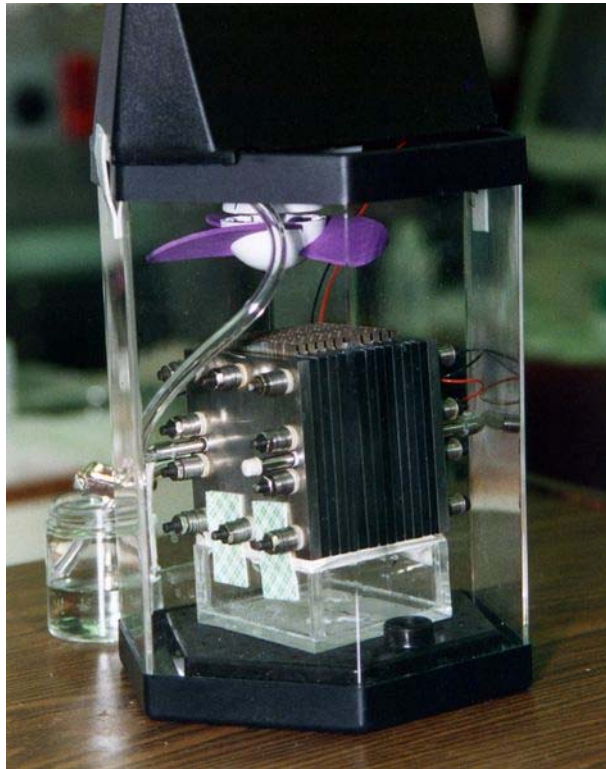


## Die Brennstoffzelle



## 1. Geschichte

Im Jahr 1838 fand der Professor Christian Friedrich Schönbein (1799 bis 1868) von der Universität Basel experimentell heraus, dass Elektrizität freigesetzt werden kann, wenn Wasserstoff mit Sauerstoff (oder Chlor) reagiert.

Der walisische Richter Sir William R. Grove deutet dieses Phänomen als die Umkehrung der Elektrolyse und erkannte, dass auf diese Weise elektrische Energie erzeugt werden kann.

Er schaltete mehrere einzelne Elemente in Reihe und nannte seine Vorrichtung 'Gasbatterie' (1839). Damals wurde kaum Notiz von seiner Arbeit genommen, aber jetzt im nachhinein gilt er als der Erfinder der Brennstoffzelle.

Erste Forschungsarbeiten gab es um 1945 von Francis Bacon, der sein Modell einer alkalischen Brennstoffzelle in einer Badewanne entwarf. Intensiviert wurden die Entwicklungsarbeiten jedoch erst in den neunziger Jahren.



WILLIAM ROBERT GROVE.

## 2. Anwendungsgebiete

a) in Kleleinheiten zur Strom- und Wärmeversorgung von Haushalten

b) als Kraftwerke (stationäre Energie-Versorger) für Wohnanlagen und öffentliche Gebäude (z.B. Rhön-Klinikum in Bad Neustadt)

c) Brennstoffzellen als Fahrzeug-Antrieb (z.B. ncar 5 von Daimler Chrysler)



d) Akku-Ersatz in Handys, Handyladestationen, Laptops u. anderen tragbaren Elektrogeräten



- e) in der Raumfahrt, wo das gebildete Wasser als Trinkwasser für Astronauten genutzt wird
- f) beim Militär, z.B. bei der Marine in U-Booten zur Energiegewinnung.
- g) Herzschrittmacher (noch Forschungsarbeit)

### 3. Funktionsweise

Die Frage: 'Was passiert in einer Brennstoffzelle?' kann ganz knapp beantwortet werden: Die Elektrolyse wird umgekehrt.

Bei der Elektrolyse handelt es sich um die Auftrennung (Spaltung) von Wasser mit Hilfe von elektrischem Strom in Wasserstoff und Sauerstoff. Wird dieser Vorgang umgekehrt, entstehen demnach bei der Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff elektrischer Strom und Wasser.

