

Brennstoffzellen für besondere Einsatzbedingungen

Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld, Dipl.-Ing. Oliver Braune, Dipl.-Ing. Axel Weißenborn, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Kunz, Prof. Dr.-Ing. Thomas Turek, Dipl.-Ing. Miriam Niemann, Dipl.-Ing. Hannes Lehmann

Der Einsatz von elektrischen Geräten jeglicher Art nimmt in den heutigen Industriegesellschaften ständig zu. Dabei stellt die Stromversorgung transportabler, mobiler aber auch stationärer Geräte überall dort, wo ein Anschluss an das elektrische Netz nicht möglich ist, eine große Herausforderung dar. Neben den etablierten Energiespeichern wie Akkumulatoren und Batterien wird nach Alternativen gesucht, die eine Stromversorgung einfach, lange und zuverlässig ermöglichen. Zu den aussichtsreichsten Entwicklungen zählen die Direkt-Methanol-Brennstoffzellen (DMFC – Direct methanol fuel cell).

Funktionsprinzip

In einer DMFC wird in zwei durch eine feste Elektrolytmembran getrennten Halbzellen ein Methanol-

Wasser-Gemisch sowie Luftsauerstoff umgesetzt. An der Anode wird Wasser und Methanol in Kohlendioxid, sowie Protonen und Elektronen aufgespalten. Das Kohlendioxid verlässt die Brennstoffzelle, wohingegen die Protonen durch die Elektrolytmembran und die Elektronen über den äußeren Stromkreis zur Kathode geleitet werden. Die über den äußeren Stromkreis fließenden Elektronen können zum Betrieb eines elektrischen Verbrauchers genutzt werden. An der Kathode wird der Luftsauerstoff zusammen mit Protonen und Elektronen zu Wasser umgesetzt. Die Reaktionen an den Elektroden werden durch rußgeträgerte Edelmetalle katalysiert. Abbildung 1 zeigt dieses Funktionsprinzip.

Die resultierende Ruhespannung liegt systembedingt bei circa 0,65V und fällt im Betriebspunkt auf etwa

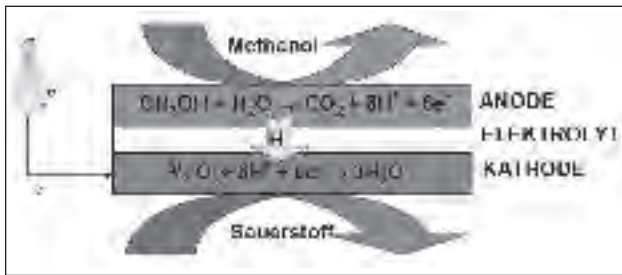


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Abläufe in einer DMFC

0,35V ab. Die erreichbaren Stromdichten liegen in Abhängigkeit von der Katalysatormenge und den Betriebsbedingungen im Bereich von 20-200mA/cm² Katalysatorfläche. Um größere Spannungen und Leistungen zu erreichen, werden mehrere Brennstoffzellen in Reihe geschaltet. Dieser Verbund wird als „Brennstoffzellen-Stack“ bezeichnet. Der Wirkungsgrad eines Gesamtsystems liegt bei etwa 25 Prozent.

Forschung an der TU Clausthal

Das Institut für Chemische Verfahrenstechnik und das Institut für Bergbau beschäftigen sich seit 15 Jahren mit der Entwicklung von DMFCs. Der Schwerpunkt dieser anwendungsbezogenen Forschung liegt dabei auf der Entwicklung von Fertigungsmethoden, die es ermöglichen, Brennstoffzellen-Komponenten und ganze Systeme großtechnisch herzustellen. Daher werden die einzelnen Fertigungsschritte so ausgewählt, dass ein so genanntes scale-up auf eine großtechnische Anlage möglich ist. Desweiteren werden verschiedene Materialien getestet und bewertet, sowie die Auslegung und das Zusammenspiel der Komponenten in einem Gesamtsystem optimiert. Dabei wird sowohl auf Leistungsfähigkeit, Langlebigkeit und gute Handhabung geachtet, wie auch darauf, dass das Brennstoffzellensystem in der Praxis einsetzbar ist.

Zu diesem Zweck betreiben die beiden Institute insgesamt fünf selbstentwickelte, vollautomatische und computergesteuerte Prüfstände, an denen eine Vielzahl von Parameterstudien vorgenommen werden können. Dadurch wird es möglich, Brennstoffzellensysteme optimal auf den gewünschten Anwendungsfall hin zu entwickeln. Da zudem nahezu alle Komponenten der Zellen aus zugekauften Rohstoffen bzw. Einzelteilen in eigens entwickelten reproduzierbaren und computergesteuerten Prozessen gefertigt werden, wird die TU somit zum Entwickler für den gesamten Fertigungsprozess eines DMFC-Gesamtsystems vom Rohstoff bis zum verkaufsfähigen Produkt.

Brennstoffzellen für den Berg- und Tunnelbau

Im Berg- und Tunnelbau gibt es eine Vielzahl elek-

trischer Verbraucher. Neben leistungsstarken Elektro-Fahrladern mit über 250kW Leistung und zahlreichen Werkzeugen und Maschinen gibt es auch Verbraucher mit geringer Leistung. Dazu zählen mobile Beleuchtungseinrichtungen, Messgeräte für Gas, Temperatur, Feuchte, Staub, (Gruben-) Wasserstand und die Grubenlampen der Kumpel (Abbildung 4). Vor allem für diese Anwendungen wird nach einer Alternative für die bisher verwendeten Akkus gesucht.

Die Nachteile, egal welcher Akkusysteme, sind hinlänglich bekannt: Hohe Selbstentladung, geringe Energiedichte, geringe Spannung, Temperaturempfindlichkeit, begrenzte Lebensdauer, Empfindlichkeit gegenüber unvollständigen Lade-Entlade-Zyklen usw. sind nur die wichtigsten. Da das Umfeld Berg- und Tunnelbau höchste sicherheitstechnische Ansprüche stellt, ist eine höchstmögliche Verfügbarkeit gefordert. Akkus kommen dem nur bedingt nach. Stationäre Verbraucher erfordern zudem einen regelmäßigen Austausch des Akkus zum Laden. Vor allem in weitläufigen Untertagebetrieben oder den riesigen Braunkohle Tagebauen ist dies mit einem hohen personellen und zeitlichen Aufwand verbunden.

Brennstoffzellen können diese Probleme lösen. Da Wasserstoff-Brennstoffzellen für untertägige Anwendungen wegen ihrer Handhabung unpraktikabel sind, kann hier die Direkt-Methanol-Brennstoffzelle zum Einsatz kommen. Zwar ist der Energiedichte von Methanol, einem gewöhnlichen Alkohol, mit 5,6kWh/kg auf den ersten Blick geringer als bei Wasserstoff mit 33,3kWh/kg, jedoch ist dafür die Flüssigkeit Methanol deutlich unkomplizierter in der Handhabung als der gasförmige Wasserstoff. Zudem kehrt sich der Unterschied in der Energiedichte um, wenn man diese auf das Volumen bezieht. So besitzt Methanol eine Energiedichte von 4,4kWh/l bei Umgebungsdruck, Wasserstoff dagegen nur 0,53kWh/l bei einem Druck von stattlichen 20MPa (200bar).

Eine vergleichbare Anwendung von Brennstoffzellen mit Wasserstoff als Betriebsstoff stellt wesentlich höhere Anforderungen an die technischen Anlagen und die Sicherheitstechnik. Wasserstoff ist derzeit in drei gängigen Verfahren speicherbar. Zum einen unter hohem Druck von etwa 300bar. Neuere Entwicklungen zielen sogar auf Druckspeicherung unter 700bar. Allerdings gibt es bisher weder für die Tanks selber, noch für die Leitungen Materialien, die zum einen den enormen Verlust an Wasserstoff durch Diffusion (immerhin ist Wasserstoff das kleinste Atom) beherrschen, noch widerstandsfähig genug sind.

Diffundierender Wasserstoff führt bei herkömmlichen Stählen zu starken Korrosionserscheinungen. Eine weitere Speichermöglichkeit wäre Tieftemperaturspei-

cherung (nahe dem Siedepunkt von Wasserstoff, bei etwa Minus 253°C) und in Form von Metallhydriden, in denen der Wasserstoff ähnlich wie Wasser in einem Schwamm aufgenommen wird. Letztere stellen bisher allerdings keine zufrieden stellende Speicherdichte dar. Das Systemgewicht und das gespeicherte Volumen stehen dabei in einem unzureichenden Verhältnis. Die folgende Abbildung (entnommen aus CATT-ECH Magazine, Volume 3 (1999), Nr. 2) stellt den direkten Vergleich zwischen typischen Betriebsstoffen und deren Speicherformen dar.

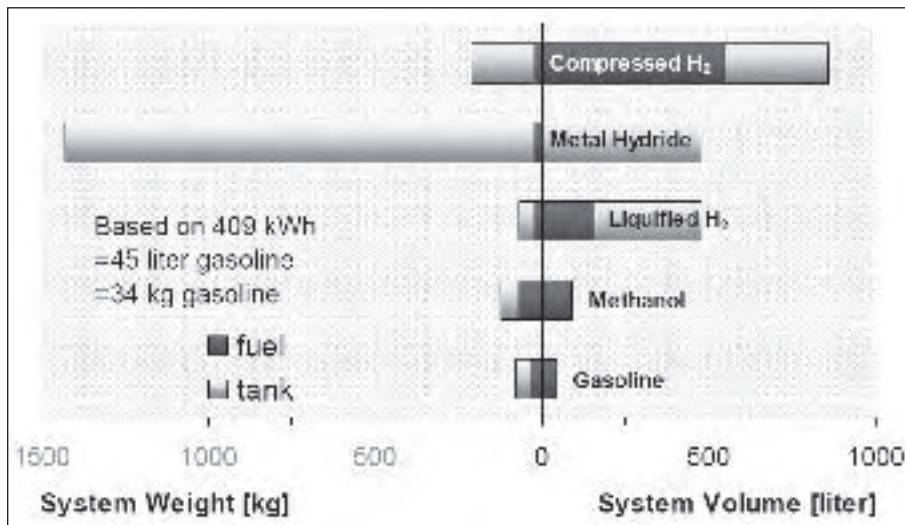


Abbildung 2: Vergleich verschiedener Energieträger bezüglich Tankvolumen und Tankgewicht bei gleichem Energieinhalt; aus: CATTECH Magazine, Volume 3 (1999), Nr. 2

Alle drei Speicherformen (Druckspeicher, Flüssigspeicher und Metallhydrid) erfordern eine hohe Energie um Wasserstoff einzuspeichern, so dass der Gesamtwirkungsgrad eines Wasserstoffsystems als ungünstig zu bezeichnen ist.

Die flüssige Form des Methanols lässt dagegen klare Vorteile vor allem für dessen Anwendung in Einsatzbereichen mit besonderen (Sicherheits-) Anforderungen erkennen. Die Handhabung ist einfacher und auf verfahrenstechnisch aufwendige Anlagen zur Befüllung der Tanks kann verzichtet werden. Ein Nachfüllen gestaltet sich wie ein gewöhnlicher Tankvorgang am Auto. Ein weiterer wesentlicher Aspekt, der eine Anwendung von Methanol statt Wasserstoff günstiger erscheinen lässt, ist die Sicherheit. Speziell bei sicherheitstechnisch hohen Anforderungen stellt eine Anwendung von Wasserstoff stets ein gewisses Risiko dar. Im Falle von Systemleckagen tritt der Wasserstoff, speziell bei der Speicherung unter hohem Druck, in Bruchteilen von Sekunden vollständig aus und breitet sich auf Grund der geringen Dichte und der hohen Diffusionsgeschwindigkeit nach oben hin aus. Vor allem bei untertägigen Anwendungen ist dann mit Wasserstoffkonzentrationen in der Luft zu rechnen, die schon

bei geringen Energien von wenigen mJ zündfähig sind. Bereits vier Volumenprozent in Luft sind dafür ausreichend. Durch die mangelnde Luftbewegung und eine fehlende Durchmischung mit Frischluft kann es dann zu Explosionen kommen. Wasserstoff bedingt daher immer eine hohe Eigensicherheit der angewendeten Technik.

Im Rahmen zweier Forschungsvorhaben im Institut für Bergbau und am Institut für Chemische Verfahrenstechnik werden Prototypen von Direkt-Methanol Brennstoffzellen entwickelt. Ein Vorhaben hat die Ausrüstung eines Elektro-Geh-Gabelhubwagens (Abbildung 3) für den Einsatz in explosionsgeschützten Bereichen über Tage (z.B. Chemikalienlager) zum Ziel.

Bisher verfügt das Fahrzeug über einen Drehstrommotor mit einer elektrischen Leistung von etwa 1,7 kW, die von einem 340kg schweren Bleiakku zur Verfügung gestellt wird. Das Gerät ist damit ca. vier bis sechs Stunden einsatzfähig. Der Hersteller ist mit dem Wunsch an das IBB und das ICVT herangetreten, die Einsatzdauer deutlich zu erhöhen. Zwei wissenschaftliche Mitarbeiter entwickeln daher im Rahmen dieses durch die „Landesinitiative Brennstoffzelle Niedersachsen“ geförderten Vorhabens den Prototypen eines DMFC-Gesamtsystems, welches ohne größere Modifikationen an Stelle des bisher verwendeten Akkus eingesetzt werden kann.

Das zweite Vorhaben, welches ebenfalls von zwei wissenschaftlichen Mitarbeitern bearbeitet wird, beschäftigt sich mit dem Einsatz von DMFCs speziell im Berg- und Tunnelbau. Die Drittmittel für dieses Projekt konnten über das IGF-Programm der AiF e.V. eingeworben werden. Basierend auf den Anforderungen verschiedener Industriepartner, wie den größten deutschen Bergwerksbetreibern und Zulieferern, werden Prototypen von verschiedenen DMFC-Systemen ent-



Abbildung 3: Elektro-Geh-Gabelhubwagen mit 2t Nutzlast



Abbildung 4: Prototyp einer DMFC Grubenlampe

wickelt, die zum Beispiel für den Einsatz in Messgeräten, Grubenlampen und Notstromaggregaten geeignet sind. Dabei wird ein Leistungsbereich von 5-100W angestrebt. Diese Prototypen werden dabei speziell auf die Anforderungen der einzelnen Einsatzfelder abgestimmt.

Parallel zu den beiden derzeitigen Projekten wird stets nach neuen Anwendungen für Direkt-Methanol Brennstoffzellen gesucht. Insbesondere werden weiterhin Nischen untersucht, da gerade dort, wo Batterien oder Akku wegen ihrer Selbstentladung und aus anderen Gründen Probleme bereiten, die Bereitschaft größer ist, auf Alternativen zu setzen.

Mit der Arbeit der vergangenen 15 Jahre, die sich in über 60 Studien-, mehr als 20 Diplom- und mindestens sieben Promotionsarbeiten ausdrückt und den derzeitigen Aktivitäten gehört die TU zu einer wichtigen Adresse im Bereich der Entwicklung von Direkt-Methanol Brennstoffzellen. Durch die auf spezielle Anwendungsfelder wie den Berg- und Tunnelbau oder den Explosionsschutzbereich ausgerichtete Entwicklung werden Nischenmärkte besetzt, über welche die Einführung einer anfänglich teureren Technik deutlich leichter wird. Somit war es bisher auch kein Problem von Anfang an Industriepartner zu finden, die bereit sind, die Entwicklung zu unterstützen und später die Produkte in den Markt einzuführen.