

MEHR STROM AUS DER BRENNSTOFFZELLE

In Winterthur wird seit bald 30 Jahren an der Entwicklung von Brennstoffzellen-Geräten gearbeitet, die Erdgas in elektrischen Strom und Heizwärme umwandeln. Mit einer neuen Gerätegeneration will die HEXIS AG den elektrischen Wirkungsgrad nun merklich auf rund 50% steigern, bei einem Gesamtwirkungsgrad von über 90%. Seit Anfang Juni 2018 stellt ein Demonstrator mit 1,5 kW elektrischer Leistung die Funktionsfähigkeit des Konzepts unter Beweis. In Feldversuchen sollen nun Erfahrungen gewonnen werden, bevor das neue Gerät auf dem Markt angeboten wird.



Die HEXIS-Ingenieure Dr.-Ing. Andreas Mai (links) und Thomas Zähringer mit dem Demonstrator des Brennstoffzellen-Geräts «DaVinci». In der Mitte des Geräts befindet sich der runde Stahlkessel mit dem Brennstoffzellen-Stack, unmittelbar darunter der Dampfreformer, der über eine Leitung aus dem Entschwefler (Flasche links unten) mit entschwefeltem Erdgas/Methan versorgt wird. Der obere Teil des Stahlschranks bietet Platz für den späteren Einbau des Zusatz-Gasbrenners, der die Wärmeproduktion an kalten Tagen unterstützt. Foto: B. Vogel

Moderne Grosskraftwerke wandeln Erdgas in grossem Massstab in Strom und Wärme um. Auch in der Schweiz sind leistungsfähige Wärme-Kraft-Koppelungsanlagen im Einsatz, zum Beispiel zur Verwertung von Biogas aus Landwirtschaft und Industrieabfällen. Gas lässt sich aber auch im kleinen Massstab in Strom und Wärme umwandeln. Hierfür wird vorzugsweise die Brennstoffzellen-Technologie herangezogen. In der Schweiz sind rund Hundert Brennstoffzellen-Geräte in Betrieb, in Deutschland – wo die Technologie staatlich mit bis zu 12'000 Euro pro Gerät gefördert wird – einige Tausend. Diese Zahlen nehmen sich immer noch bescheiden aus im Vergleich zu Japan, wo bereits rund 200'000 Brennstoffzellen-Geräte verkauft wurden, mehr als die Hälfte vom japanischen Hersteller Panasonic.

Von «Galileo» zu «DaVinci»

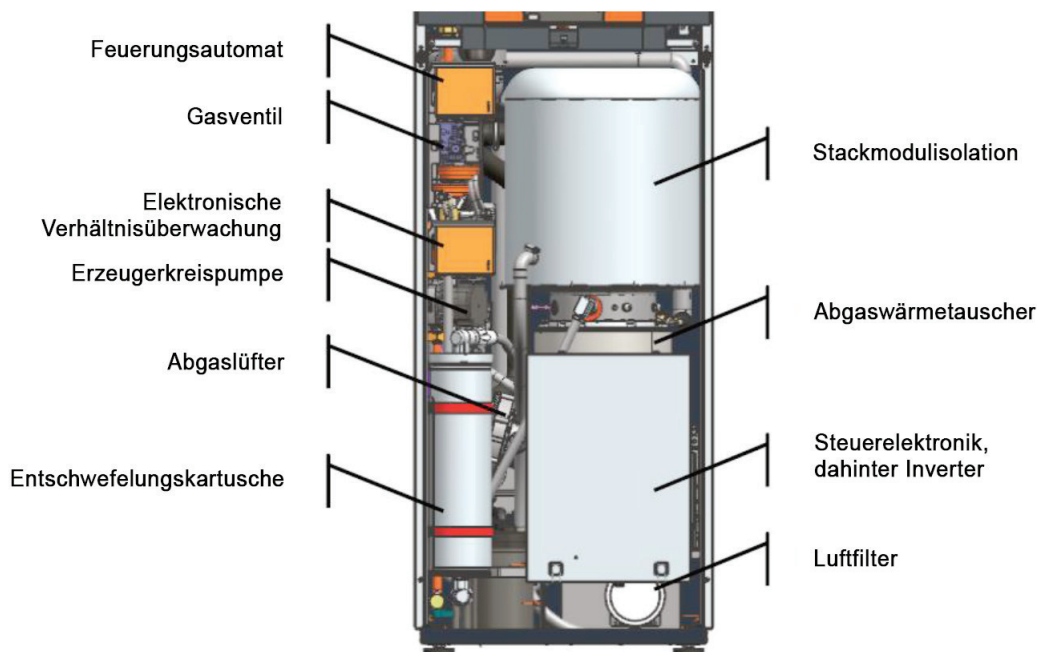
In der Schweiz hat die Brennstoffzellen-Technologie in Winterthur ein angestammtes Zuhause. Dort wurden seit 1989 in den Labors der Sulzer AG keramische Brennstoffzellen (Solid oxid fuel cell/SOFC) entwickelt, die mit hohen Betriebstemperaturen von 850 °C arbeiten (im Gegensatz zu den Niedertemperatur-Brennstoffzellen etwa von Panasonic; vgl. Textbox rechts oben). 2006 machte sich die Brennstoffzellen-Abteilung von Sulzer in der neu gegründeten HEXIS AG selbständig. 2012 wurde HEXIS zur Hälfte und 2015 schliesslich ganz durch den deutschen Hersteller von Heiz- und Kühlsystemen Viessmann übernommen. Ende 2013 brachte HEXIS mit «Ga-

SOFC VERSUS PEMFC

Brennstoffzellen existieren in verschiedenen Typen. Sie lassen sich unter anderem nach Elektrolyt, Brennstoff und Leistung unterscheiden. Für die Energieerzeugung in Gebäuden werden vor allem die Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC) und die Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle (PEMFC) eingesetzt. Beide Brennstoffzellen verwenden einen festen Elektrolyten – im Fall der SOFC ist es ein oxidkeramischer Elektrolyt, im Fall der PEMFC eine Polymermembran. Die SOFC arbeitet bei hohen Betriebstemperaturen von 650 bis 850 °C, die PEMFC bei tieferen Temperaturen von 40 bis 160 °C. PEMFC werden mit Wasserstoff betrieben, SOFC mit Erdgas. Brennstoffzellen-Geräte erzeugen Wärme und Strom bei einem Gesamtwirkungsgrad von 85 bis über 90%. BV

lileo» ihr erstes kommerzielles Brennstoffzellen-Gerät auf den Markt, von dem bis im vergangenen Jahr 300 Stück gebaut wurden.

Zur Zeit arbeitet HEXIS an einer neuen Gerätegeneration, die 2019 unter dem Namen Vitovalor (interner Arbeitstitel «Leonardo») auf den Markt kommen soll. Daraus soll dann später mit weiter gesteigerten Leistungsdaten ein Gerät mit dem Arbeitstitel «DaVinci» hervorgehen, für dessen Vermark-

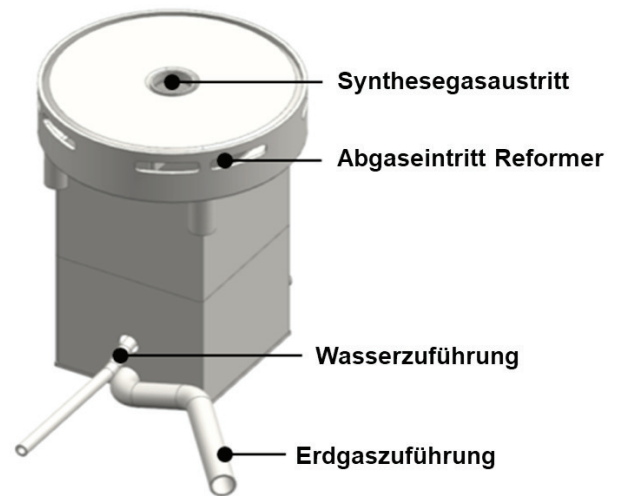


Die Hauptkomponenten des Brennstoffzellen-Geräts «DaVinci». Grafik: HEXIS

tung – anders als bei «Galileo» – ausschliesslich die Muttergesellschaft verantwortlich sein wird. Die zentrale Neuerung der neuen Generation liegt beim elektrischen Wirkungsgrad: Dieser soll von 35% («Galileo») auf 50% («DaVinci») angehoben werden. «Die Produktion von Strom gewinnt ständig an Bedeutung und leistet einen wesentlichen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit unserer Geräte», begründet Dr.-Ing. Andreas Mai, Leiter Forschung&Entwicklung bei HEXIS, den Vorzug eines höheren elektrischen Wirkungsgrads der neusten Brennstoffzellen-Geräte. Auch andere Hersteller setzen auf die Vorteile eines hohen elektrischen Wirkungsgrads.

Dampf statt Sauerstoff

«DaVinci» nutzt dieselbe Brennstoffzellen-Technologie wie «Galileo», um das Brenngas in einer elektrochemischen Reaktion ohne Verbrennung in Strom und Wärme umzuwandeln. Als Lebensdauer des Stapels («Stacks») aus Brennstoffzellen-Elementen werden für «DaVinci» 60'000 bis 80'000 Stunden angepeilt, so dass über die geplante Betriebsdauer des Gesamtgeräts von zehn bis 15 Jahren der Stack nur einmal getauscht wird. Um den hohen elektrischen Wirkungsgrad zu



Der Dampfreformer, wie er künftig im Brennstoffzellen-Gerät «DaVinci» zum Einsatz kommen wird. Die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) hat HEXIS bei den Simulationen und bei der Auslegung des Reformers unterstützt. Illustration: HEXIS

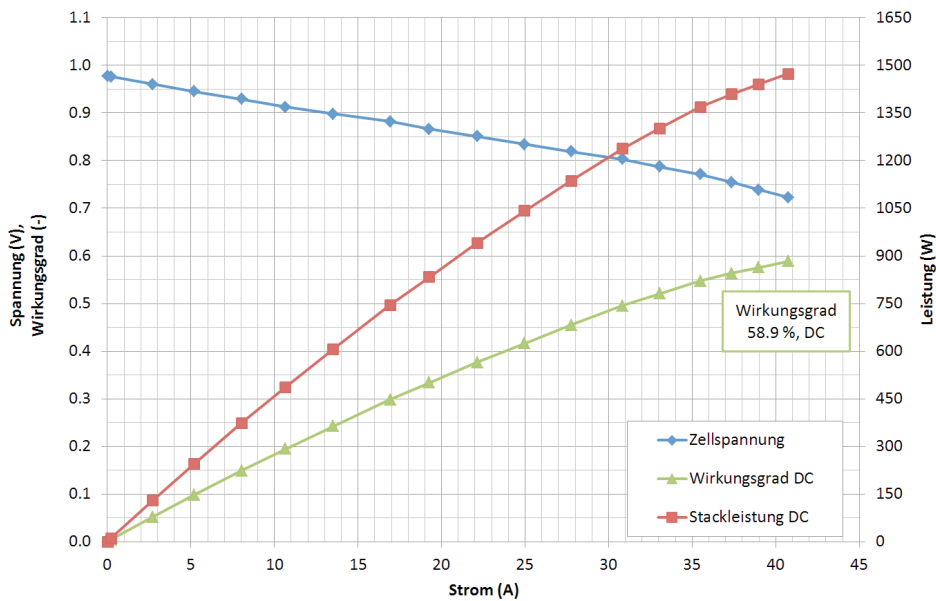
erzielen, kommt bei «DaVinci» ein anderes Verfahren zur Herstellung des Wasserstoffs zum Einsatz als noch bei «Galileo»: Wurde dem (entschwefelten) Erdgas bei «Galileo» Sauerstoff

MEHR STROM, WENIGER WÄRME

Die SOFC-Brennstoffzellen von HEXIS nutzen zur Erzeugung von Strom und Wärme Wasserstoff. Der Wasserstoff wird aus dem zugeführten Brennstoff Erdgas gewonnen, der zur Hauptsache aus Methan besteht. Bei «Galileo», dem älteren HEXIS-Gerät, wird dem Methan (CH_4) Sauerstoff (O_2) beigemischt; über eine chemische Reaktion (Partielle Oxidation; engl. catalytic partial oxidation/CPO) entsteht daraus Kohlenmonoxid und Wasserstoff ($\text{CH}_4 + 1/2 \text{O}_2 \Rightarrow \text{CO} + 2 \text{H}_2$). Bei «DaVinci» wird dem Methan nun Wasserdampf beigegeben und wiederum über eine chemische Reaktion (Dampfreformierung; engl.: steam reforming/STR) Kohlenmonoxid und Wasserstoff erzeugt ($\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2$). Der Vorteil der Dampfreformierung: Mit der gleichen Menge Methan kann 50% mehr Wasserstoff erzeugt werden – entsprechend höher ist die Stromausbeute in der Brennstoffzelle. Da ein Teil der produzierten Wärme genutzt wird, um den Prozess der Dampfreformierung in Gang zu bringen, resultiert unter dem Strich verhältnismässig viel Strom. Dadurch kann der elektrische Wirkungsgrad gegenüber «Galileo» von 35% auf 50% gesteigert werden (während der thermische Wirkungsgrad entsprechend von 55 auf 40% abnimmt).

Die Dampfreformierung ist ein lange erprobtes industrielles Verfahren, und die Brennstoffzellen-Ingenieure in Winterthur hatten in frühen Jahren selber schon dieses Verfahren eingesetzt. Damals aber arbeitete das Verfahren nicht zuverlässig, war relativ komplex und verursachte hohe Kosten für die Bereitstellung des Dampfs (konkret: Reinigung des Wassers u.a. von Kalzium und Magnesium). Deshalb liess HEXIS damals die Dampfreformierung zugunsten der Partiellen Oxidation wieder fallen.

Jetzt erlebt die Technologie mit «DaVinci» eine Renaissance: Neu wird das Wasser nicht aus dem Wassernetz zugeführt, sondern durch Kondensation aus der im Abgas enthaltenen Feuchtigkeit gewonnen. Damit ist die Reinigung einfacher als bei Verwendung von Frischwasser. Das neue Gerät arbeitet mit einem geschlossenen Wasserkreislauf und braucht deshalb – ein weiterer Vorteil – keinen Anschluss an eine Wasserleitung. BV



Bei einer Leistung des Brennstoffzellen-Stacks von 1,5 kW (Gleichstrom/DC) erreicht «DaVinci» einen elektrischen Wirkungsgrad von 58,9%, so der bisher von HEXIS gemessene Spitzenwert. Ein Teil des aus dem Methan gewonnenen Stroms geht bei der Umwandlung von Gleich- in Wechselstrom und für den Eigenverbrauch des Brennstoffzellen-Gerätes (Elektronik, Lüfter, Pumpe) verloren. Netto bleibt ein Wirkungsgrad von bis zu 50,5%. Grafik: HEXIS

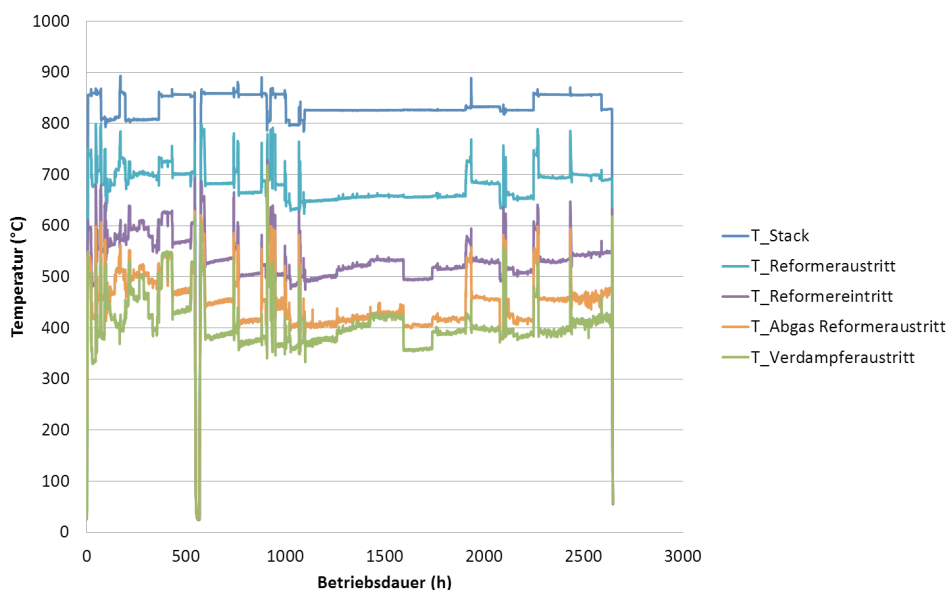
beigemischt, ist es bei «DaVinci» nun Wasserdampf. Dies führt dazu, dass die «DaVinci»-Brennstoffzelle unter dem Strich mehr Strom und weniger Wärme produziert als die Vorgänger-Gerätegeneration (vgl. unten Textbox auf S. 3).

Bei der Weiterentwicklung von «Galileo» zu «DaVinci» hatten die Entwickler zwei große Herausforderungen zu meistern. Die erste war die Entwicklung eines Dampfreformers mit zugehörigem Katalysator, in dem das Methan-Wasserdampf-Gemisch in Wasserstoff und Kohlenmonoxid umgewandelt wird. Gemeinsam mit einem Zulieferer aus der Automobilbranche wurde ein kompakter Reformer entwickelt, der auf die knappen Platzverhältnisse abgestimmt ist und trotz-

dem genügend Fläche für den Wärmeübergang bereitstellt. Dank kompakter Bauweise lässt sich die Gerätekomponente thermisch gut isolieren, was bei einer Betriebstemperatur von 850 °C zentral ist für die Effizienz des Gesamtsystems. Die zweite Herausforderung war die Beschaffung einer zuverlässig arbeitenden, kostengünstigen Wasserpumpe, die einen geringen Volumenstrom von gerade einmal 6 bis 8 ml/Minute über eine voraussichtliche Betriebszeit des Gesamtgeräts von bis zu 15 Jahren zuverlässig fördert.

Alterungsresistent und teillasttauglich

Die bisherigen Erfahrungen mit dem Prüfstand, in dem fünf statt der letztlich 50 Brennstoffzellen verbaut sind, stimmen



HEXIS hat den Dampfreformer einem Testbetrieb von mehr als 2500 Stunden unterzogen. Die Messgrafik zeigt, dass verschiedene Temperaturparameter über diesen Zeitraum hinweg praktisch konstant waren. Dies ist Voraussetzung für einen stabilen Systembetrieb. Grafik: HEXIS

zuversichtlich: Die Dampfreformierung führt nach bisherigen Erkenntnissen nicht zu einer schnelleren Alterung (Degradation) der Brennstoffzellen, was wichtig ist für die Lebensdauer des Gesamtsystems. Zudem ist der elektrische Wirkungsgrad auch im Teillastbetrieb konstant hoch. Das ist von Bedeutung, weil die neue Heizung nicht nur von September bis Mai laufen soll wie «Galileo», sondern über das ganze Jahr. Da im Sommer nur Warmwasser erhitzt werden muss, ist das Brennstoffzellen-Gerät nicht voll ausgelastet und wird daher im (wärmegeführten) Teillastbetrieb arbeiten. Wie «Galileo» wird auch «DaVinci» mit einem Zusatz-Wärmeerzeuger (20 kW-Gasbrenner) ausgerüstet, der im Winter eine hinreichende Wärmeproduktion gewährleistet. «Wenn viel Wärme benötigt wird, produzieren wir auch viel Strom. Das ist zugleich die Zeit, wenn wenig Photovoltaikstrom zur Verfügung steht», sagt HEXIS-Entwicklungsingenieur Thomas Zähringer. Er sieht Brennstoffzellen daher als eine ideale Ergänzung zu Photovoltaik- und Windkraftwerken.

In den nächsten Schritten wollen die HEXIS-Entwickler den Reformer nochmals verbessern. Ab 2019 soll das Brennstoffzellen-Gerät bei Testkunden für mindestens ein Jahr im Feldversuch laufen, bevor die Industrialisierung, Zertifizierung und schliesslich die Serienproduktion in Angriff genommen werden. Eine grosse Herausforderung für die Brennstoffzellen-Industrie besteht in der Senkung der Herstellungskosten. Längerfristig schweben HEXIS Systempreise für den Endkunden in der Grössenordnung von 15'000 bis 20'000 Fr. vor (fertig installiert und betriebsbereit inkl. Mehrwertsteuer). Dieser Preis ermögliche einen wirtschaftlichen Betrieb ohne Förderung und werde somit von den Kunden akzeptiert, sagen die Verantwortlichen. Im Verkauf sehen sie das Brennstoffzellen-Gerät zum Beispiel als Alternative zu Solarthermie plus Gaskessel oder auch zum Einbau einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe. «Brennstoffzellen-Geräte können aufgrund der hohen elektrischen und Gesamt-Effizienz einen sehr wichtigen Beitrag zu einer dezentralen und umweltschonenden Stromversorgung leisten», sagt HEXIS-Geschäftsführer Dr.-Ing. Alexander Schuler.

➤ **Auskünfte** zu dem Projekt erteilen Dr. Yasmine Calisesi (yasmine.calisesi[at]bfe.admin.ch), verantwortlich für das P+D-Programm des BFE, und Dr. Stefan Oberholzer, Leiter des BFE-Forschungsprogramms Brennstoffzellen.

PILOT-, DEMONSTRATIONS- UND LEUCHTTURM-PROJEKTE DES BFE

Die Entwicklung der Brennstoffzellen-Heizung «DaVinci» durch die HEXIS AG (Winterthur) gehört zu den Pilot- und Demonstrationsprojekten, mit denen das Bundesamt für Energie (BFE) die Entwicklung von sparsamen und rationellen Energietechnologien fördert und die Nutzung erneuerbarer Energien vorantreibt. Das BFE fördert Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte mit 40% der nicht amortisierbaren, anrechenbaren Kosten. Gesuche können jederzeit eingereicht werden.

➤ **Informationen** unter:

www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration

www.bfe.admin.ch/leuchtturmprogramm

➤ Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Brennstoffzellen finden Sie unter www.bfe.admin.ch/CT/H2.