

# PEM-Brennstoffzellen in der Kraft-Wärme-Kopplung

von Angelika Heinzel,  
Andreas Brinner  
und Joachim Scholta

Dipl.-Ing. Andreas Brinner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Theoretische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Stuttgart.

Dr. Angelika Heinzel ist Leiterin der Abteilung Energietechnik des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE), Freiburg.

Dr. Joachim Scholta ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Elektrochemische Wasserstofftechnik des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Ulm

## Überblick

Brennstoffzellen sind effiziente und saubere elektrochemische Energiewandler und sind deshalb attraktiv als Option für stationäre, mobile und auch portable Anwendungen. Die Vorteile der Brennstoffzelle sind hoher Wirkungsgrad (auch im Teillastbereich und bei kleinen Leistungen), Emissionsfreiheit (abgesehen von Emissionen bei der Wasserstoffherstellung durch Reformierung von Kohlenwasserstoffen), modularer Aufbau (der sie leicht anpassbar macht an Leistungs-, Spannungs- und Stromanforderungen) und das Fehlen bewegter Teile (was lange Lebensdauer erwarten lässt).

Diskutiert werden mögliche Konzepte für die Energieversorgung mit Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerken (BHKW) in der stationären Anwendung und die Vorteile der Kraft/Wärmekopplung. Die Arbeiten der auf diesem Gebiet tätigen Institute Fraunhofer ISE, DLR und ZSW werden zusammenfassend dargestellt.

Fuel cells as efficient and clean electrochemical energy converters are attractive as option for stationary, mobile and even portable applications. The advantages of fuel cells are high efficiency (also at part load and in low power applications), zero emission (excepting those caused by the reforming of hydrocarbons in the process of hydrogen generation), modular construction (facilitating the adaptation to power, voltage and current requirements) and the absence of any moving parts (promising long lifetime).

Discussed are possible concepts for fuel cells in stationary applications and the advantages of combined heat and power supply, covering all respective R&D activities of the three institutes Fraunhofer ISE, DLR and ZSW.

## 1. Technologie

Das Funktionsprinzip von Brennstoffzellen basiert auf der elektrochemischen Umwandlung von Wasserstoff und (Luft)Sauerstoff in elektrische Energie und Wärme. Das Prinzip ist in [Abbildung 1](#) schematisch am Beispiel der Membranbrennstoffzelle (PEMFC) dargestellt.

Sowohl Membran- als auch phosphorsaure Brennstoffzellen (PAFC) benötigen nach dem Stand der Technik relativ reinen Wasserstoff für den Betrieb. Wenn also Erdgas genutzt werden soll, ist ein mehrstufiger Gasprozessor

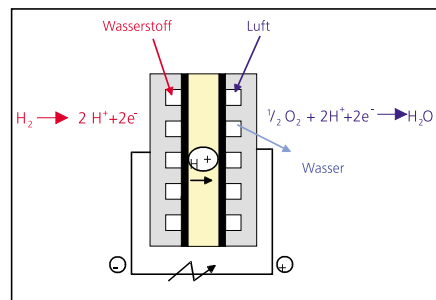


Abbildung 1: Funktionsprinzip einer Membranbrennstoffzelle

erforderlich, wie in [Abbildung 2](#) schematisch dargestellt.

## 2. Konzepte für Gebäude

Die größte Herausforderung bei der Entwicklung von Brennstoffzellensystemen mit Erdgas als Brennstoff für den Wohnhausbereich ist es, eine schnelle Startphase und ein einfaches Abschalten zu ermöglichen sowie die Teillastfähigkeit bei gutem Wirkungsgrad zu realisieren. Die hohe Betriebstemperatur der Reaktoren zur Reformierung und zur CO-Konvertierung limitieren derzeit die Möglichkeiten. Die zu erwartenden Wirkungsgrade liegen – je nach der Leistung und der Betriebsweise – im Bereich zwischen 20 und 40%.

### 2.1 Einfamilienhäuser

Die attraktivste Anwendung für Brennstoffzellensysteme ist der Ersatz in Heizungsanlagen im Gebäudebestand. Der typische Energieverbrauch eines Einfamilienhauses in Deutschland beträgt für

*Warmwasser:*  
300 W kontinuierlich,  
Sommer und Winter

*Elektrische Energie:*  
300 W kontinuierlich,  
Sommer und Winter

*Raumheizung:*  
100 kWh/m<sup>2</sup> a, mit einer deutlichen Verbrauchsspitze im Winter während der Hauptheizperiode

Das Verbrauchsprofil über ein Jahr ist in [Abbildung 3](#) dargestellt.

Das Verbrauchsprofil für einen Tag zeigt ebenfalls typische Lastspitzen, siehe [Abbildung 4](#).

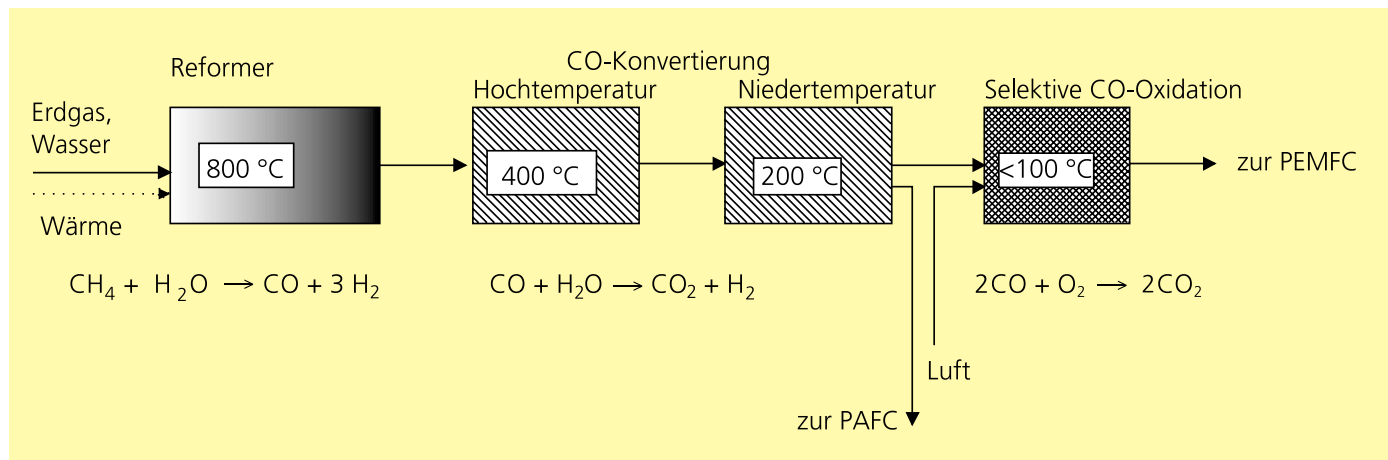
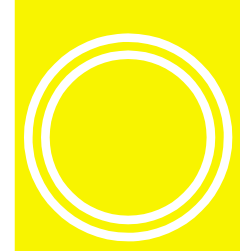


Abbildung 2: Gas-Processor für Erdgas zur Wasserstoffversorgung von Membran-(PEMFC) und phosphorsäuren Brennstoffzellen (PAFC)

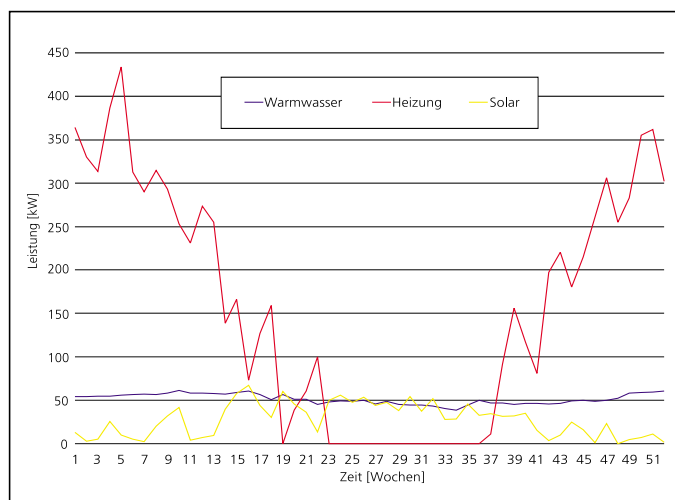


Abbildung 3: Energieverbrauch eines Hauses nach der WSchVO

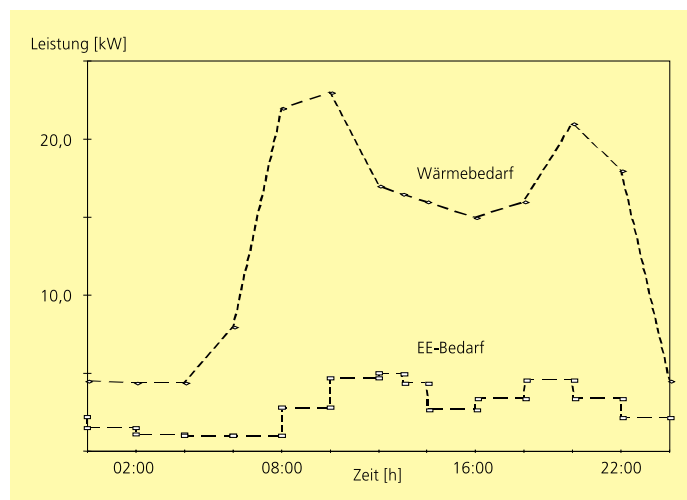


Abbildung 4: Tagesgang des Energieverbrauches eines kleinen Einfamilienhauses

In der Regel wird ein netzgekoppelter Betrieb angestrebt. Nur diese Betriebsart erscheint bei der Sanierung des Gebäudebestandes durchsetzbar. Die Leistung des Brennstoffzellensystems wird auf den Wärmeverbrauch für die Warmwasseraufbereitung und den geringen Grundbedarf an elektrischer Energie ausgelegt werden müssen. Der zusätzliche Bedarf an elektrischer Energie kann dem Netz entnommen oder auch Überschüsse in das Netz eingespeist werden. Das Brennstoffzellensystem wird mit einem effizienten Wärmespeicher (etwa ein Schichtspeicher oder ein Sorptionssystem) kombiniert, sodass eine möglichst kontinuierliche Betriebsweise realisiert werden kann. Da bei dieser Auslegung Strom aus dem Netz bezogen wird, wenn im Haushalt Lastspitzen auftreten und zu den anderen Zeiten der Überschussstrom ins Netz gespeist werden soll, ist für die Realisierung

dieses Konzepts die Zusammenarbeit mit den Energieversorgungsunternehmen ein äußerst wichtiges Thema. Für die Raumheizung wird eine zusätzliche Wärmequelle benötigt, die nur in Kälteperioden in Betrieb genommen wird. Ein Zusatzbrenner kann diese Funktion erfüllen. Das Konzept eines Brennstoffzellensystems mit Zusatzbrenner ist in [Abbildung 5](#) dargestellt.

Eine Alternative ist die Installation einer überdimensionierten Brennstoffzelle, die im Sommer in Teillastbetrieb läuft und deren Überschussstrom im Winter beispielsweise zum Betrieb von Wärmepumpen genutzt werden kann.

Zusätzlich ist es selbstverständlich möglich, Strom und Wärme mit Hilfe eines lokalen Strom- und Nahwärmenetzes von einem größeren, zentralen Blockheizkraftwerk an mehrere Einzelhäuser zu liefern.

## 2.2 Mehrfamilienhäuser, Bürogebäude

Für größere Mehrfamilienhäuser ist der Bedarf an Strom, Wärme und Kühlung ein Vielfaches von dem eines Einfamilienhauses, allerdings mit geringerem Spitzenbedarf aufgrund unterschiedlichen Verbraucherverhaltens. So gilt dasselbe Schema wie in [Abbildung 5](#) auch für Mehrfamilienhäuser, mit der Folge, dass die Größe des Brennstoffzellensystems an den Bedarf angepasst werden kann. Für Bürogebäude gibt es normalerweise einen zusätzlichen Bedarf an Kühlung im Sommer. Da sich Sorptionssysteme sowohl zur Heizung als auch zur Kühlung eignen, sind sie die ideale Ergänzung für ein Brennstoffzellensystem wie in [Abbildung 6](#) schematisch dargestellt.

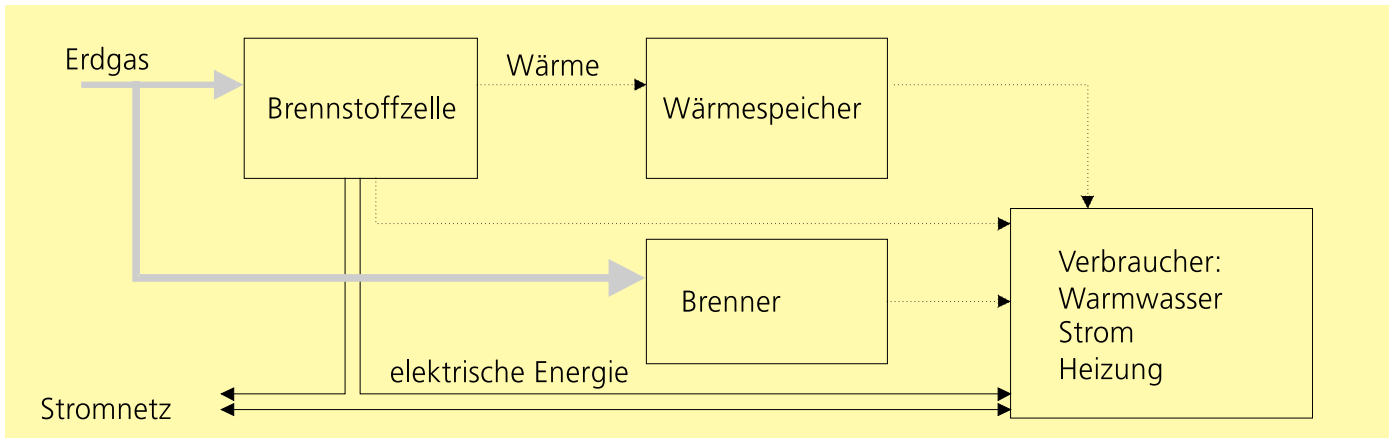
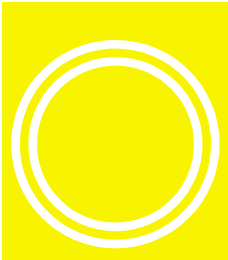


Abbildung 5: Energieversorgungskonzept eines Einfamilienhauses mit Zusatzbrenner

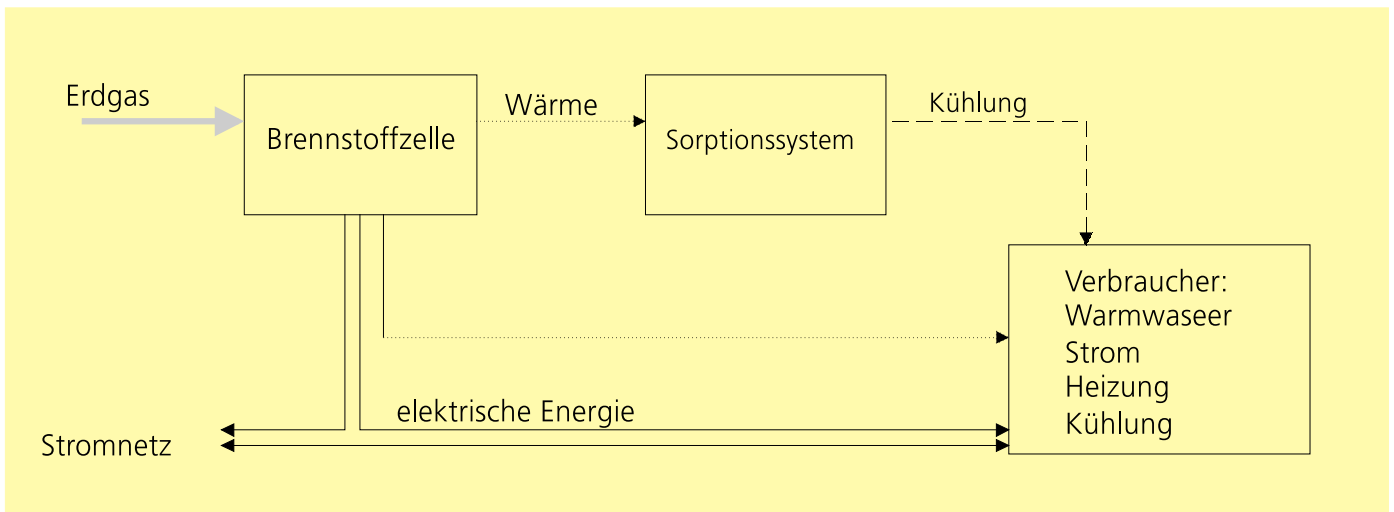


Abbildung 6: Energieversorgungssystem für ein Bürogebäude

Die praktischen F&E-Arbeiten der Institute sind derzeit

- Betrieb einer 5 kW PEM-Zelle als Hausheizungssystem im Labor in Ulm (ZSW),
- Betrieb einer 6 kW-PEM-Zelle in einer Versuchsanlage zur Laborgebäudeheizung in Stuttgart (DLR),
- Entwicklung der Reformertechnologie, gekoppelter Betrieb von Erdgasreformer und Brennstoffzellenanlage in Riesa, Sachsen (Fraunhofer ISE).

An der Reformieranlage in Riesa wird mit Stichproben die Gasqualität hinter den einzelnen Reaktoren kontrolliert, ein typisches Messergebnis ist in [Abbildung 7](#) dargestellt. Die Anlage läuft seit Anfang 1998 ohne Probleme.

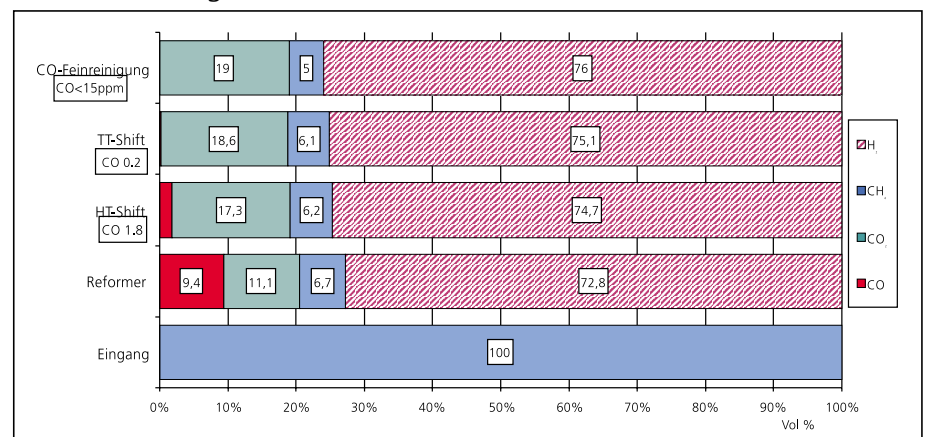
Die Elektro- und die Wärmeleistung eines Brennstoffzellenstapels der Firma

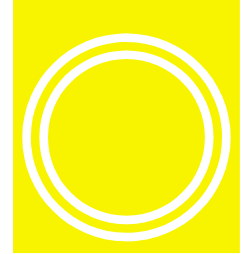
Ballard wurde vom ZSW bei Betrieb mit reinem Wasserstoff gemessen, die Ergebnisse sind in [Abbildung 8](#) dargestellt.

Anhand des Testbetriebes dieser und anderer intensiv betreuter Anlagen werden Erfahrungen mit Membran-

brennstoffzellen im kleineren Leistungsbereich gesammelt. Neben Konzepten für die Energieversorgung werden auch Strategien für den Betrieb von Brennstoffzellen entwickelt und die Unterschiede bei Betrieb mit Wasserstoff, synthetischem Reformat und direkt gekoppelt mit Prototypen von Reformern

Abbildung 7: Gaszusammensetzung nach den einzelnen Reaktoren bei Betrieb der Reformieranlage in Riesa





festgestellt. Mit diesen Erkenntnissen werden Vorschläge erarbeitet für die Anpassung der Brennstoffzellen- und der Reformertechnologie an den Einsatz in Hausenergieversorgungen.

Wichtige Ziele der Arbeiten sind:

- Entwicklung robuster, wartungsarmer Brennstoffzellen mit einfacher Systemtechnologie,
- Entwicklung angepasster Katalysatoren für die Reformierung, die CO-Konvertierung, die selektive Oxidation und für die Elektroden der Brennstoffzelle,

- Integration der 3 bis 4 Reaktionsstufen zu einem System mit guten Eigenschaften unter anderem bezüglich Teillastfähigkeit, Wartungsarmut und schnellen Aufheizzeiten,
- Kostensenkung durch Massenproduktion und Verwendung einfacher Peripheriekomponenten.

Um alle diese Ziele zu erreichen, ist auch im stationären Bereich noch erheblicher F&E-Aufwand erforderlich, obwohl die Kostenziele von ca. 1.000 – 2.000 DM/kW<sub>el</sub> leichter zu erreichen sind als die sehr niedrigen Ziele der Automobilindustrie.

### 3. Zusammenfassung

Die Energieversorgung von Gebäuden mit Brennstoffzellensystemen erfordert weitere F&E-Anstrengungen. Das Brennstoffzellensystem selbst ist bisher nicht an die erforderliche flexible Betriebsweise angepasst. Das Hochfahren der Anlage benötigt bisher zu lange Aufheizzeiten. In einem Membranbrennstoffzellensystem mit Reformier dürfen die Katalysatoren derzeit nur unter bestimmten kontrollierten Bedingungen betrieben werden. Wegen des wachsenden Interesses der Industriefirmen am dezentralen Einsatz der Brennstoffzellentechnologie werden diese Forschungsarbeiten in naher Zukunft unternommen werden.

Abbildung 8: Meßdaten an der 5 kW PEMFC

