

Brennstoffzellen mittelfristig marktreif

H. Kabisch, Berlin

Brennstoffzellen liefern im Bereich der Versorgung mit Elektroenergie neue technische Lösungen. Dazu gehört vor allem die stationäre, dezentrale Energieversorgung, die bereits europaweit getestet wird.

1 Einstufige Energiewandlung mit hohem Wirkungsgrad

Brennstoffzellen (BZ) verkörpern eine innovative Technologie mit einem über Jahrzehnte reichenden Potential an Neuerungen. Ihre modulare Bauweise eröffnet nicht zuletzt die Möglichkeit, Strom und Wärme in weiten Leistungsbereichen verbraucherorientiert und damit effektiv zu erzeugen (Bilder 1 und 2). Kennzeichen ist die direkte Umwandlung von Primärenergie in elektrische Energie mit einem beispielhaft hohen Wirkungsgrad. Die Brennstoffzelle vereinfacht die weit verbreitete dreifache Energieumwandlung, d. h. die Umwandlung von in Brennstoffen chemisch gebundener Energie über Wärme und mechanische Energie in elektrische Energie. Sie erzeugt aus chemischer Energie, gespeichert in Wasserstoff (H_2), und mit Sauerstoff (O) flammenlos (d. h. auf dem Weg der katalytischen Verbrennung) in einer Stufe Strom, wobei Wasser (-dampf) H_2O entsteht [1], [2].

Die Elektroden einer Brennstoffzelle werden durch einen Elektrolyten getrennt, der die elektrisch geladenen Teilchen leitet. Der Typ der jeweiligen Brennstoffzelle ergibt sich aus dem verwendeten Elektrolyten:

- Alkalische Laugen (AFC),
- Phosphorsäure (PAFC),
- Polymermembranen (PEMFC),
- Karbonatschmelzen (MCFC),
- Oxydkeramiken (SOFC) oder
- Direkt Methanol Fuel Cell (DMFC), ein Sondertyp der PEM.

Die Brennstoffzelle ist die Umkehrung der klassischen Elektrolyse, wobei H_2 und O unter Vermittlung eines Elektrolyten zu H_2O reagieren. Die entstehende Wärme kann wie der Strom genutzt werden. Beides zusammen ist ein Kraft-Wärme-gekoppelter Prozess, vergleichbar mit einem Blockheizkraftwerk (BZ-BHKW). Kennzeichen dieser BZ-Systeme sind der hohe elektrische Wirkungsgrad auch im Teillastbetrieb, die äußerst geringen Schadstoffemissionen und die geringen Schallemissionen [2].

2 Vorversuche bis in den MW-Bereich

Die ersten praktisch nutzbaren Brennstoffzellen wurden in U-Booten und in der Raumfahrt eingesetzt. Sie kamen aus den USA, waren kaum bezahlbar und funktionieren nur mit superreinem H_2 und O. Dieser BZ-Typ AFC wurde vor wenigen Jahren auch in Köln gefertigt, bis die Produktion wenig später aus Kostengründen eingestellt werden musste. Erfolgreicher waren die Japaner mit ihrem Typ PAFC. Sie errichteten versuchsweise ein 11-MW-Kraftwerk und betrieben diesen auch heute noch größten Stromerzeuger auf BZ-Basis von 1991 bis 1997.

Darüber hinaus wurden in den letzten Jahren weltweit etwa 200 von der Fa. Onsi in USA gefertigte PAFC-BHKW in Containerbauweise im Dauerbetrieb getestet. Es handelte sich um die erste und einzige Brennstoffzelle, die kommerziell angeboten wurde. Da zwischenzeitlich die PAFC veraltete, wurde von wenigen Wochen die Fertigung dieses BHKW der 200-kW-Klasse eingestellt. 13 dieser Geräte wurden in den vergangenen Jahren in Deutschland erprobt. Getestet wurden die Anlagen in Energieversorgungsunternehmen, in Krankenhäusern (einschl. Adsorptions-Kältemaschine), mit Klärgas und auch zur Strom- und Wärmeversorgung von Wohngebäuden, wobei im letztgenannten Fall anstelle von Erdgas einmalig auch Klärgas erfolgreich getestet wurde [2]. Insgesamt waren die Tester mit den Geräten weitgehend zufrieden. Die zugesagten 40 000 Betriebsstunden wurden allerdings nicht immer erreicht, werden aber als realistisch eingeschätzt. Allmählich zunehmende Leistungseinbußen z. B. bei 15 000 Betriebsstunden um 4 %, hielten sich in passablen Grenzen. Kleine Lastwechsel bis 25 kW wurden innerhalb 8 Sekunden, größere von 200 kW innerhalb von 21 Sekunden bewältigt. Zu den negativ bewerteten Eigenschaften zählen die hohen Investitionskosten für das PAFC-BHKW und das Kaltstartverhalten, das bis zur ersten Stromlieferung fünf Stunden beträgt (Quelle: Strombasiswissen Nr. 131). Insgesamt bestätigten bereits diese Ergebnisse und die zwischenzeitlich intensivierte Forschung, dass die Brennstoffzelle durchaus über das erwartete hohe Entwicklungspotential verfügt, um die Energie Strom effektiver und umweltfreundlich zu erzeugen und zu nutzen [3].



1 Erste Variante eines 10-kW-BZ-Stapels

Er setzt sich aus 80 Schichten SOFC-BZ zusammen, von denen jeweils 16 in einer Ebene zusammengefasst wurden – ein Labormuster aus den ersten 90er Jahren für Betriebstemperaturen bis zu 1000 °C.

Quelle: Siemens



2 BZ-Stapel aus diesen Jahren für einen Leistungsbereich von 10 bis 1000 W vom Typ PEMFC für Betriebstemperaturen 20 bis 70 °C (optimal 45 - 60 °C)

Quelle: ZSW

3 Intensive Erprobung der Heizgeräte

Brennstoffzellen-Heizgerät. Der Einsatz moderner BZ-Technik in Heizgeräten ist die erste Bewährungsprobe von BZ-BHKW, die gebäudeintegriert installiert werden. Dabei deckt die Brennstoffzelle vor allem den Grundlastbedarf

Autor

Dipl.-Ing. Helmut Kabisch ist freier Fachjournalist in Berlin.

ab. Als komplettes „Brennstoffzellen-Heizgerät“ (BZH) sind sie Teil einer kompakten Baugruppe, in die eine weitere mit Brenngas versorgte Wärmequelle (und i. d. R. ein Gas-Brennwertgerät) integriert wird. Damit ist das BZH in der Lage, den gesamten Wärmebedarf abzudecken und netzgekoppelt Strom zu liefern. Bestandteil sind weiterhin ein Warmwasserspeicher und ein Energiemanager zur zentralen Steuerung und Regelung. Unverzichtbar ist selbstverständlich eine Einrichtung zur Reinigung des Brenngases und bei Brennstoffzellen, die mit niedrigen Temperaturen arbeiten, ein Reformer, in dem das Brenngas in gasförmigen H_2 umgewandelt (reformiert) wird. Wird eine Hochtemperaturzelle beispielsweise vom Typ SOFC eingesetzt, verlagert sich der Umwandlungsprozess in die Brennstoffzelle. Ein gesonderter Reformer entfällt.

BHZ-Pioniere. Unter den Entwicklern von BZH dominieren nach wie vor Fa. Vaillant und die Schweizer Fa. Sulzer Hexis. Erster setzt auf die Niedertemperatur-BZ PEMFC und orientiert mit einer elektrischen Leistung von 4,6 kWh sowie 7 kWh auf Mehrfamilienhäuser und kleinere Gewerbebetriebe. Sulzer Hexis hat eine SOFC-Hochtemperaturzelle entwickelt, die elektrisch 1 kW und thermisch 2,5 kW leistet. Sie ist wie die BZH von Vaillant ein Keller-

gerät, orientiert aber auf den Einsatz in Ein- und Zweifamilienhäusern.

Trotz mehrfacher Terminverschiebung sind beide Systeme nach eigener Einschätzung noch nicht marktreif.

Entwicklung bei Vaillant. Das Unternehmen der Heiztechnikbranche Vaillant begann 1997 mit einem 25-köpfigen Forschungs- und Entwicklungsteam. Ziel war die Produktionseinführung ab 2002 mit mehreren hundert Geräten und die Steigerung bis Ende des Jahrzehnts mit jährlich mehr als 100 000 Geräten. Bereits 1999 wurde der Ablauf das erste Mal korrigiert [4]: Testgeräte 2001, breiter Verkaufsstart 2003, verbunden mit der zeitgleichen Erschließung des USA- und des europäischen Marktes sowie kurzfristig sinkenden Kosten waren das Ziel. Beginnend mit dem Jahresanfang 2002 wurden die ersten drei Testgeräte in NRW installiert. Es folgte ein zweiter Feldversuch mit verbesserten „Euro 1-Geräten“. Wesentliche Fortschritte erreichte Vaillant zusammen mit seinem Entwicklungspartner Plug Power (USA) ab November vergangenen Jahres mit dem „Euro 2“. Der Test soll im März 2005 abgeschlossen werden. Die dann vorliegenden Ergebnisse entscheiden, ob erneut Verbesserungen notwendig werden und ein vierter Test folgt.

Entwicklung bei Sulzer Hexis. Auch die in Deutschland überaus aktive Fa. Sulzer Hexis ist weit weg von der Einhaltung ihrer ersten Terminablaufpläne. Die Entwicklung der Hochtemperaturzelle vom Typ SOFC ist ebenfalls Teil eines BZH und begann schon 1991. 10 Jahre später folgte das erste Vorseriengerät unter der Bezeichnung „HXS 100 Premiere“. Vorangegangen war lediglich der Test mit einzelnen Funktionsmustern. Im Ergebnis der bis zum Jahr 2003 laufenden Untersuchungen musste das Konzept erheblich verändert werden. Probleme bereiteten insbesondere die Abmessungen des BZH und die Lebensdauer der BZ. Während das Unternehmen noch 2002 den Produktionsstart für 2003 ankündigte, musste der Termin für ein „seriennahes Produkt“ 2003 erneut und nunmehr auf Ende 2005 geändert werden.

4 Hochtemperatur-BZ nicht nur für Erdgas

Auf absehbare Zeit sind die vorgestellten gebäudeintegrierten BZH auf das nur sehr begrenzt umweltfreundliche Erdgas angewiesen. Deshalb ist die Forschung bemüht, mit anderen Brenngasen und Treibstoffen die CO_2 -

Emissionen langfristig erheblich zu reduzieren (vgl. Biomasse in **ep** 04/04 und 05/04). Die besten Chancen haben dabei leistungsstärkere, gebäudenähe Hochtemperatur-BZ. Allerdings testet auch Sulzer Hexis mit dem erwähnten SOFC-System andere Brennstoffe wie Heiz- und Pflanzenöle sowie Flüssiggas. Längerfristig steht auch Biogas auf dem Prüfstand. Verbunden damit ist die Installation dieser Systeme im ländlichen Bereich.

5 Virtuelles Kraftwerk im Praxistest

Projekt DISPOWER. Der derzeit laufende Test unterscheidet sich von den bisherigen durch ein über Deutschland hinaus reichendes europäisches Versuchsfeld und die Beteiligung weiterer Partner aus Energieversorgung und Instituten. Ziel ist die Einbeziehung der Brennstoffzelle in neue dezentrale Energiestrukturen – ein Thema, an dem 37 europäische Partner im Rahmen des bis zum Jahre 2006 laufenden Projekts DISPOWER beteiligt sind. Dazu gehört u. a. die Aufgabe, die Stromerzeugung mehrerer Brennstoffzellen zu einem „virtuellen Kraftwerk“ zu bündeln. Grundlage ist ein neues Leit- und Kommunikationskonzept, das durch den Wandel des Energieversorgungssystems notwendig wird und bereits an anderer Stelle erprobt wurde [5]. Im vorliegenden Fall vernetzt dieses Dezentrale-Energiemanagement-System (DEMS) alle Brennstoffzellen mit einer zentralen Leitsteuerung. Voraussetzung ist eine standardisierte Schnittstelle am Wechselrichter der Brennstoffzellen. Damit kann das gesamte BZ-BHKW einschl. Reformer, Netzanbindung und/oder Wärmeauskopplung gesteuert, ge-

regelt und überwacht werden. Eine Einrichtung, die auch jede andere mit dem NS-Netz verbundene dezentrale Stromerzeugungsanlage zukünftig benötigt. Ende Januar waren bereits 30 Testobjekte an die Leitsteuerung angeschlossen.

BZ als Regelreserve. Von besonderer Bedeutung ist die Zielstellung, das virtuelle Kraftwerk der Zukunft als schnell zu aktivierende Regelreserve im Stromnetz zu nutzen. Sie ist ein unverzichtbares Element einer zuverlässigen und qualitätsgesicherten Stromversorgung. Wird das Ziel erreicht, können virtuelle Kraftwerke bei Lastspitzen zukünftig den zusätzlichen Strombedarf abdecken oder einen kurzzeitigen Ausfall von Stromerzeugern (beispielsweise bei Windstille Strom aus Windkraftanlagen) überbrücken. Dann kann zukünftig auf die Installation weiterer teurer Gaskraftwerke, die bisher die Regelreserve liefern, verzichtet werden. Andererseits eröffnet DEMS auch die Möglichkeit, in jeder Wohnung problemlos einen erheblich schwankenden Wärmebedarf zu bedienen.

6 Marktreif noch in diesem Jahrzehnt!?

Geht man von der immer noch gültigen Aussage der „Initiative BZ“ vom April aus, dann ist mit der Markteinführung der beiden Systeme „nicht vor Ende des Jahrzehnts zu rechnen“. Das gilt sicher auch für Mitbewerber wie Viessmann, Buderus und vielleicht sogar für den Ableger aus Kanada Ballard, deren BZ-Systeme ebenfalls auf eine elektrische Leistung bis knapp 5 kW ausgerichtet sind. Allerdings bedeutet die Markteinführung nicht die Einhaltung der technisch-ökonomischen

Zielgröße – nämlich ein vergleichbarer Preis zu einem konventionellen BHKW. Nicht umsonst steht die Höhe staatlicher Hilfen unter Kritik (höhere Bewertung der Stromerträge und Kredite mit Teilschuldenerlass beim Einsatz im Altbau).

Strom- und Wärme-Contracting. In diesem Zusammenhang denken die Energieunternehmen über neue Wege zur Finanzierung nach. Ausgangspunkt ist der Kauf der Brennstoffzelle bzw. BZH durch das Energieunternehmen und die Vorfinanzierung der ganzen Strom- und Wärmegewinnung. Dem interessierten Benutzer wird als Dienstleistung ein Strom- und Wärme-Contracting angeboten, bei dem das Unternehmen alle Leistungen einschl. Investition, Risiken, Betriebskosten usw. übernimmt.

Der Nutzer bezahlt diese Leistungen über einen Preis für die gelieferte Energie. Im Prinzip ist ein solches Verfahren ähnlich der bisherigen Stromlieferung. Auch hier zahlt der Kunde keine Betriebsmittel und entrichtet je nach verbrauchten kWh einen Festpreis.

Literatur

- [1] Initiative Brennstoffzelle (IBZ): Das ABC der Brennstoffzelle.
- [2] Sieberth, W. D.: 3. Brennstoffzellenkongress des VDEW: Entwicklung der Brennstoffzellen geht voraus. *Elektropraktiker* Berlin 57(2003)10, S. 738-741.
- [3] Kabisch, H.: Brennstoffzellen – der lange Weg vom Dauertest zur Marktreife. *Elektropraktiker* Berlin 54(2000)12, S. 1069-1070.
- [4] Kabisch, H.: Brennstoffzellen für Stromversorgung und Straßenfahrzeuge. *Elektropraktiker* Berlin 54(2000)01, S. 10-12.
- [5] Kabisch, H.: Verteilte Stromerzeugung mit neuer Netzstruktur. *Elektropraktiker* Berlin 56(2002)12, S. 996-1001.

H. Kabisch