

Zeitschrift:	Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber:	Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band:	92 (2000)
Heft:	5-6
Artikel:	Brennstoffzellen : ein neuer Energiewandel für mobile, stationäre und portable Anwendungen
Autor:	Heinzel, Angelika
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-940277

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 08.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Brennstoffzellen – ein neuer Energiewandler für mobile, stationäre und portable Anwendungen

■ Angelika Heinzel

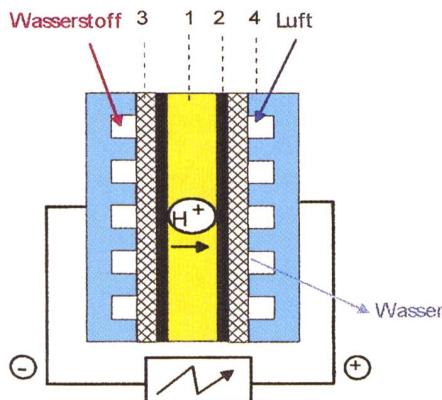


Bild 1. Membranbrennstoffzelle, schematisch mit den Komponenten

1 Membran

2 Platinelektroden

3 Stromableiter in einem Zellgehäuse 4.

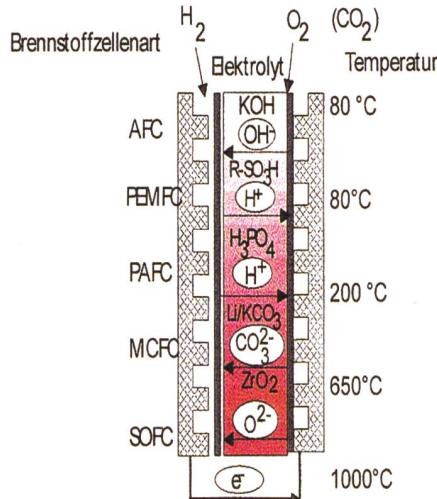


Bild 2. Funktionsprinzip der verschiedenen Brennstoffzellen.

1. Einleitung

Brennstoffzellen sind Energiewandler, die aus chemischen Energieträgern direkt elektrische Energie und Wärme erzeugen ohne den Umweg über Wärmeenergie und mechanische Energie wie bei heutigen Kraftwerken. Dadurch ergibt sich auch im kleinen Leistungsbereich bereits ein guter Wirkungsgrad für die Stromerzeugung. Außerdem gibt es in Brennstoffzellen keine bewegten Teile, sodass mit einer langen Lebensdauer zu rechnen ist.

Der typische Brennstoff für Brennstoffzellen ist Wasserstoff, der mit Luftsauerstoff zu Wasser umgesetzt wird. In diesem Fall treten also keine Schadstoffemissionen auf. Brennstoffzellen sind modular aufgebaut, sodass sie sehr leicht skalierbar sind und an die verschiedenen Anwendungen in ihrer Leistung angepasst werden können. Diese Vielzahl von Vorteilen hat dazu geführt, dass die verschiedenen Typen von Brennstoffzellen mit Nachdruck entwickelt werden und als eine der besten Optionen für die zukünftige Energieversorgung angesehen werden können. Auch der Übergang vom Einsatz fossiler Energiequellen zu den regenerativen Energiequellen und Wasserstoff als Energieträger ist mit der Brennstoffzelle problemlos möglich.

2. Die verschiedenen Technologien

Das Funktionsprinzip einer Brennstoffzelle ist in Bild 1 dargestellt. Neben dieser bei niedriger Temperatur arbeitenden Membranbrenn-

stoffzelle existieren weitere Typen von Brennstoffzellen, die in Tabelle 1 zusammengefasst und in Bild 2 in ihrer Funktionsweise grafisch dargestellt sind. In Tabelle 1 werden die üblichen englischen Abkürzungen für die Brennstoffzellen verwendet.

Je nach Eigenschaften sind die Einsatzbereiche für die Brennstoffzellen sehr unterschiedlich, prinzipiell können Kraftwerke, Blockheizkraftwerke, Antriebe für Elektrofahrzeuge und Systeme für den Batterieersatz mit Brennstoffzellen realisiert werden. In Tabelle 1 sind bereits einige Angaben zu den verschiedenen einsetzbaren Brennstoffen gemacht. Während die Niedertemperaturzellen auf relativ reinen Wasserstoff angewiesen sind, können die Hochtemperatursysteme auch Erdgas direkt verstromen. Wenn fossile Energieträger auch für die bei niedriger Temperatur arbeitenden Brennstoffzellen zugänglich gemacht werden sollen, sind Reformersysteme vorzuschalten. Diese Reformer wandeln Brennstoffe wie Methanol, Erdgas oder auch Benzin in ein wasserstoffreiches Gasgemisch um. Dieses Gasgemisch enthält außerdem Kohlendioxid, Kohlenmonoxid,

	Vorteile	Nachteile
AFC (alkaline fuel cell)	zur Serienreife entwickelt	kann nur mit Reinst-H ₂ und -O ₂ betrieben werden
PEMFC (Polymer electrolyte membrane fuel cell)	3- bis 5-mal höhere Leistungsdichte als andere Brennstoffzellentypen, niedrige Arbeitstemperatur, einfaches und schnelles Anfahren und damit schnell verfügbare Leistung, hohe Leistungsdynamik	CO-empfindlich (CO-Gehalt im Brenngas muss kleiner als 10 ppm sein)
DMFC (Direct methanol fuel cell)	hohe Energiedichte des Methanols (nur 20% geringer als Benzin)	schlechte Wirkungsgrade durch Methanoltransfer über Membran, Technik ist noch nicht ausgereift
PAFC (Phosphoric acid fuel cell)	Serienreife (Fa. ONSI) nur schwach CO-empfindlich → keine Feinreinigung des Reforms notwendig	längere Anlaufzeiten durch hohe Temperaturen, Stickstoff im Brenngas kann langfristig zu Degradation der Zelle führen
MCFC (Molten carbonate fuel cell)	Reformer kann in die Brennstoffzelle integriert werden, keine teuren Edelmetall-Katalysatoren notwendig (Ni statt Pt)	längere Anlaufzeiten durch hohe Temperatur, CO ₂ muss im Kreislauf geführt werden, Anforderungen an die verwendeten Materialien sind sehr hoch
SOFC (Solid oxide fuel cell)	Erdgas kann direkt verstromt werden	längere Anlaufzeiten durch hohe Temperatur, Anforderungen an die verwendeten Materialien sind sehr hoch

Tabelle 1. Die verschiedenen Typen von Brennstoffzellen.

Wasserdampf und je nach Verfahren auch Stickstoff. Mit speziellen Gasreinigungsstufen wird das Kohlenmonoxid vor der Brennstoffzelle entfernt, da CO ein Katalysatorgift ist.

3. Brennstoffzellenkraftwerke

Für die Anwendung im grossen Leistungsbe- reich als Ersatz für heutige Kraftwerke ist der elektrische Wirkungsgrad das wichtigste Kri- terium. Daher kommen hier die beiden Hoch- temperatursysteme in Betracht, deren Ab- wärme nochmals zur Erzeugung elektrischer Energie herangezogen werden kann. Die er- zieltbaren Wirkungsgrade sind in Bild 3 dar- gestellt.

Für beide Brennstoffzellen werden zurzeit erste Demonstrationsprojekte betrie- ben, überwiegend in den USA, Japan und Deutschland.

4. Blockheizkraftwerke

Im Bereich der Blockheizkraftwerke hat die phosphorsaure Brennstoffzelle einen deutli- chen Entwicklungsvorsprung, weltweit wur- den über 200 Anlagen installiert und getestet, einige davon haben bereits Betriebszeiten von mehr als 40 000 Stunden erreicht. Die meisten PAFC-Anlagen wurden von der Fir- ma ONSI hergestellt, einer japanisch-US- amerikanischen Kooperation. Hier ist die Ent- wicklung inzwischen so weit fortgeschritten, dass die Brennstoffzellen in Containern fertig für den Anschluss an das Erdgasnetz ausge- liefert werden können.

Der elektrische Wirkungsgrad der Anlagen mit einer typischen Leistung von 200 kW beträgt 40 bis 45%, bei guter Nut- zung der Abwärme kann ein Gesamtwirkungsgrad von 90% erreicht werden.

Solche Systeme werden bevorzugt bei Krankenhäusern oder Hotels eingesetzt, da neben dem Wirkungsgrad ein deutlicher Vorteil bezüglich der Emissionen und des Lärms besteht.

5. Hausenergiesysteme

Neben den Blockheizkraftwerken werden im- mer intensiver kleinere Systeme diskutiert, die auf der Basis der Erdgasreformierung und der Membranbrennstoffzelle arbeiten. Eine Hausheizung, die gleichzeitig Strom an vielen Stellen in einem Versorgungsnetz erzeugen kann, ist eine Vision, die eine Dezentralisie- rung der Energieversorgung mit sich bringen würde. Diese Entwicklung wurde zunächst in den USA vorangetrieben, da hier eine grösse- re Anzahl von Haushalten zwar Gas als Ener- gieträger nutzt, aber nicht an das Stromnetz angeschlossen ist. In Deutschland, wo erste Firmen ebenfalls aktiv sind, ist das Argument die bessere Nutzung der Energieträger im Vergleich zu zentralen Kraftwerken. Zurzeit werden verschiedene Konzepte diskutiert, wie der Strom- und Wärmebedarf der Haus- halte am besten gedeckt werden könnte und wie Stromüberschüsse beispielsweise in das Netz eingespeist werden könnten. Erste Pro- totypen wurden installiert.

Dieses Konzept wird ebenfalls von der Schweizer Firma Sulzer Hexis verfolgt, al- lerdings ist bei dieser Entwicklung die Hoch- temperaturzelle SOFC die Basistechnologie.

6. Mobile Anwendungen

Die rasanteste Entwicklung der Membran- brennstoffzelle ist derzeit bei der Automobil- industrie zu verzeichnen. Der Auslöser ist die kalifornische Abgasgesetzgebung, die von allen Herstellern die Einführung schadstoff- armer Fahrzeuge fordert. Die verschiedenen Automobilfirmen investieren Milliarden DM in die Entwicklung der Brennstoffzelle und des gesamten Antriebsstranges.

Diverse Demonstrationsfahrzeuge wurden realisiert und erprobt, und der techni- sche Fortschritt ist rasant. Die wichtigsten Fragen, die in der Zukunft zu klären sein wer- den, sind das Kostensenkungspotenzial und die Wahl des Brennstoffes zur Einführung der Brennstoffzellen-Fahrzeuge. Für Flottenfahr-

zeuge bietet sich hier Wasserstoff als Treib- stoff an, für den Individualverkehr jedoch rechnet man eher mit einem flüssigen Treib- stoff wegen der leichter zu installierenden In- frastruktur und der besseren Handhabung.

Die Vorteile der Brennstoffzelle im Vergleich zu den Verbrennungsmotoren sind im Wesentlichen die Emissionen. Für den gesamten Wirkungsgrad der Energieketten wurde eine Vielzahl von Untersuchungen durchgeführt, und der Vorteil der Brennstoff- zellensysteme mit Reformertechnologie an Bord eines Fahrzeuges wird zumindest nicht besonders gross sein.

7. Portable Anwendung

Die jüngste Entwicklungslinie ist die Brenn- stoffzelle für den Einsatz in tragbaren elektro- nischen Geräten. Bei vielen Geräten, wie z.B. Laptops oder Kameras, besteht der Wunsch, längere Betriebszeiten realisieren zu können. Die Brennstoffzelle, gekoppelt mit einem Wasserstoffspeicher, kann ganz flexibel aus- gelegt und so bestens an den Bedarf des Ver- brauchers angepasst werden. Erste Rech- nungen und Prototypen zeigen, dass die Brennstoffzellensysteme mit einem Metall- hybridspeicher mehr Energie speichern kön- nen als die zurzeit kommerziell verfügbaren Batterien. Außerdem bieten ein gutes Re- cyclingkonzept und die erwartete lange Le- bensdauer der Brennstoffzelle einen deutli- chen Umweltvorteil im Vergleich zu Batterien. Der Wirkungsgrad oder die Kosten für die Energie spielen bei portablen Systemen ge- nerell keine Rolle, die Kosten werden vom Preis bei der Anschaffung dominiert.

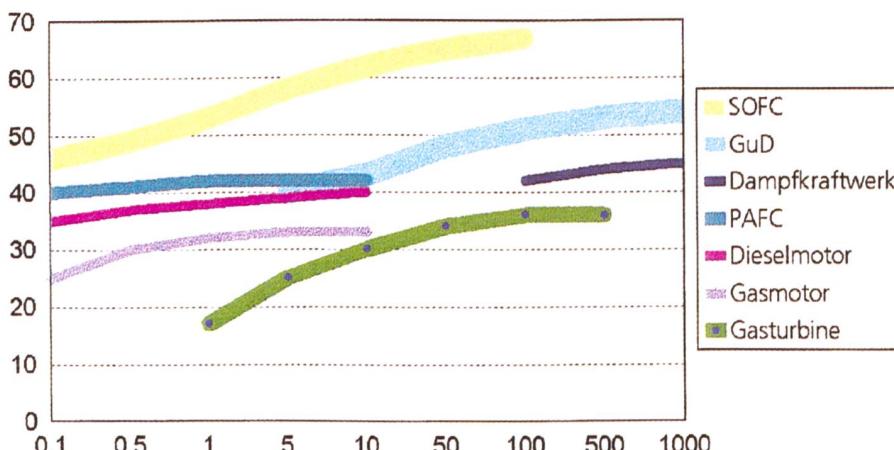


Bild 3. Wirkungsgrade verschiedener Kraftwerkstypen in Abhängigkeit von der Leistung (Quelle: Siemens, KWU 1993).

Adresse der Verfasserin

Dr. Angelika Heinzel, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg i.Br.