

Brennstoffzellen – Stand bei Mini- und Mikro-Lösungen

S. Geitmann, Oberkrämer

Ursprünglich hatte es geheißten, Mini- und Mikro-Brennstoffzellen wären schon bis Mitte dieses Jahrzehnts marktfähig, aber ganz so schnell ging es dann doch nicht. Heute sind sie immer noch nicht kommerziell erhältlich. Welchen Stand diese Lösungen erreicht haben, das zeigt dieser Beitrag.

1 Konkurrenz ist im Anmarsch

Der Trend zur Miniaturisierung ist unverkennbar. In der Elektrotechnik geht es bereits seit Jahren darum, immer mehr Leistung aus immer kleineren Systemen herauszuholen. Dies gilt insbesondere für die Brennstoffzellentechnik, die zwar noch gar nicht auf dem Markt ist, aber schon jetzt in harter Konkurrenz zur konventionellen Energietechnik steht. Das Maß aller Dinge bei der Energieversorgung im „Consumer“-Bereich ist heute der Lithium-Ionen-Akku. Er verfügt über eine hohe Energiedichte bei akzeptabler Masse und ist daher insbesondere bei Mobiltelefonen, Notebooks und mittlerweile auch bei Elektrowerkzeugen weit verbreitet. Neueste Entwicklungen zeigen Li-Ionen-Akkus sogar schon in der Fahrzeugtechnik, wo sie als saubere Energiewandler die Elektro- und Hybrid-Autos von morgen antreiben sollen.

Konkurrenz ist aber bereits im Anmarsch: Die Brennstoffzellen kommen. Ursprünglich hatte es zwar geheißten, Mini- und Mikro-Brennstoffzellen wären schon bis Mitte dieses Jahrzehnts marktfähig, aber ganz so schnell ging es dann doch nicht. Heute sind sie immer noch nicht kommerziell erhältlich. Lediglich vereinzelt gibt es Unternehmen, die sich versuchsweise mit einem ersten Produkt auf den Markt trauen.

2 PEM oder DMFC

Je nach Strategie und Anwendung favorisieren die Entwickler die am besten geeignete Technik. Grundsätzlich gibt es zwei Brennstoffzellenarten (engl. Fuel Cell), die für portable Lösungen in Frage kommen:

- Protonen-Austausch-Membran-Brennstoffzellen (Proton-Exchange-Membran-Fuel-Cell, (PEMFC)) und
- Direkt-Methanol-Brennstoffzellen (DMFC).

PEM. Die PEMFC ist die bisher am weitesten

verbreitete und auch bekannteste Brennstoffzelle.

Die so genannte NT-PEM zählt mit einer Arbeitstemperatur von 80 bis 100 °C zu den Niedertemperatur-Brennstoffzellen. Diese erreichen eine relativ hohe Leistungsdichte von bis zu einem Watt pro Quadratzentimeter Membranfläche, wodurch eine kompakte Bauweise ermöglicht wird. Als Brennstoff wird reiner Wasserstoff benötigt. Eine Versorgungsinfrastruktur gibt es allerdings noch nicht. Außerdem kann es Probleme bei etwaigen Verunreinigungen geben, da bereits geringe Mengen Kohlenmonoxid die Wirkung des Katalysatormaterials beeinträchtigen.

Nicht ganz so anfällig für Verunreinigungen im Brennstoff ist die so genannte Hochtemperatur-PEM (HT-PEM), die bei Temperaturen von bis zu 160 °C arbeitet, aber erst seit drei Jahren intensiver entwickelt wird.

DMFC. Die DMFC arbeitet – ohne Vorschaltung eines externen Reformers – mit Methanol. Dieser bei Umgebungstemperatur flüssige Brennstoff ist zwar relativ einfach zu transportieren und zu handhaben, aber dennoch ist er nicht unumstritten. Methanol kann wegen seiner Wasserlöslichkeit das Grundwasser verunreinigen und ist darüber hinaus gesundheitsschädlich. In einer Brennstoffzelle wird der kohlenstoffhaltige Energieträger an der Anode oxidiert, wobei Kohlendioxid (CO₂) freigesetzt wird. Darüber hinaus entstehen noch Strom und Wasser. Im Inneren des Brennstoffzellen-Stacks (engl. für Stapel) kommt es allerdings mitunter zu einem unerwünschten so genannten Cross-Over-Effekt. Dabei diffundiert Methanol unverbrannt durch die Membran, wodurch der Wirkungsgrad sinkt.

3 Autarke Energieversorgung

Das Unternehmen Angstrom Power Inc. zeigte bereits 2007 während der Hannover Messe einen Batterieersatz, der zukünftig portable Elektrogeräte mit Strom versorgen soll. Deren Brennstoffzellensysteme sind in Form und Größe vergleichbar mit konventionellen Akkumulatoren von „Handhelds“ (Palm etc.), bieten aber eine deutlich längere Betriebsdauer. Diese G2-Systeme leisten 2 W bei 5 V und bestehen aus insgesamt acht V60-Modulen mit

dem Namen Micro Hydrogen, die jeweils nur 14 g wiegen und ein Volumen von 3 cm³ einnehmen. Sie benötigen neben Wasserstoff lediglich Umgebungsluft und kommen ohne Kühler, Pumpen oder Befeuchter aus. Entsprechende Befüllstationen (Bild 1) liefert Angstrom gleich mit. Wie Angstrom im Januar 2008 bekannt gab, befinden sich derzeit Mikro-Brennstoffzellen des kanadischen Unternehmens in Handsets des Typs Motorola SLVRM L7 in einem sechsmonatigen Test. Sie sollen über eine doppelt so lange Betriebszeit wie Lithium-Ionen-Akkus verfügen, heißt es aus Vancouver. Vorgestellt wurden die neuen Systeme mit der so genannten Ever-On-Fähigkeit während der weltweit größten Messe für „Consumer“-Technik International Customer Electronics Show (CES), die vom 7. bis 10. Januar 2008 in Las Vegas stattfand. „Die Nachfrage nach Smart-Phones und Multimedia-Geräten steigt und damit auch die Nachfrage nach effizienten Energieversorgungslösungen, die helfen, eine Always-on-Erfahrung zu ermöglichen“, sagte Jerry Hallmark, Manager für Energiesystemtechnik bei Motorola Mobile Devices. Motorola arbeite daher mit Angstrom an der Entwicklung einer Brennstoffzellentechnik, die den steigenden Energieanforderungen von Next-Generation-Geräten genügen.

Neues kommt auch von der 4. Hydrogen and Fuel Cell Expo, die vom 27. bis 29. Februar 2008 in Tokio stattfand. MTI MicroFuel Cells stellte dort den neuen Prototyp einer mobilen Brennstoffzelle für Digitalkameras vor. „Digitalkameras machen das zweitgrößte Umsatzsegment im Verbrauchermarkt für Lithium-Ionen-Akkus aus“, sagte Peng Lim, CEO von MTI. „Angesichts der immer fortgeschritteneren Funktionen, mit denen neue Modelle ausgestattet sind, wie zum Beispiel Videoaufnahmen und deren Wiedergabe, gewinnt die



1 Ladestation von Angstrom für Palm und Taschenlampe

Foto: Geitmann

Autor

Dipl.-Ing. Sven Geitmann e. Kfm. ist Autor und Verleger sowie Gründer des Hydrogeitverlags, Oberkrämer.

Betriebsdauer der Batterie an entscheidender Bedeutung. Dieser Kameragriffprototyp veranschaulicht unsere Fähigkeit, Stromverbrauchsprobleme für Hersteller zu lösen.“ Die demonstrierte Technik basiert auf den von MTI entwickelten Mobion-Chips (Bild 2), die in unterschiedliche Applikationen integriert werden können. In diesem Fall werden die Mini-Direktmethanol-Brennstoffzellen in den Kameragriff digitaler Spiegelreflexkameras eingebaut. Der Prototyp ist darauf ausgelegt, doppelt so viel Energie wie ein herkömmlicher sich im Griff befindlicher Akku der gleichen Größe zu liefern. MTI ist ein Tochterunternehmen von Mechanical Technology Inc., das die Mobion-Mikrobrennstoffzellentechnik entwickelt hat.

Mit einem komplett anderen Ansatz nähert sich Medis Technology diesem Thema. Die New Yorker Firma entwickelt mobile Ladegeräte auf Basis von Brennstoffzellen, die bisher nur für den einmaligen Einsatz konzipiert sind (Bild 3). Deren Technik verwendet weder Wasserstoff noch Methanol, sondern ein Gemisch mehrerer Alkaliverbindungen, die mit dem Sauerstoff der Luft reagieren. Die derzeit erhältlichen Systeme sind allerdings noch nicht klein genug, um in Handys oder MP3-Player integriert werden zu können, weswegen das Prinzip der externen Wiederaufladung favorisiert wird. Derartige Module kommen vornehmlich dort zum Einsatz, wo kein Stromnetz verfügbar ist. Eine erste Produktionsserie so genannter 24/7-Power-Packs wurde im April 2007 von Microsoft gekauft und im Rahmen einer Werbeaktion verteilt.

Auch im hohen Norden wird an Mikrobrennstoffzellen gearbeitet. In Stockholm arbeitet myFC an Kleinsystemen, die für mobile Anwendungen (z. B. Mobil-Telefone, mp3-Player) geeignet sein sollen. Das Kerngeschäft der Schweden ist die Entwicklung des Fuel-Cell-Stickers, eines Energiewandlers basierend auf der Brennstoffzellentechnik, der mit Wasserstoff – unabhängig von dessen Feuchte – arbeitet. Das erste präsentable Produkt ist der 1636-Chip, der extrem dünn und flexibel ist und ganz ohne Pumpen oder Kühlelemente auskommt. Diese Chips (16 mm × 36 mm × 2,6 mm; Nennleistung: 0,6 W bei 0,6 V) sind bereits kommerziell erhältlich und werden als Paket in einer 4-Zellen-Konfiguration angeboten (2,4 W bei 2,4 V). Die ersten Erfahrungen damit waren nach Auskunft von Anders Landblad, CTO von myFC, durchaus zufriedenstellend, sodass jetzt bis zu 50 W angepeilt werden. Im November 2007 erhielt myFC für seine FuelCellStickerTM-Technik während der Mobile-Future-Konferenz den Innovation-of-the-Year-Award. Das Gerät wurde als besonders günstig in der Herstellung, besonders einfach in der Fertigung und besonders effizient im Betrieb dargestellt. Der so genannte Goldmobilen-Preis wird alljährlich während der Mobile-Gala (Mobilgalan) an die innovativsten Unternehmen Skandinaviens im Bereich kabellose Geräte verliehen. Gemeinsam mit



2 DMFC-Chip für den Kameragriff

Foto: MTI MicroFuel Cells



anderen Unternehmen entwickelt myFC darüber hinaus in einem Konsortium industrieller Firmen ein Ladegerät: den Excess Charger (2 W bzw. 10 Wh) (Bild 4).

4 Brennstoffzellen für Telefone

Das grundlegende Problem in diesem Leistungsbereich ist, dass der Strombedarf heutiger Anwendungen immer weiter steigt, die Geräte selbst aber gleichzeitig immer kleiner und leichter werden sollen. So manches Mobiltelefon muss mittlerweile schon dank W-LAN-Anschluss und GPS-Funktion fast täglich an die Steckdose. Ein großes Problem ist dabei die begrenzte Akku-Lebensdauer: nach etwa 1000 Ladezyklen ist Schluss. Durch den Einsatz von Brennstoffzellen versprechen sich die Forscher eine Verlängerung der Betriebsdauer auf mindestens das Doppelte.

Ein weiterer Vorteil wäre, dass die innovativen Energieversorgungssysteme von morgen durch den Austausch von Brennstoffkartuschen schnell wieder einsatzfähig sind. Allerdings lauert hier gleich das nächste Problem: Die Weiterentwicklung portabler Brennstoffzellengeräte war zuletzt ins Stocken geraten, weil seitens der Flugzeugindustrie restriktive Vorschriften die Mitnahme derartiger Energiespeicher (speziell Methanolbehälter) aus Sicherheitsgründen untersagten. Mittlerweile verständigten sich aber mehrere Fluggesellschaften darauf, 100-ml-Behälter für den Betrieb von Brennstoffzellen zu gestatten. Das US-Ministerium für Transport erteilte Medis Technology ausdrücklich die Erlaubnis, dass Passagiere deren Power-Pack im Handgepäck mit an Bord von Flugzeugen nehmen dürfen.

Mit führend im Bereich der mobilen Brennstoffzellen-Telefonie ist derzeit Toshiba. Der asiatische Konzern entwickelte ein System, dessen Mikro-Brennstoffzelle eine Dauerleistung von 300 mW bietet, wobei das Methanol



3 Ladegerät für den einmaligen Gebrauch

Foto: Medis

4 Mikro-Energetechnik aus Schweden: Ladegerät Express Charger

Quelle: myFC

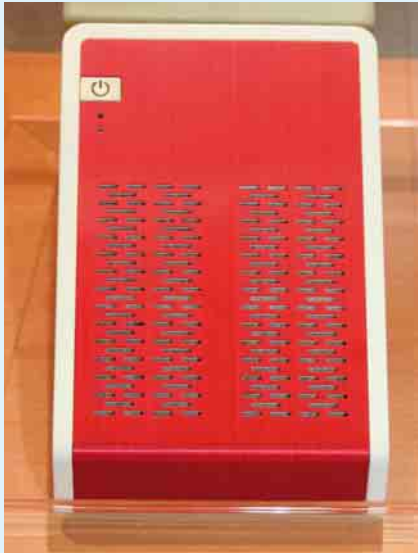
in einem 10 ml großen Behälter untergebracht ist. Der im Oktober 2007 von dem japanischen Elektronikunternehmen neu vorgestellte tragbare Gigabeat-Media-Player erlaubt eine Betriebszeit von zehn Stunden. Nokia hingegen hat sich 2005 aus diesem Marktsegment verabschiedet, da die Unternehmensführung zu diesem Zeitpunkt in dieser Technik keine zukunftsweisende Lösung sah.

5 Brennstoffzellen für Computer

Eine Leistungsklasse über Telefonen befinden sich Laptops, die in der Regel etwa 40 Wh benötigen. Da kleine Brennstoffzellen dies allein nicht ohne weiteres erreichen, werden meist Akkumulatoren zur Leistungsunterstützung eingesetzt, wobei die Brennstoffzelle dem Akku zur Wiederaufladung dient.

Die japanische Firma NEC stellte zwar bereits im Jahr 2003 Notebooks mit integrierter BZ-Technik vor, die über eine Betriebszeit von fünf bis zehn Stunden verfügten, doch erfolgte bis heute keine Markteinführung, obwohl diese damals für 2004 angekündigt wurde. Einen anderen Ansatz verfolgen Unternehmen wie IBM und Sanyo. Beide Firmen favorisierten zunächst eine externe Energieversorgung. In einem gemeinsamen Projekt stellten sie im Frühjahr 2006 eine „Dockingstation“ vor, die bei ThinkPad-Modellen von IBM eingesetzt werden sollte. In der Station waren eine Brennstoffzelle zur Grundlastabdeckung sowie ein IBM Ultrabay-Slim-Akku installiert, sodass das ThinkPad-Notebook bis zu acht Stunden versorgt war. Aber auch hier erfolgte noch keine Kommerzialisierung.

Ende 2006 stellte auch Samsung ein System vor: das Sense Q35. Dessen Energiespeicher auf Methanolbasis verfügte über 1,2 kWh und ermöglichte einen Betrieb für etwa 160 Stunden. Dieses Versuchsgerät eignete sich allerdings wegen seines Gewichts nur für stationä-



5 **Blade – BZ-Modul in Größe eines CD-Rom-Laufwerkes**

Foto: Geitmann

re Lösungen. Samsungs Alternative für den mobilen Bereich sah Klappscharniere außen am Notebook vor, an denen die Brennstoffzelle angebracht werden konnte (Energiedichte: 650 Wh/l). Im April 2008 legte Samsung dann ein auf Wasserstoff basierendes System mit einer Leistung von 3 W vor, das mit einer H₂-Patrone über zehn Stunden betrieben werden kann. Als frühester Kommerzialisierungstermin für eine wirklich marktreife Lösung nennt das südkoreanische Unternehmen das Jahr 2010. Panasonic konzentrierte sich währenddessen mit dem Toughbook CF-T4 auf interne Lösungen, bei denen eine kompaktere Brennstoffzelle (400 ml) im normalen Akkuschacht installiert wurde. Der Energiewandler wurde von Matsushita Battery entwickelt und erreicht unter Verwendung von 200 ml Methanol eine Betriebszeit von bis zu 20 Stunden.

Einer der Pioniere aus Deutschland in diesem Bereich ist das Fraunhofer Institut Solare Energiesysteme (ISE) aus Freiburg, das bereits im April 1998 den Prototyp eines mit Brennstoffzellen betriebenen Siemens Nixdorf Notebooks vorstellte. Mittlerweile arbeitet *Christopher Hebling*, Leiter der Abteilung Energietechnik am ISE, an flachen, selbst atmenden Zellen, die keine Pumpe und keine Lüfter benötigen. Die atmende Kathode entnimmt der Umgebungsluft den für die Reaktion benötigten Sauerstoff. Während der f-cell 2007 gab *Hebling* einen Überblick bezüglich des Potentials dieses riesigen Marktes portabler BZ-Anwendungen, auf dem jährlich rund 1,5 Milliarden Handys, Laptops, Foto- und Videokameras, MP3-Spieler sowie Organizer verkauft werden. Er machte deutlich, dass es für Brennstoffzellen trotz dieser großen Absatzzahlen nicht leicht werden wird, im Markt Fuß zu fassen. *Hebling* sagte: „Die Brennstoffzelle ist eine Konkurrenztechnologie zur Batterie. Für die Brennstoffzelle spricht aber, dass sie genau auf das Endgerät ausgelegt werden kann und in Form und Größe variabel ist, sodass sie sich gut integrieren lässt.“ Ab 2009



6 **Voraussichtlich ab November 2008 auf dem Markt**

Foto: Geitmann

rechnet er für Brennstoffzellen mit guten Absatzmöglichkeiten.

6 Brennstoffzellen auf der Hannovermesse 2008

Die Antig Technology Co. Ltd. aus Taiwan arbeitet seit geraumer Zeit an einem Modul in der Größe eines CD-ROM-Laufwerkes (Bild 5). Dessen Markteinführung war ursprünglich für 2006 vorgesehen, wurde dann aber auf unbestimmte Zeit verschoben. Während der diesjährigen Hannover Messe war Antig ebenfalls auf dem Gemeinschaftsstand Wasserstoff und Brennstoffzellen vertreten, nannte aber weder Preise noch Jahreszahlen.

Bund fördert Mikro-BZ

Trotz ihrer niedrigen elektrischen Leistungen spielen Mikro-Brennstoffzellen industriepolitisch eine große Rolle: Sie sollen den Markt bereiten. Mobile Elektronik ist heute ganz auf Batterien und Akkumulatoren angewiesen, die Strom in relativ geringer Menge zu vergleichsweise hohen Preisen bereitstellen. Um den BZ-Kleinsystemen mit maximal 100 W zum Durchbruch zu verhelfen, werden derzeit neun ausgewählte Verbundprojekte mit rund 20 Mio. Euro vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Das ist der größte Fördertopf für Mikro-Brennstoffzellen in ganz Europa.

Die neun in 2007 von einem Gutachtergremium ausgewählten Projekte zielen auf industriell umsetzbare Produkte und widmen sich dem Gesamtsystem, bestehend aus Speicher, Energiewandler und Regelung sowie Peripherie. Rund 2 Mio. Euro pro Projekt entsprechen in den meisten Fällen etwa dem, was die jeweiligen Pro-

jektspartner zur Umsetzung ihres Vorhabens benötigen. Als förderungswürdig wurde unter anderem das Projekt PemGen eingestuft, das langfristig auf die Brennstoffzelle in Batteriegröße abzielt. Zunächst geht es dabei um die erfolgreiche Miniaturisierung von einzelnen Komponenten. Im Folgeschritt ist dann eine Standardisierung angedacht, um BZ-Systeme in der Größe herkömmlicher (Knopf-)Batterien herstellen zu können. Ebenfalls bewilligt wurde das Projekt I²Brenn, in dem es um die Verschmelzung der Brennstoffzellentechnik und der Elektronik zu einer kompakten Einheit geht. Weitere Projekte sind: myPower – ein 100-W-Direktmethanol-BZ-System mit Zellen exakt identischer Leistung; MIMEMIZ – PEM-BZ-System für den Golf-Caddy; BZ-Battext – BZ-System im Verbund mit einer Batterie zunächst für den Bootsantrieb; MicroPower – BZ-System für Ladegerät für Elektrowerkzeuge; ZiLuZell – Zink/Luft-Mikro-BZ; Mobile und portable BZ – Verbesserung der Peripheriekomponenten.

Etwas Marktnäher ist demgegenüber Horizon Fuel Cell Technologies. Das chinesische Unternehmen präsentierte den HydroPak und nannte auch bereits einen Kaufpreis (Bild 6). Der kompakte Kasten (2,7 kg, 22 cm × 21 cm × 10 cm) liefert eine Dauerleistung von 25 W und wird einfach über eine auswechselbare Wasserkartusche betrieben (270 Wh). Ein Notebook könnte damit acht- bis zehnmal wieder aufgeladen werden. Über einen AC-Anschluss sowie zwei USB-Anschlüsse können beispielsweise auch tragbare Lichtquellen mit Energie versorgt werden. *George Gu*, CEO von Horizon Fuel Cell Technologies, erklärt: „Die Kommerzialisierung des ersten tragbaren Energiesystems, das jetzt an den Start geht, wird in dem kommenden Jahr durch weitere Produktneheiten fortgesetzt.“ Im Inneren befindet sich Brennstoffzellentechnik von Millennium Cell. Die US-amerikanische Firma setzt darin ihr Hydrogen on Demand Fuel System ein, bei dem Wasserstoff aus Natrium-Borhydrid (NaBH₄) gewonnen wird. Natrium-Borhydrid setzt reinen Wasserstoff frei, sobald es in Wasser aufgelöst und durch einen geeigneten Katalysator umgewandelt worden ist. Als Endprodukte entstehen Wasser und Natriumborat (besser bekannt als Borax). Das Unternehmen verkauft seine H₂-Speichertechnik als „sicher, flexibel und umweltfreundlich“ und preist es als attraktive Speicheralternative an. Nach eigener Aussage liegen die Vorzüge insbesondere in den niedrigen Kosten bei einer hohen Energiedichte des Energiespeichers. In Europa soll der HydroPak noch vor 2009 erhältlich sein.