Vergleichbar mit der Knallgas-Reaktion : ebenfalls Wasserstoff und Sauerstoff als Ausgangsprodukte beteiligt, aber in einem ganz bestimmten Verhältnis (1:2), damit es zu einer derart lauten Reaktion kommt. Ist eine Variable nicht richtig eingestellt passiert gar nichts. Demzufolge kann es in einer Brennstoffzelle zu keiner Knallgas-Reaktion kommen. Man spricht bei diesem Vorgang vielmehr von der 'kalten Verbrennung'.

Aufbau: Das Herz einer PEM- Brennstoffzelle besteht aus zwei Elektroden, der Anode (Pluspol) und der Kathode (Minuspol), die durch eine Ionen- durchlässige Polymer-Membran getrennt sind. Dieser Elektrolyt ist ca. 0,1 mm dick und ähnelt einer Folie für Overhead-Projektoren.

Membran :- gasdicht, damit Wasserstoff und Sauerstoff nicht direkt miteinander reagieren  
- elektrisch isolierend, damit Elektronen nicht passieren können  
-Protonen- durchlässig, Wasserstoff-Ionen dürfen passieren

Elektrolyt-Material : Niedertemperatur-Bereich: einige wenige Säuren oder Basen  
Hochtemperatur-Bereich: Oxid-Keramiken und Karbonate.

Elektroden: hohe Porosität, damit eine große Oberfläche für die elektrochemischen Umsetzungen zur Verfügung steht (mit einer dünnen, katalytisch wirkenden Edelmetall-Schicht überzogen)

Katalysatoren-Materialien: Platin oder Platin-Legierungen verwendet, da die Membran stark sauren Charakter aufweist (vergleichbar mit Schwefelsäure) und niederwertige Metalle angreifen würde.

Katalysatoren können chemische Reaktionen ermöglichen bzw. beschleunigen, nehmen selber aber nicht an der Reaktion teil. Sie werden folglich nicht verbraucht oder abgenutzt.

Kraftstoff wird durch Graphitplatten (Bipolar- Platten) zugeführt, in die feine Gänge gefräst sind. Durch diese Gänge wird auf der einen Seite Wasserstoff und auf einer anderen Seite Luft bzw. Sauerstoff zugeführt. Auf der Anoden-Seite muss die Membran befeuchtet und auf der Kathoden-Seite muss das Reaktionsprodukt Wasser entfernt werden. Gleichzeitig muss die Wärme aus dem Stapel abgeführt und soweit möglich nutzbar gemacht werden.

Der an der Anode zugeführte Wasserstoff teilt sich mit Hilfe des Katalysators in Elektronen (negative Ladungsträger) und Protonen (positive Wasserstoff-Ionen). Die freien Elektronen werden als elektrischer Strom durch die Elektrode in den äußeren Strom-Kreislauf geleitet. Die Protonen diffundieren durch die Elektrolyt-Membran zur Kathode.

