

Brennstoffzellen – saubere Antriebe für Straßenfahrzeuge von morgen

von Philip Pindo Mok
und Dirk Walliser

Überblick

Brennstoffzellen werden vielfach als das alternative Antriebskonzept angesehen, welches das höchste Potenzial besitzt, den Verbrennungskraftmaschinen Konkurrenz zu machen. Brennstoffzellen verursachen niedrige Emissionen, haben einen hohen Wirkungsgrad und bieten die Möglichkeit, langsam aber nachhaltig Erdöl als heute wichtigste Energiequelle im Transportbereich zu verdrängen. Unter anderem werden Umweltverträglichkeit, Betriebsverhalten, Kosten und die Verfügbarkeit geeigneter Kraftstoffe entscheidend dafür sein, ob Brennstoffzellen das Antriebskonzept der Zukunft werden. Die Aussichten und technischen Herausforderungen der Entwicklung und Markteinführung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen werden in diesem Aufsatz dargestellt.

Fuel cells are widely discussed as the alternative powertrain with the highest potential to compete with the internal combustion engine. They offer low emissions, high efficiency and the possibility of a gradual but serious shift away from today's major source of energy for transportation, petroleum. Among others the key factors environmental compatibility, performance, cost and the availability of suitable fuel are decisive if the fuel cell is to become the power source of the future. In this paper, the prospects and the technical challenges of fuel cell vehicle development and commercialization will be outlined.

1. Einführung

Die weltweite Entwicklung zu immer höherem Verkehrsaufkommen steht auf den ersten Blick im Gegensatz zur wachsenden Besorgnis über Klimaerwärmung, Luftverschmutzung und Ausbeutung der Erdölvorkommen. Die Nachhaltigkeit des Verkehrssektors hängt deshalb maßgeblich von der Einführung neuer Technologien ab, die schädliche Emissionen und den Treibstoffverbrauch vermindern.

Nach über hundert Jahren Entwicklung sind die Aussichten, die Verbrennungskraftmaschine noch weiter zu optimieren, trotz enormer Anstrengungen der Automobilindustrie begrenzt. Brennstoffzellen ermöglichen einen neuen Ansatzpunkt mit höherem Wirkungsgrad bei niedrigeren oder sogar Null-Emissionen, verbunden mit der Möglichkeit, auch andere Energiequellen effizient nutzen und mit der Aussicht, marktfähige Kostenniveaus

erreichen zu können. Es besteht weiterhin Übereinstimmung, dass der Elektroantrieb mit Brennstoffzellen die aussichtsreichste Alternative zum Verbrennungsmotor ist.

Vor dem Hintergrund dessen, dass Brennstoffzellen jedoch nicht nur für mobilen Einsatz geeignet sind, sondern für jede Form der Energiebereitstellung – sei es stationär, mobil oder tragbar – kann diese Technologie zu einer „Systeminnovation“ werden: Sie könnte in allen Bereichen des Lebens die Verwendung und die Herstellung von elektrischer Energie verändern (Abbildung 1).

Die Bildung strategischer Partnerschaften wie die Brennstoffzellen-Allianz zwischen DaimlerChrysler, Ford und Ballard sowie steigende Aktivitäten bei Zulieferfirmen lassen erkennen, dass diese Technologie von der Automobilindustrie als kommerziell einsetzbare Zukunftsenergie und nicht nur als „grüne Marktnische“ angesehen wird.

Neben der technischen Machbarkeit beweisen die aktuellen und in naher Zukunft zu erwartenden Konzeptfahrzeuge von DaimlerChrysler und anderen Herstellern wie Toyota, Ford, General Motors oder Honda, dass dem Verbrennungsmotor ähnliche Leistungen, höherer Komfort sowie neuartige elektrische Sonderausstattungen von Brennstoffzellenfahrzeugen erwartet werden können.

Vorreiter bei der Markteinführung werden Busse sein: in Chicago und Vancouver sind bereits sechs Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb im Linienverkehr eingesetzt. Die Hersteller des Antriebs, die Firmen dbb Fuel Cell Engines und Ballard Power Systems, konnten bis Ende 1998 mit diesen Fahrzeugen bereits Erfahrungen über 40.000 km Fahrstrecke sammeln.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die Einsatzaussichten und technischen Eigenschaften von Brennstoffzellenfahrzeugen (FCEV¹), weist aber auch auf einige der wesentlichsten Hürden hin, die überwunden werden müssen, ehe erste Fahrzeuge in den

Dipl.-Ing. Philip P. Mok ist Leiter des Vorstandsbüros Forschung und Technologie der DaimlerChrysler AG, Stuttgart.

Dr. Dirk Walliser ist Leiter Business Strategy and Process Planning im Projekthaus Brennstoffzelle der DaimlerChrysler AG.

¹ FCEV = Fuel Cell Electric Vehicle

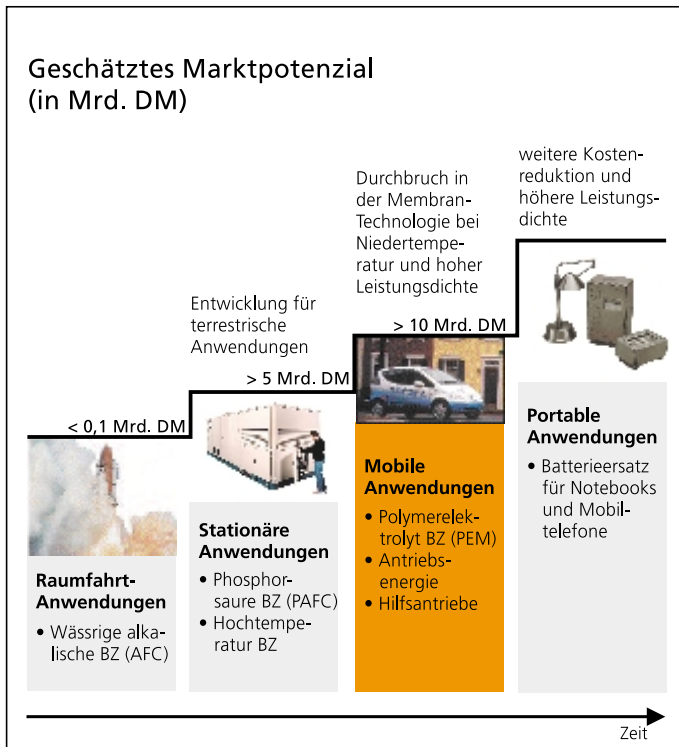
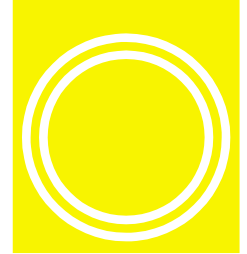


Abbildung 1: Systeminnovation Brennstoffzelle

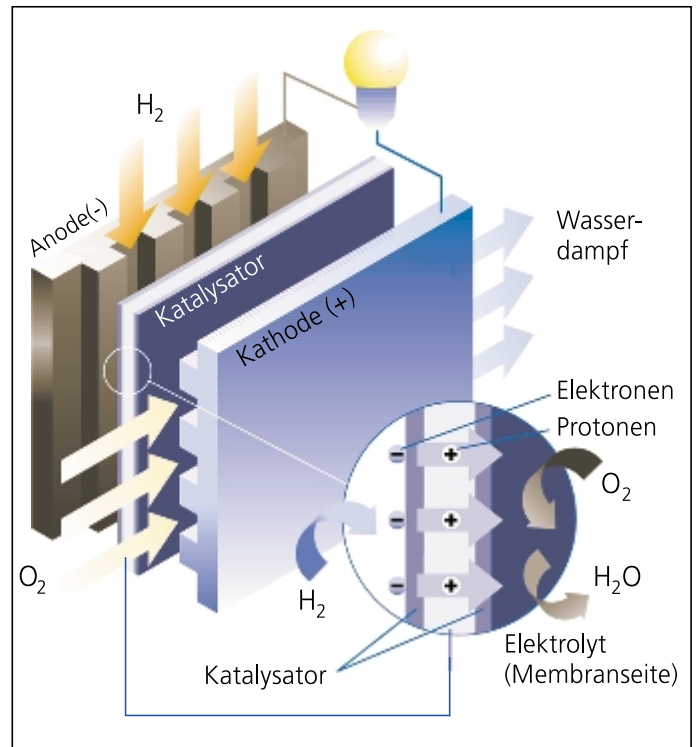


Abbildung 2: Funktionsprinzip der Polymer-Elektrolyt-Membran Brennstoffzelle (PEMFC)

Verkaufsräumen stehen werden. Dieser Zeitpunkt wird von vielen Automobilfirmen einschließlich DaimlerChrysler, Ford, General Motors, Honda und Toyota für die Mitte dieses Jahrzehnts vorhergesagt.

2. Funktionsweise

2.1 Brennstoffzelle

Die Brennstoffzelle ist ein elektrochemisches Aggregat, das die chemische Energie eines Treibstoffes unmittelbar in elektrische Energie umwandelt. Von den vielen Alternativen ist für den mobilen Einsatz insbesondere die Membranbrennstoffzelle (PEMFC²) wegen ihrer hohen Leistungsdichte und niedrigen Betriebstemperatur geeignet. In jeder Zelle einer PEMFC sind Wasserstoff (der Treibstoff) und Sauerstoff (Luft) durch eine Polymer-Elektrolyt-Membrane (PEM) getrennt (Abbildung 2).

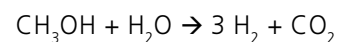
Wasserstoff wird auf der Treibstoffseite (Anode) in Elektronen und Protonen gespalten. Die Protonen können durch die PEM hindurchwandern, während die Elektronen durch den äußeren Stromkreis zur Kathodenseite geleitet werden, auf der Protonen, Elektronen und Wasserstoff sich bei niedriger Temperatur (um 80°C)

katalytisch zu Wasser verbinden. Jede Zelle erzeugt eine Zellspannung von 0,5 bis 1,0 V bei einer Stromdichte um ca. 1 A/cm² der Membranfläche. Durch das Stapeln vieler Zellen kann die gewünschte Spannung und Leistung erzeugt werden. Der Wirkungsgrad der PEMFC variiert von 80 % bei niedriger Last bis zu 40-50 % bei Vollast.

2.2 Brennstoffzellen-System

Die Art des eingesetzten Kraftstoffs beeinflusst stark die Auslegung des Brennstoffzellensystems: für einen auf Wasserstoff basierenden Antrieb sind lediglich ein Treibstofftank (für flüssigen oder gasförmigen Wasserstoff), eine Luftversorgungseinheit, die Brennstoffzelle, das Kühlsystem und der elektrische Antrieb erforderlich. Ein derartiges Antriebskonzept weist den höchsten energetischen Wirkungsgrad auf und ist vollkommen schadstofffrei. Gegenüber konventionellen Kraftstoffen besteht das Problem, dass für den Wasserstoff die herkömmliche Tankstelleninfrastruktur nicht genutzt werden kann. Wasserstoff wird deshalb als idealer Treibstoff für Flottenfahrzeuge mit zentralen Auftankmöglichkeiten und mittleren Wegstrecken angesehen.

Wegen der Schwierigkeiten der Wasserstoffverteilung, -betankung und -speicherung sind flüssige Treibstoffe für den großflächigen Individualverkehr vorzuziehen. Die meisten Automobilhersteller erwarten, dass Methanol der am besten geeignete Treibstoff für FCEV sein wird. **Abbildung 3** zeigt ein derartiges Methanol-Brennstoffzellensystem: Methanol und Wasser werden verdampft und das Gemisch in einem Reformier nach der Reaktionsgleichung



in ein Gemisch von Wasserstoff und CO₂ umgewandelt. Dieser Prozess führt jedoch auch zu Sekundärreaktionen, durch die Kohlenmonoxid erzeugt wird. Dieses CO muss in einem nachgeschalteten Gasreinigungsprozess entweder herausgefiltert oder zu CO₂ oxidiert werden. Das resultierende H₂/CO₂-Gemisch wird der Brennstoffzelle zugeführt, die die elektrische Energie für Traktions- und Hilfsantriebe erzeugt. Eine Kompressor-Expander-Einheit versorgt die Kathodenseite der Brennstoffzellenmembran mit Druckluft und

² PEMFC = Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell oder Proton Exchange Membrane Fuel Cell

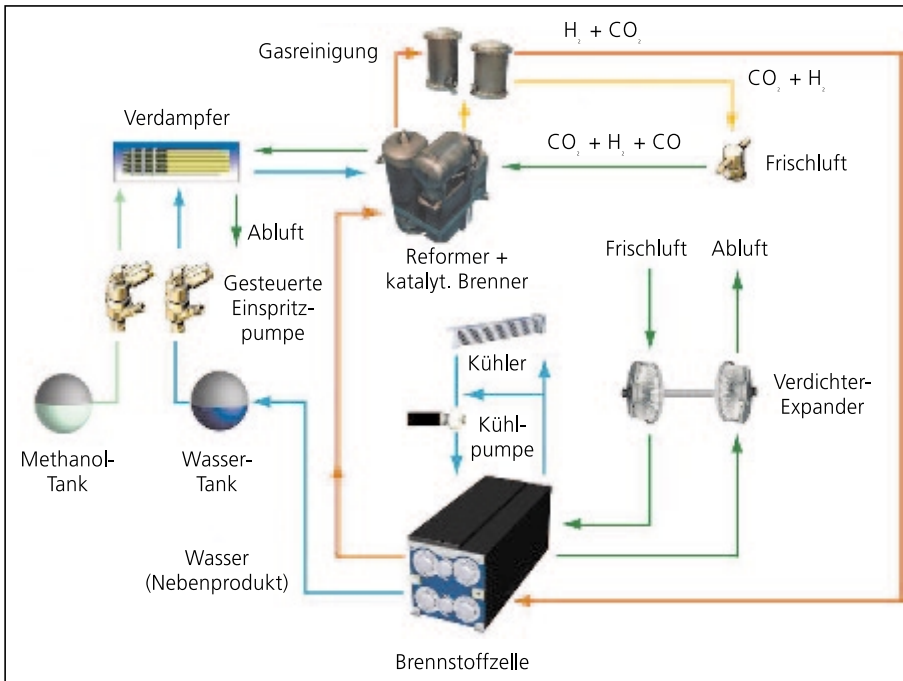
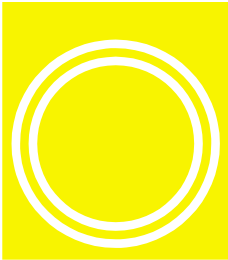


Abbildung 3. Schaltdiagramm eines Brennstoffzellenantriebs mit Methanol als Treibstoff

gleich Druckschwankungen aus. Das Kühlsystem führt die Abwärme ab, die in der Brennstoffzelle und den anderen Elementen des Antriebsstrangs entsteht.

3. Entwicklungschancen

Die Verbrennungskraftmaschine wurde über einhundert Jahre lang fortentwickelt. Wichtige Fortschritte der letzten Zeit, insbesondere beim Treibstoffverbrauch, zeigen, dass Verbesserungen immer noch möglich sind. Weiterentwicklungen wie z.B. elektromagnetische Ventilsteuerung oder hybride Antriebskonzepte bedeuten jedoch ständig steigende Komplexität und höhere Kosten. So führen hybride Systeme zur Verbesserung des Wirkungsgrades, aber auch zu erheblich höheren Gewichten und Kosten.

Hier bieten Brennstoffzellen einen neuen Ansatz mit wesentlich höheren Wirkungsgraden. Die ersten Konzeptfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb erreichen bereits heute vergleichbares Betriebsverhalten bei zugleich erheblich verringerten Umweltbeeinträchtigungen.

3.1 Umweltvorteile

„In den Vereinigten Staaten erzeugen 190 Millionen Personen-, Transport-

und Bus-Fahrzeuge die Hälfte der Luftschadstoffe – 80% davon in den Großstädten – und ein Drittel des CO₂-Ausstoßes.“ [1]

Die Umweltvorteile stellen den wichtigsten Anreiz zur Einführung der FCEV dar und könnten Regierungen und staatliche Stellen veranlassen, Förderung oder Anreize zur Erleichterung der Markteinführung zu gewähren. Neben der Verringerung des Ausstoßes von Schadstoffen und des Treibhausgases CO₂ setzt sich auch die Erkenntnis durch,

Tabelle 1: Schadstoffemissionen

	Kohlenmonoxid (CO) (g/km)	Stickstoffe (NO _x) (g/km)	Kohlenwasserstoffe (g/km)
EURO 3 * für Benzinmotoren	2,30	0,15	0,20
EURO 4 ** für Benzinmotoren	1,00	0,08	0,10
Low Emission Vehicle (LEV)	4,20	0,07	0,09 ##
Ultra Low Emission Vehicle (ULEV)	2,10	0,07	0,04 ##
Super Ultra Low Emission Vehicle (SULEV)	1,00	0,02	0,01 ##
Necar 3 – Methanol FCEV ***	0	0	0,005 #
Wasserstoff FCEV	0	0	0

*Vorschlag des Europäischen Parlaments für 2000; ** Vorschlag des Europäischen Parlaments für 2005; *** nicht-statistischer Wert ohne Kaltstart, gemessen am Mercedes-Benz NECAR 3 Prototyp; # Gesamtkohlenwasserstoffe /THC (total hydrocarbons); ## Organische Gase ohne Methanol / NMOG (non-methane organic gases)

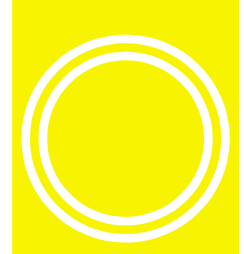
dass Brennstoffzellen die Schlüsseltechnologie zur effizienten Nutzung alternativer Treibstoffe wie Methanol und Wasserstoff sind.

Eine Pionierrolle hat mittlerweile die California Fuel Cell Partnership eingenommen. In ihr sind die Automobilfirmen DaimlerChrysler, Ford, Honda und Volkswagen, die Kraftstoffhersteller Texaco, Shell und Arco sowie die Behörden California Air Resource Board (CARB) und California Energy Commission (CEC) vereint. Ausgehend von einer großzügigen, gemeinsam genutzten Anlage in Sacramento führen die Partner Feldversuche durch und untersuchen alle Bedingungen, die zur kommerziell erfolgreichen Einführung von Brennstoffzellenfahrzeugen notwendig sein können.

Emissionen

FCEV mit Wasserstoff und Methanol als Treibstoff ermöglichen Fahrzeuge ohne oder fast ohne Schadstoffemissionen. Im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) sind bereits an frühen Prototypen von DaimlerChrysler keine bzw. minimale Emissionen gemessen worden (siehe Tabelle 1).

Die minimale Kohlenwasserstoffemission des NECAR 3 Methanolsystems liegt deutlich unter der strengen amerikanischen SULEV Norm. Mit besseren Katalysatoren erscheint sogar eine weitere Verringerung der Emissionen möglich.



Wirkungsgrad / CO₂-Emission

Schon heutige Brennstoffzellenantriebe weisen bessere Werte in Bezug auf Energieverbrauch und Umwandlungswirkungsgrad auf. Im NECAR 4 wurden 37% Wirkungsgrad im NEFZ gemessen (Abbildung 4), also ca. 40% über dem für die besten Dieselfahrzeuge von heute. Das Entwicklungspotenzial ist noch groß; es wird erwartet, dass Brennstoffzellen-Antriebe mit Wasserstoff über 40% Wirkungsgrad erreichen, mit Methanol 30 bis 40%.

Geringerer Energieverbrauch bedeutet geringere CO₂-Emission. Darüber hinaus können die Treibstoffe Methanol und Wasserstoff in zunehmenden Maße CO₂-neutral erzeugt werden

- durch elektrolytische H₂-Erzeugung mit Strom aus Wasserkraft und Solarenergie und
- durch Methanolerzeugung aus Biomasse oder Kunststoffabfällen (die Abfallverwertungsanlage „Schwarze Pumpe“ in Brandenburg erzeugt heute bereits 100.000 t/a Methanol).

Dies macht deutlich, daß der Übergang zu einem auf Brennstoffzellen basierenden Transportsystem zu erheblichen Verbesserungen der Luftqualität und der Nachhaltigkeit im Energiebereich führen wird.

3.2 Fahrverhalten

Neben den Umweltvorteilen weisen Brennstoffzellen-Fahrzeuge den Komfort von Elektrofahrzeugen auf, ohne Beeinträchtigung von Leistung und Fahrverhalten.

Beschleunigung

Der elektrische Antrieb des Brennstoffzellen-Fahrzeugs stellt volles Drehmoment vom Stillstand bis zur nominalen Geschwindigkeit bereit. Dies ermöglicht den Einsatz eines stufenlosen Getriebes und führt zu besserer Beschleunigung als mit Verbrennungsmotoren bei vergleichbarer Leistung. In einem Kompaktfahrzeug von 1.200 kg Gewicht mit typischerweise 55 kW elektrischer Leistung stünden etwa 200 Nm

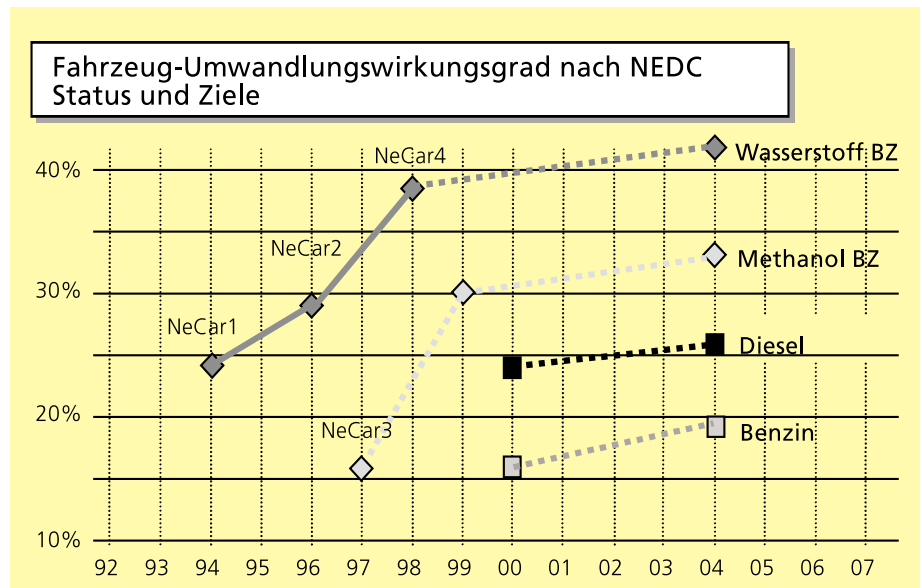


Abbildung 4: Wirkungsgrade von Fahrzeugantrieben

Drehmoment von Null bis Maximalgeschwindigkeit zur Verfügung, die das Fahrzeug in 15 sec von 0-100 km/h beschleunigen würden.

Komfort

Der Fahrer eines FCEV erfährt sofortige und gleichbleibende Beschleunigung ohne Gangwechsel und ohne die für Verbrennungsmotoren typische Leistungslücke bei geringer Drehzahl. Außerdem ist der Antrieb nahezu geräuschlos – die einzige signifikante Geräuschquelle ist der Kompressor, der die Brennstoffzelle mit der erforderlichen Druckluft versorgt.

Messungen des Innengeräuschpegels von Stadtbussen³, die mit Brennstoffzellen, Dieselmotoren und Erdgas-Ottomotoren angetrieben wurden, zeigen, dass der Brennstoffzellen-Bus nur halb so viel Geräusch entwickelt wie der Bus mit Dieselantrieb (Tabelle 2).

3.3 Gestaltungsmöglichkeiten

Die Zusammenschaltung der Hauptaggregate eines Methanol-Brennstoffzellen-Antriebs – siehe Abbildung 3 – weist auf zwei Möglichkeiten hin, die Fahrzeugkonstruktion zu verbessern:

- Die Aggregate können einzeln angeordnet werden. Im Gegensatz zum Verbrennungsmotorantrieb – bestehend aus den zwei Großkomponenten Motor/Ge-

triebeblock und Benzintank – setzt sich der Brennstoffzellen-Antrieb aus Einzelkomponenten zusammen. Tank, Treibstoffaufbereitung (Reformer und Gasreinigung), Brennstoffzellenstapel, elektrischer Antrieb und die Hilfskomponenten können separat innerhalb des Fahrzeuges angeordnet werden und eröffnen völlig neue Freiheiten in der Fahrzeuggestaltung (Abbildung 5).

- Brennstoffzellenstapel und Reformermodule ermöglichen unterschiedliche Leistungsklassen durch die Parallelschaltung identischer Einheiten. Dies verringert die Notwendigkeit, die Komponenten für verschiedene Fahrzeuge separat fertigen zu müssen; sogar der Elektromotor kann noch in zwei oder vier individuelle Rad(naben)-antriebe aufgesplittet werden.

3.4 Alternative Treibstoffe

Über 25% des weltweiten Erdölauflaufs wird heute in den USA verbraucht, von dem die Hälfte importiert wird. Auch die Abhängigkeit der anderen industrialisierten Staaten vom Erdöl steigt. Die Erdölförderung wird in den Nicht-OPEC Staaten um 2010 seinen Höhepunkt erreichen. Dies bedeu-

³ TÜV-Messungen an Mercedes-Benz Flottenfahrzeugen und dem NEBUS mit Brennstoffzellen-Antrieb

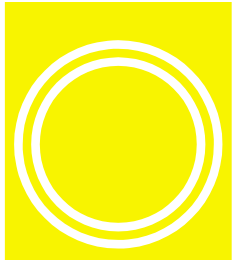


Abbildung 5: a) NECAR 4 wird mit Flüssigwasserstoff betankt. Das nächste NECAR-Fahrzeug wird wie NECAR 3 wieder Methanol als Kraftstoff nutzen.

b) Im NECAR 4 finden sämtliche Brennstoffzellenkomponenten im Unterboden Platz.

et schwerwiegende Risiken in der Zukunft hinsichtlich Verfügbarkeit, möglicher Preissteigerungen und Auswirkungen auf die Energiepolitik. Darüber hinaus steigt der Anspruch an Zusammensetzung und Qualität auch für herkömmliche Antriebe. Schwefelarme Erdölfraktionen beispielsweise sind knapp, verteuern die Benzinherstellung und eröffnen Bedarf nach alternativen Treibstoffen wie Methanol.

„Wenn nur 10% des weltweit jährlich abgepackten Erdgases zur Methanolherstellung genutzt werden würde, dann würde das für den Betrieb von 9,5 Millionen Fahrzeugen ausreichen.“ [1] Zwei Millionen Methanol-Brennstoffzellen-Fahrzeuge würden weniger als die Hälfte der heute weltweit vorhandenen Überkapazität von Methanol aus Erdgas beanspruchen.

4. Entwicklungsstand und technische Herausforderungen

4.1 Treibstoffversorgung

Methanol kann theoretisch über das bestehende Tankstellennetz vertrieben

werden. Allerdings ist Methanol für einige Materialien korrosiv, weshalb Anpassungen in den Vorratsbehältern und den Zapfsäulen nötig werden. Deshalb ist die Versorgungsfrage ein kritischer Punkt in der öffentlichen Diskussion über die Einführung der Brennstoffzellen-Technologie.

Brennstoffzellen-Fahrzeuge werden nicht für einen Nischen-, sondern den Massenmarkt entwickelt. Ihre Akzeptanz verlangt von Beginn an eine ausreichende Methanoldurchdringung im Tankstellennetz. Dennoch wird ihre Einführung nur graduell geschehen können. Fahrzeughersteller werden mit geringen Stückzahlen beginnen und die Produktion über die Jahre steigern. Auch eine anfangs nur regionale Einführung erscheint sinnvoll.

Deshalb werden die für eine Markteinführung erforderlichen Investitionen sich auch in vernünftigen Größenordnungen bewegen. Szenarien, die zu gegenteiligen Schlüssen gelangen, verkennen die wahren Abläufe bei einer Markteinführung. Mit einem über Jahre steigenden Umsatzvolumen nehmen die Auf-

wendungen den Charakter einer Ersatzinvestition an – sind also keine Austauschinvestition mehr – und werden Teil des normalen Geschäftsgeschehens.

4.2 Leistungsdichte

Die Brennstoffzellen-Technologie befindet sich heute im Übergang von der Machbarkeitsuntersuchung zum Produkt. Für die frühen Machbarkeits-Demonstrationen (wie den Fahrzeugen NECAR 1 bis 3) wurden Komponenten mit Laborcharakter eingesetzt, die einfache Messungen und Tests ermöglichten. Der Entwicklungsschwerpunkt hat sich heute zur Integration und höheren Packungsdichte der Komponenten hin verschoben, um Gewicht und Volumen einzusparen und die Antriebsleistung zu erhöhen (Tabelle 3). Dennoch werden erste Serien-FCEV vermutlich noch eine geringere Leistungsdichte aufweisen als konventionelle Fahrzeuge (mit einer ähnlichen Schwankungsbreite je nach Fahrzeugtyp).

4.3 Herstellkosten

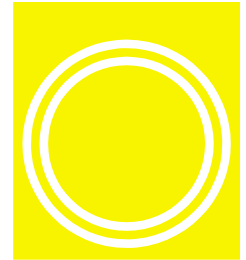
Kosten sind nicht nur eine Herausforderung für Entwickler, sondern auch

Tabelle 2: Innengeräusch von Stadtbussen (lautestelleiseste Stelle)

	Bei Leerlauf	bei 50 km/h
mit Brennstoffzellen (NEBUS)	53/57 db(A)	53/59 db(A)
mit Erdgasantrieb	49/58 db(A)	63/73 db(A)
mit Dieselantrieb	60/68 db(A)	65/73 db(A)

Tabelle 3: Vergleich des Verhältnisses von Fahrzeuggewicht zu Leistung (* Vorhersage aus 1998)

Jahr	Fahrzeug	Art	Verhältnis Gewicht/Leistung
Heute	Benzinfahrzeug	Mercedes-Benz A-Klasse	20 kg/kW
1994	NECAR 1	FCEV mit Wasserstoff	117 kg/kW
1996	NECAR 2	FCEV mit Wasserstoff	59 kg/kW
1997	NECAR 3	FCEV mit Methanol	40 kg/kW
2004	1. Serienfahrzeug	FCEV	25-35 kg/kW*



für die Produktion. Nur entwicklungs- und produktionstechnische Fortschritte in Verbindung mit Massenproduktion führen zu marktfähigen Herstellkosten. Die Automobilhersteller beschäftigen sich deshalb bereits heute mit Fragen der Massenproduktion von FCEV, um sich nicht in Nischenanwendungen zu verlieren.

Das modulare Konzept, die eingesetzten Materialien und die Fortschritte in einsetzbaren Herstellprozessen lassen deutlich erkennen, dass die Brennstoffzellen-Technologie das Potenzial hat, konkurrenzfähig zu werden. Entwicklung nach Kostenvorgaben, Materialauswahl und Massenfertigungsverfahren werden die Schwerpunkte der Anstrengungen in den nächsten zwei Jahren bilden.

Die Kostendegressionsbemühungen beim Konkurrenten der Brennstoffzelle, der Verbrennungskraftmaschine, bleiben jedoch nicht stehen. Mit immer strenger werdenden Umweltauflagen werden die bei der Motorenfertigung erzielten Einsparungen jedoch manchmal durch die Aufwendungen für die Abgasregelung mehr als aufgewogen. So erwarten die meisten Hersteller z.B. für hybride Antriebe doppelt so hohe Herstellkosten wie für konventionelle Antriebskonzepte [2].

5. Marktaussichten

5.1 Verbrauchervorteile

Verbrauchervorteile sind immer mit Erwartungen verknüpft. Was der Verbraucher erwartet, ist einfach: Etwas zumindest gleich Gutes oder Besseres gegenüber dem, was er bereits hat.

Ein Brennstoffzellen-Auto wird gleiches, unter bestimmten Betriebsbedingungen sogar besseres Betriebsverhalten als das bisherige Auto besitzen. Es hat bereits höheren Wirkungsgrad, der noch erheblich verbessert werden kann. Es wird für den Fahrer angenehmer zu bedienen sein, weniger Geräusch verursachen und keine oder nur minimale Emissionen erzeugen.

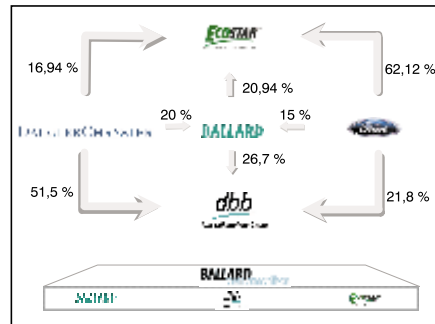


Abbildung 6: Organisationsdiagramm der Brennstoffzellen-Allianz

Es ist auch ein Stromerzeuger, der jederzeit, auch im Stillstand, fast beliebig Strom erzeugen kann, ohne die Umwelt zu schädigen. Die Klimatisierung im Fahrzeug – ob Heizung oder Kühlung – wird immer gesichert sein, noch bevor der Fahrer einsteigt. Die Verfügbarkeit einer Stromquelle hoher Leistung und Spannung ermöglicht, neue Komponenten wie z.B. Scheinwerfer, Multimedia-Einrichtungen oder einen geeigneten Kühlschrank zu entwickeln. Selbstverständlich kann jedes 110/220 V Elektrogerät oder Werkzeug betrieben werden – der Phantasie ist freier Lauf gelassen.

5.2 Herstelleraktivitäten

Da Produktionsvolumen die Schlüsselvoraussetzung für Kostenreduktion ist, haben sich einige der größten Automobilhersteller, und zwar DaimlerChrysler und Ford, mit Ballard Power Systems zu einer Brennstoffzellen-Allianz zusammengeschlossen mit dem Ziel, weltweit die ersten Hersteller massenproduzierter Brennstoffzellen-Autos zu werden und schon 2004 das erste Serien-Brennstoffzellen-Auto am Markt einzuführen. Die Mitglieder der Allianz hoffen, die schwierige Markteinführung der neuen Technologie zu konkurrenzfähigen Kosten durch die Zusammenlegung von Ressourcen und Produktionsvolumen meistern zu können. Das Geschäftskonzept der Allianz sieht darüber hinaus keine Abschottung vor, d.h. die von ihr entwickelten Produkte werden auch allen anderen Autoherstellern angeboten.

In der Kooperation ist Ballard Power Systems mit der Aufgabe der Entwicklung, Herstellung und Vertrieb des Brennstoffzellenstacks, die Kooperationspartner dbb Fuel Cell Engines und Ecostar Electric Drive Systems mit der Entwicklung des Brennstoffzellensystems bzw. des elektrischen Antriebs betraut. Die gemeinsame Vertriebs-tochter Ballard Automotive ist für den Verkauf an den Endkunden verantwortlich (Abbildung 6).

Auch Toyota, Mazda, Honda und General Motors haben angekündigt, Methanol-FCEV schon 2004 oder früher auf den Markt zu bringen. Mit diesen Initiativen der Automobilhersteller entwickeln sich auch immer mehr Zulieferfirmen zu potentiellen Komponentenzulieferern für Brennstoffzellensysteme.

6. Schlußfolgerung

Noch vor einigen Jahren waren Brennstoffzellen für das Transportwesen nur ein interessantes und herausforderndes Forschungsobjekt. Heute investieren praktisch alle Autohersteller erhebliche Ressourcen in die Entwicklung marktfähiger Brennstoffzellen-Antriebe als dem erfolgversprechendsten alternativen Antriebssystem. Über erhebliche Umweltvorteile und die Möglichkeit hinaus, die weltweite Abhängigkeit von Erdöl zu verringern, bieten FCEV nicht nur ausgezeichnete Betriebseigenschaften sondern auch zusätzliche Verbrauchervorteile. Viele Hersteller haben die Markteinführung von FCEV für die Mitte des nächsten Jahrzehnts angekündigt.

Literatur:

- [1] „The Promise of Methanol Fuel Cell Vehicles“, American Methanol Institute (1998)
- [2] Atkin, G., Storey, J. „Electric Vehicles – Prospects for battery-, fuel cell- and hybrid-powered vehicles“, Financial Times Automotive (1998)