

# H<sub>2</sub>

# T e c

11 €  
11 US \$  
august  
2005

das magazin für wasserstoff und brennstoffzellen



## **Themenschwerpunkte:**

- **Praxistest: Brennstoffzellen-BHKW**
- **Biomasse: Energie für Brennstoffzellen**

**Editorial / Impressum**

Impressum	2
Editorial	3

**Messen / Exhibitions**

Vorschau: f-cell 2005	4
Symposium Fachhochschule Stralsund	4
Vorschau: H <sub>2</sub> Expo	6

**Brennstoffzellen / Fuel Cells**

Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerke im Einfamilienhaus	7
Betriebserfahrungen mit PEM-Brennstoffzellenheizgeräten	11

**Wasserstoff / Hydrogen**

Nasse Biomasse liefert Energie für Brennstoffzellen	14
---	----

**Projekt / Project**

Brennstoffzellen für den Hybridantrieb im öffentlichen Nahverkehr	17
---	----

**Nachrichten / News**

Hydro-Gen3 für Ikea-Möbel	20
Norwegen fördert Wasserstoffkorridor	20
Bundeswehr rüstet Soldaten mit Brennstoffzellen aus	20
Solare Wasserstoffherstellung mit Zink	20
DaimlerChrysler liefert Citaro-Busse nach Peking	21
Brennstoffzellen-Unternehmen ziehen nach Herten	21

**Veranstaltungen, Messen / Events, Exhibitions**

Veranstaltungskalender	22
------------------------	----

**Firmenverzeichnis / Directory of Companies**

Firmenverzeichnis	23
-------------------	----

*Titel-Foto: DaimlerChrysler*

**PEM-Brennstoffzellenheizgeräte in der Praxis**  
*Experince with PEM fuel cell heating systems* Seite 11

Um die technische Reife des erdgasbetriebenen Brennstoffzellenheizgerätes zu untersuchen, wurden zwei Pilot-Brennstoffzellen der Firma Vaillant installiert. Sie sind seit 2003 und 2004 in Betrieb. Ziel des Projektes ist es, Erfahrungen bei der Einbindung der Anlagen und beim praxisnahen Betrieb von Brennstoffzellenheizgeräten zu erhalten. Weiterhin sollen die Anlagen an ihren Standorten einem breiten Publikum zur Information über die Brennstoffzellentechnik zugänglich sein. Daher handelt es sich bei den gewählten Standorten nicht in jeder Hinsicht um typische Versorgungsaufgaben für Brennstoffzellenheizgeräte. Die typische Versorgungsaufgabe für die Großstadt ist das erdgasversorgte Mehrfamilienhaus oder der Gewerbebetrieb.



**Nasse Biomasse liefert Energie für Brennstoffzellen**  
*Hydrogen from wet biomass for fuel cells* Seite 14

Ein großer Teil der Restbiomasse enthält bis zu 95 % Wasser und wird derzeit trotz vorhandenem Potenzial kaum energetisch genutzt. Mit den konventionellen Vergasungsverfahren werden bei hohen Wassergehalten nur sehr niedrige Wirkungsgrade erzielt. Der hier vorgestellte Prozess zielt auf die effektive stoffliche und energetische Nutzung nasser Biomasse ab. Das vorrangige Ziel ist es, in effektiver Weise Wasserstoff zu erzeugen und damit einen Beitrag zur Bereitstellung von Wasserstoff als Basis für die zukünftige Energieerzeugung und als Chemierohstoff aus nicht fossiler Quelle zu leisten. Das wasserstoffreiche Produktgas ist, nach entsprechender Konditionierung, zur Verstromung in Brennstoffzellen, aber auch für chemische Synthesen, zum Beispiel von Kraftstoffen, geeignet. Der Prozess wird im Druck-Temperatur-Bereich des überkritischen Wassers durchgeführt und oft als hydrothermale Vergasung oder Vergasung in überkritischem Wasser bezeichnet. Ohne Zusatz von Sauerstoff (oder Luft) reagieren dabei organische Substanzen mit überkritischem Wasser. Kohlenstoff wird zu CO<sub>2</sub> oxidiert und Wasserstoff wird sowohl aus den organischen Substanzen als auch aus dem Wasser freigesetzt.

**Die FC hybrid Power Engine der AutoTram®**  
*The FC hybrid power engine* Seite 17

Verschiedene Bushersteller haben in den vergangenen Jahren Brennstoffzellenbusse entwickelt und teilweise unter realen Bedingungen getestet. Die Antriebskonzepte basierten dabei überwiegend auf so genannten Lean-Konzepten, bei denen das Brennstoffzellensystem an Bord die gesamte geforderte, momentane Leistung für den Fahrzeugvortrieb liefert. Hybride Ansätze stehen neuerdings stärker im Fokus der Entwicklung.



**IMPRESSUM**

**H2Tec**

das magazin für wasserstoff und brennstoffzellen

**Redaktion/Editorial office:** Dr. Volker Buddensiek (vb, Chefredakteur/Editor-in-chief), Dipl.-Journ. Björn Johnsen (jo), Miriam von Bardeleben, M.A. (mb), Katharina Wolf (kw)

**Grafik/Graphics:** Miriam Adrian

**Vertrieb/Distribution:** Andrea Pacoli

**Anzeigen/Advertisements:** Rainer Karpinsky

**Verlag/Publisher:** SunMedia Verlagsgesellschaft mbH, Querstraße 31, D-30519 Hannover, Telefon +49 (0) 511/844-1932, Fax +49 (0) 511/844-2576  
ISSN 1615-2360

**Autoren dieser Ausgabe/Authors in this edition:** Prof. Dr. H. Bönnemann, Dr. N. Boukis, Prof. Dr. E. Dinjus, C. Eisgruber, U. Galla, Prof. Dr. B. Hoehlein, K. Jonas, Dr. M. Klingner, Dr. M. Vetter, Dr. D. Witteben

**Druck:** BWH Buchdruckwerkstätten Hannover GmbH, Beckstr. 10, D-30457 Hannover  
H2Tec erscheint zweimal im Jahr. Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 3 vom 15.1.2002. Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung der Redaktion wieder. Die Redaktion behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen. Das Urheberrecht dieser Ausgabe liegt beim Verlag. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Verlagsgenehmigung.

**Internet:** www.h2tec.net

H2Tec is published twice per year. The advertising price list No. 3 from 15/01/2002 is valid. Named articles are not always representing the opinion of the editorial office. All rights are at the publisher. Reprinting, also in parts, is only allowed with written permission from the publisher.



auf regenerativer Basis – ein Versorgungssystem bilden. Eine Strategie hin zu einer Energiewirtschaft mit komplementärer Versorgungsstabilisierung wird sich in Europa nur allmählich und unter Nutzung verschiedener Primärenergieträger realisieren lassen.

Der Versorgungssicherheit und dem Klimaschutz dient das veränderte Energieträgersystem nur dann, wenn es für alle Prozesse von der Quelle bis zur Nutzung einen geringen Primärenergiebedarf sowie geringe Treibhausgasemissionen

Economy (www.iphe.net), die deutsche Strategie-Initiative Hybert (begleitet von der Nationalen Koordinierungsstelle Jülich, www.nkj-ptj.de) sowie die verschiedenen Landesinitiativen strategische Ausrichtungen und entsprechende Aktionen auf.

Herausragender Handlungsbedarf besteht bei der Wasserstoffherstellung und der Logistik der Wasserstoffbereitstellung bis zum Kunden. Dazu gehören die Speichertechnik insbesondere bei der mobilen Nutzung, kurz- bis mittelfristig die zentrale H<sub>2</sub>-Bereitstellung durch vorhandene Kapazitäten, mittel- bis langfristig die zentrale kostengünstige Wasserstoffherzeugung mit CO<sub>2</sub>-Abtrennung und via Elektrolyse auf Basis CO<sub>2</sub>-freien Stroms, der Wasserstofftransport zum Kunden und die Strukturierung der Wasserstoffabgabe in Tankstellen oder in Form von Befüllstationen für Kartuschen. Während für Fahrzeugantriebe mit Brennstoffzellen reiner Wasserstoff im Tank den Vorrang

haben wird, sind für stationäre Nutzungen und APU (Auxiliary Power Unit) Systeme

mit Reformern geeignet. Mitteldestillate wie Diesel, Kerosin und Heizöl, aber auch Methanol, sind für APUs besonders wichtig, Erdgas sowie Bio-, Deponie- und Grubengase für die stationäre Brennstoffzellennutzung.

Handlungsbedarf besteht ebenfalls bei Brennstoffzellensystemen mit hohem elektrischem Wirkungsgrad. Die Entwicklung der Stack-Technologie ist deshalb besonders voranzutreiben. Neben notwendigen Systemvereinfachungen und insbesondere material- und fertigungsbedingten Kostensenkungen bei Brennstoffzellen-Stacks stellen auch optimierte periphere Komponenten ein erhebliches Potenzial zur Realisierung hoher Energieeffizienz und Kostensenkung dar. Schließlich müssen verstärkt Systemanalysen zur effektiven Schwerpunktsetzung von F&E-Aktivitäten und ganzheitliche Bewertungen der Energieträger und Energienutzungsstrukturen als Life Cycle Assessment auf den Weg gebracht werden.

Prof. Dr. Bernd Hoehlein  
Forschungszentrum Jülich

## Warum, wann und wie viel Wasserstoff?

Die Energieträger- und Kraftstoffversorgung in Europa lässt Instabilitäten erwarten; die Risiken für die Versorgungssicherheit steigen. Abnehmende Ölressourcen, höhere Kraftstoffpreise und eine notwendige Reduktion klimarelevanter Emissionen verstärken den Druck hin zu neuen Energieträgern und Energieumwandlungssystemen. Unsere Herausforderung besteht darin, eine saubere, sichere und zuverlässige Bereitstellung von Energie zu bezahlbaren Preisen und bei wirtschaftlicher Tragfähigkeit zu realisieren.

Langfristig spielen Wasserstoff und Elektrizität zusammen eine herausragende Rolle als Energieträger. Einerseits kann Strom direkt ins Versorgungsnetz eingespeist werden, andererseits macht Wasserstoff durch seine Speicherfähigkeit die Verwendung in mobilen Anwendungen und zur Übertragung von fluktuierender Solar- oder Windenergie attraktiv. Wasserstoff und Elektrizität sind wechselseitig konvertibel und erlauben im Versorgungssystem eine höhere Flexibilität. Mittel- bis langfristig werden zunehmend synthetische flüssige Energieträger, Elektrizität und Wasserstoff – und diese mehr und mehr

bei entsprechender Wirtschaftlichkeit bewirken kann.

Im Vergleich zu fortgeschrittenen konventionellen Technologien erreichen Brennstoffzellensysteme höhere elektrische Wirkungsgrade und höhere Stromkennzahlen (Strom/Wärme-Verhältnis) bei sehr niedrigen Emissionen. Nach Konzeptfahrzeugen mit Brennstoffzellen werden nun erste kleine Serien auf der Basis von Wasserstoff für die Erprobung durch den Kunden weltweit zur Verfügung gestellt. In der stationären Anwendung spiegeln zahlreiche Demonstrationsanlagen und erste Feldtests den Entwicklungsstand wider.

Materialentwicklungen und Fertigungstechniken müssen fortschreiten. Daneben sind frühe Produktmärkte anzustreben, um Brennstoffzellensysteme bei noch hohem spezifischem Kostenniveau zum Markterfolg zu führen. Dabei wird die Stromversorgung mit Brennstoffzellen in portablen Geräten oder bei Premium-Power-Versorgung eine besondere Rolle spielen. Mit dem Ziel der Bündelung der notwendigen Ressourcen zeigen die europäische Technology Platform (www.hfpeurope.org), die International Partnership for the Hydrogen

f-cell – Symposium und Messe. Eine Vorschau von Miriam von Bardeleben

## Brennstoffzellen machen mobil



RWE stellt den Messegästen seine Brennstoffzelle vor. Foto: Peter Sauber Agentur

f-cell Teilnahmegebühren,  
Tageskarte: 345 Euro,  
2-tägige Teilnahme:  
600 Euro; Abendveranstal-  
tung Verleihung f-cell  
Award am 26.9.:  
60 Euro, Workshop  
„Canada“ 28.9.:  
100 Euro, Exkursion  
28.9.: 195 Euro;  
Anmeldung:  
Peter Sauber Agentur,  
Fax: 07156/43624-99,  
E-Mail: f-cell@  
messe-sauber.de

Aus mehr als 20 Ländern kommen Brennstoffzellen-Fachleute am 26. und 27. September zur fünften f-cell ins Stuttgarter Haus der Wirtschaft. Inhaltlich deckt der Branchentreff alle drei Hauptanwendungsbereiche der Brennstoffzellen ab: Die mobile Nutzung in Fahrzeugen, stationär als Lieferant von Hausenergie oder portabel, wie in Notebooks und Handys. Das simultan übersetzte Symposium (deutsch/englisch) beinhaltet teilweise parallele Foren mit internationalen Referenten zu Themen wie Wasser-

stoffherzeugung und -speicherung, Infrastruktur, Komponenten sowie einen Überblick zum Status quo der Aspekte „Technik, Märkte, Anwendungen“.

Parallel zum Symposium stellt die Branche auf der begleitenden Messe ihr Dienstleistungsspektrum und ihre Aktivitäten im Bereich der Forschung und Entwicklung vor. Waren im vergangenen Jahr noch 32 Unternehmen auf den Messeständen vertreten, sollen es in diesem Jahr wesentlich mehr sein. Die Veranstalter, die Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH, die Peter Sauber Agentur aus Gerlingen, die DaimlerChrysler AG und das Umweltministerium Baden-Württemberg, gehen davon aus, dass sich die Ausstellung in diesem Jahr annähernd auf die doppelte Fläche erstrecken wird.

„Ein besonderes Messe-Highlight ist die ‚f-cell-mobil‘“, erläutert Mitveranstalter Peter Sauber. „Hier können die Gäste zum Beispiel den Hysun3000, der 2004 mit einer einzigen Wasserstoff-Tankfüllung von Berlin nach Barcelona fuhr, bewundern.“

Außerdem hat das Institut für Fahrzeugkonzepte des Deutschen Zentrums für Luft-

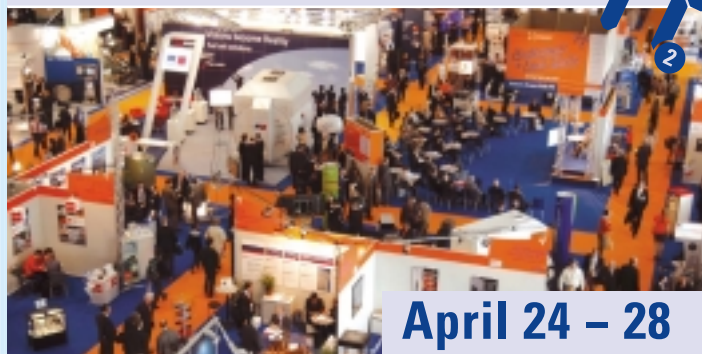
und Raumfahrt e.V. (DLR) sein Brennstoffzellen-Hybridfahrzeug HyLite angekündigt, das als Technologieträger in Kooperation mit mehreren Automobil-Zulieferern entwickelt wurde. Interessierte Messebesucher können sich am Stand des DLR über das energieoptimierte Niederdruck-Brennstoffzellensystem des HyLite weiter informieren. Das Forschungszentrum Jülich fährt derweil einen 25 km/h schnellen Brennstoffzellen-Scooter vor, der mit flüssigem Methanol angetrieben wird. Anschließen können sich die Messebesucher bei DaimlerChrysler, wo sie sich bei einer Probefahrt in einem Brennstoffzellen-Auto von den Fahreigenschaften dieser Wagen überzeugen können.

Alle Infos zum f-cell-Programm und parallelen Veranstaltungen unter [www.f-cell.de](http://www.f-cell.de)



Der Hysun3000 (Werksfoto)

## HANNOVER FAIR 2006



April 24 – 28

GROUP EXHIBIT

**Hydrogen  
+ Fuel Cells**

with  
INTERNATIONAL  
CONFERENCE / April 25

Arno A. Evers FAIR-PR • [www.fair-pr.com](http://www.fair-pr.com)

**Go to where the Market is!**

## Symposium in Stralsund

Die Fachhochschule Stralsund lädt zum zwölften Mal zu einem Symposium rund um die Themen erneuerbare Energieerzeugung sowie Wasserstoff und Brennstoffzellen ein. Am ersten Tag des Symposiums konzentrieren sich die Referenten auf das Thema Wasserstoff und Brennstoffzellen-Anwendungen, so zum Beispiel in einem Vortrag zur Frage des Einsatzes von Brennstoffzellen im Schiffsbetrieb oder dem AFC-Betrieb mit Luft.

Die Teilnehmer können sich am 3. November des weiteren über die Ergebnisse des Pilotbetriebs einer SOFC mit Grubengas informieren. Stoff für Diskussionen liefern Themen wie „Kosten von Wasserstoffspeicherung und -rückverstromung“ und „Sinn und Unsinn einer solaren Wasserstoffwirtschaft“. Am 4. November dreht sich alles um die regenerative Energieerzeugung mit Wind, Sonne, Biomasse und Geothermie. Den Abschluss des Symposiums bildet am 5. November die 6-stündige Techniktour „Regenerative Energie auf Rügen“.

12. Symposium 3.-5.11.05: Info und Anmeldung (bis 17.10.): Fachhochschule Stralsund, Ilona Noster, Tel. 03831/456-713, Fax -687, E-Mail: [Ilona.Noster@fh-stralsund.de](mailto:Ilona.Noster@fh-stralsund.de), Internet: [www.fh-stralsund.de](http://www.fh-stralsund.de), Teilnahmegebühren 120 Euro, Tageskarte 60 Euro



**E-world**  
energy & water

## Treffpunkt der Energie- und Wasserwirtschaft



**14.-16. Februar 2006**

*Essen/Germany*

**MESSE  
ESSEN**

Place of Events

[www.e-world-2006.com](http://www.e-world-2006.com) • [mail@e-world-essen.com](mailto:mail@e-world-essen.com) • Hotline +49 (0) 201.1022.210

**CON ENERGY**

Erdgasbetriebene Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerke im Einfamilienhaus

## Simulationsbasierte Entwicklung von Regelstrategien

*Micro CHP allow the combined production of electrical and thermal energy in buildings. In this context fuel cells, stirling engines, gas motors and micro gas turbines are considered as technologies with a high potential for energy saving and reduction of pollutants. This contribution presents investigations for grid connected residential fuel cell power plants based on the Polymer Electrolyte Membrane technology PEM and driven with natural gas. The effective ecological and economical benefit of such fuel cell systems in comparison to a conventional energy supply system is determined by the chosen control strategy. Therefore simulation based investigations offer a time efficient development, evaluation and optimization of control strategies, on the other hand detailed descriptions of the system correlations are needed. Due to seasonal effects, investigations of stationary energy supply systems require simulation runs with a time horizon of one year. For this purpose an efficient modeling technique is needed, which is given by the simulation environment ColSim [2], developed at Fraunhofer ISE. The developed fuel cell system library of [1] includes models of a reformer, a PEM fuel cell stack, a power inverter, heat exchangers and peripheral devices. As an example the fuel cell model is compared with measurement data of a stack with an electric power of 1.7 kW. Furthermore a control concept is presented, including the supply guaranty of the building and control circuits for energy and material flow. On this bases new control strategies are developed, which are reducing the primary energy demand and/or the running costs of the energy supply system. The comparison with conventional heat or electric load following operating modes shows especially the influence of the optimized control strategies for the fuel cell system with an electric power of 2 kW.*

Mit sogenannten Mikro-Kraftwärmekopplungs-Anlagen kann sowohl elektrische als auch thermische Energie verbrauchsnahe in Gebäuden erzeugt werden. Brennstoffzellen, Stirling-Motoren, Gasmotoren und Mikro-Gasturbinen werden als vielversprechende Technologien gehandelt, diese Art der Energieversorgung auch möglichst ressourcenschonend und schadstoffarm zu gestalten. In diesem Beitrag werden exemplarisch für die möglichen Mikro-Kraftwärmekopplungs-Optionen die Untersuchungen für ein erdgasbetriebenes

Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk auf Basis der Polymer-Elektrolyt-Membran-Technologie PEM vorgestellt. Der tatsächlich erreichte energetische aber auch der wirtschaftliche Nutzen eines Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerkes gegenüber einer konventionellen Energieversorgung wird letztlich durch die Betriebsführung bestimmt. Eine simulationsgestützte Untersuchung ermöglicht einerseits eine zeiteffiziente Entwicklung, Bewertung und Optimierung der einzelnen Betriebsführungskonzepte, erfordert jedoch auf der anderen Seite eine detaillierte Betrachtung der Zusammenhänge im System. Um sämtliche saisonalen Effekte zu berücksichtigen, sind darüber hinaus effiziente dynamische Modelle notwendig, die Simulationsstudien im Jahreshorizont ermöglichen.

Voraussetzung für diese Vorgehensweise ist die regelungstechnische Beschreibung der verschiedenen Stufen des Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerkes und die Validierung der entwickelten Modelle anhand von Messdaten. Des Weiteren wird ein Regelungskonzept benötigt, das die Versorgungssicherheit des Gebäudes gewährleistet und die Regelkreise für die benötigten Stoff- und Energieströme beinhaltet. Auf dieser Basis können neue Betriebsführungsstrategien entwickelt werden, mit denen das Anlagen- und Nutzerverhalten erlernt und die auftretenden Energieströme analysiert beziehungsweise optimiert werden können. Im Fokus dieser Ansätze stehen dabei die Primärenergieeinsparung und die Reduktion der Betriebskosten.

### Modellbildung und Simulation

Für die Modellbildung des Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerkes und für die simulationsbasierte Entwicklung und Optimierung von Regelstrategien wird die am Fraunhofer ISE entwickelte

offene Simulationsumgebung ColSim [2] genutzt. Mit ColSim lassen sich nach der Implementierung der einzelnen Komponenten eines Energieversorgungssystems sowohl Jahressimulationen als auch regelungstechnische Untersuchungen durchführen. Auf dieser Basis können einzelne Regelkreise beziehungsweise Betriebsführungsstrategien entwickelt, bewertet und optimiert werden. Die Algorithmen sind in ANSI-C implementiert und lassen sich somit direkt auf die Regelungs-Hardware von Energieversorgungsanlagen portieren.

