

Die Brennstoffzellen-Technologien in der Schweiz

Ausgearbeitet durch

L. Nieba, A. Tauer

Temas AG, 9320 Frasnacht

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

April 2001

Die Brennstoffzellen-Technologie in der Schweiz

Der Forschungsstandort Schweiz hat sich in der Brennstoffzellen-Technologie eine international führende Stellung erarbeitet. Er verfügt in verschiedenen Disziplinen über hohe Kompetenzen, diese bilden ideale Voraussetzungen für die Nutzung dieser Technologie durch unsere Industrie.

Die Brennstoffzellen werden zukünftig etablierte Technologien für die umweltfreundliche Energieumsetzung in ausgewählten Anwendungsgebieten ablösen. Dieser Prozess dürfte noch in diesem Jahrzehnt anlaufen.

Die Funktionsweise

Brennstoffzellen basieren auf einem elektro-chemischen Prozess, bei dem im Prinzip Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser verbunden werden. Der resultierende elektrische Strom steht kontrolliert zur Verfügung. Die Brennstoffzelle erlaubt somit die direkte, effiziente Gewinnung von elektrischem Strom mittels eines direkten Prozesses ohne Umweg über Wärme-Kraft-Maschinen und Generatoren (Bild 1).

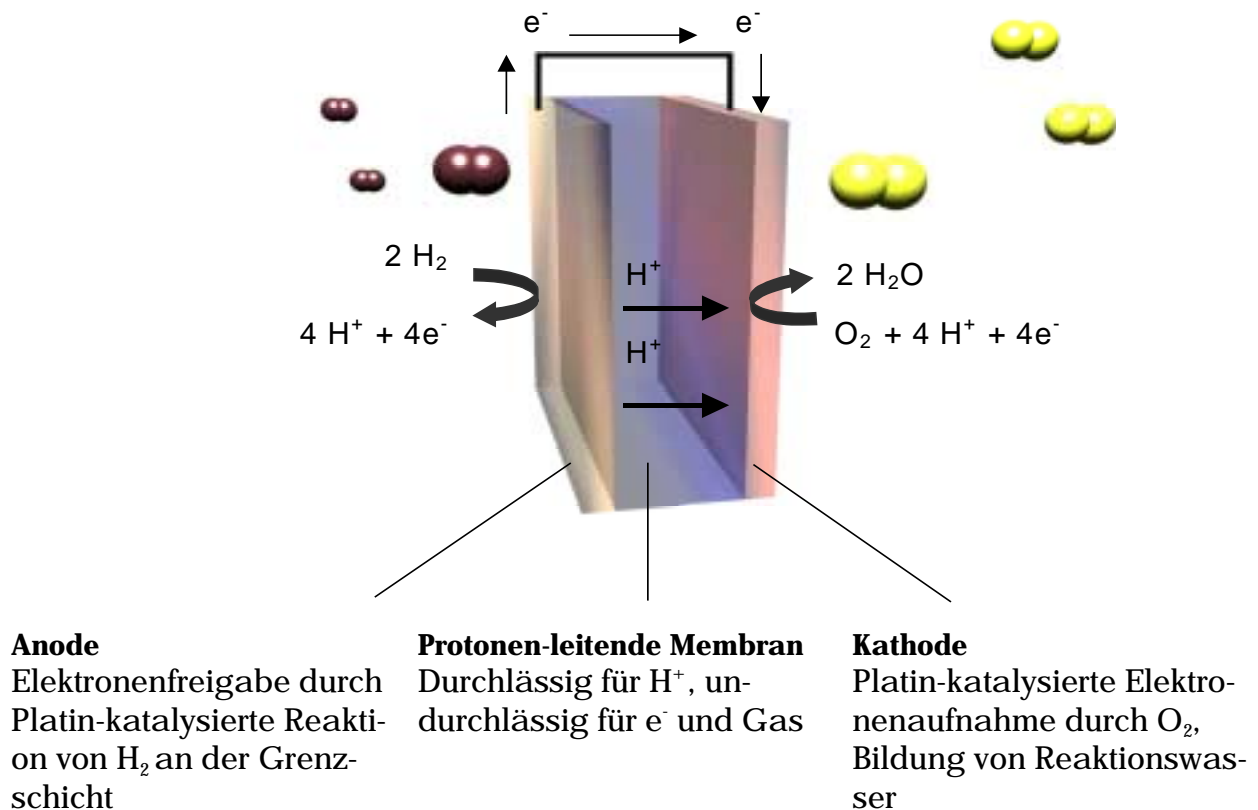


Bild 1: Schematische Darstellung einer Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzelle mit Wasserstoff als Brennstoff und Sauerstoff als Reaktionspartner.

Die Technologien

Es existieren verschiedene Brennstoffzellen-Technologien. Diese unterscheiden sich u.a. hinsichtlich Elektrolyt, Ladungsträger, verwendbare Brennstoffe und Oxidationsmittel, Betriebstemperatur, Bauweise und Anwendungspotential (Tabelle 1). Eine Verwendung der englischen Bezeichnungen bzw. Abkürzungen ist verbreitet und bezieht sich auf den jeweiligen Elektrolyten (Ausnahme: DMFC für Direct Methanol Fuel Cell als Spezialfall der Polymer Electrolyte Fuel Cell, PEFC).

| Technologie-Bezeichnung | Elektrolyt, fest/flüssig | Brennstoff | Oxidationsmittel | Betriebs-temperatur | Ladungs-träger | Kataly-sator | Effizienz (*) ¹ (higher heating value) |
|--|---------------------------------|--|---------------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------|---|
| Solid Oxide Fuel Cell, SOFC | Zirkonium-oxid, fest | (CH ₄ und Wasser), H ₂ , CO | Luft | ca. 1000°C | O ²⁻ | Perovskit/ Nickel | 40-55% |
| Polymer Electrolyte Fuel Cell, PEFC (Auch PEM Fuel Cell für Proton Exchange Membrane) | Kationen-tauscher-Membran, fest | H ₂ , rein (direkte Methanol Zelle: wässr. Methanol) | Luft | ca. 70°C | H ⁺ | Platin | 40-50% |
| Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC | Phosphor-säure, flüssig | H ₂ , rein | Luft | ca. 200°C | H ⁺ | Platin | ca. 40% |
| Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC | Alkali-Karbonat, flüssig | (CH ₄ und Wasser), H ₂ , CO | Luft | ca. 650°C | CO ₃ ²⁻ | Nickel | 50-60% |
| Alkaline Fuel Cell, AFC | Kalium-hydroxid, flüssig | H ₂ , rein | Luft ohne CO ₂ | ca. 70°C | OH ⁻ | Nickel | 50% |

* HHV higher heating value, Effizienz bzgl. Elektrizitätsgewinnung aus Brennstoff, Stand der Technik in Prototypen und Pilotanlagen.

Tabelle 1: Brennstoffzellen-Technologien und deren Merkmale

Vorteile und Anwendungen

Der hohe Wirkungsgrad, eine hohe Energiedichte, die geringe Schadstoffproduktion, wenig Geräuschemission, die CO₂-neutrale Energienutzung sind Vorteile, die es zu nutzen gilt.

Die Tabelle 2 vermittelt hierzu einen Überblick.

| Erwarteter Vorteil oder Zusatznutzen | Substitution von | Anwendung mobil | Anwendung stationär | Leistung elektrisch |
|--|---|--|--|---------------------|
| hohe Energiedichte schnelle Beladung geringes Gewicht Keine Selbstentladung | Batterien, Akkumulatoren | Handheld Systeme, Natel | | 10 W |
| | | Videorecorder, Laptop | | 100 W |
| geringe Geräusemissionen hoher Gesamtwirkungsgrad geringer Schadstoffausstoss, CO ₂ -neutral (*) | Netzversorgung, Generatoren, Akkumulatoren | Haushalt- Heim-, Freizeit-Geräte | | 1 kW |
| | Netzversorgung, Heizungsanlage | Fahrrad, Mofa | dezentrale Stromversorgung, Haushalt-Heizung | |
| | | | Notstrom-Systeme | 10 kW |
| | Bleiakkumulatoren Verbrennungsmotor | Automobil | | |
| guter Wirkungsgrad, geringer Schadstoffausstoss, CO ₂ -neutral (*), positives Image | Wärme-Kraft- Maschinen, Generatoren, Wärmepumpen | | dezentrale Energieversorgung, Grossgebäude | 100 kW |
| | | | zentrale Energieversorgung | > 100 kW |

*: Im Einsatz von nachwachsenden Brennstoffen wie Biogas, Methanol etc.

Tabelle 2: Anwendungsbereiche und Vorteile von Brennstoffzellenⁱⁱ

Marktaussichten

Kurzfristig, d.h. innerhalb der nächsten 10 Jahre, werden die Brennstoffzellen in folgenden Segmenten mit etablierter Technologie auf dem freien Markt konkurrieren:

- Systeme zur dezentralen häuslichen Strom- und Wärmeproduktion mit 1-10 kW_{el} Leistung. Hier ist das Sulzer HEXIS System zu nennen, welches kurz vor der Markteinführung steht. Das anvisierte Preisziel für eine breite Marktakzeptanz wird gemäss Sulzer in Serienproduktion erreicht.
- Anlagen zur dezentralen Strom- und Wärmeproduktion mit 200 kW_{el} Leistung. Einige Systeme werden bereits auf dem Markt getestet, basierend auf PAFC-Technologie. Weitere Systeme basierend auf anderen Brennstoffzellen-Technologien befinden sich noch in Entwicklung.
- Kommerzielle Aggregate als Ersatz für Generatoren und Motoren um 1 kW. Basierend auf PEFC-Zellen zeichnen sich die Entwicklung und Produktion marktfähiger Systeme in den nächsten Jahren als realistisch ab.

Mittelfristig, d. h. in 10-20 Jahren, ist das Substitutionspotential der Brennstoffzellen über einen breiten Leistungsbereich sehr gross. Allerdings sind applikationsspezifische Hürden zu meistern und durch die vom Markt gesetzten Randbedingungen zu erfüllen. Dies gilt insbesondere für die Substitution von kleinen Akkumulatoren < 10 Wh. Hier sind kritische Erfolgsfaktoren die noch geringe Systemeffizienz und ein marktgerechter Preis pro Wattⁱⁱⁱ.

F&E Kompetenz und Transferpotential in der Schweiz

Der Forschungsplatz Schweiz verfügt über langjährige Tradition und ein breites Know-How speziell im Bereich PEFC und SOFC. Die industrielle F&E wird im Bereich SOFC von Sulzer HEXIS dominiert. Aus einer erfolgreichen Zusammenarbeit auf Projektbasis zwischen der ETH und Sulzer Hexis ist ein aussichtsreiches Brennstoffzellen-System hervorgegangen.

Die Forschung im Bereich der Brennstoffzellen wird dominiert durch das PSI in Villigen, die ETH Zürich und Lausanne, die EMPA sowie ausgewählten Fachhochschulen.

Übersicht der Schweizer Kompetenzzentren für Brennstoffzellen Technologien

| Fokus in der Forschung | Transferpotential |
|--|---|
| Entwicklung neuartiger Protonenleitender Membranen | Neue Generation Polymer Elektrolyt Zellen |
| Anoden-Materialien für direkt Methanol umsetzende Brennstoffzellen | Bau von Mini-Brennstoffzellen < 10W |
| Entwicklung und Systemintegration von Brennstoffzellen-Stapeln | Industrielle Herstellung von 1-kW-Aggregaten |
| Wassermanagement in Polymer Elektrolyt-Zellen | Neue Generation von PEFC-Stapeln |
| Optimierung der CO-Toleranz von Elektrokatalysatoren und Elektroden | Vereinfachte Systemtechnik Einsatz von Kohlenwasserstoff-Brennstoffen |
| in-situ-Charakterisierung von PEFCs | Optimierung der elektro-chem. Komponenten |
| Prüfstand für Brennstoffzellen | Test und Optimierung von PEFC-Systemen |
| Neue Materialien (Metalloxide, Polymere) als Elektrokatalysatoren und Elektroden | Neue Generation SOFC und PEFC |
| Dünnschicht-Elektrolyten für SOFC, neue keramische Werkstoffe und Anodensubstrate, Aufklärung von Reaktionsmechanismen, Katalyse an Anode/Elektrolyt Interface, neue Produktionsprozesse | Optimierung von SOFC, Anoden für Tief-Temperatur-SOFC, kostengünstige Fertigung |
| Software Tools zum Design und Optimierung von SOFC | Sulzer Hexis: Optimierung von SOFCs |
| Entwicklung und Kleinserie von 300-W-PEFC-Aggregat | Planung und Herstellung von 1-kW-Aggregaten |

Tabelle 3: Fokus in der Forschung und Transferpotential bei Schweizer Kompetenzzentren: PSI, ETHZ, EPFL, EMPA und Fachhochschule.

Die Entwicklung von Brennstoffzellen erfordert die Einbindung von Kompetenzträgern aus unterschiedlichen Wissensbereichen wie Materialforschung, Oberflächentechnologie, Elektronik, Elektrochemie, Prototyping, Fertigungstechnologie, Prozessoptimierung oder Marketing aus Wissenschaft und Industrie.

Im Bereich Polymer-Elektrolyt-Zellen hat die Schweiz einen technologischen Wissensstand erreicht, der einen Zeithorizont von wenigen Jahren bis zur Marktreife von Produkten speziell im Bereich um 1 kWel erwarten lässt.

Wertschöpfung auf verschiedenen Stufen der Prozesskette

Die Brennstoffzellen können als „Wertschöpfungsgeneratoren“ auf verschiedenen Ebenen genutzt werden. Die nachfolgende Grafik gibt einen Überblick von den Zulieferkomponenten für die Zellenherstellung bis zur umfassenden Systemintegration in unterschiedlichen Aggregaten und Endgeräten.

| Direkte Wertschöpfung auf Stufe der Brennstoffzelle | Komponente | Kompetenz von potentiellen Industriepartnern |
|---|--|---|
| | PEFC-Membran-Folie | Folienherstellung und -verarbeitung |
| | Elektroden | Metall-, Graphit-, Keramik-, Oberflächenbearbeitung, kat. Oberflächen |
| | Elektrische Leiter | |
| | Bipolare Verbindungselemente, Gehäuse | Metall-, Kunststoffbearbeitung, Sintern, Stanzen, Pressen etc. |
| Direkte Wertschöpfung auf Stufe BZ-Aggregat | Brennstoffspeicher, H ₂ -Speichersysteme | Gas-Kompression, Druckflaschen, Gasfüllsysteme |
| | Kompressoren, Pumpen, Gebläse | Pumpen-, Motoren- und Gerätebau |
| | Steuerung, Regelung | elektronische Regelungstechnik, regelungstechn. Software, etc. |
| | Stromtransformation und Veredelung | Elektrotechnik |
| Anwendungen eines 1-kW-BZ-Aggregates | Einsatzbereich | Transferpotential für Hersteller von |
| | Portable Elektrogeräte | Heim- und Haushaltgeräte (z.B. Rasenmäher, Bohrmaschine, etc.) |
| | Ersatz von Akkumulatoren oder herkömmlichen Verbrennungsmotoren | |
| | Ersatz von Dieselgeneratoren | Baubedarf, Landmaschinen, Forstgeräte (z.B. Warnlampen, Motorsägen, etc.) |
| | Umweltfreundlich angetriebene Fortbewegungsmittel (Fahrrad, Microboard, Rollstuhl, Boot, etc.) | Camping-Zubehör Fahrrad, Microboard, elektrische Rollstühle, etc. |
| | Freizeitgeräte | |

Tabelle 4: Wertschöpfung auf versch. Ebenen

Nutzen wir die Chancen!

Die hohe Kompetenz des Forschungs- und Werkplatzes Schweiz in allen Bereichen der Brennstoffzellen-Wertschöpfungskette eröffnet ein vielfältiges Potential für wirtschaftliche Nutzung der Brennstoffzellen-Technologie. Die Partnerschaft zwischen Wissenschaft und Industrie schafft die Voraussetzung für eine herausragende Stellung der Schweiz in dieser Schlüsseltechnologie. Notwendig ist die Bereitschaft beider Partner, diese Chance zu erkennen und im Rahmen einer vertrauensvollen Partnerschaft zu nutzen.

Dr. Lars Nieba

Dr. Andy Tauer

ENET c/o TEMAS AG,
9320 Arbon

-
- ⁱ US Department of defense report to congressional defense committees: On the Utilization and Demonstration of Fuel Cells (http://www.dodfuelcell.com/Strategy_Report.pdf)
 - ⁱⁱ In Anlehnung an: Dipl. Ing. Martin Ruge, PowerPac-Project-Seminar ETHZ und PSI, April 2001
 - ⁱⁱⁱ H. Colell, M. Bronold and Chr. Leu, Commercialising Fuel Cell Products Fuel Cell 2000, Proceedings, Ed. L. Blomen, Luzern, July 2000, S.19-28