Brennstoffzellen vor der Marktreife

H. Kabisch, Berlin

Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie befinden sich in einer entscheidenden Phase. Weltweite Anstrengungen in Forschung und Entwicklung sowie staatliche Förderprogramme dokumentieren die Erwartung, dass nicht zuletzt auch in Deutschland die Marktreife einer neuen klimafreundlichen Stromquelle in wenigen Jahren zu erreichen ist. Das gilt insbesondere für die stationäre Energieversorgung.

1 Energieerzeugung mit der Brennstoffzelle

Das Funktionsprinzip der Brennstoffzelle (BZ) wurde bereits 1839 durch den englischen Physiker Sir *William Grove* entdeckt. Es erwies sich aber als äußerst schwierig, den von ihm realisierten Laboraufbau mit einer Leistung von weniger als einem Watt zu einer leistungsfähigen Stromquelle weiter zu entwickeln. Deshalb wurde *Groves* Entdeckung fast ein Jahrhundert nicht weiter verfolgt und verstaubte in den Lehrbüchern der Physik.

Erst in den 1960er Jahren nutzte die Raumfahrt das BZ-Prinzip zur Stromversorgung der Apollo-Kapseln auf ihren Flügen zum Mond. Wenig später begannen in verschiedenen Industriestaaten Entwicklungen kostengünstiger BZ für den Langzeitbetrieb.

BZ und der Energieträger H_2 sind heute eine Zukunftstechnologie, die energieeffizient Strom und bei Bedarf auch Wärme liefert. Zeitgleich zur Lieferung von Elektroenergie entstehen dabei im kleinen Umfang wesentlich Wasser und Wärme als Reaktionsprodukte. Dieser Prozess ist steuerbar und verläuft ohne einen Umweg über Wärme, Mechanik und Generator wie bei einem thermischen Kraftwerk. Dagegen wandeln BZ über eine einzige elektrochemische Reaktion den Brennstoff direkt in Strom um. Da BZ keine Wärmekraftmaschinen sind, gilt für sie nicht die von der Physik erforschte Grenze für den elektrischen Wirkungsgrad. Deshalb kann nur die BZ einen elektrischen Wirkungsgrad von über 50 % erzielen.

In der Praxis erreichen BZ ab einer Leistung von etwa 100 kW diesen Wert. Hochtemperatur-BZ erzielen zusammen mit einer nachgeschalteten Mikrogasturbine 65 %. Weitere Vorteile sind bei Teillast zu erwarten (Bild ❶).

KWK-Technologie mit BZ. Im Interesse einer wirtschaftlichen effektiven Nutzung der BZ wird sie nicht anders als die große Anzahl von Motor-BHKW (Blockheizkraftwerken) nach dem Prinzip Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) betrieben (Bild ❷). Aufgaben sind dabei die Energieversorgung für Gebäudebereiche und für Industriegebiete bei voller Nutzung der eingesetzten Primärenergie. Das bedeutet, gleichzeitig ab einer Leistung von 1 kW vor allem BHKW mit Ottomotor zu ersetzen. Die Betreiber gehen davon aus, dass BZ-BHKW nach 2010 zum Einsatz kommen. Vorteile sind dabei die hohen elektrischen Wirkungsgrade sowie die Unterbindung elektrothermischer Reaktionen wie beispielsweise die Bildung von Stickoxyden.

2 Wasserstoff als Energieträger

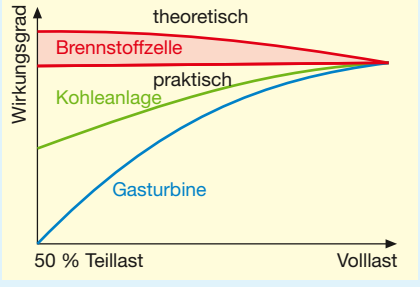
BZ erzeugen bekanntlich Strom aus Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (0_2). Dabei wird 0_2 aus der Umgebungsluft entnommen. H_2 ist aber ein chemisches Element, das in der Natur nicht ungebunden vorkommt. Um es in der BZ in einer elektrochemischen Reaktion in Strom umzuwandeln, benötigt man deshalb wasserstoffhaltige Energieträger. Sie können sowohl als Gas als auch verflüssigt genutzt und bei Bedarf auch gespeichert werden.

Gegenwärtig ist Erdgas die Nummer 1 unter den Wasserstofflieferanten. Um es zu nutzen, steht in Deutschland ein umfangreiches Erdgasnetz zur Verfügung. Erreichbar sind zahlreiche Gebäude und Industrieobjekte. Dort kann die BZ installiert und das Erdgas gereinigt werden. Das geschieht bei Hochtemperatur-BZ innerhalb ihres Gehäuses und bei Niedrigtemperatur-BZ innerhalb eines gesonderten Reformers. In beiden Fällen werden dort vor allem die chemischen Verbindungen gelöst und die Gehäuse gereinigt – also reformiert.

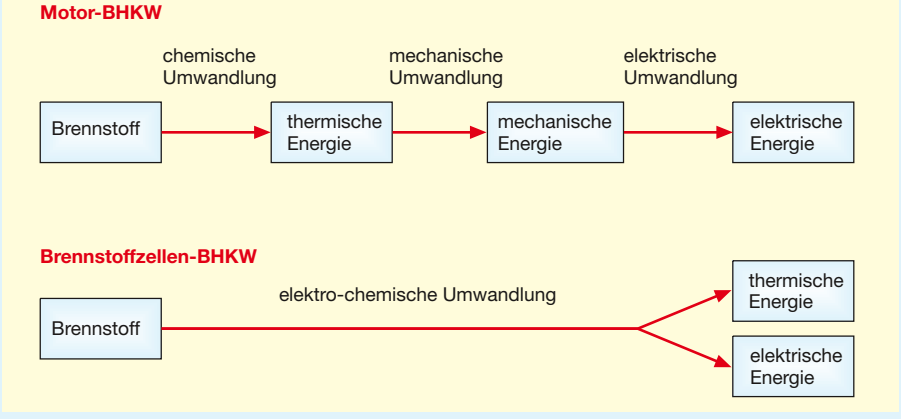
Hochtemperaturzellen besitzen eine interne Reformierung und sind deshalb auch für Methanol und Kohlenwasserstoffe geeignet. Dazu gehören Gase aus Reststoff-Vergasern, Biogas, Kohlegas, Deponie- und Klärgas. Geeignet sind selbst CO- und H_2-Synthesegase sowie Pyrolysegase aus thermischen Müll- oder Biomassevergasern.

Beispielsweise wurden bereits mehrfach Kläranlagen von Fremdstoffen gereinigt. Das dabei entstandene wasserstoffreiche Gas wird anschließend zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt. Schließlich besteht auch die Möglichkeit, Wasserstoff aus Biomasse oder durch Wasserelektrolyse – also durch Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff – herzustellen. Nicht auszuschließen ist auch, dass in der Perspektive Wasserstoff aus Sonnen- und Windenergie erzeugt wird.

Autor
Dipl.-Ing. *Helmut Kabisch* ist freier Fachjournalist, Berlin.



❶ **BZ weisen auch bei Teillast ein positives Verhalten auf. Anders als bei konventionellen Anlagen bleibt der Wirkungsgrad konstant. Hieraus resultieren Vorteile für Anlagen, die häufig im Teillast-Bereich eingesetzt werden.**
Quelle: Bewag



❷ **BZ-BHKW erzeugen im Vergleich zu konventionellen Motor-BHKW mehr Strom. Das gilt auch für den Teillast-Bereich.**
Quelle: Energieagentur NRW



❸ Blick in den Montagebereich der HotModule: Drei geöffnete Kessel, in denen das Brenngas reformiert wird und der aktive Teil der BZ Strom erzeugt.
Foto: MTU



❹ Komplettes, anschlussfertiges BZ-Heizgerät mit Kraft-Wärme-Kopplung ▶
Foto: europeanfuelcell

3 Kleine und größere BZ

In Deutschland begann vor etwa drei Jahrzehnten die Forschung auf dem Gebiet der BZ. Sie wurde von Anfang an von der Regierung finanziell gefördert. Erste Demonstrationsanlagen und Testobjekte entstanden mit Unterstützung der Industrie aus den USA und Kanada zu Beginn des Jahrzehnts. Dennoch ist es bisher nur begrenzt gelungen, für ein größeres Sortiment an Anlagen die volle Marktreife zu erhalten.

Die derzeit in Deutschland entwickelte leistungsfähigste BZ ist das HotModule (Bild ❸). Sie liefert etwa 245 kW elektrische und 180 kW thermische Leistung. Entwickelt hat diese BZ die MTU Solutions GmbH – heute bekannt unter dem Kürzel Tognum. Bereits 2003 wurde eine erste Kleinserie mit zehn BZ produziert, inzwischen sind mehr als 35 BZ gefertigt worden. Diese konnten sich bereits in Industriebetrieben, Kliniken oder Biogasanlagen bewähren. 2006 betrug die Lebensdauer erstmals mehr als 30000 Betriebsstunden.

Mittlerweile wurde weitgehend die Serienproduktion erreicht. Ursache für diesen Erfolg sind die ausgereifte Konstruktion und Bauart sowie die kostengünstige Realisierung.

Weniger erfolgreich sind bisher die Hersteller, die BZ für Haustechnik entwickeln. Dazu gehören BZ-Heizgeräte für Ein- und Mehrfamilienhäuser. Ende der 1980er Jahre startete die Bundesregierung diesbezüglich zielgerichtete Forschung. 2000 wurde dann mit der Entwicklung mehrerer BZ-Hausenergiezentralen begonnen. Ziel war zunächst der Abschluss der Feldtests bis 2005. Bereits ein Jahr davor war klar, dass dieser Termin nicht zu halten ist. Deshalb wurde beschlossen, dass die Marktreife im Zeitraum von 2008 bis 2010 liegen soll. Dieser Termin ist aus heutiger Sicht aber nur mit anfänglichen Fördermitteln realisierbar. Dabei ist in jedem Fall sicherzustellen, dass der Geräteeinsatz ohne CO_2-Emissionen erfolgt. Bild ❹ zeigt ein Heizgerät für Einfamilienhäuser, das etwa 75 % des Strombedarfs und 100 % des Wärmebedarfs (einschließlich eines im Gerät integrierten Zusatzbrenners für 3,5 bis 15 %) liefert.

4 Stromwirtschaft und BZ

Angesichts wachsender Klimaprobleme hat der Verband der Elektrizitätswirtschaft Ende Mai 2007 auf dem VDEW-Kongress u. a. auch sein Interesse an BZ angemeldet. Grund dafür ist eine kritische Analyse der heutigen Stromversorgung in Deutschland. Aus Sicht des VDEW-Präsidenten Dr. *Werner Brinker* sind unsere Kraftwerke und Netze noch nicht darauf ausgelegt, die notwendigen Anforderungen an ein effizientes Energiemanagement zu erfüllen. Seine Schlussfolgerung: „Wir müssen unseren Kraftwerkpark umbauen und die Effizienz der Kraftwerke steigern. Wir müssen deutlich mehr Geld in den Bau von erneuerbaren Energien (EE) investieren und unsere komplexen technischen Systeme mit mehr Intelligenz ausstatten.“

Ursache dieser Schlussfolgerung ist die zur Tagung vorgelegte Studie, die der VDEW gemeinsam mit mehreren Verbänden initiiert hatte. So entstand das „Energiewirtschaft-

liche Gesamtkonzept 2030“ – d. h. eine bis zum Jahr 2030 geltende Konzeption zur Stromversorgung in Deutschland. Erarbeitet wurde sie durch das Energiewirtschaftliche Institut an der Uni zu Köln und die Energy Environment Analysis GmbH in Münster.

5 Netzmanagement und Integration von BZ

Ein Schwerpunkt des Kongresses war die erste Bewertung der Studie unter dem Motto: „Wir brauchen Innovation – Heute und Morgen“. Dazu gehören Kraftwerksneubau und Netzausbau. Zur Realisierung, die spätestens bis 2020 abgeschlossen sein müsste, stehen 80 Mrd. Euro zur Verfügung. Erstes Ziel könnte offensichtlich die Modernisierung des Managements für das Verteilungsnetz sein. Dadurch werden im Endeffekt der Energieaufwand und gleichzeitig die CO_2-Emission reduziert.

Bei der Lösung der zuletzt genannten Aufgabe setzt der VDEW auch auf BZ – gegebenenfalls auch als virtuelles Kraftwerk. Gemeint sind BZ-Heizgeräte und KWK-BHKW, die Wärme und Strom liefern. Daneben gibt es aber auch kleine, dezentrale BZ-Anlagen, die den Betrieb der Stromnetze optimieren. Dazu müssen die BZ in ein Kommunikations- und Informationssystem mit einer Leitzentrale eingebunden werden. Die dezentralen BZ-Anlagen können dann als virtuelles Kraftwerk das Lastmanagement ergänzen und dazu beitragen, Täler und Spitzen des Stromverbrauchs zu glätten. Managementsysteme zur Integration von Strom aus EE könnten diese Anwendung der BZ ergänzen.

Allerdings sind diese Anwendungen der BZ für die Energiewirtschaft nicht völlig neu. Bereits vor drei Jahrzehnten begann der Energiekonzern E.ON mit BZ-Tests. Nach eigenem Bekunden wurden dabei die unterschiedlichsten BZ-Typen für die verschiedensten Anwendungen getestet. Die Investitionen in 18 Projekte beliefen sich auf über 100 Mio. Euro. 40 % der Gesamtkosten übernahm E.ON. Im Ergebnis dieser Forschungsarbeiten „konnten ähnliche Ergebnisse bereits als zuverlässige Nischenprodukte eingeführt werden“. Gleiches wurde an anderer Stelle bereits von RWE berichtet.

Literatur

[1] Bundesministerium für Wirtschaft: Strategiepapier zum Forschungsbedarf in der Wasserstoff-Energietechnologie.
[2] DWV: H_2 und BZ-Bericht anlässlich seiner Jahreskonferenz am 22.02.2007.
[3] DWV: H_2 der neue Energieträger.
[4] Energieagentur NRW: BZ-Entwicklungsstand.
[5] Forschungsverbund Sonnenenergie (FVS): Jahresbericht 2004 zum Thema BZ und H_2 (Tagungsband).
[6] *Kabisch, H.*: BZ für die stationäre Versorgung. Elektropraktiker, Berlin: Sonderheft „Erneuerbare Energien“ (2006), S. 64–68.

Schutz ortsveränderlicher Betriebsmittel unter Tage

L. Armbrust, Zielitz; *H.-J. Feigl,* Grünberg (Hess.); *W. Schumann,* Chemnitz

Die ungenügenden Ergebnisse des untertägigen Betriebs mit der normativ empfohlenen elektrischen Schutzeinrichtung erforderten die Suche nach neuen technischen Lösungen. Grundlegende Messungen zur Fehlerstromverteilung zeigen Lösungsansätze. Eine geeignete Messtechnik (RCM) steht zur Verfügung. Ein aktives Messverfahren erfüllt praxisrelevante Forderungen.

1 Elektrische Sicherheit im Bergbau unter Tage

Elektrische Netze unter Tage werden überwiegend als IT-System mit Isolationsüberwachung mit Warnung/Abschaltung betrieben (Bild ❶). Die Anwendung des IT-Systems sichert, unter den besonderen Bedingungen im untertägigen Bergbau, kleine Berührungsströme, geringe Explosions- und Brandgefahr, kontinuierliche Isolationsüberwachung, hohe Zuverlässig- und Verfügbarkeit, Nichtabschaltung im einpoligen Fehlerfall und damit letztendlich eine stabile Versorgung. In [1] und [2] sind normative Festlegungen und Vorgaben für IT-Systeme aufgeführt, die in [3] für das Betreiben weitestgehend geregelt sind. Die Physik des IT-Systems, sein Wirkprinzip, moderne Verfahren der Isolationsüberwachung, Methoden einer selektiven Fehlererfassung, Hinweise für Planer, Errichter und Betreiben, Wahl der Ansprechwerte u. a. werden in [4] und [5] umfassend dargelegt und sind ein wertvoller Fundus für alle Anwender ungeerdeter Systeme.

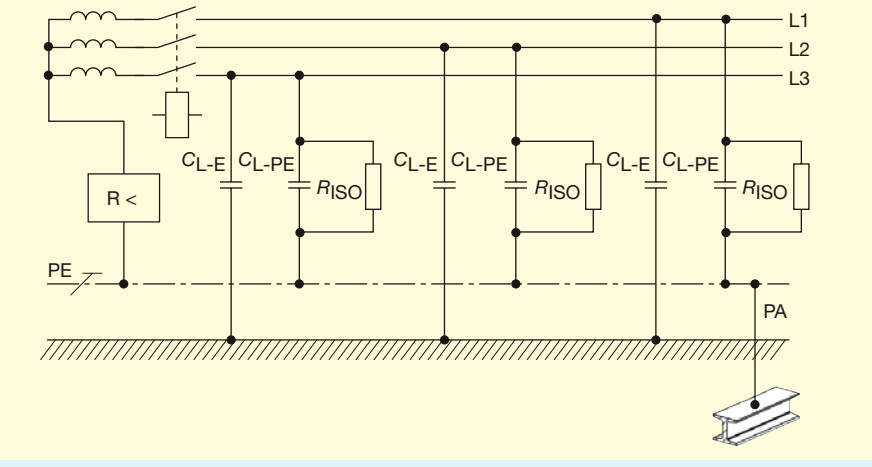
Autoren

Dipl.-Ing. *Lothar Armbrust* ist Leiter der Abteilung Elektrotechnik unter Tage in der Firma K+S Kali, Zielitz; Dipl.-Ing. *Hans-Joachim Feigl* ist Vertriebsleiter Inland der Firma Dipl.-Ing. W. Bender, Grünberg (Hessen); Dipl.-Ing. *Werner Schumann* betreibt ein Ingenieurbüro, Chemnitz.

2 Grundlagen und Normen

Die besonderen Sicherheitsanforderungen im Bergbau bedingen, dass spezielle Sicherheitsbestimmungen, Betriebsvorschriften und Arbeitsschutzbestimmungen erlassen werden müssen und einzuhalten sind. Das betrifft im Übrigen auch bestimmte andere Räume, Bereiche und Industriezweige, die durch Sonderbestimmungen reguliert sind.

Die besondere Problemstellung des Personen- und Anlagenschutzes erfordert Regelungen und Festlegungen, die über das „normale“ Maß hinausgehen. Das betrifft im Besonderen Kabel und Leitungen und die zugehörigen elektrischen Schutzeinrichtungen. Die einschlägigen Normen werden durch zusätzliche Verordnungen präzisiert und von den zuständigen und aufsichtsführenden Bergämtern, unter anderem auch für schutztechnische Einrichtungen, sinnvoll ergänzt.



❶ **Prinzipschaltbild eines IT-Systems**
C_{L-E} Leiter-Erde-Kapazität; C_{L-PE} Leiter-Schutzleiter-Kapazität; R_{ISO} Isolationswiderstand