Methanol, Glucose und Hydrazin verwendet, die jeweils mit Sauerstoff reagieren.

## 2 Lehrerversuche

### 2.1 V 1 – Die H<sub>2</sub> - O<sub>2</sub> – Brennstoffzelle mit Nickelelektroden

Dieser Versuch stellt eine Möglichkeit dar, um den SuS zu zeigen, wie mittels einer chem. Reaktion aus Wasserstoff- und Sauerstoffgas Strom erzeugt werden kann.

---

### Gefahrenstoffe

<b>Kalilauge</b>	H: 314,302, 290	P: 280, 301 +330 + 331 305 + 351 +338, 309, 311
------------------	-----------------	---



Materialien: Brennstoffzelle, poröse Membran (Schaumstoff, Pappe), Palladiumbeschichtete Nickelelektroden, Voltmeter, Kabel

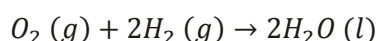
Chemikalien: O<sub>2</sub>-Druckgasflasche, H<sub>2</sub>-Druckgasflasche, 5 M Kalilauge

Durchführung: In den Nachbau einer Brennstoffzelle werden zwei mit Palladium beschichtete Nickelelektroden gestellt. In beiden Brennkammern müssen sie so platziert werden, dass die eingeleiteten Gase möglichst großen Kontakt zu den beiden Elektroden haben. Danach wird etwa 5 M Kalilauge in die

Brennkammern gefüllt, sodass die Nickelnetze bedeckt sind. An die beiden Elektroden wird ein Spannungsmesser angeschlossen. Anschließend werden die Gase in die Brennstoffzelle eingeleitet. Es sollten etwa 2 Blasen pro Sekunde ausströmen.

**Beobachtung:** Nach einiger Zeit ist eine konstante Spannung von 0,846 V ablesbar.

**Deutung:** In einer chemischen Reaktion reagiert Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser:



In jeder der Brennkammern läuft eine Teilreaktion ab, wodurch ein Spannungsgefälle entsteht und somit der Elektronenfluss ermöglicht wird.

**Entsorgung:** Die Kalilauge sollte in den Säure-Base Abfall gegeben werden.

**Literatur:** (Barke, Dehnert, & Jäckel, 1992)

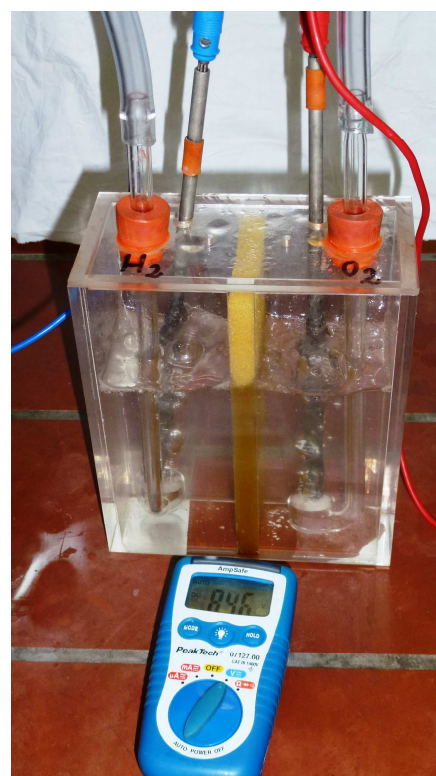


Abbildung 1: Versuchsaufbau V1

**Wichtig:** Falls ein Motor oder eine Lampe angeschlossen werden soll, muss darauf geachtet werden, dass das Gerät nur eine geringe Spannung benötigt. Am besten sollte der Versuch vorher ausprobiert werden.

Um eine annehmbare Spannung zu erhalten ist es wichtig dass die Nickelelektroden mit Palladium beschichtet werden. Dafür legt man die Elektroden für eine Nacht in eine Lösung aus Palladiumchlorid.

## 2.2 V 2 – Die H<sub>2</sub> - O<sub>2</sub> – Brennstoffzelle mit Platinelektroden

Dieser Versuch stellt eine Möglichkeit dar, um den SuS zu zeigen, wie mittels einer chem. Reaktion aus Wasserstoff- und Sauerstoffgas Strom erzeugt werden kann.

### Gefahrenstoffe

<b>Kalilauge</b>	H: 314,302, 290	P: 280, 301 +330 + 331 305 + 351+ 338, 309, 311
------------------	-----------------	---



**Materialien:** Brennstoffzelle, poröse Membran (Schaumstoff, Pappe), Platinelektroden, Voltmeter, Kabel

Chemikalien: O<sub>2</sub> Druckgasflasche, H<sub>2</sub> Druckgasflasche, 5 M Kalilauge

Durchführung: In den Nachbau einer Brennstoffzelle werden zwei Platinelektroden hineingestellt. In beiden Brennkammern müssen sie so platziert werden, dass die eingeleiteten Gase möglichst großen Kontakt zu den beiden Elektroden haben. Danach wird etwa 5 M Kalilauge in die Brennkammern gefüllt, sodass die Nickelnetze bedeckt sind. An die beiden Elektroden wird ein Spannungsmesser angeschlossen. Anschließend werden die Gase in die Brennstoffzelle eingeleitet. Es sollten etwa 2 Blasen pro Sekunde ausströmen.

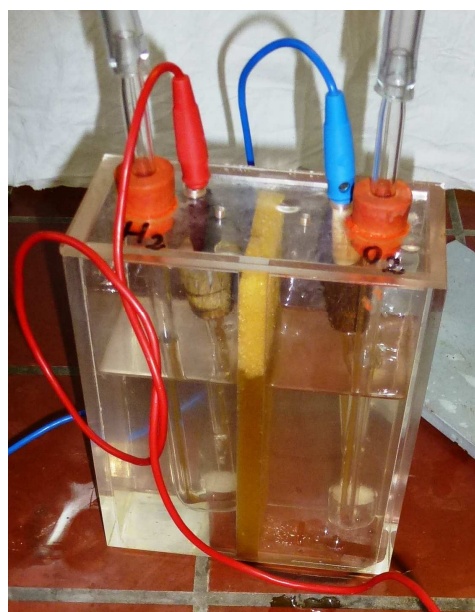
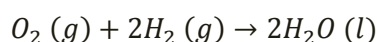


Abbildung 2: Versuchsaufbau V2

Beobachtung: Nach einiger Zeit ist eine konstante Spannung von 0,228 V ablesbar.

Deutung: In einer chemischen Reaktion reagiert Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser:



In jeder der Brennkammern läuft eine Teilreaktion ab, wodurch ein Spannungsgefälle entsteht und somit der Elektronenfluss ermöglicht wird.

Entsorgung: Die Kalilauge sollte in den Säure-Base Abfall gegeben werden.

Literatur: (<http://www.chemieunterricht.de/dc2/fc/>, 2012)

### 2.3 V 3 – Die Methanol – Brennstoffzelle

Dieser Versuch stellt eine Möglichkeit dar, um den SuS zu zeigen, wie auf direktem Wege Energie aus dem Kohlenwasserstoff Ethanol gewonnen werden kann.

#### Gefahrenstoffe

<b>Kalilauge</b>	H: 314,302, 290	P: 280, 301 +330 + 331 305 + 351+338 309, 311
<b>Wasserstoffperoxid</b>	H: 302, 318	P: 261, 280, 305 + 351+338, 311
<b>Methanol</b>	H: 225, 331, 311,	P: 210, 233, 280, 302,



301, 370

+352, 309, 310

Materialien: U-Rohr mit Diaphragma, Platinelektroden, Stativ, Kabel, Voltmeter

Chemikalien:  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 5 M Kalilauge, Methanol

Durchführung: In ein eingespanntes U-Rohr mit Diaphragma werden in einen Schenkel einige Milliliter Methanol gegeben. In den anderen Schenkel werden einige Milliliter Wasserstoffperoxid-Lösung gegeben. Anschließend werden beide Schenkel mit 5 Molarer Kalilauge aufgefüllt. Die beiden Platinelektroden werden in die Schenkel gesteckt und mit dem Voltmeter verbunden. Sie sollten beide mit Lauge bedeckt sein.

Beobachtung: Nach einiger Zeit ist eine konstante Spannung von 46,5 mV ablesbar.

In dem Schenkel mit  $\text{H}_2\text{O}_2$  ist eine Gasbildung zu beobachten.

Deutung: In einer chemischen Reaktion reagiert Methanol mit Sauerstoff. Dabei wird Energie frei.

Entsorgung: Kalilauge und  $\text{H}_2\text{O}_2$  sollte in den Säure Base Abfall gegeben werden.

