

Die Brennstoffzelle wird salonfähig

Brennstoffzellen wandeln die in Erdgas gespeicherte Energie ohne Verbrennung in Wärme und Elektrizität um. Ideal, um Ein- und kleine Mehrfamilienhäuser mit Wärme und Strom zu versorgen, findet die Firma Hexis AG in Winterthur. Nach zwei Jahrzehnten Entwicklungszeit steht ihr Brennstoffzellen-Energiesystem vor der Markteinführung

Von Dr. Benedikt Vogel, im Auftrag des Bundesamts für Energie/BFE

Hauseigentümer mit Anschluss ans Erdgasnetz entscheiden sich in der Regel für eine moderne Gasheizung mit Brennwertkessel. Doch es gibt auch andere Technologien. Die Firma Hexis bringt im Herbst 2013 ein neuartiges Brennstoffzellen-Heizgerät auf den Markt. Das auffälligste Merkmal: Die Heizung mit dem Namen Galileo produziert neben Wärme auch Strom. Die Anlage ist so ausgelegt, dass sie während der Heizperiode (ca. September bis Mai) praktisch durchgängig in Betrieb ist, was rund 5000 Stunden entspricht.

Reicht die Wärmeproduktion durch die Brennstoffzelle an kalten Wintertagen nicht, so springt ein zusätzlich eingebauter, herkömmlicher Gasbrenner an. Die-

ser erhitzt auch das Warmwasser während der Sommermonate (ca. Mai bis September), wenn die Brennstoffzelle ruht. Wie bei der Wärme sorgt die Brennstoffzelle auch beim Strom für die Abdeckung des Grundbedarfs; Bedarfsspitzen im Winter und der gesamte Strombedarf im Sommerquartal werden dann aus dem Netz bezogen.

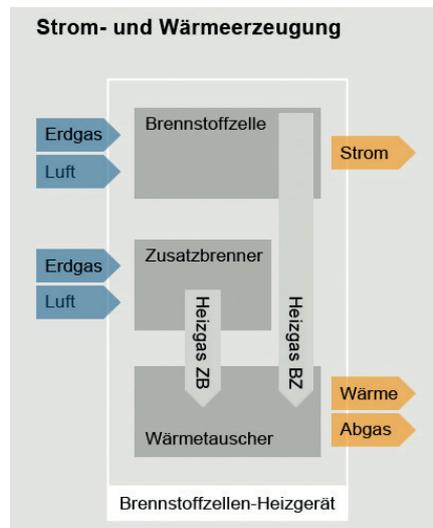
Besonders für Bestandsbauten geeignet Hexis-Marketingleiter Volker Nerlich verweist auf die Modellrechnung für einen 4-Personen-Haushalt in einem Einfamilienhaus. Demnach deckt Galileo über das ganze Jahr gesehen rund die Hälfte des Wärmebedarfs und 50 bis 80 Prozent des aktuellen Strombedarfs. Nicht berücksichtigt sind hier die Überschüsse in

bedarfsarmen Zeiten von September bis Mai, die ins Netz eingespeist werden und mit denen Galileo im Stromverbund einen Beitrag zur dezentralen Versorgung leistet.

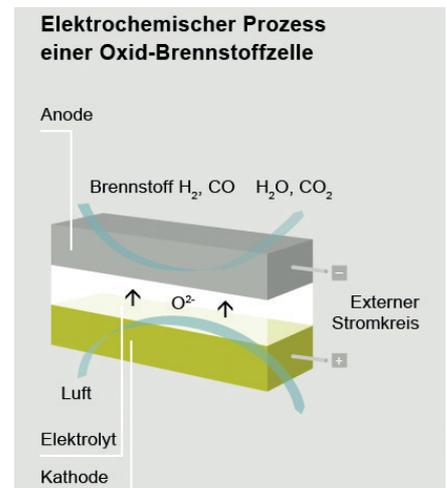
Die Brennstoffzellen-Heizung hat einen Output von 1 kW elektrischer Leistung und 1,8 kW Wärmeleistung. Mit dieser Wärmeproduktion eignet sich das System nach den Erfahrungswerten in der Heizungsbranche für Bauten mit einem ausreichend hohen Wärmebedarf, also insbesondere für Bestandsbauten. Neubauten haben einen tieferen Wärmebedarf. Hier kann die Brennstoffzelle nicht sinnvoll während jenen 5000 Stunden pro Jahr betrieben werden, die erforderlich sind, dass sich das Gerät (über die Stromproduktion) amortisiert. Trotz die-



Die Komponenten des Brennstoffzellen-Heizgeräts von Hexis sind in einem 164 cm hohen, 62 cm breiten und 58 cm tiefen Gehäuse untergebracht. Das Gerät wiegt 170 kg.



Das Brennstoffzellen-Heizgerät ist mit einem Zusatzbrenner ausgerüstet. Dieser liefert während den Sommermonaten, wenn das Brennstoffzellen-Modul nicht in Betrieb ist, die benötigte Wärme. Der Strom wird in dieser Zeit aus dem Netz bezogen.



Oxid-Brennstoffzellen werden mit Synthesegas betrieben, das mittels Partieller Oxidation aus einem Erdgas-Luft-Gemisch erzeugt wird. Bei der elektrochemischen Reaktion in der Brennstoffzelle entstehen – ohne Verbrennung – Strom und Wärme. Der Elektrolyt ist für Sauerstoffionen leitend; dadurch wird ein Stromfluss möglich.



Brennstoffzellen werden in einem teilautomatischen Fertigungsprozess hergestellt, damit die keramischen Bauteile keine Qualitätsschwankungen haben.

ser Einschränkung sind die Marktperspektiven für Galileo interessant, ist Hexis-Marketingleiter Nerlich überzeugt: «Allein im deutschsprachigen Raum müssen jedes Jahr etwa 300'000 Gas-Wärmeerzeuger bei Bestandsbauten ersetzt werden.» Nerlich ist mit dieser Zuversicht nicht allein: Im September 2012 stieg das deutsche Heiztechnik-Unternehmen Viessmann bei Hexis ein.

Schrittweise Verbesserungen

Die Idee einer Heizung auf der Grundlage von keramischen Brennstoffzellen (SOFC-Technologie) reicht über zwei Jahrzehnte zurück. Seit 1991 wurde die Technologie unter dem Dach der Sulzer AG erforscht. 2006 ging daraus die Hexis AG als eigenständiges Unternehmen hervor, getragen von einer Winterthurer Stiftung. Schon 1997/98 bauten die Ingenieure einen Prototypen des Brennstoffzellen-Systems. Die für 2004 geplante Markteinführung musste aber ausgesetzt werden, weil dieses Gerätes nicht technisch ausgereift war.

2006 präsentierte Hexis eine Weiterentwicklung der Heizanlage. Der Brennstoff wurde jetzt per Partieller Oxidation statt per Dampfpreformierung aufbereitet, der Interkonnektor (vgl. Textbox) aus einer statt zwei Platten gefertigt. Seither hat Hexis etwa 200 Pilotanlagen hergestellt und unterzieht diese im Labor und bei Pilotkunden Langzeittests. Am Firmensitz in Oberwinterthur reiht sich Testanlage an Testanlage. Auf der einen Seite wird hier an Ministapeln von Brennstoffzellen beispielsweise die elektrische Leitfähig-

keit einzelner Komponenten untersucht. Oder es handelt sich um komplette Anlagen, bei denen das Zusammenspiel der Teile im Fokus steht. Die Testanlagen sind bis zu fünf Jahre im Dauerbetrieb.

Dauerhaft leistungsfähig

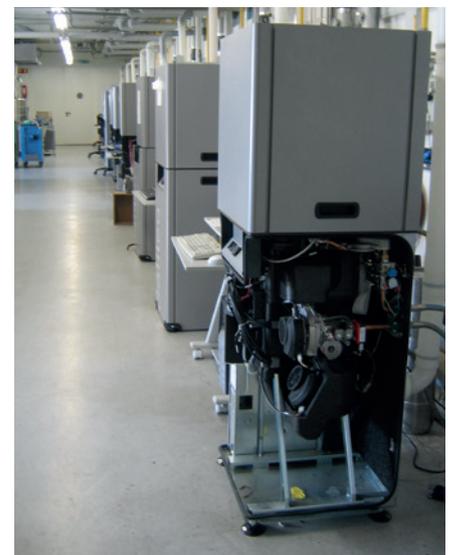
«Wir müssen lange testen, denn die Brennstoffzellen sollen als Zwischenziel 40'000 Stunden durchhalten», sagt Hexis-Forscher Andreas Schuler, promovierter Materialwissenschaftler der Eidgenössisch Technischen Hochschule Lausanne (EPFL). 40'000 Stunden bedeutet, dass die Brennstoffzelle während acht Heizperioden à 5000 Stunden ihren Dienst tun würde, und dies bei möglichst geringer Leistungseinbusse (Degradation). Schuler und seine Forscherkollegen haben in den letzten Jahren markante Fortschritte erzielt. Bei einer ab 2007 im Testbetrieb stehenden Anlage betrug die Degradation noch 1,6% auf 1000 Betriebsstunden; für die Geräte, die in diesem Herbst auf den Markt kommen, werden es noch etwa 0,5% auf 1000 Betriebsstunden sein.

Für die Kunden ist dieser Verschleiss nicht unbedingt von Bedeutung. Denn unterschreitet ein Brennstoffzellen-Modul eine gewisse Leistungsgrenze, wird es ausgewechselt. So kann eine Heizanlage zum Beispiel während 16 Jahren betrieben werden, nach acht Jahren wird einfach das Modul ausgewechselt. Hexis ist aus kommerziellen Überlegungen aber an einer möglichst langen Lebenszeit der Brennstoffzellen interessiert. Je länger diese mit gutem Wirkungsgrad laufen,

desto geringer sind die Kosten für Ersatz und zugehörige Serviceleistungen. Kontinuierliche Forschungs- und Entwicklungsarbeit – sie wird vom Bundesamt für Energie mitfinanziert – ist hier unabdingbar. Dank ihr konnte in den letzten Jahren auch die Stromausbeute nochmals um 30 Prozent gesteigert werden, ebenso die Robustheit der Anlage gegen Betriebsunterbrüche (Zyklusfestigkeit).

Empa-Forscher optimieren Materialien

Hexis arbeitet für die Entwicklung der Heizung unter anderem mit der Empa, der Forschungsinstitution für Materialwissenschaften innerhalb des ETH-Bereichs, zusammen. Die Qualität einer keramischen Brennstoffzelle hängt nämlich ▶



Im Labor in Oberwinterthur testet Hexis seine Brennstoffzellen-Heizgeräte über mehrere Jahre, um die Langlebigkeit der darin verbauten Brennstoffzellen zu untersuchen.



Blick in die Produktionshalle von Hexis.

stark von den verwendeten Materialien ab. So werden für den Elektrolyten keramische Folien aus Zirkoniumdioxid verwendet. Die Abteilung Hochleistungskeramik der Empa kann hier ihr Wissen einbringen. «Wir haben uns die Alterungsschäden an den Zellen ganz genau angeschaut und daraus Vorschläge entwickelt, wie die Brennstoffzellenalterung verlangsamt werden kann», sagt Jakob Kübler, der an der Empa die Forschergruppe Keramische Komposite in der Abteilung Hochleistungskeramik leitet. So hat sie beispielsweise mit einem Rasterelektronenmikroskop ergründet, ob Risse oder Gefügeveränderungen beispielsweise der Grund für Leitfähigkeitsänderungen des von Hexis entwickelten Anodenmaterials sein könnten.

Im Empa-Labor hat Kübler einen Ofen aufgebaut. Hier können er und seine Forscherkollegen das Verhalten von Materialien bei Temperaturen von etwa 800 °C, wie sie in einer Brennstoffzelle herrschen, untersuchen. Die hohen Temperaturen sind nämlich der Hauptgrund für Degradationserscheinungen wie Risse und chemischen Veränderungen z. B. des Elektrolyten von Brennstoffzellen. Die Forscher haben beispielsweise Schutzschichten für die Interkonnectoren entwickelt oder das Material der Beschichtungen so optimiert, dass Zellbrüche heute vermieden werden können. So konnte die Herstellung der Werkstoffe optimiert und das Zusammenspiel der Komponenten besser aufeinander abgestimmt werden. Dabei hatten die Forscher stets auch

den Betrieb im Blick, da die Brennstoffzelle beim Ein- und Ausschalten hohe Temperaturdifferenzen aushalten muss. Und weitere Verbesserungen sind in der noch jungen Brennstoffzellen-Technologie möglich. «Verbesserungen gab es nicht in einem einzigen, grossen Schritt, sondern in vielen kleinen Schritten», sagt Kübler. Und Hexis-Mann Nerlich ist überzeugt, dass dies erst der Anfang ist: «Brennstoffzellen haben zwar laufen gelernt, aber sie stecken noch immer in der Kleinkindphase. Das Potenzial dieser Technologie ist sehr gross. 🔴



Die Herstellung der Brennstoffzellen erfolgt in einer teilautomatischen Fertigung.



Jakob Kübler, Leiter der Forschergruppe Keramische Komposite an der Empa. Eine im Labor aufgebaute Testapparatur mit integriertem Ofen (rechts im Bild) hilft den Forschern bei der Analyse und Verringerung von Alterungsschäden an Brennstoffzellen.



Das Herzstück der neuen Heizanlage: Der Stapel mit ca. 60 übereinander geschichteten Brennstoffzellen, eingefasst von hitzebeständigen keramischen Materialien.



Blick in das Innere des Heizgeräts: Oben der Stapel mit ca. 60 übereinander geschichteten Brennstoffzellen.

So funktioniert eine Brennstoffzellen-Heizung

Das Herzstück einer Brennstoffzellen-Heizung ist das Brennstoffzellen-Modul. Dieses Modul ist im Fall der Hexis-Heizung Galileo aufgebaut aus etwa 60 scheibenförmigen, übereinander gestapelten Brennstoffzellen von der Grösse einer Compact Disk (den Begriff «Brennstoffzelle» wird also für das ganze Modul verwendet, zugleich aber auch für die einzelnen Zellen, aus denen dieses Modul aufgebaut ist). Jede dieser einzelnen Brennstoffzellen besteht aus einem Ionen (allerdings nicht Elektronen) leitenden Trägermaterial (Elektrolyt), das beidseitig mit einem elektrisch normal leitenden

Material beschichtet ist (Anode und Kathode). Zwei der Zellen trennt jeweils ein – ebenfalls CD-grosses – metallisches Verbindungsstück (Interkonnektor). Das zylinderförmige Brennstoffzellen-Modul ist mit einem Strömungsprofil ausgestattet, so dass ein Gas es auf geeignetem Weg durchströmen kann.

Zum Betrieb des Brennstoffzellen-Moduls wird ein Gemisch aus entschwefeltem Erdgas und vorgewärmter Luft verwendet, das von einem Katalysator in ein wasserstoffreiches Gas umgewandelt wurde. Durchströmt dieses Gemisch das Modul, läuft eine elektrochemische Reaktion ab. Dabei wird das Erdgas ohne Verbrennung in Strom und Wärme umge-

wandelt. Die im Gas gespeicherten Energie wird zu ca. 60% in Wärme und zu ca. 35% als Strom umgewandelt, die im Gas enthaltene Energie also mit einem Gesamtwirkungsgrad von 95% ausgenutzt. Bei dem Prozess entsteht kein Feinstaub, aber das Treibhausgas CO₂.

Der erzeugte Gleichstrom wird bei Galileo über einen Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt und steht als 220 Volt Wechselstrom für die Anwendung im Haushalt zur Verfügung. Die Wärmeenergie wird aus dem 550°C warmen Abgas über einen Wärmetauscher in Warmwasser mit maximal 80°C umgesetzt, das dann in den Heizungskreislauf des Hauses eingespeist wird.