



Brennstoffzelle erzeugt Strom und Wärme fürs Haus

Feldtests belegen Standfestigkeit und Serienreife



Sie sind hocheffizient, emissionsarm und leise: Neue Brennstoffzellen-Heizgeräte erzeugen als Mini-KWK-Anlagen mit über 90 Prozent Wirkungsgrad Wärme und elektrische Energie. Sie sind durch umfangreiche Tests in Ein- und Zweifamilienhäusern erprobt, Funktion und Design wurden schrittweise verbessert. Erste Anlagen sind regulär auf dem Markt. Sie lassen sich mit Erdgas sowie mit aus erneuerbaren Energien oder Biomasse erzeugtem Wasserstoff und Methan betreiben. Brennstoffzellen können dezentral und bedarfsgerecht Strom erzeugen und entweder netz-entlastend oder netzunabhängig eingesetzt werden.

Forscher des Heizungsherstellers Vaillant entwickelten ein Heizgerät mit Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC) zur Serienreife. Zielvorgabe war ein kompaktes Gerät, das einfach zu installieren und zu betreiben ist. Dieses deckt mit einer elektrischen Leistung von 0,7 kW und einer Wärmeleistung von 1,3 kW den Grundbedarf eines Ein- bis Zweifamilienhauses. Für höheren Wärmebedarf ist ein Gas-Brennwert-Heizgerät integriert. Aufgabe der Entwickler war es, die Gesamtanlage kostengünstiger und einfacher herzustellen sowie Qualität und Haltbarkeit von Komponenten zu verbessern.

Sie verbesserten die Brennstoffzellen-Heizgeräte (BZH) schrittweise und testeten diese parallel dazu in Demonstrationsvorhaben wie dem Callux-Projekt (siehe Infobox). Die dort erfassten Informationen aus über 1 Mio. Betriebsstunden bei Endkunden nutzten sie für die Weiterentwicklung. Inzwischen ist die Technologiereife des SOFC Gerätekonzepts für die Mikro-KWK-Anwendung belegt. Im Laufe der Entwicklung gelang es, die Herstellungskosten zu halbieren. Mit der nun serienreifen Gerätegeneration erreichten die Forscher einen elektrischen Wirkungsgrad

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)



Funktionsweise und Leistung von BZH

Im Brennstoffzellen-Heizgerät wandelt ein Reformer Erdgas zunächst in ein wasserstoffreiches Gas. Dieses reagiert im Brennstoffzellen-Stack dann in einer elektrochemischen Reaktion mit dem Sauerstoff der Luft. Dabei entsteht Wasserdampf; verbleibendes Restgas wird im Nachbrenner verbrannt. BZH erzeugen mit sehr hohen Wirkungsgraden Gleichstrom und Wärme. Ein Wechselrichter wandelt den Gleichstrom in Wechselstrom, der im Haus genutzt werden kann. Wärmetauscher machen die Abwärme von Brennstoffzelle und Nachbrenner für die Heizung und Warmwasserbereitung verfügbar. So lassen sich, verglichen mit aktueller Brennwert-Technik, Energiekosten um etwa 25 % und klimaschädliche Emissionen um bis zu 50 % senken. Die dezentrale Erzeugung entlastet außerdem die elektrischen Verteilnetze.

Im Durchschnitt produziert eine BZH 3.500 kWh elektrische und 6.500 kWh thermische Energie pro Jahr. Wenn im Winter die von der Brennstoffzelle erzeugte Wärme nicht reicht, sorgt die Zusatzheizung für warme Temperaturen im Haus. Für eine hohe Lebensdauer werden BZH möglichst konstant, ohne viele Ein-Aus-Zyklen betrieben; bei geringem Wärmebedarf im Sommer pausieren sie.

der BZH von über 33 % sowie einen Gesamtwirkungsgrad bei Nennlast von mehr als 90 %. Der gegenüber den Vorgängermodellen (Abb. 1) höhere Gesamtwirkungsgrad ist durch die kompaktere Bauweise der neuen Hotbox zu erklären, die den Brennstoffzellenstack umschließt.

