

Brennstoffzellensysteme für die Hausenergieversorgung

Callux-Projekt soll die Markteinführung beschleunigen

W. Wilming, Ahaus

Brennstoffzellensysteme für die Hausenergieversorgung stellen effizient und emissionsarm Strom und Wärme zur Verfügung. Sie entsprechen den wichtigsten Forderungen der aktuellen energie- und klimapolitischen Diskussion. Ihre Marktreife wurde häufig angekündigt, aber bis heute noch immer nicht erreicht. Ein „Leuchtturmprojekt“ mit Namen Callux soll jetzt die Entwicklung entscheidend vorantreiben.

1 Praxistest für Brennstoffzellen im Eigenheim

Im September des vergangenen Jahres startete das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) gemeinsam mit zehn Partnern aus Industrie und Wissenschaft den bisher bundesweit größten Praxistest von Brennstoffzellenheizgeräten fürs Eigenheim (Bild 1). Das Projekt mit dem Namen Callux soll jetzt die zähe Entwicklung dieser innovativen Energieversorgungstechnik zügig vorantreiben. „Wir wollen die Brennstoffzelle für zu Hause fördern“, erläuterte Bundesminister **Wolfgang Tiefensee** die Zielsetzung des Projekts. „Über 800 dieser hoch-effizienten Heizgeräte werden bundesweit in privaten Ein- und Mehrfamilienhäusern installiert und über einen Zeitraum von acht Jahren auf ihre Praxistauglichkeit getestet. Wir werden Brennstoffzellenheizgeräte bis zum Jahre 2015 zur Marktreife bringen, um eine wirkliche Alternative zu herkömmlichen Geräten zu schaffen.“

An Callux beteiligt sind die Heizgerätehersteller Baxi Innotech, Vaillant, Hexis und Viessmann sowie die Energieversorger EnBW, E.ON, EWE, MVV und VNG. Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung in Stuttgart (ZSW) übernimmt die Organisation der Zusammenarbeit auf der Projektebene und ist für die wissenschaftliche Begleitung der Aktivitäten zuständig. Die Gesamtverantwortung als zentrale Koordinationsstelle trägt die „Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ (NOW GmbH). Die Partner des Konsortiums sind optimistisch, dass nach der ersten Phase des Projektes, also bis zum Jahr 2012, bereits so viele Brennstoffzellenheizgeräte bundesweit installiert sind, dass anschließend in der zweiten Phase die Marktvorbereitungen anlaufen können.

Die folgenden Abschnitte stellen die Aktivitä-

ten und Ambitionen der am Projekt beteiligten Heizgerätehersteller und Energieversorger vor.

1.1 Gemeinsam mit Kunden zur Serienfertigung

„Der sich rasant wandelnde Energiemarkt rückt verstärkt die regenerative Energieerzeugung und ihre optimale Nutzung ins Licht. Auch die stationäre Brennstoffzelle für das Heizgerät im Eigenheim wird in absehbarer Zeit dazugehören“, gibt sich die Fa. Baxi Innotech optimistisch hinsichtlich der Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie bis zur marktfähigen Einführung. Und weiter: „Mit unseren Kunden in der Energieversorgung und Partnern in der Zulieferindustrie werden wir im engen Dialog gemeinsam den Weg bis zur Serienfertigung gehen.“ Dieses klare Bekenntnis zur Brennstoffzelle findet ihren Ausdruck in der Unterstützung des Callux-Projekts. Was in den letzten vier Jahren an Erfahrung in zwei Prototypen-Generationen in Feldtests gesammelt wurde, fließe nun mit sicheren Werten in dieses Leuchtturmprojekt ein, heißt es. Den Verlauf der Feldtests seit 2005 und den Status mit Datum Ende Oktober 2008 beschreibt das Unternehmen auf Anfrage wie folgt: Im November 2005 startete die erste BZ-Anlage (Typ BETA 1.5) im Feldtest, bis Dezember 2006 folgten zehn Anlagen dieses

Typs bundesweit und im europäischen Ausland. Dieses erste Feldtestprojekt konnte regulär im Januar 2008 abgeschlossen werden, der Vertrag wurde jedoch verlängert, um aus dem Dauerlastbetrieb weitere wichtige Erkenntnisse zu gewinnen. Die Weiterentwicklung des ersten Aggregats, die „BETA 1.5 Plus“-Anlage, wurde im September 2007 zum ersten Mal ins Rennen geschickt. Bis Oktober 2008 sind von beiden Ausführungen insgesamt 28 Aggregate zu Feldversuchen installiert worden (Bild 2), vier davon im europäischen Ausland, der Rest in Deutschland. Die nächste Generation soll ab 2010 das Kleinserienstadium erreichen. Die erste Auslieferung an Endverbraucher ist nach Erlangen der technischen Marktreife für 2013 zu erwarten. Das im März 2007 gegründete Unternehmen ist aus der European Fuel Cell GmbH (efc) hervorgegangen, die im August 2002 von der britischen Baxi Group Ltd. aufgekauft wurde. Erklärtes Firmenziel ist die Entwicklung von KWK-Technologien, insbesondere von Brennstoffzellenheizgeräten für das Einfamilienhaus im europäischen Markt.

1.2 Mit Eigenentwicklung zum Ziel

„Wir betrachten die Kraft-Wärme-Kopplung mit Brennstoffzellen, mit der sich Strom und Wärme am Ort des Verbrauchs erzeugen lässt, als eine der erfolgversprechendsten Zukunftstechnologien und beteiligen uns des-



2 Brennstoffzellenheizgerät von Baxi Innotech

Foto: Callux

1 Minister W. Tiefensee (5. v. l.) mit Teilnehmern des Callux-Projekts

Foto: Initiative Brennstoffzelle



Autor

Wilhelm Wilming ist Fachjournalist für erneuerbare Energien, Ahaus.

halb an Callux, dem bundesweiten Praxistest von Brennstoffzellen für Eigenheime“, so die Stellungnahme der Fa. Viessmann. Wie die Mehrzahl der Hersteller setzt das renommierte Unternehmen aus Allendorf beim Bau von Brennstoffzellenheizgeräten auf die PEM-Technologie. Dieser Typ ermöglicht durch seine hohe Leistungsdichte eine kompakte Bauweise, die dem Einsatz in Wohn-, Büro- und kleinen Gewerbegebäuden entgegenkommt. Das Unternehmen entwickelt seit dem Jahr 2000 im Rahmen eines vom Bundeswirtschaftsministeriums geförderten Projekts eine „BZ-Hausenergiezentrale“ (Bild 3). Man setzt dabei auf eigene Entwicklungsarbeit – von der Gasaufbereitung bis zum Brennstoffzellenstack. Über diese Detailarbeit will man wichtige Erkenntnisse gewinnen, die später in eine alltagstaugliche Handhabung und den Service einfließen können. Die Erfahrungen, die Viessmann in den letzten neun Jahren sammeln konnte, sollen auch dem Projekt Callux zugutekommen.

Zurzeit fährt der Hersteller Feldtests in alleiniger Regie: Im Oktober 2007 installierte man den Prototypen eines Brennstoffzellenheizgeräts in einem Einfamilienhaus. Der vollautomatische Betrieb des Geräts begann – nach umfangreichen Vorprüfungen – im Februar 2008. Es wird mit Erdgas betrieben und liefert sowohl elektrische als auch thermische Energie. Die elektrische Leistung liegt bei 1,35 kW, die Wärmeleistung bei 4,3 kW. Der Gesamtwirkungsgrad der Anlage erreicht einen guten Wert von 80 %. Ein konventioneller Heizwasserpufferspeicher mit integrierter Trinkwassererwärmung übernimmt die thermische Energie und beliefert so das Haus mit Wärme für die Heizung und die Warmwasserversorgung. Ergänzt wird die BZ-Anlage um ein herkömmliches Gaswandgerät, das bei erhöhtem Wärmebedarf einspringt, beispielsweise im Winter.

