

Aufbau und Funktion des Vaillant Brennstoffzellen-Heizgerätes

Heizgerät der Zukunft

Dr.-Ing. Thomas Hocker*

Ein Brennstoffzellen-Heizgerät erzeugt umweltfreundlich und effizient aus Erdgas Elektrizität, die entweder beim Produzenten genutzt oder ins öffentliche Versorgungsnetz eingespeist wird. Die entstehende Wärme wird zur Heizung und Warmwasserbereitung eingesetzt. Vaillant plant, ein solches Brennstoffzellen-Heizgerät im Zeitraum Ende 2001 bis Anfang 2002 in den Markt einzuführen.

Brennstoffzellen sind seit 150 Jahren bekannt. Sir William Robert Grove erfand im Jahr 1839 die erste Brennstoffzelle. In der Brennstoffzelle wird die Elektrolyse von Wasser umgekehrt: Aus Wasserstoff und Sauerstoff wird unter Freisetzung von Wärme, Elektrizität und Wasser gebildet. Groves Entdeckung konnte sich jedoch nicht durchsetzen, da mit der Erfindung des Stromgenerators durch Werner von Siemens elektrische Leistung einfacher erzeugt werden konnte [1]. Erst nach dem 2. Weltkrieg wurden Brennstoffzellen wiederentdeckt und in Spezialbereichen eingesetzt. Vor allem in der Raumfahrt und im militärischen Bereich fanden die Brennstoffzellen ihre Anwendung. Aufgrund der geringen Stückzahlen und der sehr anwendungsspezifischen Bauweisen waren jedoch die Kosten sehr hoch.

Erst in den letzten Jahren begann die Entwicklung von großserientauglichen Brenn-

* Dr.-Ing. Thomas Hocker, Vaillant, Zentrale Forschung und Entwicklung, 42857 Remscheid, Telefax (0 21 91) 1 87 35 29

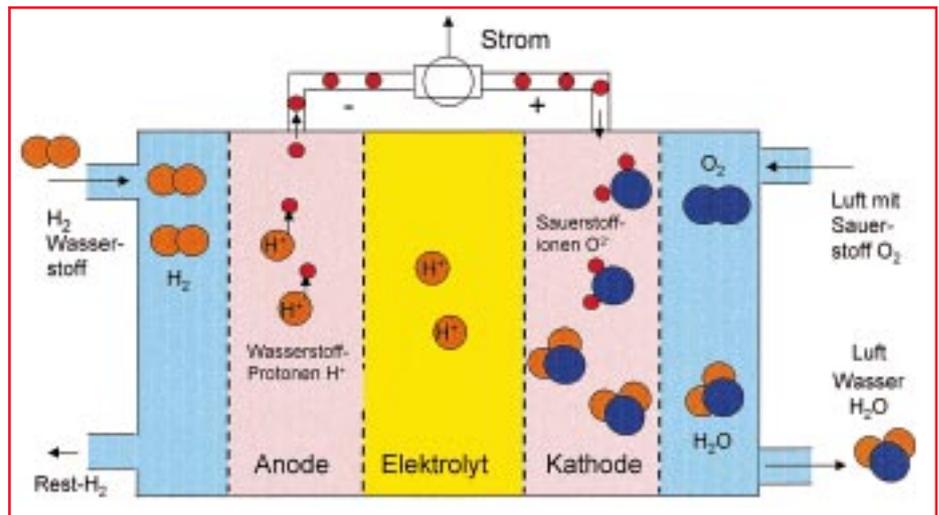


Bild 1 Aufbau einer PEM-Brennstoffzelle

stoffzellensystemen. Insbesondere die zukünftigen kalifornischen Anforderungen an Automobilabgase forcierte diesen Prozeß. 2004 sollen die ersten Serien-Pkw mit Brennstoffzellenantrieb auf den Markt kommen. Hierzu sind Fertigungsmethoden nötig, welche marktaugliche Aggregatspreise zulassen. So wird in der Automobilindustrie von 50 bis 100 \$ pro kW gesprochen. Diese Entwicklung ermöglicht Preise, die Brennstoffzellen auch für andere Anwendungsfälle attraktiv machen. Es sind mehrere Sorten Brennstoffzellen in Entwicklung und auf dem Markt. Am weitesten fortgeschritten hinsichtlich einer Großserienfertigung sind die Proton Exchange Membrane (PEM) Brennstoffzellen, die in der Automobiltechnik Verwendung finden werden.

