



Stationäre Brennstoffzellen-Anwendung

Erdgas umweltfreundlicher nutzen



**ZUKUNFT
ALTBAU**

GEFÖRDERT DURCH:



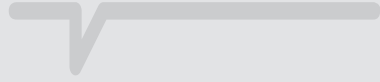
Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT



1	Wasserstoff und Brennstoffzellen: Energieträger und -wandler	05
2	Stationäre Brennstoffzellen: Technologien	07
3	Einsatzbereiche für stationäre Brennstoffzellen	12
	3.1 Hausenergieversorgung mit Brennstoffzellen	16
	3.2 Notstromversorgung und unterbrechungsfreie Stromversorgung mit Brennstoffzellen	17
	3.3 Stationäre Anlagen für Industrie und Gewerbe	19
	3.4 Einsatz von Rein-Wasserstoff in stationären Brennstoffzellenanwendungen	16
4	Marktvorbereitung	23
	4.1 Demonstrationsprojekte	23
	4.2 Förderung von KWK-Anlagen	26
5	Unternehmen und Entwicklungsschwerpunkte	28
6	Potenzial und Ausblick	39
7	Anhang	42
	7.1 Abkürzungen	42
	7.2 Ergänzende Publikationen	43
	7.3 Häufig gestellte Fragen	44
	7.4 Broschürenreihe	46
	Impressum	47

Vorwort



Fossile Energieträger sollten so effizient wie möglich genutzt werden, das ist nichts Neues. Das bedeutet, dass Erdgas nicht einfach nur verbrannt sondern möglichst auch zur Stromerzeugung genutzt werden sollte. Blockheizkraftwerke mit Verbrennungsmotoren sind seit langem bewährt, vor allem aber in größeren Einheiten wirtschaftlich. Gerade bei kleineren Objekten kann dagegen die Brennstoffzelle eine interessante Option sein. Ohne bewegte Teile ist sie hocheffizient, schadstoffarm und kann elektrische Wirkungsgrade von bis zu 60 % erreichen. Damit sind CO₂-Einsparung gegenüber der getrennten Strom- und Wärmeerzeugung von bis zu 40 % möglich. Inzwischen bieten einige Hersteller zuverlässig Produkte an, die nicht mehr Platz benötigen als zwei Kühlschränke.

Noch sind Investitionskosten hoch, aber die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) bietet derzeit hohe Zuschüsse. Je nachdem welcher Anteil des Stroms im Gebäude selbst genutzt werden kann, rechnet sich die Investition teilweise schon in sieben Jahren. Gerade für Gebäude mit hoher Strom-Grundlast ist eine Brennstoffzelle heute schon sehr interessant.

Wollen Sie nicht auch mal prüfen lassen, ob sich eine Brennstoffzelle für Sie lohnt?



Dr.-Ing. Volker Kienzlen
Geschäftsführer KEA Klimaschutz-
und Energieagentur
Baden-Württemberg GmbH



25

Prozent ist der Wert, auf den die Bundesregierung den Anteil der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung bis 2020 steigern will

©Bild: Lopolo/shutterstock.com



i Heute verursachen die Erzeugung und Bereitstellung von Strom und Wärme (ohne Prozesswärme) ca. 65 Prozent der energiebedingten Emissionen.

1

Wasserstoff und Brennstoffzellen: Energieträger und Wandler

Orientiert an den energie- und klimapolitischen Zielsetzungen der Bundesregierung, u. a. einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 80 – 95 Prozent bis zum Jahr 2050 (Basisjahr 1990), strebt die Landesregierung Baden-Württemberg bis 2050 eine CO₂-Minderung um 90 % an.

Zentrales Instrument zum Klimaschutz in Baden-Württemberg ist das Integrierte Energie- und Klimaschutzkonzept (IEKK), das landesweite Ziele zur Treibhausgasminderung festlegt. Eine wichtige Rolle hierbei spielt die weitere Steigerung der Energieeffizienz, vor allem bei der Strom- und Wärmeerzeugung. Heute verursachen die Erzeugung und Bereitstellung von Strom und Wärme (ohne Prozesswärme) ca. 65 Prozent der energiebedingten Emissionen. Mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) lässt sich der Gesamtwirkungsgrad der Stromerzeugung steigern, da auch die Abwärme des Kraftwerkes genutzt wird. Die Bundesregierung plant, den Anteil der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung von ungefähr 15 Prozent im Jahr 2010 auf mindestens 25 Prozent bis zum Jahr 2020 zu steigern.

Kleine KWK-Anlagen besitzen ein großes Potenzial zur Effizienzsteigerung in Ein- und Mehrfamilienhäusern. Kleine Blockheizkraftwerke (BHKW) können beispielsweise in Wohngebäuden direkt Strom und Wärme erzeugen und somit insbesondere alte konventionelle Heizkessel ersetzen und den benötigten Strombezug aus dem Netz reduzieren.

Brennstoffzellen (BZ) sind elektrochemische Energiewandler, die Wasserstoff, Erdgas, Biogas, Flüssiggas oder andere flüssige Kraftstoffe direkt in Strom und Wärme umwandeln. Sie sind jedoch kein Energiespeicher, wie etwa eine Batterie, sondern benötigen eine externe Brennstoffversorgung (z. B. aus einem Brennstofftank oder einer angeschlossenen Gasleitung). Brennstoffzellen werden heute für mobile, stationäre oder portable Anwendungen entwickelt und können vielfältig in unterschiedlichen Märkten eingesetzt werden.

Für die Zukunft wird ein stark wachsender Markt für Brennstoffzellenheizungen prognostiziert: Laut dem Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA) wurden im Jahr 2014 für kommerziell verfügbare Brennstoffzellen-Heizgeräte Umsätze in Höhe von 70 Millionen Euro erzielt. Für das Jahr 2020 erwarten die Hersteller einen Umsatz von 1,8 Milliarden Euro [VDMA 2015].



Mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) lässt sich der Gesamtwirkungsgrad von Kraftwerken steigern, da auch die Abwärme des Kraftwerkes genutzt wird.

In seiner Umsatzprognose geht der VDMA für das Jahr 2020 von einem Anstieg auf 2 Milliarden Euro in Deutschland aus. Optimistische Annahmen schätzen den globalen Markt für stationäre Brennstoffzellen auf bis zu 50 GW in 2020 [Pike 2013].

Langfristig werden fossile Brennstoffe ersetzt, um sowohl der Klimaerwärmung entgegenzuwirken als auch der zunehmenden Knappheit und den damit steigenden Preisen zu begegnen. Der Zubau erneuerbarer Energien und die Erzeugung von Wasserstoff, der Strom aus erneuerbaren Quellen in großen Mengen speichern und für eine breite Palette von Anwendungen wieder zur Verfügung stellen kann, sind wichtige Elemente einer zukünftigen sicheren und nachhaltigen Energieversorgung. So kann Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen sowohl als Kraftstoff für den Verkehrssektor wie auch als Zumischung oder Ersatz von Erdgas die Verbrennung fossiler Kohlenwasserstoffe (Öl, Erdgas, Kohle) reduzieren bzw. vermeiden. Insbesondere in Brennstoffzellen wird Wasserstoff sehr effizient in Strom und Wärme umgewandelt. Die Bundesregierung unterstützt die Weiterentwicklung und Einführung der Brennstoffzellentechnologien durch gezielte Förderung im Rahmen des von den Bundesministerien für Verkehr und digitale

Infrastruktur (BMVI), Wirtschaft und Energie (BMWi), Bildung und Forschung (BMBF) sowie Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) gemeinsam formulierten »Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie« (NIP). Ergänzt werden die Aktivitäten des NIP auf Länderebene. Zusätzlich hat die Europäische Kommission und die Industrie über das gemeinsam getragene »Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)« fast eine Milliarde Euro im Zeitraum 2008–2013 des vergangenen Rahmenprogramms FP7 bereitgestellt, um die Marktfähigkeit von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien zu unterstützen. Im Nachfolgeprogramm FCH2JU unter Horizon 2020 (2014–2020) wollen Industrie und Europäische Kommission gemeinsam weitere 1,33 Milliarden Euro investieren.



Effizienzsteigerung durch Kraft-Wärme-Kopplung

Bei der konventionellen Stromerzeugung und -bereitstellung werden 35 bis 60 Prozent der im Brennstoff gespeicherten Energie als abgegebene elektrische Energie zur Verfügung gestellt. Anfallende Wärmeenergie (>40 Prozent) bleibt bei der konventionellen Stromerzeugung in Kraftwerken standardmäßig ungenutzt. Die kombinierte Erzeugung und Nutzung von Strom und Wärme bietet die Möglichkeit einer deutlichen Effizienzerhöhung. Blockheizkraftwerke (BHKW) erreichen dabei Gesamtwirkungsgrade von über 90 Prozent.



Optimistische Annahmen schätzen den globalen Markt für stationäre Brennstoffzellen auf bis zu 50 GW im Jahre 2020.

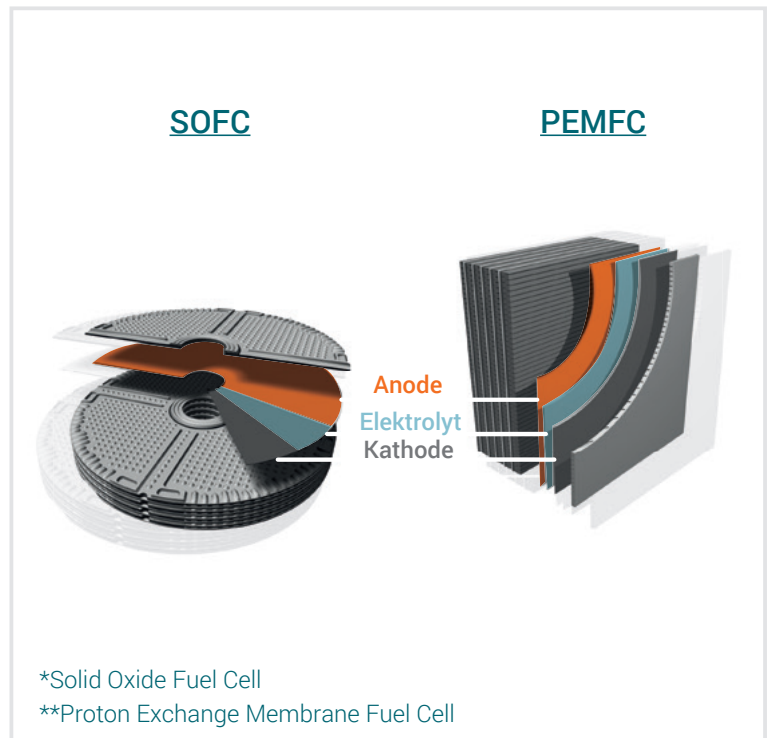
2 Stationäre Brennstoffzellen: Technologien

Brennstoffzellen (BZ) sind hocheffiziente Energiewandler, die Wasserstoff (H₂) oder Kohlenwasserstoffe direkt in Strom und Wärme umwandeln. Im Gegensatz zur konventionellen Stromerzeugung, die dafür einen Umweg über die Kraftstoffverbrennung und Umwandlung in Bewegungsenergie erfordert (z. B. mittels Verbrennungsmotor oder Gasturbine), wird die im Brennstoff gespeicherte Energie mithilfe einer BZ elektrochemisch direkt in Gleichstrom umgewandelt (siehe Abbildung unten).

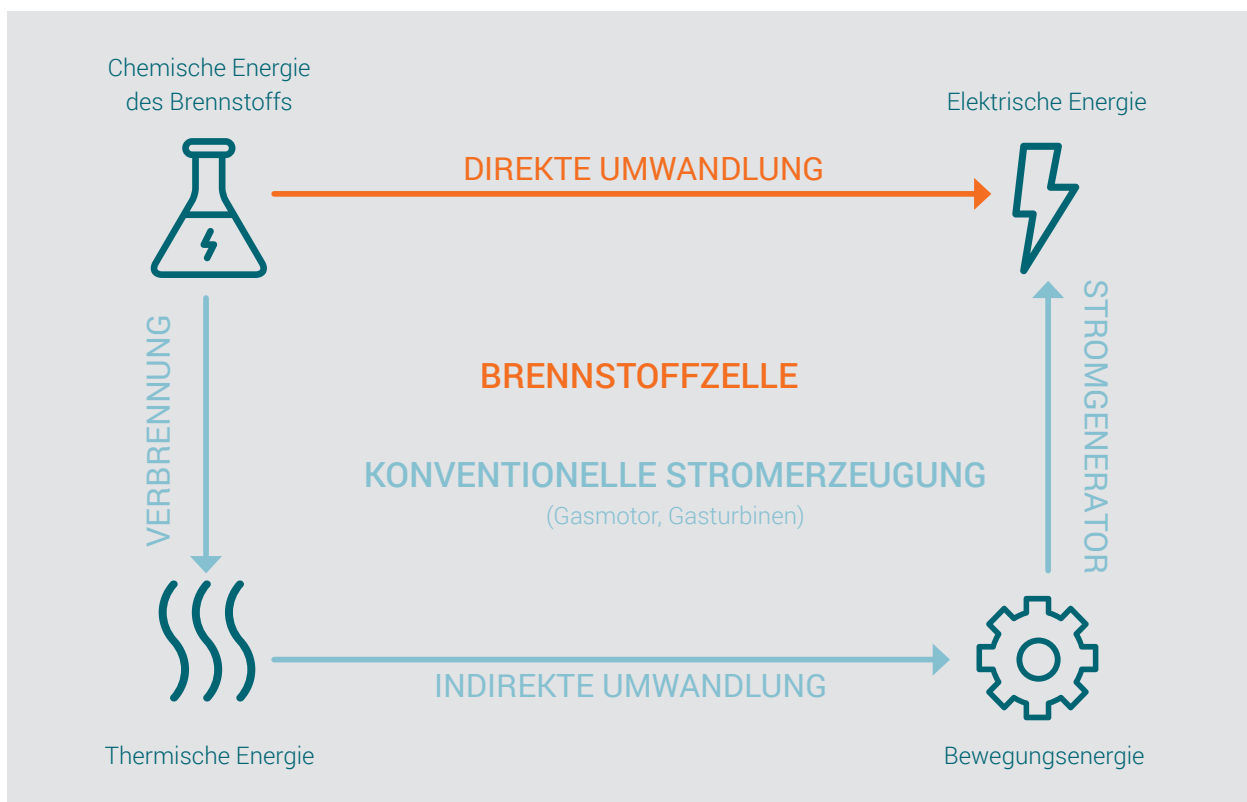
Ähnlich wie bei einer Batterie besteht das Kernstück einer Brennstoffzelle aus zwei Elektroden (Anode und Kathode), die von einem Elektrolyt getrennt werden. Im Gegensatz zur Batterie wird bei der Brennstoffzelle jedoch der Brennstoff kontinuierlich zugeführt, d.h. die Elektrolyten werden kontinuierlich versorgt. Mehrere dieser Elektroden-Elektrolyt-Einheiten zusammenschaltet bzw. »gestapelt«, ergeben einen Brennstoffzellen-Stack (englisch: Stack = Stapel) (siehe Abbildung unten).

