

Aktuelle Entwicklungen im Bereich Brennstoffzellen- Heizsysteme



Prof. Dr.-Ing. Helmut Burger,
Viessmann Werke GmbH & Co. KG,
Allendorf



Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Rogatty,
Viessmann Werke GmbH & Co. KG,
Allendorf

Eine zukunftsfähige Energieversorgung baut darauf, dass rechtzeitig neue Technik-Optionen zur Verfügung stehen. Neben der Weiterentwicklung eingeführter und bewährter Technologien – wie beispielsweise der Öl- und Gas-Heiztechnik sowie regenerativen Energiesystemen – gilt es, weitere Technologiepotenziale zu erschließen. Die Brennstoffzellen-

Technologie zählt in diesem Zusammenhang zu den besonders Erfolg versprechenden Optionen für die Zukunft, um gleichzeitig elektrischen Strom und Heizwärme umwelt- und ressourcenschonend zu erzeugen.

Nicht ohne Grund macht seit einiger Zeit die Brennstoffzelle als „Hausenergielieferant der Zukunft“ von sich reden. Brennstoff-

zellen sind elektrochemische Wandler, die Wasserstoff oder wasserstoffhaltige Energieträger mit Sauerstoff direkt in Strom und Wärme umsetzen. Der Gesamtwirkungsgrad eines Brennstoffzellen-Energiesystems kann bei etwa 90 Prozent liegen. Damit sind Brennstoffzellen in ihrer Energieausnutzung effizienter als die konventionellen Verfahren zur getrennten Produktion von Strom und Wärme. So erreichen ein Niedertemperatur-Gas-Heizkessel (Norm-Nutzungsgrad 95 Prozent) und der aus dem deutschen Kraftwerksmix erzeugte elektrische Strom (Wirkungsgrad durchschnittlich 33 Prozent) gemeinsam einen Gesamtwirkungsgrad von etwas über 60 Prozent. Um vor Ort die gleiche Nutzenergie aus 70 Prozent Wärme und 30 Prozent Elektrizität zu erhalten, muss bei der heute noch üblichen, getrennten Erzeugung rund 40 Prozent mehr Primärenergie aufgewendet werden (Bild 1).

Darüber hinaus bietet die Brennstoffzellen-Technologie noch weitere Vorteile:

- Mit einer Brennstoffzellen-Haus-Energiezentrale werden Strom und Wärme dort erzeugt, wo sie auch benötigt werden. Verluste, wie sie bei der zentralen Stromerzeugung durch den Transport der elektrischen Energie zum Verbraucher zwangsläufig entstehen, fallen bei der vor Ort betriebenen Brennstoffzelle nicht an.
- Im Teillastbetrieb fällt der Wirkungsgrad nicht signifikant ab, d.h. auch bei geringer Leistungsabgabe arbeiten Brennstoffzellen mit hoher Effizienz.
- Brennstoffzellen können für sehr unterschiedliche Leis-

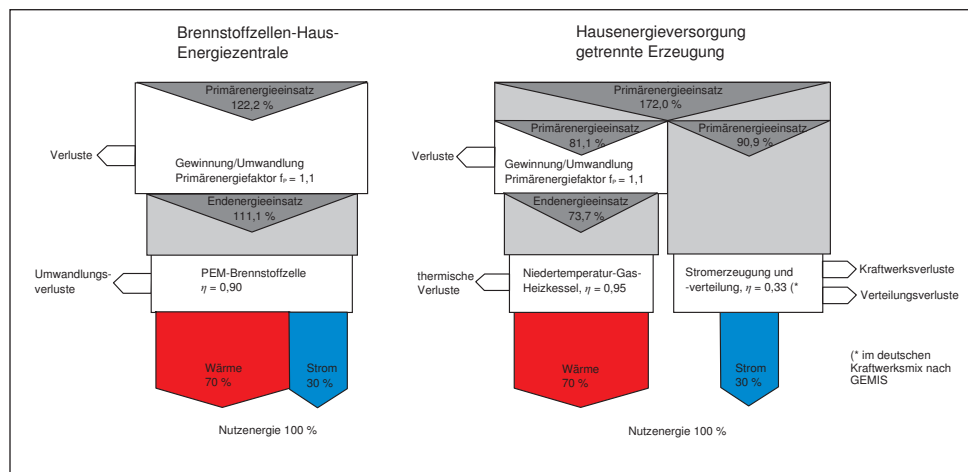


Bild 1: Vergleich der Energieflüsse

tungsbereiche von wenigen Watt bis in den Megawatt-Bereich ausgelegt werden.

- Da sie über keine beweglichen Teile verfügen, arbeiten Brennstoffzellen-Systeme sehr geräuscharm und verursachen nur geringe Wartungskosten.

1. Brennstoffzellen-Technik

In den letzten Jahren ist weltweit ein Technologieschub auf dem Gebiet der Brennstoffzellen-Entwicklung festzustellen. Mittlerweile existieren Lösungen für unterschiedliche Leistungs- und Anwendungsbereiche. Das Prinzip der Brennstoffzelle ist jedoch keine Entdeckung des vergangenen Jahrhunderts. Bereits 1839 erkannte der englische Physiker William Robert Grove, dass der damals schon bekannte Vorgang der Elektrolyse umkehrbar ist. Dieser auch als „kalte Verbrennung“ bezeichnete Prozess, bei dem Wasserstoff und Sauerstoff miteinander reagieren, konnte zu Groves Zeiten jedoch noch nicht praktisch genutzt werden und geriet deshalb weitgehend in Vergessenheit. Erst in den 50er-Jahren des letzten Jahrhunderts wurde diese Entdeckung wieder aufgegriffen, als man nach einer leistungsfähigen, möglichst leichten und kompakten sowie zuverlässigen Energiequelle für bemannte und unbemannte Raumfahrzeuge suchte. Seitdem wird die Brennstoffzellen-Technologie auch für andere Anwendungen erforscht. Es waren zunächst die Automobilhersteller, die angesichts der wachsenden Umweltprobleme und einer sich abzeichnenden Ressourcenknappheit vor rund zehn Jahren die Brennstoffzelle als potenziellen Antrieb für ihre Fahrzeuge entdeckten. An Brennstoffzellen-Systemen für die Hausenergieversorgung wird seit etwa fünf Jahren entwickelt.

1.1 Das Funktionsprinzip

Brennstoffzellen sind wie Batterien oder Akkumulatoren „elektrochemische Zellen“. Physikalisch gesehen läuft in der Brennstoffzelle eine umgekehrte Elektrolyse ab, bei der Wasser durch elektrischen Strom in Wasserstoff



Bild 2: Demonstrationsmodelle von Brennstoffzellen-Haus-Energiezentralen auf der ISH 2003 in Frankfurt zeigten den derzeitigen Entwicklungsstand

und Sauerstoff gespalten wird. In der Brennstoffzelle wird dagegen Wasserstoff und Sauerstoff wieder zu reinem Wasser verbunden. Um über längere Zeiträume kontinuierlich elektrischen Strom und Wärme abgeben zu können, müssen diese beiden Elemente der Zelle kontinuierlich zugeführt werden. Außer elektrischem Strom, Wärme und Wasser entstehen dabei keine weiteren Nebenprodukte.

Zur Funktion benötigt eine Brennstoffzelle eine Anode, einen Elektrolyten und eine Kathode. Auf der Anodenseite wird Wasserstoff mit Hilfe eines Katalysators in positiv geladene Wasserstoff-Protonen (H^+) und negativ geladene Elektronen (e^-) aufgespalten. Die Wasserstoff-Protonen wandern durch den Elektrolyten zur Kathode und verbinden sich dort mit den zuvor abgespaltenen Elektronen und dem Luftsauerstoff zu Wasser (Bild 3).

Da der Elektrolyt aber elektrisch nichtleitend ist, müssen die Elektronen einen anderen Weg gehen. Verbindet man die Anode elektrisch leitend mit der Kathode, so fließen die Elektronen durch diesen Leiter und erzeugen dabei einen nutzbaren Gleichstrom. Da die elektrische Leistung einer einzelnen Zelle für die meisten Anwendungen zu gering ist, werden mehrere Zellen – häufig 80 Zellen und mehr – zu einem so genannten Stack zusammengeschlossen.

1.2 Verschiedene Brennstoffzellen-Arten

In dem beschriebenen Grundmuster gleichen sich alle Varianten der Brennstoffzelle. Ihr wichtigstes Unterscheidungsmerkmal ist der Elektrolyt, der die beiden Gase in der Zelle voneinander trennt und gleichzeitig den Austausch der Ionen ermöglicht.

Für den Einsatz in Haus-Energiezentralen wird zur Zeit überwiegend an PEM-Brennstoffzellen gearbeitet, die deshalb im Folgenden etwas näher betrachtet werden.

1.3 PEM-Brennstoffzelle

Unter den verschiedenen Brennstoffzellentypen gehört die PEM-Brennstoffzelle (Polymer-Elektrolyt-Membran) zu den viel-

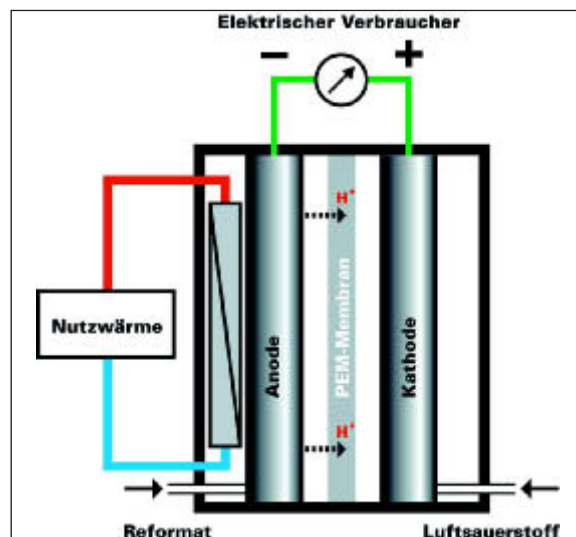


Bild 3: Vereinfachter Aufbau einer Brennstoffzelle



Profi-Messgeräte und Know-how

Der Einstieg in die professionelle Rauchgasanalyse

**Servicestelle in Ihrer Nähe!
Mit Hol- und Bring-Service.**

Das neue Rauchgas-Analysegerät testo 325 M für Heizungsbauer und Gasinstallateure

- Erfüllt alle Anforderungen zum Einstellen von Feuerungsanlagen.
- Hoher CO-Bereich bis 4.000 ppm.
- CO-Umgebungs-Messungs-Zwischenspeicher.
- TÜV für O₂, CO₂ und °C.
- Zwei ΔP Druck-Messbereiche.
- Einfacher Messzellenwechsel.
- Automatische CO-Abschaltsschwellen zum Schutz der Messzellen.
- Messdaten drahtlos ausdrucken.

Inbetriebnahme, Abnahme und Service von RLT-Anlagen

testo 400, ein Messgerät für alle relevanten Messgrößen: m/s, % rF, CO₂, CO, °C, td, hPa, m³/h, g/kg, U/min, mV/mA

Referenz-Klima-Messgerät testo 400

- Schnelles, objektives Beurteilen einer Raumluftheizungsanlage am Messort mit integrierter Unsicherheits-Berechnung nach EN 12599.
- Behaglichkeits-Messung mit automatischer Turbulenzgrad-Berechnung nach DIN EN ISO 1946, Teil 2.
- Neuer, dünner Feuchtefühler für Raumklima, Abluftkanäle, Materialausgleichsfeuchte.
- Punktuelle Kontrolle und Langzeitüberwachung durch Speicher.
- Vor Ort drucken, Auswerten im PC.
- Ideal für Messungen nach VDI 6022.

Fragen Sie auch nach unseren bundesweiten Praxis-Seminaren für Klima-Messtechnik, Kältetechnik, Heizungs-Messtechnik, Gebäudefeuchte und Sachverständigen-Symposien für Klima-Messtechnik und Bauschäden.

testo AG, Testo-Straße 1, 79853 Lenzkirch,
Tel. 07653 681-700, Fax 07653 681-701, www.testo.de, E-Mail: info@testo.de

Brennstoffzelle	Elektrolyt	Betriebstemperatur	Brennstoff
PEMFC (Polymer Electrolyt Membran Fuel Cell)	protonenleitende Membran	bis 100 °C	Wasserstoff; Reformat aus Erdgas, Methan, Benzin oder Diesel
AFC (Alkaline Fuel Cell)	Kalilauge	bis 100 °C	Wasserstoff
DMFC (Direct Methanol Fuel Cell)	protonenleitende Membran	bis 120 °C	Methanol
PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)	Phosphorsäure	ca. 200 °C	Wasserstoff
MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)	Alkalikarbonat-Schmelze	ca. 650 °C	Wasserstoff, Methan, Kohlegas
SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)	keramischer Festelektrolyt	850 bis 1000 °C	Wasserstoff, Methan, Kohlegas

Tabelle 1: Brennstoffzellen-Arten

seitigsten. Sie kann in Kleingeräten, stationären Anwendungen in Wohnhäusern und kleinen Kraftwerken bis hin zu mobilen Anwendungen in Auto und Bus eingesetzt werden. Die PEM-Zelle ist nach wenigen Minuten Anfahrzeit einsatzbereit. Auch entspricht ihr übliches Temperaturniveau von 60 bis 90 °C recht genau den Anforderungen der Gebäudeheizungen. Die in dem Brennstoffzellenstack entstehende Wärme kann über einen Wärmetauscher für die Heizung und Trinkwassererwärmung nutzbar gemacht werden. Der erzeugte Gleichstrom wird in einem Wechselrichter in einen Wechselstrom (230V/50Hz) umgewandelt. PEM-Brennstoffzellen haben ein gutes Lastwechselverhalten und eine vergleichsweise hohe Leistungsdichte (erzeugte Leistung bezogen auf die aktive Zellfläche).

Die Einzelzelle ist im Wesentlichen aus einer dünnen Kunststoffmembran (Polymer Elektrolyt Membran), gasdurchlässigen Elektroden, die mit einem Katalysatormaterial beschichtet sind, sowie Einrichtungen zur gleichmäßigen Verteilung des Wasserstoffs, der Luft und des Kühlmediums aufgebaut. Der gesamte Stack wird abgedichtet und von einer Verspannung zusammengehalten. In diesem Stack wird Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wärme, elektrischem Strom und Wasser umgesetzt (Bild 4). Zur Protonenleitung benötigt die Kunststoff-

membran einen gewissen Mindestwassergehalt, der die maximale Betriebstemperatur auf 100 °C begrenzt. Höhere Betriebstemperaturen sind bei unter Druck stehenden PEM-Brennstoffzellen möglich. Dann würden der konstruktive Aufwand und somit die Kosten erheblich steigen. Temperaturen über 100 °C werden jedoch für die Anwendung von Brennstoffzellen zur Gebäudebeheizung normalerweise nicht erforderlich sein.

2. Der Energieträger Wasserstoff

Betrieben wird die PEM-Brennstoffzelle, wie grundsätzlich jede andere Brennstoffzelle auch, mit Wasserstoff und Luftsauerstoff. Da chemisch ungebundener Wasserstoff auf der Erde nicht vor-

kommt, muss er unter entsprechendem Energieaufwand aus seinem chemisch gebundenen Zustand – also aus Wasser oder aus fossilen, wasserstoffreichen Brennstoffen – herausgelöst werden.

Das wohl bekannteste Verfahren der Wasserstoffgewinnung ist die schon im Schulunterricht vorgeführte Elektrolyse. Ideal wäre die Produktion von Wasserstoff durch Wasserelektrolyse unter Verwendung von regenerativen Energien (Solarenergie, Wasserkraft, Windkraft, Biomasse usw.), denn dabei würden keine Schadstoffe entstehen und so die Umwelt geschont. Doch dies wird nach allgemeiner Einschätzung zu wettbewerbsfähigen Bedingungen in nennenswertem Um-



Bild 4: PEM-Brennstoffzellen-Stack (frühere Bauart)

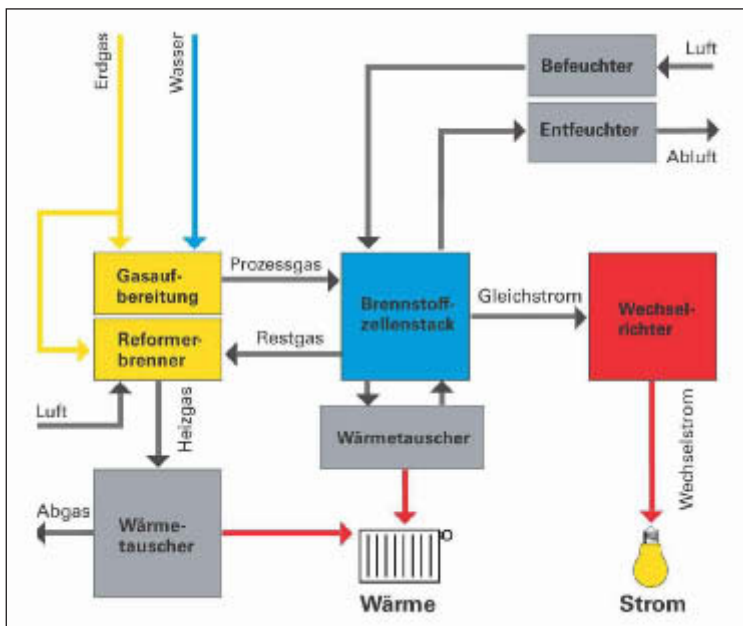


Bild 5: Vereinfachtes Anlagenschema einer Brennstoffzellen-Haus-Energiezentrale

fang frühestens in einigen Jahrzehnten möglich sein.

Heute wird Wasserstoff vor allem aus Erdölprodukten und Erdgas gewonnen oder fällt als Prozessgas in der chemischen Industrie an. Wenn auch bei dieser Art der Wasserstoffgewinnung die Schadstoff-Emissionen deutlich geringer sind als bei der Verbrennung der fossilen Brennstoffe, so werden doch Kohlenmonoxid und Kohlendioxid freigesetzt. Da, wie zu Beginn erläutert, die Energieausnutzung einer Brennstoffzellen-Haus-Energiezentrale gegenüber den herkömmlichen Methoden der Strom- bzw. Wärmeproduktion sehr viel besser ist, ergeben sich trotzdem Vorteile für die Umwelt.

2.1 Dampfreformierung

Als Brennstoff für Haus-Energiezentralen auf PEM-Basis wird in der jetzigen Entwicklungsphase Erdgas favorisiert, da hierfür in weiten Teilen Europas eine gut ausgebauten Versorgungsinfrastruktur zur Verfügung steht. Zudem besitzt Erdgas, Hauptbestandteil ist Methan (CH_4), ein besonders günstiges Wasserstoff-Kohlenstoff-Verhältnis von 4 zu 1. Wasserstoff kann aus Erdgas auch im kleinen Maßstab, also in jeder einzelnen Brennstoffzellen-Haus-Energiezentrale, mit ver-

trebarem Aufwand durch einen so genannten Dampfreformierungs-Prozess gewonnen werden.

Innerhalb der Brennstoffzellen-Haus-Energiezentrale wird zunächst Wasserdampf mit den heißen Abgasen des Reformerbrenners erzeugt und mit dem Erdgas vermischt. Das Erdgas-Wasserdampf-Gemisch gelangt in die so genannte Gasaufbereitungsanlage, die im Gerät integriert ist. Hier wird das Erdgas im Reformier zu einem wasserstoffreichen Prozessgas umgewandelt. Die notwendige Energie liefert der Reformerbrenner, wobei die Wärme des Abgases über Wärmetauscher zur Vorwärmung im Prozess verwendet wird. Die dann noch vorhandene Restwärme im Heizgas überträgt ein zweiter Wärmetauscher auf den Heizkreislauf.

Das erzeugte Prozessgas enthält neben Wasserstoff und Kohlendioxid auch Kohlenmonoxid. Letzteres stellt für die Brennstoffzelle ein störendes Katalysatorgift dar, denn es bildet Anlagerungen, die die Vorgänge innerhalb der Zelle behindern. Deshalb wird in einer, dem Reformier nachgeschalteten, katalytischen Reinigung – dem so genannten Shiftreaktor – das Kohlenmonoxid aus dem Pro-

zessgas weitgehend entfernt. Um die Kohlenmonoxid-Konzentration noch weiter zu senken, wird zusätzlich eine Feinreinigung (selektive Methanisierung) vorgenommen, bevor das Prozessgas dem Brennstoffzellenstack zugeführt wird. Im Brennstoffzellenstack nicht umgesetzter Wasserstoff strömt als Restgas in den Reformerbrenner zurück und wird dort mit zugeführter Luft verbrannt (Bild 5).

3. Brennstoffzellen-Haus-Energiezentrale für Ein- und Mehrfamilienhäuser

Brennstoffzellen-Haus-Energiezentralen werden zur Zeit für den Bereich von etwa 1 bis 10 kW elektrischer Leistung und 1,5 bis 10 kW thermischer Leistung von verschiedenen Herstellern entwickelt. Ziel der Entwicklungsarbeiten bei Viessmann ist eine zuverlässig arbeitende Haus-Energiezentrale zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme. Das komplette Gerät muss, so die Vorgaben im Lastenheft, eine Standzeit von mindestens 40.000 Betriebsstunden erreichen, was einer Nutzungsdauer von etwa 10 bis 15 Jahren entsprechen wird. Die Leistung des Seriengerätes für den Einsatz im Einfamilienhaus mit Niedrigenergiehaus-Standard wird 2 kW elektrisch und 5 kW thermisch betragen. Für eine möglichst konstante Fahrweise soll die Anlage modulierend im Verhältnis 1 zu 5 betrieben werden können. Dies ermöglicht eine gute Anpassung an den aktuellen Wärmebedarf des Gebäudes. In einem nachgeschalteten Pufferspeicher oder Speicher-Wassererwärmer kann die Wärme zwischengespeichert bzw. zur Trinkwassererwärmung genutzt werden. Ein zusätzlicher Brennkessel wird zur Abdeckung von Wärmebedarfsspitzen eingesetzt. Angestrebt wird ein Gesamtwirkungsgrad der Haus-Energiezentrale von 90 Prozent.

Auch für Einfamilien-Passivhäuser sind solche Brennstoffzellen-Haus-Energiezentralen sehr gut geeignet. Für die Beheizung

eines Einfamilien-Passivhauses mit 150 m² Wohnfläche wäre für den kältesten Tag eine Heizleistung von 5 kW mehr als ausreichend. Zu beachten ist aber, dass die Anforderungen an die Warmwasserbereitung bei Passivhäusern genauso hoch sind wie bei Gebäuden mit höherem Jahres-Heizwärmebedarf. Das hat zur Folge, dass im Passivhaus neben der Brennstoffzelle entweder ein zweiter Wärmeerzeuger, z. B. ein Gas-Brennwertkessel, oder ein entsprechend großer Speicher für die Warmwasserbereitung eingesetzt werden muss.

Weitere Entwicklungsarbeiten zielen auf eine möglichst einfache Handhabung der Brennstoffzellen-Haus-Energiezentrale. Der Fachhandwerker soll das Gerät schnell und problemlos aufstellen und anschließen können. Das Seriengerät wird an das vorhandene Erdgas- und Hauswärmenetz wie ein konventioneller Gas-Heizkessel angeschlossen. Der in der Brennstoffzelle erzeugte Strom wird in einem integrierten Wechselrichter in netzkonformen Wechselstrom umgewandelt und über einen vorhandenen Anschluss in das Stromnetz des Gebäudes eingespeist. Strom, der zur Zeit seiner Erzeugung im Haus nicht benötigt wird, wird gegen eine Vergütung in das öffentliche Netz eingespeist (Bild 6).

4. Resümee

Wasserstoff und Brennstoffzellen kennzeichnen für viele eine zukünftige Energiewelt, in der Abgase aus Wasserdampf bestehen und in der Wärme und elektrische Energie sauber, nahezu geräuschlos und effizient erzeugt werden können. Angesichts der endlichen Ressourcen fossiler Brennstoffe gibt es keine Alternative zum konsequenten Verfolgen aller erfolgversprechenden Zukunftstechnologien. Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologien haben dabei das Potenzial, alternative Lösungen für die Zukunft darzustellen.

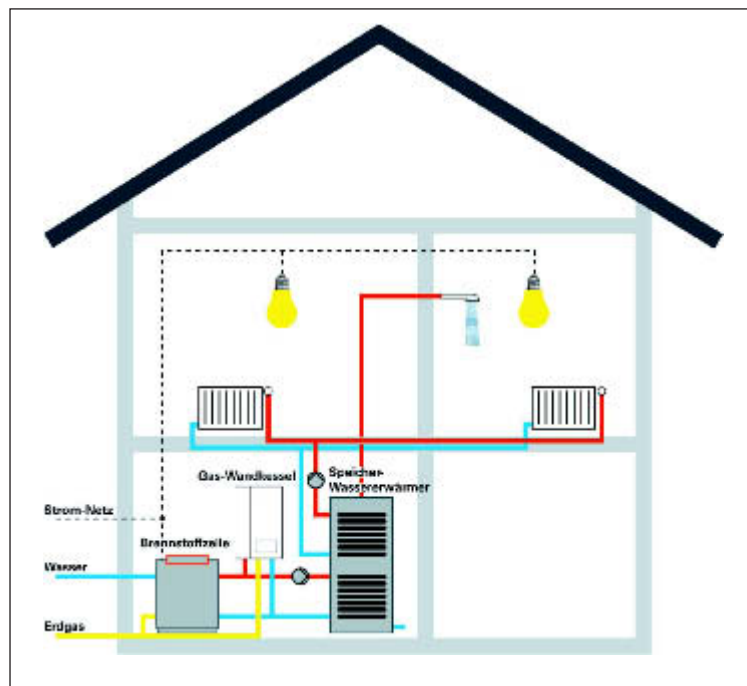


Bild 6: Hydraulische Einbindung einer Brennstoffzellen-Haus-Energiezentrale

Von der Marktreife ist die Brennstoffzellen-Haus-Energiezentrale heute jedoch noch ein gutes Stück entfernt. Ziel der Arbeiten bei Viessmann ist es, 2005 erste seriennahe Geräte in Feldtests zum Einsatz zu bringen und dann 2007 mit ersten Geräten in kleiner Stückzahl auf den Markt zu kommen. Erst wenn es gelingt, die Investitionskosten auf unter 1.500 Euro pro Kilowatt elektrischer Leistung zu senken, wird sich die Brennstoffzelle auf dem Markt etablieren können. Das wird nicht vor 2010 der Fall sein.

Aber auch auf lange Sicht wird die Brennstoffzelle die konventionelle Heiztechnik nicht verdrängen, denn derzeitige Energieversorgungssysteme sind auf fossile Energieträger ausgerichtet. Der Aufbau einer vergleichbaren, flächendeckenden Wasserstoff-Infrastruktur wird erst lange nach 2010 stattfinden. Erst wenn es gelingt, Wasserstoff mit Hilfe regenerativer Energien im großen Maßstab zu gewinnen und flächendeckend zu verteilen, kann die Brennstoffzellen-Technologie eine schadstofffreie und nachhaltige Hausenergieversorgung ermöglichen. ◀