

# **Wasserstoffautos**

## **Funktionsweise, Kritik und Gründe**

Leon Bentrup

20. Januar 2014

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Wasserstoff</b>	<b>4</b>
2.1	Eigenschaften . . . . .	4
2.2	Lagerung . . . . .	4
2.3	Vor- und Nachteile . . . . .	4
2.4	Herstellung . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Wasserstoffverbrennungsmotor</b>	<b>6</b>
3.1	Funktion . . . . .	6
3.2	Vor- und Nachteile . . . . .	6
3.3	Beispiel: BMW Hydrogen 7 . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Brennstoffzellenfahrzeug</b>	<b>8</b>
4.1	Funktion . . . . .	8
4.1.1	Brennstoffzelle . . . . .	8
4.1.2	Zwischenspeicher . . . . .	9
4.1.3	Elektromotor . . . . .	9
4.2	Beispiel: Honda FCX Clarity . . . . .	10
<b>5</b>	<b>Fazit</b>	<b>11</b>

# 1 Vorwort

Das Gebiet der Wasserstoffantriebe ist ein sehr aktuelles und wichtiges Thema, welches mit zunehmender Erdölverknappung und bevorstehendem Klimawandel immer mehr an Bedeutung gewinnt. Eine Vielzahl an Forschungsgruppen arbeiten daran, einen leistungsfähigen, effizienten und alltagstauglichen Wasserstoffantrieb für die Verwendung in Automobilen zu entwickeln, der die bisherigen Benzin- und Dieselmotoren ersetzen kann.

In meiner GFS will ich die Vor- und Nachteilen von Wasserstoff als Kraftstoff in Autos untersuchen, die Antriebstechniken Wasserstoffverbrennungsmotor und Brennstoffzellenantrieb miteinander vergleichen und deren Wirkungsweise erläutern.

# 2 Wasserstoff

## 2.1 Eigenschaften

Wasserstoff ist das leichteste Element im Periodensystem. Es kommt in der Natur als Gas in der Molekülform  $H_2$  vor. Wasserstoff hat eine geringe Dichte von  $\rho_{Wasserstoff} = 8,99 * 10^{-2} \frac{kg}{m^3}$ .

## 2.2 Lagerung

Der Wasserstoff wird in speziellen Tanks bei 350-800 bar gelagert. Der hohe Druck ist notwendig, da Wasserstoff normalerweise eine sehr geringe Dichte hat. Würde man den Wasserstoff bei niedrigerem Druck lagern, wären die Reichweiten entsprechend geringer.

Eine Alternative zur Lagerung bei hohem Druck ist die Lagerung als flüssiger Wasserstoff. Dies ist aber sehr schwierig, da der Wasserstoff ständig gekühlt werden muss. Wenn diese Kühlung ausfällt und der Wasserstoff gasförmig wird, muss er mit einem Überdruckventil abgelassen werden, da sonst die Gefahr besteht, dass der Tank wegen des hohen Drucks explodiert.

## 2.3 Vor- und Nachteile

Wasserstoff wird aus verschiedenen Gründen als Energieträger eingesetzt: Er ist weder giftig, noch gefährdet er die Umwelt. Außerdem entsteht bei der Oxidation nur Wasser und kein klimaschädliches Kohlenstoffdioxid. Wasserstoff kann mit Hilfe vieler Verfahren nahezu unbegrenzt hergestellt werden. Im Gegensatz zu fossilen Energieträgern wird er uns auch noch in ferner Zukunft zur Verfügung stehen. Vor allem für die Verwendung in Autos ist aber wichtig, dass man Wasserstoff wesentlich schneller und unkomplizierter tanken kann als z.B. das Aufladen eines Elektroautos. Entgegen einigen Erwartungen haben sich Wasserstofffahrzeuge in Experimenten als sicherer herausgestellt als normale Benzinfahrzeuge: Wird ein Wasserstofftank (künstlich) entzündet, hört er nach ca. 2 Minuten wieder auf zu brennen, ohne größeren Schaden zu hinterlassen. Bei einem vergleichbaren Benzinfahrzeug schlägt das Feuer sogar auf den Innenraum um. [3]