Aufbau zweier Brennstoffzellen

Heizgerätehersteller setzen auf SOFC* und PEMFC**



Energieumwandlung - Stromerzeugung



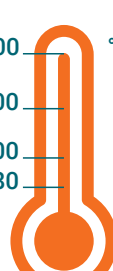


Grundsätzlicher Aufbau einer Brennstoffzelle

Je nach Betriebstemperatur und Elektrolyt werden unterschiedliche Brennstoffzellen-Typen unterschieden. Grundsätzlich erhöht sich die Toleranz gegenüber Verunreinigungen wie Kohlendioxid (CO₂) oder Kohlenmonoxid (CO) je höher die Betriebstemperatur ist. Dafür stei-

gen die Ansprüche an Material und System (Beständigkeit, Temperaturregulierung, Lastwechselverhalten, Systemkomplexität usw.). Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die verwendeten BZ-Typen, die anschließend detailliert erläutert werden.

Brennstoffzellen -Typen

Abkürzung	Deutsche Bedeutung	Typisch zugeführter Brennstoff	Typische Betriebs-temperatur
AFC	Alkalische Brennstoffzelle	Wasserstoff	 ~80°C
NT-PEMFC	Niedertemperatur Polymer-Membran-Brennstoffzelle oder Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle	Wasserstoff Erdgas-Reformat	
DMFC	Direkt-Methanol-Brennstoffzelle	Wasser-Methanol-Gemisch	
PAFC	Phosphorsaure Brennstoffzelle	Erdgas-Reformat	 ~120-200°C
HT-PEMFC	Hochtemperatur* Polymer-Membran-Brennstoffzelle oder Protonenaustausch-Membran-Brennstoffzelle	Wasserstoff Methanol-Gemisch Erdgas-Reformat	
MCFC	Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle	Erdgas	 ~600-1.000°C
SOFC	Festoxid-Brennstoffzelle	Erdgas	

* Im Falle der PEM-Brennstoffzelle spricht man bei einer Betriebstemperatur über ~120 °C von einer „Hochtemperatur“-PEM BZ, auch wenn die Betriebstemperatur maximal 200 °C beträgt. Im Vergleich zu anderen BZ, wie einer MCFC oder SOFC mit Betriebstemperaturen bis zu 600–1.000 °C, müsste man genau genommen von einem »Mitteltemperaturbereich« sprechen. Diese Bezeichnung wird jedoch gewöhnlich nicht verwendet.

PEMFC

Polymer-Membran-Brennstoffzelle

Während Unternehmen wie z. B. BAXI Innotech schon seit vielen Jahren NT-PEM-Brennstoffzellensysteme für die Hausenergieversorgung entwickeln und bereits über umfangreiche Erfahrungen im Praxistest bei Privatkunden verfügen, werden erste erdgasversorgte NT-PEM-Brennstoffzellensysteme von Viessmann (Vitovalor 300-P) und HT-PEM-Brennstoffzellensysteme von Elcore (Elcore2400) kommerziell zum Verkauf angeboten. Für die unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) bzw. Notstromversorgung arbeiten Unternehmen an mit Wasserstoff oder Methanol versorgten PEM BZ-Systemen in der Leistungsklasse bis 10 kW_{el}. Anbieter sind z. B. Acta Power, Ballard/Dantherm, Heliocentris oder Horizon Fuel Cells.

AFC

Alkalische Brennstoffzelle

Nur wenige Hersteller entwickeln heute AFC-Systeme. Die britische AFC Energy plc ist ein etablierter Entwickler von AFC-Systemen für industrielle Anwendungen zur Strom- und Wärmeerzeugung. Diese Systeme arbeiten bei einer Betriebstemperatur von ~70 °C. In Zusammenarbeit mit Chemieunternehmen werden stationäre AFC-Systeme in Europa entwickelt. Aktuelle Feldtests laufen z. B. in Bitterfeld bei AkzoNobel oder im Rahmen des EU-Förderprojektes POWER-UP in Stade.

PAFC

Phosphorsaure Brennstoffzelle

Einer der bekanntesten Anbieter kommerzieller PAFC-Systeme ist Doosan Fuel Cells America, (ehemals UTC Power) aus Hartford, Connecticut, USA. Das Unternehmen hat bereits mehrere Hundert stationäre PAFC-Systeme ausgeliefert. Mit dem 400 kW_{el}-BZ-System »PureCell« bietet Doosan ein kommerziell erhältliches BZ-System für stationäre Industrie- und Gewerbeanwendungen an. Ein weiterer wichtiger Entwickler von PAFC-Systemen ist Fuji Electric, der in Kooperation mit der deutschen N2telligence GmbH PAFC-Systeme für Gewerbe und Industriekunden anbietet. Die N2telligence BZ-Anlage bietet durch eine Nutzung der sauerstoffarmen Kathodenluft der BZ zusätzlichen Brandschutz in geschützten Bereichen wie Rechenzentren (z. B. im Frankfurter Rechenzentrum der Firma Equinix), Archiven, Gefahrstofflagern, Telekommunikationsanlagen, Tresorräumen oder Museen.

* Behördenfahrzeuge haben häufig lange Standzeiten und müssen elektrische Verbraucher im Stillstand mit Strom versorgen. Das Anlassen des Motors zur Batterieaufladung sollte vermieden werden, um die Flexibilität der Einsatzfahrzeuge zu erhöhen und z.B. bei verdeckten Ermittlungen keine Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Dabei muss die Stromquelle in einen PKW passen und sollte wenig bis keinerlei Signatur erzeugen. All dies leistet eine Brennstoffzelle.

MCFC

Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle

Einer der bedeutendsten Anbieter von stationären MCFC-Systemen (0,3 bis 3 MW_e) ist Fuel Cell Energy, Danbury, Connecticut, USA. In Deutschland produziert das Tochterunternehmen Fuel Cell Energy Solution GmbH mit Sitz in Dresden am Standort Ottobrunn bei München. Ein weiterer Hersteller von MCFC-Anlagen ist Ansaldo Fuel Cells, Teil des Finmeccanica-Konzerns in Italien.

DMFC

Direkt-Methanol-Brennstoffzelle

Wichtigster Anbieter für Direkt-Methanol-Brennstoffzellen ist SFC Energy AG (SFC; ehemals Smart Fuel Cells), das unter dem Namen »EFOY« kommerzielle Systeme für den Campingbereich anbietet. Daneben entwickelt SFC ein methanolbetriebenes DMFC-System für die Notstromversorgung. Auch für die Bordstromversorgung für Behördenfahrzeuge* liefert SFC DMFC-Systeme.

SOFC

Festoxid-Brennstoffzelle

Heute entwickeln Hersteller verstärkt an SOFC-Systemen. Für die Hausenergieversorgung sind dies z. B. Bosch Thermotechnik / Aisin Seiki, SOL-ID-power (vereint die früheren Anbieter Ceramic Fuel Cells und SOFCpower), Ceres Power, Vaillant / Sunfire und Viessmann / HEXIS. Zu den Unternehmen, die an größeren Anlagen zur Versorgung von gewerblichen und industriellen Anwendungen (Erdgas, ~20–200 kW_e) arbeiten, gehören z. B. Bloom Energy, Convion Oy und Fuel Cell Energy.



Baden Württemberg informiert über das Cluster Brennstoffzelle

Weiterführende Informationen und aktuelle Studien
zu Wasserstoff und Brennstoffzellen zum
Herunterladen über:

 e-mobilbw.de/de/service/publikationen.html



3 Einsatzbereiche für Stationäre Brennstoffzellen

Im Folgenden werden die Anwendungsfelder der Hausenergieversorgung zur Strom- und Wärmeerzeugung, der Notstromversorgung bzw. unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) und der industriellen Stromversorgung vorgestellt sowie die Nutzung reinen Wasserstoffs zum Betrieb stationärer Brennstoffzellen erläutert.

3.1 Hausenergieversorgung mit Brennstoffzellen

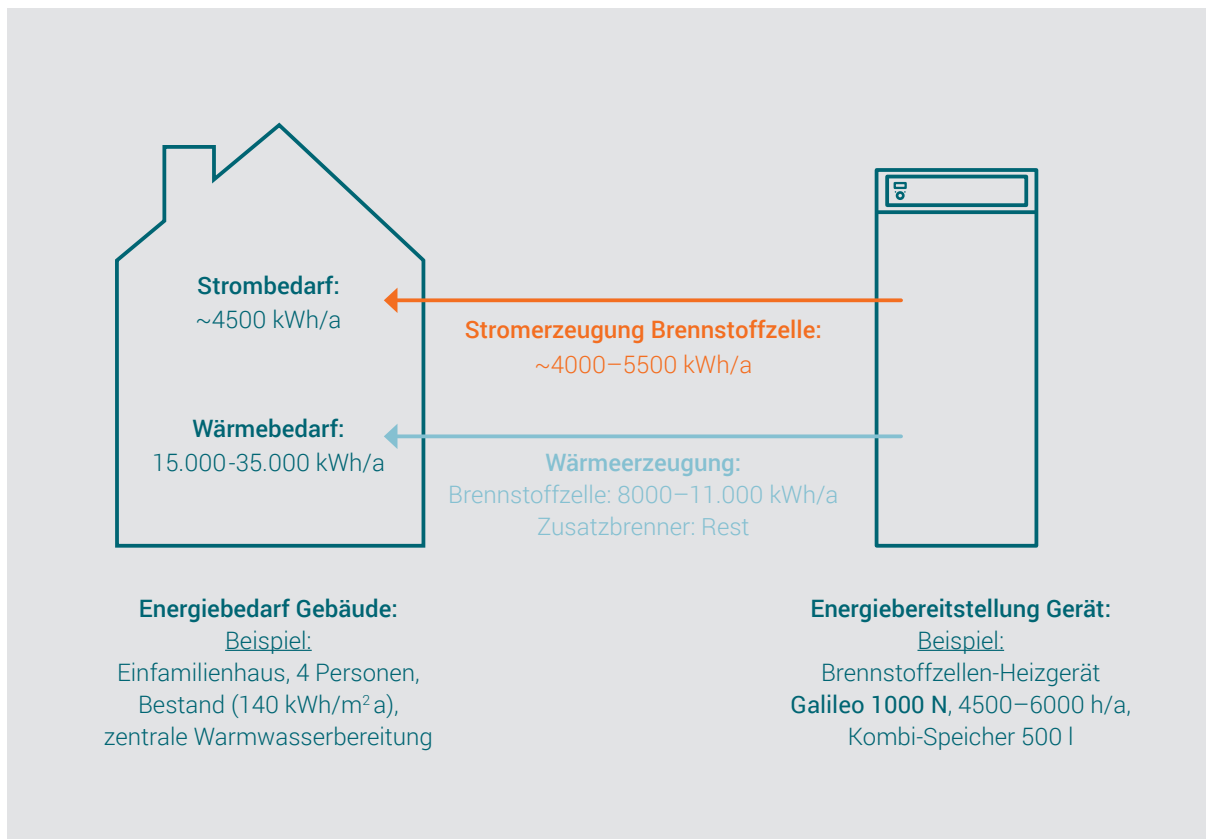
Stationäre Brennstoffzellensysteme zur kombinierten Erzeugung von Strom und Wärme ersetzen klassische Heizungsanlagen in Ein- und Mehrfamilienhäusern und tragen durch die Stromeigenerzeugung dazu bei, den Strombezug aus dem Stromnetz zu minimieren. Der Nationale Entwicklungsplan [NEP 3.0] definiert für diesen Einsatzbereich einen typischen Leistungsbereich der Brennstoffzellensysteme zwischen 1 und 5 kW_{el}.

Heute werden stationäre Brennstoffzellensysteme vor allem für eine Versorgung mit Erdgas entwickelt. Die bestehende Erdgas-Infrastruktur wird weiter genutzt, konventionelle Heizanlagen sind somit einfacher ersetzbar (siehe Abbildung S. 14). Mittelfristig ist auch der Betrieb von Brennstoffzellen mit

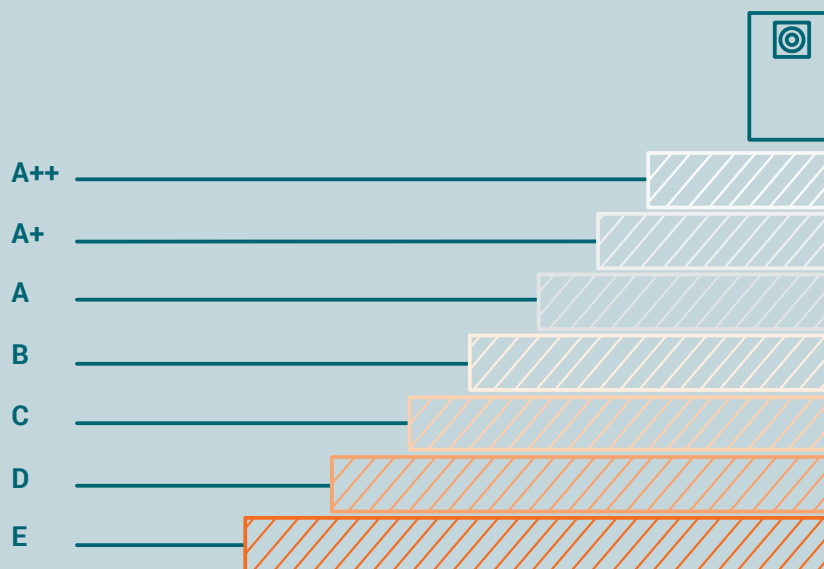
Biogas möglich, und langfristig können stationäre Brennstoffzellen für die Hausenergieversorgung auch ohne Reformier direkt mit Wasserstoff betrieben werden (s. Kapitel 3.4).

Für den Markt der Hausenergieversorgung werden, vor allem in Deutschland und Japan, erdgasversorgte PEM- und SOFC-Brennstoffzellenheizsysteme entwickelt. In Deutschland wurde die Markteinführung seit 2008 über das Leuchtturmprojekt Callux vorbereitet. Seit August 2016 ist eine Förderung über die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) möglich (s. Kapitel 4.2).

Bedarfsgerechte Energieerzeugung Brennstoffzellenheizgerät im Wohngebäude



Effizienzlabel für alte Heizkessel



Um Hauseigentümer auf ihre alten, ineffizienten Heizgeräte aufmerksam zu machen, hat der Gesetzgeber ab 2016 das Effizienzlabel für Heizkessel eingeführt, die älter als 15 Jahre sind. Das Label, das bereits von Hausgeräten bekannt ist, weist Effizienzklassen von G bis A++ aus.

Laut Bundesministerium für Wirtschaft und Energie sind über 70 Prozent der installierten Anlagen ineffizient und würden nur die Effizienzklassen C, D oder E erreichen. Neue Heiztechnik wie Brennstoffzellengeräte erzeugen Wärme und Strom im Haus und erhalten die beste Einstufung von A++.

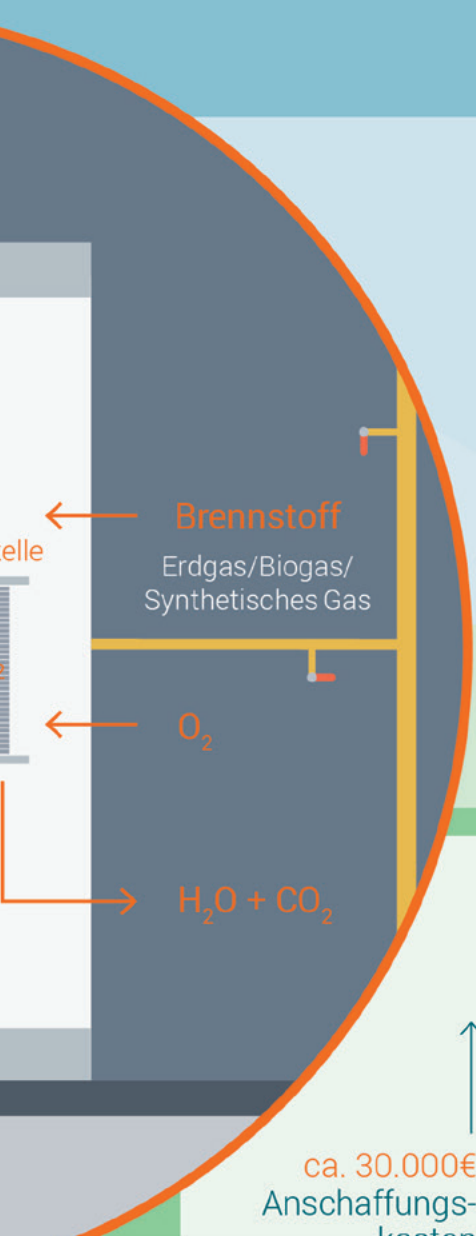
Für das Heizgerät im Neubau ist der Ausweis der Effizienzklasse bereits Pflicht. Im Gebäudebestand wird das Effizienzlabel nun stufenweise eingeführt: Freiwillig im Jahr 2016, aber ab 2017 werden Schornsteinfeger Geräte ohne Effizienzlabel kennzeichnen. Heizungsinstallateure, Schornsteinfeger und bestimmte Energieberater sind berechtigt, das entsprechende Etikett auf den Heizkesseln anzubringen.

Insbesondere für die Betreiber veralteter Gasheizungen und bei vorhandenem Erdgasanschluss bietet sich der Umstieg auf eine Erdgastechnologie mit der Einstufung A++ an. Mit der Einführung des Effizienzlabels für Altkessel wird ein neues Heizsystem auf Basis von Erdgas und Brennstoffzellen angeboten, das die Höchsteinstufung erzielt. Zahlreiche Hersteller haben die in vielen Praxistests erprobte Brennstoffzellentechnologie im Programm und einige Energieversorger bieten Komplettpakete über Contracting-Angebote an.



Die Brennstoffzellenheizung





VORTEILE DER BRENNSTOFFZELLE

- ✓ hoher Wirkungsgrad durch Wärme- und Stromerzeugung
- ✓ mehr Unabhängigkeit von Strompreisentwicklung, Einspeisung ins Stromnetz möglich
- ✓ kein Lärm, geringere Emissionen als Gas-Brennwertgeräte
- ✓ geringe laufende Kosten, hohe staatliche Förderung
- ✓ Voraussetzung: Gasanschluss, auch Bio- und synthetisches Gas nutzbar

BEISPIELHAFTHE STAATLICHE FÖRDERUNG

am Beispiel einer Anlage mit 700Wel



* Die Förderung hängt von der elektrischen Leistung der Brennstoffzelle ab und muss im Einzelfall betrachtet werden. Weitere Infos unter www.zukunftaltbau.de/brennstoffzelle

3.2 Notstromversorgung und unterbrechungsfreie Stromversorgung mit Brennstoffzellen

Der Markt der Notstromversorgung bzw. der unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV; auch UPS –Uninterruptible Power Supply) gewinnt zunehmend an Bedeutung. Wichtige Anwendungsfelder sind z. B. Krankenhäuser, Feuerwehr, Technisches Hilfswerk, Bundeswehr, Sicherheitsbehörden, Telekommunikation (DSL-Stationen, Mobilfunkzentren), Behördenfunk (BOS-Net, TETRA), Rechenzentren, Verkehrsleittechnik (Straßenverkehr, Luftverkehr, Bahn usw.), Brennstoffversorgung (z. B. Pumpen bei Tankstellen) oder Prozesse in der Lebensmittelversorgung (z. B. Kühlung). Es gibt zwei typische Anwendungsfelder:

- ✓ **Netzersatzanlagen für die Notstromversorgung von Anlagen oder Liegenschaften werden zur Aufrechterhaltung des Betriebs bei längeren Netzausfällen eingesetzt. Die Übernahme der Netzversorgung erfolgt dabei in der Regel nicht unterbrechungsfrei.**
- ✓ **Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) werden zum Schutz hochsensibler technischer Systeme wie z. B. Großrechner, Server und Telefonanlagen gegen Netzschwankungen und kurzfristige Netzausfälle eingesetzt und gewährleisten einen störungsfreien Betrieb. USV-Anlagen sind gewöhnlich für eine kurze Überbrückungszeit dimensioniert, während technische Systeme in einen sicheren Betriebszustand zurückgefahren werden oder eine Notstromversorgung die weitere Stromversorgung übernimmt.**

Stationäre Brennstoffzellen können grundsätzlich beide Anwendungsfelder bedienen. Der typische Leistungsbereich startet bei einigen kW und variiert applikationsabhängig. Im oberen Leistungsspektrum gibt es einen Überschneidungsbereich zu industriellen Anwendungen und Entwicklungen. Als Brennstoff für USV-Anwendungen dienen Wasserstoff, Methanol, Erdgas und Flüssiggas. Entwickelt werden in Deutschland Systeme auf Basis von PEMBZ und DMFC.

Im Rahmen der Marktvorbereitung förderten BMVI und BMWi im Zeitraum von 2011 bis 2016 die Entwicklung von Brennstoffzellensystemen für Notstromversorgung bzw. USV mit über 64 Millionen Euro.

Das Potenzial für den Einsatz von BZ in der Telekommunikationstechnik liegt geschätzt weltweit bei über 4,5 Millionen Basisstationen. Das Wachstum in diesem Bereich wird auf über 10 Prozent pro Jahr geschätzt [Clean Power Net 2015].



Vorteile der Notstromversorgung

Die Notstromversorgung mit Brennstoffzellen bietet gegenüber aufladbaren Batterien (Akkumulatoren) und Dieselgeneratoren Vorteile:

eine längere Autonomiezeit und Skalierbarkeit der Autonomiezeit durch die Gasversorgung

deutlich längere Lebensdauer (bis zu 10 Jahren)

breiterer Bereich an Betriebsbedingungen

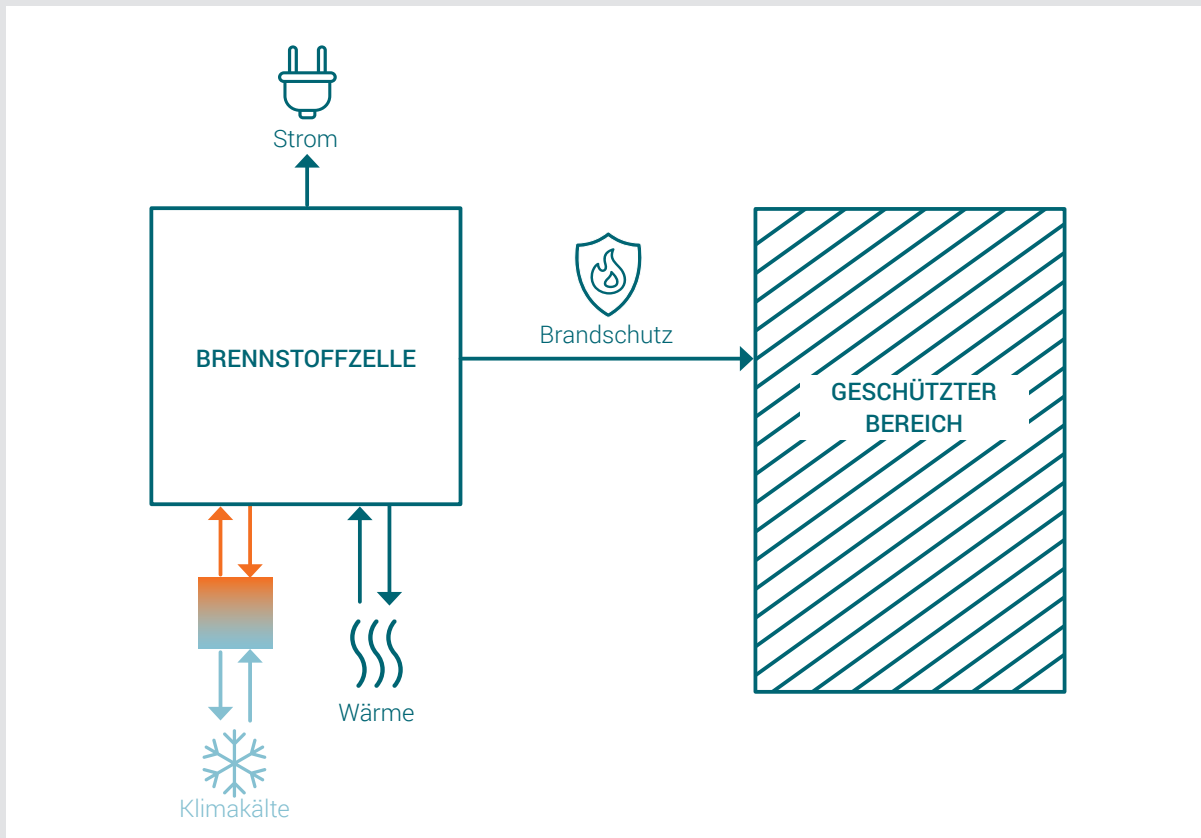
geringere Gesamtbetriebskosten (»total cost of ownership«)

höhere Betriebszuverlässigkeit

leise, emissionsfreie Stromerzeugung

3.3 Stationäre Anlagen für Industrie und Gewerbe

Funktionsprinzip QuattroGeneration



Die dezentrale Stromversorgung, insbesondere von Industrieanlagen und Gewerbe, stellt einen rasch wachsenden Markt dar. Der NEP 3.0 schätzt das europäische Marktpotenzial für industrielle Brennstoffzellenanlagen (Leistungsbereich >5 kW) auf über 1 GW_e pro Jahr. Die kombinierte Erzeugung von Strom, Wärme und Kälte ermöglicht Gesamtwirkungsgrade von über 90 Prozent.

Der Nationale Entwicklungsplan für stationäre Industrieanwendungen (NEP 3.0) umfasst auch die Nutzung von SOFC und HT-PEM-Brennstoffzellen zur Erzeugung von Wärme und Strom für Nebenaggregate auf Seeschiffen. Dabei spielt der zunehmende Einsatz von Erdgas als Schiffsbrennstoff eine wichtige Rolle. Modulare Brennstoffzeleinheiten auf Schiffen lassen zukünftig eine hohe Synergie zu den oben beschriebenen industriellen Anwendungsfeldern erwarten. Typische Leistungsbereiche hierfür variieren von einigen 10 kW_{el} bis zu wenigen MW_{el}.

Quattro-Generation BZ-Anlagen in Affalterbach



Quelle: N₂Intelligence

Ein weiteres Einsatzfeld bildet die Stromerzeugung in netzfernen Gebieten, die über keinen Stromnetzanschluss verfügen bzw. für die ein Anschluss nicht wirtschaftlich oder technisch realisierbar ist.

Brennstoffzellensysteme können hier beispielsweise Dieselgeneratoren ersetzen, geräuscharm und emissionsfrei. In manchen Schwellenländern werden wasserstoffbetriebene Brennstoffzellensysteme auch eingesetzt, um den Diebstahl von Diesel zu unterbinden, was bei klassischen Stromgeneratoren immer wieder vorkommt.

Weltweit werden für den Markt der dezentralen Stromversorgung, der industriellen Kraft-Wärme-Kopplung, der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK oder auch Tri-Generation) SOFC, MCFC, PAFC, Hoch- und Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellen entwickelt.



Tri-Generation

Normalerweise werden Brennstoffzellen-BHKW zur Produktion von Strom und Wärme eingesetzt. Bei ausreichend hohen Abwärmemetemperaturen, wie sie z. B. bei Hochtemperatur-Brennstoffzellen entstehen, wird zusätzlich über Absorptionskältemaschinen Kälte erzeugt und bereitgestellt. Weil somit drei kommerziell nutzbare Produkte erzeugt werden, spricht man dabei von »Tri-Generation«.

Quattro-Generation

Die sauerstoffarme Kathodenabluft von Brennstoffzellensystemen sorgt für eine Erhöhung des Brandschutzes durch Sauerstoffreduzierung. Da der präventive Brandschutz für z. B. Rechenzentren oder Tiefkühlager mit hohem energetischem Aufwand verbunden ist, ist dies ein interessanter Anwendungsmarkt für Brennstoffzellen. Wo diese zusätzliche Funktion eingesetzt werden kann, spricht man daher auch von »Quattro-Generation« (siehe Abbildung S. 17).

Einsatz von Rein-Wasserstoff in stationären Brennstoffzellenanwendungen

Die Nutzung von Reinwasserstoff für stationäre Anwendungen bietet bereits heute Möglichkeiten zur kostengünstigen Strom- und Wärmeerzeugung. Nicht genutzter Wasserstoff, der als Nebenprodukt in der chemischen Industrie beispielsweise bei der Chlorgas-Produktion anfällt, wird mithilfe von Brennstoffzellen effektiv in Strom und Wärme umgewandelt. Bei ausreichend großen Produktionsmengen könnten ausgewählte Gebiete und Regionen großflächig mit Wasserstoffleitungen versorgt werden. Die Umrüstung von Erdgasleitungen zur Nutzung von Reinwasserstoff könnte so in Zukunft neue Möglichkeiten zur stationären Strom- und Wärmeerzeugung aus Wasserstoff eröffnen.

Reiner Wasserstoff wird in einer Energieversorgung der Zukunft aus Strom erzeugt werden, welcher vorwiegend als erneuerbarer Überschussstrom zur Verfügung steht. Aufgrund der guten Speicherbarkeit kann dieser Wasserstoff im Bedarfsfall zur ausgleichenden Strom- und Wärmeerzeugung in Brennstoffzellensystemen dienen.

Das Potenzial von Nebenprodukt-Wasserstoff aus chemischen Prozessen umfasst in Deutschland schätzungsweise 800–1.000 Millionen Nm³ pro Jahr (~2,5–3 TWh/Jahr). Meist wird dieser

Wasserstoff heute verbrannt, um diese Wärme als Prozesswärme weiterzuverwenden oder um kein Sicherheitsrisiko einzugehen. Die Nutzung des Wasserstoffpotenzials zur Strom- und Wärmeerzeugung in Brennstoffzellen eröffnet einen Einstiegsmarkt für die effizienten Energiewandler.

Entsprechende Einsatzmöglichkeiten wurden weltweit bereits in mehreren Anlagen erprobt. In Frankfurt am Main werden zum Beispiel bei Infraserb Höchst 30–50 Millionen Nm³/a Wasserstoff als Nebenprodukt erzeugt (vgl. Abbildung rechts). Dies entspricht einem Energiegehalt von 90–150 GWh, d.h. der Wochenproduktion an Strom eines Großkraftwerks. Im Rahmen des EU-geförderten Projekts »ZeroRegio« (2004–2010) wurde hier eine 100-MPa-Wasserstoffpipeline zur Versorgung einer Wasserstofftankstelle erprobt, die heute noch in Betrieb ist.

Ein weiteres Beispiel ist der Chemiestandort Bitterfeld. Die Firma AFC Energy erprobt dort eine AFC-Brennstoffzellenanlage zur Nutzung überschüssigen Reinwasserstoffs aus der Chlorgasproduktion.

Potenzialabschätzung von chemischem Nebenproduktwasserstoff in Deutschland in Mio. Nm³/Jahr (Millionen Normkubikmeter pro Jahr) [LBST 1999]



Mio. Nm ³ /Jahr		
①	37,6	ICI, Wilhelmshaven
②	17,2	Bayer, Brunsbüttel
③	260	Dow, Stade (35 Mio. m ³)
④	28,8	Elektrochemie Ibb, Ibbenbüren
⑤	62,1	Solvay, Rheinberg
⑥	50	Bayer, Krefeld
⑦	86,1	Bayer, Dormagen
⑧	85,4	Bayer, Leverkusen
⑨	118	Air Products, ECE, Degussa, Köln
⑩	43,4	Hoechst, Hürth
⑪	30–50	Hoechst-Infraserv, Frankfurt am Main
⑫	78,1	BASF, Ludwigshafen
⑬	16,1	Hoechst, Gersthofen
⑭	57,7	Buna AG, Schkopau
⑮	33,9	Chemie AG, Bitterfeld
⑯	45,3	Wacker, Burghausen
⑰	20,8	Hoechst, Gendorf



In den Niederlanden installierte der Brennstoffzellenhersteller Nedstack bei AkzoNobel eine 70-kW_{el}-PEMBZ-Pilotanlage zur stationären Strom- und Wärmeherzeugung mittels Reinwasserstoff aus einer Chlorgasanlage. Nach positiven Erfahrungen wurde bereits Ende 2011 eine stationäre PEMBZ-Anlage bestehend aus 12.600 PEM-Brennstoffzellen mit insgesamt 1 MW_e Leistung in Belgien installiert.

In den USA erprobt die Firma Ballard erste PEMBZ-Anlagen der Reihe „CLEARgen“ mit jeweils 1 MW_e. Bereits heute verfügt die chemische Industrie über umfangreiche Erfahrungen beim Betrieb von Wasserstoffpipelines. In Europa befinden sich ca. 1.600 km Wasserstoffpipelines. Die längste H₂-Druckleitung (10 MPa) verläuft über eine Länge von ungefähr 1.000 km in Teilen Frankreichs, in Belgien und den Niederlanden (siehe Abbildung Seite 18). In Deutschland existieren Wasserstoffleitungen seit vielen Jahrzehnten vor allem im Ruhrgebiet (~240 km, 1–3 MPa) und in der Region Leipzig (Merseburg–Leuna–Bitterfeld–Dessau, ~100 km, 2–2,5 MPa). Ferner gibt es kleinere H₂-Pipelines in Norddeutschland, z. B. Brunsbüttel–Heide (34 km Länge, max. 4,5 MPa Druck).

Das dänische Gas Technologie Zentrum (DTG) erforscht die Umrüstung von Erdgasleitungen auf Wasserstoffbetrieb. Dabei gilt es, Leckagen und Materialversprödungen zu untersuchen bzw. zu vermeiden und erforderliche Anpassungen sonstiger Armaturen (z. B. Gaszähler, Absperrventile) zu analysieren. Seit 2009 werden drei lokale Wasserstoff-Leitungsnetze betrieben. Ein Beispiel hierfür ist das Dorf Vestenskov in Lolland, Dänemark, das als weltweit erste Wasserstoff-Kommune ein europäisches Beispiel für einen weiteren Umstieg auf Wasserstoff als Energieträger und -speicher zum Ersatz von Kohlenwasserstoffen ist. Lollands Windturbinen erzeugen 50 Prozent mehr Strom, als benötigt wird. Der Stromüberschuss wird in Form von Wasserstoff gespeichert, mit dem über Stahlrohre 30 Haushalte versorgt werden.

Der Grundgedanke bei dieser Anwendung ist die autarke Energieversorgung ohne fossile Brennstoffe und Anschluss an ein Stromnetz. In einer Strom-Insel kann erneuerbarer Strom, beispielsweise aus Photovoltaik- und Windkraftanlagen, der zum Zeitpunkt der Erzeugung nicht direkt genutzt wird, mittels Elektrolyse in Wasserstoff gewandelt und gespeichert werden. Bei Strommangel können Brennstoffzellen aus dem gespeicherten Wasserstoff wieder Strom und Wärme erzeugen.



1,5

Tausend BZ-Systeme werden zur Zeit in Deutschland und Europa in Ein- und Mehrfamilienhäusern betrieben.

4

Marktvorbereitung

4.1

Demonstrationsprojekte

In den letzten Jahren wurden in Europa zunehmend stationäre Brennstoffzellen für die Hausenergieversorgung in Privathaushalten installiert und erprobt. Allein in den beiden großen Demonstrationsprojekten »Callux« und »ene.field« wurden in Deutschland bis 2016 bzw. in Europa bis 2017 zusammen über 1.500 BZ-Systeme in Ein- und Mehrfamilienhäusern betrieben. Mittlerweile sind die ersten stationären Brennstoffzellen, insbesondere für die Hausenergieversorgung, bei Herstellern kommerziell verfügbar.

Callux Praxistest für stationäre BZ Heizgeräte in Deutschland

Im bundesweit größten Praxistest von Brennstoffzellenheizsystemen für Ein- und Mehrfamilienhäuser im Rahmen des Callux-Projektes wurden zwischen 2008 und Ende 2014 ca. 500 Brennstoffzellenheizgeräte installiert. Die BZ-Anlagen erreichten eine Verfügbarkeit von >97 Prozent und eine Stack-Lebensdauer von über 20.000 Stunden. In den über fünf Millionen Betriebsstunden wurde den Anlagen die für die Markteinführung notwendige Langlebigkeit attestiert. Das vom Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI) geförderte und von der NOW GmbH koordinierte Projekt hatte ein Gesamtvolumen von 75 Millionen Euro.

➔ www.now-gmbh.de

Für 2020 sieht der Nationale Entwicklungsplan (NEP) die breite Markteinführung von stationären Brennstoffzellen in Deutschland mit einer jährlichen Geräteproduktion von über 70.000 Stück vor. Seit August 2016 unterstützt das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) den Einbau von Brennstoffzellen-Heizungen mit einem attraktiven Zuschuss. Darüber hinaus unterstützen Energieversorger im Rahmen von regionalen privatwirtschaftlichen Förderprogrammen die Einführungen der BZ-Heizgeräte.

Cleargen Demo – EU-Demonstrationsprojekt

Ziel des von der Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) geförderten Projekts ist die Entwicklung und Demonstration eines 1 MW_{el}-PEMBZ-Systems. Dabei soll überschüssiger Wasserstoff aus der Chemieindustrie in Bordeaux als Brennstoff dienen. Projektpartner sind Dantherm Power AS (DK) (Tochter des kanadischen Brennstoffzellenentwicklers Ballard Power System), Hydrogene de France (F), Aquipac SAS (F), Jema Energy SA (E), Centre National de la Recherche Scientifique (F), Loagn Energy Ltd. (GB), Linde Magyarország Zrt (H) und Budapesti Muszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (H). Das Projekt läuft von 2012 bis Ende 2019.

ene.field – EU-Demonstrationsprojekt

Im Rahmen des EU-geförderten Demonstrationsprojekts ene.field wurden in zwölf europäischen Mitgliedsstaaten insgesamt rund 1.000 SOFC und PEM-Brennstoffzellengeräte in Gebäuden installiert. Das ene.field-Projekt mit Laufzeit 2012–2017 gilt als partnerschaftliches Vorzeigeprojekt zur Vermarktung stationärer Brennstoffzellenheizgeräte im Mikro-KWK-Bereich: Mit der Unterstützung von über 30 Versorgungsunternehmen, Wohnungsbaugesellschaften und Gemeinden ermöglicht das EU-Projekt, Einblick in die Installation und Wartung einer Vielzahl von Brennstoffzellenheizgeräten bei unterschiedlichen Kunden zu gewinnen. Teilnehmende Staaten sind Belgien, Dänemark, Deutschland, Großbritannien, Frankreich, Luxemburg, Irland, Italien, Niederlande, Österreich, Slowenien und Spanien. Die BZ-Heizgeräte werden von Bosch Thermotechnik, Ceres Power, Elcore, HEXIS, RBZ, SenerTec/BAXI Innotech, SOLIDpower, Vaillant und Viessman geliefert.

Thüga Feldtest

Seit Frühjahr 2013 prüften sieben Unternehmen der Thüga-Gruppe in einem Feldtest ein Jahr lang den Einsatz von Brennstoffzellen in Einfamilienhäusern. In Partnerschaft mit der Firma Elcore sind Brennstoffzellen des Typs Elcore 2400 bei Kunden von Stadtwerken aus der Thüga-Gruppe im gesamten Bundesgebiet im Einsatz, darunter auch bei der ESWE in Wiesbaden. Ein Jahr lang testeten die Unternehmen, wie viel Strom und Wärme die Anlage zur Gesamtversorgung eines Einfamilienhaushalts liefert.

Cistem – EU-Demonstrationsprojekt

Das CISTEM-Projekt (Construction of Improved HT-PEM MEAs and Stacks for Long Term Stable Modular CHP Units) hat das Ziel, Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzellen mit Betriebstemperaturen zwischen 140 und 180 °C für die Kraft-Wärme-Kopplung weiterzuentwickeln und zu testen. Dazu wird ein 100 kW_{el}-BZ-KWK-System demonstriert, bestehend aus Einzelmodulen mit je zwei 4-kW_{el}-Stacks und einem Reformer. Der Gesamtwirkungsgrad soll bei über 95 Prozent und der elektrische Wirkungsgrad bei mindestens 45 Prozent liegen. Das KWK-System soll zudem flexibel mit Brennstoff versorgt werden können, d. h. sowohl mit Erdgas als auch mit reinem Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff aus Elektrolyseanlagen, um beispielsweise erneuerbaren Strom aus Windenergie in Form von Wasserstoff zu nutzen. Vorgesehen ist, die vom BZ-System erzeugte Wärme in ein Fernwärmenetz einzuspeisen. Projektpartner sind neben Danish Power Systems (DK) (MEA-Entwicklung), Inhouse engineering (D) (BZ-Systeme) und Eisenhuth GmbH & Co. KG (D) (Bipolarplatten), ICI CALDAIE S.p.A. (KWK-System) (I), Next Energy – EWE Forschungszentrum (D), Oel-Waerme-Institut (D), University of Castilla-La Mancha (E) sowie University of Chemistry and Technology Prague (CZ). Das Projekt lief von Juni 2013 bis Juni 2016.

➔ www.project-cistem.eu

Power Up – Eu-Demonstrationsprojekt

In dem 5-Jahres-Demonstrationsprojekt (2013–2017), das im Rahmen der FCH JU gefördert wird, wird ein 500 kW_{el}-KWK-System, bestehend aus alkalischen Brennstoffzellen der Firma AFC Energy (UK), hergestellt und getestet. Als Brennstoff dient Industriewasserstoff, der als Nebenprodukt in Industrieanlagen der Firma DOW in Niedersachsen anfällt. Weitere Projektpartner sind G.B. Innamech Ltd. (UK), Zentrum für Brennstoffzellen-Technik GmbH (D), Paul-Scherrer-Institut (CH) und FAST – Federazione delle Associazioni Scientifiche e Tecniche (IT).

➔ www.project-power-up.eu

Soft-Pact – Eu-Demonstrationsprojekt

Im Rahmen des von der Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) geförderten Demonstrationsprojekts SOFT-PACT (Solid Oxide Fuel Cell micro-CHP Field Trials) wurden zwischen Juli 2011 und Juli 2015 65 SOFC-Anlagen der Firma CFC (heute SOLIDPower) in den Niederlanden, Großbritannien und Deutschland installiert und getestet. Weitere Projektpartner waren E.ON (Energieversorger), Ideal (Hersteller von Heizungsanlagen) und HOMA (Software). Ziel des Projektes war auch die Weiterentwicklung der CFC-Systeme und -Komponenten sowie die Sammlung von Betriebsdaten aus realen Tests.

➔ www.soft-pact.eu



©Bild: VH-studio/shutterstock.com

4.2 Förderung von KWK-Anlagen

Seit Juli 2017 können sowohl Hausbesitzer als auch kleine und mittlere Unternehmen (KMU) bei der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) einen Zuschuss für den Einbau eines Brennstoffzellenheizgerätes beantragen. Das KfW-Förderprogramm 433 (»Energieeffizientes Bauen und Sanieren – Zuschuss Brennstoffzelle«) ist das jüngste Paket aus dem Anreizprogramm Energieeffizienz (APEE) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), welches bereits Anfang 2016 startete. Gefördert werden Anlagen bis 5 kW_{el} in Wohn- und Nichtwohngebäuden.

Dazu muss das System in die Wärme- und Stromversorgung des Gebäudes einbezogen werden. Der Zuschuss setzt sich aus einem Grundbetrag in Höhe von 5.700 Euro und einem leistungsabhängigen Betrag von 450 Euro pro angefangener 100 W_e zusammen. Der Zuschuss ist mit den KWKG-Zulagen kombinierbar.

➔ www.kfW.de/433

Fördermöglichkeiten für KWK-Anlagen $>5 \text{ kW}_{el}$ bestehen durch die BHKW-Begleitberatung.

➔ www.klimaschutz-plus.baden-wuerttemberg.de

Erfolgreiche Förderpolitik in Japan: Ene.farm

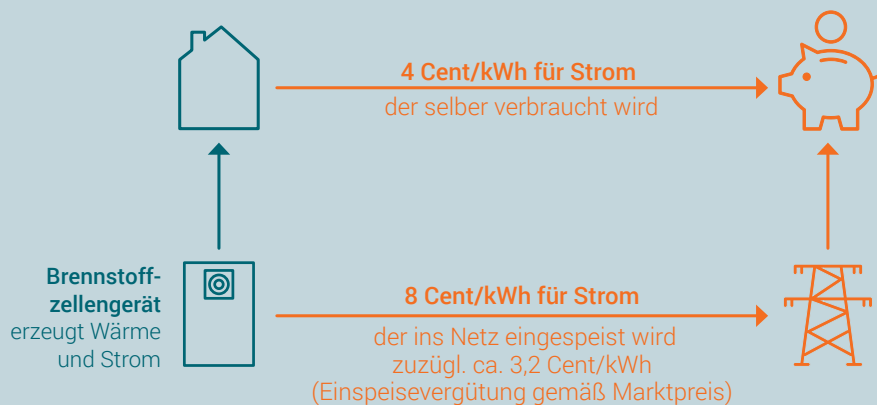
Unter der Koordination und Förderung der halbstaatlichen Einrichtung »New Energy and Industrial Technology Development Organization« (NEDO) wurden in dem Programm »Ene.farm« zwischen 2009 und Anfang 2015 über 100.000 gasversorgte PEM- und SOFC-Systeme für die Hausenergieversorgung in Japan installiert und gefördert. In diesem Zeitraum ließen sich die BZ-System-Preise für die Kunden auf 1,5 Millionen Japanische Yen (ca. 11.000 Euro) halbieren. Bis Ende 2016 ist eine nochmalige Halbierung vorgesehen. Ziel ist es, bis 2020 kumuliert 1,4 Millionen und bis 2030 5,3 Millionen BZ-Heizgeräte in Japan zu verkaufen [Tobe 2015]. Durch die langjährige, konsequente und zielgerichtete Förderung der BZ-Technik konnten japanische BZ-Hersteller mit ihren Systemen die technische Marktreife erlangen, die BZ-System-Kosten kontinuierlich senken und mit einer Serienfertigung und Massenproduktion beginnen.

Für jede Kilowattstunde gibt es Geld vom Staat –

Wenn die Heizung Strom erzeugt

Sparen mit der Brennstoffzelle

Für jede Kilowattstunde erzeugten Stroms gibt es Geld vom Staat



»Hauseigentümer und Bauherren haben heutzutage die Wahl: Installieren sie eine Heizung, die nur Wärme und Warmwasser produziert, oder eine, die zusätzlich auch Strom erzeugt? Anlagen, die nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) arbeiten, liefern immer zugleich Wärme und Strom.

Aufgrund der hohen Effizienz dieser Technologie unterstützt der Gesetzgeber jeden, der KWK nutzt, mit einem Zuschlag auf jede erzeugte Kilowattstunde Strom. Dieser KWK-Zuschlag wird sowohl gezahlt, wenn der Strom selbst verbraucht wird, als auch bei Einspeisung ins Netz. Der Gesetzgeber hat vorgesehen, dass bis zu 60.000 Vollbenutzungsstunden der Eigenverbrauch von KWK-Strom mit 4 Cent und die Lieferung ins Netz mit 8 Cent pro Kilowattstunde honoriert wird.

Wer seinen Strom abgibt, bekommt zudem eine Einspeisevergütung, die sich an marktüblichen Handelspreisen an der Leipziger Strombörse orientiert. Wer zum Beispiel mit seinem Brennstoffzellenheizgerät im Jahr 7.500 Kilowattstunden Strom produziert und zwei Drittel davon selbst verbraucht, erhält über den KWK-Zuschlag 400 Euro vom Staat sowie die Einspeisevergütung, die in diesem Fall zusätz-

lich etwa 100 Euro beträgt. Grundsätzlich sparen Hauseigentümer, die ihren Strom selbst verbrauchen, einen großen Teil der Stromkosten, die durch den gelieferten Strom anfallen würden. Zum Vergleich: Laut Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft beträgt der durchschnittliche Strompreis für Haushalte 28,69 Cent pro Kilowattstunde. Voraussetzung für die Installation einer Brennstoffzelle ist ein vorhandener Erdgasanschluss. Die Anlagen gibt es als Vollheizsysteme und als Beistellgeräte. Diese lassen sich mit dem vorhandenen Wärmeerzeuger kombinieren. Beide Anlagentypen sind sowohl für den Gebäudebestand als auch den Neubau geeignet.



©Bild: Arman_Zhenikev/shutterstock.com

5 Unternehmens- und Entwicklungsschwerpunkte

Heute entwickeln und erproben eine Vielzahl von Unternehmen Brennstoffzellensysteme für stationäre Anwendungen. Während einige Unternehmen noch Systeme im Rahmen von Demonstrationsprojekten erproben und weiterentwickeln, bieten erste Unternehmen BZ-Geräte zum Kauf an.

BZ-Systeme weisen heute bereits die technische Zuverlässigkeit und Eignung auf und können aus technischer Sicht mit konventionellen Systemen konkurrieren. Gegenüber konventionellen motorischen KWK-Anlagen erreichen die BZ-Systeme auch einen höheren Wirkungsgrad. Jedoch erschweren die relativ hohen Technologiekosten eine schnelle Marktdurchdringung.

Wichtig für die weitere Kommerzialisierung dieser Technologie ist die Kostenreduktion durch die Serienfertigung und der Absatz großer Stückzahlen.

Eine Möglichkeit stellt hier die Kooperation mit japanischen Herstellern dar. Einige Hersteller produzieren jährlich über 30.000 BZ-Systeme für den japanischen Markt. Dadurch können die Produktionskosten für das BZ-System deutlich reduziert werden.

Im Folgenden werden in alphabetischer Reihenfolge Unternehmen mit unterschiedlichen Entwicklungsschwerpunkten hinsichtlich der Brennstoffzellentechnologie bzw. der Anwendung kurz vorgestellt.

Acta S.p.A.

Das italienische Unternehmen Acta S.p.A. bietet unter dem Namen ACTA POWER Brennstoffzellensysteme mit Leistungen von 2 kW_{el} oder 4 kW_{el} an. Das System verfügt über einen Elektrolyseur und einen Wasserstoffspeicher.

→ www.actaspa.com

AFC Energy

Das britische Unternehmen AFC Energy ist auf die Entwicklung alkalischer Brennstoffzellen mit Luftsauerstoff spezialisiert. Aktuelle Feldtests mit der Nutzung von überschüssigem Reinwasserstoff aus der Chlorgasproduktion finden u. a. in Bitterfeld und im Rahmen des EU-Förderprojektes POWER-UP in Stade statt. Weitere Entwicklungen laufen mit Partnern in Südkorea.

→ www.afcenergy.com

Air Liquide

Air Liquide Advanced Business (Air Liquide Advanced Business, AXANE, HyPulsion) mit Sitz in Grenoble, Frankreich, entwickelt wasserstoffbetriebene NT-PEM-Brennstoffzellensysteme im Leistungsbereich von 0,5 bis 10 kW_{el} (u. a. Notstromgerät).

→ www.airliquideadvancedbusiness.com

Ballard Power Systems

Das kanadische Unternehmen ist ein führender Entwickler von NT-PEM-Brennstoffzellen für mobile, stationäre und portable Anwendungen und kooperiert weltweit mit vielen Partnern. Bis heute hat das Unternehmen mehr als 2.000 Notstrom-Systeme mit PEM-Brennstoffzellen für einen Wasserstoff- oder Methanolbetrieb ausgeliefert. Unter der Bezeichnung »CLEARgen«

entwickelt Ballard PEMBZ-Systeme in der MW-Klasse. In Europa bietet Ballard im Bereich stationäre Anwendungen u. a. über das dänische Tochterunternehmen Dantherm Power PEMBZ-Systeme an.

→ www.ballard.com

→ www.dantherm-power.com

Bloom Energy

Das US-Unternehmen mit Sitz in Kalifornien bietet erdgasversorgte SOFC-Systeme für die weitestgehend netzstromunabhängige Versorgung von industriellen und gewerblichen Anlagen und Bürogebäuden an. Sogenannte »Energy Server« in der Leistungsklasse 200 bis 250 kW_{el} basieren auf 50 kW_{el}-BZ-Modulen.

→ www.bloomenergy.com

Bosch Thermotechnik GmbH

Das im hessischen Wetzlar ansässige Unternehmen der Bosch-Gruppe, zu der seit 2007 auch Buderus gehört, entwickelt SOFC-Systeme für die Hausenergieversorgung. Im Rahmen des Projektes »ene.field.eu« erprobt Bosch Thermotechnik 70 Mikro-KWK-Heizsysteme. Bosch Thermotechnik arbeitet mit dem japanischen Unternehmen Aisin Seiki zusammen. Das SOFC-Brennstoffzellenheizgerät wird sowohl unter der Marke Buderus (unter der Bezeichnung LOGAPOW-ER FC10) als auch der Marke Junkers (mit Namen CERAPOW-ER) angeboten.

→ www.bosch-thermotechnik.de

→ www.buderus.de

→ www.junkers.de

Ceres Power

Ceres Power entwickelt SOFC-Systeme mit einer Betriebstemperatur von nur 500 bis 600 °C im Leistungsbereich zwischen 1 und 10 kW_{el}. Im Rahmen des Projektes »ene.field.eu« sollen in Großbritannien mehr als 140 KWK-Systeme in Privataushalten installiert und erprobt werden. Weitere 30 SOFC-Heizsysteme sollen in die Niederlande und nach Belgien geliefert werden.

➔ www.cerespower.com

Convion Oy

Das finnische Unternehmen Convion Oy führt seit Anfang 2013 die Entwicklung von SOFC-Systemen der Firma Wärtsilä fort. Zielmärkte der Convion SOFC-Systeme sind stationäre Anlagen für Gewerbe, Handel, Dienstleistungen sowie kleine industrielle BZ-Systeme mit einer Leistung zwischen 50 und 300 kW_{el}.

➔ www.convion.fi

Doosan Fuel Cell America

Doosan Fuel Cells America, ein Tochterunternehmen der Südkoreanischen Doosan Corporation, hat die PAFC-Technik des Unternehmens UTC Power übernommen. Mit dem unter dem Namen »PureCell« bekannten stationären PAFC-System entwickelte UTC eine Produktreihe, die in den letzten 20 Jahren insgesamt mehr als 10 Millionen Betriebsstunden und fast 2 Milliarden erzeugte kWh_e an praktischen Erfahrungen bei Kunden sammeln und eine Stack-Lebensdauer von 10 Jahren nachweisen konnte. Die Doosan PureCell mit einer elektrischen Leistung von 440 kW_{el} ist als KWK-Anlage kommerziell verfügbar.

➔ www.doosanfuelcell.com



Fuel Cell Energy Solution (FCES) GmbH

Die Fuel Cell Energy Solution GmbH ist ein Joint Venture des US-Unternehmens Fuel Cell Energy (FCE) mit dem Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS) in Dresden. Das im Jahr 2012 gegründete Unternehmen führt die früheren Arbeiten der MTU Onsite Energy, ursprünglich eine Tochter der MTU Friedrichshafen, am Firmenstandort Dresden und dem Fertigungsstandort Ottobrunn fort. FCE, mit Sitz in Danbury, CT, USA, bietet kommerzielle erdgasbetriebene MCFC-Systeme der Produktreihe »Direct Fuel Cell« (DFC) in den Leistungsklassen von 300 kW_{el} bis 3 MW_e für stationäre Anwendungen an. Unter der Bezeichnung »DFC-ERG« können zudem einzelne »DFC 3000«-Systeme (je 2,8 MW_e) mit einer Gasexpansionsturbine zu einem Multi-MW_e-System zusammengeschlossen werden. In Zusammenarbeit mit Partnern entwickelt FCE auch SOFC-Systeme mit mehreren MW Leistung. Von solchen BZ-basierten GuD-Kraftwerken werden Wirkungsgrade von bis zu 70 Prozent erwartet.

➔ www.fces.de

Fuji N2telligence

Das in Hamburg ansässige Unternehmen Fuji N2telligence GmbH bietet in Zusammenarbeit mit dem japanischen Mutterkonzern Fuji Electric PAFC-Systeme in einer Leistungsklasse von 100 kW_{el} an. Die BZ-Systeme können für eine Brennstoffversorgung mittels Erdgas oder reinem Wasserstoff konfiguriert werden. Im Jahr 2012 lieferte das Unternehmen die ersten Anlagen nach Deutschland (Equinix in Frankfurt, Mercedes in Hamburg), die mithilfe der sauerstoffarmen BZ-Abluft einen erhöhten Brandschutz gewähren.

➔ www.n2telligence.com

Fronius

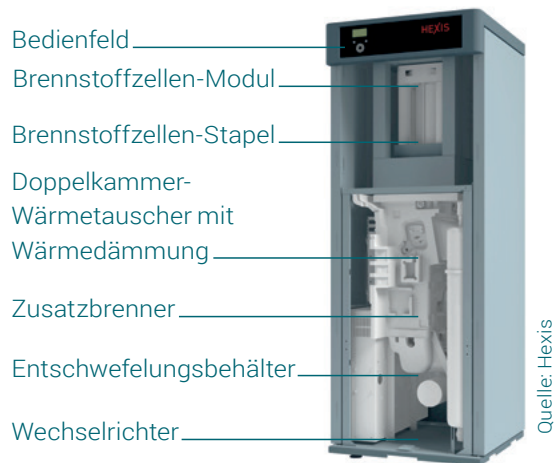
Das österreichische Unternehmen Fronius hat in den letzten Jahren verschiedenste Brennstoffzellenanwendungen erprobt. Dazu gehört auch die sogenannte Energiezelle Stationär, die Wasserstoff mit einer Gleichstromleistung von 2 bzw. 4 kW_{el} in Strom umwandelt. Sie ist für autarke PV-Systeme gedacht.

➔ www.fronius.com

HEXIS AG

Das Schweizer Unternehmen HEXIS, mit einer Niederlassung in Konstanz, hat bisher das Brennstoffzellen-Heizgerät Galileo 1000 N hergestellt und vermarktet. HEXIS hat als Kompetenzzentrum für Hochtemperatur-Brennstoffzellen auch den Galileo-Nachfolger entwickelt. Im Juli 2015 übernahm die Viessmann-Gruppe 100 Prozent der Unternehmensanteile.

➔ www.hexis.com



Brennstoffzellen-Heizgerät Galileo 1000 N von HEXIS, einem Tochterunternehmen der Viessmann Werke

Horizon Fuel Cell Technologies

Unter dem Namen »GreenHub« bietet Horizon aus Singapur wasserstoffversorgte NT-PEM-Brennstoffzellensysteme für die netzunabhängige Stromversorgung im Leistungsbereich von 0,4 bis 4 kW_{el} an.

➔ www.horizonfuelcell.com

Hydrogenics

Der kanadische Hersteller von Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellen bietet unter der Bezeichnung »HyPM« wasserstoffbetriebene 30 kW_{el}-Racks (mit je 10 kW_{el}-Einzelmodulen) für Rechenzentren, Server oder Datenzentren an, die auf Basis eines Plattformkonzepts bis zu 1 MW_e-Gesamtsystemen zusammengeschaltet werden können.

➔ www.hydrogenics.com

Intelligent Energy

Das britische Unternehmen Intelligent Energy bietet wasserstoffbetriebene Niedertemperatur-Brennstoffzellensysteme für mobile und stationäre Anwendungen an. Für die Notstromversorgung von Telekommunikationseinrichtungen, speziell in Märkten wie Indien oder Afrika, entwickelt das Unternehmen wasserstoffversorgte Brennstoffzellensysteme. Dazu gehört beispielsweise ein wasserstoffbetriebenes Notstromsystem mit 5 kW_{el} (bestehend aus vier $1,25 \text{ kW}_{\text{el}}$ -PEM-Brennstoffzeleinheiten).

➔ www.intelligent-energy.com

IRD Fuel Cell A/S

Unter der Bezeichnung »CHP« entwickelt der dänische Brennstoffzellenhersteller wasserstoffbetriebene NT-PEM-Brennstoffzellen für die Hausenergieversorgung.

➔ www.ird.dk

Nedstack

Nedstack, ein Tochterunternehmen des Chemieunternehmens AkzoNobel, mit Sitz in Arnhem, Niederlande, entwickelt Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellen-Stacks. Im Jahr 2007 installierte das Unternehmen eine $70 \text{ kW}_{\text{el}}$ -PEMBZ-Pilotanlage zur stationären Strom- und Wärmeerzeugung, versorgt mit Reinwasserstoff aus einer Chlorgasanlage bei AkzoNobel in den Niederlanden. Nach positiven Erfahrungen wurde Ende 2011 in Belgien eine stationäre PEMBZ-Anlage bestehend aus 12.600 PEM-Brennstoffzellen mit insgesamt 1 MW_e Leistung installiert. Neben stationären Anlagen für die Industrie entwickelt das Unternehmen wasserstoffbetriebene Notstromsysteme z. B. für die Telekommunikation.

➔ www.nedstack.com

Proton Motor Fuel Cell GmbH

Proton Motor, mit Sitz in Puchheim bei München, fertigt Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellen-Stacks für Systeme zur unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) in modularen Leistungsklassen zwischen 5 und $20 \text{ kW}_{\text{el}}$.

➔ www.proton-motor.de



Quelle: Riesaer Brennstoffzellentechnik GmbH

Inhouse 5000+ PEMBZ-Systeme für Gewerbe- und Industriekunden

Riesaer Brennstoffzellentechnik GmbH (RBZ)

Das Unternehmen mit Sitz in Riesa, Sachsen, entwickelt Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellenheizgeräte für Gewerbe- und Industriekunden mit einer Leistung von 5 kW_{el} und 7 kW_{th} . Die PEM-Brennstoffzelle wird von Inhouse geliefert. Im Rahmen des durch das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) geförderte Projekt »inhouse« werden seit 2013 dreizehn Systeme der Serie »inhouse5000+« erprobt. Im Rahmen von »ene.field.eu« wurden weitere 39 Systeme in Haushalten installiert.

➔ www.rbz-fc.de

SenerTec Kraft-Wärme-Energie-systeme GmbH – Teil der BDR Thermea Gruppe

Die Markteinführung des PEM-Brennstoffzellen-Heizsystems »Dachs InnoGen« erfolgte im Juni 2016. Derzeit sind ca. 60 Systeme in Betrieb, von denen 50 im Rahmen des EU-Projekts ene.field gefördert wurden. Die Systeme weisen bisher durchschnittlich 5.431 Betriebsstunden bei einer durchschnittlich erzeugten elektrischen Energie von 2.767 kWh seit Inbetriebnahme auf. Derzeit kann der Dachs InnoGen neben dem KWK-Zuschlag bspw. über die Kreditanstalt für Wiederaufbau – Zuschuss Brennstoffzelle (433) – gefördert werden. Das System und vor allem die Kernkomponenten Stack und Reformer profitieren hinsichtlich Langlebigkeit und Zuverlässigkeit klar von der Erfahrung des Entwicklungspartners Toshiba mit über 70.000 seit 2009 in Japan installierten Systemen.

➔ www.senertec.de



Dachs InnoGen von SenerTec/Baxi Innotech mit einer Toshiba $700W_{el} / 1kW_{th}$ -Brennstoffzelle und Erdgasreformer (rechts) und einem 300l-Pufferwärmespeicher mit Zusatzbrenner (links)

SFC Energy AG

SFC Energy (früher Smart Fuel Cells), mit Sitz in Brunnthal bei München, entwickelt DMFC-Systeme für portable Anwendungen. SFC bietet unter der Serie EFOY Pro fuel cell auch ein methanolbetriebenes DMFC-System mit einer Leistung von $90 W_e$ (Nominal), $800 W_e$ (Spitzenleistung) für die Notstromversorgung von z. B. Telekommunikationseinrichtungen an. Mit zwei Tankpatronen können $\sim 62 kWh_e$ bereitgestellt werden.

➔ www.sfc.com

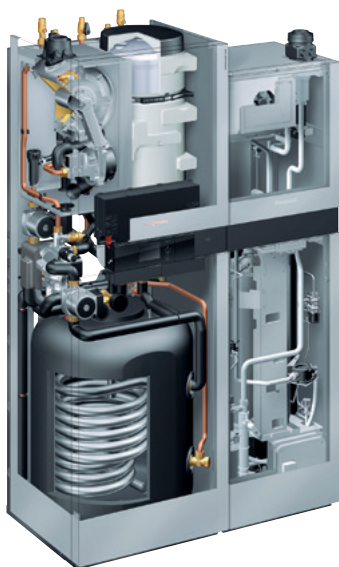


»BlueGen« BZ-Mikrokraftwerk von SOLIDpower – bereits beim Fachhändler erhältlich

Viessmann Group

Viessmann bietet erdgasversorgte NT-PEMBZ und SOFC-Brennstoffzellenheizgeräte für Ein- und Mehrfamilienhäuser an. Seit 2012 kooperiert Viessmann mit dem japanischen Unternehmen Panasonic, das in Japan bereits über 50.000 PEMBZ-Systeme installiert hat. Im Juli 2015 übernahm Viessmann mit HEXIS einen der führenden Entwickler von SOFC-Systemen für die Hausenergieversorgung. HEXIS entwickelt seit 1990 SOFC-Systeme und testete u. a. im Rahmen der Projekte »Callux« und »ene.field« das SOFC-Brennstoffzellenheizgerät »Galileo«.

➔ www.viessmann.de



Quelle: Viessmann Werke

»Vitocalor 300-P« BZ-Heizgerät von Viessmann, mit einer PEMBZ ($0,7 \text{ kW}_{\text{el}}, 1 \text{ kW}_{\text{th}}$) und einem Erdgasreformer von Panasonic (rechts) sowie einem Pufferspeicher und Zusatzbrenner (links) – bereits erhältlich bei Viessmann-Fachhändlern.

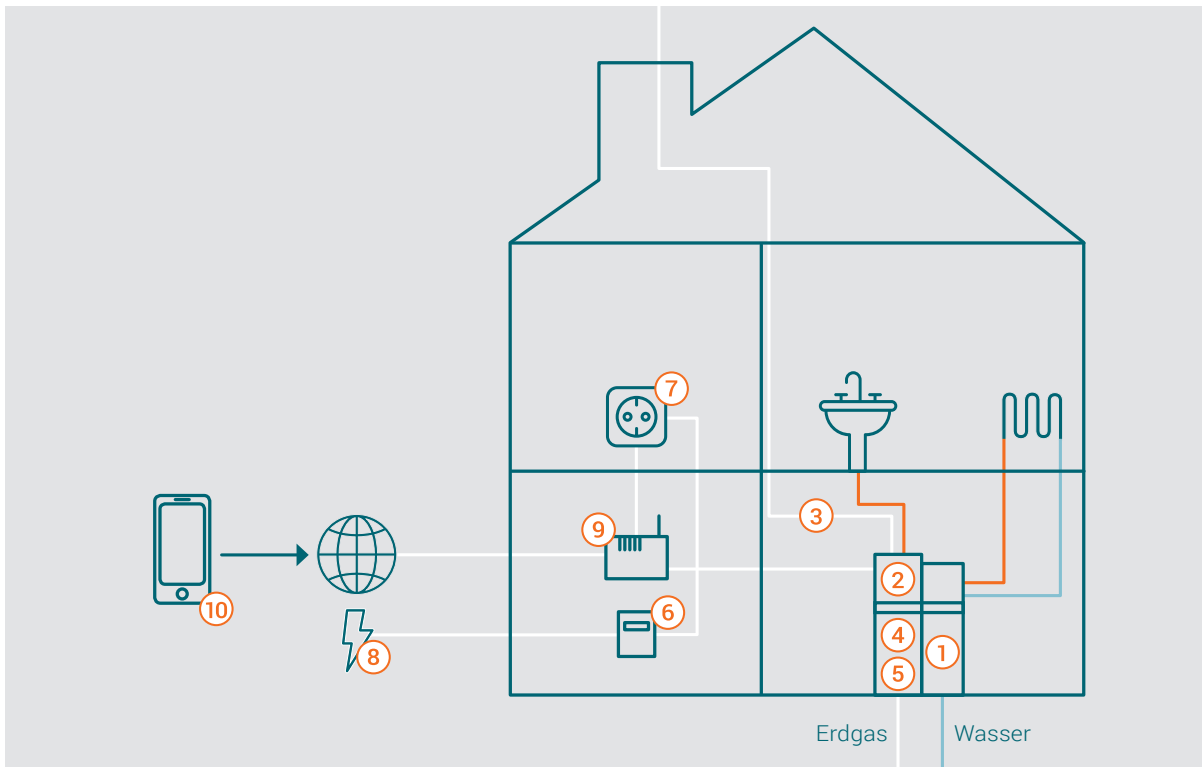
SOLIDpower

Das italienische Unternehmen SOLIDpower entwickelt und vertreibt SOFC-Systeme für die Hausenergieversorgung. Mit dem »BlueGEN« bietet das Unternehmen eine erdgasbetriebene, stromgeführte Mikro-KWK-Anlage für den Einsatz in Wohn- und Gewerbegebäuden. Das Gerät wurde ursprünglich von der australischen Ceramic Fuel Cells entwickelt, deren deutsche Tochter SOLIDpower im Juli 2015 übernommen hat.

Die BlueGEN-Systeme sind bereits seit 2012 in Deutschland und weiteren europäischen Ländern kommerziell über Fachhändler und Vertriebspartner erhältlich. Mit einem sehr hohen elektrischen Wirkungsgrad von bis zu 60% bei einer gleichzeitig verhältnismäßig geringen Wärmeabgabe eignet sich das Gerät für einen ganzjährig durchgängigen Betrieb. Der BlueGEN ist als Beistelllösung konzipiert worden und kann mit nahezu jedem vorhandenen Heizsystem kombiniert werden.

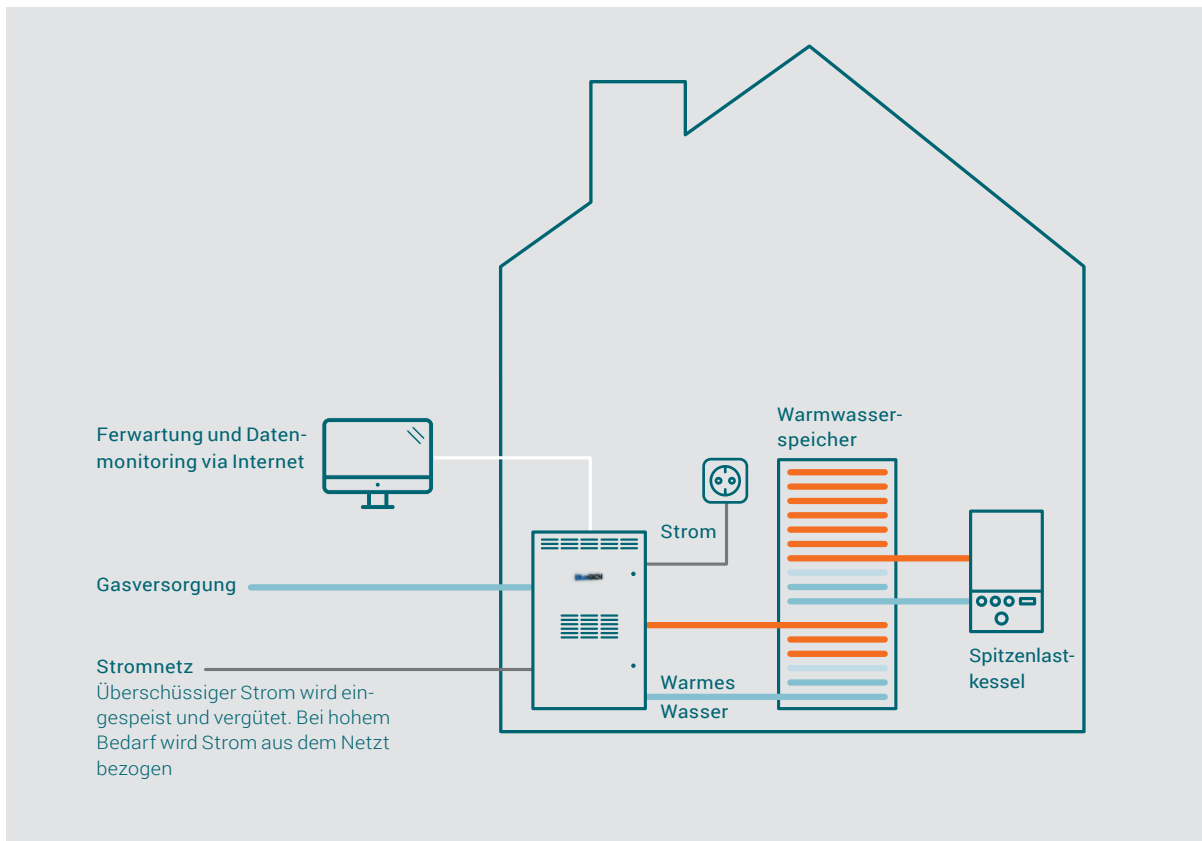
➔ www.solidpower.com

Eine Kommerzialisierung des BZ-Systems ist ab 2017 geplant.



Quelle: Viessmann Werke

- ① Brennstoffzellenmodul
- ② Spitzenlastkessel im Warmwasserspeicher (46 Liter und Heizwasser-Pufferspeicher (170 Liter)
- ③ Abgas-/Zuluftsystem
- ④ Integrierter Stromzähler
- ⑤ Kommunikationsschnittstelle
- ⑥ Stromzähler (Bidirektional)
- ⑦ Stromnetz im Haus
- ⑧ Öffentliches Stromnetz
- ⑨ Internet
- ⑩ Vitotrol App



Quelle: SOLIDpower

Schema "BlueGen" – Einbindung in die Hausenergieversorgung

Auswahl von BZ-Systemen für die Hausenergieversorgung

Hersteller	Buderus	HEXIS	Junkers
Typ	SOFC	SOFC	SOFC
Modellbezeichnung	Logapower FC10	Galileo 1000 N	Cerapower FC10
Leistung (el/th)	0,7/0,7 kW	1,0/1,8 kW	0,7/0,7 kW
Thermische Leistung des Zusatzbrenners	7,3-24 kW	7-20 kW	7,3-21,8 kW
Speicher	Warmwasserspeicher 75 l, Pufferspeicher 135 l	extern, individuell wählbar	Warmwasserspeicher 75 l, Pufferspeicher 135 l
Elektrischer Wirkungsgrad	46 %	35 %	46 %
Gesamt-Wirkungsgrad	85 %	95 %	85 %
Abmessungen in mm (B x T x H)	1200 x 600 x 1800	620 x 580 x 1650	1200 x 600 x 1800
Gewicht in kg	Gesamtsystem 304 kg in Modulbauweise, max. modulgewicht 112kg	210	Gesamtsystem 304 kg in Modulbauweise, max. Modulgewicht 112kg
Feldtests, Kooperationen, Demonstrationsprojekte	ene.field (EU), Kleinserie in Kooperation mit Energieversorgern	Callux (DE) Pharos (CH) ene.field (EU)	ene.field (EU)
Markteinführung	2016	bis Anfang 2018	2016
Kontakt	www.buderus.de	www.hexis.com	www.junkers.com
			

	SenecTec	SOLIDpower	Viessmann
	NT-PEM	SOFC	NT-PEM
	Dachs InnoGen	BlueGEN	Vitotalor 300-P
	0,7/0,95 kW (modulierte Anlage)	1,5/0,61 kW	0,75/1 kW
	5,2-21,8 kW	extern, individuell wählbar	1,0-25,2 kW
Puff-	300 l-Pufferspeicher mit Frischwasserstation	extern, individuell wählbar	Warmwasserspeicher 46 l, Trink- wasserspeicher optional auf 300 l erweiterbar, Pufferspeicher 130l
	37,7 % (Volllast)	bis zu 60%	37 %
	90 %	bis zu 85%	90 %
	Brennstoffzellen-Heizgerät: 453 x 728 x 1054 Gesamtsystem: 1250 x 1060 x 1800	600 x 600 x 110	1080 x 595 x 1782
Mod- gewicht	Gesamtsystem ca 355 kg in Modulbauweise	ca. 200	290 Brennstoffzellenmodul (125) Spitzenlastmodul (155)
	ene.field (EU), Callux (DE)	abgeschlossen	Januar 2013 Pretest; Juli 2013 bis März 2014 großer Feldtest, ene.field (EU)
	2016	erfolgt (2012)	April 2014
	www.derdachs.de	www.solidpower.com Tel.: +49 2452 153758	www.fließmann.com
			

Quelle: Initiative Brennstoffzelle (Stand März 2016, eigene Überarbeitung (Stand Januar 2018)

Verfügbarkeit stationärer Brennstoffzellen-Heizgeräte

Heute können erste Brennstoffzellensysteme für die Hausenergieversorgung, wie beispielsweise die Produkte der Firmen Elcore, HEXIS, SOLIDpower und Viessmann (s. Tabelle auf S. 36-37) direkt bei den Herstellern oder über Händler kommerziell bestellt werden. Einige BZ-Hersteller bieten hierzu auf ihren Webseiten Hilfestellung und Beratung beim Finden von lokalen Installateuren und qualifizierten Fachplanern an. Für die BZ-Systeme wird ein »Rundum-sorglos-Paket« angeboten, d. h. im Rahmen eines Service- und Wartungsvertrags wird die Funktionalität der Anlage garantiert, um Kunden entsprechende Sicherheit bei der Entscheidung für eine neue Technologie zu geben. In der Regel vergeben die Hersteller für das Brennstoffzellensystem eine Betriebsgarantie über einen Zeitraum von 7 bis 10 Jahren. Diese beinhaltet bei Bedarf auch einen kostenlosen Austausch des Brennstoffzellen-Stacks. Während das »Blue-Gen« Gerät von SOLIDpower für die Stromerzeugung optimiert ist und einen besonders hohen elektrischen Wirkungsgrad (bis zu 60 Prozent) aufweist, liefern die Geräte von Elcore und Viessmann deutlich mehr Wärme je erzeugter kWh Strom. Die Preisangaben für die BZ-Heizgeräte hängen von verschiedenen Parametern ab und lassen sich auf den ersten Blick nur bedingt vergleichen. So unterscheiden sich beispielsweise nicht nur die BZ-Technik und die damit verbundene elektrische/thermische Leistung, sondern auch die technische Ausstattung. Bei einigen Preisangaben sind beispielsweise Wärmespeicher und/oder Zusatzbrenner berücksichtigt. Preise für BZ-Hei-

zungsanlagen in der 1 kW_{el}-Klasse liegen heute in der Regel bei ca. 20.000–30.000 Euro (netto, ohne Installation). Dabei sind jedoch noch keine Fördermittel berücksichtigt, die je nach BZ-Konfiguration variieren. Große Heizungsgerätehersteller, wie Buderus/Bosch Thermotechnik/Junkers, Sener-Tec/Baxi Innotech und Viessmann kooperieren heute auch mit japanischen Brennstoffzellenherstellern. In den letzten Jahren haben Unternehmen wie Panasonic, Toshiba und Aisin Seiki bereits mit der kommerziellen Produktion und Vermarktung ihrer Brennstoffzellenheizgeräte in Japan begonnen. In Zusammenarbeit zwischen den europäischen und japanischen Unternehmen werden BZ-Heizgeräte für den europäischen bzw. deutschen Markt weiterentwickelt. Optimierte werden die Anlagen vor allem hinsichtlich effizienter Wärmeauskopplung und veränderter klimatischer Bedingungen (u. a. höherer Heizwärmebedarf der Gebäude). Dazu verfügen die BZ-Heizgeräte über integrierte Warmwasserspeicher (WW) und Pufferspeicher (PS) sowie über integrierte Zusatzheizgeräte.

10

Jahre beträgt die maximale Garantie für ein Brennstoffzellensystem für den Haus-eigenbedarf, abhängig vom Hersteller.

6

Potenzial und Ausblick

Eine effizientere Nutzung fossiler Brennstoffe gewinnt zunehmend an Bedeutung, um auf der einen Seite steigenden Rohstoffpreisen entgegenzuwirken und auf der anderen den zukünftigen Ausstoß von CO₂ zu reduzieren. Dazu bietet der Einsatz von Brennstoffzellen zur Kraft-Wärme-Kopplung ein großes Potenzial.

Allein in Deutschland sind 10 Prozent bzw. über zwei Millionen aller installierten Öl- und Erdgasheizungen über 25 Jahre alt [Green-WiWo 2013]. Die Bundesregierung plant eine Verdoppelung der Gebäudesanierungsrate. Im Zuge dessen bietet sich der Austausch von mindestens weiteren 6 Millionen veralteten Heizungsanlagen in den nächsten Jahren an.

Die Markteinführung stationärer Brennstoffzellen hat inzwischen begonnen. Seit 2015 bieten vier Hersteller (Elcore, HEXIS, SOLIDpower und Viessmann) BZ-Systeme für die Hausenergieversorgung zum Verkauf an. Weitere Hersteller haben mit der Markteinführung von BZ-Heizgeräten begonnen. Die Schulung von Fachbetrieben wird in ganz Deutschland vorangetrieben; u.a. über das Weiterbildungszentrum Ulm (WBZU)

Während die vom Markt geforderten technischen Anforderungen von vielen BZ-Systemen erfüllt werden, müssen die Preise weiter reduziert werden, um eine breite und schnellere Marktdurchdringung zu erreichen.

Um kurzfristig die Markteintrittshürde der hohen Investitionskosten zu senken, sind Förderprogramme nötig.

Über das KfW-Programm 433 werden Brennstoffzellenheizungen entsprechend ihrer Leistung umfangreich gefördert.

Eine Reduzierung der Kosten kann vor allem durch eine Massenfertigung und eine Steigerung der Verkaufszahlen erreicht werden. Eine wichtige Hilfestellung für die BZ-Hersteller konnten dazu Förderprojekte wie z. B. Callux und ene.field geben, bei denen zusammengenommen über 1.500 BZ-Heizgeräte in Europa installiert wurden.

Für die Hausenergieversorgung werden sowohl SOFC- als auch PEMFC-Heizsysteme entwickelt bzw. bereits zum Verkauf angeboten. Aufgrund der höheren Betriebstemperatur finden SOFC-Heizgeräte vor allem in Altbauten und Gebäuden mit hohem Wärmeverbrauch und hohen Heizkreislauftemperaturen Anwendung. NT-PEMFC-Systeme mit Betriebstemperaturen von ca. 60 °C sind hingegen besonders für Neubauten und hochwertig sanierte (Niedrigenergie-)Gebäude mit geringen Rücklauftemperaturen der Heizkreisläufe (z. B. Fußbodenheizung) geeignet.

Stromgeführte BZ-BHKWs können in Zukunft Regellast zu Spitzenstromzeiten erzeugen und Fluktuation beim Stromangebot im Stromnetz, z. B. von PV- und Windkraftanlagen unterstützend ausgleichen.

Aber auch der Markt für die Notstromversorgung bzw. die unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) eröffnet Brennstoffzellen ein großes Marktpotenzial. Indien beispielsweise, mit mehr als 350.000 Funktürmen für Mobiltelefone, die heute in sehr großer Zahl logistisch aufwendige Diesellgeneratoren für eine unterbrechungsfreie Versorgung nutzen, erscheint hier als interessanter Einstiegsmarkt.

Ein weiteres Einsatzgebiet für stationäre Brennstoffzellen lässt sich in der IT-Branche ausmachen. Diese ist nicht nur für ca. 10 Prozent des weltweiten Stromverbrauchs verantwortlich, sondern emittiert dadurch vor allem mehr Treibhausgase als der gesamte Flugverkehr. Das Potenzial in dieser Branche scheint enorm, sodass die Investitionen in »Green-IT« sowie die Steigerung der Effizienz vor allem in Europa und Asien zugenommen haben [Kaminska 2014, Mills 2013, Muirhead 2015].

Hersteller installieren bereits BZ-Systeme in der MW-Klasse bei Kunden wie Google, Apple, Ebay und AT&T. Die leisere und nahezu abgasfreie Brennstoffzellentechnik erlaubt auch die Installation in Mischgebieten, wo der Einbau von Diesellgeneratoren sehr aufwendig ist. Brennstoffzellensysteme mit höheren Betriebstemperaturen wie HT-PEMFC, PAFC, MCFC und SOFC ermöglichen über Absorptionsanlagen auch eine effiziente Kühlung von z. B. Rechenzentren, Brauereien oder Einkaufszentren.

Die Nutzung von Wasserstoff als Energiespeicher wird für den erfolgreichen Umstieg von endlichen, fossilen auf erneuerbare Energiequellen eine zentrale Rolle spielen. In diesem Zusammenhang werden wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen überall dort Einsatz finden, wo erneuerbarer Strom nicht direkt vor Ort oder zur Zeit der Erzeugung genutzt werden kann und somit das Einsatzgebiet von Brennstoffzellen über die heute kurzfristig absehbaren, an Erdgas gebundenen Anwendungen mittel- und langfristig deutlich ausweiten.





Quellen (von unten): SOLIDpower, Viessmann Werke



i Beispiele für heute bereits verfügbare BZ-Heizgeräte

unteres Bild: BlueGEN mit 1,5 kW_{el}-SOFC von SOLIDpower
oberes Bild: Vitovalor mit 0,75 kW_{el}-PEMBZ und integrierten
Wärmespeicher von Viessmann

7 Anhang

7.1 Abkürzungen

AAEM	Alkali Anion Exchange Membrane	NEP	Nationaler Entwicklungsplan
AFC	Alkaline Fuel Cell	NIP	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
BHKW	Blockheizkraftwerk	Nm³	Normkubikmeter, d. h. die Gasmenge, die unter Normbedingungen (Atmosphärendruck, 15 °C Temperatur) ein Volumen von 1 m ³ einnimmt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit	NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW GmbH)
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung	NT	Niedertemperatur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie	O₂	Sauerstoff
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (z. B. Polizei, Feuerwehr)	PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell
BZ	Brennstoffzelle	PEM	Polymer-Elektrolyt-Membran; für Protonen, aber nicht für Gase durchlässige Membran, die in Brennstoffzellen eingesetzt wird
C	Kohlenstoff	PEMFC	Polymer Electrolyte Fuel Cell
CO	Kohlenmonoxid	PS	Pufferspeicher
CO₂	Kohlendioxid	PV	Photovoltaik
DMFC	Direct Methanol Fuel Cell	SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
FC	Fuel Cell (Brennstoffzelle)	TWh	Terawattstunden (= 1 Milliarde kWh)
GW	Gigawatt (= 1 Milliarde Watt)	USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
GWh	Gigawattstunden (= 1 Million kWh)	W_e	elektrische Leistung in Watt
H₂	Wasserstoff	W_{th}	thermische Leistung in Watt
HT	Hochtemperatur	WW	Warmwasserspeicher
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen		
KOH	Kaliumhydroxid (bzw. in wässriger Lösung Kalilauge)		
kWh	Kilowattstunde (Maßeinheit für die elektrische Energie)		
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung		
KWKK	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung		
LBST	Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH		
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell		
MPa	Megapascal; Druckeinheit – 1 MPa entspricht dem 10-fachen Atmosphärendruck		
MW	Megawatt (= 1 Million Watt)		
MWh	Megawattstunden (= 1000 kWh)		
NEDO	New Energy and Industrial Technology Development Organization; größte japanische Förderagentur für Forschung und Entwicklung		

7.2 Ergänzende Publikationen

- BAFA 2013** Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), Förderung von KWK-Anlagen, September 2013
http://www.bafa.de/bafa/de/energie/kraft_waerme_kopplung
Liste der förderfähigen KWK-Anlagen, regelmäßig aktualisiert, Stand 06.09.2013
http://www.bafa.de/bafa/de/energie/kraft_waerme_kopplung/mini_kwk_anlagen/publikationen/liste_foerderfaehigen_mini_kwk_anlagen.pdf
- Berger 2012** Analyse von Ansätzen für die erfolgreiche kommerzielle Einführung von Wasserstoffmobilität in Deutschland – Abschlussbericht, Studie im Auftrag der NOW, Stand: Februar 2012
- Clean Power Net 2015** Clean Power Net – Brennstoffzellen-Technologie in Industrie und Business
www.cleanpowernet.de, 29.07.2015
- EWG 2013** Energy Watch Group, 2013, Fossil and Nuclear Fuels – The Supply Outlook, 18. März 2013
www.energywatchgroup.org/
- GreenWiWo 2013** Wärme – Deutschland bei Heizungen Entwicklungsland, Green WiWo, 22.05.2013
<http://green.wiwo.de/warme-deutschland-bei-heizungen-entwicklungsland/>
- IBZ 2013** Initiative Brennstoffzelle IBZ
www.initiative-brennstoffzelle.de
- Kaminska 2014** Kaminska, I.: The dark side of data centres, Financial Times Alphaville 09. September 2014
<http://ftalphaville.ft.com/2014/09/09/1960891/the-dark-side-of-data-centres/> 22. April 2016
- LBST 1999** Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, H2T Liquid Hydrogen Delivery System, Altmann, Wurster, Zittel, Schneider, 1999
- Mills 2013** Mills, M.P. (Digital Power Group): The Cloud Begins With Coal – Big Data, Big Networks, Big Infrastructure, and Big Power. Studie der Digital Power Group, August 2013
http://www.tech-pundit.com/wp-content/uploads/2013/07/Cloud_Begins_With_Coal.pdf?c761ac 22. April 2016
- Muirhead 2015** Muirhead, R.: Data Centres Set to Overtake The Aviation Industry's Carbon Footprint
<http://www.firestartr.co/journal/2015/7/13/data-centres-set-to-overtake-the-aviation-industrys-carbon-footprint> 22. April 2016
- N2T 2013** Brennstoffzelle in Rechenzentrum in Betrieb genommen, 16. Juli 2013 http://www.h2bz-hessen.de/dynasite.cfm?dsmid=14456&newsid=13375&dsno_cache=1
- NEP 3.0 2011** Nationaler Entwicklungsplan 3.0 vom 13. Oktober 2011
http://www.ptj.de/lw_resource/datapool/_items/item_3363/nep_3_0_final.pdf
- Pike 2013** More Than 350,000 Stationary Fuel Cells Will Be Shipped Annually by 2022, Forecasts Pike Research, 09 January 2013
- SFM 2013** Schornsteinfegermeister.de, Zu viele Oldies in deutschen Heizungsräumen, www.schornsteinfegermeister.de, Bericht 01.02.2013
- Tobe 2015** Tobe, Chihiro, Agency for Natural Resources and Energy, Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan: New era of a hydrogen energy society; FC EXPO 2015, Japan, presentation, 26.02.2015
- VDMA 2015** Brennstoffzellen-Konjunkturspiegel 2015, VDMA, 14.04.2015
<http://bz.vdma.org/article/-/articleview/7715059>

7.3 Häufig gestellte Fragen

1. Ist Wasserstoff sicher?

Ja. Natürlich ist Wasserstoff ein Energieträger und deshalb sind wie bei jedem anderen Kraft-, Brenn- und Treibstoff auch im Umgang bestimmte Regeln zu beachten. Da H_2 leichter als Luft ist, steigt er immer nach oben. Wird Wasserstoff im Innenbereich genutzt, ist also für eine gute Be- und Entlüftung zu sorgen. Darüber hinaus werden in allen H_2 -Anwendungen Sensoren eingesetzt, welche die Konzentration des Wasserstoffs überwachen. Alle Produkte, die Wasserstoff nutzen, sind nach den geltenden Normen und Regelwerken geprüft und zertifiziert.

2. Sind die Wasserstoffvorräte begrenzt?

Nein. Wasserstoff kommt auf der Erde nicht in Reinform vor. Daher muss er aus anderen Stoffen hergestellt werden. Wasserstoff ist das häufigste Element im Universum und findet sich in chemischen Verbindungen wie Wasser, Kohlenwasserstoffen und anderen organischen Verbindungen. Aus diesen Verbindungen kann er durch Energieeinsatz gewonnen werden. Ziel ist es, Wasserstoff zukünftig ausschließlich mithilfe erneuerbarer Energien herzustellen.

3. Was hat Wasserstoff mit erneuerbarer Energie zu tun?

Daneben kann er die konventionellen Kraft- und Brennstoffe, die auf fossilen Energiequellen basieren, nachhaltig ersetzen. Für die Herstellung von Wasserstoff bedarf es, wie bei Strom auch, einer Energiequelle (Primärenergie). Die Primärenergie für die Erzeugung des Wasserstoffs soll zukünftig von den erneuerbaren Energien wie Wind, Sonne, Wasser oder Biomasse kommen, da die fossilen Primärenergien Öl, Gas und Kohle klimaschädliches Kohlendioxid emittieren, nur begrenzt vorhanden sind und dadurch immer teurer werden.

4. Wie umwelt- und klimafreundlich ist die Herstellung von Wasserstoff?

Da Wasserstoff keine Energiequelle, sondern ein Energieträger ist, muss er mit Hilfe anderer fossiler oder erneuerbarer Energieträger erzeugt werden. Weil die fossilen Energien begrenzt sind und ihre Nutzung das Klima schädigt, sollten sie nur für eine kurze Übergangszeit bei der Markteinführung für die Herstellung von Wasserstoff genutzt werden. Damit die Wasserstoffherzeugung von der Herstellung bis zur Verwendung so klimafreundlich wie möglich erfolgt, ist der Einsatz erneuerbarer Energien unabdingbar. Windenergie hat in Deutschland ein großes Potenzial, das bereits heute an Land mit einer installierten Leistung von 44 GW (Stand 31.12.2015) genutzt wird. Die Photovoltaik liegt mittlerweile bei einer vergleichbaren installierten Leistung.

5. Welchen Einfluss hat die Energiewende auf Herstellung und Nutzung von Wasserstoff?

Der endgültige Kernenergieausstiegsbeschluss aus dem Jahr 2011 bedeutet für das deutsche Energiesystem eine tiefgreifende Umstrukturierung. Komponenten dieser Umstrukturierung sind Effizienzsteigerung im Gesamtsystem, bessere Vernetzung des Stromtransportsystems, intelligentere Anpassung der Stromnutzung an das Stromangebot („Smart Grid“) und Stromspeicherung auf verschiedenen Spannungsebenen und über verschiedene Zeiträume sowie eine bessere synergetische Vernetzung des Energie- und Transportsystems. In einem solchen neuen Energiesystem wird auch die Speicherung von Energie eine zunehmend wichtige Rolle spielen. Wasserstoff kann hier als Speicherelement wertvolle Dienste leisten. In unterirdischen Salzkavernen lässt sich der deutsche Strombedarf mehrerer Tage in Form von Wasserstoff speichern, viel mehr als mit allen etablierten Speichertechnologien.

6. Warum wird Wasserstoff meistens in Verbindung mit der Brennstoffzelle genannt?

Die Zukunft der Energie ist von zwei Leitmotiven geprägt: Erstens soll die Energie immer effizienter genutzt werden und zweitens umweltfreundlich und in den erforderlichen Mengen erzeugt werden können. Brennstoffzellen als hocheffiziente Energie-wandler können Wasserstoff in verschiedenen Anwendungen nutzen und direkt in Strom umwan- deln, ohne schädliche Emissionen zu erzeugen (es entsteht lediglich Wasser). Sie sind damit auch der Nutzung von Wasserstoff in Verbrennungsmotoren überlegen und das bereits in kleinen Leistungsklas- sen. Auch die Erzeugung von Wasserstoff bleibt emissionsfrei, wenn dafür erneuerbare Energien genutzt werden.

7. Welche Bedeutung hat Wasserstoff für die Energiezukunft?

Wasserstoff hat das Potenzial, neben Strom der wichtigste Energieträger der Zukunft zu werden. Er kann grundsätzlich aus allen Primärenergien hergestellt werden und anders als Strom auch langfristig gespeichert werden. Das ist insbesondere im Zusammenhang mit der zunehmenden Erzeugung erneuerbarer Energie aus Wind und Sonne wichtig, da diese nicht konstant und bei Bedarf zur Verfügung stehen, sondern von der Wetterlage und Tageszeit abhängig sind. Aus Strom wird Wasserstoff produziert, gelagert und bei Bedarf entweder wieder als Strom unter Nutzung der entstehenden Abwärme ins Netz eingespeist oder als Kraftstoff im Verkehr genutzt.

Publikationen der e-mobil Baden-Württemberg zum Thema Wasserstoff und Brennstoffzellen



Energieträger der Zukunft

- Potenziale der Wasserstofftechnologie in Baden-Württemberg



Wasserstoff-Infrastruktur für eine nachhaltige Mobilität

- Entwicklungsstand und Forschungsbedarf



Die Rolle von Wasserstoff in der Energiewende

- Entwicklungsstand und Perspektiven



Kommerzialisierung der Wasserstoff- Technologie in Baden-Württemberg

Alle Publikationen:

→ <http://www.e-mobilbw.de/de/service/publikationen.html>

Impressum

Rechtlicher Hinweis:

Die Inhalte dieser Broschüre wurden mit größter Sorgfalt erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernehmen wir keine Gewähr. Diese Broschüre unterliegt dem Urheberrecht. Nachdruck und Vervielfältigung: alle Rechte vorbehalten.

Genderhinweis

Bei allen Bezeichnungen, die auf Personen bezogen sind, meint die Formulierung beide Geschlechter, unabhängig von der in der Formulierung verwendeten konkreten geschlechtsspezifischen Bezeichnung.

Originalfassung:

Hessisches Ministerium für Wirtschaft,
Energie, Verkehr und Landesentwicklung

Überarbeitung:
Zukunft Altbau

Konzept & Redaktion:
Die Regionauten

Gestaltung:
DITHO Design GmbH

Wir beraten Sie zur energetischen Sanierung – neutral, ganzheitlich und kostenlos.



Zukunft Altbau ist Teil der Energiekompetenz Baden-Württemberg.



Beratungstelefon
08000 12 33 33

www.zukunftaltbau.de

GEFÖRDERT DURCH:



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

ÜBERREICHT DURCH: