

# 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).

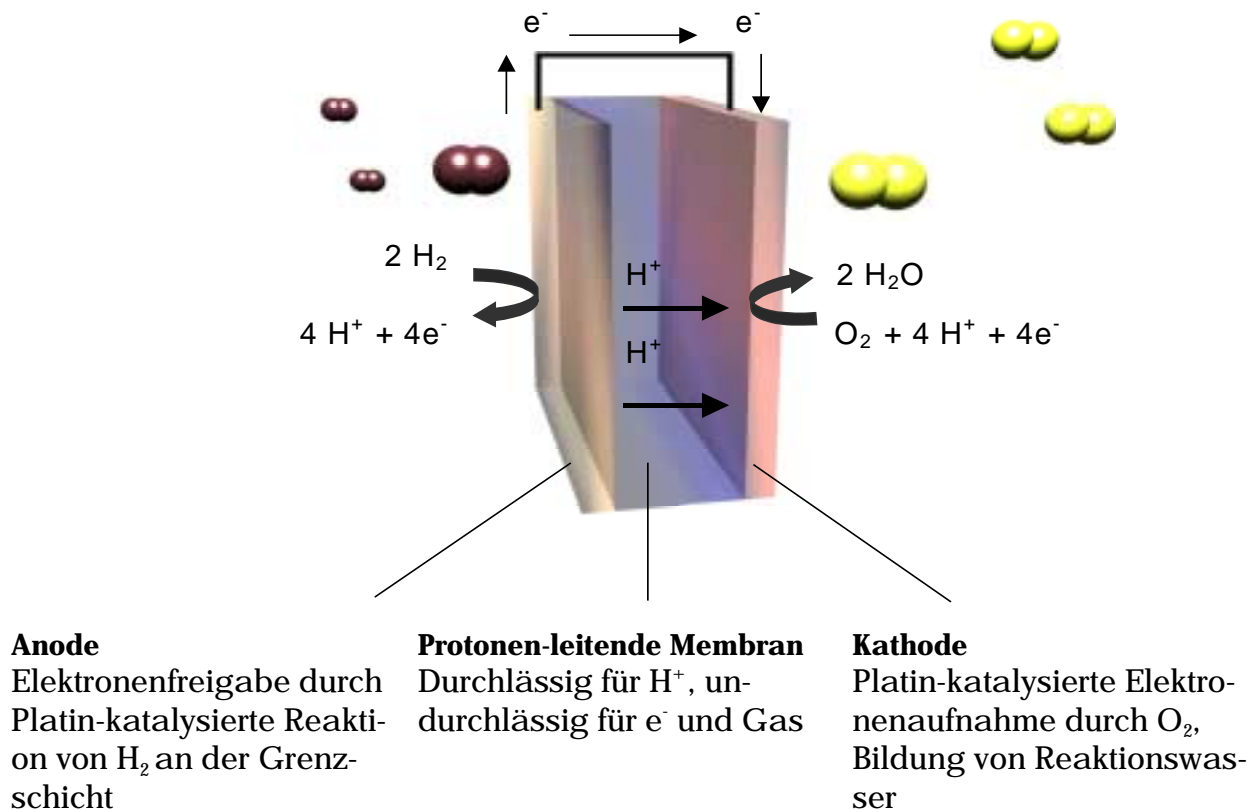


Bild 1: Schematische Darstellung einer Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzelle mit Wasserstoff als Brennstoff und Sauerstoff als Reaktionspartner.

## 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 (*) <sup>1</sup> (higher heating value)
Solid Oxide Fuel Cell, SOFC	Zirkonium-oxid, fest	(CH <sub>4</sub> und Wasser), H <sub>2</sub> , CO	Luft	ca. 1000°C	O <sup>2-</sup>	Perovskit/ Nickel	40-55%
Polymer Electrolyte Fuel Cell, PEFC  (Auch PEM Fuel Cell für Proton Exchange Membrane)	Kationen-tauscher-Membran, fest	H <sub>2</sub> , rein  (direkte Methanol Zelle: wässr. Methanol)	Luft	ca. 70°C	H <sup>+</sup>	Platin	40-50%
Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC	Phosphor-säure, flüssig	H <sub>2</sub> , rein	Luft	ca. 200°C	H <sup>+</sup>	Platin	ca. 40%
Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC	Alkali-Karbonat, flüssig	(CH <sub>4</sub> und Wasser), H <sub>2</sub> , CO	Luft	ca. 650°C	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Nickel	50-60%
Alkaline Fuel Cell, AFC	Kalium-hydroxid, flüssig	H <sub>2</sub> , rein	Luft ohne CO <sub>2</sub>	ca. 70°C	OH <sup>-</sup>	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 CO<sub>2</sub>-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 <sub>2</sub> -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 <sub>2</sub> -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 Brennstoffzellen<sup>ii</sup>

## 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<sub>el</sub> 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<sub>el</sub> 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 Watt<sup>iii</sup>.

## 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

<b>Fokus in der Forschung</b>	<b>Transferpotential</b>
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 <sub>2</sub> -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

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