Funktionsweise einer PEM-Brennstoffzelle

Eine PEM-Brennstoffzelle besteht aus einer katalytisch beschichteten Anode, einer Elektrolyt-Membran und einer katalytisch beschichteten Kathode (siehe Bild 1). Atomarer Wasserstoff (H_2) strömt die Anode an und wird über die gesamte Membranfläche verteilt. Am Katalysator wird der molekulare Wasserstoff in atomaren Wasserstoff (H) aufgespalten. Die Wasserstoffatome geben ihre Elektronen (e^-) an einen Stromkreislauf ab. Die verbleibenden Wasserstoffkerne (H^+) bestehen somit aus rei-

nen Protonen. Die Elektrolyt-Membran ist ausschließlich für Protonen leitend, wodurch die Wasserstoffkerne von der Anodenseite auf die Kathodenseite gelangen können. Die Kathodenseite wird mit Luft angeströmt. Luftsauerstoff (O_2) nimmt an dem Katalysator aus dem Stromkreislauf Elektronen auf, wodurch O^{2-} entsteht. Anschließend reagiert der Sauerstoff mit den Wasserstoffkernen zu Wasserdampf, der von der Zelle weggeleitet wird. Durch den Elektronenfluß über den Stromkreislauf wird eine elektrische Leistung induziert. Die restliche Energie, welche bei dem chemischen Prozeß frei wird, geht in Wärme über. Folgende Reaktionen finden dabei statt [2]:

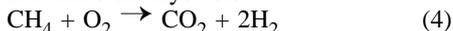


Die theoretische Zellspannung beträgt ohne Last 1,2 Volt. Mit einem elektrischen Verbraucher reduziert sich die Spannung, so daß Brennstoffzellen meist mit 0,7 Volt betrieben werden [3]. Der Strom ist dabei von der elektrischen Last und der Membranfläche abhängig. Um eine verwertbare Spannungsquelle zu erhalten, werden mehrere Brennstoffzellen in Reihe geschaltet.

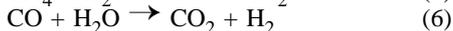
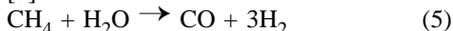
Funktionsweise eines Reformers

Wie im vorigen Absatz beschrieben, benötigt eine Brennstoffzelle Wasserstoff als Betriebsgas. Wasserstoff ist ein Sekundärrohstoff und muß aus anderen Ausgangsstoffen hergestellt werden. In Deutschland gibt es zur Zeit lediglich an wenigen Orten eine Wasserstoffversorgung über Pipelines. Da jedoch Erdgas fast flächendeckend zur Verfügung steht, bietet es sich an, den für den Brennstoffzellenbetrieb nötigen Wasserstoff aus Erdgas zu gewinnen. Erdgas besteht überwiegend aus Methan (CH_4), weshalb es sich bei der Erdgasreformierung überwiegend um eine Methanreformierung handelt.

Prinzipiell gibt es zwei Reaktionen, mit deren Hilfe Wasserstoff gewonnen werden kann. Diese sind vereinfacht in Bild 2 dargestellt. Bei der partiellen Oxidation reagieren Methan und Sauerstoff in Anwesenheit eines Katalysators.



Demgegenüber reagieren bei der Dampfreformierung Methan und Wasserdampf [4], [5].



In der Praxis findet bei Reformern für Brennstoffzellenanlagen der Leistungsklasse unter 10 kW eine Mischung aus beiden Reformierungsarten Verwendung. Der Vorteil der partiellen Oxidation liegt darin, daß bei der Reaktion Oxidation frei wird, während bei der Dampfreformierung Energie zugegeben werden muß. Bei der Dampfreformierung erhält man jedoch durch den Wasserstoff in Wasser pro eingebrachte Methanmenge mehr Wasserstoff. Der Reformier muß so betrieben werden, daß möglichst kein Wasserstoff mit Sauerstoff reagiert. Bei dieser Betriebsführung ist die Oxidation des Kohlenstoffs (C) zu Kohlendioxid (CO_2) nicht vollständig. Es entsteht Kohlenmonoxid (CO). Da alle Gase, welche den Reformier verlassen, in die Brennstoffzelle gelangen und Kohlenmonoxid die Effizienz einer Brennstoffzelle mindert,

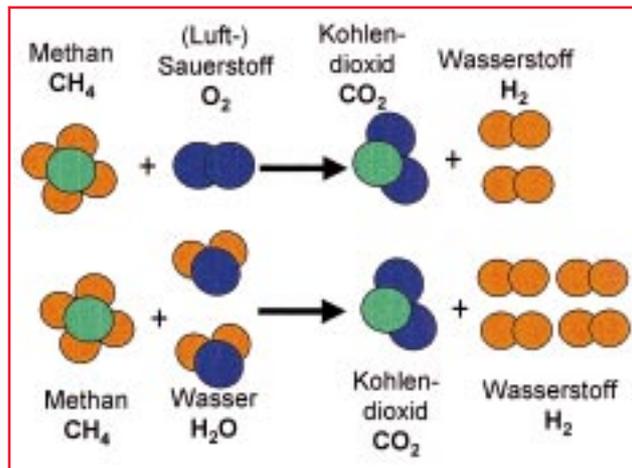


Bild 2 Reaktionen in einem Reformier

muß in einem CO-Cleaner unter Anwesenheit eines weiteren Katalysators und Zugabe von Luft das CO zu CO_2 oxidiert werden.

Strom- und Wärmebedarf

Der Strom- und Wärmebedarf von Haushalten ist von vielen Punkten abhängig. Nachts wird wenig Strom und Wärme benötigt. Je nach Witterung und Dämmung eines Hauses variiert der Heizenergiebedarf. Die Lebensgewohnheiten der Hausbewohner bestimmen sowohl den Strombedarf als auch die Warmwassermenge. Dementsprechend ist der Strom- und Wärmebedarf sehr stark von der Tageszeit abhängig. Bild 3 zeigt den Strom- und Wärmebedarf einer in einem Einfamilienhaus lebenden vierköpfige Familie (Arbeitnehmer, Hausfrau, zwei schulpflichtige Kinder) an einem sonnigen Arbeitstag im Winter. Durch die Heizungsabsenkung ist vor 4.45 Uhr kein Wärmebe-

darf. Der Strombedarf ist sehr niedrig, da lediglich wenige Verbraucher wie beispielsweise Kühlschrank, Radiowecker, Videorecorder, und Außenleuchten mit Bewegungsmeldern Strom benötigen. Im vorliegenden Fall handelt es sich um eine nicht-modulierende Heizungsanlage. Vor dem Aufstehen schaltet sich die Heizung ein. Mit dem Aufstehen steigt der Bedarf an elektrischer Energie und Warmwasser. Um die Mittagszeit wird das Maximum an Strom erreicht. Abends gibt es wieder einen Anstieg. Auffallend sind die extremen Leistungsspitzen, welche durch das kurzzeitige Einschalten von Verbrauchern verursacht werden. Sie verdeutlichen, daß eine kleine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage stets mit dem Netz verbunden sein sollte, um diese Spitzen abzudecken. Somit kann die Maximallast der Anlage deutlich geringer ausfallen als für einen netzautarken Betrieb notwendig, was sich wiederum positiv auf die Investitionskosten auswirkt. Die Heizleistung läßt sich durch eine Modulation gleichmäßiger gestalten, wodurch die Maximallast erheblich fällt und die Schadstoffemissionen in der Regel positiv beeinflusst werden.

Auch wenn sich das individuelle Nutzerverhalten von Haushalt zu Haushalt unterscheidet, so ist festzustellen, daß der Bedarf nach thermischer und elektrischer Leistung über den Tagesverlauf analog ist. Durch die Vielzahl der Verbraucher gleichen sich im öffentlichen Versorgungsnetz die extremen Minima und Maxima aus. In der Summe ergibt sich ein elektrischer Energiebedarf wie in Bild 4 dargestellt. Die Grundlast wird in der Regel preiswert über stetig laufende Kraftwerke bereitgestellt. Besonders die Spitzenlast ist in der Produktion teuer, da die hierfür benötigten Kraftwerke rasch zu

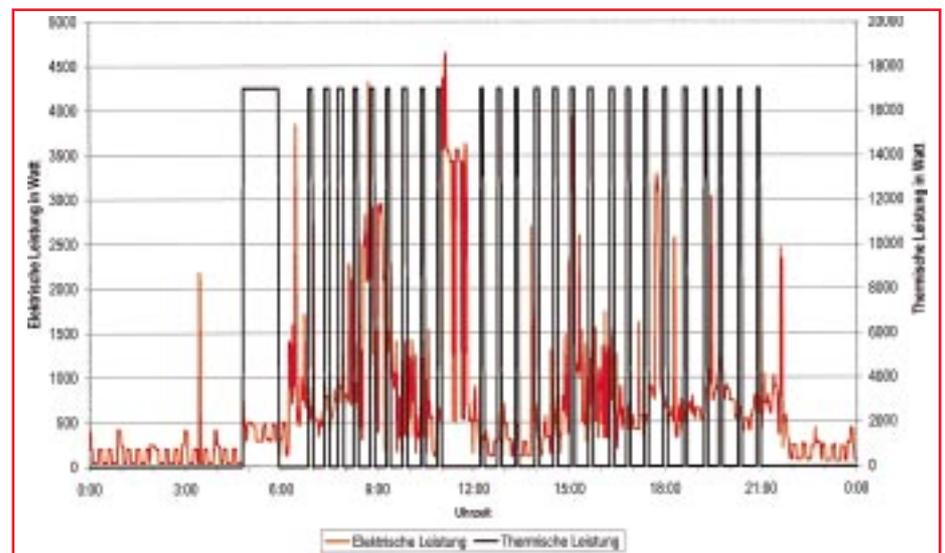


Bild 3 Exemplarischer Strom- und Wärmebedarf eines Einfamilienhauses als Funktion der Tageszeit an einem Arbeitstag im Winter

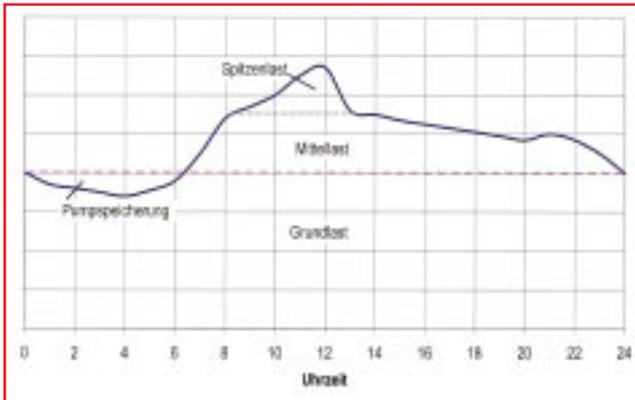


Bild 4 Typischer elektrischer Energiebedarf im Laufe eines Tages (qualitative Darstellung)

modulieren sein müssen und nur wenige Stunden am Tag benötigt werden. Dies verdeutlicht, daß bei einem wärmegeführten Brennstoffzellen-Heizgerät der Strom überwiegend in Zeiten hohen Bedarfs im Netz anfällt. Ein optimales Energiemanagement kann durch intelligente Steuerung eines Warmwasserspeichers, Zusatzheizgeräts und Netzeinspeisung den Strom vorwiegend dann produzieren, wenn er als „Premiumstrom“ im Netz den größten Wert darstellt.

Aufbau des Vaillant Brennstoffzellen-Heizgerätes

Beim Vaillant Brennstoffzellen-Heizgerät werden Erdgas und Luft dem Reformier unter Druck zugeführt und dort unter Wasserzusatz reformiert (siehe Bild 5). Aus dem Reformat wird das dabei entstandene Kohlenmonoxid in einer 2. Stufe gereinigt. Das Reformat gelangt in die Brennstoffzelle, in der Strom und Wärme produziert werden. Der Strom wird in einen Inverter geleitet, in dem die elektrische Leistung netzgerecht auf 230 V Wechselstrom bei 50 Hertz umgewandelt wird. Die Wärme gelangt in den Brennstoffzellenkühlkreislauf, der auch die Wärme des Abgases aufnimmt und an einen Heizkreis abgibt. Da die Brennstoffzelle nicht das gesamte ihr zugeführte Brenngas umsetzt, wird das Brennstoffzellenabgas in einem katalytischen Nachbrenner vollständig verbrannt. Die dabei entstehende Wärme wird zur Vorheizung des Erdgases vor dem Eintritt in den Reformier genutzt. Ein Zusatzheizgerät deckt thermische Spitzen. Nicht dargestellt ist der Energiemanager, der das Zusammenwirken der Komponenten optimiert steuert.

Bild 6 zeigt eine Designstudie des Brennstoffzellen-Heizgerätes. Das Gerät besitzt die Außenabmaße eines konventionellen Kessels und ist somit neben einer Neuinstallation ebenfalls zum Austausch geeignet. Die Installation unterscheidet sich kaum von einem Brennstoffkessel, da Erdgaszufuhr, Heizkreislauf, Abgasleitung, Kondensatablauf und elektrischer Netzanschluß notwendig sind. Durch den besonders im Vergleich zur de-

zentralen Stromversorgung hohen elektrischen Wirkungsgrad und die hohe Energieausbeute durch die Kraft-Wärme-Kopplung stellt das Vaillant Brennstoffzellen-Heiz-

gerät, das voraussichtlich im Zeitraum Ende 2001 bis Anfang 2002 in den Markt eingeführt wird, einen wirksamen Beitrag zur CO₂-Minderung dar. □

Literatur

- [1] Ledjeff-Hey, K.; Mahlendorf, F.; Roes, J.: Brennstoffzellen – Ein Überblick. Einsatz von Brennstoffzellen – Fünftes Fachforum. Regensburg: Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V., 1998. S. 7–29 – Tagungsbericht Hamburg 5./6. Oktober 1998
- [2] Stimming, U.; Friedrich, K. A.; Cappadonia, M.; Vogel, R.: Brennstoffzellen-Technologie. VDI-Bericht 1383: Energieversorgung mit Brennstoffzellenanlagen '98 – Stand und Perspektiven. Düsseldorf: VDI, 1998. S. 1–19 – Tagungsbericht Essen 24./25. März 1998
- [3] Pokojski, M.: Brennstoffzellen, eine Option für die Zukunft
- [4] Weindorf, W.; Bünger, U.: Verfahren zur Reinigung von Wasserstoff aus der Erdgasreformierung. In: BWK 49 (1997), Nr. 7/8, S. 62–65
- [5] Amphlett, J. C.; Mann, R. F.; Peppley, B. A.: On board hydrogen purification for steam reformation/PEM fuel cell vehicle power plant. In: Int. Journal Hydrogen Energy 21 (1996), Nr. 8, S. 673–678

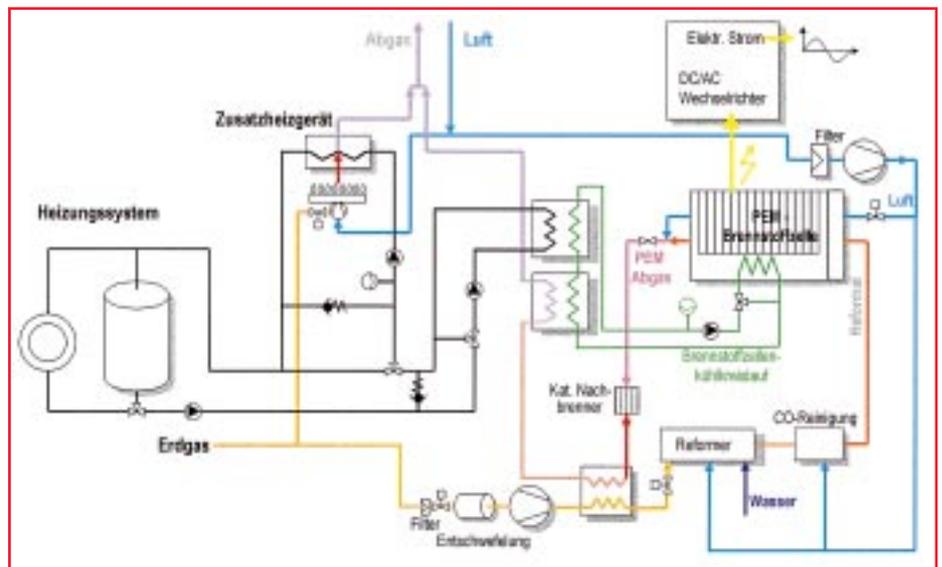


Bild 5 Prinzipieller Aufbau des Vaillant Brennstoffzellen-Heizgerätes

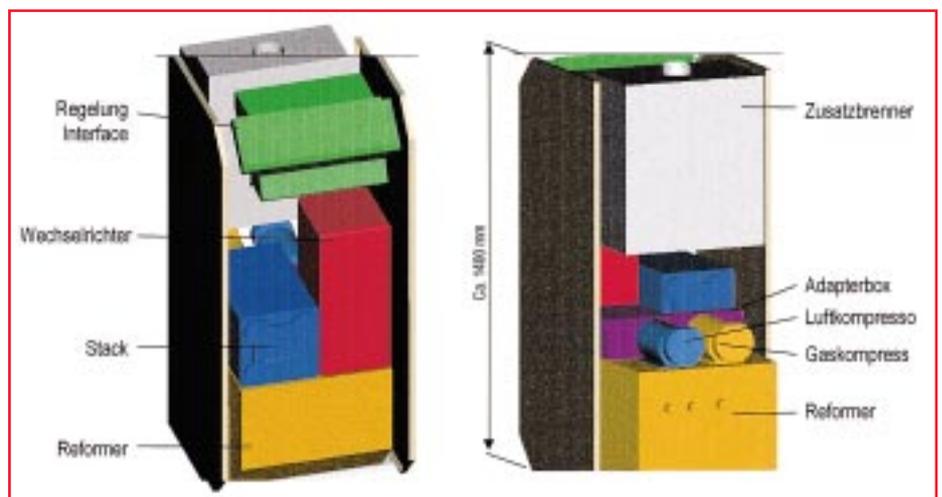


Bild 6 Designstudie des Vaillant Brennstoffzellen-Heizgerätes