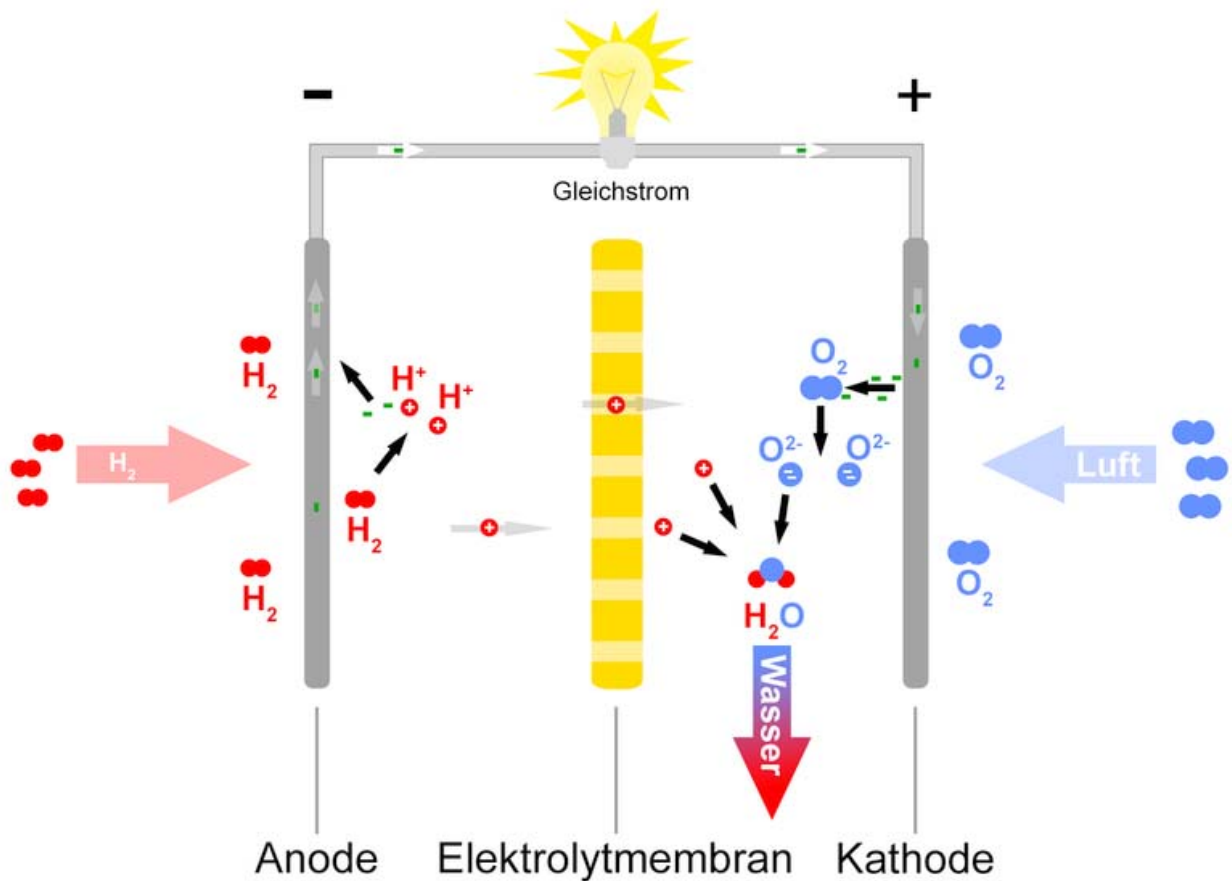
Obwohl die Protonen größer sind als die Elektronen, gelangen keine Elektronen durch diese Membran. Dies kommt durch den Säuregrad des Elektrolyten. Es hat damit chemische Gründe und ist unabhängig von den Größen-Verhältnissen.

Die negativ geladenen Elektrolyt-Ionen leiten das Proton weiter, wobei die Ionen selber ortsfest bleiben. Die negativen Elektronen hingegen werden abgestoßen und müssen den langen Weg außen herum nehmen. Auf der anderen Seite an der Kathode rekombinieren die Sauerstoff-Ionen aus der Luft, die Elektronen aus dem Strom-Kreislauf sowie die H<sub>2</sub>-Protonen und erzeugen unter Wärme-Entwicklung Wasser.

Zwischen Kathode und Anode besteht somit eine Spannungsdifferenz (Potential-Unterschied). Schaltet man einen Verbraucher (z. B. einen Elektromotor) in den äußeren Stromkreis zwischen die beide Elektroden, wird dieser angetrieben. Die erzeugte Reaktionswärme wird u. a. für die Beheizung der Brennstoffzelle oder weiterer Nebenaggregate genutzt.

Einer PEM- Brennstoffzelle kann direkt Wasserstoff als Kraftstoff zugeführt werden. Werden andere Kraftstoffe wie etwa Erdgas, Kohlegas, Klärgas, Biogas oder Methanol gewählt, muss ein Reformier mit Entschwefelungseinrichtung vorgeschaltet werden, wodurch der Gesamt-Wirkungsgrad jedoch sinkt.

Die Endprodukte der elektrochemischen Vorgänge in einer Brennstoffzelle sind Gleichstrom sowie Wasser bzw. Wasserdampf. Jede einzelne Brennstoffzelle erzeugt je nach Bauart unter Last ca. 0,7 V, die maximale Spannung liegt etwa bei 1,2 V (entspricht einer Leistung von ca. 100 W). Erst viele in Reihe geschaltete Zellen, die gemeinsam als 'Stacks' bezeichnet werden, liefern eine ausreichend hohe Leistung für den Betrieb. Ein Stack kann bis zu 200 dicht aneinander liegende Brennstoffzellen enthalten.

