

# ENERGIEVERBRAUCH VON BRENNSTOFFZELLEN-PKW IM VERGLEICH ZU INTERESSENGELEITETEN ANGABEN

Karl-Heinz Tetzlaff, DWV, Mörikestr. 6, 65779 Kelkheim /www.bio-wasserstoff.de

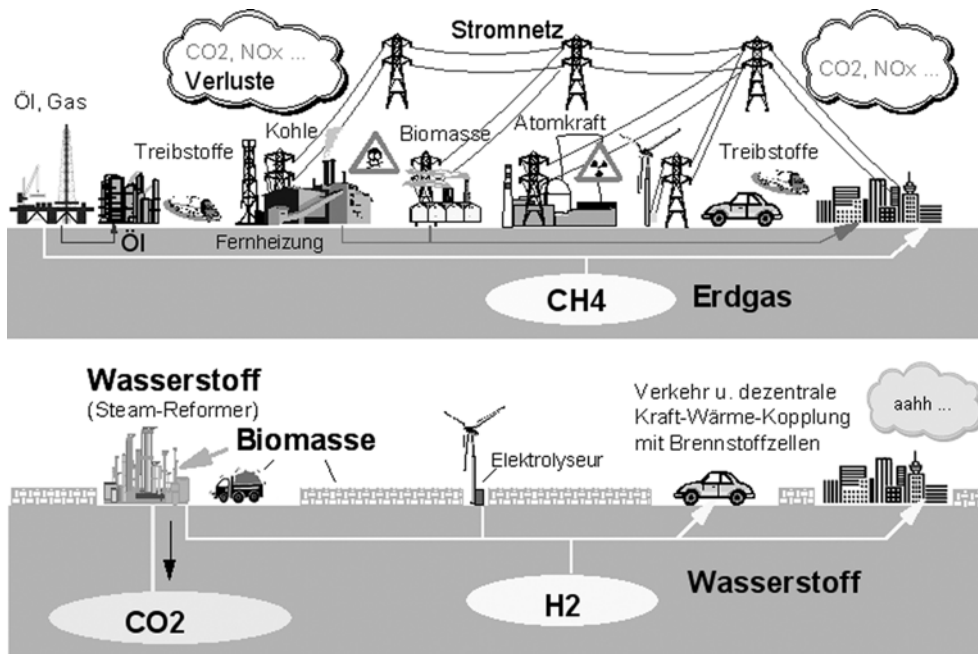
**Schlüsselwörter:** Wasserstoffwirtschaft, Biomasse, Primärenergieverbrauch, Treibstoffkosten, Brennstoffzellenfahrzeug

## Zusammenfassung

Umfangreiche Studien der Öl- und Automobilindustrie kommen zu dem Ergebnis, dass Brennstoffzellenfahrzeuge keinen geringeren Verbrauch an Primärenergie haben werden als Fahrzeuge mit fortschrittlichen Dieselmotoren. Diese Aussagen sind wissenschaftlich nicht haltbar, wenn man die keineswegs ehrgeizigen Zielvorgaben der US-Regierung für das nächste Jahrzehnt berücksichtigt. Eingebettet in eine solare Wasserstoffwirtschaft auf Basis Biomasse wird aufgezeigt, dass der Treibstoffverbrauch von Brennstoffzellen-Pkw viel kleiner ist, als er von der Industrie angegeben wird. Die Industrie möchte sich aber von solchen Ergebnissen nicht in Zugzwang bringen lassen, hat sie doch die Kalifornischen Gesetze zur Einführung von Brennstoffzellen-Pkw gerade niedrigerungen.