Wasserstoff hat allerdings auch einige Probleme. So befinden sich in Deutschland nur etwa. 10 Tankstellen, an denen die Betankung eines Wasserstoffautos möglich ist. [2]

Des Weiteren gibt es einige Probleme mit der Lagerung (siehe: 2.4 Lagerung). Auch ist zu bedenken, dass Wasserstoff immer nur so umweltfreundlich sein kann, wie die Energie, die man zur Herstellung verwendet.

## 2.4 Herstellung

Wasserstoff kann auf verschiedene Arten hergestellt werden. Zum Beispiel durch die Elektrolyse von Wasser: Dabei werden zwei Elektroden in Wasser getaucht, und eine Spannung an diese angelegt. Dadurch entsteht an der Elektrode mit negativer Ladung Wasserstoff und an der positiven Sauerstoff. Der Wirkungsgrad einer normalen Elektrolyse liegt bei etwa 75%. [1] Durch die Zugabe von Säuren oder Basen zum Wasser und Einhalten einer bestimmten Temperatur (diese variiert stark je nach Anlage) kann der Wirkungsgrad auf bis zu 80% steigen. Die Elektrolyse von Wasser kann man sowohl im kleinen Maßstab, als auch in großen Industrieanlagen durchführen. [5]

Bei einem weiteren Verfahren, der Partielle Oxidation, nutzt man Kohlenwasserstoffe, um Wasserstoff herzustellen: Die Kohlenwasserstoffe, z.B. Heizöl oder Erdgas, werden unter geringer Luftzufuhr verbrannt. Wegen der geringen Luftzufuhr verbrennt der Kohlenwasserstoff allerdings nur teilweise. Dabei entsteht ein Wasserstoffhaltiges Gasgemisch. Bevor es in einer Brennstoffzelle verwendet werden kann, muss es noch gefiltert werden. Dieses Verfahren, wie die meisten anderen, nutzt als Grundlage Kohlenwasserstoffe, also fossile Energieträger. Außerdem entsteht bei der Verbrennung Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid. Aus Umweltaspekten ist daher die Elektrolyse vorzuziehen. [4] [6]

# 3 Wasserstoffverbrennungsmotor

Ein Wasserstoffverbrennungsmotor funktioniert im Allgemeinen wie ein normaler Verbrennungsmotor. Statt konventioneller Kraftstoffe kommt hier aber Wasserstoff zum Einsatz. In einigen Pilotprojekten wurde einfach ein normales Auto für die Verwendung von Wasserstoff umgerüstet. Solche umgebauten Motoren funktionieren auch weiterhin mit Ottokraftstoffen.

## 3.1 Funktion

**Gemischbildung** Damit der Wasserstoff überhaupt als Kraftstoff verwendet werden kann, muss zuerst ein Wasserstoff-Luft-Gemisch hergestellt werden.

Dies geschieht entweder bereits bevor das Gemisch in den Zylinder eingeleitet wird (Äußere Gemischbildung) oder der Wasserstoff und Sauerstoff werden einzeln in den Zylinder eingespritzt und vermischen sich erst dort. (Innere Gemischbildung)

**Zündung** Das Gemisch wird daraufhin durch einen Funken aus einer Zündkerze entzündet.

## 3.2 Vor- und Nachteile

Ein Wasserstoffverbrennungsmotor hat (zumindest im jetzigen Status der Entwicklung) noch mit vielen Problemen zu kämpfen. Da Wasserstoff sehr heiß und manchmal auch unregelmäßig verbrennt, wenn sich z.B. noch heiße Gasreste im Zylinder befinden, kommt es zu einer sehr starken Belastung der Bauteile, vor allem der Ventile. Außerdem greift Wasserstoff die Schmiermittelschicht an. Zum einen durch die heiße Flamme, und zum anderen, da es mit den Langkettigen Kohlenstoff-Verbindungen im Schmieröl reagiert.