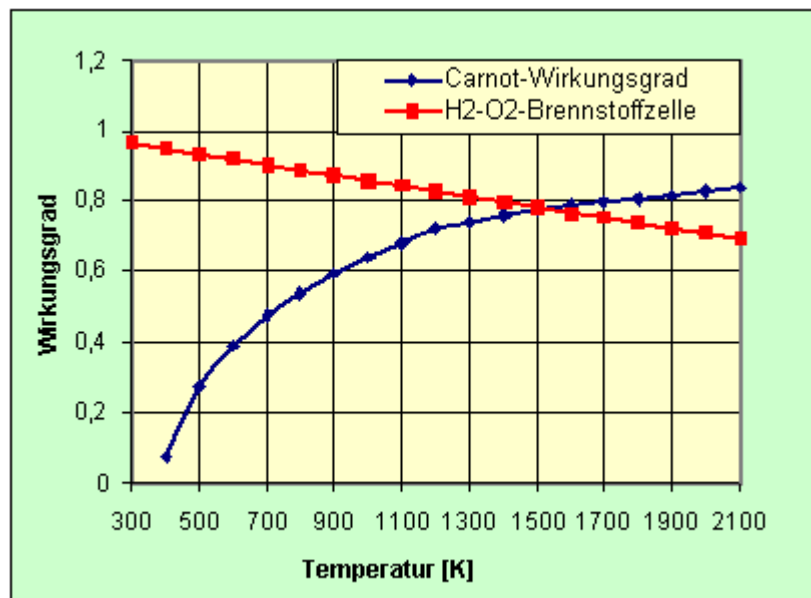


#### 4. Effizienz

Der maximale elektrische Wirkungsgrad wird je nach BSZ- Typ im Bereich zwischen 30 und 50 % der Vollast erreicht. Ist die Belastung der Brennstoffzelle jedoch zu gering, nimmt der Wirkungsgrad etwas ab, weil die Verluste der Nebenaggregate im Verhältnis ansteigen. Bei höherer Last sinkt die Effizienz nur unwesentlich ab.

Keine kann jemals den nur theoretisch möglichen Carnot'schen Wirkungsgrad erreichen, der als idealer Grenzfall angesehen wird. Aufgrund der physikalischen und thermodynamischen Grenzen erreichen die meisten kleinen und mittleren Stromerzeuger deshalb lediglich Wirkungsgrade von 25 bis 30 %.

Brennstoffzellen: Je nach Betriebstemperatur können theoretische Wirkungsgrade von 70 bis 80 % erzielt werden.



## 5. Vor- und Nachteile

### Pro

- + extrem schadstoffarm und dadurch umweltschonend
- + keine bewegten Teile
- + vibrationsfrei
- + wartungsarm
- + geräuscharm, nur Gebläse/Kompressor
- + hoher Wirkungsgrad
- + modularer Aufbau
- + kein Getriebe
- + kontinuierliche Leistungsabgabe
- + großes Entwicklungspotential

### Kontra

- nicht ausgereifte Technik
- hohe Material- und Fertigungskosten
- hohe Wirkungsgradverluste, wenn vorgeschaltete Reformer verwendet werden
- hohe Empfindlichkeit gegenüber Unreinheiten im Kraftstoff
- hoher Regelungsaufwand
- hohe Herstellungskosten für den Kraftstoff Wasserstoff
- fehlende Infrastruktur für Kraftstoffe

## 6. Andere Arten

### Niedertemperatur-Brennstoffzellen (Arbeitstemperatur 80 – 220 °C) -Heizzwecke

**AFC** Alkaline Fuel Cell, Alkalische Brennstoffzelle (Die AFC arbeiten mit reinem Wasserstoff und haben einen hohen Entwicklungsstand erreicht. Sie haben aber nur geringe Bedeutung für dezentrale Energieerzeugung.)

**PEFC** Polymer Electrolyte Fuel Cell, Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle (Die PEFC arbeitet mit Erdgas oder Methanol. Vielversprechend für die dezentrale Energieversorgung, wobei Anlagen bis zu 250 kWel für gewerbliche Anwendungen und Mini-Anlagen bis zu 5 kWel für Ein- bzw. Mehrfamilienhäuser forciert werden.)

**PAFC** Phosphoric Acid Fuel Cell, phosphorsaure Brennstoffzelle (Die PAFC ist die am weitesten entwickelte Brennstoffzelle für stationäre Anlagen im Bereich zwischen wenigen kW und mehreren MW. Nachteil dieses Typs ist, dass längere Stillstandszeiten zu einer Schädigung führen. In Europa ist mit einer breiten Marktdurchdringung nicht zu rechnen.)

**DMFC** Direct Methanol Fuel Cell, Direktmethanol-Brennstoffzelle (DMFC sind derzeit kommerziell als KWK-Anlage nicht verfügbar.)

### Hochtemperatur-Brennstoffzellen (Arbeitstemperatur 600 – 1000 °C) -Industrie u. Gewerbe

**MCFC** Molten Carbonate Fuel Cell, Karbonatschmelze-Brennstoffzelle (Die MCFC hat eine hohe Arbeitstemperatur und kann damit viele Brenngase, wie Erdgas oder Biogas intern reformieren. Vielversprechende Technik für größere Leistungen und für BHKW-Einsatz.)

**SOFC** Solide Oxid Fuel Cell, oxidkeramische Brennstoffzelle (Die SOFC arbeitet bei 1000 °C, und bietet einige Vorteile trotz der hohen Materialanforderungen. Einsatz ist möglich in Brennstoffzellenheizgeräten (kleine Leistungen) als auch in BHKWs bis zu 1 MW. Untersucht werden auch Kombinationen mit Gasturbinen.)

## 8. Wasserstoff als Energieträger der Zukunft

Die Hauptaussage über Wasserstoff ist, dass Wasserstoff kein Energielieferant sondern nur ein Energiespeicher ist. Da das die meisten Menschen aber nicht wissen, wird Wasserstoff oft falsch gesehen. Wasserstoff lässt sich aus fossilen Quellen, aus Biomasse oder aus Wasser gewinnen.

Fossile Quellen:

Gängige Verfahren sind dabei:

die Dampfreformierung,

die Partielle Oxidation mit und ohne Katalysator

die autotherme Reformierung  
das Kvaerner Verfahren.

Der Einsatz von fossilen Energieträgern zur Herstellung von Wasserstoff verursacht den Ausstoß von CO<sub>2</sub> und zehrt an unserem Ressourcenvorkommen. Dies kann daher nur als eine vorübergehende Brückenlösung betrachtet werden.

Um eine von fossilen Brennstoffen unabhängige und umweltfreundliche Erzeugung von Wasserstoff zu erreichen wurden in den letzten Jahren verstärkt Anstrengungen unternommen Wasserstoff aus natürlichen Rohstoffen zu gewinnen. Gängige Verfahren sind dabei die:

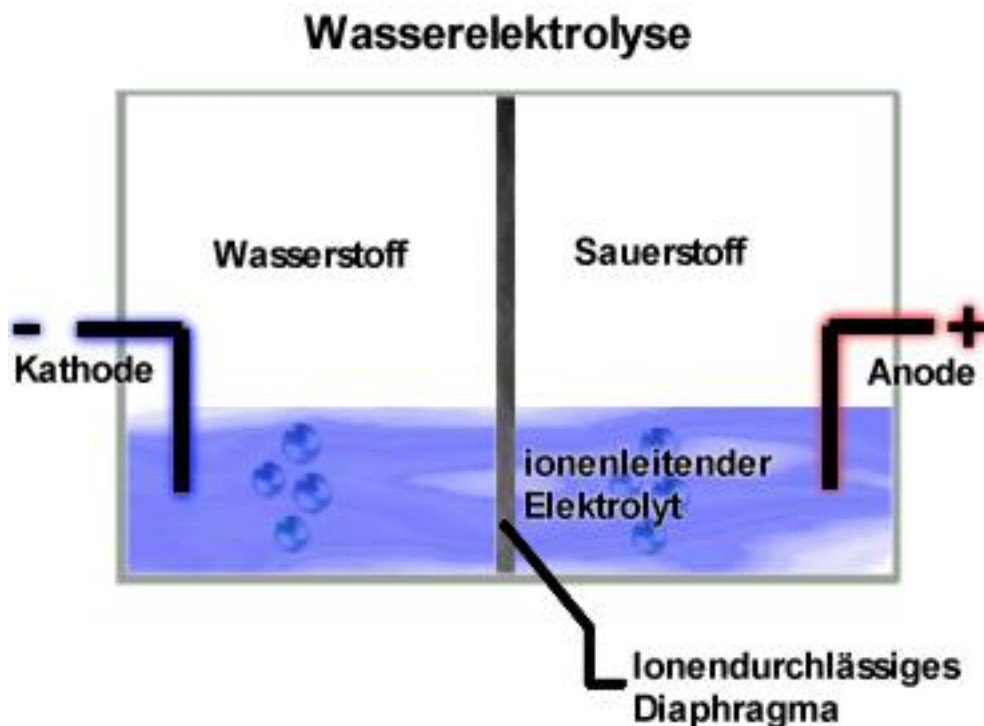
Herstellung aus Biomasse  
Herstellung aus Grünalgen.

## Biomasse

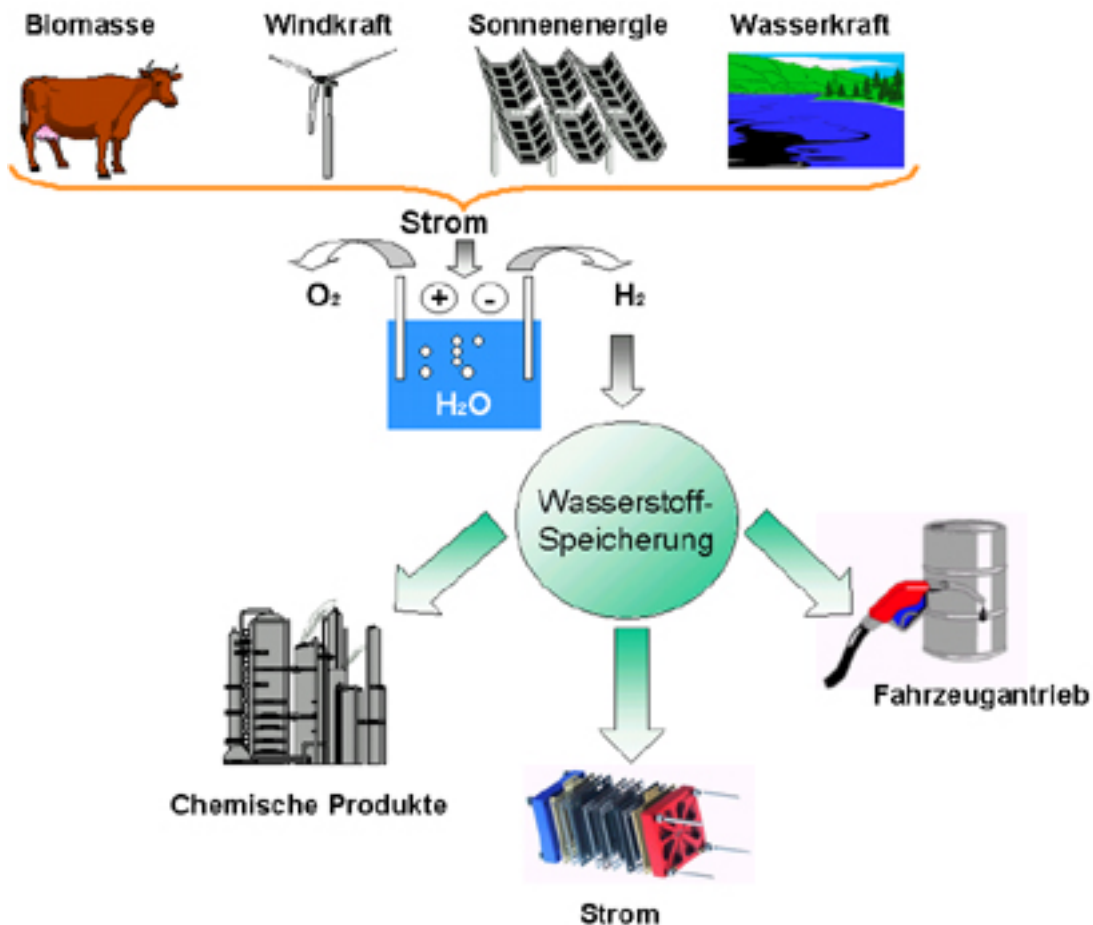
Aus Biomasse mit hohem Feuchtigkeitsanteil, z.B. Biomüll aus Haushalten, kann durch anaerobe Methangärung Biogas hergestellt werden, dass zu 60-70% Methan enthält. Dieses kann durch Dampfreformierung in Wasserstoff umgewandelt oder in einer Direktmethanol - Brennstoffzelle direkt als Brenngas verwendet werden kann, was hohe Stromerzeugungswirkungsgrade zur Folge hat.