## Solare Wasserstoffwirtschaft

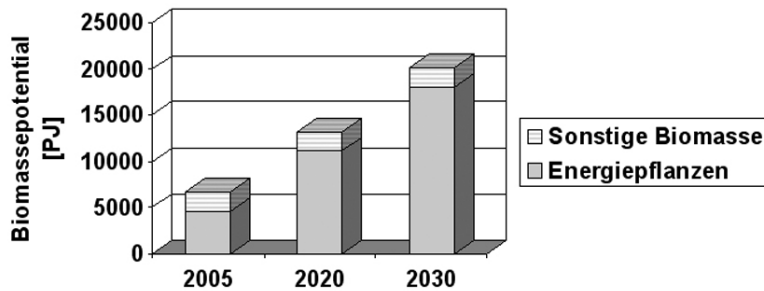
Der Treibstoffverbrauch hängt auch davon ab, welche Infrastruktur vorhanden ist. Hier wird von einer voll ausgebauten Infrastruktur für die Verteilung von Wasserstoff ausgegangen. Das ermöglicht einen fairen Vergleich mit der Situation heute. Als Primärenergie für die Herstellung von Wasserstoff wird Biomasse ausgewählt, weil damit ohne Umweg über den Strom, eine sehr kostengünstige Herstellung von Wasserstoff mittels Steam-Reforming möglich ist. Die Herstellung erfolgt in Anlagen industrieller Größe, die ein Einzugsgebiet von 10-15 km haben.



**Abbildung 1: Infrastruktur heute und morgen**

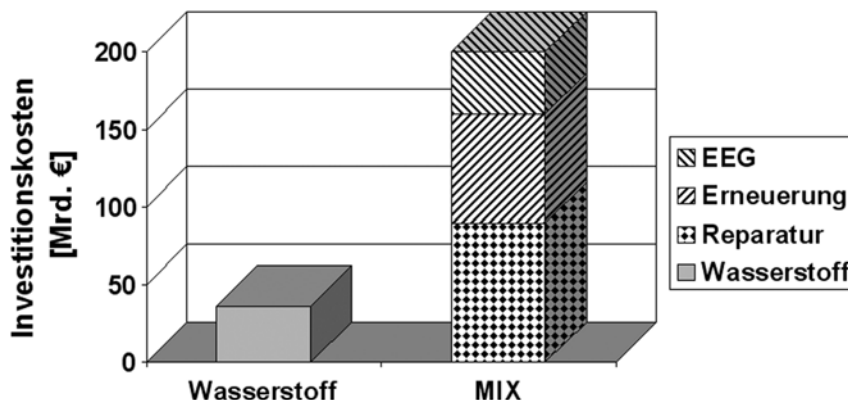
Eine Wasserstoffwirtschaft mit dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung hat eine höhere Effizienz als unsere derzeitige Energiewirtschaft. Etwa 93% der in der Biomasse vorhandenen Energie können als Strom oder Wärme genutzt werden. Der Bedarf an Primärenergie sinkt dadurch auf etwa die

Hälfte. Wenn kostengünstige Synergie-Effekte mit andern Erneuerbaren Energien genutzt werden, müssen nur noch ca. 4600 PJ in Form von Biomasse aufgebracht werden. Dieses Potential ist vorhanden und wird mit zunehmenden Erträgen in der Landwirtschaft im Laufe der Zeit immer größer. Die überschüssige landwirtschaftliche Fläche wurde dabei solidarisch auf die 25 Länder der EU aufgeteilt.



**Abbildung 2: Vorhandenes Biomasse-Potential**

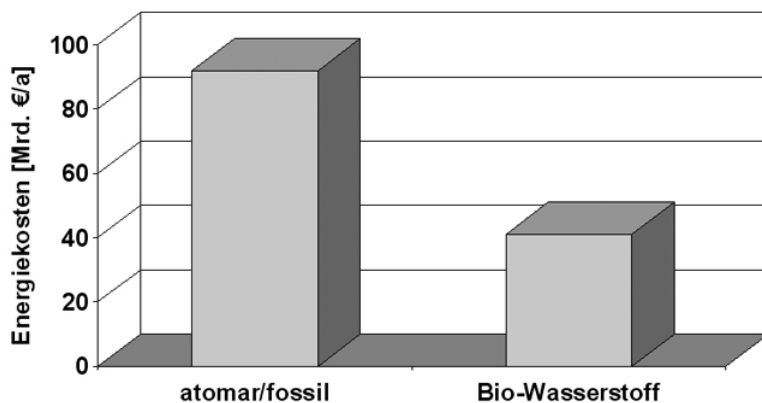
Das Potential ist auch deshalb so groß, weil grüne Biomasse und Silage direkt genutzt werden können. Da in diesem System ein Überangebot von Strom besteht, spricht man von einer wärmegeführten Energiewirtschaft. In diesem System gibt es praktisch keine Energieverluste bei der Energiewandlung.



**Abbildung 3: Erforderliche Investitionen in den nächsten 10 Jahren**

Für die Stromwirtschaft ist in den nächsten 10 Jahren etwa ein Betrag von 200 Mrd. € aufzubringen. Die komplette Installation einer völlig neuen Energiewirtschaft kostet dagegen nur 36 Mrd. €. Die Installation einer Wasserstoffwirtschaft wirkt also wie die Befreiung von einer großen Last.

Auch die Energiekosten sind in einer Wasserstoffwirtschaft deutlich niedriger als heute. Abbildung 4 zeigt die Kosten, die dem Verbraucher ohne Steuern in Rechnung gestellt werden. Externe Kosten, Militärausgaben zur Sicherung des Zugangs zum Öl und Energiesparmaßnahmen sind darin nicht enthalten. Volkswirtschaftlich gesehen, ist der Kostenvorteil einer Wasserstoffwirtschaft also viel größer als dargestellt. Bei der Kostenermittlung ist berücksichtigt, dass der Landwirt ein Energiekostenäquivalent von 24 €/bbl Erdöl erhält, das sind 73 €/t Trockenmasse. Damit ist der Landwirt ohne Subventionen besser dran als in der heutigen hoch subventionierten Landwirtschaft.



**Abbildung 4: Energiekosten ohne Steuern**

Von der heutigen Energie-Infrastruktur bleibt nur das Erdgasnetz erhalten, das ohne grundlegende technische Modifikationen für Wasserstoff genutzt werden kann. Wärmekraftwerke – auch Atomkraftwerke – sind in dieser solaren Energiewirtschaft nicht wettbewerbsfähig. Die Strominfrastruktur wird nicht mehr gebraucht. Strom ist unverkäuflich, weil der Nachbar auch zu viel davon hat. Die Tabellenwerte beziehen sich auf den Heizwert. Haushaltsstrom kostet dann 3,2 Cent/kWh.

Herstellkosten ab Fabrik	2,5 Cent/kWh
Abgabepreis für die Industrie	2,8 Cent/kWh inklusiv Konzessionsabgaben
Haushaltstarif	3,2 Cent/kWh inklusiv Konzessionsabgaben
Tankstelle ab Zapfpistole 700 bar	4,1 Cent/kWh inklusiv Konzessionsabgaben

**Tabelle 1: Kosten für Bio-Wasserstoff, ohne Steuern**

Solarenergie ist die allererste Innovation, die einem mächtigen Wirtschaftszweig diametral entgegensteht. Sie wirkt unmittelbar systemzerstörend (Hermann Scheer). Die solare Wasserstoffwirtschaft ist nicht eine Ergänzung zum heutigen Energiemix, sondern eine Alternative.

### Verkehrs-Sektor

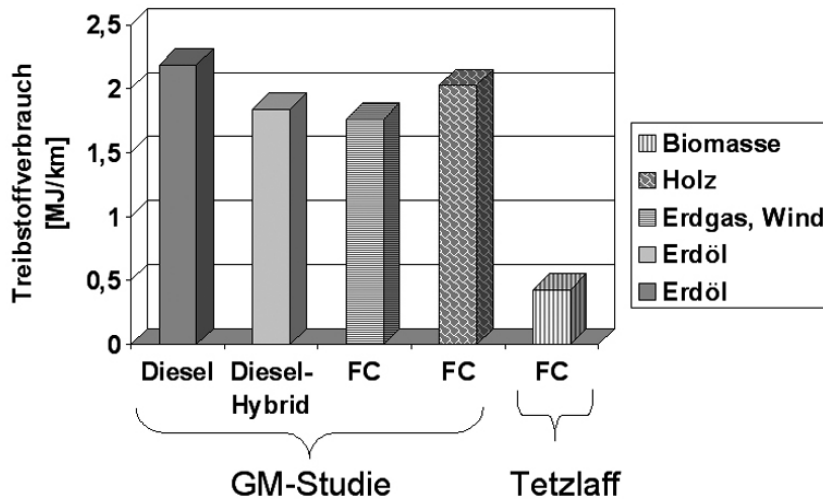
Mit der Einführung von Wasserstoff ist nicht nur der Kraftwerks-Sektor bedroht, sondern alle Öl-, Gas- und Bergwerksgesellschaften. Die Ölindustrie fürchtet zu recht den Verlust ihrer Basis. Weil die Automobilindustrie mit der Ölwirtschaft eng „verbandelt“ ist, sind beide an der Aufrechterhaltung des Status quo interessiert. Deshalb wird mit allen Tricks versucht, einen Technologiewandel abzuwehren. Auf technischem Gebiet versucht man

- a) Brennstoffzellenantrieben, wenn überhaupt, nur einen minimalen Vorteil zuzugestehen.
- b) Synthetische flüssige Treibstoffe aus Biomasse als die bessere Alternative darzustellen.

Wie aus der umfangreichen GM-Studie [1] (Table 4.3-1) hervorgeht, ist ein Brennstoffzellenantrieb ungefähr so gut wie ein Diesel-Hybrid, wenn man den Wasserstoff aus Windstrom oder Erdgas herstellt. Wird Wasserstoff aus Holz hergestellt, so liegt die Effizienz zwischen einem normalen Diesel und einem Diesel-Hybrid. Alle anderen untersuchten Pfade sind für die Brennstoffzelle noch ungünstiger. Das Ergebnis soll deutlich machen, dass Brennstoffzellenantriebe nicht besser sind als herkömmliche Verbrennungsmotoren. Die Annahmen und Berechnungsmethoden, die zu diesem Ergebnis geführt haben, wurden nicht offen gelegt.

Ein Brennstoffzellenantrieb ist ein Elektroantrieb und legt daher die Möglichkeit der Rückgewinnung von Bremsenergie in einem Superkondensator nahe. Rechnet man die Ergebnisse

mit an sich bekannten Formeln für den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) nach, so kommt man zu ganz anderen Ergebnissen [2]. Es wurden annähernd die gleichen Annahmen gemacht wie in einer Studie des MIT [3]. Ein Brennstoffzellenfahrzeug mit Technologiestand der Jahre 2009-2015 verbraucht danach ca. 0,26 kg Wasserstoff je 100 km, was ca. 0,43 MJ/km Primärenergie in Form von Biomasse entspricht.



**Abbildung 5: Primärenergieverbrauch**

Der Energieverbrauch für den NEFZ lässt sich mit einfachen Größenwertgleichungen berechnen:

Rollwiderstand:  $F_r = (c_r + \Delta c_r) 9,81 m$  [MJ/km]

Luftwiderstand:  $F_a = 0,2 c_w A$  [MJ/km]

Bremsanteil:  $F_b = [0,105 - 1,27 (c_r + \Delta c_r)] m$  (MJ/km)

Dabei ist die Fläche „A“ in  $m^2$  und die Masse „m“ in t einzusetzen.

Der TTW- Wirkungsgrad ist  $\eta = (F_r + F_a + F_b)/F_t$  ;

Der Umwandlungsgrad von Biomasse zu Wasserstoff im Drucktank beträgt ca. 73%.

Der Brennstoffzellen-Systemwirkungsgrad (DC/H<sub>2</sub>) ist für den NEFZ nach MIT ca. 70%.

Umrichter: AC/DC = 97-99,3%; Motor: Rad/AC = 92-97%;  $A = 1,8 m^2$ ;  $c_w = 0,22$ ;  $c_r = \Delta c_r = 0,006$ ;

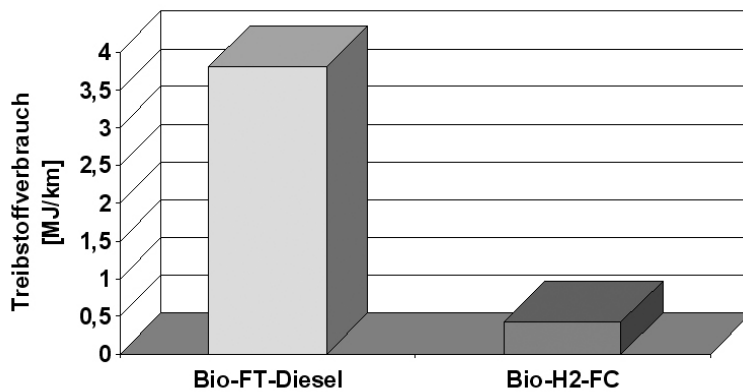
$m = 1,4 t$ . Der Reibbeiwert ist in einen Anteil für den Reifen  $c_r$  und in einen Anteil für die

Welligkeit der Straße  $\Delta c_r$  aufgeteilt. Die Bremsenergie und die Stoßdämpferenergie kann zu 80-

90% zurückgewonnen werden,  $\Delta c_r$  entsprechend zu korrigieren. Bei der fachgerechten Wahl der

Annahmen über Fahrzeugdaten besteht nur ein geringer Spielraum. Die Ergebnisse der GM-Studie

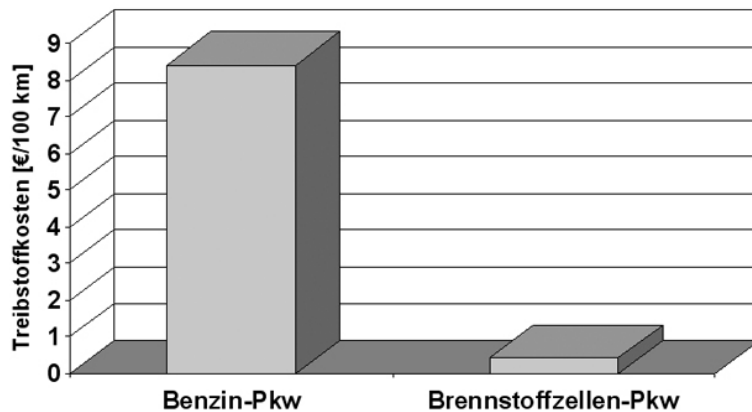
können jedenfalls nicht mit anderen fachgerechten Annahmen begründet werden



**Abbildung 6: Primärenergieverbrauch für Antriebe auf Basis Biomasse**

Die gegen den Wasserstoff gerichtete Strategie besteht nun darin, synthetischen Treibstoff aus Biomasse herzustellen. Aus H<sub>2</sub>, CO und CO<sub>2</sub> wird Treibstoff nach dem alten Fischer-Tropsch-Verfahren (FT) hergestellt. Das ist mit hohen Energieverlusten verbunden.

Wie der Vergleich von Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigt, ist der Primärenergieverbrauch bei FT-Treibstoffen doppelt so hoch wie bei herkömmlichen Verbrennungsmotoren auf Erdölbasis. Er ist 10-mal so hoch wie bei Antrieben mit Brennstoffzelle. Zwar ist die Treibstoffenergie für FT-Dieselantriebe im Vergleich zu Biodiesel ca. 5-mal höher, die Treibstoffenergie für Brennstoffzellenantriebe ist aber 50-mal höher als beim Biodiesel.



**Abbildung 7: Treibstoffkosten**

Die hohe Effizienz von Brennstoffzellenantrieben schlägt sich auch in den Treibstoffkosten nieder. Abbildung 7 berücksichtigt die aktuelle Gesetzeslage. Biotreibstoffe sind von der Mineralölsteuer befreit, Benzin nicht. Etwa 2/3 der Benzinkosten entfallen auf Steuern. Auch ohne Steuern kostet Benzin ca. 10-mal mehr als Bio-Wasserstoff. Biodiesel und FT-Diesel kosten ohne Steuern etwa doppelt so viel wie Benzin ohne Steuern. Die Spielerei mit FT-Diesel wird uns die Technologieführerschaft im Automobilbau kosten. Was das bedeutet, kann Ihnen schon der „Mann von der Straße“ sagen.

Als Ergebnis ist ein Versagen der wissenschaftlichen Eliten im real existierenden Lobbystaat festzustellen. Jeder Student ab 1. Semester kann die Angaben der GM-Studie als interessengeleitet entlarven.

Vortragsmanuskript zum XI. Symposium „Nutzung regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik“ 4-6 Nov. 2004; Fh-Stralsund  
Fundstelle: [www.bio-wasserstoff.de/pdf/Stralsund2004.pdf](http://www.bio-wasserstoff.de/pdf/Stralsund2004.pdf)

## Literatur:

- [1] GM Well to Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle System – A European Study (2002)
- [2] K-H Tetzlaff; Bio-Wasserstoff; BoD Verlag (2005) ISBN 3-8334-2616-0, siehe auch: [www.bio-wasserstoff.de](http://www.bio-wasserstoff.de)
- [3] Comparative Assessments of Fuel Cell Cars, MIT, Feb. 2003, MIT LFEE 2003-001 RP