Die Leitung von Wasserstoffverbrennungsmotoren ist zwar in der Regel höher als bei Brennstoffzellen, allerdings ist der Verbrauch auch deutlich (200%) höher [17] [22]. Sie haben also einen wesentlich geringeren Wirkungsgrad von ca. 45% gegenüber Brennstoffzellen mit ca. 50 – 60% (Wirkungsgrad des Elektromotors ist auch berücksichtigt). [9] [23]

### 3.3 Beispiel: BMW Hydrogen 7

Der BMW Hydrogen 7 verwendet den gleichen Motor wie ein BMW 760i. Er ist lediglich für die Verwendung von Wasserstoff umgerüstet worden. Dabei kann das Auto weiterhin mit Benzin betrieben werden. Es wurde ein zusätzlicher Wasserstofftank eingebaut. In ihm wird der Wasserstoff flüssig gelagert.

Der flüssige Wasserstoff im Tank wird im Stand nicht stetig gekühlt. Da er sich erwärmt und dabei stark ausdehnt muss er kontrolliert abgelassen werden. Dieser Prozess beginnt schon nach 17 Stunden im Stand. Nach etwa 9 Tagen ist ein halb voller Tank vollständig entleert.

Der BMW Hydrogen 7 kann mit einer Leistung von  $191kW/254PS$  bis zu  $230\frac{km}{h}$  schnell fahren. Allerdings verbraucht er sehr viel Wasserstoff. Mit  $\frac{3,6kg}{100km}$  kann man mit einer Tankfüllung gerade einmal  $200km$  weit fahren.

# 4 Brennstoffzellenfahrzeug

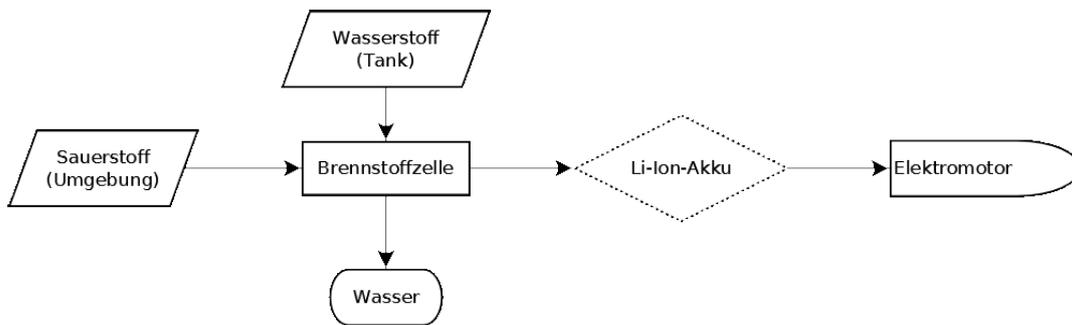


Abbildung 4.1: Komponenten eines Brennstoffzellenfahrzeugs

## 4.1 Funktion

### 4.1.1 Brennstoffzelle

Es gibt verschiedene Arten von Brennstoffzellen. Die Funktionsweise ist aber bei allen Brennstoffzellen gleich. Als Brennstoff kommen je nach Typ andere Stoffe zum Einsatz. Bei den PEMFC-Zellen (engl. „Proton Exchange Membrane Fuel Cell“), die für Wasserstoffautos verwendet werden, benötigt man Wasserstoff und Sauerstoff. Andere Brennstoffzellen benötigen Methan, Kohlenstoff, Methanol, oder Magnesium.



Abbildung 4.2: Reaktionsgleichung an der Anode

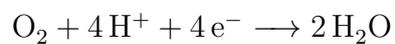


Abbildung 4.3: Reaktionsgleichung an der Kathode

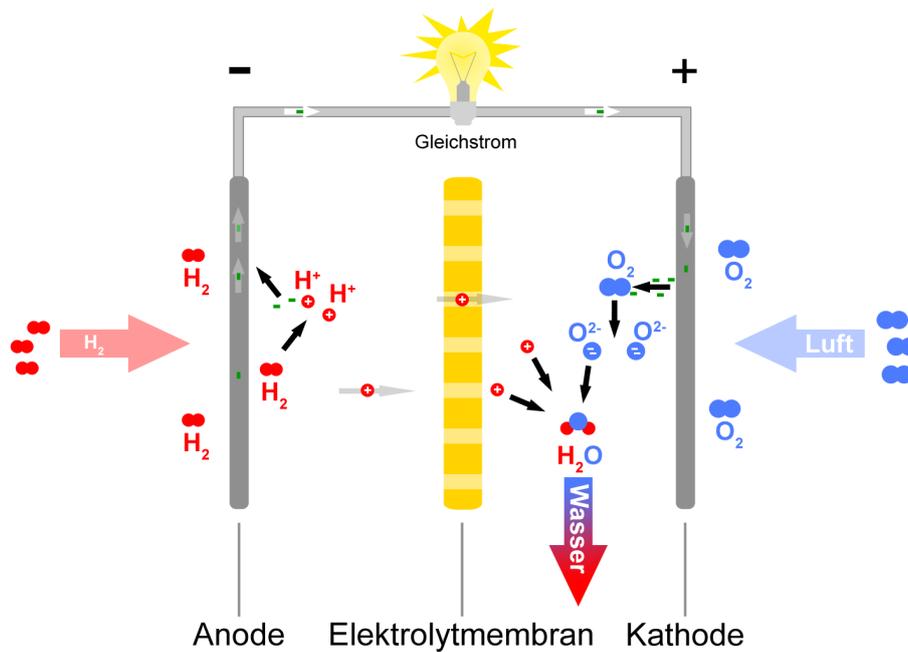


Abbildung 4.4: Vorgänge in einer Brennstoffzelle

### 4.1.2 Zwischenspeicher

In den meisten Brennstoffzellenfahrzeugen wird der gewonnene Strom nicht direkt zum Motor geführt, sondern zwischengespeichert. Dies erlaubt das Verwenden von Systemen zur Bremskraftrückgewinnung und sorgt dafür, dass die Brennstoffzelle nicht durch den ständig wechselnden Stromverbrauch belastet wird.

Außerdem kann eine Brennstoffzelle in kurzer Zeit viel weniger Energie bereitstellen als ein Akku. Das heißt, dass mit einem Akku (oder Kondensator) die maximale Leistung des Fahrzeugs deutlich erhöht werden kann. Wenn der Akku dann allerdings vollständig entladen ist, hat das Fahrzeug noch weniger Leistung zur Verfügung, da noch ein Teil der von der Brennstoffzelle bereitgestellten Energie zum Laden des Akkus verwendet wird.

Für den Speicher werden entweder Hochleistungskondensatoren oder Lithium-Ionen-Akkus verwendet. Letztere haben den Vorteil, dass sie sich nicht nach kurzer Zeit entladen, sondern die Energie lange speichern können.

### 4.1.3 Elektromotor

Mit der elektrischen Energie aus der Brennstoffzelle wird einer oder mehrere Elektromotoren betrieben. Entweder wird ein Motor mit einem Getriebe für alle Räder verwendet,

oder es werden mehrere (2 oder 4), schwächere Motoren direkt an die Räder montiert. Kombinationen sind auch möglich.