Entwicklung von der Vorserie zur ausgereiften Anlage

Für das serienreife Gerät mussten die verschiedenen Funktionen in einem Gehäuse untergebracht werden. Bei den ersten Geräten war der Platzbedarf für die Installation der Gesamtanlage durch den separaten Aufbau der Komponenten noch recht hoch. Bei der Weiterentwicklung setzten die Forscher soweit möglich auch Standardteile aus anderen Geräten der Firma ein, um Entwicklungsaufwand und Kosten gering zu halten. In einem ersten Entwicklungsschritt fassten die Entwickler Start- und Nachbrenner in einem Bauteil zusammen und integrierten alle Heißgaskomponenten einschließlich Stackmodul in einer Hotbox. Sie kombinierten die Abgasführung von Brennstoffzelle und Zusatzheizgerät. Andere Komponenten, wie den Heißgaswärmetauscher oder das Controller- und Sicherheitsboard, passten sie an die speziellen Anforderungen der Brennstoffzellen-Technik an. Für das Wärmeauskopplungsmodul (WAM) übernahmen die Entwickler Komponenten aus einer Gerätelinie des Herstellers. Die Integration des gesamten Heißgas-Teils in einem Unterdruck-Gehäuse ist ein wichtiger Beitrag zur Sicherheit der Anlage. „Wir konnten bei unserem Brennstoffzellen-Heizgerät ein sehr einfaches und zugleich ein sehr gutes Sicherheitskonzept verwirklichen“, sagt Jochen Paulus, Leiter Technologie-Entwicklung Brennstoffzelle bei Vaillant. „Da alle Anlagenkomponenten im Unterdruck arbeiten, reicht ein



Abb. 1 Designstudie der in CALLUX und ene.field eingesetzten Geräte mit Zusatzheizgerät, Wärmeauskopplungsmodul und Pufferspeicher

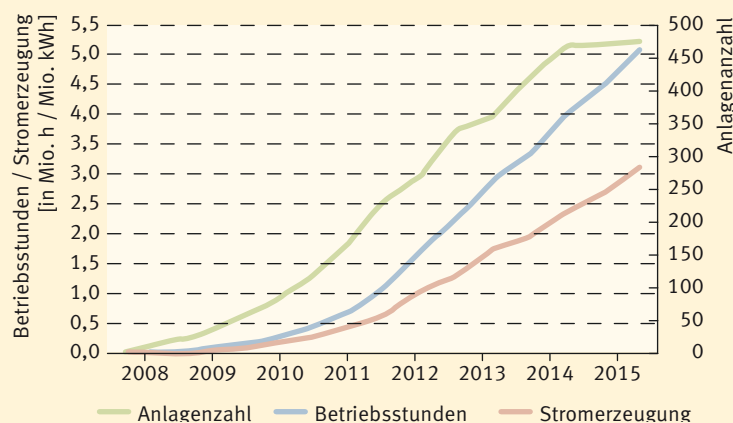


Abb. 2 Die Anlagen erreichen im Callux-Feldtest ihre technische Reife. In dem Vorhaben wurden knapp 500 BZH bei Endkunden installiert.

Abgasgebläse in Verbindung mit wenigen Temperatursensoren, wir brauchen keine weiteren Schutzmaßnahmen oder Sensoren.“ Systeme, die unter Druck arbeiten, müssen dagegen deutlich aufwendiger gegen den unerwünschten Austritt von Gasen gesichert werden.

Durch den reduzierten Systemaufbau und die Nutzung von Standardkomponenten sinken die Material- und Produktionskosten um über 60 %. Gegenüber dem Vorgängermodell halbieren sich Installationsaufwand und Aufstellfläche der Gesamtanlage.

Bewährte und neue Technik dicht gepackt

Das neue Modell vereint als bodenstehendes Kompaktgerät (Abb. 4) die gesamte Technik in einem Gehäuse. Darin sind neben dem eigentlichen Brennstoffzellen-Modul auch eine Brennwert-Einheit und das Hydraulik-Modul integriert. Lediglich der Pufferspeicher wird noch ergänzt. Als Basis nutzt die Firma eine Serien-Gasheizungsanlage. Unverändert bleibt das obere Modul mit Gas-Brennwertgerät. Die Brennstoffzelle und die zugehörigen Komponenten ersetzen den Speicher im unteren Bereich. Weiterhin finden Serienkomponenten aus Brennwertgeräten wie Abgaswärmetauscher, Gas- und Luft-Ventile zur Leistungsregelung sowie Hydraulikkomponenten (Pumpe, Ventile) Verwendung. Da der bisher genutzte Abgaswärmetauscher nicht zufriedenstellend funktionierte, wurde er durch einen Serien-Aluminium-Wärmetauscher für Brennwertgeräte bis 20 kW_{th} ersetzt. Das externe Wärmeauskopplungsmodul ersetzen die Entwickler durch eine integrierte pulsweitenmodulierte Pumpe. Sensorik und Aktorik



