

Kleinst-Brennstoffzellen für portable Anwendungen

A.Heinzel, C.Hebling, M.Zedda
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg

1 Einleitung

Die Energieversorgung portabler Geräte wird heute über Batterien und Akkumulatoren (Primär- bzw. Sekundärzellen) abgedeckt. Eine Vielzahl verschiedener Systeme steht zur Verfügung, so daß für die unterschiedlichen Anwendungen die jeweils am besten angepaßte Energieversorgung ausgewählt werden kann. Nicht wiederaufladbare Primärzellen sind mit einer sehr hohen Energiedichte verfügbar, allerdings sind die Kosten pro erzeugter Wh ausgesprochen hoch. Wiederaufladbare Sekundärzellen haben in der Regel eine deutlich niedrigere Energiespeicherkapazität. Die Brennstoffzelle als Energiewandler in Kombination mit einem unabhängig dimensionierbaren Speicher für den Energieträger – Wasserstoff oder Methanol – bietet Vorteile, insbesondere dann, wenn bei relativ kleiner Leistung lange Betriebszeiten gefordert sind. Weitere Vorteile des Brennstoffzellensystems sind außerdem die erwartete lange Lebensdauer und insbesondere der auch im kleinen Leistungsbereich mögliche hohe Wirkungsgrad, der frei wählbare, modulare Aufbau sowie die emissionsfreie Energiewandlung. Die ökologische Bilanz ist aufgrund der hohen Lebensdauer der Zelle sowie der unproblematischen Reaktionsprodukte ausgesprochen positiv. Schwerpunkt bisheriger Entwicklungen waren Anwendungen im mittleren Leistungsbereich wie beispielsweise für Blockheizkraftwerke und den Automobilsektor. Darüber hinaus ist nun die Brennstoffzelle auch für den kleinen Leistungsbereich zunehmend ins Interesse gerückt, wobei insbesondere durch die Miniaturisierung der einzelnen Funktionseinheiten zusätzliche Herausforderungen entstehen.

2 Stand der Brennstoffzellen-Entwicklung für die Anwendung in tragbaren Geräten

Die Entwicklung von Brennstoffzellen für die Energieerzeugung tragbarer Geräte ist das jüngste Arbeitsgebiet der Brennstoffzellentechnologie. Dementsprechend liegt der Stand der Arbeiten im Vergleich zur stationären und mobilen Anwendung noch weit zurück. Erste Publikationen aus den USA beziehen sich auf den militärischen Bereich, die Brennstoffzelle dient dort als „power pack“ für den Soldaten, der über Tage von abgelegenen Standorten aus Verbindung mit seiner Einheit aufrechterhalten muß.

Erst seit Anfang der 90er Jahre werden Konzepte für Brennstoffzellen als Batterieersatz generell entwickelt und Prototypen vorgestellt.

Die Brennstoffzellenkonzepte umfassen den typischen Aufbau als Brennstoffzellenstapel, die Serienschaltung mehrerer Zellen in der Ebene einer Membran und die Kombination eines ein- oder zweizelligen Systems mit einem DC-Wandler, wie in Abbildung 2 skizziert.

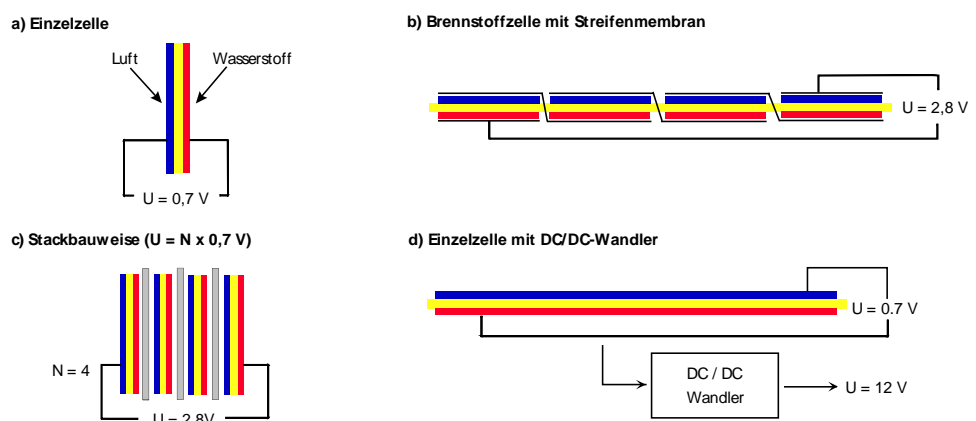


Abbildung 2: Brennstoffzellenkonzepte

Als heute schon einsetzbarer Wasserstoffspeicher wird für alle Demonstratoren auf Hydride zurückgegriffen. Die Brennstoffzelle selbst als Energiewandler ohne Speicherfunktion wird gemäß der erforderlichen Leistung des zu versorgenden Verbrauchers dimensioniert. Daraus ergibt sich rein rechnerisch, daß erst ab einer bestimmten Kapazität des Systems die Energiedichte z. B. einer Li-Batterie übertroffen werden kann.

Eine weitere Systemvariante ist die Direkt-Methanol-Brennstoffzelle (DMFC), die neben der sehr hohen Energiedichte des Methanols durch das einfache Handhaben und Nachfüllen des Brennstoffes besticht. Die Leistungsdichte der Zelle bleibt bei Betrieb bei Raumtemperatur jedoch weit hinter der Leistungsdichte des Wasserstoffsystems zurück, so daß die DMFC lediglich für kleinste Leistungen Vorteile bietet. Demgemäß steht hier die Anwendung in Hybridsystemen mit einer leistungsstarken Li-Ionen-Batterie im Vordergrund, z.B. zur Verlängerung der Betriebsdauer von Handys¹.

Die wichtigsten Arbeiten zur Entwicklung der Direktmethanol-Zelle konzentrieren sich daher auf die Erhöhung der Leistungsdichte durch die Verringerung des Methanol-Transfers durch die polymere Membran und durch die Verbesserung der Katalysatoren für die Methanoloxidation.

Ein Vergleich des Wasserstoffsystems mit einem DMFC-System und der Li-Ionen-Batterie zeigen die Abbildungen 3a und 3b. Die Berechnung wurde unter folgenden Annahmen gemacht:

Wasserstoff im Metallhydrid-Material ² :	400
Wh _{H₂} /kg	
1600 Wh _{H₂} /l	
Methanol/Wasser-Mischung	2150 Wh
CH ₃ OH/l	
	2300 Wh
CH ₃ OH/kg	

¹ siehe z.B. web-Seite Manhattan Scientific (<http://www.manhattsci.com>) und Motorola (<http://www.motorola.com>)

² Daten ohne Berücksichtigung des Behälters

Wirkungsgrad Wasserstoff-Brennstoffzelle: 50 %
Wirkungsgrad Methanol-Brennstoffzelle: 40 %

Leistung der Brennstoffzelle: 50 W
Gewicht/Volumen der Wasserstoff-Brennstoffzelle: 250
g/200 ml
Gewicht/Volumen der Methanol-Brennstoffzelle:
1250g/1000 ml

Die für den Betrieb erforderliche Peripherie bleibt in dieser vereinfachten Betrachtung unberücksichtigt.

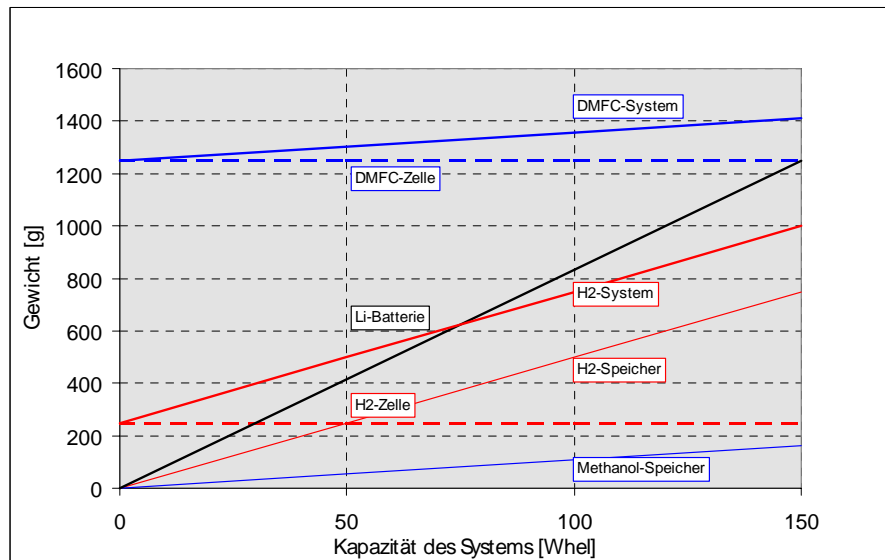


Abbildung 3a: Gewicht der Energiesysteme in Abhängigkeit von der
Energiespeicherkapazität

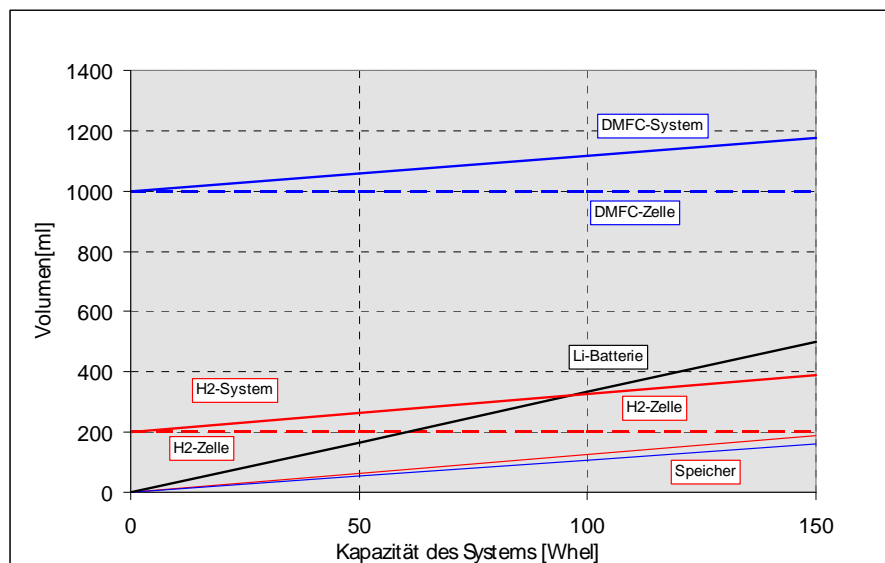


Abbildung 3b: Volumen der Energiesysteme in Abhängigkeit von der
Energiespeicherkapazität

Unter diesen Bedingungen ergeben sich Vorteile für das Wasserstoff-Brennstoffzellensystem ab Speicherkapazitäten von 80 - 100 Wh und darüber. Für das DMFC-System ist eine kleinere Leistung wichtig, da bei 50 W Volumen und Gewicht der Brennstoffzelle dominant sind.

In Abbildung 4 ist der heute realisierte Stand der Technik dargestellt, es sind die Energiedichten dreier tatsächlich realisierter Brennstoffzellen-Systeme des Fraunhofer ISE mit der Energiedichte handelsüblicher Li-Ionen-Akkus verglichen. Bei den Brennstoffzellen-Systemen handelt es sich um nicht ausgereifte Labormodelle, was durch die große Steigerung der Energiedichten innerhalb eines Jahres dargelegt wird. Bei der Rechnung wurde von einer Systemkapazität von 150 Wh_e ausgegangen, die gesamte Brennstoffzellen-Peripherie inklusive Speicher wurde berücksichtigt.

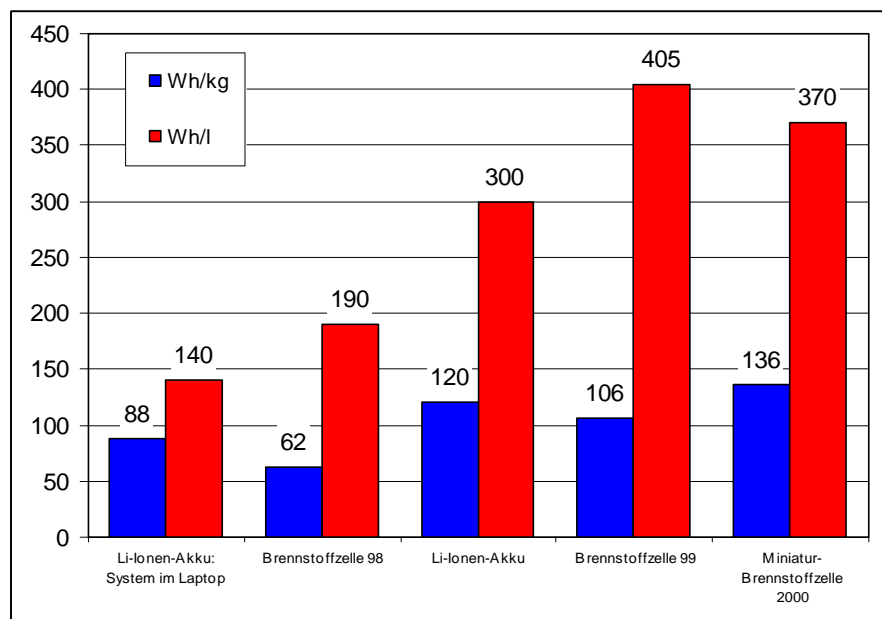


Abbildung. 4: Vergleich der Energiedichten von Brennstoffzellen-Systemen und Li-Ionen-Akkus
 1998: Streifenkonzept wie auf der Hannovermesse vorgestellt
 1999: Streifenkonzept mit verbesserter Luftzufuhr

zur Kathode
 (Membranpumpe)
 2000: Selbstatmender Stack mit DC-Wandler

Als Beispiel sind nachfolgend zwei auf der Hannover Messe 2000 vorgestellte Prototypen des Fraunhofer ISE dargestellt:

Eine Miniatur-Brennstoffzelle wurde für einen Leistungsbereich bis 50 W entwickelt. Die Integration eines hocheffizienten Spannungswandlers ermöglicht eine Transformation auf beliebige Ausgangsspannungen bis ca. 15 V.

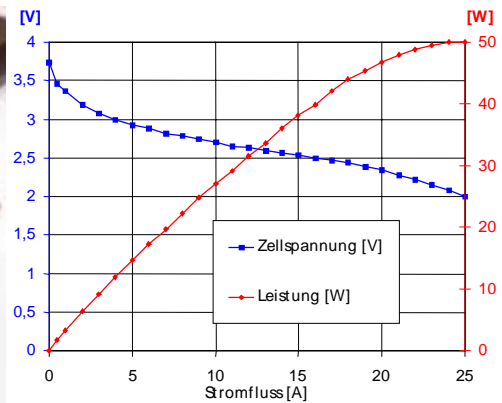


Abbildung 6a: Miniatur-Brennstoffzelle des Fraunhofer ISE mit integriertem DC/DC-Wandler und mit Hydridspeicher

Abbildung 6b: Strom-Spannungs-Charakteristik

Die Mikrobrennstoffzelle zeigt die Möglichkeiten für niedrigste Leistungen. Die abgebildete Brennstoffzelle hat bei einer Leistungsdichte von 1 W/cm^3 ca. 250 mW Ausgangsleistung. Der Brennstoffzellenstapel besteht aus 5 Zellen und hat dabei eine Bauhöhe von 2,5 mm.

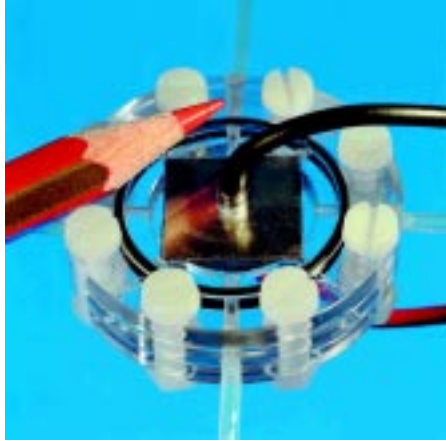


Abbildung 7a: Mikrobrennstoffzelle
Mikrostrukturierte
des Fraunhofer ISE (Entwicklung in
Kooperation mit dem IMTEK, Institut
für Mikrosystemtechnik,
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

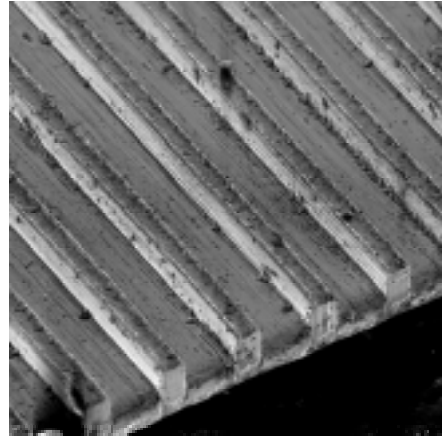


Abbildung 7b:
flow fields

3 Anwendungen

Durch die zunehmende Mobilität werden immer höhere Anforderungen auch an Informationssysteme gestellt. Portable Telefone und tragbare Computer ermöglichen es den Anwendern, den Arbeitsplatz quasi an jeden beliebigen Ort mitzunehmen und ebenfalls komplexe Informationen über lange Distanzen auszutauschen. Völlig neue Produkte sind daher durch eine erweiterte Nutzung des Internet mittels tragbarer Informationsgeräte möglich. Die netzunabhängige Arbeitszeit wird dabei zu einem der wichtigsten Kaufkriterien.

Für alle Anwendungen im portablen und im CCC - Bereich sind hohe Leistungsdichten sowie eine hohe Energiespeicherkapazität, geringes Gewicht, sowie eine variable Geometrie des Systems die wichtigsten Parameter. Weitere wesentliche Voraussetzungen sind die schnelle Wiederbefüllung mit den jeweiligen Energieträgern zur Verlängerung der Netzautarkie sowie eine möglichst hohe Anzahl von Lade-/ Entladezyklen. Wegen des breiten

Produktspektrums in diesem Bereich und des ebenfalls sehr unterschiedlichen Nutzerverhaltens sind die Anforderungen allerdings nur schwer zu konkretisieren und in Zahlen zu fassen. Mögliche Anwendungen sind Mobiltelefone, Laptops, Videokameras, portable Informationsgeräte etc. Die Markteinführung einer neuen Batterie für die Energieversorgung elektronischer Geräte ist wegen der kurzen Lebenszyklen dieser Geräte - beispielsweise ca. 2-3 Jahre für tragbare Computer - sehr schnell möglich. Je nachdem, wie wichtig eine verlängerte Laufzeit des elektronischen Gerätes für den Kunden ist, wird er bereit sein, eine teurere, qualitativ hochwertige Batterie mit hoher Speicherkapazität zu kaufen, wie auch Erfahrungen mit der Li-Ionen-Batterie zeigen. Die Randbedingungen sind stark vom Anwendungsgebiet abhängig. Nach einer groben Kostenschätzung auf Basis der heute verfügbaren Daten für die Komponenten eines Brennstoffzellensystems sollte das Kostenniveau der Li-Batterien erreichbar sein.