## 4.2 Beispiel: Honda FCX Clarity

Beim Wasserstoffauto von Honda, dem FCX Clarity wird Wasserstoff in einem Tank über der Hinterachse bei hohem Druck von 750bar gelagert. Dieser Wasserstoff wird von einer PEMFC-Zelle in Strom umgewandelt. Der Strom wird in einer Lithium-Ionen-Batterie unter dem Rücksitz zwischengespeichert. Dort wo in einem normalen Auto ein Benzinmotor sitzt, befindet sich beim FCX Clarity ein 100kW Elektromotor, der die vordere Achse antreibt. Bei einem Verbrauch von  $\frac{1,6kg}{100km}$  kommt man mit einer Tankfüllung ca. 386km weit. Für etwa 400€ kann man den FCX Clarity leasen. [15] [16] [17] [18] [13]

## 5 Fazit

Ich glaube zwar, dass Wasserstoff als Energieträger viel Potenzial hat, vermute aber, dass er nicht großflächig in Autos verwendet wird. Wasserstoffverbrennungsmotoren haben einen viel zu hohen Verbrauch und zu viele Probleme, um sinnvoll genutzt zu werden. Das Interesse der Automobilhersteller an dieser Technik hat in den letzten Jahren sehr stark abgenommen.

Brennstoffzellenfahrzeuge sind deutlich besser als Wasserstoffverbrennungsmotoren, allerdings glaube ich, dass sie langfristig von Elektroautos abgelöst werden. Bei Elektroautos entfällt die Umwandlung der Energie in Wasserstoff, daher haben sie eine Effizienz von über 95%. Sie stehen den Brennstoffzellenfahrzeugen nur noch in Gewicht und Tankdauer nach. Und durch die stetige Forschung, z.B. an Graphen, werden diese Nachteile immer kleiner.

# Literaturverzeichnis

- [1] [http://www.siemens.com/innovation/apps/pof\\_microsite/\\_pof-spring-2011/\\_html\\_en/electrolysis.html](http://www.siemens.com/innovation/apps/pof_microsite/_pof-spring-2011/_html_en/electrolysis.html)
- [2] <http://www.cleanenergypartnership.de/h2Tankstellen>
- [3] <http://www.youtube.com/watch?v=lspiRxx1B9o>
- [4] [http://www.diebrennstoffzelle.de/wasserstoff/herstellung/part\\_oxidation.shtml](http://www.diebrennstoffzelle.de/wasserstoff/herstellung/part_oxidation.shtml)
- [5] <http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserelektrolyse>
- [6] [http://de.wikipedia.org/wiki/Partielle\\_Oxidation](http://de.wikipedia.org/wiki/Partielle_Oxidation)
- [7] <http://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzellenfahrzeug>
- [8] <http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffherstellung>
- [9] <http://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzelle>
- [10] [http://www.transport-research.info/Upload/Documents/200909/20090918\\_161614\\_66668\\_HyICE-Summary.pdf](http://www.transport-research.info/Upload/Documents/200909/20090918_161614_66668_HyICE-Summary.pdf)
- [11] [http://www.transport-research.info/web/projects/project\\_details.cfm?ID=35321](http://www.transport-research.info/web/projects/project_details.cfm?ID=35321)
- [12] <http://de.wikipedia.org/wiki/Elektroauto>
- [13] [http://de.wikipedia.org/wiki/Honda\\_FCX](http://de.wikipedia.org/wiki/Honda_FCX)
- [14] [http://de.wikipedia.org/wiki/BMW\\_Hydrogen\\_7](http://de.wikipedia.org/wiki/BMW_Hydrogen_7)
- [15] <http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/>
- [16] <http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/how-fcx-works.aspx>
- [17] <http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/refueling.aspx>
- [18] <http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/vflow.aspx>
- [19] [http://de.wikipedia.org/wiki/Elektromotor#Wirkungsgrad\\_und\\_Effizienz](http://de.wikipedia.org/wiki/Elektromotor#Wirkungsgrad_und_Effizienz)
- [20] <http://www.kfz-tech.de/Formelsammlung/Wirkungsgrad.htm>
- [21] <http://www.hho-generator.de/vergleich-wasserstoff/wasserstoff-heizwert-vergleich.htm>
- [22] [http://www.treffseiten.de/bmw/info/daten\\_hydrogen7\\_06\\_11.pdf](http://www.treffseiten.de/bmw/info/daten_hydrogen7_06_11.pdf)
- [23] <http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffverbrennungsmotor>