



Auf die kalte Tour - mit Brennstoffzellen in die mobile Zukunft?

Die Suche nach alternativen Antriebskonzepten ist eigentlich älter als das Auto selbst. Das klingt paradox, ist aber nachweisliche Historie. Nach jahrelangen, aufwendigen Forschungsarbeiten ist Daimler-Benz ein Durchbruch in Richtung Null-Schadstoff-Antrieb gelungen - die Brennstoffzellentechnik könnte die Antriebstechnologie des 21. Jahrhunderts werden. Was hinter dieser Technik steckt, ihre Geschichte sowie die derzeitigen und zukünftigen Anwendungen, behandelt unser Artikel.

Die Zeit ist nicht mehr fern - wir werden eines Tages auf den jetzt hundert Jahre alten Otto- bzw. Dieselmotor verzichten müssen. Schadstoffemissionsprobleme und versiegende Ölquellen werden die Menschheit zwingen, sich nach anderen Fahrzeugantrieben umzusehen, wenn sie mobil bleiben will.

Sobald wir heute in Veröffentlichungen oder gar vereinzelt schon aus eigener Erfahrung auf das Thema alternativer Fahrzeugantrieb stoßen, werden uns stets schnell die derzeitigen Grenzen dieser Konzepte klar.

Elektroantrieb in der Sackgasse?

Der herkömmliche Elektroantrieb scheint in einer Sackgasse zu stecken, solange das Problem eines länger als 100 km leistungsfähigen Energiespeichers nicht gelöst wird. An den Antriebsmaschinen, deren Steuerung, Leistungsfähigkeit und Unterbringung liegt es indes nicht, daß Elektrofahrzeuge heute immer noch ein

Schattendasein fristen.

Die schwere Batterie „frißt“ die zugelassene Nutzlast des Fahrzeugs, braucht sehr viel Platz und Zeit zum Wiederaufladen. Dazu kommt das enorme Manko der geringen Reichweite.

All diese Nachteile, auch die hohen Preise wegen der fehlenden Großserienfertigung, haben dazu geführt, daß der Anteil des Elektroantriebs für Straßenfahrzeuge heute in der praktischen Anwendung gegen Null tendiert. Hoffnungsvolle Projekte wie der Thüringer „Hotzenblitz“ sind mangels Finanzierungsbereitschaft der Banken gescheitert, und die Autoindustrie verfolgt autarke Konzepte.

Auch der vielgepriesene Solarantrieb bleibt wohl vorläufig eine Nische für Exoten - zu geringe Leistungsausbeute, vor allem bei hiesigen Wetterverhältnissen und dem derzeitigen technologischen Stand verhindern einen ernsthaften Einsatz als Energiequelle für Fahrzeugantriebe.

Lediglich die Hochenergie-Batterietechnik auf Natrium-Nickelchlorid-Basis hat

mittlerweile einen hohen Entwicklungsstand erreicht und bewährt sich in großen Feldversuchen, vor allem im Flottenbetrieb großer Fuhrparks.

Die großen Fahrzeughersteller verfolgen indes alternative Konzepte. Allen voran sind wieder einmal die beiden deutschen Technologiekonzerne BMW und Daimler-Benz.

Alternativer Wasserstoffantrieb

BMW widmet sich neben der Weiterentwicklung des „herkömmlichen“ Elektroantriebs (mit Erfolg, wie die erreichte Marktreife des Elektro-Dreiers beweist) vor allem erfolgreich dem Wasserstoffantrieb als emissionsfreier Antriebsquelle. Dabei werden die herkömmlichen Verbrennungsmotoren auf Betrieb mit Wasserstoff umgestellt.

Wasserstoff fällt in großen Mengen in der chemischen und Mineralölindustrie an und kann langfristig aus Biomasse, Kunststoffabfällen oder durch Wasser-Elektro-

lyse (Betrieb von Wasserkraftwerken außerhalb von Spitzenzeiten) gewonnen werden.

Daimler-Benz verfolgt hier, auch durch die Raumfahrt-Technologieschmiede DASA begünstigt, seit Jahren einen Weg, der eigentlich schon vor mehr als 150 Jahren begann.

Strom aus Wasser und Luft?

Ganz so einfach ist es nicht. Wir alle wissen ja aus der Schule, daß die Entzündung eines Gemischs aus Wasserstoff und Sauerstoff zur bekannten Knallgasexplosion führt. Der Aufgabe, diese Reaktion zu beherrschen und die entstehende Energie zu nutzen, stellten sich die Forscher schon früh.

Der britische Physiker Sir William Robert Grove (1811 bis 1896) hatte die Idee, aus der chemischen Reaktion zwischen den allgegenwärtigen Elementen Wasserstoff und Sauerstoff Strom zu erzeugen, ohne Umweg über Verbrennung oder Zwischenspeicherung.

1839 konstruierte er eine Batterie, die diese Aufgabe tatsächlich erstmals erfüllte. Sir Grove entdeckte schon damals das Prinzip, das noch heute die Brennstoffzellentechnik dominiert. Eine spezielle Elektrolyt-Folie trennt beide Gase voneinander und läßt nur definierte chemische Reaktionen zu. Das heutige, natürlich wesentlich verfeinerte Funktionsprinzip ist in Abbildung 1 illustriert.

Indes war dieser Stromerzeugungsmethode seinerzeit kein großtechnischer Erfolg beschieden, die elektrischen Dynamomaschinen, mit denen unsere Kraftwerke noch heute arbeiten, liefen dem che-

mischen Prinzip der Stromerzeugung in großem Stil seinerzeit den Rang ab. Autos gab es derzeit noch nicht und als sie kamen, verfolgte man Ende des ausgehenden 19. Jahrhunderts alle möglichen Antriebstechnologien, von der Dampfmaschine bis zum Dieselmotor. Die Bleibatterie war damals das Einzige, dem man sich ernsthaft widmete.

U-Boote und Raumschiffe - schon lange mit Brennstoffzellen

Die US-Amerikaner griffen die Ideen Sir Groves nach dem zweiten Weltkrieg auf und entwickelten für die Raumfahrt bereits damals hocheffektive Brennstoffzellen - allerdings zu den raumfahrtüblichen Kosten, die sich auch später lange Zeit nur die Militärs leisten konnten. Sie installierten die teuren und noch riesigen Brennstoffzellen in militärischen Versuchsträgern und normalen Flurförderfahrzeugen. Alle diese Versuche scheiterten jedoch an den enormen Kosten und an diversen technischen Problemen.

So fand man Brennstoffzellen lange Jahre tatsächlich nur in der Raumfahrt und in kleinen U-Booten, wo sie ihren Hauptvorteil, die gesteuerte Energieerzeugung ohne Zwang zur Zwischenspeicherung und mit enormem Wirkungsgrad, voll ausspielen können.

New Electric Car - Stunde Null bei Daimler-Benz

Erst die Diskussion um alternative Antriebsquellen für Straßenfahrzeuge löste in den neunziger Jahren wieder die Aufnahme der Forschungsarbeiten aus. In Zusam-

menarbeit mit einer auf diesem Gebiet renommierten kanadischen Firma entwickelte Daimler-Benz in nur einem Jahr einen straßentauglichen 3,5-Tonnen-Transporter mit Brennstoffzellen-Antrieb.

Es war der erste Beweis, daß diese Technologie wirklich auf der Straße zu bewegen war. Allerdings war der NECAR I (New Electric Car) genannte Transporter noch bis unters Dach mit der notwendigen Technik, vor allem mit den voluminösen Brennstoffzellen, vollgestopft (Bild 2).

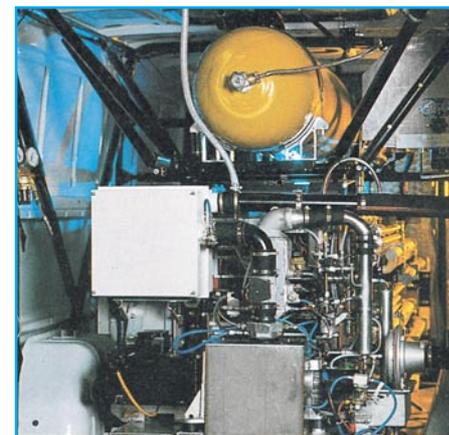


Bild 2: Die erste Generation des NECAR-Brennstoffzellenantriebs nahm noch den gesamten Laderaum eines 3,5-Tonnners ein. Oben der Wasserstofftank, darunter die Brennstoffzellenstacks (Foto: Daimler-Benz)

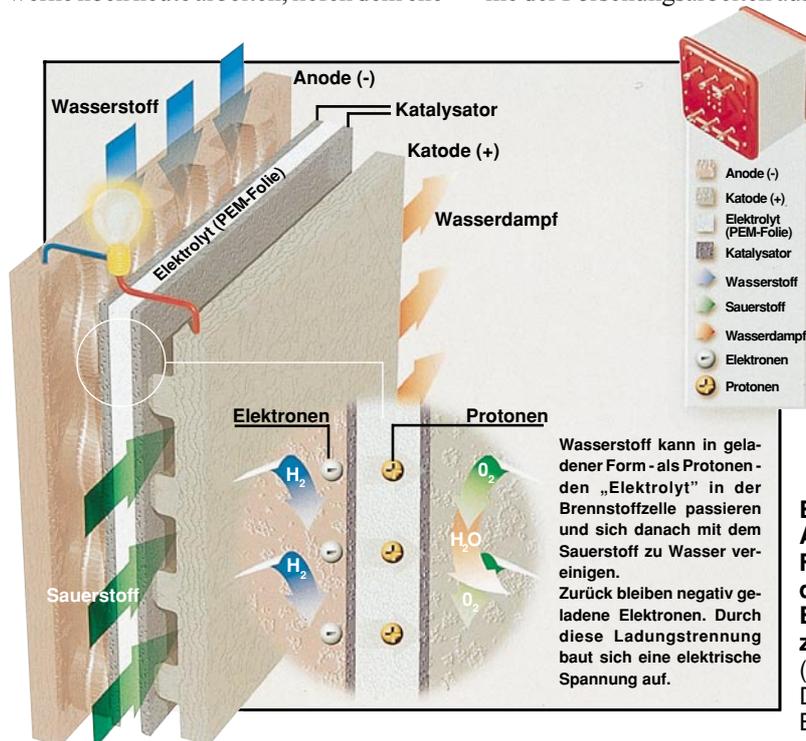
1996 - 250 km am Stück

Beflügelt von diesem ersten Erfolg, forschte man intensiv weiter und konnte nach nur zwei Jahren wiederum die nächste Generation des NECAR, den NECAR II präsentieren. Äußerlich ein Mini-Van der neuen Mercedes-V-Klasse, lediglich ergänzt durch eine Art Dachkoffer, sieht man dem Fahrzeug auch nach einem Blick ins Innere kaum an, daß hier kein herkömmlicher Antrieb werkelt.

Denn das, was im NECAR I noch einen ganzen Transporterraum füllte, hatte man so miniaturisieren können, daß im Fahrzeug bis zu sieben Personen samt Gepäck Platz finden können.

Die Elektronik und die eigentlichen Brennstoffzellen finden quasi unter der hinteren Sitzbank Platz (Abbildungen 3 und 4), der notwendige Wasserstofftank befindet sich, inzwischen durch Kohlefasertechnologie stark gewichtsreduziert, auf dem Fahrzeugdach.

Später wird auch er verschwinden, denn die Forscher arbeiten an einer Technologie der Erzeugung von Wasserstoff aus Methanol. Dann soll sich Äußerlichkeit, Handhabbarkeit und Reichweite eines solchen Fahrzeugs in nichts mehr von heute Geohntem unterscheiden.



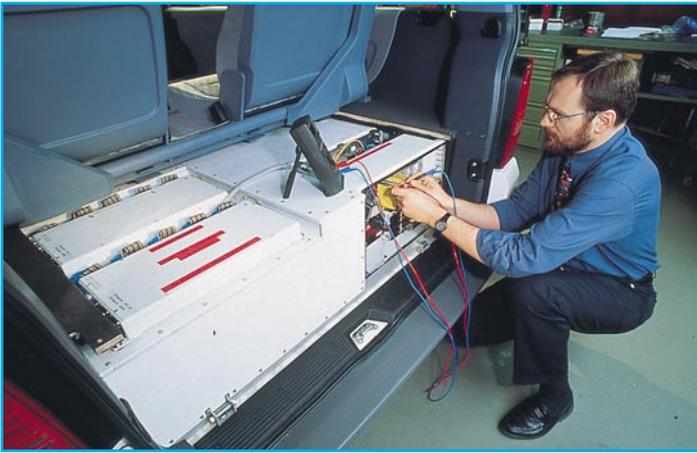


Bild 3: So kompakt ist die heutige Brennstoffzellen-generation realisierbar. Links im Bild die beiden Brennstoffzellenstacks, rechts der Elektronikteil (Foto: Daimler-Benz)

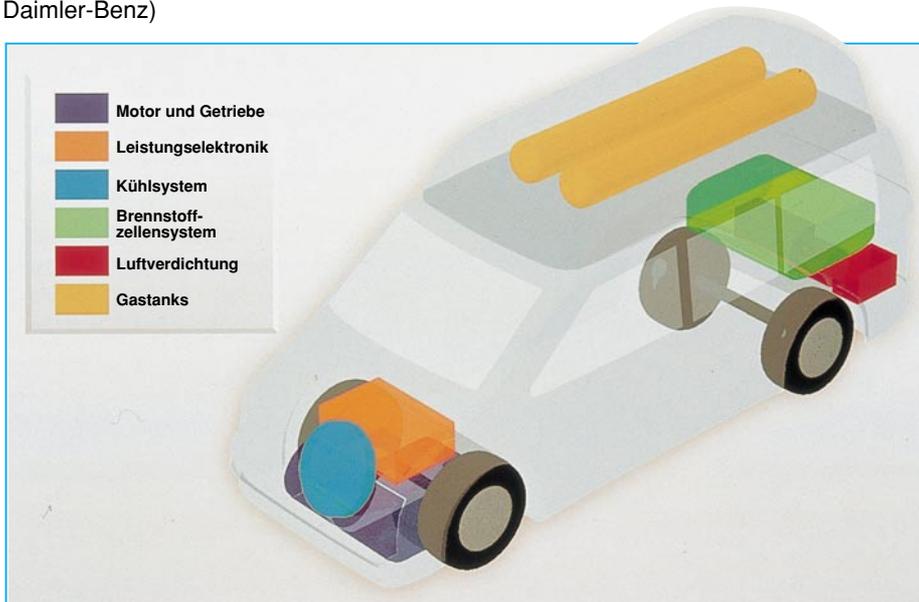


Bild 4: Im NECAR II sind die Antriebskomponenten bereits so untergebracht, daß nahezu der gesamte Innenraum normal nutzbar ist (Grafik: Daimler-Benz)

Die Reichweite soll in der nächsten Fahrzeuggeneration von heute 250 km auf dann 750 km steigen. Um die Leistung der Techniker erfassen zu können, ist es nun daran, sich einmal eingehender mit dem Funktionsprinzip der Brennstoffzelle zu befassen.

Kalte Explosion

Wird ein Gemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff entzündet, so explodiert es. Diese Reaktion gewissermaßen zu verlangsamen und steuerbar zu machen, hat man sich zur Aufgabe bei der Erforschung der Brennstoffzellentechnik gemacht. Eine spezielle Folie, der „Elektrolyt“, trennt beide Gase voneinander und verhindert die „heiße“ Reaktion (siehe auch Abbildung 1). Ein elektrochemischer Vorgang in der hauch-

dünnen Folie läßt nur Protonen, also positiv geladene Wasserstoff-Ionen, passieren. Die Elektronen der Wasserstoff-Atome werden beim Durchgang „abgestreift“ und bleiben zurück. Die Wasserstoff-Ionen reagieren mit den Sauerstoffteilchen auf der anderen Seite.

Durch Elektronenüberschuß auf der Wasserstoffseite und Elektronenmangel auf der Sauerstoffseite des Elektrolyts bilden sich Plus- und Minuspol, an denen elektrische Energie entnommen werden kann. Die Energie für diese „Ladungspumpe“ stammt aus der Reaktion der Wasserstoff- (H_2) mit Sauerstoffteilchen (O_2), bei der neben der elektrischen Energie lediglich reiner Wasserdampf (H_2O) entsteht.

Der Elektrolyt einer solchen „PEM“-Zelle (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) besteht aus einer nur zehntel Millimeter dicken Polymerfolie, die auf beiden Seiten mit einem platinhaltigen Katalysator beschichtet ist. Er unterstützt die Ionisierung des Wasserstoffs sowie die Reaktion der Wasserstoffionen mit dem Sauerstoff. Sogenannte Bipolarplatten schließen die Zelle auf beiden Seiten ab. Sie leiten in einem labyrinthartigen Kanalsystem den Wasserstoff bzw. die Luft an den Katalysatorflächen entlang. Außerdem führen sie die Reaktionswärme ab und stellen die elektrische Verbindung zur Nachbarzelle her.

Durch das Zusammenschalten vieler Zellen in sogenannten Stacks (Abbildung 5) wird die für das Fahren benötigte Energie bereitgestellt. Eine Zelle liefert 0,6 V. Im NECAR II sind 300 solcher Zellen in zwei Stacks hintereinandergeschaltet. Durch intensive Forschungsarbeit konnte man das Gewicht der Zelle von 21 auf 6 kg je Kilowatt Leistung reduzieren.



Bild 5: Deutlich zu sehen: der Aufbau eines Brennstoffzellen-Stacks aus vielen hundert Einzelzellen - hier im Laboraufbau (Foto: Daimler-Benz)

Energie auf den Punkt genau

Durch Regelung der Wasserstoffzufuhr kann die benötigte Energie unmittelbar erzeugt und genau dosiert werden. Daraus resultiert eine sehr kraftvolle und gleichmäßige Leistungsentfaltung bereits aus dem Stand, so daß dem NECAR II (Abbildung 6) volle Leistungsfähigkeit im modernen



Bild 6: Äußerlich nur noch am Dachaufsatz vom normalen Fahrzeug zu unterscheiden - der NECAR II ist voll verkehrstauglich und erreicht bereits 250 km Fahrtstrecke mit einer Wasserstoff-Füllung (Foto: Daimler-Benz)

Verkehr bescheinigt werden kann. Die Spitzengeschwindigkeit liegt bei 110 km/h, die Reichweite beträgt immerhin schon 250 km, womit auch mittlere Reiseentfernungen überbrückbar sind.

Wird man später den Wasserstoff gegen

Methanol austauschen, so ist das Fahrzeug genauso schnell betankbar wie ein herkömmliches. Ein internes Gaserzeugungssystem, „Reformer“ genannt, erzeugt aus dem Methanol im Fahrzeug Wasserstoff. Die Versorgung mit Methanol wäre kein logistisches Problem, sie läßt sich über das Tankstellennetz sicherstellen.

Im Gegensatz zum Wasserstoffbetrieb, der als Rückstandsprodukt nur reines Wasser als „Abgas“ erzeugt, entsteht bei Methanolbetrieb eine relativ geringe Menge Kohlendioxid als Abgas, jedoch keine weiteren Rückstandsprodukte, wie sie der Verbrennungsmotor erzeugt, etwa Stickoxide.

Ein weiterer Vorteil des Brennstoffzellen-Antriebs ist der hohe Wirkungsgrad der Technologie, der weit über allen herkömmlichen Energieerzeugungstechnologien liegt. Die Brennstoffzelle arbeitet nur, wenn Energie tatsächlich benötigt wird, es gibt keinen Selbstentladungseffekt und ähnliche Verluste, wie Wärmeverluste usw. Die entstehende geringe Abwärme (die Niedertemperatur-Brennstoffzelle arbeitet bei einer Temperatur von nur 80°C) wird effektiv zur Fahrzeugheizung genutzt.

Gleichzeitig mit der Reduzierung des Volumens der eigentlichen Brennstoffzelle auf ein Viertel im NECAR II ging auch die Miniaturisierung der Steuerelektronik einher. Was im NECAR noch riesige Elektronik-Einschübe füllte, hat sich im NECAR II auf eine Karte vom Format etwa eines A4-Blattes reduziert. Damit einherging die Weiterentwicklung des Fahrmanagements, so daß das Fahren des NECAR II ganz und gar dem in einem Fahrzeug mit Automatikgetriebe gleicht.

Haushaltsstrom bald aus der Brennstoffzelle?

Der hohe Wirkungsgrad der Brennstoffzellen sowie die minimale oder gar entfallende Emission erschließen dieser Technologie jetzt auch weitere Anwendungsgebiete,

z. B. die der großtechnischen Stromerzeugung. Wir erinnern uns - genau das hatte Sir Grove bereits 1839 vor. Heute wäre es möglich, dezentrale Brennstoffzellen-Kleinkraftwerke unter Nutzung des vorhandenen Erdgasnetzes zur nahezu emissionsfreien Stromerzeugung einzusetzen. Eine erste Pilotanlage läuft bereits erfolgreich im Demonstrationskraftwerk der Solar-Wasserstoff GmbH in Neunburg vorm Wald.

Die Technologie der dort hochleistungsfähigen Schmelzkarbonat-Brennstoffzellen unterscheidet sich von denen der „Fahrzeug-Brennstoffzellen“, sie arbeiten bei ca. 650°C mit geschmolzenen Karbonaten als Elektrolyt.

Sie werden bereits in wenigen Jahren großtechnisch auf den Plan treten. Einen noch höheren Wirkungsgrad weist die Festoxid-Brennstoffzellentechnik auf, die mit Temperaturen von 1000°C arbeitet. Diese hohen Temperaturen bereiten jedoch derzeit noch technische Probleme.

2010 - PKW mit Brennstoffzellen

Doch zurück zur mobilen Technologie. Aufgrund der relativ schnell eingetretenen Anfängerfolge nimmt man an, daß das ursprünglich gesetzte Ziel, in etwa 20 Jahren Entwicklungsarbeit ein marktfähiges Fahrzeug auf die Straße zu stellen, weit unterboten werden kann. So kann es durchaus sein, daß die ersten PKW mit Brennstoffzellenantrieb im 50 kW-Bereich bereits kurz nach der Jahrtausendwende bereitgestellt werden können (Abbildung 7).

Dazu sind im wesentlichen zwei Probleme zu lösen: Zum einen muß das Gesamtsystem noch kleiner werden, so daß es auch in PKWs ohne irgendeinen Komfortverlust installierbar ist. Und zum zweiten müssen die Herstellungskosten noch drastisch sinken. Beide Probleme hält man in nächster Zukunft für lösbar, so daß vielleicht schon 2010 serienmäßige Fahrzeuge verfügbar sind. **ELV**



Bild 7: Die drei Evolutionsstufen des Brennstoffzellenantriebs (Grafik: Daimler-Benz)