Das Ergebnis lässt für die Zukunft hoffen: In den ersten Betriebsmonaten von Februar bis August 2008 konnte ein erheblicher Anteil der im Haus benötigten Wärme über die Brennstoffzelle erzeugt werden. In den noch kalten Monaten Februar und März lag der Anteil der Brennstoffzelle an der Wärmeherzeugung bei 40 und 43 %, in den Sommermonaten Juni, Juli und August, wo kaum mehr geheizt werden musste, sogar bei über 80 %.

Das Brennstoffzellenheizgerät von Viessmann hat seine Funktionsfähigkeit also grundsätzlich bewiesen. Doch mit dem jetzigen Entwicklungsstand können Brennstoffzellen als Energiezentralen im Eigenheim noch nicht mit anderen umweltschonenden und wirtschaftlichen Techniken konkurrieren. So müssen der elektrische Wirkungsgrad, der Gesamtwirkungsgrad und die Robustheit des Systems erhöht werden. Probleme bereitet immer noch die zu schnelle Alterung des Brennstoffzellenstacks. Dieser mit „Degradation“ bezeichnete schleichende Leistungsverlust hat seine Ursache in Undichtigkeiten im Stack, und das bei nahezu allen Brennstoffzellensystemen. Bisher liegt die Lebensdauer der Stacks bei etwa 1,5 % Degradation pro 1000 Stunden, wie Simulationen unter systemnahen Bedingungen und im Laufe einer Betriebsdauer von 6000 Stunden gezeigt haben.

Das Unternehmen will zwar erst im Jahre 2010 bei Callux mit Demonstrationsanlagen einsteigen, ist aber sonst voll von diesem Leuchtturmprojekt überzeugt, wie aus dem Unternehmen verlautet. „Das im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) gestartete Programm Callux wird der Brennstoffzellentechnologie einen weiteren Entwicklungsschub geben und sie näher an die Markteinführung heranbringen“, so das entsprechende Statement.

1.3 Mit zwei Lösungen am Start

Das bekannte Heiztechnikunternehmen Vaillant konzentriert sich bei der Entwicklung von Brennstoffzellenheizgeräten auf zwei verschiedene technische Lösungen, um den unterschiedlichen Anforderungen von Kunden gerecht werden zu können.

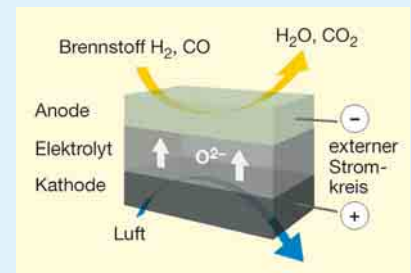
Die erste Lösung zielt auf den Einsatz in Mehrfamilienhäusern, Büro- und anderen Zweckgebäuden sowie kleinen Gewerbebetrieben ab (Bild 4). Das Unternehmen arbeitet hier seit 1998 mit dem amerikanischen Brennstoffzellenentwickler Plug Power zusammen. Ein europäisch-amerikanisches Konsortium mit Unterstützung der EU und dem US Department for Energy entwickelt Brennstoffzellenheizgeräte (BZH) auf Basis von HT-PEM-Brennstoffzellen (mit Hochtemperatur-Polymer-Membranen), die keine lange Vorlaufzeit benötigen, sondern sehr schnell startbereit sind und sich außerdem durch sehr gute Modulationseigenschaften auszeichnen. Es wurden bereits drei Prototypengenerationen entwickelt und gemeinsam mit Partnern in sieben europäischen Ländern erprobt. Die Leistungsdaten der BZ-Geräte liegen für dieses Marktsegment bei 4,6 kW elektrischer Leistung und etwa 10 kW thermischer Leistung. Es konnten Gesamtwirkungsgrade von über 80 % und elektrische Wirkungsgrade von mehr als 30 % nachgewiesen werden. Gleichzeitig arbeitet der Hersteller – und das ist die zweite Lösung – gemeinsam mit deutschen Partnerunternehmen an der Entwick-



3 Wie die Mehrzahl der Hersteller setzt auch Viessmann beim Bau von Brennstoffzellenheizgeräten auf die PEM-Technologie Foto: Viessmann



4 Vaillant konzentriert sich bei der Entwicklung von Brennstoffzellenheizgeräten auf zwei verschiedene technische Lösungen Foto: Vaillant



5 Schematische Darstellung des chemischen Prozesses in einer SOFC Quelle: Hexis

lung von Brennstoffzellenheizgeräten kleinerer Leistung für Einfamilienhäuser. Sie werden mit robusten Hochtemperatur-Brennstoffzellen-Systemen in SOFC-Technologie betrieben. Im Vordergrund stehen bei beiden Technologien vor allem die Bemühungen, die Dauerhaltbarkeit der Brennstoffzellenstacks zu verbessern. Außerdem arbeitet man nach eigenen Angaben intensiv daran, die Systeme technisch einfacher zu gestalten und die Kosten zu reduzieren.

Wie es weitergeht und wann mit einer Serienproduktion zu rechnen ist, beantwortet Alexander Dauensteiner, Produktmanager Innovation von Vaillant: „Zunächst bietet sich uns mit der Beteiligung am Leuchtturmprojekt

Anzeige

megacom

ist ein deutscher Hersteller für

Dementen-Schutz-Systeme

kompatibel mit allen gängigen Schwesternrufanlagen, fertig programmiert, zu einem hervorragenden Preis-Leistungs-Verhältnis.

Nähere Infos unter Telefon 04191 90850 oder www.megacom-gmbh.de

Callux der Bundesregierung als einem der Partner die Chance, bis 2015 an umfangreichen Praxistests der verschiedenen Brennstoffzellentechnologien teilzunehmen.“ Und weiter: „Callux ist ein langfristig angelegtes Projekt, das die Installation von mehr als 800 Brennstoffzellenheizgeräten vorsieht. Jedoch sind hierzu nach wie vor erhebliche Aufwände zur weiteren Entwicklung der Brennstoffzellenheizgeräte erforderlich. Einen Termin zur Serieneinführung kann man daher heute nicht seriös nennen. Sofern alle Ziele in Callux erreicht werden, dürften die Geräte, die am Ende der Projektlaufzeit installiert werden, einen Vorserienstand erreicht haben.“

1.4 SOFC statt PEM-Zelle

Die Schweizer Hexis AG setzt nicht wie die meisten Hersteller auf PEM-Brennstoffzellen, sondern vertraut der SOFC (Solid Oxide Fuel Cell), deren Funktion mit Betriebstemperaturen bis zu 1000 °C einhergeht (Bild 6). In Bezug auf Marktreife und Wirkungsgrade stehen die unter dem Namen Galileo 1000 N (Bild 6) installierten Geräte den konkurrierenden Technologien in nichts nach. Geschäftsführer Dr. Alexander Schuler erläutert den Stand der Entwicklung: „Wir haben zurzeit 17 Geräte im Feldtest, sieben davon im Rahmen des Callux-Projekts. Einige Systeme laufen bereits seit Anfang 2007. Das Sammeln von Erfahrungen ist für die Weiterentwicklung unerlässlich.“ Hauptherausforderungen seien zurzeit die Verlängerung der Lebensdauer der Zellenstacks und die Erhöhung der Zuverlässigkeit des Gesamtsystems, so Schuler weiter. Die Zuverlässigkeit beispielsweise werde noch durch einige Aufstellungs- und Betriebsbedingungen sowie durch Mängel an Peripheriekomponenten beeinträchtigt. Erste Optimierungen seien aber bereits erfolgreich durchgeführt worden. Auf die Frage nach Beginn der Serienproduk-

tion antwortet Dr. Schuler: „Der Verkauf an Endkunden könnte etwa ab 2012 beginnen.“ Das Unternehmen gehörte zuvor zum Sulzer-Konzern, der sich aber im August 2005 dazu entschloss, das Geschäftsfeld Brennstoffzellen aufzugeben. Seit Januar 2006 setzt Hexis die Aktivitäten mit einem neuen Investor und mit einem 15-köpfigen Team um Geschäftsführer Dr. Alexander Schuler fort. Bestehende Kooperationen mit Lieferanten werden weitergepflegt. Auch Partner aus der Versorgungswirtschaft signalisieren deutliches Interesse an einer weiteren Zusammenarbeit. Neu ist das von der Hexis AG mitinitiierte Brennstoffzellennetzwerk „Swiss SOFC Consortium“, in dem Wissenschaftler verschiedener Schweizer Hochschulen und Unternehmen an der Weiterentwicklung der SOFC arbeiten.

2 Energieversorger fühlen sich in der Pflicht

Neben den Heizgeräteherstellern spielen auch Energieversorger bei der Marktvorbereitung von stationären Brennstoffzellen eine Schlüsselrolle. So wird die EnBW Energie Baden-Württemberg AG im Rahmen von Callux rund 10,5 Mio. Euro in die Erprobung von Brennstoffzellen in der Hausenergie investieren und dabei in den kommenden vier Jahren 222 Brennstoffzellenheizgeräte installieren. Die ersten beiden Anlagen – zwei Brennstoffzellen vom Typ BETA 1.5 Plus von Baxi Innotech – laufen bereits und liefern rund 1,5 kW Strom und 3 kW Wärme. Mit der Einführung der neuen Technologie verfolgt EnBW nach eigenen Angaben gleichzeitig das Ziel, neue Geschäftsmodelle im Bereich der dezentralen Energieerzeugung zu entwickeln. Ähnlich denkt man bei MVV Energie. Beim Engagement im Bereich der erdgasbetriebe-



6 Brennstoffzellenheizgerät Galileo 1000 N von Hexis
Foto: Callux

nen Brennstoffzelle konzentrierte man sich vor allem darauf, die Markteinführung der Brennstoffzellentechnik beim Privatkunden und das Contracting im gewerblichen industriellen Bereich vorzubereiten, verlautet aus dem Mannheimer Energieunternehmen. Man ist sich sicher, dass auch Brennstoffzellenheizgeräte in naher Zukunft ihre Alltagstauglichkeit erreichen werden, ähnlich übrigens wie dezentrale BHKW-Anlagen, die MVV Energie seit mehr als zwei Jahren testet. Der Einsatz für die BZ-Technologie passe zur Unternehmensstrategie, die festlegt, sich auch der dezentralen Energieversorgung zu öffnen.

Eon Ruhrgas betont die wichtige Rolle der Brennstoffzelle im Hinblick auf knapper werdende Rohstoffe und den Stellenwert des Klimaschutzes in der Bevölkerung. Auf der



Messeangebot für je nur 399,- €
zzgl. MwSt



Messetermine:
Eltefa Stuttgart
25. – 27.03
Hannovermesse
20. – 24.04
Elektrotechnik Dortmund
EFA Leipzig
SPS Nürnberg

Metrel macht glücklich!

Jetzt mitfreuen und günstig zuschlagen: Weitere Messepakete zu Top-Preisen auf unserer Homepage. Doch günstig allein macht nicht glücklich – deshalb bietet Metrel immer extrakurze Lieferzeit und extraschnellen Kalibrierungsservice. Mehr Glücksmomente unter www.metrel.de und auf unserem Messestand.



Suche nach Lösungen für eine zukunftsorientierte Energieversorgung spielen diese innovative Technologie eine wichtige Rolle. Da das Unternehmen seit rund 15 Jahren auf diesem Gebiet forscht, verfügt es sicher über das nötige Know-how, um der Brennstoffzellentechnologie wichtige Impulse auf dem Weg zur Serien- und Marktreife geben zu können. Als Erdgaslieferant sieht Eon wie seine Konkurrenten Chancen, sich über Brennstoffzellenheizgeräte einen zusätzlichen Absatzweg zu erschließen.

Auch die EWE AG zählt sich in Deutschland zu den Vorreitern im Hinblick auf zukunftsorientierte Konzepte für die Versorgung mit Energie. So verweist das Unternehmen gern auf die so genannten Bullensee-Thesen, die man

gemeinsam mit renommierten Wissenschaftlern entwickelt hat. Kurz zusammengefasst geht es dabei darum, die Energieerzeugung aus den fossilen Rohstoffen Kohle, Öl und Erdgas sowie ihren Transport wesentlich effizienter zu machen, die bisher gewohnte Energieverwendung sparsamer zu gestalten und die erneuerbaren Energieträger Wind, Sonne und Biomasse in deutlich größerem Umfang zu nutzen. Eine dieser Thesen geht davon aus, so heißt es bei EWE, „dass die Bedeutung der dezentralen Stromerzeugung aus Kleinst-KWK-Anlagen, insbesondere aus Brennstoffzellen, wachsen und Erdgas dabei als Brückenkopf für eine nach 2030 teilweise entstehende wasserstoffbasierte Energieversorgung dienen wird.“ Die EWE AG plant, in den

nächsten Jahren mehr als 300 Brennstoffzellenheizgeräte in seinen Vertriebsgebieten in Niedersachsen, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern zu installieren. Damit stellt man den größten Anteil am Callux-Projekt. Dieses starke Engagement des Energiedienstleisters erklärt Dr. Thomas Neuber, EWE-Vorstand Beschaffung und Produktion, mit der Verantwortung seines Unternehmens für eine nachhaltige und zukunftsorientierte Energieversorgung und den Vorteilen der BZ-Technologie: „Brennstoffzellen sind die effizienteste Technologie im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung, die deshalb für einen ressourcenschonenden Einsatz im Einfamilienhaus sehr gut geeignet ist.“ Erste von EWE installierte Anlagen sind im Rahmen von Callux bereits in Betrieb gegangen.

Die VNG – Verbundnetz Gas AG ist traditionell im Osten Deutschlands verwurzelt, nutzt aber im Rahmen von Handelsaktivitäten, Beteiligungen und Kooperationen Chancen in ganz Deutschland und das Potential der Märkte in Mittel-, Ost- und Südeuropa. Im Bereich Brennstoffzelle sieht sie es als eine ihrer Hauptaufgaben an, das Handwerk in die Feldtests mit Brennstoffzellenheizgeräten einzubinden. Das Unternehmen mit Sitz in Leipzig engagiert sich bereits seit 2001 für die Brennstoffzelle und testete seither acht Geräte verschiedener Hersteller. Nicht nur von daher weiß man bei VNG, dass die Brennstoffzelle viele Vorteile bietet: „Sie erzeugt in Kraft-Wärme-Kopplung Strom und Wärme dort, wo sie verbraucht werden, Transportverluste sind also nicht in Rechnung zu stellen. Auch mechanische Verluste entfallen, da die Energieerzeugung auf chemischem Weg stattfindet. Die Brennstoffzelle erreicht über einen weiten Leistungsbe- reich hohe Wirkungsgrade, produziert dabei geringere Emissionen als andere Technologien auf Erdgasbasis und kann perspektivisch auch CO₂-neutral mit Bio-Erdgas oder Wasserstoff betrieben werden.“

Die Koordination von Callux auf Projektebene hat das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung (ZSW) in Stuttgart übernommen. Diese gemeinnützige Stiftung wurde im Jahr 1988 gegründet und befasst sich unter anderem mit den Themen Lithium-Ionen-Batterien, Biomassekonvertierung und Brennstoffzellentechnologie für stationäre sowie mobile Anwendungen. In einer ZSW-Pressemitteilung zum Projekt heißt es: „Eine der wichtigsten Aufgaben in allen Arbeitsfeldern ist für das ZSW seit jeher die Bildung einer Brückenfunktion zwischen der Energieforschung und dem Technologietransfer in die industrielle Anwendung. Das Projekt Callux verfolgt genau diesen Ansatz.“ Deshalb sei es außerordentlich erfreulich für das ZSW, an diesem wegweisenden Projekt nicht nur im Rahmen einer wissenschaftlichen Begleitung zu partizipieren, sondern sich als zentraler Projektkoordinator aktiv für einen erfolgreichen Projektverlauf einbringen zu können.

Brennstoffzellentypen in der Übersicht

Es werden heute die folgenden sechs Typen von Brennstoffzellen unterschieden. Die erstgenannten Buchstaben der Akronyme bezeichnen den jeweils verwendeten Elektrolyten, der zwischen Anode (Wasserstoff) und Kathode (Sauerstoff) die Energieumwandlung zu Strom besorgt. Die Buchstabengruppe FC steht für den englischen Begriff „Fuel Cell“ (Brennstoffzelle).

Alkalische Brennstoffzelle (AFC). Der Elektrolyt der AFC ist eine konzentrierte Kalilauge, in der OH⁻-Ionen von der Kathode zur Anode wandern. Sie stellt äußerst hohe Ansprüche an die Reinheit des zugeführten Wasserstoffs und Sauerstoffs. Sie hat bei einer Betriebstemperatur von unter 100 °C einen Wirkungsgrad von etwa 60 %. Sie kommt nur in speziellen Anwendungsgebieten in Frage, beispielsweise in der Raumfahrt oder beim Antrieb von U-Booten.

Polymermembran-Brennstoffzelle (PEMFC). Die PEMFC enthält als Elektrolyten eine hauchdünne Kunststoffmembran. Bei der elektrochemischen Reaktion im Stack wandern H⁺-Ionen von der Anode durch die Membran zur Kathode. Der elektrische Wirkungsgrad erreicht annähernd 60 %, die Betriebstemperatur liegt zwischen 70 und 90 °C. Eine PEMFC wird in der Regel mit Erdgas betrieben, was wegen des erforderlichen Reformierungsprozesses allerdings einen relativ hohen technischen Aufwand nach sich zieht, der zudem einige Zeit in Anspruch nimmt. Mit Erdgas betriebene PEMFC eignen sich deshalb in der Praxis nur für stationäre Anlagen mit kontinuierlichem Betrieb, wie er beispielsweise bei einer Hausenergieversorgung gegeben ist.

Direkt-Methanol-Brennstoffzelle (DMFC). Eine Weiterentwicklung der PEMFC ist die DMFC (Direct Methanol Fuel Cell). Sie lässt sich direkt mit flüssigem Methanol (80 bis 90 °C) oder Methanoldampf (120 bis 130 °C) betreiben. Vorteile sind das geringere Gewicht, das schnellere Ansprechverhalten mit

besserer Dynamik sowie geringere Investitions- und Betriebskosten. Doch leider sind die zurzeit erreichbaren Leistungsdichten noch relativ gering. Deshalb kommt die DMFC vorläufig nur als Stromversorgung von Handys oder Notebooks.

Phosphorsaure Brennstoffzelle (PAFC). Die PAFC wird mit Erdgas und Luft betrieben, wobei das Erdgas zu einem Prozessgas mit etwa 80 % Wasserstoff aufbereitet werden muss. Die Betriebstemperatur liegt zwischen 160 und 220 °C. Die PAFC ist im Hinblick auf Verunreinigungen weniger empfindlich als andere Brennstoffzellen. Der elektrische Wirkungsgrad liegt allerdings nur bei etwa 42 %.

Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (MCFC). Die MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) arbeitet mit einem Elektrolyten aus einer Mischung von Kalium- und Lithiumkarbonat, die bei etwa 480 °C schmilzt. Diese alkalische Karbonatschmelze wirkt stark korrosiv und stellt von daher sehr hohe Anforderungen an die verwendeten Werkstoffe. Ein weiteres Problem ist die mögliche vorzeitige Auflösung der Kathode. Die MCFC kann mit Erdgas und Sondergasen betrieben werden. Ein separater externer Reformier ist nicht notwendig, da die Betriebstemperatur von 650 °C eine zellinterne Reformierung erlaubt. Der elektrische Wirkungsgrad liegt bei etwa 50 %.

Oxydkeramische Brennstoffzelle (SOFC). Die SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) besitzt einen festen keramischen Elektrolyten, der nur für Sauerstoffionen durchlässig ist. Mit einer Betriebstemperatur bis zu 1000 °C kann sie das Erdgas zellintern zu Wasserstoff reformieren. Der Wirkungsgrad erreicht Werte zwischen 55 und 70 %. Eine besondere technische Herausforderung stellen die extrem hohen Betriebstemperaturen dar. Das Forschungszentrum Jülich hat einen neuartigen SOFC-Zellenaufbau entwickelt, der eine Absenkung der Betriebstemperatur um 200 °C ermöglicht. Diese neue Zelle liefert außerdem die sechsfache Menge an Strom.