Die einzelnen Modelle für ein erdgasbetriebenes Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk, bestehend aus einer Reformieranlage, einem PEM-Brennstoffzellen-Stack, einem Wechselrichter, Wärmetauschern und diversen Hilfsaggregaten, sind in [1] ausführlich beschrieben. In Abbildung 1 ist exemplarisch für



Dr.-Ing. Matthias Vetter

*Anschrift des Autors:  
Fraunhofer-Institut für  
Solare Energiesysteme  
ISE,  
Heidenhofstr. 2,  
79110 Freiburg,  
E-Mail: matthias.vetter@ise.fraunhofer.de*

Versorgungsobjekt	Saniertes Einfamilienhaus (5 Personen)	
Beheizte Fläche	180 m <sup>2</sup>	
Spezifischer Raumwärmebedarf	78 kWh/m <sup>2</sup> a	
Warmwasserverbrauch	2600 kWh/a	
Stromverbrauch	5500 kWh/a	
<b>Brennstoffzellen-BHKW</b>	<b>1 kWel PEM</b>	<b>2 kWel PEM</b>
Elektrischer Wirkungsgrad	28,0 %	29,5 %
Thermischer Wirkungsgrad	51,0 %	50,5 %
Spezifische Wartungskosten	2,33 Cent/kWh	2,00 Cent/kWh
<b>Wärmespeicher</b>	<b>Schichtspeicher mit integriertem Gasbrenner</b>	
Volumen	750 l	
Leistung Gasbrenner	10 kW	
<b>Elektrisches Netz</b>		
Wirkungsgrad des Stromerzeugungsmixes	39,1 %	
Strompreis (inkl. MwSt.)	15,31 Cent/kWh	
Einspeisevergütung	8 Cent/kWh	
<b>Gasnetz</b>		
Gaspreis (inkl. MwSt.)	4,41 Cent/kWh	

*Tabelle 1: Randbedingungen für die Simulationsstudie aus Abbildung 6, prognostizierte Werte für das Jahr 2010 (vgl. [1], [4], [7]).*

*Table 1: Boundary conditions of the simulation results shown in Figure 6, predicted values for the year 2010 ([1], [4], [7]).*

diese Modellbibliothek das dynamische Verhalten eines PEM-Brennstoffzellen-Stacks mit einer elektrischen Leistung von 1,7 kW dargestellt. Als Eingangsgrößen dienen der gemessene elektrische Laststrom, die gemessenen Volumenströme des Reformates, der zugeführten Umgebungsluft und des Kühlkreises, die Reformateintrittstemperatur und die Kühlkreis-Eintrittstemperatur. Dargestellte Ausgangsgrößen des Modells und des realen Brennstoffzel-

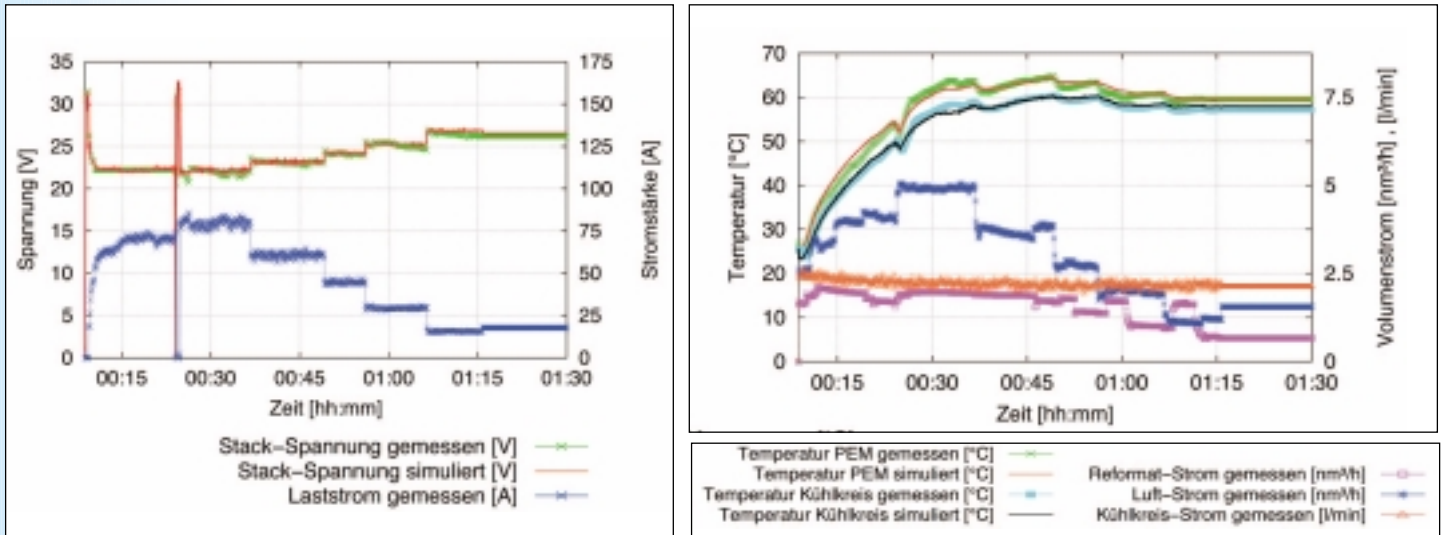


Abbildung 1: Dynamisches Verhalten eines 1,7-kW-PEM-Brennstoffzellen-Stacks. Für den Vergleich von Simulation und Messung werden die gemessenen Eingangsgrößen Laststrom, Volumenstrom und Temperatur des Reformates bei Sättigung, Volumenstrom der Umgebungsluft, Volumenstrom und Eintrittstemperatur des Kühlkreises genutzt (nm<sup>3</sup>: Norm-Kubikmeter). Ausgangsgrößen des Modells und des realen Systems sind die Stackspannung, die Temperatur des Stacks und die Austrittstemperatur des Kühlkreises [1].  
 Figure 1: Dynamic behavior of a 1.7 kW PEM fuel cell stack. Input values are the load current, flow rates and temperature of the incoming saturated reformat, flow rates and temperature of the incoming ambient air and flow rates and temperature of the incoming cooling circuit. The comparison of simulation and measurement data show the stack voltage, the stack temperature and the temperature of the outgoing cooling circuit [1].

len-Stacks sind die Stackspannung, die Stacktemperatur und die Austrittstemperatur des Kühlkreises.

### Anlagenschema

Das untersuchte erdgasbetriebene Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk dient primär der Versorgung des Gebäudes mit Strom und Wärme. Auf der elektrischen Seite ist es mit dem Niederspannungsnetz gekoppelt, so dass ein Überschuss ins Netz eingespeist beziehungsweise ein Defizit durch Netzbezug ausgeglichen werden kann. Auf der thermischen Seite wird das Brennstoffzellen-BHKW über einen Wärmetau-

schler mit einem Schichtspeicher gekoppelt (Abbildung 2). Abhängig vom Gebäudestandard des Versorgungsobjektes ist ein Zusatzwärmeerzeuger notwendig, um thermische Spitzen abdecken zu können [1]. Bei unsanierten und sanierten Gebäuden wird für diese Aufgabe üblicherweise ein Gasbrenner eingesetzt, dessen Leistung in der Regel im Einfamilienhaus zwischen 10 und 15 kW liegt. Um die Verluste zu minimieren, wird dieser Gasbrenner in den Schichtspeicher integriert [7]. Für den Einsatz eines Brennstoffzellensystems in einem Passivhaus ist aufgrund der seltenen thermischen Spitzenverbräuche ein elektrischer Heizstab als Zusatzwärmeerzeuger ausreichend [6].

Deaktivierung von Regelkreisen. Die Systemregelung, die zweite Ebene aus Abbildung 3, ist einerseits für die Versorgungssicherheit des Gebäudes verantwortlich, andererseits dient diese Ebene als Schnittstelle zur Betriebsführung (Energiemanagementsystem im Gebäude, externe Betriebsführung im Falle einer Steuerung durch einen Netzbetreiber oder Contractor).

### Regelstrategien

Die oberste Ebene des Regelungskonzeptes aus Abbildung 3, die Betriebsführungsebene, beinhaltet vier Varianten. Neben der stromgeführten und wärmegeführten Betriebsart werden zwei neue Regelstrategien zur Reduzierung des Primärenergieaufwandes beziehungsweise der Betriebskosten vorgestellt. Eine detaillierte Beschreibung der Algorithmen ist in [1] zu finden.

#### Stromgeführter Betrieb

Beim stromgeführten Betrieb richtet sich der Arbeitspunkt des Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerkes nach der elektrischen Last des Gebäudes. Limitierende Faktoren auf dieses Lastfolgemangement sind der Speicherzustand, die Anfahrzeit und die Verzögerung bei Lastwechsel und die Grenzwerte „Nennbetriebspunkt“ beziehungsweise „Teillastfähigkeit des Brennstoffzellensystems“.

#### Wärmegeführter Betrieb

Die wärmegeführte Betriebsweise des Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerkes

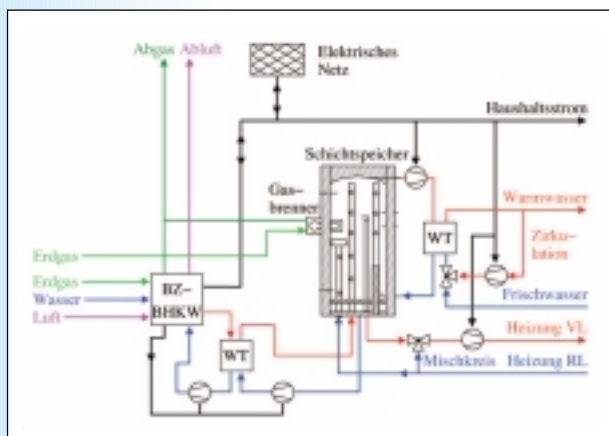


Abbildung 2: Anlagenschema des untersuchten Energieversorgungssystems eines Gebäudes bestehend aus einem erdgasbetriebenen Brennstoffzellen-BHKW, einem Schichtspeicher mit integriertem Gasbrenner und Wärmetauschern (WT) (vgl. [1]).  
 Figure 2: Schematic of the investigated facility including a grid connected residential fuel cell cogeneration plant driven with natural gas, a stratified storage with an internal gas burner and heat exchangers (WT) [1].

### Regelhierarchie

Die entwickelte Regelhierarchie (Abbildung 3) des Energieversorgungssystems eines Gebäudes auf Basis eines Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerkes besteht aus vier Ebenen [1]. Die unterste Ebene umfasst die einzelnen Regelkreise für die Stoff- und Energieströme, die zur Einstellung eines Arbeitspunktes benötigt werden und deren Dynamiken Einfluss auf das energetische Verhalten des Brennstoffzellensystems besitzen. Die dritte Ebene beinhaltet die typischen Aufgaben und Funktionalitäten einer Geräteregeleung, wie beispielsweise den Prozessablaufplan, Überwachungsfunktionen, Wahl von Arbeitspunkten von Komponenten, Sollwertvorgaben für Komponenten-Regelkreise und Aktivierung beziehungsweise

richtet sich nach dem Speicherzustand und somit nach der thermischen Last des Versorgungsobjektes. Zur Vermeidung eines zu häufigen Taktens werden Schalthysteresen definiert.

**Primärenergie-optimierte Strategie**  
Ziel dieser Optimierung ist die Identifikation des Arbeitspunktes des Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerkes, der für ein definiertes Zeitintervall den geringsten fossilen Primärenergieeinsatz des Energieversorgungssystems aufweist. Dazu werden Lastprognosen erstellt und die relevanten Systemcharakteristiken ermittelt. Berücksichtigt wer-

tes, der in einem definierten Zeitintervall die geringsten Betriebskosten verursacht. Bei der Definition der entsprechenden Zielfunktion werden die Energiebezugskosten, die Einspeisevergütung und die spezifischen Wartungskosten berücksichtigt (Abbildung 4). Exemplarisch ist in Abbildung 5 diese Betriebsweise für drei Apriltage dargestellt.

### Simulationsstudien

In Abbildung 6 sind die Simulationsergebnisse für ein Energieversorgungssystem auf Basis eines Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerkes, eingesetzt in ei-



nem sanierten Einfamilienhaus, dargestellt. Die Randbedingungen für diese Untersuchung sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Wahl des Speichervolumens orientiert sich an den in [5] durchgeführten Parametervariationen. Der jährliche Primärenergieverbrauch des Energieversorgungssystems  $W_{prim}$  [kWh] wird dabei durch folgende Beziehung bestimmt [1]:

$$\dot{W}_{prim} = f \left( \varepsilon \cdot \dot{W}_{CH_4}^{BHKW} + \varepsilon \cdot \dot{W}_{CH_4}^{Brenner} + \frac{P_{el}^{Bezug}}{\eta_{Strommix}} \cdot \frac{P_{el}^{Einspeisung}}{\eta_{Strommix}} \right) \cdot dt$$

In diesem Ansatz werden die benötigten Erdgasmengen des Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerkes, gekennzeichnet durch den Energiestrom  $\dot{W}_{CH_4}^{BHKW}$  [kW], und des Zusatz-Gasbrenners, gekennzeichnet durch den Energiestrom  $\dot{W}_{CH_4}^{Brenner}$  [kW], gemäß [3] mit einem Primärenergiefaktor von  $\varepsilon_{CH_4} = 1,1$  gewichtet. Die bezogene und die eingespeiste elektrische Energiemenge, gekennzeichnet durch die momentanen Leistungen  $P_{el}^{Bezug}$  [kW] beziehungsweise  $P_{el}^{Einspeisung}$  [kW], werden mit dem durchschnittlichen Wirkungsgrad des Stromerzeugungsmixes gewichtet.

Abbildung 3: Regelungshierarchie des Energieversorgungssystems auf Basis eines erdgasbetriebenen Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerkes und eines Schichtspeichers mit integriertem Gasbrenner (vgl. [1]).  
Figure 3: Control concept of an energy supply system based on a residential fuel cell cogeneration plant and a stratified storage with an internal gas burner [1].

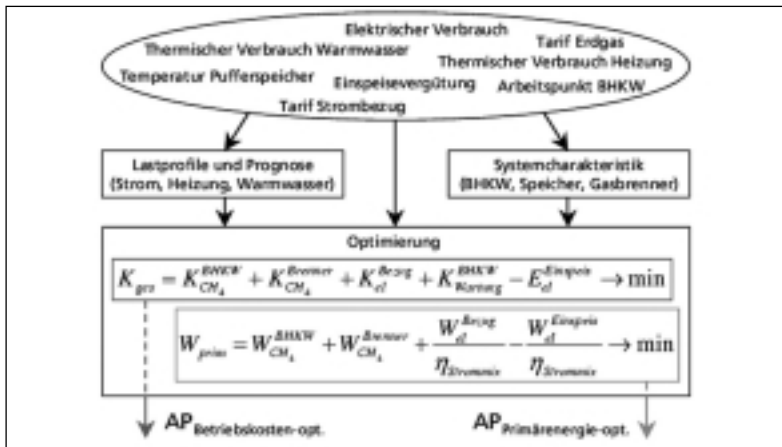


Abbildung 4: Vereinfachter Ablaufplan der Primärenergie- beziehungsweise Betriebskosten-optimierten Regelstrategie (vgl. [1]). Bei der Primärenergie-optimierten Variante wird derjenige Arbeitspunkt  $AP_{Primärenergie-opt.}$  des Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerkes ermittelt, der im betrachteten Zeitintervall  $\Delta t$  den geringsten Primärenergieaufwand  $W_{prim}$  [kWh/ $\Delta t$ ] aufweist. Die Betriebskosten-optimierte Regelstrategie dient zur Identifizierung des Arbeitspunktes  $AP_{Betriebskosten-opt.}$  der Brennstoffzellenanlage, der die geringsten Betriebskosten  $K_{ges}$  [Euro/ $\Delta t$ ] des Energieversorgungssystems verursacht.

Figure 4: Simplified flow chart of the "primary energy optimized" and "running costs optimized" control strategies [1]. The "primary energy optimized" case identifies the operating point  $AP_{Primärenergie-opt.}$  of the fuel cell system with the lowest primary energy demand  $W_{prim}$  [kWh/ $\Delta t$ ] in the considered time interval  $\Delta t$ . The "running costs optimized" control strategy identifies the operating point  $AP_{Betriebskosten-opt.}$  of the fuel cell system, which causes a minimum of running costs  $K_{ges}$  [Euro/ $\Delta t$ ] of the energy supply system during the time interval  $\Delta t$ .

den dabei der Erdgasbedarf des Brennstoffzellensystems, der Erdgasbedarf des Gasbrenners, der Strombezug (gewichtet mit dem durchschnittlichen Wirkungsgrad des Stromerzeugungsmixes) und die primärenergetische Guthschrift für die ins Netz eingespeiste elektrische Energie (ebenfalls gewichtet mit dem durchschnittlichen Wirkungsgrad des Stromerzeugungsmixes). Die entsprechende Zielfunktion ist in Abbildung 4 dargestellt.

**Betriebskosten-optimierte Strategie**  
Analog zum Primärenergie-optimierten Betrieb werden Lastprognosen und Systemcharakteristiken für die Optimierung genutzt. Ziel dieser Optimierung ist jedoch die Identifikation des Arbeitspunk-

**Die Brennstoffzelle**  
5. Forum für Produzenten und Anwender

**Das internationale Brennstoffzellen-Forum**

**Symposium  
Messe  
Workshop „Canada meets Germany“**

26. – 28.9.2005  
Stuttgart · Haus der Wirtschaft

[www.f-cell.de](http://www.f-cell.de)

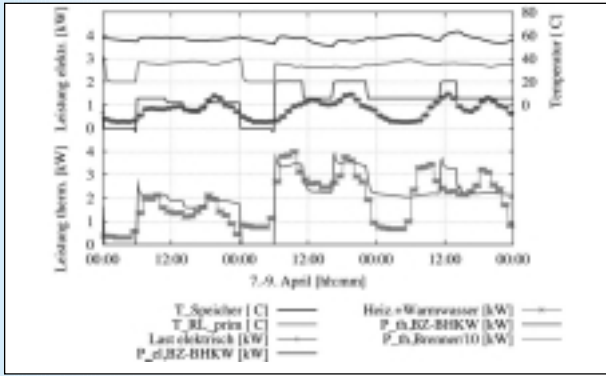


Abbildung 5: Betriebskosten-optimierte Regelstrategie für die 2-kW-Anlage im sanierten Gebäude. Verlauf der obersten Speichertemperatur  $T_{\text{Speicher}}$ , der Rücklauf-Temperatur im Primärkreis  $T_{\text{RL,prim}}$ , der elektrischen  $P_{\text{el,BZ-BHKW}}$  beziehungsweise der thermischen Leistung  $P_{\text{th,BZ-BHKW}}$  des Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerkes und der thermischen Leistung des Zusatzbrenners  $P_{\text{th,Brenner}}$  in Abhängigkeit von den elektrischen und thermischen Lasten [1]. Die thermische Leistung der Brennstoffzellenanlage hängt von der Rücklauf-Temperatur im Kühlkreis ab. Figure 5: Simulation results of the "running costs optimized" control strategy for a residential fuel cell cogeneration plant supplying a renovated single occupancy house. Shown are the top level temperature of the stratified storage  $T_{\text{Speicher}}$ , the return temperature of the cooling circuit  $T_{\text{RL,prim}}$ , the electric  $P_{\text{el,BZ-BHKW}}$  and the thermal power  $P_{\text{th,BZ-BHKW}}$  of the fuel cell system, the thermal power of the additional gas burner  $P_{\text{th,Brenner}}$ , the electric load „Last elektrisch“ and the thermal load „Heiz- + Warmwasser“ of the building [1]. The thermal power of the fuel cell system depends on the return temperature of the cooling circuit.

Die jährlich anfallenden Betriebskosten  $K_{\text{gesamt}}$  [Euro] setzen sich aus den Energie- und Wartungskosten zusammen [1]:

$$K_{\text{gesamt}} = f \left( k_{\text{CH}_4} \cdot \dot{W}_{\text{CH}_4}^{\text{BHKW}} + k_{\text{CH}_4} \cdot \dot{W}_{\text{CH}_4}^{\text{Brenner}} + k_{\text{el}} \cdot P_{\text{el}}^{\text{Bezug}} + k_{\text{Wartung, spez}} \cdot P_{\text{el}}^{\text{BHKW}} - e_{\text{el}} \cdot P_{\text{el}}^{\text{Einspeisung}} \right) \cdot dt$$

Die Bezugskosten für Erdgas sind durch  $k_{\text{CH}_4}$  [Euro/kWh] beziehungsweise für Strom durch  $k_{\text{el}}$  [Euro/kWh] gegeben, die ins Stromnetz eingespeiste elektrische Energie wird mit der Einspeisevergütung  $e_{\text{el}}$  [Euro/kWh] gewichtet. Zur Ermittlung der gesamten Betriebskosten werden im vorgestellten Ansatz darüber hinaus spezifische Wartungskosten  $k_{\text{Wartung, spez}}$  [Euro/kWh] berücksichtigt.

Die in Abbildung 6 dargestellten Ergebnisse der einzelnen Regelstrategien für die kleinere Brennstoffzellen-Variante mit einer elektrischen Leistung von 1 kW unterscheiden sich nur geringfügig. Alle vier Fälle liefern bezüglich Primärenergieeinsparung und Reduktion der Betriebskosten ein leicht besseres Ergebnis gegenüber der konventionellen Versorgung (Strombezug und Brennwerttechnik). Im Gegensatz dazu ist der Einfluss der gewählten Regelstrategie auf die Betriebsergebnisse der 2-kW-Anlage deutlich größer. So kann beispielsweise keine der beiden konventionellen Varianten strom- beziehungsweise wärmegeführt eine Reduktion der Betriebskosten gegenüber der getrennten Versorgung (Strombezug und Brennwerttechnik) des betrachteten

Gebäudes erzielen, lediglich bezüglich der eingesetzten Primärenergie kann mit der wärmegeführten Betriebsart eine geringfügige Verminderung erreicht werden. Durch den Einsatz einer optimierten Regelstrategie kann hingegen das Potenzial des Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerkes mit einer elektrischen Leistung von 2 kW auch tatsächlich abgerufen werden. Beispielsweise kann mit der Primärenergie-optimierten Variante gegenüber dem wärmegeführten Betrieb eine Verminderung des Primärenergieverbrauchs von 9,2 % erreicht werden, bei nur leicht höheren Betriebskosten als bei der 1 kW-Anlage. Gegenüber der konventionellen Versorgung bedeutet dies eine Einsparung von 12,3 %. Durch die Betriebskosten-optimierte Regelstrategie lassen sich im un-

diesem Beitrag vorgestellte Fall behandelt den Einsatz von Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerken im Einfamilienhaus, deren primärenergetischer und wirtschaftlicher Nutzen von der Leistungsregelstrategie und von der gewählten Regelstrategie abhängig ist. Aufgrund der erreichten und prognostizierten Werte des elektrischen Wirkungsgrades können diese Kleinst-KWK-Anlagen aus energetischer Sicht nur dann sinnvoll betrieben werden, wenn die anfallende Wärme genutzt beziehungsweise gespeichert werden kann. Dies gilt in zunehmendem Maße, wenn der mittlere Wirkungsgrad des Stromerzeugungsmixes weiter steigt. Das in diesem Beitrag untersuchte größere Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk mit einer elektrischen Leis-

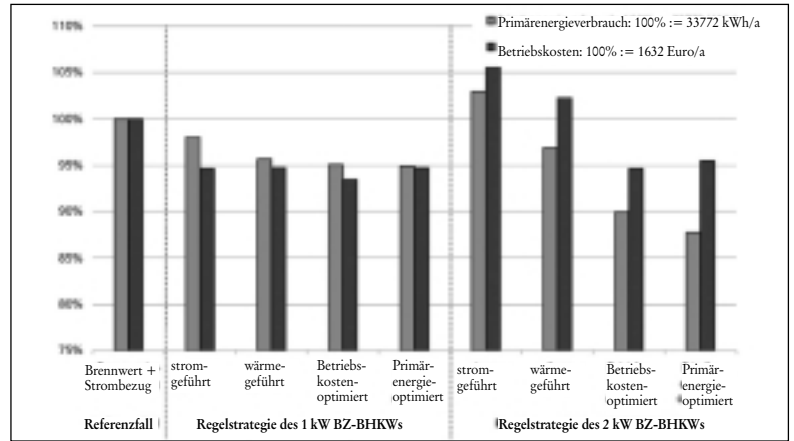


Abbildung 6: Vergleich der untersuchten Regelstrategien für ein erdgasbetriebenes netzgekoppeltes Brennstoffzellen-BHKW auf PEM-Basis mit einer elektrischen Leistung von 1 kW beziehungsweise 2 kW, hinsichtlich des Primärenergieverbrauchs und der Betriebskosten. Als Referenzfall (100 %-Marke) wurde eine konventionelle Versorgung (Strombezug, Brennwerttechnik) definiert (vgl. [1]). Figure 6: Comparison of the investigated control strategies for a grid connected residential fuel cell cogeneration plant, based on the PEM technology and driven with natural gas. Shown are the primary energy consumption and the running costs of a fuel cell system with an electric power of 1 kW, of a system with 2 kW and of the reference system, which is supplied with electricity by the grid and with thermal energy by a condensing boiler.

tersuchten Gebäude die Betriebskosten um 5,4 % gegenüber der konventionellen Versorgung reduzieren, im Vergleich zur wärmegeführten Variante der Brennstoffzellenanlage sind es immerhin 7,7 %.

### Fazit und Ausblick

Die skizzierte Modellierungsmethodik berücksichtigt sämtliche energetisch relevanten dynamischen Effekte und Wechselwirkungen im System beziehungsweise mit der Systemumgebung. Einerseits wird dadurch ein simulationsbasierter Regelungsentwurf ermöglicht, andererseits kann eine Entwicklung, Optimierung und Bewertung von Betriebsführungskonzepten im Jahreshorizont durchgeführt werden. Der in

tung von 2 kW besitzt ein höheres Primärenergieeinsparpotenzial als die 1-kW-Anlage, allerdings ist eine aufwändigere Regelung erforderlich, um dieses auch tatsächlich abrufen zu können. Die Betriebskosten steigen im dargestellten Fall eines sanierten Gebäudes im Vergleich zur 1-kW-Anlage nur geringfügig an, aufgrund der erwarteten höheren Investitionskosten stellt diese energetisch sinnvollere Variante jedoch zumeist auch die Unwirtschaftlichere dar. Eine Erhöhung der Einspeisevergütung, beispielsweise durch dynamische Tarifstrukturen, könnte diesen Sachverhalt abschwächen, unter Umständen jedoch verbunden mit einer Zunahme des Primärenergieeinsatzes [1].

Dr.-Ing. Matthias Vetter

**Literatur**  
 [1] Vetter, M.: Modellbildung und Regelstrategien für erdgasbetriebene Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerke. Dissertation Universität Karlsruhe (TH), 2005  
 [2] Wittwer, C.: ColSim – Simulation von Regelungssystemen in aktiven solarthermischen Anlagen. Dissertation Universität Karlsruhe (TH), 1999  
 [3] DIN V 4701-10 2001. Deutsches Institut für Normung e.V.: Energetische Bewertung von Heiz- und Raumlufttechnischen Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Berlin, 2001  
 [4] Umweltauswirkungen, Rahmenbedingungen und Marktpotenziale des dezentralen Einsatzes stationärer Brennstoffzellen. Abschlussbericht des Forschungsprojektes FKZ 0327550, gefördert vom BMU (Zukunftsinvestitionsprogramm), 2003  
 [5] Vetter, M., Wittwer, C.: Einfluss von thermischen Massen im Gebäude auf den Betrieb von Kleinst-BHKWs. Tagungsband ETG-Workshop Neue dezentrale Versorgungsstrukturen, VDE-ETG, Frankfurt a.M., 19.-20.02.2003, S.37-43  
 [6] M. Vetter, B. Sicre: Sind Mini-KWK-Anlagen für das Passivhaus geeignet? Anforderungen und Potenziale. Tagungsband 7. Internationale Passivhaustagung, Passivhaus Institut, Hamburg 21.-22.02.2003  
 [7] SolvisMax, Schichtspeicher mit integriertem Gasbrenner. www.solvis.de.

Betriebserfahrungen mit erdgasbetriebenen PEM-Brennstoffzellenheizgeräten in der Hausenergieversorgung

# Technische Herausforderungen bleiben

*Experience with natural gas PEM fuel cell heating systems*

*As an energy distribution and energy-related services company, MVV Energie AG evaluates the opportunities and risks of natural gas stationary fuel cells within the framework of its CHP activities. Two PEM Fuel Cells produced by the German heating system manufacturer Vaillant GmbH have been successfully installed and operated. The challenges involve integrating the fuel cells into existing heating systems and in the respective control and communications systems. The operational experien-*

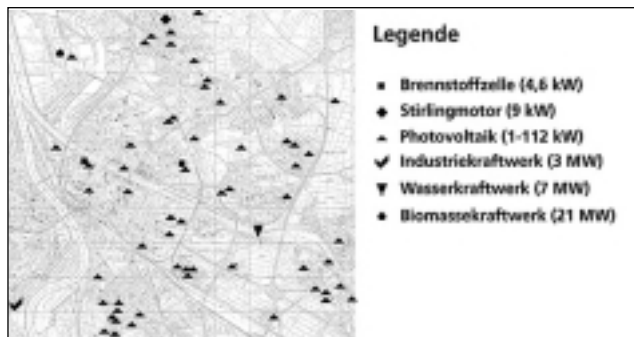


Abbildung 1: Blitzlichtaufnahme der Erzeugungskapazitäten dezentraler Stromerzeugungsanlagen in Mannheim und Umgebung (Stand 2005)

Figure 1: Flashlightphoto of decentralized generation of electricity in Mannheim and surrounding area (Germany)

*ces and key data have been presented. Although satisfactory technical and operational results were obtained, potential for future development can clearly be identified in terms of the durability of the stack and of the robustness and effectiveness of the system. The potential of natural gas fuel cell heating systems for reducing CO<sub>2</sub> emissions is discussed.*

Die ungekoppelte Wärme- und Stromversorgung wird künftig vermehrt durch dezentrale Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen ergänzt. Prognosen gehen davon aus, dass im Jahr 2025 rund 20 % der privaten Heizungen Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) sein werden. Bereits bis 2015 wird eine Marktdurchdringung der Klein-KWK-Anlagen von 8 % prognostiziert [1]. Bis 2025 wird ein erhöhter Primärenergiebedarf für 20 % der Erdgastariffkunden erwartet, weil sie über eine dezentrale Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage verfügen [2]. Die Karte der dezentralen Stromerzeugungskapazitäten im Versorgungsgebiet des Mannheimer Energieversorgungs- und Dienstleistungs-

unternehmens MVV Energie zeigt, dass bereits heute eine Vielzahl von dezentralen Stromerzeugungsanlagen betrieben wird (Abbildung 1).

MVV Energie setzt auf die dezentrale Stromerzeugung und widmet sich intensiv deren Bewertung hinsichtlich Chancen und Risiken. In diesem Rahmen bilden Brennstoffzellen eine der wichtigsten Optionen für die künftige Energieversorgung. Brennstoffzellen arbeiten umweltschonend, geräuscharm und mit hohem Wirkungsgrad. MVV Energie konzentriert sich dabei auf die Hausenergieversorgung als eine wesentliche Form der dezentralen Strom- und Wärmeversorgung. Das Engagement ist von der Überzeugung getragen, dass das Brennstoffzellenheizgerät für die Hausenergieversorgung in den nächsten Jahrzehnten

auf Erdgas als Primärenergieträger basieren wird.

Wichtige Kriterien für einen Erfolg der Brennstoffzellentechnologie sind dabei die technische Reife, die wirtschaftliche Attraktivität der Technologie für den Betreiber und den Nutzer, aber auch die Attraktivität der Dienstleistung um die neue Technologie. Die Initiative Brennstoffzelle (IBZ), ein Zusammenschluss von Brennstoffzellen-Herstellern aus dem deutschsprachigen Raum, Energieversorgungsunternehmen und der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena), bearbeitet diese Fragestellungen, gestaltet aber auch die Markteinführung der Brennstoffzellenheizgeräte. Zusätzlich zu ihrem Engagement in der IBZ konzentriert sich MVV Energie als regionales Energieversorgungsunternehmen traditionell auf die Kooperation mit dem Handwerk und den Hochschulen. Im 2004 gegründeten „Kompetenz- und Innovationszentrum

Brennstoffzelle Region Rhein-Neckar“ sind MVV Energie, die Bildungsakademie der Handwerkskammer Mannheim, Neckar-Odenwald-Kreis und die Fachhochschule für Gestaltung und Technik Mannheim zusammengeschlossen.

## Technische Funktionsfähigkeit unter realen Bedingungen

Um die technische Reife des erdgasbetriebenen Brennstoffzellenheizgerätes zu untersuchen, wurden zwei Pilot-Brennstoffzellen der Firma Vaillant installiert. Sie sind seit 2003 und 2004 in Betrieb. Ziel des Projektes ist es, Erfahrungen bei der Einbindung der Anlagen und beim praxisnahen Betrieb von Brennstoffzellenheizgeräten zu erhalten. Weiterhin sollen die Anlagen an ihren Standorten einem breiten Publikum zur Information über die Brennstoffzellentechnik zugänglich sein. Daher handelt es sich bei den gewählten Standorten nicht in jeder Hinsicht um typische Versorgungsaufgaben für Brennstoffzellenheizgeräte.

Die typische Versorgungsaufgabe für die Großstadt ist das erdgasversorgte Mehrfamilienhaus oder der Gewerbebetrieb. Die Brennstoffzellenheizgeräte „Euro 1“ und das Nachfolgergerät „Euro 2“ der Vaillant GmbH bedienen diese Leistungsanforderungen und wurden deshalb für diese Versorgungsaufgabe ausgewählt. Vaillant entwickelt Brennstoffzellenheizgeräte auf PEM-Basis in Kooperation mit der US-amerikanischen Firma Plug Power.

Das Brennstoffzellenheizgerät „Euro 1“ wurde in der Konzernzentrale von MVV Energie in Mannheim aufgestellt und versorgt seit 2003 einen Teil des Gebäudes mit Wärme und Strom. Der Energiebedarf für das Warmwasser beträgt insgesamt rund 100 MWh/a, typische Werte für einen mittleren Gewerbebetrieb. Der erzeugte Strom wird direkt in das haus-



Dr. rer. nat. Doris Wittneben,  
Anschri ft der Autorin:  
MVV Energie,  
Konzernabteilung  
Technologie  
& Innovation,  
Luisenring 49,  
68159 Mannheim,  
E-Mail:  
d.wittneben@mvv.de



Dipl.-Ing.  
Claus Eisgruber,  
MVV Energie,  
Technisches  
Engineering,  
Luisenring 49,  
68159 Mannheim,  
E-Mail:  
c.eisgruber@mvv.de

	Einheit	Euro 1	Euro 2
Thermische Leistung	kW	9,8	5,6 - 9,1
Elektrische Leistung	kW	2,5-4,1	1,5-4,6
Wirkungsgrad elektrisch soll	%	24	25 - 30
Wirkungsgrad gesamt soll	%	80	85

Tabelle 1: Leistungsdaten der PEM-Brennstoffzellen Euro 1 und Euro 2 von Vaillant  
Table 1: Performance data of Vaillant PEM-Fuel cells Euro 1 and Euro 2

interne Niederspannungsnetz eingespist und dort verbraucht. Die technischen Herausforderungen lagen in der heizungsseitigen Einbindung, der hydraulischen Auslegung und der kommunikationstechnischen Einbindung in die Gebäudeleittechnik. Weiterhin sollte die Machbarkeit

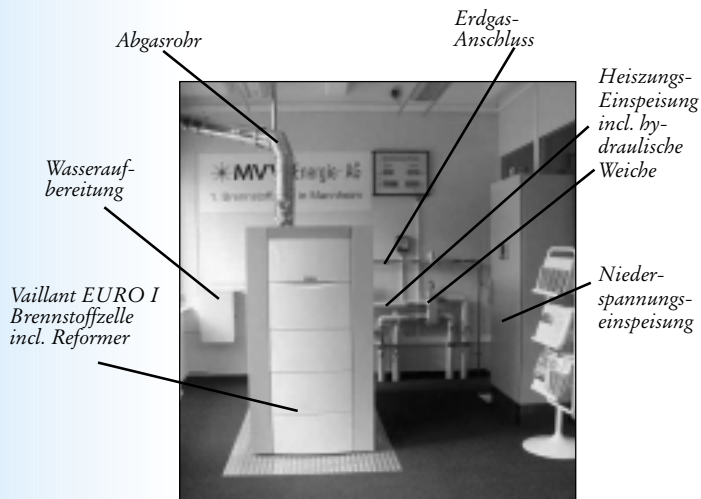


Abbildung 2: Euro 1, seit 5. April 2003 in Betrieb, an ihrem Aufstellungsort in der MVV-Konzernzentrale  
 Figure 2: Euro 1, in operation since April 5th 2003, at the installation site in MVV corporate headquarter

einer umfangreichen internetbasierten Messdatenerfassung und -speicherung untersucht werden.

*Einbindung der EURO 1 - Anlage*

Die Anlage ist heizungsseitig über eine hydraulische Weiche in eine bestehende 30-kW-Heizungsanlage mit Fußbodenheizung und Trinkwassererwärmung eingebunden. Der Warmwasserbedarf ist während der Arbeitszeit so groß, dass eine hohe Vollbenutzungsstundenzahl zu erwarten war. Daher waren die Voraussetzungen für einen Dauerbetrieb günstig. Tatsächlich zeigt die Anlage eine höhere Wärmeproduktion als vergleichbare Anlagen in Mehrfamilienhäusern [3]. Die Vorlauftemperatur der Brennstoffzelle beträgt zirka 65 Grad, die Rücklauftemperatur liegt bei zirka 55 Grad. Die Anlage wird wärmegeführt betrieben.

*Steuerung und Monitoring der Anlage*

Der Energiemanager des Herstellers Vaillant GmbH ist über eine ISDN-Leitung mit deren Zentrale in Remscheid verbunden, die Anlagendaten werden fernabgefragt und die Anlage aus Remscheid überwacht. Die übergeordnete Steuerung der Anlage erfolgt über die MVV-Gebäudeleittechnik. Das Brennstoffzellenheizgerät wird hier als eine Pilotanlage für ein

Monitoring kleiner KWK-Anlagen abgebildet. Um die Betriebsdaten der Pilotanlage allen am Projekt Beteiligten und auch der interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen, wurde ein Visualisierungssystem der EUS GmbH Dortmund installiert. Das Visualisierungssystem [4] ermöglicht es, das hydraulische Schema geschützt mit Passwort und Benutzererkennung via Internet im Browser aufzurufen. Dabei werden sämtliche angezeigten Betriebsdaten, wie Temperaturen, Flüsse und Ventilstellungen, alle zehn Sekunden aktualisiert. Das System umfasst ferner eine MySQL-Datenbank, in der historische Betriebsdaten abgespeichert sind (Minutenwerte) und für eigene Auswertungen zum Beispiel in Excel heruntergeladen werden können. Die Internet-Visualisierung ist in die Homepage von MVV Energie (www.mvv-business.de)

integriert.

*Einbindung der Euro 2-Anlage*

Euro 2, das Nachfolgemodell des Brennstoffzellenheizgerätes Euro 1, wurde am 20. Oktober 2004 in der Bildungskammer der Handwerkskammer Mannheim, Neckar-Odenwald-Kreis in Betrieb genommen. Die heizungsseitige Einbindung erfolgte

bereits vorhandene solarthermische Anlage sowie mehrere Heizkessel, die im Ausbildungszentrum zu Lehrzwecken kurzzeitig betrieben werden, einzubinden. Um diesen sehr untypischen Randbedingungen gerecht zu werden, war es nötig, eine existierende Abluftanlage anzuschließen. Optimierungsziel ist eine möglichst hohe Laufzeit der Brennstoffzelle und eine gute Ausnutzung der erzeugten Heizwärme. Zur Steuerung und Betriebsführung sollte eine preisgünstige Alternative zu einer teuren Gebäudeleittechnik eingesetzt werden. Außerdem sollte das System offen für die Einbindung vieler dezentraler Anlagen sein. Die Bindung an ein bestimmtes Gebäudeleittechnik-System, das vor Ort erst aufgebaut werden müsste, ist bei dieser Zielstellung nicht praktikabel. Dieses Ziel wurde mit der Maximus EPC der EUS GmbH Dortmund erreicht [5]. Im Gegensatz zur Euro 1-Anlage erfolgt hier auch die Steuerung der Anlage via Internet. Geschützt über Benutzererkennung und Passwort kann die Anlage ähnlich wie bei einer „normalen“ Leittechnik überwacht werden. Steuerungseingriffe sowie Sollwertänderungen können vorgenommen werden. Zusätzlich ist die von der Euro 1 bekannte Internet-Visualisierung einschließlich MySQL-Datenbank in das System integriert und ist ebenfalls über die Homepage von MVV Energie zugänglich.

*Betriebserfahrungen mit der Euro 1*

Euro 1 läuft seit gut zwei Jahren in der MVV-Konzernzentrale. Sie erreicht

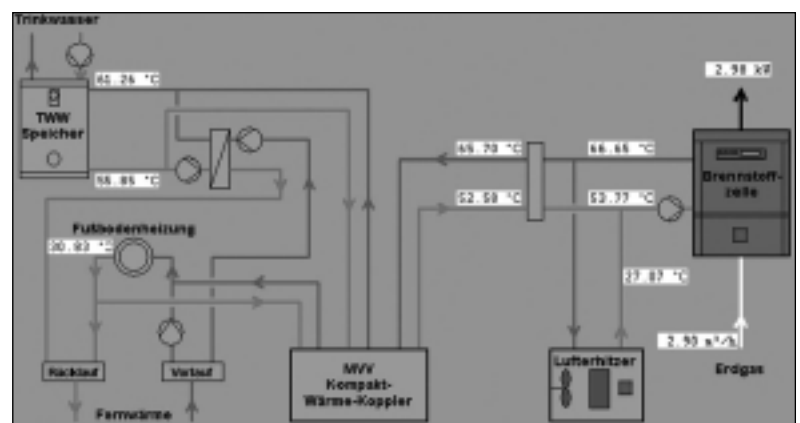


Abbildung 3: Heizungsseitige Einbindung der Euro 1 Anlage in der MVV-Konzernzentrale  
 Figure 3: Integration of Euro 1 in MVV corporate headquarter

wie in Abbildung 5 dargestellt. Die von der Brennstoffzelle erzeugte Heizwärme wird für die Warmwasserbereitung und die Gebäudeheizung genutzt. Bei fehlendem Bedarf wird die Leistung der Brennstoffzelle heruntergefahren. Außerdem galt es, eine

einen durchschnittlichen elektrischen Wirkungsgrad von 13,4 %, der Gesamtnutzungsgrad beträgt im Durchschnitt 67 %. Der maximale elektrische Wirkungsgrad beträgt 24 %, der maximale Gesamtwirkungsgrad 79 %. Damit wurde der vom Hersteller ge-

**Literatur**  
 [1] S. Holler 2005: MVV Energie interne Studie  
 [2] P. Behrens 2005: EUS GmbH interne Studie  
 [3] Vaillant 2005: interne Mitteilung Vaillant GmbH  
 [4] EUS 1 2005: <http://www.eus.de/upload/ProduktflyerMAXIMUS%20DSC.pdf>  
 [5] EUS 2 2005: <http://www.eus.de/upload/ProduktflyerMAXIMUSEPC.pdf>  
 [6] Dauensteiner et al. 2005: The Virtual Fuel Cell Power Plant: Final presentation at DG TREN in Brussels, 11 May 2005, Brussels  
 [7] H. J. Dausch 2005: persönliche Mitteilung.

nannte maximale Gesamtwirkungsgrad von 82 % nur knapp verfehlt, der prognostizierte elektrische Wirkungsgrad von 24 % wird dagegen realisiert. Von März 2003 bis Juni 2005 erreichte die Anlage 11.500 Betriebsstunden. Sie produzierte rund 35.000 kWh Strom und 125.000 kWh Wärme und hatte eine Verfügbarkeit von 65 %. Der erforderliche Jahresnutzungsgrad von 70 % für die vollständige Befreiung von der Mineralölsteuer wurde monatsweise erzielt.

Das von Vaillant bereits mehrfach nachgewiesene Potenzial seiner Prototypen konnte für die Parameter „durchschnittlicher elektrischer Wirkungsgrad“ und „Gesamtnutzungsgrad“ nicht erreicht werden. Eine Ursache betraf die Stack-Lebensdauer, die für einige Stacks außerhalb der durchschnittlichen Bandbreite von 2.000 h bis 4.000 h lag [6]. Ursachen für die unterdurchschnittliche Lebensdauer einiger Stacks in diesem Feldtest waren Überhitzung der Zellen und wahrscheinlich Folgeprobleme technischer Schwierigkeiten, insbesondere mit der nicht immer ausreichenden Reformatqualität und mit der Wasserversorgung. In der weiteren Entwicklung der Stacks widmet Vaillant diesem Problem ein Hauptaugenmerk.

Im so genannten „Reformer“ wird aus Erdgas unter Zugabe von deionisiertem Wasser Wasserstoff und CO<sub>2</sub> gewonnen. Insbesondere CO-Bestandteile im Reformat schaden dem Brennstoffzellen-Stack und werden daher durch nachgeschaltete katalytische Reinigungsstufen minimiert. Die Reformatqualität war zu Beginn des Betriebs der Euro 1 nicht optimal, was zu verringerten Wirkungsgraden und nachfolgend zu einem Leistungsabfall des Stacks führte.

Ein Problemfeld in der Peripherie des Brennstoffzellenheizgerätes betraf die Wasserversorgung für die Herstellung von deionisiertem Wasser. Insbesondere nach betriebs- oder störungsbedingten Stillstandszeiten bildeten sich im Leitungswasser schädliche Korrosionsprodukte. Das Problem wurde durch periodisches Spülen und einen vorgeschalteten Filter gelöst.

*Betriebserfahrungen mit der Euro 2*

Der maximal erreichte elektrische Wirkungsgrad beträgt 26 %, der maximale Gesamtwirkungsgrad 80 %. Damit werden die Herstellerzielwerte erreicht. Der Gesamtnutzungsgrad liegt bei durchschnittlich 74 %. Die Verfügbarkeit ist auf 80 % gestiegen. In

den bisher erreichten 3.000 Betriebsstunden wurden 9.875 kWh Strom und rund 29.000 kWh Wärme produziert. Die Euro 2 benötigt ebenfalls eine ausreichend gute Wasserqualität, andernfalls kann es zu einer reduzierten Stacklebensdauer und einem Leistungsverlust am Stack kommen.

**Bewertung der Betriebserfahrung**

Die Funktionstüchtigkeit der erdgasbetriebenen Brennstoffzellenheizgeräte Euro 1 und Euro 2 konnte im Feldtest nachgewiesen werden. Die Anlagen liefern unter Praxisbedingungen jederzeit sicherheitstechnisch einwandfrei. Die Kennzahlen Verfügbarkeit und Wirkungsgrad liegen für die Euro 1 im guten Bereich, der Nutzungsgrad ist noch nicht zufrieden

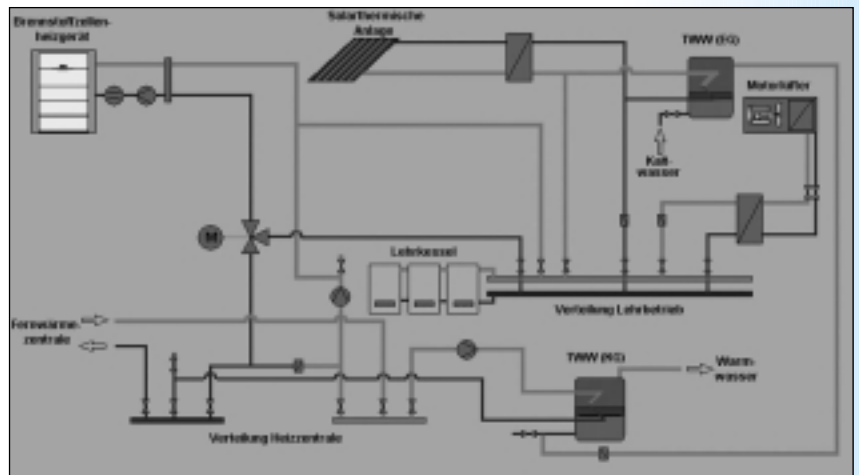
stellend. Für die Weiterentwicklung Euro 2 konnten nach einem dreiviertel Jahr Dauerbetrieb deutliche Steigerungen der Verfügbarkeit und der Nutzungsgrade nachgewiesen werden. Technische Herausforderungen der Zukunft sind die Erhöhung der Stacklebensdauer, die Erhöhung der Robustheit der Anlage und die Realisierung der Zielwerte für den elektrischen Wirkungsgrad von 35 % und für den Gesamtwirkungsgrad von 85 %.

*Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes*

Wegen ihres hohen Wirkungsgrades sind Brennstoffzellenheizgeräte der Zukunft, verglichen mit der ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung, geeignet, die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren. Dieser Einspareffekt ist umso größer, je CO<sub>2</sub>-intensiver die ungekoppelte Wärme- und Stromerzeugung ist. Brennstoffzellenheizgeräte haben sich dabei im Umweltbeitrag mit einer Groß-KWK-Anlage oder der ungekoppelten Wärme- und Stromerzeugung in Brennwertkesseln und einer erdgasbetriebenen GuD-Anlage zu messen. Ob Brennstoffzellenheizgeräte tatsächlich einen Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Einsparung liefern, ist im Einzelfall zu prüfen. Beispielsweise versorgt MVV Energie in Mannheim 50 % des Stadtgebietes mit Fernwärme aus einer Groß-KWK-

Anlage. Eigene Berechnungen ergeben, dass in Mannheim eine CO<sub>2</sub>-Einsparung durch erdgasbetriebene Brennstoffzellenheizgeräte im Vergleich zur zentralen Stromerzeugung mit Fernwärmeversorgung nicht zu realisieren ist. Die berechnete CO<sub>2</sub>-Einsparung eines Brennstoffzellenheizgerätes gegenüber der ungekoppelten Energieerzeugung mit einem Gas-Brennwertkessel und zentraler Stromversorgung (BRD-Mix 2004) beträgt dagegen ca. 20 %. Typische andere Mikro-KWK-Anlagen wie der erdgasbetriebene Stirling-Motor oder

Abbildung 5: Einbindung der Euro 2 in die vorhandene technische Infrastruktur des Gebäudes  
Figure 5: Integration of Euro 2 in the existing technical infrastructure of the building



das erdgasbetriebene Motor-BHKW liegen im CO<sub>2</sub>-Ausstoß über dem Brennstoffzellenheizgerät [1]. Die Brennstoffzellentechnologie kann bei Erreichen ihrer Zielwirkungsgrade eine effiziente Technologie zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung für erdgasversorgte Ge-

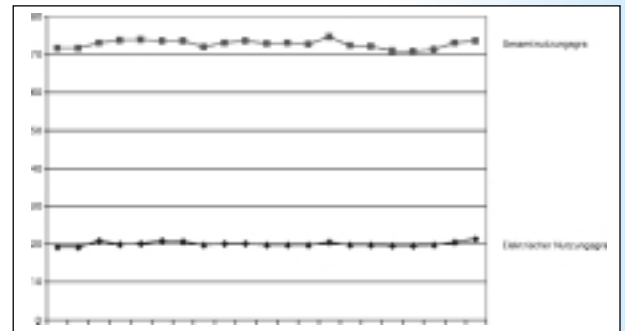


Abbildung 6: Nutzungsgrad der Euro 1 bei Leistungen von 3,6 kW bis 4 kW elektrisch  
Figure 6: Degree of utilization of Euro 1 at electric wattage between 3,6 and 4 kW

biote sein. Gerade bei einer CO<sub>2</sub>-intensiven zentralen Stromerzeugung (BRD Strommix 2004) entstehen durch Brennstoffzellenheizgeräte beachtliche CO<sub>2</sub>-Einsparpotentiale. Bei einer Strom- und Wärmeerzeugung aus effizienten Groß-KWK-Anlagen wie dem Groß-Kraftwerk Mannheim ist die CO<sub>2</sub>-Einsparung durch erdgasbetriebene Klein-KWK allerdings kritisch zu bewerten.

Dr. rer. nat. Doris Wittneben,  
Dipl.-Ing. Claus Eisgruber

## Vergasung organischer Substanzen in überkritischem Wasser

**Nasse Biomasse liefert Energie für Brennstoffzellen***Hydrogen from wet biomass for fuel cells*

The process of biomass gasification in supercritical water ( $T > 374\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p > 22.1\text{ MPa}$ ) enables the production of a gas rich in hydrogen from wet biomass as starting material. Additional hydrogen is gained from the reaction of organic material with water; the product gas can contain more hydrogen than the feedstock. Energy efficiency is high due to the usage of effective heat exchange and the low compression work for the liquid feed slurry. Demonstration in the pilot scale has been performed. Carbon forms preferentially  $\text{CO}_2$  and methane. Scrubbing of  $\text{CO}_2$  with water under high pressure was efficient (up to 99 %) and the corresponding loss of  $\text{H}_2$  was low. The  $\text{CO}$  – concentration in the product gas is usually less than 2 vol %. New PEM fuel cells with Pt-based, bi- or trimetallic nanoscale catalysts show a tolerance to  $\text{CO}$  which allows that the product gas of the process can be used for electricity production without previous  $\text{CO}$  purification.



Dr. Nikolaos Boukis

Anschrift der Autoren:  
Forschungszentrum  
Karlsruhe,  
Institut für Technische  
Chemie,  
Postfach 3640,  
D-76021 Karlsruhe,  
Tel. +49 7247/82-4825,  
Fax +49 7247/82-2244,  
E-Mail:  
nikolaos.boukis@itc-  
cpv.fzk.de



Dipl.-Ing. Ulrich Galla

Die Vorteile der Brennstoffzellentechnologie zur Erzeugung von Elektrizität und Wärme sind unumstritten. Neben dem höheren Wirkungsgrad im Vergleich zu Verbrennungsmotoren ist die geringe Lärmbelastung zu betonen. Brennstoffzellen verbrauchen (oxidieren) primär Wasserstoff und erzeugen als Oxidationsprodukt

Wasser. Der Wasserstoff wird bei Hochtemperatur-Brennstoffzellen oft im gleichen Aggregat über die Reformierung von Methan erzeugt. Aber auch in diesem Fall wird in der Zelle selbst letzten Endes Wasserstoff zu Wasser umgewandelt. Freier Wasserstoff kommt bekanntlich auf der Erde nur in geringen Mengen vor.

Somit muss Wasserstoff zunächst erzeugt werden. Grundsätzlich sind elektrochemische und rein chemische Erzeugungswege im Einsatz. Konventionell wird Wasserstoff über die Reformierung der fossilen Quelle Erdgas hergestellt. Ziel der hier vorgestellten Forschungsarbei-

Die Wasserstoffherzeugung aus Restbiomasse wird im Forschungszentrum Karlsruhe seit etwa vier Jahren intensiv bearbeitet. Die Arbeiten zur Niedertemperatur-Brennstoffzelle mit einer guten Kohlendioxid-toleranz wurden im MPI für Kohleforschung (Abteilung Heterogene Katalyse) begonnen und werden im Forschungszentrum Karlsruhe fortgesetzt.

**Wasserstoff aus Biomasse**

Ein großer Teil der Restbiomasse enthält bis zu 95 % Wasser und wird derzeit trotz vorhandenem Potenzial kaum energetisch genutzt. Mit

Abfallbiomasse	Organische Abfälle	Kraftstoffe	Energiepflanzen
Landwirtschaft (Gewächshaus Abfälle, Gülle, Trester)	Industrie (Pharma, Chemie, Papier)	Bioalkohol BCO	Mais Raps Algen
Getränkeindustrie Lebensmittelindustrie	Klärschlamm		

Tabelle 1: Potenzielle Edukte für die Vergasung in überkritischem Wasser [4]

Table 1: Potential educts for the gasification in supercritical water [4]

ten ist die Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse. Bevorzugt werden Restbiomassen eingesetzt. Dies kann mit neuesten Entwicklungen aus dem Bereich Niedertemperatur-Brennstoffzellen mit einer gewissen Kohlenmonoxid-Toleranz kombiniert werden. Dadurch wird der Aufwand für die Gasreinigung reduziert.

den konventionellen Vergasungsverfahren werden bei hohen Wassergehalten nur sehr niedrige Wirkungsgrade erzielt. Der hier vorgestellte Prozess zielt auf die effektive stoffliche und energetische Nutzung nasser Biomasse ab. Das vorrangige Ziel der hier dargestellten Arbeit ist es, in effektiver Weise Wasserstoff zu erzeugen und damit einen Beitrag zur Bereitstellung von Wasserstoff als Basis für die zukünftige Energieerzeugung und als Chemierohstoff aus nicht fossiler Quelle zu leisten. Das wasserstoffreiche Produktgas ist, nach entsprechender Konditionierung, zur Verstromung in Brennstoffzellen, aber auch für chemische Synthesen, zum Beispiel von Kraftstoffen, geeignet [1-3].

Der Prozess wird im Druck-Temperatur-Bereich des überkritischen Wassers durchgeführt und oft als

Abbildung 1: Außenansicht der Anlage Verena  
Figure 1: View of the Verena plant.

## Weltrekordler liefert Ikeamöbel

(kw) Da staunt der Elch – die schwedische Möbelkette Ikea beliefert ihre Kunden in Berlin mit einem von Brennstoffzellen angetriebenen Opel. Zwei geschulte Ikea-Mitarbeiter transportieren seit Juni Billy und Co. emissionsfrei und leise mit dem HydroGen3 genannten Wagen, einem Zafira mit einer Spitzenge-



Der Ikea-Zafira  
(Werkesfoto)

schwindigkeit von 160 km/h, durch die Hauptstadt. Der Praxismodellversuch, der von der Bundesregierung gefördert wird, ist Teil der Clean Energy Partnership Berlin (CEP), an der neben der Opel AG auch die Unternehmen Aral, BMW, Berliner Verkehrsbetriebe, DaimlerChrysler, Ford, Hydro/GHW und Vattenfall Europe beteiligt sind. Der HydroGen3 kann schon auf einige Erfolge verweisen: So wurde der Wagen Sieger in der Brennstoffzellenklasse bei der „Rallye Monte Carlo Fuel Cell und Hybrid“ (am Steuer: Ex-Formel-1-Fahrer Heinz Harald Frentzen) und stellte im vergangenen Jahr mit 9.696 Kilometer einen Strecken-Weltrekord für Brennstoffzellen-Fahrzeuge auf.

## Norwegen fördert Wasserstoffkorridor

(kw) Die norwegische Regierung macht Ernst mit der Förderung alternativer Kraftstoffe. Wie der Minister für Verkehr und Kommunikation, Torild Skogsholm, ankündigte, will das Königreich 50 Millionen norwegische Kronen (rund 6,3 Millionen Euro) in Tests für alternative Antriebstechnologien stecken. Der Löwenanteil (30,2 NOK / 3,8 Mio. Euro) geht an das Projekt HyNor, einer nationalen Initiative, um Wasserstoff in den Verkehrssektor einzuführen. Zentrales Anliegen von HyNor ist es, bis 2008 einen „Wasserstoffkorridor“ zwischen Oslo und Stavanger zu realisieren.

## Weltrekord 1: PAC-Car fährt 5.385 Kilometer

(kw) 5.385 km fahren mit – umgerechnet – nur einem Liter Benzin, diesen neuen Effizienzweltrekord hat das Brennstoffzellen-Fahrzeug PAC-Car beim Shell Eco-Marathon auf der Michelin-Versuchsstrecke im französischen Ladoux aufgestellt. Wie die ETH Zürich mitteilte, habe das von der Hochschule entwickelte Auto damit seinen bisherigen Rekord von 4.000 km deutlich übertroffen. Das aerodynamische und leichtgewichtige Auto (30 kg) wird von einer wasserstoffbetriebenen Brennstoffzelle angetrieben, die zwei Elektromotoren mit Strom versorgt. Konstruiert und entwickelt worden ist das PAC-Car vor allem von Studentinnen und Studenten des Departement Maschinenbau und Verfahrenstechnik der ETH. Unterstützung kam vom schweizerischen Bundesamt für Energie, dem Paul Scherrer Institut, der Universität Valenciennes (Frankreich) sowie einigen Partnern aus der Industrie.

## Weltrekord 2: Brennstoffzelle erzeugt 3,7 Mio. kWh

(kw) Und noch ein Rekord: Die Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle in Michelin Reifenwerk in Karlsruhe hat in 21.000 Betriebsstunden mehr als 3,7 Mio. kWh Strom erzeugt. Das teilte der zuständige Energieversorger Energie Baden-Württemberg AG (EnBW) mit. Die bei Michelin eingesetzte Brennstoffzelle des Herstellers MTU CFC Solutions GmbH „Hot Module“ mit einer elektrischen Leistung von bis zu 250 kW und der thermischen Leistung von bis zu 180 kW ist seit Februar 2003 im Einsatz. Sie versorgt das Michelin-Werk mit Strom und 200 °C heißem Prozessdampf für die Vulkanisation von Lkw-Reifen.

## DaimlerChrysler und Ford kaufen Ballard

(kw) In einem Joint Venture zwischen Ford und DaimlerChrysler geht die deutsche Ballard Power Systems AG in Kirchheim-Nabern vollständig in den Besitz der beiden Automobilunternehmen über. Bislang hatte Ballard Power Systems Inc. aus Vancouver

50,1 % der Anteile der deutschen Tochter gehalten. Diese Anteile werden von Ford und DaimlerChrysler im Zuge eines Aktien-tausches übernommen. Danach besitzen beide Firmen jeweils 50 % des Joint Ventures und sind damit alleinige Eigentümer der Ballard Power Systems AG. Ballard Vancouver wird sich zukünftig auf die Entwicklung von Brennstoffzellen-Stacks sowie auf Komponenten für den elektrischen Fahrzeugantrieb konzentrieren. Bis 2010 will Ballard die Brennstoffzelle für die Automobilindustrie serienreif machen. Die Integration der Systeme – und damit schlussendlich auch der Einbau ins Fahrzeug – liegt aber nun vollständig in der Hand der Automobilfirmen. Im Hinblick auf die Entwicklung eines Serienfahrzeugs sicher eine strategisch wichtige Entscheidung, denn das Antriebssystem ist eine wichtige Kernkompetenz eines jeden Fahrzeugherstellers. Teil der Vereinbarung (bislang ein Memorandum of Understanding) ist auch die weitere finanzielle Unterstützung der Entwicklung der nächsten zwei Generationen von Brennstoffzellen-Stacks bei Ballard in Vancouver. Hierzu wird das Joint Venture Aktienanteile von Ballard Power Systems, Vancouver, im Wert von etwa 30 Millionen Euro erwerben.

## Mobile Brennstoffzelle macht unabhängig

(kw) Im Wohnmobil, auf der abgelegenen Berghütte oder im Wald ist die Stromversorgung per



Die SFC A50;  
Foto: Dupont

Netz ein Problem. Dieselgeneratoren sind laut und verpesten die Luft. Eine Alternative sind mobile Brennstoffzellen, die leise, emissionsarm und zuverlässig Strom erzeugen. das verspricht zumindest die Firma Smart Fuel Cell AG (SFC), deren methanolbetriebene Brennstoffzelle SFC A50 laut Hersteller nicht nur problemlos in jedes Wohnmobil

eingebaut werden kann, sondern auch ausreichend Strom für Fernseher, Funkgeräte, Heizungen, Kameras oder Laptops liefert. So wird sie beispielsweise zur Waldbrandfrüherkennung in Brandenburg eingesetzt. Aufgabe der Brennstoffzelle ist dabei, den Betrieb der Kamera abzusichern, wenn der Primärtrieb, eine 22 Wp Photovoltaikanlage wegen Dunkelheit nicht funktioniert. Die SFC A50 ist auf die Kombination mit 12-V-Batterien abgestimmt. Gespeist wird sie aus Methanol-Tankpatronen, deren 5 Liter Inhalt laut SFC ein bis zwei Wochen ausreicht.

## Bundeswehr-Soldaten mit Brennstoffzellen

(kw) Deutsche Soldaten sollen künftig nicht mehr mit schweren Batterien, sondern mit leichten Methanolfuelzellen ausgerüstet werden. Wie die Smart Fuel Cell AG (SFC) mitteilt, hat sie einen Vertrag zur Weiterentwicklung ihrer Brennstoffzelle SFC C20 mit der Bundeswehr abgeschlossen. Der Einsatz von Brennstoffzellen, so SFC, könnte das Gewicht des soldatischen Marschgepäcks deutlich reduzieren – während eine Batterie, die elektrische Geräte drei Tage lang mit 20 W Leistung versorgt, 9,3 Kilo wiegt und es wiederaufladbare Akkus sogar auf 12,6 Kilo bringen, fallen bei der heutigen SFC C20 inklusive Treibstoff nur 3,3 Kilo an. Ziel der Vereinbarung mit der Bundeswehr ist es laut SFC, das Gewicht auf 2,2 Kilo zu verringern. Sie soll außerdem bei sehr hohen oder niedrigen Umgebungstemperaturen funktionieren, robust, schlagfest und wasserdicht sein. Im kommenden Jahr will die Bundeswehr erste Labor- und Feldtests unter Einsatzbedingungen vornehmen.

## Solare Wasserstoffherstellung mit Zink

(kw) Wissenschaftlern des Weitzmann Institute of Science in Rehovot (Israel) ist es gelungen, Wasserstoff billiger und umweltfreundlicher herzustellen: Mit Hilfe von Solartechnologie soll Zink extrahiert werden. Aus diesem kann dann Wasserstoff

gewonnen werden, indem man Wasser darüber gießt. Zwar ist die Methode noch nicht ganz ausgereift, aber sie scheint nach Ansicht der Experten viel versprechend zu sein, berichtet das Wissenschaftsmagazin Nature. Den Chemikern war schon lange bekannt, dass manche Metalle wie etwa Zink Wasser spalten können. Gescheitert sind diese Versuche meist daran, dass Zink zu unrein war. Die Herstellung von reinem Zink machte den Einsatz von Säuren und großen Mengen Strom erforderlich. Die israelischen Forscher haben nun einen besseren Weg gefunden: 64 sieben Meter hohe Spiegel fokussieren einen Lichtstrahl auf einen Turm mit Zinkoxid und Holzkohle. Der Strahl mit einer Leistung von 300 Kilowatt heizt den Reaktor auf bis zu 1.200 Grad Celsius an und schafft die Herstellung von bis zu 50 Kilogramm Zink pro Stunde. Ganz zufrieden sind die Forscher mit dem Prozess allerdings noch nicht, da die Verbrennung der Kohle Kohlenmonoxid produziert. Die Forscher wollen eventuell die Kohle durch organische Abfälle aus der Landwirtschaft ersetzen. Dazu

müsste die Hitze allerdings auf 1.800 Grad erhöht werden, dann könnte Zink ohne Kohlenstoff extrahiert werden.

### DaimlerChrysler liefert Erdgasbusse nach Peking

(kw) Ab Mitte September sollen drei Busse mit Brennstoffzellen-



DaimlerChrysler liefert drei Brennstoffzellen-Busse nach Peking/China: die drei Stadtbusse vom Typ Mercedes-Benz Citaro mit Brennstoffzellen-Antrieb stammen aus dem Mannheimer Omnibuswerk der DaimlerChrysler AG. (Werksfoto)

antrieb in Peking den öffentlichen Nahverkehr verstärken. Die Citaros werden im Zuge eines Brennstoffzellenprojektes bis Oktober 2007 eine 10 Kilometer lange Strecke vorbei am Sommerpalast und am künftigen Gelände der Olympischen Spiele befahren. Die Chinesen wollen im Laufe des Projektes die Alltagstauglichkeit der Brennstoffzellentechnologie sowie die Akzeptanz der Bevölkerung testen. Finanziell unterstützt wird das gesamte Unternehmen unter anderem von der UNO.

### Amerikaner und Bayern ziehen nach Herten

(kw) Gleich zwei Brennstoffzellen-Unternehmen wollen sich neu im nordrhein-westfälischen Herten ansiedeln. Der US-amerikanische Hersteller IdaTech teilt mit, seine erste Niederlassung in Europa dort zu errichten. Das Unternehmen aus Oregon arbeitet seit längerem mit RWE Fuel Cells und BBT Thermotechnik zusammen an der Entwicklung und Herstellung von Brennstoffzellen-Heizgeräten. Ebenfalls nach Herten zieht es das Starnberger Unternehmen

Proton Motor. Seit mehr als zehn Jahren ist die Proton Motor GmbH in der Brennstoffzellentechnik tätig und hat unter anderem den ersten zum Straßenverkehr zugelassenen Nahverkehrsbus mit Brennstoffzellenantrieb entwickelt. Bis Ende des Jahres soll die Arbeit in Herten aufgenommen werden.

### ISE und USC vereinbaren Kooperation

(vb) Das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg, und das Fuel Cell Center der University of South Carolina (USC) haben im Juli ein sogenanntes Memorandum of Understanding für den Bereich Brennstoffzellen- und Wasserstoffforschung unterzeichnet. Beide Institutionen wollen in Zukunft ihre Forschungsaktivitäten bei der Entwicklung von Brennstoffzellen sowie bei der Produktion und Speicherung koordinieren, gemeinsame Projekte akquirieren und Patente abgestimmt vermarkten. Das Fuel Cell Center der USC ist das einzige „Center of Excellence“ der National Science Foundation für Brennstoffzellenforschung. ■



## H<sub>2</sub> - Profi

### Brennstoffzellen-Fachausbildung für Praktiker



**Elektro-Ausbildungszentrum Aalen e. V.**  
Mohlstraße 3  
73431 Aalen / Germany

#### Zielsetzung und Zielgruppe

- In dieser Fachausbildung werden alle wichtigen Kenntnisse und Fertigkeiten für stationäre und mobile Brennstoffzellensysteme auf dem aktuellsten Stand der Technik in anschaulicher Form mit sehr hohem Praxisanteil vermittelt.
- Das Seminar richtet sich an Privatpersonen, Facharbeiter, Handwerker, Lehrer und Ausbilder. Interesse an der Brennstoffzellentechnologie und handwerkliche Fertigkeiten sind für die Praxisarbeiten erforderlich.

#### Kursinhalte

Kurszeitraum: Beginn auf Anfrage, Dauer ca. 6 Monate in Teilzeit  
Gesamtumfang: 420 U/Std. im Blended Learning

In diesem Kurszeitraum finden 20 Präsenztage mit folgenden Themenschwerpunkten statt:

- Einführung in die Brennstoffzellentechnologie und Grundlagenversuche
- Praxisaufbau eines Brennstoffzellensystems
- Heizungsanlagen / Brennstoffzellenheizgeräte sowie deren messtechnische Untersuchung
- Komponenten und deren Funktionsweise in BZ-Heizgeräten, Wartung und Service.
- Planung und Auslegung von BHKW; Installationsarbeiten
- Regelungstechnik und hydraulischer Abgleich
- Zwischenprüfung: Stationäre Anwendung und Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten
- Installation und Inbetriebnahme eines Heizgerätes nach Vorschrift
- Dimensionierung und Auswahl von Heizungsanlagen Marketing und Kundengespräch
- Einführung in Fahrzeuganwendungen
- Komponenten und Systeme in Fahrzeugen Wartungs-, Service- und Reparaturarbeiten
- Abschlussbesprechung und Kursevaluation

Zwischen den Präsenztagen werden die Theorietemen durch die Teilnehmer im selbstorganisierten Lernen mit digitalen Lernmedien erarbeitet.

Förderung durch Wirtschaftsministerium und Landesgewerbeamt Baden-Württemberg

#### Anmeldung und ausführliche Informationen zu Nr. BZ101

Elektro-Ausbildungszentrum Aalen e.V. Tel. 07361 95 80 – 200 esz@esz-aalen.de  
Mohlstraße 3; 73431 Aalen Fax. 07361 95 80 – 290 www.esz-aalen.de