Elektrische Leistung	0,7 kW
Wärmeleistung	1,3 kW
Elektrischer Wirkungsgrad	33 %
Gesamtwirkungsgrad	93 %
Brennstoff	Erdgas
Maße	1640 x 599 x 693 mm
Gewicht	150 kg

Abb. 3 Technische Daten des Xell-Power BZH von Vaillant

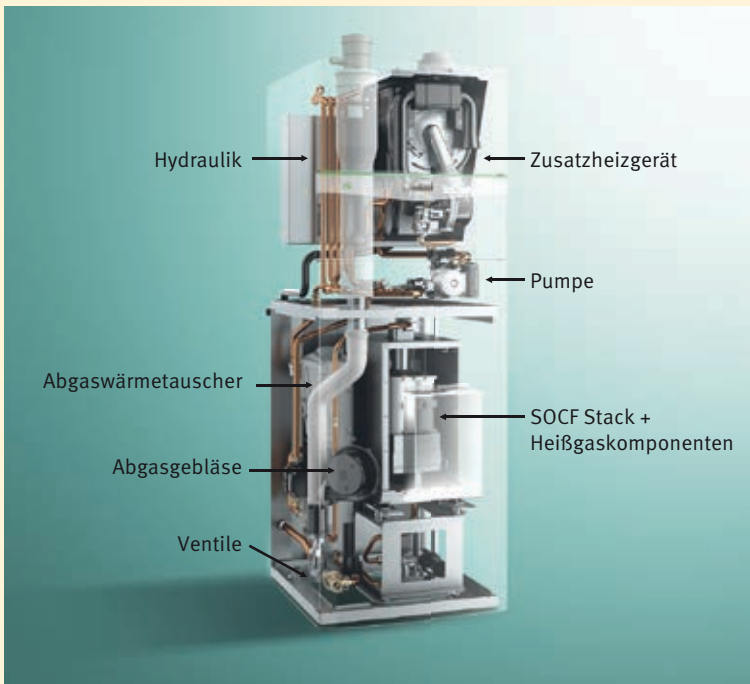


Abb. 4 Aufbau des aktuellen XellPower BZ-Heizgeräts: Unten sitzt das Brennstoffzellensystem mit Nebenaggregaten, oben das Gasbrennwert-Zusatzheizgerät.

wurden vereinfacht und ein neuer funktions- und kostenoptimierter Wechselrichter wurde entwickelt.

Verbesserung und Entwicklung von Systemkomponenten

Auf dem Weg zur Serienreife mussten die Forscher noch einige Komponenten verbessern bzw. entwickeln. Für das Stack konzentrierten sie sich auf die oxidkeramische Brennstoffzelle (SOFC) mit keramischem Festelektrolyt. Im Laufe der Erprobung untersuchten sie Brennstoffzellenstacks von Sunfire aus ferritischen Stahlplatten sowie vom Fraunhofer-Institut für Keramische Systeme und Technologien IKTS entwickelte Stacks, die auf pulvermetallurgisch hergestellten Bipolarplatten des österreichischen Lieferanten Plansee SE basieren. Die Untersuchungen zu Lebensdauer und Robustheit ergaben für beide Stacks gute Ergebnisse. Für die anstehende Serienfertigung setzen die Entwickler Stacks von Sunfire ein. Sie veränderten zur weiteren Optimierung u. a. auf Basis von Feldtesterfahrungen die Regelalgorithmen für das SOFC-Modul, um es schonender betreiben zu können.

Das Brennstoffzellen-Heizgerät benötigt einen kleineren Startbrenner zum Aufheizen des Systems bei Kalt- und Warmstarts, der zusammen mit einem verkleinerten Heißgaswärmetauscher und vereinfachter Wärmedämmung zu einer kompakten Bauweise geführt hat. Dadurch konnten Bauvolumen, Gewicht und Kosten gegenüber dem Vorgängermodell signifikant gesenkt werden.