Literatur: (<http://www.chemieunterricht.de/dc2/fc/>, 2012)



Abbildung 3: Aufbau V3

**Wichtig:** Als Vorbereitung muss das U-Rohr mit Königswasser gereinigt werden. Weiterhin würde die Reaktion auch mit Luftsauerstoff ablaufen. Das  $\text{H}_2\text{O}_2$  ist hier der Sauerstoffspender. Es müssen ausreichend Platinelektroden zur Verfügung stehen.

Als Treibstoff kann auch Hydrazin verwendet werden. Allerdings ist Hydrazin toxisch und kanzerogen.

### 3 Schülerversuche

#### 3.1 V 4 – Die Glucose – Brennstoffzelle

Dieser Versuch stellt eine Möglichkeit dar, um den SuS zu zeigen, wie auf direktem Wege Energie aus dem Kohlenwasserstoff Glucose gewonnen werden kann.

#### Gefahrenstoffe

<b>Kalilauge</b>	H: 314,302, 290	P: 280, 301 +330 + 331 305 + 351+338 309, 311
<b>Wasserstoffperoxid</b>	H: 302, 318	P: 261, 280, 305 + 351+338, 311



Materialien: U-Rohr mit Diaphragma, Platinelektroden, Stativ, Kabel, Voltmeter

Chemikalien:  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 1 M Kalilauge, Glucose, Wasser

Durchführung: In ein eingespanntes U-Rohr mit Diaphragma werden in einen Schenkel einige Milliliter einer Glucose-Lösung gegeben. In den anderen Schenkel werden einige Milliliter Wasserstoffperoxid-Lösung gegeben. Anschließend werden beide Schenkel mit 1 Molarer Kalilauge aufgefüllt. Die beiden Platinelektroden werden in die Schenkel gesteckt und mit dem Voltmeter verbunden. Sie sollten beide mit Lauge bedeckt sein.

Beobachtung: Nach einiger Zeit ist eine konstante Spannung von 1,7 mV ablesbar.

In dem Schenkel  $\text{H}_2\text{O}_2$  ist eine Gasbildung zu beobachten.

Deutung: In einer chemischen Reaktion reagiert die Glucose mit Sauerstoff. Dabei wird Energie frei.

Entsorgung: Kalilauge und  $\text{H}_2\text{O}_2$  sollte in den Säure-Base-Abfall gegeben werden.

Literatur: ([http://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/04\\_01.htm](http://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/04_01.htm), 2012)



Abbildung 4: Aufbau V4

**Wichtig:** Als Vorbereitung muss das U-Rohr mit Königswasser gereinigt werden. Um den Versuch als SV zu verwenden wurde hier 1 M Kalilauge verwendet. Verwendet man 5M Kalilauge, so ist eine größere Spannung ablesbar. Jedoch ist der Versuch dann nicht mehr als SV geeignet. Weiterhin würde die Reaktion auch mit Luftsauerstoff ablaufen.  $H_2O_2$  ist hier der Sauerstoffspender. Es müssen ausreichend Platinelektroden zur Verfügung stehen.

### 3.2 V 5 – Die Ethanol – Brennstoffzelle

Dieser Versuch stellt eine Möglichkeit dar, um den SuS zu zeigen, wie auf direktem Wege Energie aus dem Kohlenwasserstoff Ethanol gewonnen werden kann.

#### Gefahrenstoffe

<b>Kalilauge</b>	H: 314,302, 290	P: 280, 301 +330 + 331 305 + 351+338 309, 311
<b>Wasserstoffperoxid</b>	H: 302, 318	P: 261, 280, 305 + 351+338, 311
<b>Ethanol</b>	H: 225	P: 210



**Materialien:** U-Rohr mit Diaphragma, Platinelektroden, Stativ, Kabel, Voltmeter

**Chemikalien:**  $H_2O_2$ , 1 M Kalilauge, Ethanol, Wasser

**Durchführung:** In ein eingespanntes U-Rohr mit Diaphragma werden in einen Schenkel einige Milliliter Ethanol gegeben. In den anderen Schenkel werden einige Milliliter Wasserstoffperoxid-Lösung gegeben. Anschließend werden beide Schenkel mit 1 Molarer Kalilauge aufgefüllt. Die beiden Platinelektroden werden in die Schenkel gesteckt und mit dem Voltmeter verbunden. Sie sollten beide mit Lauge bedeckt sein.

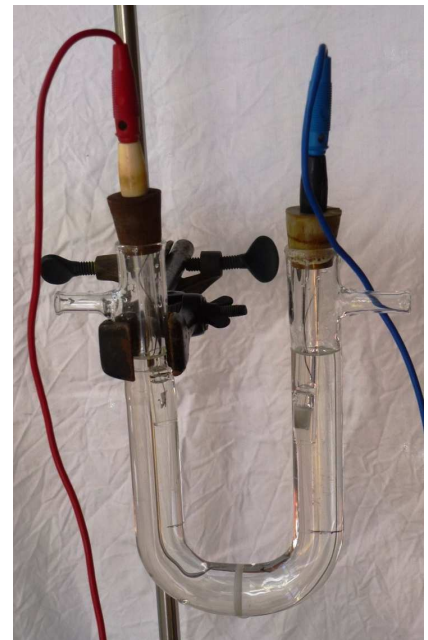


Abbildung 5: Aufbau V5

**Beobachtung:** Nach einiger Zeit ist eine konstante Spannung von 1,4 mV ablesbar. In dem Schenkel  $H_2O_2$  ist eine Gasbildung zu beobachten.

**Deutung:** In einer chemischen Reaktion reagiert die Ethanol mit Sauerstoff. Dabei wird Energie frei.



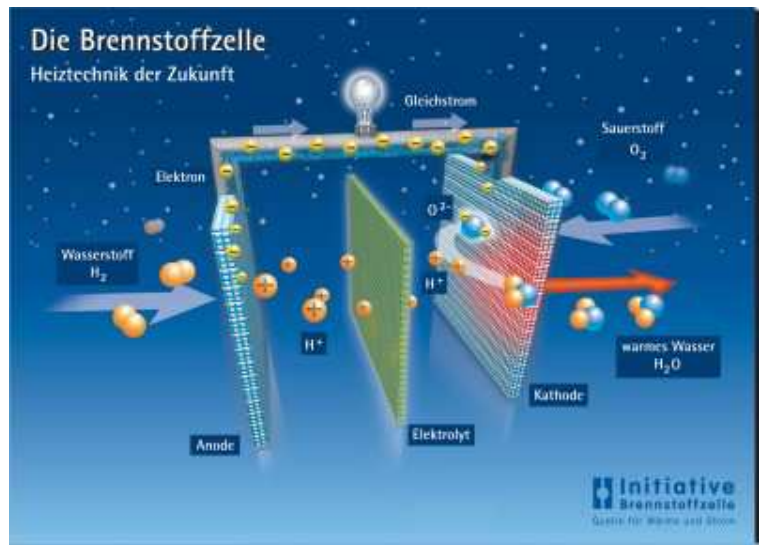
Entsorgung: Kalilauge und  $\text{H}_2\text{O}_2$  sollte in den Säure Base Abfall gegeben werden.

Literatur: (<http://www.seilnacht.com/Lexikon/bzellen.html>, 2012)

**Wichtig:** Als Vorbereitung muss das U-Rohr mit Königswasser gereinigt werden. Um den Versuch als SV zu verwenden wurde hier 1 M Kalilauge verwendet. Verwendet man 5M Kalilauge, so ist eine größere Spannung ablesbar. Jedoch ist der Versuch dann nicht mehr als SV geeignet. Weiterhin würde die Reaktion auch mit Luftsauerstoff ablaufen.  $\text{H}_2\text{O}_2$  ist hier der Sauerstoffspender. Es müssen ausreichend Platinelektroden zur Verfügung stehen.

## Die Brennstoffzelle

Es ist allgemein bekannt, dass Wasserstoff und Sauerstoff in einer sehr heftigen Reaktion miteinander reagieren. Um diese Energie nutzbar zu machen, ist eine Brennstoffzelle erforderlich. Hier wird auf elektrochemischem Wege Energie gewonnen. Chemisch gesehen ist die Brennstoffzelle nichts anderes als ein galvanisches Element. Sie hat allerdings den Vorteil, dass sie einen sehr hohen Wirkungsgrad im Vergleich zu anderen galvanischen Elementen hat. Weiterhin ist das Verbrennungsprodukt sehr umweltfreundlich, da ausschließlich Wasser entsteht.



<http://www.bhkw-prinz.de/wp-content/uploads/2010/01/brennstoffzelle.jpg>  
(Abrufdatum 10.10.12)

### Aufgaben:

1. Beschreibt mit Hilfe der Abbildung den Aufbau einer Brennstoffzelle. Welche sind die wichtigsten Bauteile?
2. In der Gesamtreaktion reagiert Sauerstoff mit Wasserstoff zu Wasser. Nennt die Einzelreaktionen an der Kathode und Anode.
3. Wie jede chemische Reaktion ist auch die der Brennstoffzelle umkehrbar. Ermittelt die Teilreaktionen an der Kathode und Anode, wenn eine Gleichspannung angelegt wird.
4. Obwohl in der Theorie die Brennstoffzelle schon seit etwa 100 Jahren bekannt ist, ist die Umsetzung immer noch nicht zufriedenstellend, da sie kaum Einsatz findet. Erläutert, welche Gründe den Einsatz erschweren.

## 4 Reflexion des Arbeitsblattes

Dieses Arbeitsblatt kann in Verbindung mit V1 angewendet werden. Es gibt den SuS die Möglichkeit, den Aufbau der Brennstoffzelle zu verstehen und auf die wichtigsten Bauteile einzugehen. Aufgabe 2 und 3 geht auf die Vorgänge an den Elektroden ein. Sowohl ein galvanisches Element als auch die Elektrolysezelle sollten den SuS schon bekannt sein. Die Brennstoffzelle ist nur eine weitere Anwendung zu diesem Themenkomplex. Die 4. Aufgabe soll es den SuS ermöglichen ein tiefergehendes Verständnis dafür zu entwickeln warum die Brennstoffzelle immer noch wenige großtechnische Anwendung findet.

### 4.1 Erwartungshorizont (Kerncurriculum)

- Fachwissen:  
Die SuS erkenne die verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten von Stoffen, systematisieren chem. Reaktionen auf Teilchenebene und Vorgänge über Energieträger und Rohstoffe der chem. Industrie.
- Erkenntnisgewinnung:  
Die SuS sollten Prozessen der Energieübertragung mit der Hilfe des Teilchenmodells deuten.
- Kommunikation:  
Vorstellung der Ergebnisse sowie Protokollierung der Experimente in angemessener Form.
- Bewertung:  
Die SuS erkennen die Chemie als bedeutsame Wissenschaft da sie im Weitesten Sinne Alternativen zur Kernenergie aufwirft und stellen den Fächerübergreifenden Bezug her (Biologie, Physik, Politik, Geologie)

### 4.2 Erwartungshorizont (Inhaltlich)

1. Die wichtigen Bauteile sind die Elektrolytmembran, damit die Reaktion in getrennten Kammern ablaufen kann. Die eigentliche Reaktion findet an den Elektroden statt, die das zweite wichtige Bauteil sind. Eventuell kann hier auch auf das Spezielle Material der Elektroden eingegangen werden (Pd-Ni oder Pt).
2. Es soll erkannt werden, wo bei einem galvanischen Element Kathode und Anode vorliegen. Die Oxidation findet dabei immer an der Anode statt.
3. Analog zu Aufgabe 2 sind die gleichen Reaktionen für die Elektrolysezelle aufzustellen.
4. In dieser Aufgabe soll auf die Probleme der Brennstoffzelle eingegangen werden. Punkte wie die komplizierte Herstellung von Wasserstoff, die Lagerung oder die Verwendung von speziellen Elektrodenmaterialien sind hier wichtig.

## 5 Literaturverzeichnis

Barke, H. D., Dehnert, K., & Jäckel, M. (1992). *Chemie heute - Sekundarbereich I Ausgabe A*. Hannover: Schroedel.

<http://www.chemieunterricht.de/dc2/fc/>. (15. Oktober 2012). Brennstoffzellen.

[http://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/04\\_01.htm](http://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/04_01.htm). (15. Oktober 2012). Betrieb von Brennstoffzellen mit Glucose und Wasserstoffperoxid.

<http://www.seilnacht.com/Lexikon/bzellen.html>. (15. Oktober 2012). Brennstoffzellen als Energiewandler.

Schmidkunz, H. (2011). *Chemische Freihandversuche Band 1*. Hallbergmoos: Aulis-Verlag.

<http://www.bhkw-prinz.de/wp-content/uploads/2010/01/brennstoffzelle.jpg> (Abrufdatum 10.10.12)