

Retten Brennstoffzellen die Mobilität?

Der herkömmliche Verbrennungsmotor steckt in der Krise: Er muss sich künftig nicht nur das Qualmen, sondern auch das Schlucken von Treibstoffen auf der Basis billigen Erdöls abgewöhnen.

Ständig steigende Preise signalisieren: Das Erdölzeitalter geht zu Ende, die Vorräte reichen nur noch für begrenzte Zeit. Zudem verschärft der Gesetzgeber – um die wachsende Verschmutzung der Luft vor allem mit dem „Treibhausgas“ Kohlendioxid einzudämmen – immer weiter die Auflagen für den Betrieb von Kraftfahrzeugen. Wahrscheinlich werden schon in naher Zukunft eine erhebliche Zahl von Autos neu zugelassen, die überhaupt keine Schadstoffe mehr ausstoßen, also „null Emissionen“ haben.

Als aussichtsreichste Alternative zu Otto- und Dieselmotoren gelten derzeit Brennstoffzellen. Durch „kalte“ Verbrennung erzeugen sie mit konkurrenzlos großer Wirksamkeit elektrischen Strom für einen Elektromotor als Fahrzeugantrieb. Nahezu alle Hersteller bisheriger Kraftfahrzeuge haben jedenfalls angekündigt: Bis zum Jahr 2004 sollen erste, kleine Serien von Autos mit Brennstoffzellen auf den Straßen rollen, vom Jahr 2010 an die Massenproduktion anlaufen.

Doch auch Brennstoffzellen-Autos müssen von Zeit zu Zeit an die Tankstelle. Dort sollte es in Zukunft – und darüber herrscht unter allen Beteiligten Einigkeit – eigentlich nur noch eine Sorte Kraftstoff geben: Wasserstoff. Schon jetzt wird Wasserstoff in herkömmlichen, geringfügig verän-

dernten Automotoren eingesetzt – und demonstriert dabei überzeugend seinen größten Vorteil: Bei der Verbrennung, gleichgültig ob heiß oder „kalt“, entstehen außer harmlosem Wasserdampf keine Abgase.

Allerdings ist der „Treibstoff der Zukunft“ vorerst nicht alltagstauglich: Die Infrastruktur fehlt nahezu vollständig. Etwa 15 000 Tankstellen gibt es in Deutschland, doch nur an weniger als einem halben Dutzend kann bisher Wasserstoff gezapft werden. Daran dürfte sich so schnell nichts ändern. Denn die Erzeugung von Wasserstoff der notwendigen Reinheit – etwa über das Zerlegen von gewöhnlichem Wasser durch Elektrolyse – erfordert sehr viel Aufwand an Energie und ist dementsprechend teuer.

GERINGE ENERGIEDICHTE BEIM WASSERSTOFF

Der entscheidende Nachteil von Wasserstoff besteht jedoch in seiner Speicherung: Sie ist, ob gasförmig oder flüssig, technisch kompliziert. Wegen seiner – bezogen auf das Volumen – geringen Energiedichte muss das dünne Gas entweder durch Druck verdichtet oder zum Verflüssigen auf minus 253 Grad Celsius gekühlt werden. Trotzdem beansprucht der Tank für Wasserstoff immer noch verhältnismäßig viel Platz im Fahrzeug, will man ähnliche

Reichweiten wie mit Benzin erzielen. Und Verbesserungen der Direktspeicherung von Wasserstoff sind derzeit nicht in Sicht. Wasserstoff ist zudem hochexplosiv und muss daher auch bei Unfällen sicher vom Kontakt mit Luft ausgeschlossen werden.

Gleichwohl zeichnet sich eine Zwischenlösung auf dem Weg zu künftigen „Null-Emissions-Motoren“ ab: Mit einem als „Reformierung“ bezeichneten chemischen Prozess ist es möglich, an Bord von Fahrzeugen den für den Betrieb von Brennstoffzellen notwendigen Wasserstoff freizusetzen – aus bisher verwendeten, flüssigen Treibstoffen. Das kann Methanol sein, aber ebenso Benzin, wenn auch nur in besonders sauberer, nahezu schwefelfreier Form.

Allerdings: Noch fehlen geeignete Katalysatoren, die auch unter den harten Bedingungen des Straßenverkehrs bei unterschiedlichen Belastungen den Wasserstoff in ausreichender Menge und Qualität für die Brennstoffzellen liefern.

Diese Herausforderung haben jetzt Grundlagenforscher aus insgesamt vier Max-Planck-Instituten angenommen: Gemeinsam untersuchen sie zum ersten Mal mit Methoden der Nanochemie hergestellte, neuartige Katalysatoren aus Kupfer auf ihre Wirksamkeit bei der Methanol-Reformierung. Im Rahmen des neuen MPG-Förderprogramms „instituts-

übergreifende Forschungsinitiativen“ arbeiten unter Federführung von

► Prof. Robert Schlögl, Abteilung Anorganische Chemie des Fritz-Haber-Instituts der MPG, Berlin,

► Prof. Markus Antonietti, Abteilung Kolloidchemie am MPI für Kolloid- und Grenzflächenforschung, Göltingen, Göttingen,

► Prof. Ferdi Schüth, Abteilung Heterogene Katalyse am MPI für Kohlenforschung, Mülheim, und

► Prof. Michael Baenitz/Prof. Frank Steglich des Forschungsbereichs Festkörperphysik am MPI für chemische Physik fester Stoffe, Dresden, bei dem Projekt „Nanochemie für eine zukünftige Automobiltechnik: Möglichkeiten der Optimierung von kupferbasierten Katalysatoren für die on-board-Gewinnung von Wasserstoff aus Methanol“ zusammen. Als ihr erstes naturwissenschaftliches Projekt fördert die Zeit-Stiftung, Hamburg, dieses Forschungsvorhaben seit Anfang dieses Jahres über einen Zeitraum von drei

Jahren mit 1,44 Millionen Mark (siehe auch Bericht über andere institutsübergreifende MPG-Forschungsinitiativen auf den Seiten 87/88 in diesem Heft).

METHANOL-ROUTE VIEL ÜBERSICHTLICHER

„Die Ziele dieses Projekts sind derart anspruchsvoll, dass keine Abteilung allein über die notwendige, extrem breite und tiefe Kompetenz verfügt, alle Aspekte des Problems gleichmäßig professionell zu bearbeiten“, sagt Prof. Schlögl. Auch deshalb „haben wir uns für die Methanolroute als Quelle für Wasserstoff entschieden, da sie chemisch wesentlich übersichtlicher als die Benzin-Reformierung ist, nachweisbar bereits funktioniert und auch industriell stark favorisiert wird.“

Das geringste Problem bereitet die ausreichende Versorgung mit Methanol. Die chemische Industrie kann auf der Basis heutiger Technologie genügend Produktionskapazitäten

bereitstellen, die größten Mengen werden aus Erdgas gewonnen. Doch auch aus Kohle, Biomasse oder Abfällen kann – daher sein Name – „Holzgeist“ hergestellt werden. Allerdings ist Methanol ebenso wie Benzin eine giftige und korrosive Flüssigkeit. Das erfordert Vorkehrungen beziehungsweise Umrüstungen beim Tanksystem, aber auch den Austausch von manchen Beschichtungsmaterialien oder Teilen aus Aluminium: Sie werden vom Methanol angegriffen.

Wegen seiner einfachen chemischen Struktur – als einfachster Alkohol enthält das Methanol-Molekül (CH₃OH) außer Sauerstoff und Wasserstoff nur ein einziges Kohlenstoffatom – lässt sich Methanol leichter in seine Bestandteile zerlegen als beispielsweise Benzin mit seinen langen Kohlenstoffketten. Die Me-

Mit einem „Go-Cart“ testen DaimlerChrysler-Forscher schon jetzt Brennstoffzellen, die direkt aus der Reaktion von Methanol mit dem Sauerstoff der Luft elektrischen Strom für den Antrieb erzeugen.

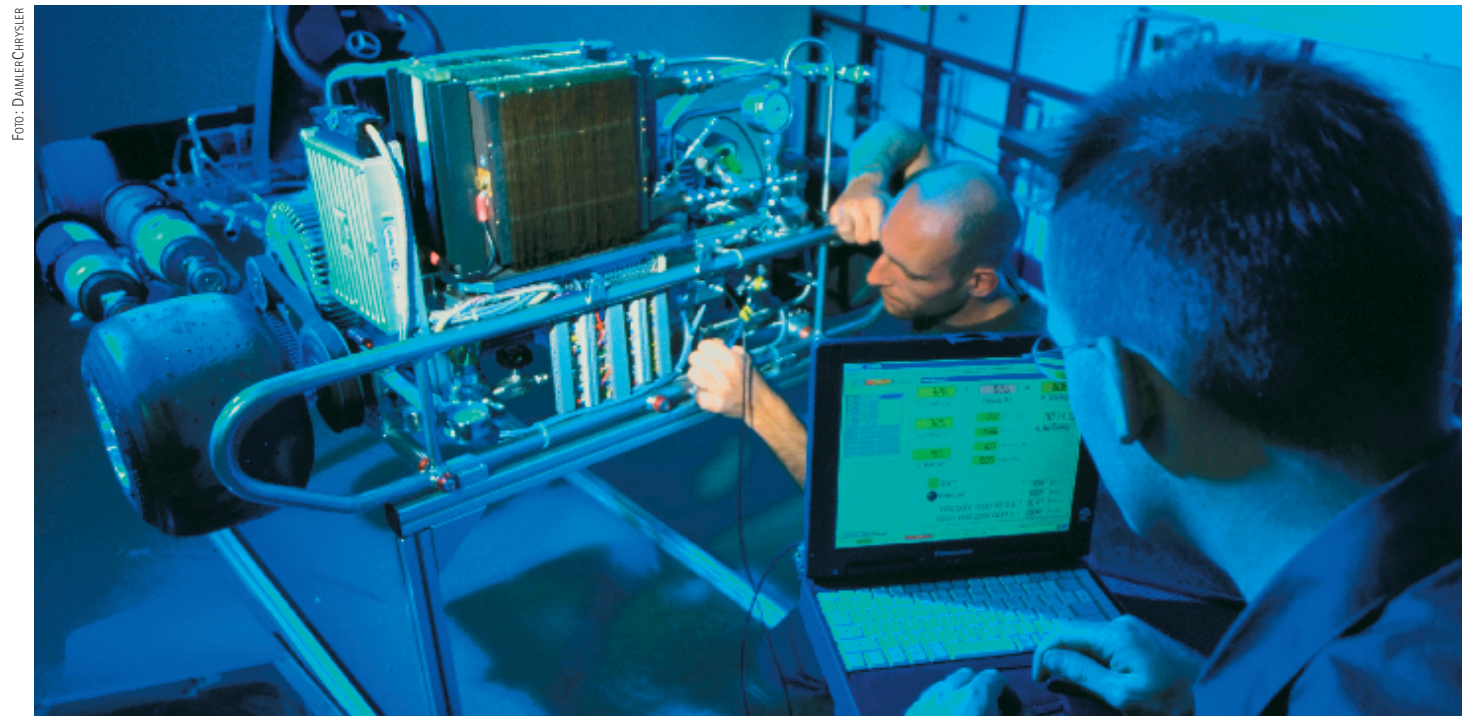


Foto: DaimlerChrysler



Doppelt so großer Wirkungsgrad wie ein Otto-Motor ...



FOTOS: DAMLER/CHRYSLER

mit „Holzgeist“ im Tank: Direktmethanol-Brennstoffzelle.

thanol-Reformierung ist deshalb technisch weniger aufwändig, sie lässt sich in der Praxis einfach verwirklichen, wenn man den chemischen Herstellungsprozess – die Synthese – von Methanol im umgekehrten Richtung ablaufen lässt. Doch da zeigt sich der Pferdefuß: Gleichzeitig mit dem Wasserstoff wird auch Kohlenmonoxid freigesetzt. Das ist ein extremes, schon in geringsten Konzentrationen wirksames „Gift“ für Brennstoffzellen und macht sie funktionsuntüchtig.

Zwar besteht grundsätzlich die Möglichkeit einer „chemischen Nachreinigung“, beispielsweise durch selektive Oxidation des Kohlenmonoxids. Doch viel besser wäre es, zu verhindern, dass Kohlenmonoxid überhaupt entsteht. Als Ursache für die „Vergiftung“ haben die Wissenschaftler „Unzulänglichkeiten“, wie etwa geringe mechanische oder chemische Stabilität des bei der Wasserdampf-Formierung von Methanol bisher verwendeten Katalysators aus Kupfer/ Zink-Oxid festgestellt. Nur durch den vollständigen Verzicht auf Zinkoxid kann die Wirkung grundsätzlich verbessert werden.

Die im MPG-Verbundprojekt vereinten Forscher haben sich deshalb zum Traum-Ziel gesetzt, einen Herstellungsprozess zu entwickeln, mit dem möglichst einheitlich strukturierte, nur wenige Nanometer (= Millionstel Millimeter) kleine Kupferpartikel erzeugt werden können, die außerdem maximale Aktivität zeigen und dabei auch noch stabil bleiben. Bei Untersuchungen hat sich nämlich herausgestellt, dass nicht nur die Größe der Teilchen, sondern auch eine bestimmte Form für die Wirkung entscheidend ist. Schlögl: „Gelänge der Nachweis, dass eine gezielte Na-

nostrukturierung eine unabhängige Optimierung von Form und Größe der Teilchen der aktiven Komponente ermöglicht, wäre das ein Durchbruch für die Katalysatorforschung.“

Doch noch weitere Fragen wollen die bei der MPG-Forschungsinitiative „Nanochemie für eine zukünftige Automobiltechnik“ kooperierenden MPG-Wissenschaftler klären:

- ▶ Gibt es einen Katalysator, der Methanol ohne Bildung von Kohlenmonoxid bei technisch sinnvollen Bedingungen spalten kann?
- ▶ Sind nanokristalline Kupferteilchen dafür geeignet?
- ▶ Wie stellt man stabile Proben auf technisch relevantem Weg her?
- ▶ Was ist der richtige Reaktor für ein Auto?

Übertriebene Erwartungen auf schnelle Erfolge bei der Methanol-Reformierung für Brennstoffzellen dämpft Prof. Schlögl: „Das Projekt soll Anstöße zur Entwicklung neuer Technologien vermitteln. Es kann diese Entwicklung weder leisten noch deren Planung vorwegnehmen. Im günstigsten Fall werden die Ergebnisse Grundlagen sein können, um eine industriell begleitete oder gar geführte Entwicklung in Gang zu setzen.“

EUGEN HINTSCHES

Eine kurze Geschichte der Brennstoffzellen

Die Brennstoffzelle ist keine neue Technologie. Bereits im Jahr 1839 fand Sir William Grove das Prinzip, in Umkehrung der Elektrolyse aus Wasserstoff und Sauerstoff Strom zu erzeugen. Doch diese Technik konnte sich nicht gegen den Explosionsmotor, Dampfmaschinen und später Dampfturbinen in der Erzeugung mechanischer und elektrischer Energie durchsetzen. In den sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts entdeckte die amerikanische NASA Brennstoffzellen als ideales Bordkraftwerk für Raumschiffe. Die Zellen sind kompakt und emittieren bei Wasserstoffbetrieb reines Wasser, das als Trinkwasser für die Astronauten verwendet werden kann. Die ersten Brennstoffzellen wurden in Gemini-Kapseln eingesetzt. In den heutigen Space Shuttles sorgen drei Brennstoffzellenmodule für maximal 12 Kilowatt Leistung – für das Trinkwasser und die Kühlung des Raumschiffs.

Seit gut 30 Jahren arbeiten immer mehr Wissenschaftler an „terrestrischen“ Anwendungen der Brennstoffzelle. Pioniere konstruierten schon in den sechziger Jahren erste Brennstoffzellen-Vehikel. In den achtziger und neunziger Jahren wurden in Europa und den USA viele Kleinkraftwerke als stationäre Testanlagen gebaut, hinzu kommt eine wachsende Flotte von Prototypen für Nutz- und Personenfahr-

zeuge. Seit einigen Jahren entwickeln die Ingenieure miniaturisierte Brennstoffzellen, die auf einen Mikrochip passen und beispielsweise in Laptops oder Handys eingesetzt werden können.

Auch in der Max-Planck-Gesellschaft hat die Forschung an Brennstoffzellen eine lange Tradition. Franz Fischer beispielsweise, der erste Direktor des Mülheimer „Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung“ (heute: Max-

Planck-Institut für Kohlenforschung) hielt am 30. Mai 1921 auf der Jahresversammlung Deutscher Elektrochemiker einen bemerkenswerten Vortrag.

Der bekannte Elektrochemiker bezeichnete in diesem Vortrag die „elektrochemische Verbrennung [von Kohle] unter Stromerzeugung...“ als eines der Hauptarbeitsgebiete seines Instituts. Dazu skizzierte Fischer ein technisches Verfahren, in dem aus Kohle in einem mehrstufigen Prozess elektrische Energie gewonnen werden sollte. Die letzte Stufe war eine Brennstoffzelle, die aus Gas schließlich Strom produzieren sollte. Das Verfahren wurde zwar nie verwirklicht, aber an der Brennstoffzelle wurde damals bereits in Mülheim geforscht.

So stellte sich 1921 der Elektrochemiker Franz Fischer die Erzeugung von Strom aus Kohle mittels einer Brennstoffzelle vor.

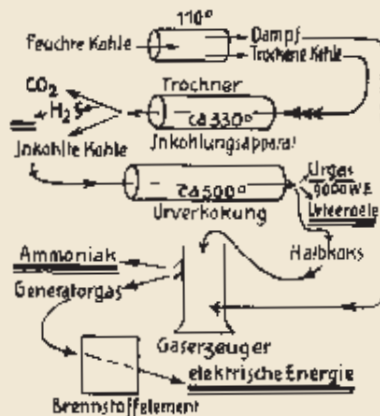


Abb.: MAHREDE RASCH, VORGESCHICHTE UND GRÜNDUNG DES KAISER-WILHELM-INSTITUTS FÜR KOHLENFORSCHUNG IN MÜLHEIM A. D. RUHR, S. 93.