



*Volker Nerlich
Business Development
Hexis AG
Winterthur, Schweiz*

Brennstoffzelle — Eine Zukunftstechnologie im Einfamilienhaus

**Fuel cells – a technology of the future
for detached housing**

**Cella a combustibile – una futura
tecnologia per case unifamiliari**

Dokument in Deutsch

Brennstoffzelle – eine Zukunftstechnologie im Einfamilienhaus

1 Einleitung

Ressourcenschonung und Umweltschutz bestimmen vor dem Hintergrund wahrnehmbarer Beeinträchtigung unserer Umwelt und zukünftiger Energieversorgung in der Öffentlichkeit eine immer größere Rolle. Sei es die Erkenntnis, dass die weltweiten Vorkommen an fossilen Energieträgern wie Erdgas endlich sind und in den Händen weniger Nationen liegen oder dass zunehmende Kohlendioxid-Emissionen und Klimaerwärmung doch in einem Zusammenhang stehen. Die Anstrengungen von Politik und Wirtschaft erhöhen sich, diesen Herausforderungen zu begegnen.

Die Energieversorgung von Häusern spielt in der Gesamtbilanz des Primärenergieverbrauchs und der Kohlendioxid-Emissionen zum Beispiel in Deutschland eine gewichtige Rolle. Wohnhäuser werden mit den Endenergien Wärme und Elektrizität versorgt. Elektrizität wird hier für die Bereiche Beleuchtung, mechanische Energie und Kommunikation benötigt. Wärme wird zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser genutzt. Abbildung 1 zeigt unter anderem den Endenergieverbrauch in Haushalten.

Bis im Haushalt Nutzenergie in Form von Licht und Wärme eingesetzt werden kann, entstehen in der Kette der Umwandlung von Primärenergie (natürlich vorkommende Energieformen oder Energieträger) in Endenergie wie Strom sowie von Endenergie in Nutzenergie Transport- und Umwandlungsverluste.

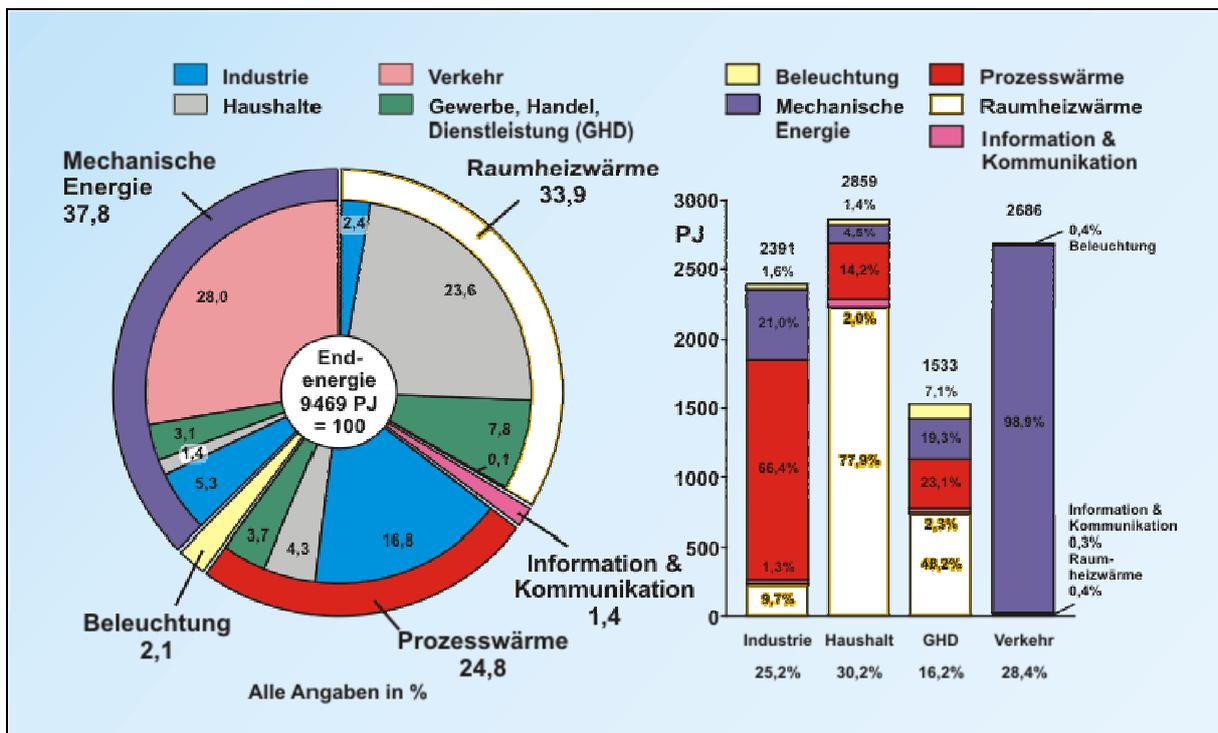


Abbildung 1: Aufteilung des Endenergieverbrauchs in Deutschland 2001 [1]

Knapp ein Drittel der in Deutschland eingesetzten Endenergie wird in Haushalten eingesetzt. Davon werden etwa 92 % für Raumwärme und Warmwasser benötigt, der Rest wird für elektrische Anwendungen eingesetzt. Um diese Endenergie anzubieten, treten Verluste in der Größenordnung von etwa 35 % auf. Ähnlich hoch liegen die Verluste mit etwa 34 %, um

Endenergie in Nutzenergie umzuwandeln [1]. Auf der Seite des Verbrauchs und der Umwandlung findet sich somit noch reichlich Verbesserungspotenzial.

Zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser werden in der Regel Erdgas, Heizöl und Strom eingesetzt. Strom wird meistens aus Erdgas und Kohle erzeugt, wenn der fossile Weg gewählt wird, alternativ aus Kernenergie und regenerativen Energiequellen. Bis auf die letzten beiden Formen, sind alle Energieträger mit der Emission von Kohlendioxid und Schadstoffen wie Stickoxiden und Kohlenmonoxid verbunden.

2 Kraft-Wärme-Kopplung

Als Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird die bauartbedingt gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme am Ort des Verbrauchers bezeichnet. Kraft-Wärme-Kopplung wird zum Beispiel in großen Heiz-Kraftwerken zur Fernwärmeversorgung von Ballungsräumen eingesetzt. Die Nahwärmeversorgung von Wohngebieten sowie gewerblichen und industriellen Betrieben übernehmen Block-Heizkraftwerke. MikroKWK-Systeme mit einer elektrischen Leistung von weniger als 5 kW_{el} versorgen einzelne Objekte wie Ein- und Mehrfamilienhäuser.

