



Handout zum Vortrag von Dr. Erwin Wüchner, Senior Manager Entwicklung Wasserstoffspeichersystem/Infrastruktur, DaimlerChrysler AG, Sindelfingen

Höchst effizienter Antrieb

Die Brennstoffzelle wird das Auto grundlegend verändern

- In Wasserstoff-Autos stecken 30 Jahre Erfahrungen
- Brennstoffzellen-Fahrzeuge arbeiten leise, komfortabel und schadstofffrei
- Enorme Steigerung beim Wirkungsgrad der Brennstoffzellen
- Völlig neue Fahrzeugkonzepte sind möglich
- 30 Wasserstoff-Busse im europäischen Alltagstest

Seit Anfang der 1990er Jahre arbeitet DaimlerChrysler intensiv an der Brennstoffzellentechnik. Wir sind überzeugt: Auch im Straßenverkehr wird sich der Energieträger Wasserstoff langsam aber sicher durchsetzen – und die Brennstoffzelle ist die beste Möglichkeit, um die Chancen dieses Umstiegs zu nutzen. Mit der Brennstoffzelle als Antrieb werden die Autos der Zukunft wesentlich sparsamer und umweltfreundlicher als heutige Fahrzeuge sein. Auf dem Weg in den Markt ist die Technik bis heute ein großes Stück vorangekommen. Aus Konzeptfahrzeugen sind Kleinserien geworden: Seit diesem Jahr sind die ersten von insgesamt 30 „Citaro“-Wasserstoff-Bussen in europäischen Großstädten dem Alltagstest ausgesetzt, und bis Ende 2004 werden 60 Wasserstoff-PKWs aus dem Hause DaimlerChrysler in der Welt unterwegs sein.

30 Jahre Erfahrung mit Wasserstoff-Autos

Mit der Entwicklung von Wasserstoff-Fahrzeugen hat DaimlerChrysler weit reichende Erfahrungen. Schon 1975 wurde auf der IAA das erste Mercedes-Versuchsfahrzeug mit Wasserstoff-Antrieb vorgestellt: Ein Kleinbus des Typs L 306 mit Metallhydridspeicher und Wasserstoff-



Motor als Antrieb. Es folgten mehrere Demonstrations- und Versuchsfahrzeuge, bevor die Weiterentwicklung des Wasserstoff-Motors Ende der 1980er Jahre zugunsten der Brennstoffzelle eingestellt wurde – eine Reaktion auf die Erkenntnis, dass mit dem Verbrennungsmotor kein vergleichbarer Wirkungsgrad und keine völlige Emissionsfreiheit zu erreichen sind. Mit NECAR 1 („New Electric Car“) kam dann 1994 das erste Brennstoffzellenfahrzeug aus dem Haus DaimlerChrysler auf die Straße. Der Mercedes-Benz-Transporter war bis unter das Dach mit Speichern und Technik ausgefüllt. Schon sein Nachfolger NECAR 2 bot bis zu sechs Personen Platz, die beiden großen Wasserstoff-Tanks mussten allerdings noch auf dem Dach angebracht werden. Bei den „F-Cell“ Wasserstoff-Fahrzeugen auf Basis der neuen A-Klasse, die inzwischen die NECAR-Konzeptfahrzeuge abgelöst haben, findet das ganze Antriebssystem im Motorraum und Unterboden Platz.

Doch nicht nur bei Größe der Antriebssysteme hat sich in den letzten zehn Jahren einiges getan. Auch Leistung, Höchstgeschwindigkeit und Reichweite der Autos sind deutlich gestiegen: Der mit Methanol betriebene NECAR 5 hat Geschwindigkeiten von über 150 km/h und eine Reichweite von 450 km erreicht. Das Auto war im vergangenen Jahr 5.250 km quer durch Amerika unterwegs und stellte dabei einen Langstrecken-Weltrekord für Brennstoffzellenfahrzeuge auf. Der Treibstoff Methanol wird in dem Fahrzeug durch einen Reformier im Fahrzeug in Wasserstoff und CO₂ umgewandelt. Neben Methanol hat DaimlerChrysler auch gasförmigen, flüssigen und chemisch gebundenen Wasserstoff als Treibstoff getestet. Die Ergebnisse sprechen insgesamt für Wasserstoff-Druckgastanks, die DaimlerChrysler sowohl in der „Citaro“-Busflotte als auch in den F-Cell-Fahrzeugen einsetzt.

Neben der Entwicklung von Wasserstoff-PKWs sind Wasserstoff-Busse eine wichtige Zukunftsperspektive für DaimlerChrysler. Im öffentlichen Nahverkehr sind große Reichweiten und eine flächendeckende Infrastruktur nicht entscheidend: Schließlich fahren die Busse ohnehin täglich ins Depot zurück und können dort betankt werden. Auch können die Wasserstoff-Tanks in Bussen problemlos auf dem Dach untergebracht werden. Zugleich werden die Vorteile des Brennstoffzellenantriebs – zum Beispiel der geräuscharme, komfortable und saubere Betrieb – hier umso deutlicher wahrgenommen. Busse haben daher eine Pionierstellung für den Einsatz von Wasserstoff als Energieträger. Nach NEBUS („New Electric Bus“), der 1997 zum ersten Mal auf die Straße rollte, beweist gerade der neue Mercedes-Benz Citaro als Wasserstoff-Bus seine Alltagstauglichkeit. Im Rahmen des Projektes CUTE (Clean Urban Transportation for Europe) wer-



den 30 dieser Busse in zehn europäischen Großstädten von Reykjavik bis Madrid im innerstädtischen Linienverkehr eingesetzt.

Neue Konzepte für das Auto von morgen

Die Brennstoffzelle ist also auf dem Weg in den Markt ein gutes Stück vorangekommen. Schien noch 1988 der Massenbetrieb von Wasserstoff-Fahrzeugen technisch enorm schwierig und wirtschaftlich kaum machbar, bietet heute der Brennstoffzellenantrieb beste Zukunftsaussichten. Mit seiner Größe und Leistung erfüllt er heute die wesentlichen Anforderungen des Automobilbaus.

Bei der Gestaltung von Brennstoffzellenfahrzeugen ergeben sich jedoch wesentliche Veränderungen gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Der Aufbau heutiger Fahrzeuge ist im Wesentlichen durch Motor und Getriebe einerseits sowie den Kraftstofftank andererseits bestimmt. Der Elektromotor von Brennstoffzellen-Fahrzeugen ist wesentlich kleiner als ein Verbrennungsmotor – der Motorraum muss daher nicht mehr in seiner bisherigen Form beibehalten werden. Allerdings müssen in diesen Fahrzeugen neben Elektromotor, Getriebe und Wasserstoff-Speicher auch noch die Brennstoffzellen und die begleitende Technik untergebracht werden. Das kann zum Beispiel im bisherigen Motorraum oder unter dem Fahrzeugboden geschehen.

Auch das Fahrverhalten der Autos wird sich ändern. Der Antrieb reagiert insbesondere im unteren Drehzahlbereich unmittelbar und kraftvoll. Die Leistung des Antriebs ist modular und kann bei Bedarf durch Größe und Anzahl der Brennstoffzellen angepasst werden. Wenn man entsprechende Batterien einsetzt, kann der Elektromotor wie in den aktuellen Hybrid-Fahrzeugen beim Bremsen oder Verzögern Energie zurückgewinnen. Die elektrische Leistung der Brennstoffzelle kann auch externe Elektrogeräte antreiben. Dank weniger bewegter Teile müssen die Fahrzeuge künftig seltener gewartet werden. Und das alles geschieht sehr leise bei einem bislang unerreichten Wirkungsgrad und ohne Emissionen. Die einzige Emission ist Wasserdampf.



20 Mal mehr Leistung seit 1994

Das Fahrzeug der Zukunft wird von Brennstoffzellen angetrieben, davon ist DaimlerChrysler überzeugt. Allerdings sind die Ansprüche an diese Schlüsseltechnologie der Wasserstoff-Welt im Auto hoch – schließlich tritt sie in Konkurrenz zum hoch entwickelten Verbrennungsmotor. Die bisherige Entwicklung hat gezeigt, dass diese Konkurrenz durchaus fruchtbar sein kann: In den vergangenen Jahren hat die Brennstoffzellentechnologie in Fahrzeugen von DaimlerChrysler gewaltige Fortschritte gemacht.

Eine wichtige Orientierungsgröße ist dabei der Wirkungsgrad. Zieht man zum Vergleich den Neuen Europäischen Fahrzyklus NEDC (New European Driving Cycle) heran, dann erreichte NECAR 1 im Jahr 1994 einen Wirkungsgrad von 24 Prozent. Die F-Cell-Fahrzeuge liegen heute bei 37 Prozent. In nur zehn Jahren hat sich die Effizienz des Brennstoffzellen-Antriebs also um 50 Prozent erhöht – und das Ende der Möglichkeiten ist noch lange nicht erreicht.

Noch deutlicher sind die Erfolge bei einem anderen wichtigen Vergleichswert der Brennstoffzellentechnologie: der Leistungsdichte, also der Leistung der Brennstoffzelle im Verhältnis zu ihrem Gewicht. Die Brennstoffzelle im NECAR 1 brachte 48 Watt pro Kilogramm. Zwei Jahre später brachte NECAR 2 den dreieinhalbfachen Wert: 167 Watt. Die F-Cell-Fahrzeuge haben heute eine Leistungsdichte von 1.000 Watt pro Kilogramm – 20 Mal mehr als NECAR 1. Zukünftig sind Leistungsdichten von bis zu 1.500 Watt pro Kilogramm zu erwarten. Für einen Vergleich mit der Leistungsdichte eines Verbrennungsmotors muss man allerdings alle Komponenten des Brennstoffzellenantriebs berücksichtigen, also auch Kompressor, Lüfter, Wasserpumpe, Elektromotor usw. In diesem Fall liegt die Leistungsdichte eines Brennstoffzellenantriebs heute noch deutlich unter den Möglichkeiten eines Verbrennungsmotors: Ein moderner aufgeladener 4-Zylinder-Dieselmotor von Mercedes-Benz, wie er zum Beispiel in der Mercedes A-Klasse eingebaut ist, bringt inklusive Getriebe 450 Watt pro Kilogramm Gewicht, während die Leistungsdichte des kompletten Brennstoffzellenantriebs in der A-Klasse heute bei 180 Watt pro Kilogramm liegt. Wir gehen davon aus, dass dieser Unterschied bis 2010 durch eine erhöhte Leistungsdichte der Brennstoffzelle und durch optimierte Nebenaggregate weiter verringert werden kann.

Insgesamt ist die Brennstoffzelle als Kernkomponente der Wasserstoff-Fahrzeuge schon sehr weit entwickelt. Weitere Fortschritte erwarten wir im Betriebsverhalten. Außerdem können viele



Nebenaggregate noch kleiner, leichter und leistungsfähiger werden. Hier liegt noch erhebliches Potenzial.

In etwa zehn Jahren so ausgereift wie der Verbrennungsmotor

Der Motor hat 100 Jahre Entwicklung hinter sich – das ist ein Vorsprung, den die Brennstoffzelle nicht von einem Tag auf den nächsten aufholen kann. Bei DaimlerChrysler rechnet man damit, dass das Antriebssystem Brennstoffzelle zwischen 2010 und 2015 ähnlich hoch entwickelt sein wird wie der Wasserstoff-Motor. Noch ist die Technik nicht völlig ausgereift: Die größten Herausforderungen erweisen sich erst im Alltagsbetrieb.

Die Kühlung gehört dabei sicherlich zu den anspruchsvollsten Aufgaben. Derzeit haben die Brennstoffzellen von DaimlerChrysler eine Betriebstemperatur von ca. 80°C. Um die leistungsstarken Brennstoffzellen ausreichend zu kühlen, müssen großflächige Kühler und verstärkte Lüfter eingesetzt werden. Dennoch reicht heute die Kühlleistung noch nicht für alle Fahrsituationen. Ein Ansatz für die Zukunft ist daher, die Betriebstemperatur der Brennstoffzelle zu erhöhen: Hier wird zurzeit an Hochtemperatur-Membranen für Betriebstemperaturen zwischen 110°C und 120°C gearbeitet.

Auch müssen Brennstoffzellen beim Start rasch auf ihre Betriebstemperatur gebracht werden. Die F-Cell Fahrzeuge benötigen heute eine Vorwärmphase von etwa 40 Sekunden, um von 0°C auf Betriebstemperatur zu kommen – ein Problem, das noch vor einigen Jahren auch Dieselfahrzeuge hatten. Ähnlich wie dort wird sich die Startzeit künftig auch bei Brennstoffzellenfahrzeugen noch weiter reduzieren lassen.

Ein weiteres Problem stellen Minusgrade dar. Wenn das Wasser in den Brennstoffzellen gefriert, dehnt es sich aus – und kann dabei die Zellen beschädigen. Zurzeit wird das Brennstoffzellensystem nach dem Betrieb mit Luft gespült und so entfeuchtet.

Druckwasserstoff ist die beste Lösung

Die größte Hürde für den Energieträger Wasserstoff im Straßenverkehr ist jedoch nicht technischer Natur: Ob Wasserstoff-Motor oder Brennstoffzelle, beide können sich nur dann durchset-



zen, wenn es eine ausreichende Wasserstoff-Infrastruktur gibt und der Wasserstoff als Kraftstoff konkurrenzfähig ist. Zwar ist es nicht die Aufgabe der Automobilhersteller, Tankstellen zu bauen. Aber sie müssen sich klar für den neuen Energieträger und möglicherweise auch für eine bestimmte Speichertechnik entscheiden, damit die Mineralölindustrie Planungssicherheit hat. Aus Sicht von DaimlerChrysler sollte die Wahl dabei auf gasförmigen Wasserstoff fallen.

Mehrere Aspekte gilt es bei dieser Entscheidung zu berücksichtigen: Die erforderliche Reichweite der Autos, den nötigen technischen Aufwand, die Kosten und die Umweltbilanz. Die größte Reichweite erreicht man zurzeit mit Methanol als Treibstoff, gefolgt von Flüssigwasserstoff. Allerdings macht Methanol teure und raumgreifende Reformer nötig, um an Bord den Wasserstoff zu gewinnen. Außerdem entsteht weiterhin CO₂, und ein Umstieg auf regenerativ erzeugten Wasserstoff ist erheblich erschwert. Die flüssige Speicherung von Wasserstoff ist wiederum technisch schwierig und energetisch aufwändig. Im Hinblick auf die Energie- und Umweltbilanz, die Kosten und die Handhabung der Technik ist daher Druckwasserstoff im Auto die beste Lösung. Die neue 700-bar-Technologie wird zudem Reichweiten erlauben, die mit denen heutiger Benzinfahrzeuge vergleichbar sind.

Weltweites Engagement für Wasserstoff

Wichtig ist, dass die Probleme rasch in Angriff genommen werden. Sollen ab 2010 tatsächlich in nennenswertem Umfang Wasserstoff-Autos auf den Straßen rollen – und die Pläne von DaimlerChrysler sehen das ebenso vor wie die der meisten Wettbewerber – müssen wir jetzt handeln. Deshalb engagiert sich DaimlerChrysler weltweit in Pilotprojekten, aus denen in einigen Jahren die ersten Infrastrukturen hervor gehen sollen.

Das europäische Wasserstoff-Bus-Projekt CUTE gehört sicher zu den ambitioniertesten dieser Projekte. DaimlerChrysler erwartet daraus wertvolle Ergebnisse für Pilotmärkte im öffentlichen Nahverkehr. Von weltweiter Bedeutung ist auch das Californian Fuel Cell Partnership, kurz CaFCP, in dem Brennstoffzellenhersteller, Mineralölkonzern und Automobilhersteller die Alltagstauglichkeit der Technologie testen. Die meisten der 60 F-Cell-Fahrzeuge werden im Rahmen des CaFCP zum Einsatz kommen. Hinzu kommen Projekte wie das CEP in Berlin und die Kooperation mit ausgewählten Kunden wie den Hermes-Versand in Hamburg, wo seit 2001 ein Mercedes-Sprinter mit Brennstoffzellenantrieb im Alltagsbetrieb beim Kunden verwendet wird.



Die Erfahrungen aus diesen Pilotprojekten werden uns helfen, den bevorstehenden Umstieg auf den Treibstoff Wasserstoff schnell, sicher und wirtschaftlich zu meistern. Das Wasserstoff-Auto ist ein langfristiges Projekt – und gerade deshalb gilt es, sich jetzt in der Gruppe führender Anbieter zu positionieren. Denn heute werden die Weichen für den Automobilbau der Zukunft gestellt.



Pressefotos



Insgesamt 60 Exemplare der Mercedes-Benz A-Klasse „F-Cell“ von DaimlerChrysler werden ab 2003 unter anderem in Berlin, Kalifornien, Japan und Singapur unterwegs sein. Die Brennstoffzellen-Fahrzeuge werden mit komprimierten Wasserstoff (350 bar) angetrieben.

Wasserstofftag-03_Wuechner_Foto-F-Cell /
Foto: DaimlerChrysler



30 Mercedes-Benz Citaro Stadtbusse mit Brennstoffzelle sind ab 2003 in zehn europäischen Großstädten unterwegs.

Wasserstofftag-03_Wuechner_Foto-Citaro /
Foto: DaimlerChrysler

Alle Grafiken, Bilder und Texte stehen hochauflösend
im Internet zum Download bereit:
<http://www.wasserstofftag.de/hydrogen/html/go/rwar-5qfs5z.de.o>