## Grünalgen

Grünalgen sind in der Lage Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff aufzuspalten. Sie verwenden hierzu das Enzym Hydrogenase und Energie, die durch Photosynthese gewonnenen wird. Forschern am Botanischen Institut der Universität von Bonn ist es gelungen das, für das Hydrogenase-Enzym verantwortliche, Gen zu isolieren und so zu verändern, dass es in der Lage ist zwei- bis dreimal so viel Wasserstoff zu produzieren wie seine natürlichen Verwandten.



Die umweltfreundlichste Art der Wasserstoffgewinnung ist die elektrolytische Zersetzung von Wasser, wobei der dazu erforderliche Strom aus erneuerbaren Energiequellen kommt. Die Gewinnung und der Verbrauch des, auf diese Art gewonnenen, Wasserstoffes wird auch als solare Wasserstoffwirtschaft bezeichnet.



### Ausblick/Entwicklungsstand

Derzeit befinden sich die Brennstoffzellen noch im Pilotstadium. Der entscheidende Grund, warum sich diese Technologie noch nicht durchgesetzt hat, liegt in den hohen Investitionskosten.

### Literatur:

<http://www.old.uni-bayreuth.de/departments/ddchemie/umat/brennstoffzelle/brennstoffzelle.htm#7>, 22.01.2008

<http://www.diebrennstoffzelle.de>, 22.01.2008

<http://www.mariengymnasium-jever.de/alternative-energien/brenn10b/wasserst.html>, 07.01.2008

<http://www.initiative-brennstoffzelle.de>, 07.01.2008

[http://energytech.at/\(de\)/kwk/portrait\\_kapitel-2\\_6.html](http://energytech.at/(de)/kwk/portrait_kapitel-2_6.html), 03.02.2008

<http://www.wbzu.de/infopool.php?subMenu=wasserstoffdetail>, 03.02.2008

<http://www.wikipedia.de>

### Bilder:

[http://www.sil.si.edu/digitalcollections/hst/scientific-identity/CF/display\\_results.cfm?alpha\\_sort=g](http://www.sil.si.edu/digitalcollections/hst/scientific-identity/CF/display_results.cfm?alpha_sort=g)

[http://www.diebrennstoffzelle.de/h2projekte/stationaer/bhkw\\_und\\_brennstoffzellen.shtml](http://www.diebrennstoffzelle.de/h2projekte/stationaer/bhkw_und_brennstoffzellen.shtml)

<http://www.mariengymnasium-jever.de/alternative-energien/brenn10b/wgewinn.html>

<http://lehrerfortbildung-bw.de/unterricht/lernpfade/brennstoffzellen/>

<http://emsolar.ee.tu-berlin.de/~ilse/Brennstoffzelle/Wirkungsgrad.htm>

<http://www.wbzu.de/infopool.php?subMenu=wswirtschaft>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzelle>