



Dr. Frank Frick für bild der wissenschaft, 12/2011, erschienen außerdem in Focus Online am 15.11.2011

Abgasfrei um den Globus

Nach einer werbewirksamen Welttournee plant Daimler die Serienproduktion von Brennstoffzellen-Autos. Doch ob sie eine Zukunft haben, hängt von der Energie- und Klimabilanz des Wasserstoffs im Tank ab.

Bundeskanzlerin Angela Merkel gab den Startschuss zu einer symbolträchtigen 125-tägigen Fahrt um die Welt - 125 Jahre nachdem Carl Benz sein „Fahrzeug mit Gasmotorenbetrieb“ zum Patent angemeldet und somit gleichsam das Auto erfunden hatte. Drei B-Klasse-Mercedes F-Cell (für „Fuel Cell“, Brennstoffzelle) bewältigten rund 30 000 Kilometer durch 14 Länder und 4 Kontinente, ständig begleitet von einer Art mobiler Wasserstoff-Tankstelle und einem Kamerateam. Mit dabei war auch der freie Autojournalist Markus Stier, dessen Erlebnisse Interessierte stets brandaktuell in einem Internet-Blog verfolgen konnten. Nebenbei wies Stier als echter Sympathieträger auch die stetig wechselnden mitfahrenden Journalistenkollegen ein. Die konnten sich davon überzeugen, dass die Brennstoffzellen-Prototypen ähnlich leistungsfähig und alltagstauglich sind wie ein normales Auto. Umstellen muss man sich beim Fahren kaum: Auffällig ist allenfalls, dass der Start des Motors von keinerlei Geräusch begleitet ist.

Bei der Ankunft in Stuttgart am 1. Juni 2011 schließlich warteten Dutzende Fotografen, Daimler-Vorstandschef Dieter Zetsche und Hunderte jubelnde Daimler-Mitarbeiter. Eines ist sicher: Die Marketingexperten, Werbestrategen und Pressesprecher des Konzerns hatten sich mächtig und äußerst professionell für den Brennstoffzellen-Antrieb ins Zeug gelegt. Auf der anschließenden Pressekonferenz zeigte sich Daimler-Forschungsvorstand Thomas Weber überzeugt: „Wir stehen vor der zweiten Revolution der Mobilität.“ Er kündigte an, die Serienfertigung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen um ein Jahr von 2015 auf 2014 vorzuziehen.

Zetsche hatte für die Medienvertreter noch eine zweite Neuigkeit: Gemeinsam mit dem Unternehmen Linde werde Daimler in Deutschland 20 öffentliche Wasserstoff-Tankstellen aufbauen. Das Informationsmaterial für die Journalisten enthielt eine Broschüre mit dem Titel „B-Klasse F-Cell. Emissionsfrei mit Elektroantrieb und Brennstoffzelle“ und Überschriften wie

„Auch wenn Sie fahren, bringen Sie den Umweltschutz voran“ und „Autofahren mit Wasserstoff. Freiheit und Unabhängigkeit“.

Die Zelle fürs grüne Image

Axel Friedrich, freier Verkehrsberater und früherer Abteilungsleiter „Umwelt, Verkehr, Lärm“ im Umweltbundesamt, ist überzeugt, die Beweggründe für das Engagement des Daimler-Konzerns zu kennen: „Es geht darum, sich ein umweltfreundliches Image zu verschaffen.“ Während Toyota mit dem Hybridantrieb und Audi mit dem Aluminium-Leichtbau erfolgreich sind, versuche es Daimler mit dem Brennstoffzellen-Antrieb. „Bekannt ist, dass ein positives Image durch ein Projekt oder Modell auf alle anderen Modelle des jeweiligen Herstellers abfärbt“, sagt Friedrich. Mit anderen Worten: Autos mit herkömmlichem Verbrennungsmotor - selbst die Spritfresser unter ihnen - werden häufiger verkauft, wenn der Hersteller glaubhaft machen kann, dass er sich um Umwelt und Klima bemüht.

Hinzu kommt laut Friedrich noch ein anderer, weniger offensichtlicher Aspekt: Spezielle Agenturen erstellen Öko-Ratings. Darin werden Unternehmen danach eingestuft, wie sie die Umweltbelastungen zu senken versuchen, die von ihren Produkten und Dienstleistungen ausgehen. Die Ergebnisse solcher Öko-Ratings wirken sich beispielsweise auf die Aktienkurse aus. Denn immer mehr Investoren sind davon überzeugt, dass Unternehmen langfristig vor allem dann erfolgreich sind, wenn sie auf Umweltschutz und Nachhaltigkeit Wert legen. „Selbstverständlich fließt das Engagement für alternative Antriebe in solche Öko-Ratings ein“, sagt Friedrich.

Kein Feinstaub aus dem Auspuff

Nun kann es niemand einem Autokonzern übel nehmen, wenn er das bekannte Motto „Tue Gutes und rede darüber“ beherzigt und dazu wie Daimler einen „F-Cell World Drive“ in Szene setzt. Doch die Frage lautet: Wie gut - hier: umwelt- und klimafreundlich - ist der Brennstoffzellen-Antrieb wirklich? Auf jeden Fall ist es irreführend, ihn ohne Einschränkung als „emissionsfrei“ zu bezeichnen. Zwar stößt das Brennstoffzellen-Auto selbst weder klimaschädigendes CO₂ noch Feinstaubpartikel, Stickstoffoxide oder sonstige umwelt- und gesundheitsbelastende Abgase aus. Doch der Wasserstoff, den das Auto tankt, ist kein Primärenergieträger, der sich abbauen oder fördern lässt, sondern muss hergestellt werden. Und weil dafür Energie benötigt wird, die heute zumindest noch zum Teil aus Erdgas oder Kohle stammt, ist die Wasserstoff-Produktion mit Emissionen verbunden. Hinzu kommt der Energieverbrauch für Lagerung und Transport des Wasserstoffs. Somit werden Umwelt und Klima durch das Fahren mit einem Brennstoffzellen-Auto durchaus belastet - wenn auch nicht an Ort und Stelle. „Ehrlich wäre es deshalb, die Fahrzeuge Anderswo-Emissions-Fahrzeuge zu nennen“, sagt Friedrich. Gebräuchlich ist die Bezeichnung „lokal emissionsfreier Antrieb“ - eine durchaus faire Formulierung, auch wenn man davon ausgehen kann, dass mancher das Wörtchen „lokal“ einfach überliest oder überhört.

Saubere Luft für die Städte

Dass die Brennstoffzellen-Autos selbst keine Stickoxide ausstoßen, die gesundheitsschädlich sind und die Smog- sowie Ozonbildung ankurbeln, führt lokal zu heiteren Aussichten: Vor allem Städte und Ballungsgebiete könnten davon profitieren. Doch dieser Vorteil wird überschätzt, findet Friedrich: „Die Abgase von Pkw mit herkömmlichem Ottomotor, die die Norm Euro 5 erfüllen, sind häufig sauberer als die angesaugte Luft. Dies gilt ab 2014 mit der Norm Euro 6

auch für Diesel-Neuwagen.“ Tatsächlich kann es passieren, dass die aus dem Auto-Auspuff gepustete Luft sauberer ist als die in der Umgebung - nämlich dort, wo Industrie und Verkehr für eine starke Luftverschmutzung sorgen.

Doch das ändert nichts an der Tatsache, dass auch die modernsten Verbrennungsmotoren Stickoxide und andere Schadstoffe ausstoßen. In Sachen CO₂-Emission führt der Perspektivwechsel vom Blick vor Ort zur deutschlandweiten oder gar globalen Sicht unweigerlich zur Frage, mit wie viel Treibhausgas die Atmosphäre durch jeden Kilometer belastet wird, der mit einem Brennstoffzellen-Auto gefahren wird. Fachleute bezeichnen solche Rechnungen als „Well-to-Wheel“-Analysen. Berücksichtigt wird darin die ganze Kette der energetischen und stofflichen Umwandlungen vom Bohrloch bis zum Reifen. Nach einer solchen Analyse kommt Daimler für seine F-Cell B-Klasse zum Ergebnis, dass für jeden gefahrenen Kilometer 129 Gramm CO₂ anzusetzen sind, wenn der Wasserstoff nach einem bestimmten Verfahren - der „Dampfreformierung“ - aus Erdgas gewonnen wird. Zum Vergleich: Ein Mercedes B 160 BlueEfficiency mit herkömmlichem Benzinmotor und einem Verbrauch von rund 6,5 Litern auf 100 Kilometern stößt 150 Gramm Treibhausgas pro Kilometer aus. Dazu kommen etwa 10 bis 15 Prozent durch die „Vorkette“, also zum Beispiel die Spritproduktion. Somit ergibt sich ein leichtes Klimaplus für die Brennstoffzellen-Variante gegenüber dem Benzin.

Minuspunkte für Elektrolyse

Doch es schlägt ins Minus um, wenn der Wasserstoff nicht aus Erdgas, sondern durch Elektrolyse von Wasser mittels Strom hergestellt wird. „Handelt es sich dabei um Strom, wie er in Deutschland aus der Steckdose kommt, so ergibt die Well-to-Wheel-Analyse, dass ein Brennstoffzellen-Auto pro gefahrenen Kilometer für rund 180 Gramm CO₂-Ausstoß verantwortlich ist“, sagt Martin Wietschel vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, der an mehreren Studien rund um den Wasserstoff als Energieträger maßgeblich beteiligt war. Das Beispiel zeigt, dass die scheinbar eindeutigen Resultate von Well-to-Wheel-Analysen vom konkreten Produktionsverfahren des Wasserstoffs abhängen - und außerdem von Annahmen über die Transportwege und ähnlichem.

Christian Mohrdieck, Leiter Entwicklung Brennstoffzellen- und Batterie-Antrieb bei Daimler, weist darauf hin, dass bislang 75 Prozent der Wasserstoff-Weltproduktion aus Erdgas gewonnen werden und nur ein sehr kleiner Teil durch Elektrolyse. Im Übrigen soll der Wasserstoff für die angekündigten 20 Tankstellen aus Rohglycerin hergestellt werden. Linde hat das Verfahren dazu entwickelt und bezeichnet den resultierenden Wasserstoff als „grün“, denn das Rohglycerin ist ein Nebenprodukt der Biodiesel-Produktion. Eine Well-to-Wheel-Analyse hat Daimler in Auftrag gegeben, Ergebnisse liegen noch nicht vor.

Konkurrenz zur Batterie

Angesichts der recht ernüchternden Klimabilanz ist der Brennstoffzellen-Antrieb vor allem eine Investition für die Zukunft. „Wichtig ist festzuhalten, dass der Wasserstoff perspektivisch mit Energie aus regenerativen Quellen hergestellt werden kann und sollte“, sagt Mohrdieck. Die Vision: Ließe sich der gesamte deutsche Strom aus Wind, Sonne und Co erzeugen, würde das Brennstoffzellen-Auto tatsächlich zum Nullemissionsfahrzeug. Allerdings steht es hier nicht alleine da: Ohne die Atmosphäre mit Treibhausgas zu belasten, können auch Elektro-Autos fahren, die ihre Energie nicht in Form von Wasserstoff an Bord haben, sondern komplett in Batterien gespeichert.

Die Vision vom Energie-Paradies haben alle, doch der Weg dorthin ist umstritten. Denn die Klimabilanz von Brennstoffzellen- und Batterie-Auto ändert sich, wenn sich die Energieversorgung ändert - und wie die 2020, 2030 oder gar 2050 aussehen wird, darüber gibt es zwar Absichtserklärungen, aber keine Gewissheit.

Große Bandbreite beim CO₂

Zumindest zwei Pflöcke lassen sich auf diesem unsicheren Gelände einschlagen. Der erste: Sollte sich die Energieversorgung bis 2030 so umkrempeln lassen, wie es die deutsche Politik wünscht und plant, so wird die Klimabilanz von Brennstoffzellen-Autos deutlich besser ausfallen als heute. Fraunhofer-Wissenschaftler Wietschel hat zusammen mit Experten der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH in Ottobrunn bei München durch umfangreiche Berechnungen ermittelt, dass ein Brennstoffzellen-Mittelklasse-Pkw dann pro gefahrenen Kilometer für 3 bis 97 Gramm CO₂-Emissionen verantwortlich ist. 97 Gramm fallen an, falls er mittels dem dann üblichen Strom aus der Steckdose produziert wird. Nur 3 Gramm werden emittiert, wenn der getankte Flüssigwasserstoff elektrolytisch durch Strom aus Windkraft hergestellt wird. Diese große Spanne lässt viel Raum für die Diskussion, wie stark das Klima vom Brennstoffzellen-Auto profitieren würde. Jedenfalls sollte man den extrem niedrigen Wert von 3 Gramm CO₂ pro Kilometer keinesfalls zum alleinigen Maßstab machen.

Denn der Windstrom, der zur Wasserstoff-Produktion eingesetzt werden muss, wird auch 2030 nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen. Darauf weist auch Axel Friedrich hin, wenn er sagt: „Es wäre ökologisch und ökonomisch widersinnig, erneuerbaren Strom für den Betrieb von Batterie- und Brennstoffzellen-Fahrzeugen zu verwenden und die Nutzung dieses Ökostroms in anderen Sektoren zu verringern, obwohl dort die CO₂-Reduzierung je bereitgestellter Kilowattstunde höher und insgesamt kostengünstiger erreichbar wäre.“ Andererseits eröffnet gerade die Produktion von Wasserstoff die Möglichkeit, Strom zu speichern, der in windreichen Stunden im Überschuss produziert wird.

Der zweite Pflöck der Gewissheit ist der Gesamtwirkungsgrad der Fahr Fahrzeuge - der Anteil, der aus Erdgas, Wind oder sonstigen Quellen stammenden Energie, den das Auto tatsächlich zur Fortbewegung nutzt. „Wenn gleiche Energieträger verwendet werden, schneidet das Brennstoffzellen- Auto beim Gesamtwirkungsgrad immer schlechter ab als das Batterie-Auto“, sagt Fraunhofer-Experte Wietschel. Der Grund: Die Kette der nötigen Energieumwandlungen von der Energiequelle bis zum Autoantrieb umfasst viele Schritte, die alle mit Verlusten verbunden sind. Und das bedeutet, dass auch die CO₂-Bilanz beim Brennstoffzellen-Auto ungünstiger ausfällt.

Setzt Daimler also auf das falsche Pferd? Keineswegs, ist Daimler-Entwickler Christian Mohrdieck überzeugt: „Hauptgründe für Elektrofahrzeuge mit Brennstoffzelle sind vor allem, dass den Kunden aus heutiger Sicht nur mit dieser Technologie Fahrzeuge angeboten werden können, mit denen sich die bisherigen Nutzungsgewohnheiten nahezu 1 zu 1 abdecken lassen. Dies gilt für die Reichweite, kurze Betankungszeiten, Fahrdynamik und Fahrkomfort.“ Fast alle Experten sind sich einig: Auch in den nächsten 15 Jahren wird man keine Batterien entwickeln können, die es mittelgroßen Pkw ermöglichen, deutlich über 150 Kilometer weit zu fahren, ohne die Batterien zeitaufwendig aufladen zu müssen. Wietschel pflichtet Mohrdieck bei: „Batterie-Fahrzeuge wären zwar aus Sicht des Klimaschutzes gegenüber Brennstoffzellen-Autos die bessere Lösung, doch die heutigen Reiselimousinen können sie - anders als Brennstoffzellen-Autos - nicht ersetzen.“

Teures Tankstellennetz

Auch das häufig vorgebrachte Argument, dass Batterie-Autos im Gegensatz zu Fahrzeugen mit Brennstoffzelle kein flächendeckendes Netz von Wasserstoff-Tankstellen benötigen, lässt man bei Daimler nicht gelten. Zwar ist der Aufbau dieser Infrastruktur teuer und vor allem bei anfänglich mangelnder Nachfrage eine wenig lukrative Investition - doch die Installation von genügend öffentlichen Strom-Zapfsäulen für Elektroautos mit Batterie würde etwa genauso viel kosten, schätzen die Experten des Stuttgarter Automobilbauers.

Andererseits weisen die Anhänger von Batterie-Autos auf Untersuchungen hin, nach denen rund 90 Prozent aller Fahrten in Deutschland maximal 30 Kilometer weit sind. Und man sitzt meist allein im Auto. Daher würden fast immer leichte ein- oder zweisitzige Fahrzeuge genügen, die eine verhältnismäßig große Reichweite haben, auch wenn sie mit Batterien betrieben werden. Doch nach dieser Logik müssten schon heute vor allem Kleinfahrzeuge à la Smart über die Straßen rollen. Zumindest bislang entscheiden sich die Menschen offensichtlich eher für ein Auto, mit dem sie sowohl zur Arbeit als auch in Urlaub fahren können - und das auch für Ikea-Transporte taugt.

Der Brennstoffzellen-Antrieb ermöglicht das. Da er - anders als die batterie-elektrische Technologie - auch für größere Fahrzeuge wie Minivans, Transporter und Busse geeignet ist, profitiert von seiner Entwicklung eine große Modellpalette. Autohersteller freut das. „Wo immer es geht, nutzen wir Synergien zwischen Pkw und Nutzfahrzeugen“, heißt es in der Daimler-Broschüre „Die Elektrifizierung des Antriebs“.

Die gewohnte Pkw-Reichweite lässt sich allerdings nicht nur mit Brennstoffzelle und Wasserstoff erzielen, sondern auch mit Batterie-Fahrzeugen, bei denen der Elektromotor als Hauptantrieb mit einem Verbrennungsmotor kombiniert ist. „Solche Hybrid-Autos mit der Möglichkeit, sie über das Stromnetz nachzuladen, werden die wahre Konkurrenz für Brennstoffzellen-Autos sein“, ist Martin Wietschel überzeugt.

Das Nullemissionsparadies lässt sich mit ihnen nicht erreichen - doch in der realen Welt der nächsten Jahrzehnte belasten solche Fahrzeuge das Klima nicht unbedingt mehr als Wasserstoff-Autos. „Wer das Rennen machen wird, ist noch offen“, sagt Wietschel. Zur „zweiten Revolution der Mobilität“ des Daimler-Forschungsvorstandes Weber gibt es also durchaus Alternativen. Und diese laufen in den nächsten Jahren nicht so deutlich hinterher, wie einst die Pferde hinter den Autos nach der ersten Revolution der Mobilität. Das ist sicher auch ein Grund für den enormen Werbeaufwand des F-Cell World Drive.