Kraft-Wärme-Kopplung ist ein wirtschaftlicher Weg, den Einsatz von fossilen Energie-Ressourcen und gleichzeitig die Emissionen von Kohlendioxid zu reduzieren. Kraft-Wärme-Kopplung mit Brennstoffzellen eröffnet zusätzlich die Möglichkeit, besonders emissionsarm und effizient die im Haus benötigte Energie bereit zu stellen.

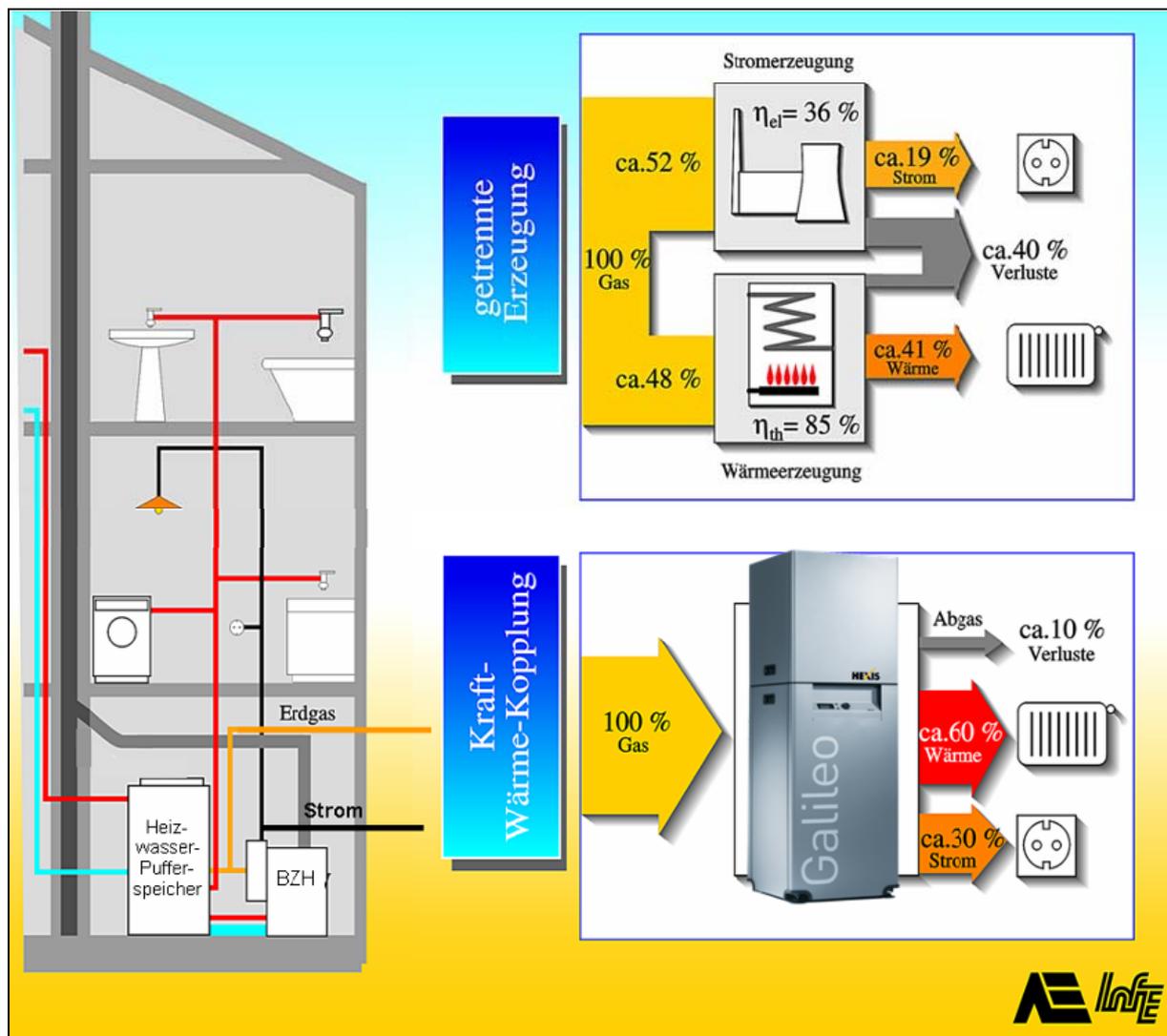


Abbildung 2: Energieversorgung eines Einfamilienhauses konventioneller Art und mit KWK [2]

Abbildung 2 illustriert den Vergleich zwischen Kraft-Wärme-Kopplung mit einem Brennstoffzellen-Heizgerät und getrennter Energieerzeugung. Gemäß diesem Beispiel kann bei KWK Primärenergie mit Verlusten von etwa 10 % gegenüber etwa 40 % bei getrennter Erzeugung von Strom und Wärme umgewandelt werden. Zudem werden hierbei die lokalen und globalen Schadstoffemissionen durch eine verbrauchsnahe Energieerzeugung reduziert.

3 Energieversorgung in Einfamilienhäusern

In der technischen Gebäudeausrüstung werden verschiedenen Technologien zur Wärme- und Stromversorgung in Einfamilienhäusern eingesetzt. Das Spektrum reicht vom konventionellen Öl-/Gas-Heizkessel bis zu Systemen, die ausschließlich erneuerbare Energie wie zum Beispiel Sonnenenergie oder Biomasse in Solarkollektoren und Holzpellet-Heizkessel nutzen.

MikroKWK-Systeme bis zu einer elektrischen Leistung von 5 kW, deren Energiewandler Brennstoffzellen, ein Stirling-Motor, oder ähnliches ist, erzeugen Wärme und Strom gleichzeitig. Eine Photovoltaik-Anlage dagegen erzeugt nur Strom, der beispielsweise in Deutschland ins Netz der öffentlichen Versorgung eingespeist wird. Die elektrische Wärmepumpe nutzt die Umgebungswärme (z.B. Boden- oder Luftwärme) und Strom, um daraus bedarfsgerecht Raumwärme und Warmwasser zu erzeugen. Ein Solarkollektor wird naturgemäß in Kombination mit einem konventionellem Öl-/Gas-Heizkessel oder einer Wärmepumpe betrieben und kann damit die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser nur unterstützen. Tabelle 1 zeigt eine Zusammenstellung dieser Technologien für das Einfamilienhaus.

Tabelle 1: Technologien zur Wärme- und Stromversorgung in Einfamilienhäusern (Bestand) in Mitteleuropa

Technologie	Nutz-Energie	Effizienz el, ges [%]	Energieträger	Markt- reife
MikroKWK-System (<5 kW _{el}) mit				
▪ Brennstoffzelle	Strom & Wärme	30, 100	Erdgas	--
▪ Stirling-Motor	Strom & Wärme	15, 95	Erdgas	-
▪ Dampf-Motor	Strom & Wärme	18, 90	Erdgas	-
▪ Verbrennungsmotor	Strom & Wärme	20, 85	Erdgas	+
Photovoltaik-System	Strom	12, -	Sonne	+
Wärmepumpe (elektrisch)				
▪ Erdsonde	Wärme	-, 350	Uwärme + Strom	+
▪ Luft	Wärme	-, 250	Uwärme + Strom	+
Pellet-Heizkessel	Wärme	-, 80	Holz	+
Solarkollektoren				
▪ zur Warmwasserbereitung	WWB		Sonne	++
▪ zur Heizungsunterstützung	Wärme		Sonne	+
Gas-Heizkessel				
▪ Brennwert	Wärme	-, 105	Erdgas	++
▪ Niedertemperatur	Wärme	-, 85	Erdgas	++
Stromheizung	Wärme	-, 100	Strom	++

Legende: Gesamte Anlagen-Effizienz für Strom- und Wärmeerzeugung, Wärme = Raumwärme und Warmwasserbereitung (WWB), Uwärme: Umgebungswärme wie aus dem Erdreich oder der Außenluft, Marktreife:

--: im F&E-Stadium, -: kurz vor Markteinführung, +: etabliert im kleinen Markt, ++: Massenmarkt

Beim Vergleich dieser Technologien ist es unerlässlich, die Gesamt-Energiebilanz eines Gebäudes zu betrachten. Systeme, die ausschließlich Wärme erzeugen oder nur die Warmwasserbereitung unterstützen, können energetisch nicht mit MikroKWK-Systemen, die Strom und Wärme bereitstellen, verglichen werden. Hier muss der Gesamt-Energiebedarf und -aufwand zur Bereitstellung von Strom, Wärme und Warmwasserbereitung berücksichtigt werden.

Folglich ist es grundsätzlich empfehlenswert bei der wirtschaftlichen und ökologischen Bewertung von Energieversorgungssystemen, die Gebäudegrenzen als Bilanzgrenzen zu nutzen, Ebenfalls sollten die zum Beispiel bei der Stromversorgung freigesetzten Emissionen einbezogen werden.

Das Schweizer Unternehmen Hexis AG hat sich zum Ziel gesetzt, zur Erfüllung beider Ziele ein Brennstoffzellen-Heizgerät für Ein- und Mehrfamilienhäuser zu entwickeln. Dieses Gerät soll dort zukünftig den konventionellen Gas-Heizkessel ersetzen und zusätzlich Strom erzeugen.

4 Brennstoffzellen-Heizgerät Galileo 1000 N

Das Brennstoffzellen-Heizgerät von Hexis deckt mit einer elektrischen Nennleistung von max. 1 kW, einer Nenn-Wärmeleistung von max. 2,5 kW und einem integrierten Zusatzbrenner mit einer Nenn-Wärmeleistung von 20 kW den Stromgrundbedarf und den gesamten Wärmebedarf - Raumwärme und Warmwasser - eines typischen mitteleuropäischen Einfamilienhauses. Der gas-betriebene Zusatzbrenner schaltet bei Bedarf automatisch zu. Das Brennstoffzellen-Heizgerät ersetzt somit den Gas-Heizkessel und erzeugt zusätzlich Strom. Das Gerät wird an das Erdgasnetz und netzparallel an das Stromnetz angeschlossen. Ein Inselbetrieb ohne Anschluss an das Stromnetz ist für die Zukunft geplant.

Galileo 1000 N hat folgende wesentliche Eigenschaften

- Hoher elektrischer und Gesamt-Wirkungsgrad
- Niedrige Schadstoffemissionen
- Geräuscharmer Betrieb
- Kompakte Bauform
- Abmessungen und Installation analog konventionellem Gas-Heizkessel

Das System ist CE-zertifiziert. Ende 2006 bzw. Anfang 2007 ist die Auslieferung der ersten Feldtest-Geräte an Partner aus der Energieversorgungswirtschaft geplant.



Abbildung 3: Brennstoffzellen-Heizgerät Galileo 1000 N

Das Brennstoffzellen-Heizgerät wird im Markt der technischen Gebäudeausrüstung für Wohnhäuser eingeführt. Dazu sollten auf der Nutzerseite folgende Randbedingungen erfüllt sein:

- Als KWK-System benötigt es für den optimalen Betrieb einen ausreichend großen Gebäude-Wärmebedarf. Dieser Mindest-Wärmebedarf ist abhängig von der Witterung, der Anzahl und dem Nutzerverhalten der Bewohner. Idealerweise verfügt das Haus zusätzlich über eine Warmwasserbereitung mit indirekt beheizten Speicher-Warmwasserbereitern¹. Der notwendige Wärmebedarf ist in der Regel in Gebäuden aus dem Bestand gegeben. Der Betrieb in Neubauten ist jedoch durch gute Modulati-onfähigkeit ebenfalls möglich.
- Traditionell wird in Europa zur Wärmeverteilung eine Pumpen-Warmwasser-Heizung eingesetzt. Das Brennstoffzellen-Heizgerät wurde dafür ausgelegt, in Objekten, in denen Heizungswasser als Wärmeträger genutzt wird, die Wärmeversorgung zu übernehmen.
- Galileo 1000 N wandelt Erdgas in wasserstoff-reiches Gas um und benötigt somit den Anschluss an das öffentliche Gasnetz.
- Galileo 1000 N ist mit 1 kW elektrischer Leistung nicht in der Lage, den gesamten Strombedarf eines Einfamilienhauses abzudecken. Für die Befriedigung des Spitzenlastbedarfs ist die Anbindung an das Stromnetz erforderlich. Galileo wird somit netzparallel betrieben, ist aber in der Lage, bei Stromausfall den Heizbetrieb auf Grund der Eigenstromversorgung aufrecht zu erhalten.
- Insbesondere in der Anfangsphase der Markteinführung ist das Brennstoffzellen-Heizgerät auf Endkunden angewiesen, die ein großes Interesse für umweltfreundliche und innovative Technik haben und einen höheren Aufwand hierfür nicht scheuen.

Galileo 1000 N ist ein Gerät, mit dem der Käufer in der häuslichen Energieversorgung nach dem Gas-Brennwertkessel die nächste Steigerung an Energieeffizienz, Umweltschutz und Innovation vollziehen kann. Die kostbare Ressource Erdgas wird mit großem Wirkungsgrad in hochwertigen Strom umgewandelt. Wärme, die im konventionellen Kraftwerksprozess an die Umgebung abgegeben wird, deckt im Haus den Raumwärme- und Warmwasserbedarf ab.

4.1 Systemaufbau

In Bezug auf die Wärmeproduktion ist das Brennstoffzellen-Heizgerät Galileo 1000 N mit einem modernen Gas-Brennwert-Heizkessel vergleichbar. Im kondensierenden Betrieb kann es wahlweise raumluftunabhängig oder raumluftabhängig betrieben werden. Was es von konventionellen Heizgeräten unterscheidet, ist seine Fähigkeit, Strom zu produzieren.

Galileo 1000 N besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen. Im oberen Teil befindet sich das Brennstoffzellenmodul. Im unteren Teil sind die Komponenten für Stromumwandlung, Wärmeauskopplung und Bereitstellung der Zusatzwärme untergebracht. Als zentrales, tragendes Bauteil dient ein Doppelkammer-Wärmetauscher. In ihm sind der Zusatzbrenner mit Lüfter und Gas-Luft-Verbund sowie die Heizkreispumpe integriert. Über einen Heiz-Wasserkreislauf kann die Abwärme der Brennstoffzelle und des Zusatzbrenners für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser genutzt werden. Die Abgasströme werden in einer Kondensatsammelwanne vereint. Das darin integrierte Brennstoffzellegebläse stellt die Luft für die elektrochemische Reaktion in der Brennstoffzelle bereit. Das System wird im Unterdruck betrieben, wodurch eine inhärente Sicherheit gegenüber Gas-Leckage gegeben ist.

Durch den kompakten und sehr effizienten Wärmetauscher, sowie den hohen Integrationsgrad und die gute Isolation wird ein System mit einem sehr hohen Gesamtwirkungsgrad rea-

¹ In indirekten Warmwasser-Speichern wird Heizungswasser über einen Wärmetauscher zur Erwärmung des Trinkwassers eingesetzt. Dieser Speichertyp bietet damit eine weitere Wärmesenke an, die eine bessere Auslastung des MikroKWK-Systems ermöglicht.

lisiert (95-105% im typischen Arbeitsbereich). Damit ist es möglich, dass ein MikroKWK-System in der Ökobilanz besser abschneiden kann als die heute übliche Kombination aus effizientem Heizkessel und Strom aus der Steckdose.

Das System wird parallel zum elektrischen Netz betrieben. Der dafür notwendige Inverter wandelt Gleich- in 230V-Wechselstrom um. Zusätzlich stellt er die Eigenversorgung der internen Bauteile sicher. Dadurch kann das System auch bei einem Ausfall des elektrischen Netzes betrieben werden. Zukünftig ist auch die Notstrom-Versorgung von wichtigen externen Geräten vorgesehen.

Mit der Bedieneinheit lassen sich mit einem Dreh-Druck-Knopf alle Einstellungen für das System vornehmen und alle Betriebsdaten abfragen. Parallel dazu kann das System auch über eine serielle Schnittstelle bedient bzw. programmiert werden. Der integrierte Energiemanager regelt den Systembetrieb entsprechend der angeschlossenen Peripherie und dem Nutzerverhalten.

Brennstoffzellenmodul

Bedienfeld

**Doppelkammer-
Wärmetauscher
mit Zusatzbrenner**

Wechselrichter

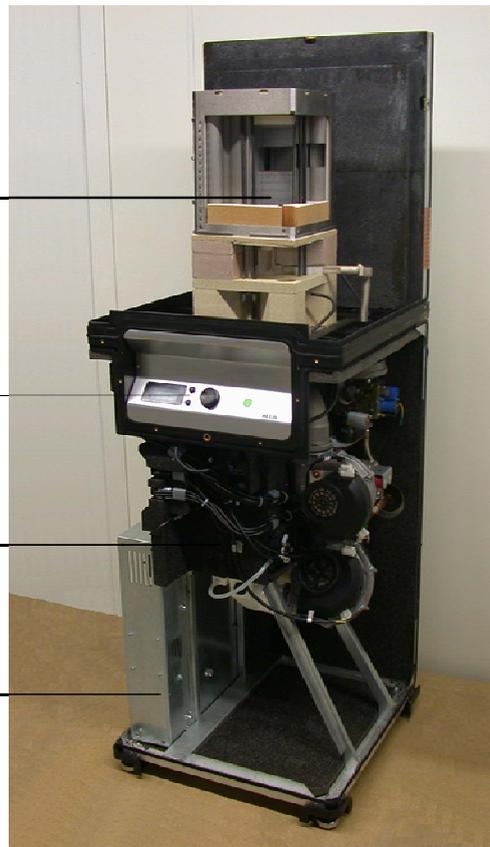


Abbildung 4: Brennstoffzellen-Heizgerät Galileo 1000 N ohne Verkleidung

Durch den modularen Aufbau kann der Applikationsteil (unterer Teil) und das Brennstoffzellenmodul (oberer Teil) vergleichsweise einfach installiert werden. Der Systemteil ist in sich wieder modular aufgebaut. Durch die Verwendung von Standardteilen aus der Heizgerätebranche ist das Gerät servicefreundlich konzipiert und darüber hinaus für eine Serienfertigung geeignet. Das System kann mit verschiedenen Speichertypen kombiniert werden. Der Installateur hat somit die Möglichkeit, je nach den räumlichen Gegebenheiten und der Nutzungsstruktur die ideale Kombination auszuwählen.

4.2 Realisierte Objekte

Praxisbeispiele von Wohnobjekten mit Brennstoffzellen-Heizgeräten wurden von Hexis bereits mit einem Vorserien-System realisiert. Diese drei Ein- und Mehrfamilienhäuser stehen stellvertretend für insgesamt über 100 Objekte, in die in Deutschland, der Schweiz und Österreich Brennstoffzellen-Heizgeräte bis 2005 installiert und betrieben worden sind.



Abbildung 5: Beispiele für Wohnhäuser mit Brennstoffzellen-Heizgeräten in Deutschland und der Schweiz

Neben den Objekten bei oben genannten Energieversorgungsunternehmen GVM Mittelland AG, Arlesheim (CH), EnBW Energie Baden-Württemberg, Karlsruhe (D) und EWE AG, Oldenburg (D) wurden weitere Geräte bei Axpo AG, Baden (CH), E.ON Energie, München (D), EWR AG, Worms (D), RWE Energie AG, Essen (D) und VNG Verbundnetz Gas AG, Leipzig (D) eingesetzt.

Die wertvollen Erfahrungen aus der Installation und dem Betrieb dieser Anlagen sind in die Entwicklung von Galileo 1000 N eingeflossen.

4.3 Vergleich der Kohlendioxid-Emissionen

Da Brennstoffzellen mittel- bis langfristig als Brennstoff den fossilen Energieträger Erdgas nutzen werden, führt ihr Einsatz ebenfalls zur Emission von Kohlendioxid. Dank der gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung und des hohen Gesamtwirkungsgrades ist aber im Vergleich zu konventionellen Systemen von einer hohen Energieeffizienz und geringen Emissionen auszugehen.

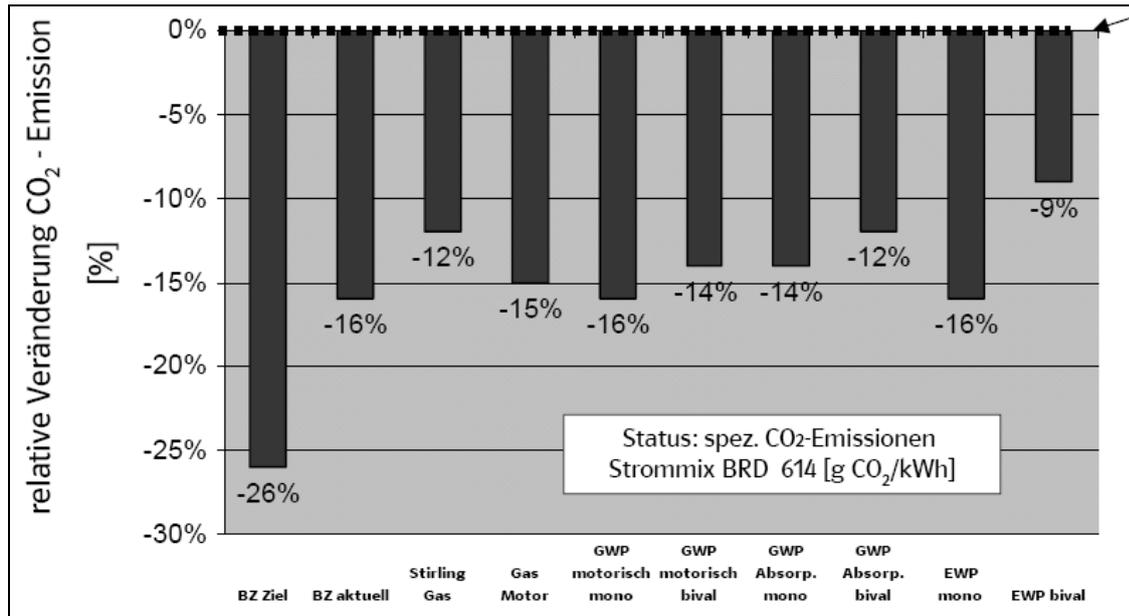


Abbildung 6: Vergleich der CO₂-Emissionen von MikroKWK-Systemen und Konkurrenztechnologien, Referenzsystem: Gas-Brennwertkessel und Strombezug vom Netz [3] (Legende: BZ: Brennstoffzelle, GWP: Gas-Wärmepumpe, EWP: Elektro-Wärmepumpe, mono: monovalent, bival: bivalent)

Wie als Ergebnis einer Simulationsberechnung der E.ON Ruhrgas AG in Abbildung 5 illustriert wird, ist die CO₂-Minderung durch Brennstoffzellen-Heizgeräte bereits heute, wo sich die Geräte aller Hersteller noch in der Entwicklung befinden, überdurchschnittlich hoch. Wenn die definierten und erreichbaren Zielwerte realisiert worden sind, kann davon ausgegangen werden, dass im Einfamilienhaus mit Brennstoffzellen-Heizgeräten die größten CO₂-Minderung-Erfolge nachweisbar sein werden.

5 Brennstoffzellen

Brennstoffzellen wandeln in einem Schritt die beispielsweise im Erdgas gebundene chemische Energie elektrochemisch in elektrische Energie um. Abbildung 7 zeigt im Vergleich dazu, wie bei Verbrennungsmotoren für diese Umwandlung mehrere Schritte benötigt werden. Dort wird chemische Energie in der Verbrennungskammer in thermische Energie umgewandelt, welche wiederum über die Kolben und die Antriebswelle in mechanische Energie umgewandelt wird. Im Generator wird daraus dann elektrische Energie erzeugt.

Daraus lässt sich ableiten, dass der Verbrennungsmotor bei vergleichbarer Leistungsgröße mit höheren Verlusten als ein Brennstoffzellen-System arbeitet, da jeder einzelne Umwandschritt mit Verlusten behaftet ist.

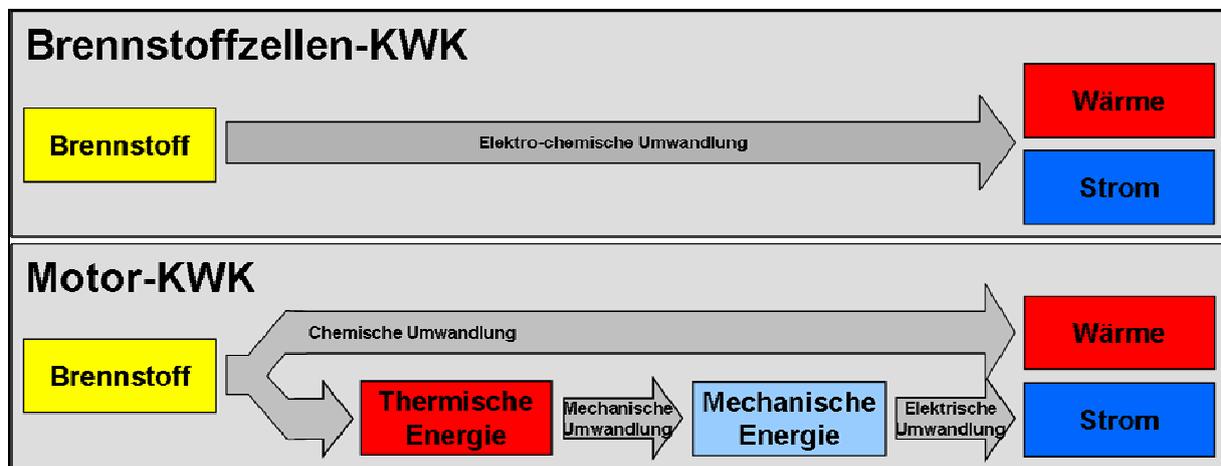


Abbildung 7: Stufen der Brennstoffumwandlung bei Kraft-Wärme-Kopplung mit Brennstoffzelle und Verbrennungsmotor

Es werden verschiedene Typen von Brennstoffzellen unterschieden, wobei die beiden wesentlichen Merkmale die Betriebstemperatur und die Art des Elektrolyten sind. Brennstoffzellen sind immer aus einer Anode, einem Elektrolyten und einer Kathode zusammengesetzt. Zusätzlich verbindet ein metallischer Stromleiter zwei in Serie geschaltete Zellen, um den erzeugten Strom abzuführen. Je nach Betriebscharakteristik werden die Brennstoffzellen in unterschiedlichen Anwendungen eingesetzt. Folgende Tabelle gibt dazu eine Übersicht:

Tabelle 2: Brennstoffzellen-Typen und deren Eigenschaften [4, 5]

Brennstoffzellen-Typ	Niedertemperatur-Brennstoffzellen			Hochtemperatur-Brennstoffzellen	
	Alkalisch (AFC)	Polymerelektrolyt-Membran (PEMFC)	Phosphorsauer (PAFC)	Karbonat-schmelzen (MCFC)	Oxidkeramisch (SOFC)
Elektrolyt	Wässrige KOH-Lösung (30 %-ig)	Saure Protonenaustausch-Membran	Konzentrierte Phosphorsäure in Matrix	Alkalikarbonat-schmelzen in Matrix	Keramischer Festkörper (Zr(Y)O ₂)
T-Bereich (Zelle)	60-90 °C	0-80 °C	130-220 °C	650 °C	800-1000 °C
Brenngas (primär)	reinst H ₂	H ₂ , Methan, Methanol	Methan, H ₂	Methan, Kohlegas, Sondergase	Methan, Kohlegas, H ₂ , Sondergase
Systemkomponenten	Zelle, Wasseraus-schleusung	Reformer, Gasreinigung, Zelle	Reformer, Konverter, Zelle, Wärmetauscher	Vergasung oder Reformer, Zelle, Wärmetauscher	Zelle, Wärmetauscher
Systemwirkungsgrade	bis ~ 60 %	bis ~ 60 % (H ₂) bis ~ 40 % (CH ₄)	bis ~ 40 %	bis ~ 48-55 %	bis ~ 55 %
Kommentar	CO ₂ -empfindlich	CO-empfindlich	schwach CO-empfindlich	CO ₂ ist im Kreislauf der Zelle zugeführt	Einfache Reformierung der Brenngase
Leistungsbereich	Bis 100 kW _{el}	Einige W _{el} bis etwa 100 kW _{el}	Einige hundert kW _{el}	Einige hundert kW _{el} bis MW _{el}	1 kW _{el} bis einige hundert MW _{el}
Einsatzbereiche	Mobil: Raumfahrt	Stationär/Mobil/Portabel: HEV, USV, APU, Fahrzeuge, Kleinstverbraucher	Stationär: Gewerbliche und industrielle KWK	Stationär: Gewerbliche und industrielle KWK	Stationär: HEV, gewerbliche und industrielle KWK, APU

Legende: Sondergase: Bio-, Klär- und Deponiegase, APU: Auxilliary Power Unit, HEV: Hausenergieversorgung, USV: Unterbrechungsfreie Stromversorgung

6 Erläuterung der Festoxid-Brennstoffzelle

Hexis setzt im Brennstoffzellen-Heizgerät Galileo 1000 N eine Hochtemperatur-Brennstoffzelle vom Typ SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) ein. Am Beispiel der SOFC wird im Folgenden nun das Prinzip der Brennstoffzelle erläutert.

In einem elektrochemischen Prozess wandeln Brennstoffzellen Wasserstoff in Wärme – und zusätzlich in Strom um. In einer speziellen Vorrichtung des Brennstoffzellen-Heizgerätes, dem Vorreformer, wird Erdgas mittels katalytischer Teiloxidation in Wasserstoff und Kohlenmonoxid aufgespalten.

6.1 Elektrochemischer Prozess

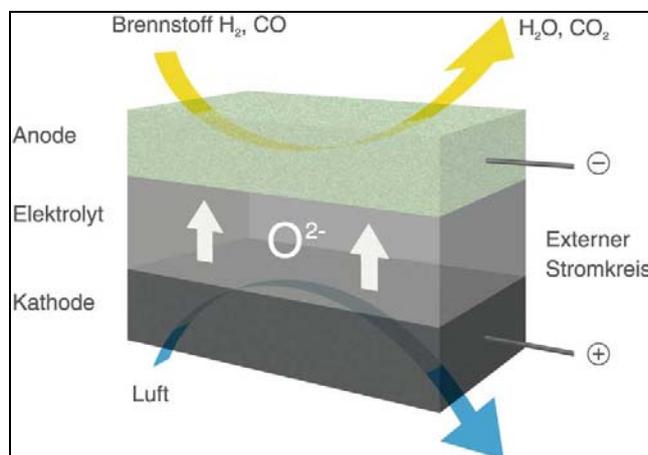


Abbildung 8: Elektrochemischer Prozess der SOFC

An der Anode oxidiert das vorreformierte Gasgemisch aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid mit Sauerstoff-Ionen, die von der Luft zugeleitet werden. Hierbei werden Elektronen freigesetzt, die durch einen elektrischen Leiter außerhalb der Brennstoffzelle auf die Kathode geleitet werden. An der Kathode wird ein Teil des Luftsauerstoffs mit den freigesetzten Elektronen reduziert, wodurch Sauerstoff-Ionen entstehen. Diese werden bei einer Betriebstemperatur von 900 bis 1000 Grad Celsius durch den dann Ionen-leitfähigen Elektrolyten transportiert. Auf der Anodenseite rekombinieren diese Ionen mit dem Brennstoff zu Wasserdampf und Kohlendioxid. Die hierbei von der Anode auf die Kathode geleiteten Elektronen werden als elektrischer Strom genutzt.

6.2 Prinzip Hexis-SOFC

Die Festoxid-Brennstoffzelle von Hexis besteht aus der Zelle – eine keramischen Elektrolyt-/Elektroden-Einheit – und dem metallischen Stromsammelner (MIC = Metallic Interconnect). Beide sind planar ausgeführt und haben in der Mitte eine runde Öffnung. Die etwa 60 aufeinander geschichteten Zellen und Stromsammelner bilden den Brennstoffzellen-Stapel, wobei die innere Öffnung als Kanal zur Brennstoffzufuhr dient. Der Stromsammelner hat mehrere Funktionen. Seine Hauptaufgabe ist es, den elektrischen Kontakt zwischen den einzelnen Stapel-Segmenten zu gewährleisten. Zusätzlich verteilt er die Gase auf der Elektroden-Oberfläche, dichtet den Gas- gegen den Luftstrom ab und ermöglicht strömungstechnisch die Nachverbrennung am Stapelumfang. Brennstoff strömt von Innen aus dem Kanal auf der Anodenseite der Zelle radial nach Außen. Gleichzeitig strömt vorgewärmte Luft von Außen durch vier Kanäle auf dem Stromsammelner ins Innere des Brennstoffzellen-Stapels und wird dort umgelenkt, um über die Kathoden-Seite der Zelle radial nach Außen zu strömen. Auf der Anode nicht umgesetzter Brennstoff wird am Rand des Brennstoffzellen-Stapels nachverbrannt.

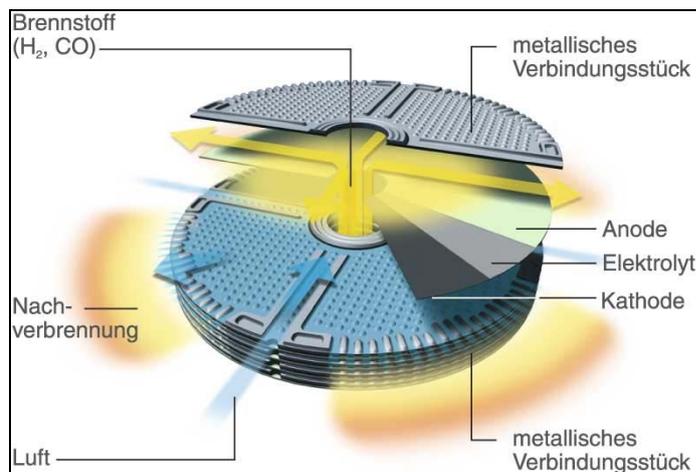


Abbildung 9: Ausschnitt aus dem Brennstoffzellen-Stapel mit Gasführung

7 Markt

Der Markt der Wohngebäude wird durch einen sinkenden Wärmebedarf bei konstantem Warmwasserbedarf und steigendem Strombedarf gekennzeichnet. Zusätzlich tendieren die Energiepreise dazu, weiterhin zu zunehmen. Ein MikroKWK-System, das auch als Strom erzeugende Heizung bezeichnet wird, kann durch den effizienten und künftig wirtschaftlichen Betrieb an Bedeutung gewinnen.

Eine konventionelle Brennwärtheizung wandelt Primärenergie nahezu vollständig in Wärme um. Strom bezieht der Hausbesitzer dagegen aus dem Netz der öffentlichen Versorgung. Bei der zentralen Stromerzeugung in Kraftwerken, ohne weitere Nutzung der dabei entstehenden Wärme und aufgrund des Transportes treten Verluste bis zu zwei Drittel der eingesetzten Ausgangsenergie auf. Daraus folgt, dass die Stromerzeugung soweit wie möglich vor Ort stattfinden muss, um eine wesentlich bessere Energieausnutzung zu erzielen. Die Strom

erzeugende Heizung (MikroKWK-System) kann bis zu 100 % der Wärme und bis zu 80 % des Strombedarfs im eigenen Haus abdecken. Durch die „Eigenproduktion“ des Stroms, lässt sich der Strombezug aus dem öffentlichen Netz deutlich reduzieren und damit in nicht unerheblichem Maße Energiekosten einsparen. Zusätzlich wird in der Gesamtbilanz durch die Strom erzeugende Heizung bei gleichem Energieverbrauch im Haus bis zu 40 % weniger CO₂ an die Atmosphäre abgegeben.

Mit dem Brennstoffzellen-Heizgerät lassen sich in einem typischen europäischen Einfamilienhaus mit einem jährlichen Strombedarf von ca. 4'500 kWh und einem jährlichen Wärmebedarf von ca. 16'000 kWh im Vergleich zu einer modernen und hochwertigen konventionellen Heizung zum Beispiel einer Gas-Brennwerttherme einige Hundert Euro Energiekosten pro Jahr einsparen. Mit diesen eingesparten Energiekosten können der höhere anfängliche Investitionsaufwand sowie die zur Zeit noch höheren Wartungskosten finanziert werden. Diese Kalkulation gilt für Deutschland und basiert auf den derzeit aktuellen Marktbedingungen (Strom- und Gaspreise, Einspeisevergütungen, etc.) sowie realistischen Zielvorstellungen hinsichtlich Herstellkosten und Leistung der Geräte.

Damit ergeben sich für die Zukunft die möglichen finanziellen Vorteile einer Brennstoffzellen-Heizung, neben der in erster Linie volkswirtschaftlich interessanten hohen Nutzung der Primärenergie, für Energieversorger als Energiedienstleister² und Privatkunden vor allem durch die Erzeugung hochwertiger Energie in Form von Strom aus vergleichsweise kostengünstigen Brennstoffen wie Erdgas direkt am Ort des Bedarfs.

8 Ausblick

Hexis ist zur Zeit noch eine reine Entwicklungsfirma, die unter anderem auf Grund ihrer langjährige Erfahrung bei der Forschung und Entwicklung von SOFC und SOFC-Systemen, der umfangreichen Labor- und Test-Infrastruktur und der Feldtest-Erfahrung mit fast 100 Vorseerien-Systemen gute Voraussetzungen hat, ein erfolgreiches Produkt zu lancieren. Nichtsdestotrotz befindet sich das Brennstoffzellen-Heizgerät noch in der Entwicklung, da die Lebensdauer der Brennstoffzelle selbst noch nicht ausreichend für die Markteinführung ist.

Im Lauf der nächsten Monate beginnen erste Feldtests mit Galileo 1000 N. Gemeinsam mit Partnern aus der Energieversorgungswirtschaft werden die Geräte in Objekten vor Ort betrieben, um auf der einen Seite Verbesserungen im Brennstoffzellen-Stapel praxisnah zu testen und auf der anderen Seite mit diesen Geräten eine stetige Erhöhung der Brennstoffzellen-Lebensdauer nachzuweisen. Es ist absehbar, dass sich dabei keine kurzfristigen Fortschritte realisieren lassen werden. Deswegen, und weil für die Marktvorbereitung der Brennstoffzellen-Technologie noch große Anstrengungen notwendig sind, ist die Zusammenarbeit mit Energieversorgern unerlässlich und damit ein Erfolg dieser viel versprechenden Technologie überhaupt möglich.

Die Anforderungen an Brennstoffzellen-Heizgeräte in der technischen Gebäudeausrüstung hinsichtlich Zuverlässigkeit, Haltbarkeit und Effizienz sind hoch. Hexis geht deshalb heute davon aus, dass eine kommerzielle Markteinführung dieser Geräte frühestens ab dem Jahr 2010 zu erwarten ist.

9 Zusammenfassung

Die Lebensqualität der Menschen wird in hohem Masse von einem ausreichenden und sicheren Angebot an Energie beeinflusst. Mit der Anwendung der Brennstoffzellentechnologie in der Hausenergieversorgung wird eine Erhöhung der Versorgungssicherheit sowie der Energieeffizienz erreicht. Außerdem trägt der Einsatz der Brennstoffzellen-Heizgeräte wesentlich zur Verbesserung der Luftqualität, der Verminderung des CO₂-Ausstosses und damit zum Klimaschutz bei. Konkret bedeutet die erhöhte Versorgungssicherheit, dass mit dem

² Contracting: Der Energiedienstleister installiert und betreibt als Contractor das Brennstoffzellen-Heizgerät beim Endkunden und verrechnet dem Endkunden Wärme und Strom.

Einsatz des Brennstoffzellen-Heizgerätes Galileo 1000 N die Wärmeversorgung und Stromgrundversorgung der Haushalte abgedeckt werden kann. Im Falle eines Stromausfalls bzw. einer kurzzeitigen Stromunterbrechung kann die Energieversorgung zusätzlich gewährleistet sei.

10 Anhang

10.1 Informationen zum Unternehmen Hexis

Kontakt: Hexis AG, Hegifeldstrasse 30, CH-8404 Winterthur, www.hexis.com
Volker Nerlich, Fon +41 (0)52 2628207, E-Mail volker.nerlich@hexis.com

Hexis entwickelt Brennstoffzellen-Heizgeräte für Ein- und Mehrfamilienhäuser. Seit dem 1. Januar 2006 ist die Hexis AG mit Sitz im Schweizerischen Winterthur ein unabhängiges Unternehmen. Der Eigentümer ist die ebenfalls in Winterthur ansässige Stiftung für Kunst, Kultur und Geschichte. Heute beschäftigen sich etwa 13 Mitarbeiter im Unternehmen mit dem Schwerpunkt der Forschung und Entwicklung zur Erhöhung der Brennstoffzellen-Lebensdauer, bevor Hexis sich zu einem Produktions- und Vertriebsunternehmen weiterentwickeln kann.

Das Unternehmen wurde im Jahre 1997 als Tochtergesellschaft des Sulzer-Konzerns gegründet. Die Geschäftsidee basiert auf dem 1991 vom ehemaligen Mutter-Konzern initiierten Projekt «HEXIS» (Heat Exchanger Integrated Stack). Hexis hat sich über Jahre Kompetenz, insbesondere in der Materialentwicklung, der Prozesssteuerung und der Systemintegration für die Hochtemperatur-Brennstoffzellentechnologie vom Typ SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) erarbeitet.

Hexis entwickelt nun das Brennstoffzellen-Heizgerät Galileo 1000 N zur Energieversorgung von Einfamilienhäusern. Es wird mit Erdgas betrieben und deckt den gesamten Wärmebedarf sowie den Stromgrundbedarf eines Einfamilienhauses im Netz-Parallelbetrieb ab. Je nach Gebäude-Wärmebedarf können auch Mehrfamilienhäuser mit Galileo 1000 N ausgerüstet werden.

Weitere hilfreiche Links zum Thema Brennstoffzelle und MikroKWK werden im Folgenden zusammengestellt:

Brennstoffzelle

- www.initiative-brennstoffzelle.de
- www.fuelcelltoday.com
- www.fuelcellworld.org

Mikro-KWK

- www.stromerzeugende-heizung.de
- www.bhkw-infozentrum.de
- www.bhkw-info.de
- www.cogen.org

10.2 Auslegungs- und Anschlussdaten Galileo 1000 N

Auslegungsdaten

Elektrische Leistung Brennstoffzelle	max. 1.0	kW _{el}
Thermische Leistung Brennstoffzelle	2.5	kW _{th}
Thermische Leistung Zusatzbrenner	20.0	kW _{th}
Elektrischer Wirkungsgrad	25-30 (Ziel: > 30)	%
Gesamtwirkungsgrad	> 90	%
Brennstoffzellentyp	Hexis-SOFC	
Brennstoffaufbereitung (Reformierung)	Katalytische Teiloxidation (CPO)	
Entschwefelung	Nicht erforderlich	
Emissionen	< Grenzwerte des Umweltzeichens „Blauer Engel“ für Gas-Brennwert-Kessel	

Anschlussdaten

Brennstoff	Erdgas, Netzdruck	
Elektrischer Anschluss	230	V AC
	50	Hz
Breite x Tiefe x Höhe	550 x 550 x 1600	mm
Platzbedarf (inkl. Serviceraum)	3,0	m ²
Gesamtgewicht installiert	170	kg
Mindestraumhöhe	2,0	m
Bei Einbau und Montage in 2 Teile zerlegbar		

10.3 Quellen

- [1] Energiestatistik in Deutschland 2001, Auswertung, Analyse und Darstellung der Energiestatistiken für Deutschland des Jahres 2001, TU München, Studie der FfE Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München, 2003
- [2] Gefunden auf der Website „www.asue.de“ der ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., Kaiserslautern, 10/2006
- [3] Vortrag „Simulation von Strom erzeugenden Heizungen im haushaltlichen Bereich“, Dr. M. Wilmsmann, E.ON Ruhrgas AG, ASUE-Fachtagung, Leipzig, 09/2006
- [4] Vortrag „Anforderungen an Strom erzeugende Heizungen beim Einsatz in kleinen Heizungen“, F. Erler, DBI Gastechnologisches Institut GmbH, ASUE-Fachtagung, Leipzig, 09/2006
- [5] Gefunden auf der Website „www.bhkw-info.de“ von BHKW-Info – Die Welt der Kraft-Wärme-Kopplung, Blockheizkraftwerke und Brennstoffzellen-BHKW, F. Steinborn, Stuttgart 10/2006