Eine Entschwefelung verhindert, dass Schwefelverbindungen aus dem Erdgas Reformer oder Stack schädigen und dadurch die Performance des

Ergebnisse der Praxistests

Im Praxistest „Callux-Projekt“ wurden zwischen 2008 und 2015 knapp 500 Brennstoffzellen-Heizgeräte in Ein- und Zweifamilienhäusern installiert und erprobt. Das Projekt wurde von Partnern aus Energiewirtschaft und Heizgeräteindustrie getragen und von der Bundesregierung unterstützt. Die getesteten BZH erzeugten in insgesamt über fünf Millionen Betriebsstunden mehr als drei Millionen kWh elektrische Energie (Abb. 2). Seit Projektbeginn erreichten die Hersteller folgende Fortschritte:

- Geräteabmessungen und -gewicht halbiert
- Anbindung an die Haustechnik stark vereinfacht
- Wartungsbedarf verringert
- jährliche Betriebszeiten durch bedarfsgerechte Modulation gesteigert
- Stacklaufzeiten von ca. 10.000 h nachgewiesen
- Stack-Degradationsraten unter 0,2 % pro 1.000 h

Am europäischen Feldtest ene.field beteiligen sich in 12 EU-Staaten 26 Partner, davon 9 Gerätehersteller. Sie installieren und testen rund 1.000 Mikro-KWK-Anlagen in Wohngebäuden.

Vaillant hat im Praxistest Callux 124 Anlagen der verschiedenen Generationen installiert, bei ene.field bislang mehr als 140. Die über 250 Vorserien-Anlagen leisteten bisher 2,9 Mio. Gesamtbetriebsstunden. Über 50 Geräte haben bereits Betriebszeiten von 15.000 – 24.000 h erreicht.

Systems signifikant sinkt. Hierfür setzt die Firma eine Entschwefelungskartusche mit Schüttbett aus unterschiedlichen Adsorbentien ein. Diese Adsorbentkartusche entfernt bei 20 bis 70 °C restlos alle natürlichen und zur Odorierung zugesetzten Schwefelverbindungen aus dem Erdgas.

Um das Erdgas in ein wasserstoffreiches Brenngas umzuwandeln, setzt der Hersteller einen sogenannten CPOX-Reformer ein. Dieser nutzt die katalytische partielle Oxidation (CPOX). Er kommt ohne Wassermanagement aus und ist somit einfacher aufgebaut als die von Wettbewerbern zur Gasaufbereitung eingesetzten Dampf-reformer. Die Lebensdauer des Reformers steigt durch die bessere Integration von nachgewiesenen 20.000 auf erwartete 40.000 Stunden.

Verfügbare Anlagen und weiterer Entwicklungsbedarf

Die Initiative Brennstoffzelle präsentierte auf der Hannover Messe 2016 BZ-Heizgeräte der Hersteller Buderus, Elcore, Hexis, Senertec, Solidpower, Vaillant und Viessmann. Die vorgestellten Anlagen arbeiten entweder wärme- oder stromgeführt, je nach Energiebedarf als Voll- oder Zusatzheizung. In Japan werden nach einem Markteinführungsprogramm bereits mehr als 150.000 BZH betrieben.

Die deutschen Hersteller sehen eine wesentliche Herausforderung darin, mit dem Start der Serienfertigung die Herstellkosten zu senken. Ziel ist, die BZ-Lebensdauer deutlich über 20.000 Betriebsstunden hinaus in Richtung 60.000 Stunden zu verbessern. Die Preise für BZH-Systeme liegen aktuell im Bereich von 20.000 Euro.



Mobil mit Wasserstoff und Brennstoffzelle

Brennstoffzellen eignen sich nicht nur für den Heizungskeller: Inzwischen sind die ersten Serienfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb auf den Straßen unterwegs. Bereits länger auf dem Markt sind brennstoffzellenbetriebene Bordstromversorgungssysteme für Campingfahrzeuge oder Boote. Brennstoffzellenbetriebene Linienbusse bewähren sich im Testbetrieb. Während diese mit einer zentralen Wasserstofftankstelle auskommen, ist die Infrastruktur für normale Überlandfahrten noch viel zu dünn. Solange die Wasserstoffversorgung noch nicht gewährleistet ist, setzen die meisten Systeme auf Propan- oder Erdgas, Methanol und Diesel als Brennstoff. Doch auch im Mobilitätsbereich sollen erneuerbare Energien die bisher genutzten fossilen Energieträger ablösen. Wasserstoff, der mit Solar- oder Windstrom durch Elektrolyse erzeugt wird, macht eine nahezu emissionsfreie Mobilität möglich.

Als Automobilantrieb ist die Brennstoffzelle effizient: Sie erreicht einen Systemwirkungsgrad bis zu 65 %, dieser ist damit etwa doppelt so hoch wie der eines Verbrennungsmotors. Zuerst als Nebenaggregat zur Bordstromversorgung eingesetzt, wird die Brennstoffzelle auch für den Antrieb zu Lande, zu Wasser und in der Luft weiter interessant. In verschiedenen Forschungsvorhaben entwickeln und optimieren Wissenschaftler für mobile Anwendungen geeignete Brennstoffzellen-Systeme und -Komponenten. Diese müssen langlebig und leistungsstark, zugleich auch besonders leicht und kompakt, robust und vibrationstolerant sein; preiswert sowieso. In Flugzeugen soll ein Brennstoffzellensystem das komplette Hilfstriebwerk ersetzen. Während die Haupttriebwerke stillstehen, liefert es die Energie für die elektrischen Systeme und die Druckluftsysteme sowie die Klimaanlage an Bord. Auch ein brennstoffzellenbetriebenes Bugrad wurde erfolgreich erprobt; damit können Flugzeuge emissionsfrei und leise auf dem Flughafengelände rollen.

Auf und unter Wasser: Brennstoffzellen treiben Unterseebote an, sie eignen sich für die Bordstromversorgung sowie als Energiequelle für den Schiffsantrieb. Als Brennstoff kann Diesel, Erdgas, Methanol oder Wasserstoff eingesetzt werden. Innerhalb des Nationalen Innovationsprogramms NIP fördert die Bundesregierung durch Demonstrationsprojekte die Verbreitung der Technologie: Die Clean Energy Partnership will die Alltagstauglichkeit von Wasserstoff als Kraftstoff demonstrieren, E4Ships erforscht Brennstoffzellen für Schiffe und Fähren, das Bodensee-Projekt untersucht den Einsatz in Camping- und Freizeitfahrzeugen.

Projektbeteiligte

- » **Projektleitung:** Geräteentwicklung und -integration: Vaillant GmbH, Remscheid, Jochen Paulus, jochen.paulus@vaillant.de
- » **Stackentwicklung:** Sunfire GmbH, Dresden, www.sunfire.de
- » **Stackentwicklung:** Fraunhofer-Institut für Keramische Systeme und Technologien, Dresden, www.ikts.fraunhofer.de
- » **Interkonnektoren für Stacks:** Plansee SE, A-Reutte, www.plansee.com
- » **Wechselrichterentwicklung und -produktion:** LTI Motion GmbH, Lahnu, www.drives.lt-i.com

Links und Literatur

- » Initiative Brennstoffzelle, www.ibz-info.de
- » Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW), www.now-gmbh.de
- » Wasserstoff- und Brennstoffzellenprojekt Callux, www.callux.net

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Mit solarer Wärme kühlen. BINE-Themeninfo III/2016
- » Energiezentrale versorgt Universitätsklinik Gießen. BINE-Projektinfo 12/2015
- » Blockheizkraftwerke intelligent steuern. BINE-Projektinfo 08/2013
- » Emissionsarme Energieversorgung auf dem Rastplatz. BINE-Projektinfo 02/2013
- » Neue Wege in der Hausenergieversorgung. BINE-Projektinfo 05/2012
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info/Projektinfo_10_2016

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Impressum

Projektorganisation
Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie (BMWi)
11019 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Kirsten Buchholz
52425 Jülich

Förderkennzeichen
03ET6002

ISSN
0937-8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut
für Informationsinfrastruktur GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor
Gerhard Hirn

Urheberrecht
Titelbild, Abb. 1, 3 und 4: Vaillant
Abb. 2: Eon / Callux

Eine Verwendung von Text und
Abbildungen aus dieser Publikation ist
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion
gestattet. Sprechen Sie uns an.

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44
kontakt@bine.info

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197
53113 Bonn
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages