



Hausenergiesysteme mit Brennstoffzellen

Abb 1



- ▶ Brennstoffzellen haben Potenzial für die Gebäudeenergieversorgung
- ▶ Erste Praxistests zeigen Funktionsfähigkeit
- ▶ Jetzt wird an Kostenreduktion und Serientauglichkeit gearbeitet
- ▶ Markteinführung vermutlich gegen Ende des Jahrzehnts

Prototyp einer Brennstoffzellen-Hausenergiezentrale zur Strom- und Wärmeversorgung (Quelle: Viessmann)

Brennstoffzellen produzieren elektrischen Strom und Wärme aus praktisch allen wasserstoffhaltigen Gasen und Treibstoffen. Die vielseitig nutzbaren Energiewandler haben zudem vier entscheidende Vorzüge: Sie emittieren wenig Schadstoffe, arbeiten nahezu lautlos, sie verwerten Energierohstoffe sehr effizient – auch im wichtigen Teillastbereich – und eignen sich für alle Leistungsbereiche von Watt (Notebook) über Kilowatt (Hausenergie oder Automobil) bis Megawatt (Kraftwerk).

Mit Brennstoffzellen könnte sich die Energieversorgung von Gebäuden grundlegend verändern. Denn sie eignen sich gut für die gleichzeitige Versorgung mit Strom und Wärme und lassen sich als „Brennstoffzellen-Heizgerät“ oder als kompakte „Brennstoffzellen-Hausenergiezentrale“ in Gebäuden aufstellen.

In Deutschland arbeiten inzwischen mehrere bedeutende Unternehmen an solchen Geräten. Und auf Länder- und Bundesebene haben sich viele verschiedene Initiativen, Netzwerke und Programme zur Förderung der noch jungen Energietechnologie formiert. Auch in der EU, in Japan und in den USA wird an Brennstoffzellen gearbeitet. Bereits Ende der 1980er Jahre startete die deutsche Bundesregierung Projekte zur Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie, seit 1994 gibt es

ein Forschungsprogramm für die Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (PEMFC). Ab 2000 wurden dann die Forschungsaktivitäten um den Schwerpunkt Brennstoffzellen für Hausenergiezentralen erweitert. Mit dem 2001 gestarteten Zukunfts-Investitionsprogramm (ZIP) wurde dieser Akzent nochmals verstärkt. Hersteller und potenzielle Betreiber sollen Erfahrungen mit der neuen Technologie sammeln. Das Programm beinhaltet verschiedene Technologieentwicklungen und auch Feldtests, die in Kürze anlaufen und zunächst bis 2005 andauern.

Die noch junge Technologie hat Potenzial. Manche sehen Brennstoffzellen sogar als eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Wenn auch erste Praxistests von Brennstoffzellen-Heizgeräten auf eine schon bald mögliche Markteinführung hindeuten mögen, so sind die meisten beteiligten Unternehmen eher vorsichtig und sehen den Markteintritt frühestens ab 2008. Denn die Einführung einer komplett neuen Energieversorgungstechnik will gut vorbereitet sein. Auch sind noch einige Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen erforderlich – nicht zuletzt um die Kosten auf ein konkurrenzfähiges Niveau von max. 1.500 €/kW_{el} zu drücken. Im Folgenden werden die aktuellen Entwicklungslinien und Projekte vorgestellt.

► Systementwicklung

In einem Forschungsprojekt unter Federführung von Viessmann und unter Mitarbeit zweier wissenschaftlicher Institute sowie Industriepartnern wird seit 2000 ein erdgasbetriebenes Hausenergiesystem kleiner Leistung auf Basis von Brennstoffzellen entwickelt. Anders als bei vielen anderen Entwicklungen setzt man hier auf Brennstoffzellen aus eigener Fertigung. Die Partner haben in kurzer Zeit ein System entwickelt, das jetzt in der dritten Prototypenversion konkurrenzfähige Kenndaten zeigt (vgl. **Abb 1** und **3**). Im Folgenden werden die wesentlichen Entwicklungsschwerpunkte des Projekts benannt – die Darstellung ist verallgemeinerbar auf vergleichbare Entwicklungsprojekte:

Gasaufbereitung

Neben reinem Wasserstoff können auch Erdgas, Kohlegas, Klärgas, Biogas (überwiegend Methan/CH₄) aber auch flüssige Brennstoffe eingesetzt werden. Doch hierfür ist ein hoher Aufwand notwendig: Entschwefelung, Erdgas-Reforming, Reformreinigung und Kohlenmonoxid-Entfernung heißen die Stufen der Brennstoffaufbereitung, die hinsichtlich Kaltstarteigenschaften, Energieaufwand, Kosten und Serienfertigung optimiert werden müssen. In dem Reforming-Prozess wird der Brennstoff in Wasserstoff, Kohlendioxid und weitere

Bestandteile aufgespalten. Aufgrund der Empfindlichkeit von Elektroden, Katalysator oder Elektrolyt gegenüber Schwefel, Kohlenmonoxid u. a. ist eine Gasfeinreinigung sowie die Entschwefelung notwendig. Der energetische Aufwand dafür reduziert den elektrischen Systemwirkungsgrad um 20 bis 40 Prozent. Brennstoffzellen könnten in Hausenergiezentralen Strom mit einem Systemwirkungsgrad von bis zu 40% erzeugen. Aktuell in Entwicklung befindliche Aggregate erreichen erst knapp 30%.

Brennstoffzelle

Auch der Kern des Aggregats, der eigentliche Brennstoffzellen-Stack bietet im Hinblick auf weitere Leistungssteigerung, Kostensenkung und Wartungsarmut bzw. hohe Lebensdauer genügend Ansätze zur Optimierung, die in der gegenwärtigen Entwicklungsstufe bearbeitet werden: Entwicklung platinarmer oder platinfreier Katalysatoren, Bipolarplatten für eine extrem kompakte, gasdichte und wärmestabile Stack-Konstruktion, Feuchte- und Wärmemanagement im Stack und ein an den Aspekten Temperaturverhalten, Werkstoffkompatibilität und Fertigungseignung orientiertes Design. Keine einfachen Aufgaben – zumal in fortgeschrittenen Stacks enorm hohe Stromdichten von bis zu einem Ampere pro cm² auftreten.

Wechselrichter

Ähnlich wie bei Photovoltaik-Anlagen (PV) erzeugen Brennstoffzellen Gleichstrom, der von einem Wechselrichter in netzkonformen Wechselstrom transformiert wird. Es gibt vergleichbare Anforderungen, so dass auf die PV-Technologie zurückgegriffen werden kann. Und doch werden auch fundamentale Unterschiede deutlich: Während in PV-Anlagen hohe Spannungen bei geringen Strömen dominieren, so liefern Brennstoffzellen das konstruktive Optimum bei kleinen Spannungen und hohen Strömen - die resultierende Gleichspannung liegt unter 100 Volt. Aus diesem Grund sind die erreichbaren Wechselrichtungswirkungsgrade geringfügig schlechter als bei PV-Systemen, sie liegen aber bei dem Viessmann-Aggregat im für den Betrieb typischen Leistungsspektrum durchweg über 93%.

Steuerung

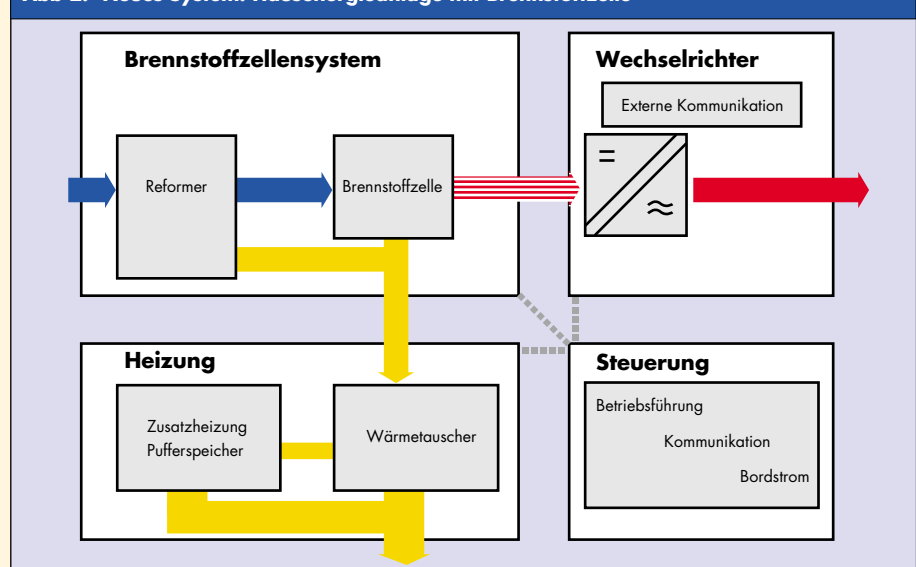
Gaszufuhr, Gasaufbereitung, Wärmemanagement, Wechselrichter und periphere Komponenten wie Pumpen, Lüfter und Ventile sind einer Steuerungseinheit untergeordnet, die den Betrieb der Komponenten koordiniert. Hier wird die Betriebsstrategie der Anlage implementiert, an welcher sich wiederum die Anlagendimensionierung orientieren muss.

Kombinierte Energiewandlung vor Ort

Mit dem mittel- und langfristigen Trend zu Niedrigenergiehäusern mit sehr geringem Heizwärmebedarf – auch im Gebäudebestand – wird der Wärmebedarf im Jahresverlauf gleichmäßiger. Ebenso wird der Lastgang im Tagesverlauf umso stetiger, je mehr Wohneinheiten ein Wärmezeuger versorgt. Ein möglichst stetiger Wärmebedarf ist vorteilhaft für die gekoppelte Strom- und Wärmezeugung (Kraft-Wärme-Kopplung). Der im Trend sinkende Heizwärmebedarf schränkt das Potenzial für die konventionelle Kraft-Wärme-Kopplung mit (Motor-)Heizkraftwerken prinzipiell ein. Doch die Brennstoffzelle bietet mit ihrem modularen Aufbau bei kleinen Leistungseinheiten neue Chancen für die energieeffiziente Kraft-Wärme-Kopplung (KWK).

Das Brennstoffzellen-Heizgerät wird als Seriengerät ähnlich kompakte Abmessungen wie ein normales Heizgerät haben. Es ist an das Gas- und an das Stromnetz angeschlossen, dabei wird es in den Netzparallelbetrieb geschaltet: So kann bei Bedarf aus dem öffentlichen Netz Strom bezogen werden, überschüssigen Strom liefert das Brennstoffzellen-Heizgerät ins Netz. An kalten Wintertagen sorgt ein Spitzenlastkessel für ausreichend Wärme. Im Tagesverlauf gleicht ein Pufferspeicher die unbeständige Wärmenachfrage aus. Brennstoffzellen können auf Lastwechsel reagieren und zeigen ein gutes Verhalten unter Teillast – hier sind Brennstoffzellen eindeutig im Vorteil gegen-

Abb 2: Neues System: Hausenergieanlage mit Brennstoffzelle



über Wärme-Kraft-Maschinen mit nachgelagertem Stromgenerator.

Brennstoffzellen-Heizkraftwerke lassen sich mit unterschiedlicher Zielsetzung betreiben:

- Wärmegeführt:** Die Leistung der Aggregate orientiert sich am Wärmebedarf des Gebäudes.
- Stromgeführt:** Die Leistung wird je nach Strombedarf im Gebäude dosiert.
- Netzgeführt:** Der Netzbetreiber kann die Leistung nach bestimmten Anforderungen steuern,

z. B. für das Lastmanagement, für Regelenergieaufgaben, local tuning etc. – d. h. der Betrieb weicht ereignisorientiert von der vorgegebenen Strom- oder Wärmeleistung ab.

Die erzeugte Energie wird in allen drei Betriebsweisen primär dem Gebäude zur Verfügung gestellt – das ist ökonomisch und ökologisch begründet. Überschüssige Wärme wird gespeichert, überschüssiger Strom kann ins öffentliche Netz eingespeist werden.

► Markt in Sicht?

Hausenergiesysteme mit Brennstoffzellen sind hausintern mit dem Heizungs- und Warmwassersystem des zu versorgenden Objektes und extern mit zwei Netzen verbunden (Strom/Gas). So müssen vielfältige, teilweise unterschiedliche Anforderungen (von Technik und Akteuren) berücksichtigt werden, dies gilt für die Auslegung, die Systemintegration, die Installation und den Anlagenbetrieb.

Die Wirtschaftlichkeit der Brennstoffzellen-Heizgeräte wird von den Technikkosten und von den Erlösen aus der Wärme- und Strombereitstellung bestimmt. Die Vergütung der Wärme wird durch die Referenztechnologie bestimmt (z. B. Gasbrennwert). So kommt dem Stromerlös eine wichtige,

den vermiedenen Strombezugskosten eine entscheidende Bedeutung zu. Nach den derzeitigen gesetzlichen Rahmenbedingungen (KWK-Bonus und Ökosteuernbefreiung) wird sich der Betrieb solcher Anlagen zunächst für private Gebäude lohnen, wo der erzeugte Strom überwiegend im Gebäude selber genutzt werden kann und zu vermiedenen Stromkosten gemäß den üblichen Tarifkundenpreisen führt. Die Betreibermodelle „Contracting“ und „virtuelles Kraftwerk“ profitieren von günstigen Gaspreisen für Großkunden, sie lohnen sich jedoch erst, wenn für Brennstoffzellen-Strom attraktive Erlöse auf dem Spotmarkt für Strom oder Regelenergie erzielt werden können.

Heiße Alternative

Das Schweizer Unternehmen Sulzer Hexis entwickelt „kleine“ Brennstoffzellen-Heizgeräte mit einer Leistung von 1 kW_{el} (vgl. Abb 3). Als derzeit einziger Hersteller setzt Sulzer Hexis auf Hochtemperatur-Brennstoffzellen (SOFC) und das schon seit Anfang der 1990er Jahre. 2001 endete ein dreijähriger internationaler Feldtest. Anschließend wurde eine Vorserienproduktion von CE-zertifizierten Brennstoffzellen-Heizgeräten gestartet, die vor allem in Einfamilienhäusern und öffentlichen Gebäuden eingesetzt werden. Sulzer Hexis setzt hier auf die Mitwirkung von regionalen und überregionalen Gas- und Energieversorgern. Mit den Erfahrungen aus den Praxistests wurde inzwischen die nächste Generation von Geräten entwickelt – das „seriennahe“ Produkt. Es ist kleiner, modularer und leichter als die erste Gerätegeneration und nutzt einen kostengünstigeren Reforming-Prozess (catalytic partial oxidation).

Abb 3: Kenndaten verschiedener Entwicklungslinien von Brennstoffzellen-Heizgeräten*

Systemintegration	Ebara Ballard	European Fuel Cells	RWE / Buderus	Sulzer Hexis	Vaillant	Viessmann
Stackfertigung	Ballard	European Fuel Cells	IdaTech	Sulzer Hexis	PlugPower	Viessmann
Brennstoffzellentyp	PEMFC	PEMFC	PEMFC	SOFC	PEMFC	PEMFC
						
Leistung elektrisch	1 kW	1,5 kW	4,6 kW	1 kW	4,6 kW	2 kW
Leistung thermisch	1,4 kW	3 kW	7 kW	2,5 kW	7 kW	5 kW
Leistungsmodulation	k. A.	Ziel: 20 - 100%	Ziel: 20 - 100%	—	Ziel: 20 - 100%	Ziel: 20 - 100%
Leistung Zusatzbrenner	—	15 kW	40 - 160 kW	12 - 22	25 - 280	optional: 15 - 25
Systemwirkungsgrad elektrisch in %	34 / Ziel: ≥35	25 / Ziel: ≥30	Ziel: ≥35	25 / Ziel: ≥30	29 / Ziel: ≥35	28 / Ziel: ≥32
Entwicklungsstand	Feldtest von 17 Anlagen in Japan seit 2003	Beta-Unit	Prototyp, drei 4,6 kW-Pilotanlagen, zwei davon in Kombination mit Mikrogastrurbine	Umfangreiche Praxistesterfahrung mit Vorserienprodukt	Seit 2003 europaweiter Test mit über 50 EURO-Systemen	Prototyp in dritter Version („SOFA 3“)
Planung	Kleinserie für 2005	Test mit 100 Beta-Anlagen in 2005/06	Feldtest ab 2005	Derzeit Entwicklung seriennahes Produkt. Auslieferung Kleinserie ab Ende 2005	Derzeit Entwicklung der nächsten Generation, anschließend weitere Feldtests	Feldtests ab Ende 2005, ab 2007 Kleinserie
Marktreife (Prognose 2004)	2005	ab 2012	ab 2008	ab 2008	bis 2010	ab 2010

Stand August 2004. *Alles Herstellerangaben.

Virtuelles Kraftwerk

Hinter der öffentlichen Stromversorgung in Europa stehen wenige große Kraftwerke, deren Leistungsvermögen jeweils in vielen Megawatt oder eher Gigawatt beziffert wird. Das könnte sich in Zukunft ändern: Es werden mehr und mehr dezentrale Anlagen auf Basis von erneuerbaren Energien, kleinen KWK-Anlagen oder größeren Notstromaggregaten hinzukommen. Sie könnten zu so genannten virtuellen Kraftwerken vernetzt werden. Dabei werden auch Brennstoffzellen eine Rolle spielen: Strom kann so am Ort des Verbrauchs erzeugt und zusammen mit der anfallenden Wärme genutzt werden. Transportverluste reduzieren sich auf diese Weise und Kraftwerkswärme muss nicht mehr an die Umgebung „verheizt“ werden. Kleine, vor Ort installierte

Brennstoffzellen-Heizkraftwerke könnten auch helfen, die Lastschwankungen im Stromnetz zu reduzieren oder gar auszugleichen (=> Regelenergie). Voraussetzung hierfür ist ein zuverlässiger Datenaustausch der kleinen Kraftwerke untereinander und mit einer Leitzentrale. Dabei müssen die Heizgeräte zuallererst ihre eigentlichen „Hausaufgaben“ erledigen: Sie liefern Strom und Wärme für das angeschlossene Gebäude. Überschüssiger Strom kann an das Stromnetz abgegeben werden. Bei hohem Strombedarf im Netz kann die Leitstelle die vielen, dezentralen Anlagen zu einer Überschussproduktion veranlassen.

In dem von Vaillant koordinierten europäischen Projekt „Virtual Fuel Cell Power Plant“ wird die Funktionsweise und Praxistauglichkeit eines solchen virtuellen

Kraftwerks in kleinem Maßstab erprobt. Das virtuelle Brennstoffzellen-Kraftwerk besteht aus insgesamt 31 miteinander vernetzten 4,6 kW_{el} Brennstoffzellen-Heizgeräten, die an verschiedenen Standorten in Deutschland, den Niederlanden, Spanien und in Portugal installiert sind. Die Anlagen stehen in Mehrfamilienhäusern, kleinen Gewerbetrieben oder öffentlichen Einrichtungen. Anfang 2004 startete die Phase 2 des Projekts mit 23 Anlagen der weiter entwickelten, dritten Feldtestgeneration von Vaillant (vgl. Abb 3).

Weitere Infos zum EU-Projekt Virtual Fuel Cell Power Plant unter:
www.cogen.org/projects/vfcpp.htm

► Fazit und Perspektiven

Erste systematische Tests von Brennstoffzellen-Hausenergiezentralen sind in Deutschland, europaweit und auch in Japan und den USA bereits angelaufen. Weitere so genannte Feldtests werden im Rahmen des deutschen ZIP-Programms in Kürze folgen. Als kritische Punkte haben sich jetzt schon die noch hohen Kosten, der doch beachtliche Wartungsaufwand und die Haltbarkeit der Aggregate herauskristallisiert, auch der elektrische Systemwirkungsgrad sollte Werte deutlich über 30% erreichen. Und die Gasaufbereitung muss weiter entwickelt werden zur kompakten, serientauglichen Einheit. Bei all dem geht es zugleich um Systemintegration und Reduktion von Komplexität. Auch die Brennstoffzellen-Stacks sind noch zu teuer und deren Haltbarkeit noch nicht abgesichert. Bei den peripheren Bauteilen wird teilweise noch Laborausstattung „verbaut“. Sie müssen zu serientauglichen Komponenten und Modulen entwickelt werden. Hier sind auch engagierte Zulieferer notwendig. So wird mit einer Markteinführung frühestens ab 2008 gerechnet – Zuversicht ist angebracht, Euphorie wäre verfrüht.

Geeignete technische Regelwerke sind ein nicht zu unterschätzender Erfolgsfaktor für Serienprodukte auf Basis junger Technologien. In Deutschland existiert jetzt mit der Vorprüfnorm DVGW-VP 119 bereits eine gute Grundlage für die Brennstoffzellen-Feldtestgeräte. Weitere Normungsarbeiten auf europäischer Ebene (CEN) wurden unter deutscher Beteiligung (DVGW) gestartet.

Brennstoffzellen sind nicht die einzige Technologieoption für mehr Energieeffizienz und Emissionsminderung. Für das Anwendungsfeld Gebäude gibt es Konkurrenz: Lüftungs-Kompaktgeräte mit integrierter Wärmepumpe können in Passivhäusern den kompletten Wärmebedarf decken, auch konventionelle Motor-BHKW können weiter optimiert und um die Technologievariante Stirling-Maschine erweitert werden. Und auch Solarkollektor- und Solarstromanlagen oder Mikro-Gasturbinen werden ihre Rolle in der Strom- und Wärmeversorgung einnehmen.

Aktuelle Studien und auch die beteiligten Unternehmen gehen davon aus, dass Hausenergiezentralen mit Brennstoffzellen bei Preisen unterhalb 1.000 €/kW_{el} konkurrenzfähig sind. Dieses Preisniveau ist langfristig realisierbar, sofern einige heute erwartete Entwicklungsfortschritte tatsächlich erreicht werden – unter der Voraussetzung allerdings, dass eine Serienproduktion mit großem Volumen einsetzt. Auch bei Preisen bis zu 1.500 €/kW_{el} erscheint eine Markteinführung machbar, falls es gelingt, für die neuen Geräte den besonderen Kundennutzen im Vergleich zu etablierten oder konkurrierenden innovativen Systemen aufzuzeigen. Preise über 1.500 €/kW_{el} sind wohl nur in Nischenmärkten wie z. B. premium power-Anwendungen realisierbar (local tuning, USV), die aber als Türöffner für die Technologie fungieren könnten.

Die in der Anfangszeit sicher bestehenden Mehrkosten könnten durch eine zeitlich begrenzte, öffentliche Förderung zumindest teilweise kompensiert werden – beispielsweise durch eine gesetzlich garantierte Einspeisevergütung, die über den derzeitigen KWK-Bonus hinausgeht. Zusätzlich sind aber auch verlässliche energiewirtschaftliche und regulatorische Rahmenbedingungen für die Kraft-Wärme-Kopplung insgesamt notwendig, damit die neue Technologie eine stabile Marktperspektive erhält.

PROJEKTORGANISATION

■ Förderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)
11019 Berlin

Projekträger Jülich (PTJ) des BMWA
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Hubert Höwener, Dr. Peter Malinowski
52425 Jülich

■ Förderkennzeichen

siehe unter Projektadressen

IMPRESSUM

■ ISSN

0937 – 8367

■ Herausgeber

Fachinformationszentrum Karlsruhe,
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische
Information mbH
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

■ Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig bei
vollständiger Quellenangabe und gegen
Zusendung eines Belegexemplares;
Nachdruck der Abbildungen nur mit
Zustimmung der jeweils Berechtigten.

■ Autor

Johannes Lang

BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienz-
technologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter
www.bine.info und per Newsletter zeigt
BINE, wie sich gute Forschungsideen in
der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für
Wirtschaft und Arbeit geförderter Infor-
mationsdienst.

Kontakt:

Fragen zu diesem **projektinfo**?
Wir helfen Ihnen weiter – wählen Sie
die BINE Experten-Hotline:

Tel. 0228 / 9 23 79-44

Allgemeine Fragen?

Wünschen Sie allgemeine Informationen
zum energie- und umweltgerechten Pla-
nen und Bauen? Dann wenden Sie sich
bitte an die unten stehende Adresse.



BINE

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe
Büro Bonn
Mechenstraße 57, 53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0
Fax: 0228 / 9 23 79-29

E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de
Internet: www.bine.info

► PROJEKTADRESSEN

- Initiative Brennstoffzelle
www.initiative-brennstoffzelle.de
- Eine ausführliche Liste der Projekt-
beteiligten sowie weitere Adressen
und Links von Akteuren und Infor-
mationsstellen finden Sie unter
www.bine.info in der Rubrik
Service/InfoPlus

Förderkennzeichen ausgewählter Projekte

- 0326875 A-C (Verbundprojekt:
Hausenergieversorgungsanlage)
- 0327141 B-G
(ZIP: Entwicklung und Feldtest)
- 0327142 A-E
(ZIP: Europäische Normung)
- 0327143 A-C
(ZIP: Heizenergiezentrale)
- 0327144
(ZIP: Systemintegration und Feldtest)
- 0327302 F (NEGEV: Modulares
stationäres System)

► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Literatur

- Krewitt, W.; Peht, M.; Fishedick, M. u.a.:
Brennstoffzellen in der Kraft-Wärme-Kopp-
lung. Ökobilanzen, Szenarien, Marktpoten-
ziale. Berlin : Schmidt, 2004. 355 S.,
ISBN 3-503-07870-3, 49,80 Euro
Beiträge zur Umweltgestaltung. Bd. A 156
- Heikrodt, K.; Britz, P.:
Erdgasbetriebene PEMFC-Hausenergie-
versorgungsanlage – innovativer Beitrag
zur Emissions- und Energiereduktion.
Düsseldorf : VDI-Verl., 2004. 130 S.,
ISBN 3-18-351606-3, 45,00 Euro
Fortschritt-Berichte VDI. Reihe 6
Energietechnik. Nr. 516
- Mitze, D.; Ramesohl, S.:
Erlöspotenzial stationärer Brennstoff-
zellen-Anlagen im Strommarkt.
In: ew - Elektrizitätswirtschaft,
Jg. 103 (2004) H. 12, S. 14-16