

bild der wissenschaft **plus**



DIE POWER- GENERATION

Eine junge Technologie startet durch:
Hausenergie aus Brennstoffzellen


Eine Sonderpublikation in Zusammenarbeit mit der  Initiative
Brennstoffzelle

bild der wissenschaft



Ein ganzes Jahr auf einen Blick:



01/2001



02/2001



03/2001



04/2001



05/2001



06/2001



07/2001



08/2001



09/2001



10/2001



11/2001



12/2001

Das alles hätten Sie bereits lesen können! Aber noch sind Nachbestellungen möglich. Ausgabe 1-6 zu je € 6,14 und Ausgabe 7-12 zu je € 6,60. Oder Sie bestellen 4 Hefte Ihrer Wahl zum Sonderpreis von € 20,- (jeweils zuzüglich Versandkosten).

Ihre Zukunft ist Ihr Wissen.
Tun Sie heute etwas dafür



Bestell- Hotline 0 81 05 / 38 82 04

Das Kraftwerk, das in den Keller kommt

Wir leben in einer spannenden Zeit. Vieles, was Jahrzehnte Bestand hatte, verändert sich gegenwärtig rasend schnell. Das gilt für Gesellschaft und Familie, Wirtschaft und Technik. Die Abkehr vom Fürsorgestaat, das neue Verhältnis von Mann und Frau, die Globalisierung, der Siegeszug des Internet sind nur einige Beispiele für das, was mit uns und um uns herum geschieht.

Selbst im Heizungskeller beginnt es zu rumoren. Würde diese Räumlichkeit beim Vorzeigen neu bezogener Wohnungen bisher stets ausgespart, wird es sich bald so mancher Hausherr nicht mehr nehmen lassen, seine Gäste dort hinein zu schieben: der Brennstoffzelle wegen. Denn diese

Technik – das Grundprinzip wurde bereits 1839 von Sir William Grove entdeckt – wird in der zweiten Hälfte unseres Jahrzehnts einen rasanten Aufschwung nehmen. Automobile, Laptops, ja ganze Haushalte werden elektrische Energie aus Brennstoffzellen beziehen.

Was besagte Hausherrn ihren Gästen zeigen wollen, ist, dass sich ihr Gasanschluss doppelt rechnet: Ein so genannter Reformer spaltet das im Erdgas dominierende Methan auf und erzeugt daraus molekularen Wasserstoff, der sich beim Zusammentreffen mit Luftsauerstoff zu Wasser vereinigt und dabei Strom und Wärme abgibt. Ist die Anlage entsprechend dimensioniert, reicht der Strom aus, um die üblichen Verbraucher im Haushalt zu versorgen. Und die Abwärme ist gut genug, um dieselben zu beheizen.

Solche Aggregate werden sich zuerst nur Leute leisten, die Spaß an innovativer Technologie haben und denen es auch etwas wert ist, sich mit einem neuen Produkt zu schmücken. Doch damit tun sie Gutes für uns alle. Denn ihre Investitionen werden die Serienproduktion von erdgasbetriebenen Brennstoffzellen so ankurbeln, dass die Preise fallen. „Für den normalen Anwender ist die Brennstoffzelle nur interessant, wenn die Summe der Bezugskosten für Erdgas und elektrische Energie und die anlagenbedingten Kosten niedriger sind als bei heutigen Systemen“, sagt Dr. Jürgen Lenz, Technikvorstand der Ruhrgas AG. Recht hat er.

Damit unsere Leser anderen eine Nasenlänge voraus sind und wissen, welche revolutionäre Veränderung bei der Energieversorgung ins Haus steht, haben wir dieses Bild der Wissenschaft plus in Zusammenarbeit mit führenden Akteuren zusammengestellt. Gro(o)ven Sie sich rein, kann ich da nur sagen – und bitte den alten Sir William um Pardon für meinen Umgangston.



Wolfgang Hess
Chefredakteur

- 4 **Das Lebenselixier**
Vom Lagerfeuer zur Wasserstoffwirtschaft
- 10 **Brennstoffzelle – Das Multitalent**
Sechs starke Typen liefern Strom und Wärme
- 14 **Ein Spätzünder hebt ab**
Von William Grove zum Flug ins All
- 16 **Aus dem Innenleben eines Stars**
Faszinierende PEM-Folie
- 18 **Gas satt**
Erdgaslagerstätten: Europa ist begünstigt
- 20 **Erdgas ist eine universelle Energie**
Jürgen Lenz über die neuen Chancen fürs Gas
- 23 **Apfel, Birne, Wirkungsgrad**
Wenn schon vergleichen, dann bitte richtig
- 24 **Der lange Weg zur Marktreife**
Neue Technologien brauchen Anlaufzeit
- 26 **Pioniere packen's an**
Brennstoffzellen in Oldenburger Heizkellern
- 28 **Die Netze besser nutzen**
Werner Brinker setzt auf innovative Ideen
- 29 **Zauberwort Contracting**
Komplettservice für Brennstoffzellen-Nutzer
- 30 **In den Startlöchern**
Die Marktstrategien der Anlagenhersteller
- 33 **Allrounder fürs Haus**
Neues Berufsbild Gebäudetechniker
- 34 **Der optimale Mix**
Essay: Stephan Kohler zur Energie-Zukunft
- 36 **Brennstoffzelle ahoi!**
Eine Energiequelle kommt in Bewegung
- 40 **Vision Erdgashaus**
Wäschetrockner mit Gas betreiben? Das geht
- 43 **Neugierig geworden?**
Impressum



TITELBILD: Noch in den Kinderschuhen, aber mit gewaltigem Zukunftspotenzial: die Energiegewinnung mit Brennstoffzellen. Der transparenten Kunststoff-Membran PEM fällt eine Hauptrolle zu.

Das Lebenselixier

Jahrtausendlang war das Feuer die Energiequelle des Menschen. Doch die fossilen Brennstoffe sind begrenzt. Auf dem Weg ins solare Wasserstoff-Zeitalter könnten Erdgas und Energie aus Biomasse eine Brückenfunktion übernehmen.



URELEMENT FEUER.
Beduinen in der Wüste
Nigerias entfachen ihr
abendliches Lagerfeuer.
Schon vor hundert-
tausenden von Jahren
nutzte der Mensch das
Feuer zum Wärmen,
Kochen und Schmieden.

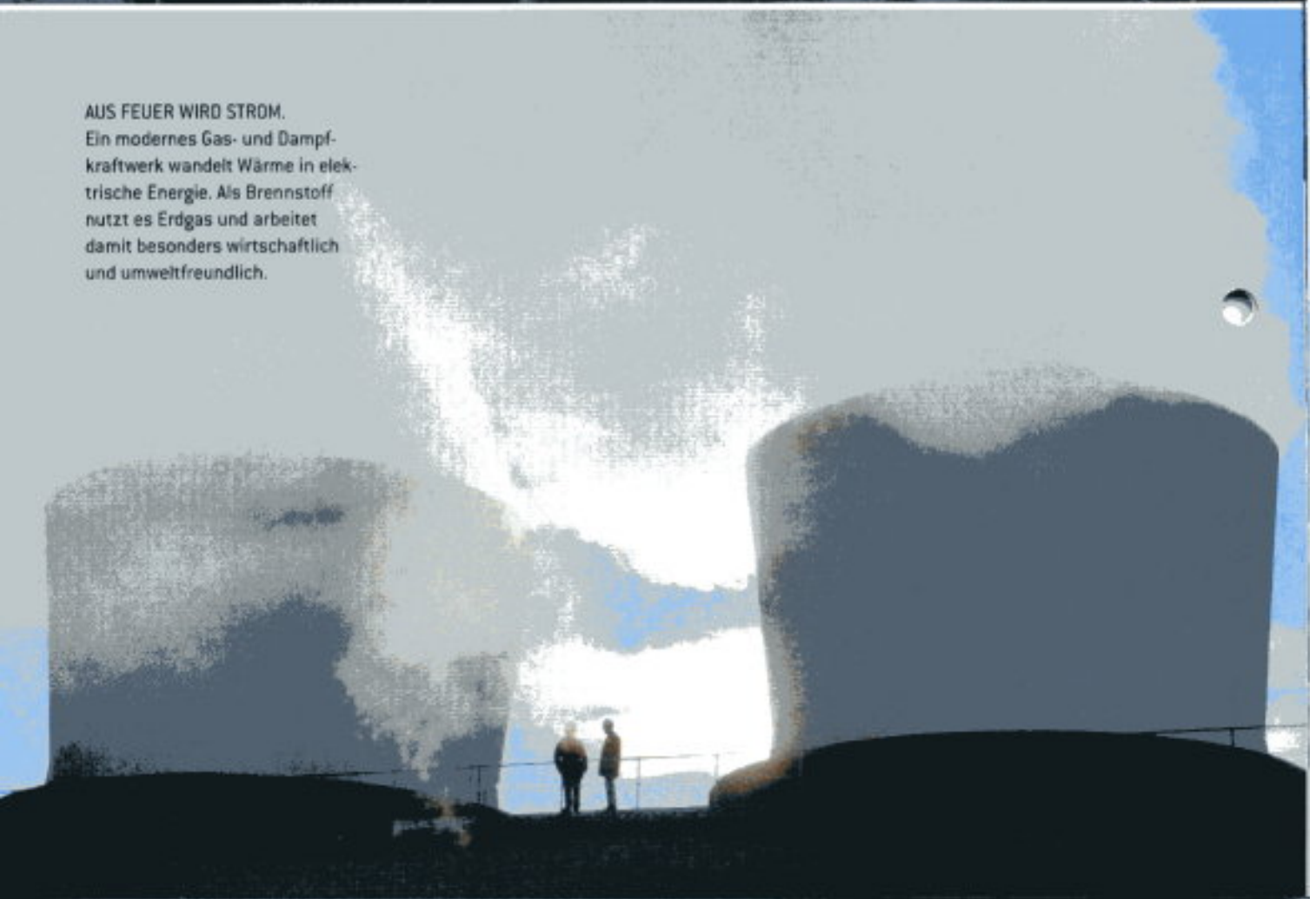




FEUER MACHT BEWEGUNG. Mit der Erfindung der Dampfmaschine beginnt das Zeitalter der Industrialisierung. Kohle wird zum „schwarzen Gold“; Dampflokomotiven verbinden die Metropolen Europas und revolutionieren den Verkehr.

AUS FEUER WIRD STROM.

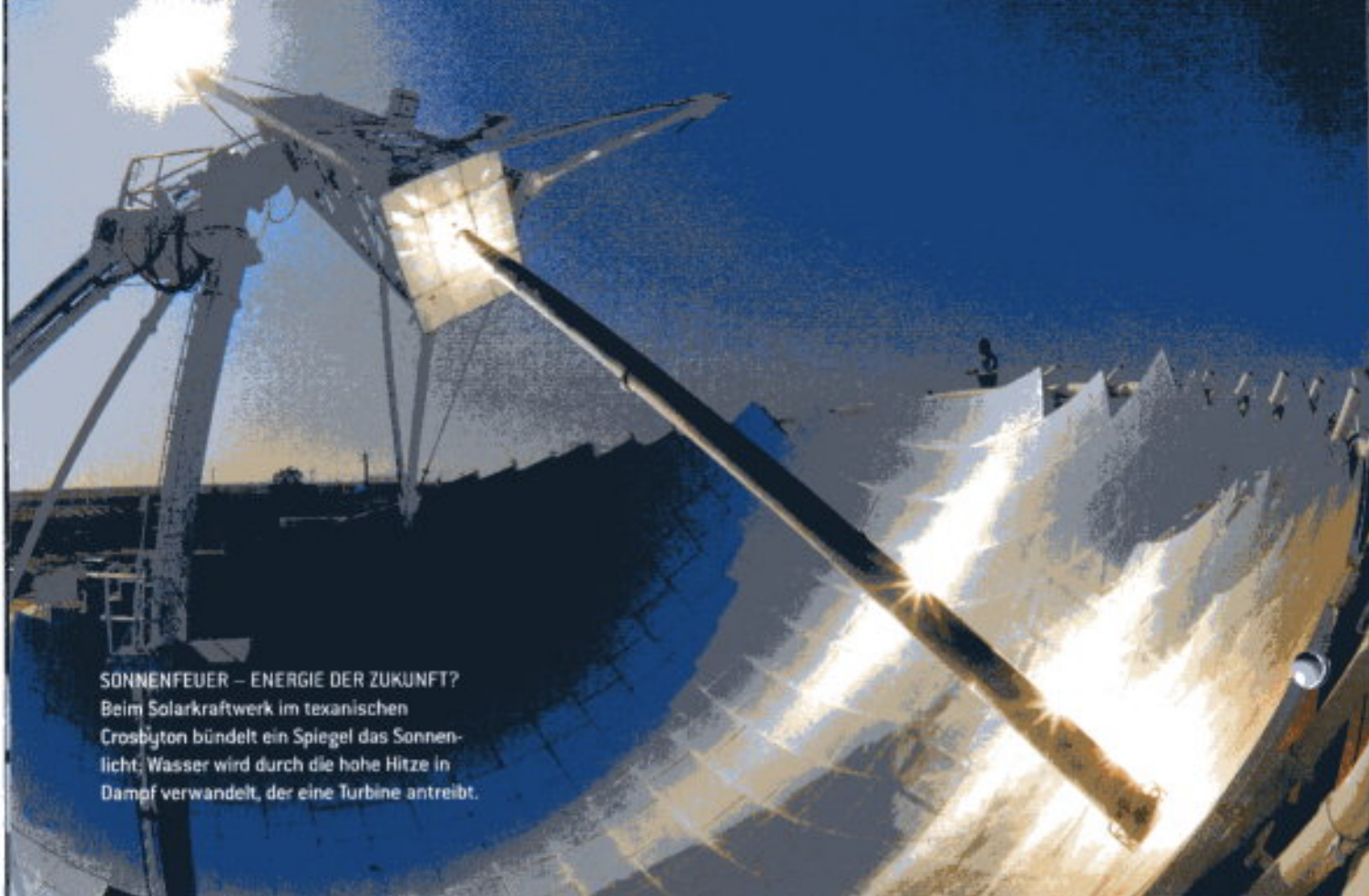
Ein modernes Gas- und Dampfkraftwerk wandelt Wärme in elektrische Energie. Als Brennstoff nutzt es Erdgas und arbeitet damit besonders wirtschaftlich und umweltfreundlich.



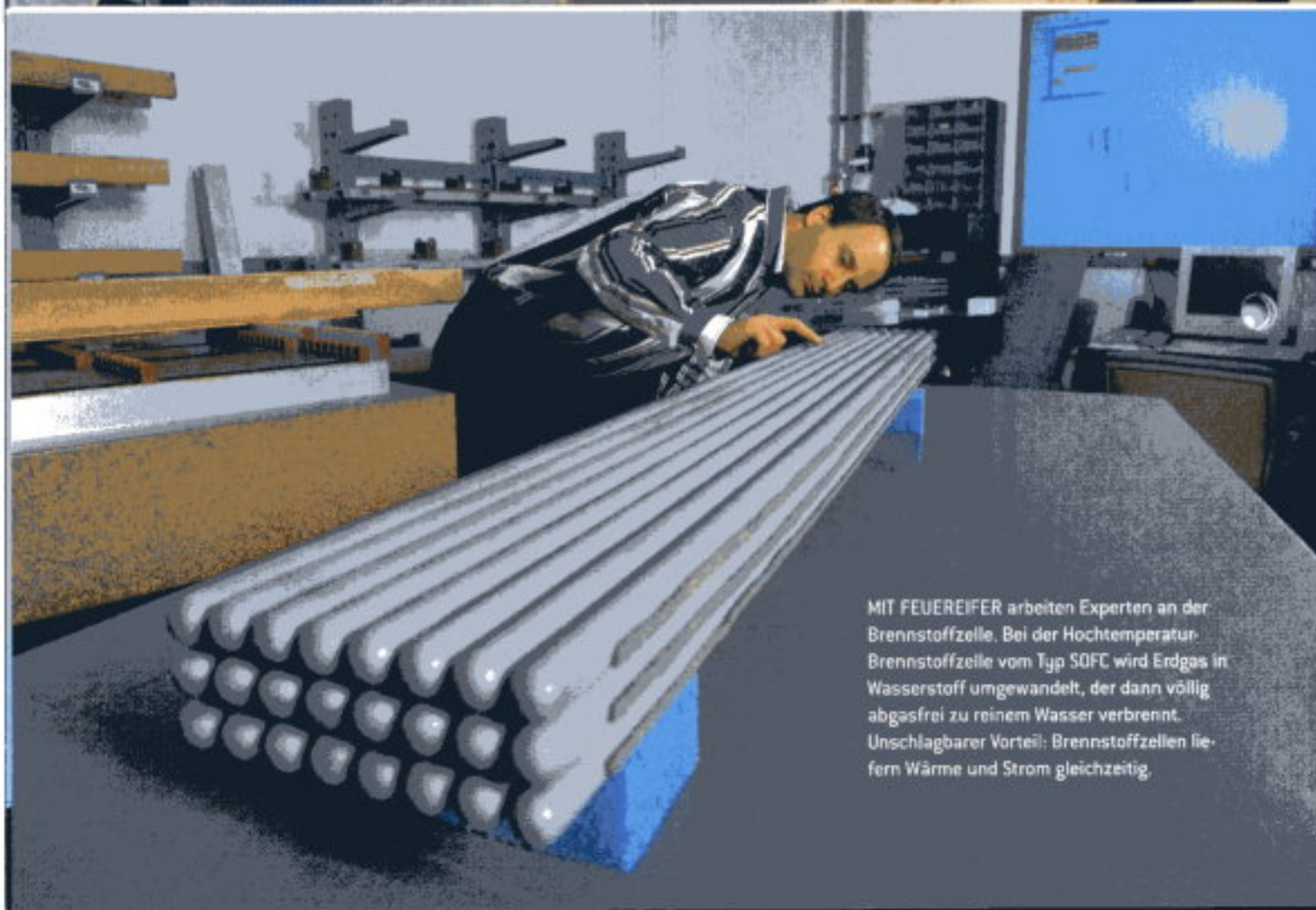


FEUER AUS DEM BAUCH DER ERDE. Im Inneren unseres Planeten schwelt eine ewige Glut. Diese Erdwärme lässt sich in Geothermiekraftwerken nutzen, wie sie an Islands heißen Quellen stehen (großes Foto). **FOSSILE BRENNSTOFFE** wie Steinkohle werden unter schwierigen Bedingungen abgebaut (rechts oben). Die Ressourcen sind begrenzt, in 150 bis 200 Jahren könnten die Kohlevorkommen erschöpft sein. **BRENNENDES EIS** besteht aus festem Methanhydrat und lagert in rauen Mengen am Meeresgrund (rechts unten). Experten schätzen, dass die weltweiten Vorkommen doppelt so groß sind wie die Ressourcen an Kohle und Öl. Schwierig ist nur die Bergung des Methaneises.

M. Lewis/Corbis (S.415); dpa; P. Saunders/Corbis; S. Frasier/DFL/Agentur Focus; M. Steinmetz/Visum/Photofinder; dpa



SONNENFEUER – ENERGIE DER ZUKUNFT?
Beim Solarkraftwerk im texanischen Crosbyton bündelt ein Spiegel das Sonnenlicht. Wasser wird durch die hohe Hitze in Dampf verwandelt, der eine Turbine antreibt.



MIT FEUEREIFER arbeiten Experten an der Brennstoffzelle. Bei der Hochtemperatur-Brennstoffzelle vom Typ SOFC wird Erdgas in Wasserstoff umgewandelt, der dann völlig abgasfrei zu reinem Wasser verbrennt. Unschlagbarer Vorteil: Brennstoffzellen liefern Wärme und Strom gleichzeitig.

Der Riesentanker hat kaum angelegt, da senken sich überdimensionale Saugrüssel in den Rumpf und pumpen eine wertvolle Fracht an Land. Es ist purer Wasserstoff, gewonnen auf riesigen Solarfarmen in der Sahara.

Die solare Wasserstoffwirtschaft, so die Vision, spukt seit Jahrzehnten in den Köpfen von Experten herum. Ihre Ökobilanz wäre vorbildlich: In sonnigen Ländern spaltet Solarstrom Wasser in seine Bestandteile. Den dabei erzeugten Wasserstoff schippern Spezialtanker nach Europa. Dort treibt er Autos an, aber auch Brennstoffzellen, die Wohnblocks und Eigenheime heizen und mit Strom versorgen. Aus Auspuffen und Schornsteinen kommt kein CO₂, sondern umweltfreundlicher Wasserdampf.

Doch bis heute ist es zu teuer, Wasserstoff mit Solarstrom zu gewinnen. Deshalb setzt die Industrie auf eine andere Strategie. Sie erzeugt den Wasserstoff nicht per Elektrolyse, sondern bedient sich der Reformierung von methanhaltigem Erdgas. Dabei reagiert das Erdgas mit heißem Wasserdampf zu einem wasserstoffreichen Gasgemisch. „Die Reformierung ist wesentlich billiger als die Elektrolyse“, sagt Peter Hübner vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg. Allerdings entsteht bei der Reformierung von Erdgas das Treibhausgas CO₂.

Eine andere Idee hat Karl-Heinz Tetzlaff vom Deutschen Wasserstoffverband: „Man könnte das CO₂ aus der Reformierung in ausgebeutete Ölfelder oder Gaslager pumpen und dort dauerhaft speichern.“ Wie kommt aber der gewonnene Wasserstoff zu den Verbrauchern? Tetzlaff denkt an große, zentrale Produktionsanlagen, von denen man den Wasserstoff zu Autotankstellen oder in die Häuser transportieren würde. „Dazu ließe sich das vorhandene Erdgasnetz nutzen“, überlegt Tetzlaff. „Man könnte dem Erdgas sogar Wasserstoff beimischen, beide Gase benötigen ähnliche Sicherheitsstandards.“

Doch auch eine Wasserstoffspeicherung ist möglich. „Drucktanks sind heute kommerziell erhältlich, und Flüssigtanks nähern sich der Serienreife“, sagt Matthias Altmann von der Firma L-B-Systemtechnik in München. Im Rennen sind auch Metallhydride. Sie saugen Wasserstoff wie ein Schwamm auf und erreichen deutlich höhere Speicherdichten als Flüssig-

tanks. Das Problem: „Metallhydride sind teuer“, erklärt Altmann. „Sie eignen sich vor allem für kleine Brennstoffzellen in Laptops und Camcordern.“

Wie also könnte der Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft aussehen? „Schon heute fällt Wasserstoff in der Industrie als Nebenprodukt an, den man für Brennstoffzellen nutzen könnte“, so Altmann. Wenn in vielleicht zehn Jahren die ersten Wasserstoffautos auf den Markt kommen, dürften stationäre Brennstoffzellen schon längst Häuser mit Wärme und Strom versorgen. Diese Minikraftwerke liefern mehr Strom als im Haushalt benötigt wird. Der Überschuss kann ins Ortsnetz eingespeist werden. Zigttausende dieser Brennstoffzellen ließen sich gar zu einem „virtuellen“ Kraftwerk bündeln, mit dessen Leistung die Energiekonzerne zuverlässig kalkulieren können.

Die Brennstoffzellengeräte in den Häusern werden zunächst mit fossilem Erdgas betrieben werden. Mittelfristig arbeiten die Ingenieure daran, auch Biomasse als Rohstoff zu erschließen – in zwei Varianten: Einerseits kann Gülle, Silage oder Klärschlamm zu einem methanreichen Gas vergoren werden. Andererseits ließe sich beispielsweise aus Zuckerrohr Ethanol gewinnen und zu Wasserstoff reformieren. „Auf die Wasserstoff-Elektrolyse wird man dagegen nicht so schnell umstellen können“, meint Peter Hübner, „auch wenn sie auf lange Sicht der Weg ist, den wir beschreiten müssen.“ Hierzulande könnten etwa riesige Offshore-Windparks zur Wasserstoffproduktion beitragen. Andere Experten planen, Wasserstoff auf Island mit der dort reichlich vorhandenen Geothermie herzustellen und dann zu verschiffen.

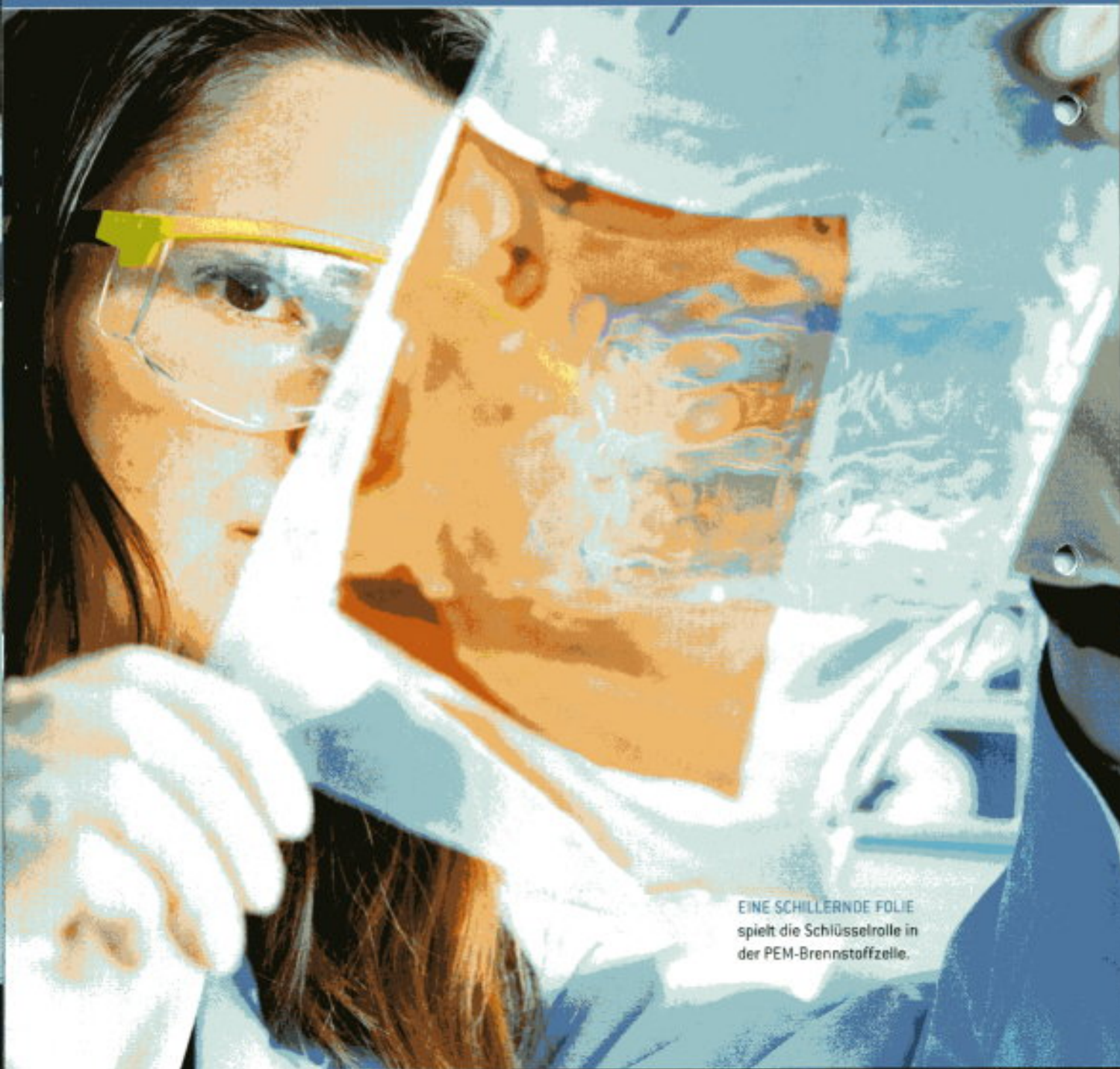
Die solaren Wasserstoff-Farmen in der Sahara dagegen bleiben bis auf weiteres eine ferne Vision. „Von diesen Plänen haben wir uns vorerst verabschiedet“, sagt Matthias Altmann. „Die Wasserstoffwirtschaft wird dezentral beginnen und am Markt wachsen.“

WASSERSTOFF AUS ERDGAS IST EIN WICHTIGER SCHRITT AUF DEM LANGEN WEG ZUR WASSERSTOFFWIRTSCHAFT

■ FRANK GROTELÜSCHEN

Brennstoffzelle – Das Multitalent

Sechs starke Typen – ein und dasselbe Prinzip: Die Brennstoffzelle ist ein Allrounder unter den Energiequellen. Bald wird sie in Häusern Strom und Wärme liefern, Fahrzeuge antreiben und Laptops versorgen.



EINE SCHILLERENDE FOLIE
spielt die Schlüsselrolle in
der PEM-Brennstoffzelle.

Sie als Batterie mit Zuleitung und Auspuff zu bezeichnen, wäre salopp, aber treffend. Wie eine gewöhnliche Batterie produziert auch eine Brennstoffzelle durch chemische Reaktionen elektrischen Strom – beides sind „elektrochemische Zellen“. Beide haben zwei Elektroden – Anode und Kathode –, an denen sich eine Spannung abgreifen lässt: bei Brennstoffzellen etwa ein Volt. Und noch eine Gemeinsamkeit: Ebenso wie Batterien schaltet man auch Brennstoffzellen-Einheiten zusammen, um für den praktischen Einsatz höhere Spannungen zu erzeugen.

Der große Unterschied zwischen beiden ist: Die Energie der Batterie ist begrenzt – sie ist in den Chemikalien in ihrem Inneren gespeichert. Die Brennstoffzelle hingegen wird zur Stromproduktion kontinuierlich mit Luft und einem Brennstoff versorgt. Das kann Wasserstoff sein, aber auch Erdgas oder Methanol, woraus der Wasserstoff aufwändig abgespalten wird. Im Gegensatz zu Batterien braucht eine Brennstoffzelle also einen externen Tank oder eine Gas-Zuleitung.

In der Zelle findet eine elektrochemische Reaktion statt, die sich in zwei Teilreaktionen an Anode und Kathode aufspaltet – in diesem Grundmuster gleichen sich alle technischen Spielarten der Brennstoffzelle. Im einfachsten Fall reagieren Wasserstoff und Sauerstoff miteinander zu Wasser – aber nicht wie bei der Knallgasreaktion, die man aus dem Chemieunterricht kennt: Die Reaktion läuft statt dessen kontrolliert und „kalt“ ab, ohne Detonation und Flamme. Beide Gase sind durch einen Elektrolyten sicher voneinander getrennt.

Auf der Anodenseite wird Wasserstoff mit Hilfe eines Katalysators in positiv geladene Wasserstoff-Ionen (H^+) und negative Elektronen aufgespalten. Jedes Wasserstoff-Atom gibt ein Elektron ab, das durch einen Leiter zur Kathode wandert: Es fließt Strom. Unterdessen diffundiert das Wasserstoff-Ion durch den trennenden Elektrolyten und vereinigt sich auf der Kathodenseite mit dem Luftsauerstoff zu reinem Wasser.

Mittlerweile haben Forscher sechs verschiedene Typen von Brennstoffzellen entwickelt, die sich für verschiedene Anwendungen eignen und teilweise schon bewährt haben. Wichtigstes Unterscheidungsmerkmal ist der Elektrolyt, der die beiden Gase in der Zelle voneinander trennt und gleichzeitig den Austausch von Ionen ermöglicht. Die meisten Brennstoffzellen werden nach Art und Beschaffenheit des Elektrolyten benannt.

Bei der alkalischen Brennstoffzelle (**AFC = Alkaline Fuel Cell**) ist es Kalilauge. Da neben Wasserstoff hochreiner Sauerstoff als Betriebsgas nötig ist, kommt ein breiter Einsatz in der Energieerzeugung nicht in Frage. Die Zelle ist außerdem sehr empfindlich gegenüber Kohlendioxid, das als Karbonat ausfallen und die Brennstoffzelle ruinieren würde. Bei der phosphorsauren Brennstoffzelle (**PAFC = Phosphoric Acid Fuel Cell**) besteht der Elektrolyt aus Phosphorsäure in einer Siliziumkarbid-Matrix.

Wie die PEM – die Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle – gehören AFC und PAFC zu den Niedertemperatur-Brennstoffzellen. Bei deutlich höheren Temperaturen – über 600 Grad Celsius – arbeiten die Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (**MCFC = Molten Carbonate Fuel Cell**) und die oxidkeramische Brennstoffzelle (**SOFC = Solid Oxide Fuel Cell**). Vom Elektrolytmaterial hängt die Art der ausgetauschten Ionen und die Arbeitstemperatur der Zelle ab.

Der Musterknabe unter den Zelltypen ist die **PEM-Brennstoffzelle**: „Sie ist für mobile, portable und stationäre Anwendungen gleichermaßen geeignet“, erklärt Joachim Scholta vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) in Ulm. Prototypen für Autos, Heizanlagen und Laptops wurden bereits gebaut. Die hohe Leistungsdichte der PEM erlaubt kompakte Bauweisen, was Volumen, Gewicht und letztlich auch Materialkosten reduzieren hilft. Außerdem entfaltet die Zelle schon bei Raumtemperatur rund 50 Prozent ihrer Leistung, bis sie sich innerhalb von wenigen Minuten selbst auf die Dauerbetriebs-

temperatur von etwa 90 Grad Celsius oder, bei einer neuen Variante, auf 200 Grad Celsius gebracht hat.

Wie alle anderen Brennstoffzellen liefert die PEM Strom und Wärme zugleich. Die moderaten Temperaturen der PEM lassen sich über einen Wärmetauscher für Warmwasser und Heizung in Hausanlagen nutzen. Im Auto wird die Wärme weggekühlt, nur der Strom wird für den Antrieb eines Elektromotors genutzt. Betrieben wird die PEM mit Wasserstoff und Luft.



EINZELZELLEN von CD-Größe werden im Bild oben zu Stapeln (engl.: „stacks“) geschichtet. Darunter: Techniker bei der Montage eines „Hot Module“-Kraftwerks.

Wasserstoff steht aber nicht überall zur Verfügung, anders als Benzin oder Erdgas. Deshalb muss der Wasserstoff direkt an Bord des Fahrzeugs aus Methanol oder im Heizungskeller aus Erdgas gewonnen werden. Zur Brennstoffaufbereitung wird ein „Reformer“ vorgeschaltet – eine kleine Chemieanlage, die beispielsweise Erdgas in ein wasser-

stoffreiches „Reformat-Gas“ umwandelt. „Der Reformer knabbert natürlich am guten Wirkungsgrad der Brennstoffzelle“, räumt Jürgen Roes ein. Er forscht an der Universität Duisburg als Fachmann für Gasaufbereitung.

Zunächst muss das Erdgas entschwefelt werden. Denn die Schwefelverbindungen würden die Katalysatoren in Reformer und Brennstoffzelle schädigen. Nun wird aus dem Erdgas, das zu 90 Prozent aus Methan (CH_4) besteht, wasserstoffreiches Reformat-Gas erzeugt: Bei der so genannten Dampfpreformierung mischt man das Erdgas mit Wasserdampf. Bei Temperaturen von 600 bis 900 Grad Celsius wird das Methan katalytisch zu Wasserstoff und Kohlendioxid umgesetzt.

Allerdings entstehen dabei auch einige Prozent Kohlenmonoxid (CO), die das Aus für jede Niedertemperatur-Brennstoffzelle bedeuten: Das CO vergiftet ihre Edelmetall-Katalysatoren. Daher wird der CO-Gehalt auf erträgliche 50 ppm (= parts per million, Teile pro Million Teile) gedrückt: Das CO wird mit Wasserdampf zu CO_2 oxidiert, wobei – ein günstiger Nebeneffekt – zusätzlicher Wasserstoff entsteht. Der Wasserstoffanteil liegt dann bei rund 80 Prozent. „Das System zur Gasaufbereitung ist durch diese Prozesse recht aufwändig“, sagt Roes, „doch die Dampfpreformer können trotzdem sehr kompakt gebaut werden.“

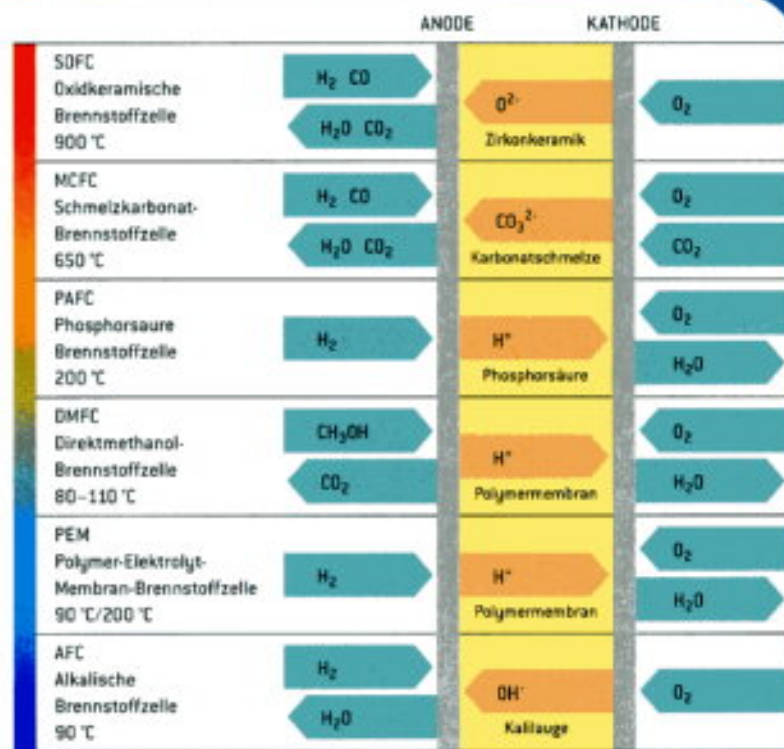
Für Heizungsanlagen oder Autos ist ein Reformer die Methode der Wahl, um die Brennstoffzelle mit wasserstoffreichem Reformat-Gas zu füttern. Doch diese Zusatzanlage steht der Miniaturisierung im Wege, die beispielsweise für den Einsatz in kleinen Elektrogeräten notwendig ist. Trotzdem setzen auch hier Forscher und Entwickler auf die PEM. Die Elektrolytmembran ist nur wenige Dutzend Mikrometer dick – ein Vorteil für miniaturisierte Designs.

Forschern des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) ist es gelungen, einen Stapel (engl.: „stack“) von 27 hintereinander geschalteten PEM-Zellen derart zu verkleinern, dass er in einem Notebook den Akku ersetzt. „Das System besteht aus den Zellen, der Peripherie mit Lüfter und Leis-

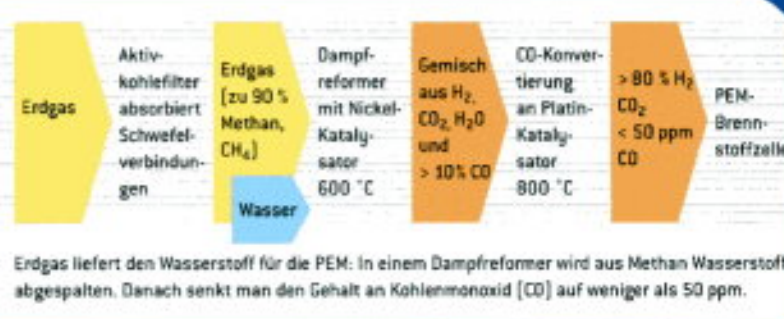
Einsatzgebiete für Brennstoffzellen

	AFC	PEM	PAFC	SOFC	MCFC	DMFC
mobil [z.B. in Fahrzeugen]	•	•		•		•
portabel [z.B. in Handys oder Laptops]	•	•				•
häusliche Strom- und Wärmeerzeugung		•		•		
stationäre Energieerzeugung, mittlerer Leistungsbereich		•	•	•	•	
stationäre Energieerzeugung, große Leistungen				•	•	

Die sechs Brennstoffzellen-Typen



Wasserstoff aus Erdgas



tungselektronik sowie einem Speichertank für Wasserstoff“, erklärt Christopher Hebling vom ISE.

In diesem Tank ist der Wasserstoff von einem Metallhydrid absorbiert. Der Vorteil: Im Vergleich zu derzeit gebräuchlichen Akkus hat das System mit dem Metallhydrid-Speicher eine dreifach höhere Energiedichte. Laptops oder Camcorder mit Strom aus Brennstoffzellen ginge also lange nicht so schnell der Saft aus wie mit herkömmlichen Akkus. Hebling schätzt, in drei Jahren könnten Elektronikgeräte mit Brennstoffzellen erhältlich sein.

Auf eine spezielle Variante der PEM setzt das Unternehmen Smart Fuel Cells (SFC), siehe bild der wissenschaft 2/2002, „BreZel statt Akkus“. Der Name SFC wird in der Brennstoffzellen-Szene hoch gehandelt. Die Newcomer aus München haben es geschafft, eine so genannte **Direktmethanol-Brennstoffzelle (DMFC)** zu einem marktfähigen Produkt zu entwickeln.

Ähnlich wie bei der PEM-Zelle wird der Brennstoff direkt auf die Polymer-Elektrolyt-Membran geleitet – allerdings kein Brenngas, sondern flüssiges Methanol. Positive Wasserstoff-Ionen passieren sie und bilden auf der anderen Seite mit Luftsauerstoff reines Wasser. „Deshalb kommen wir ohne Reformier aus. Das macht die Direktmethanol-Brennstoffzelle so effizient“, sagt SFC-Sprecherin Petra Müller.

Bislang galt es als größte Hürde, dass auch der Alkohol in geringer Menge die Membran durchdringt und so die Effizienz der Zelle deutlich verringert. Doch SFC hat dieses Problem nach eigenen Angaben umgangen – wie genau, ist Firmengeheimnis. Laut Petra Müller ist im Januar 2002 eine Kleinserienfertigung angelaufen. Bis Ende 2003 sollen rund 2000 Aggregate mit Leistungen von bis zu 80 Watt hergestellt werden. Im Blick hat SFC zunächst Inselanlagen, die nicht am Netz hängen: beispielsweise Verkehrssignale und Umweltmessgeräte.

Durch ihre niedrige Arbeitstemperatur sind nur PEM und DMFC für Kleinstgeräte geeignet. Dies sieht bei den Hochtemperatur-Brennstoffzellen vom Typ SOFC und MCFC naturgemäß an-

ders aus. Deren Betriebswärme von 650 bis 1000 Grad Celsius lässt sich nur in größeren Geräten von der Heizanlage bis zum Kraftwerk nutzbringend einsetzen.

Ein Beispiel ist das „Hot Module“ des Unternehmens MTU Friedrichshafen im DaimlerChrysler-Konzern. Ein erster Demonstrator dieser **Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (MCFC)** wurde bereits 1997 von der Ruhrgas AG untersucht – mit gutem Ergebnis. Seit 2001 versorgt ein Hot Module das Rhön-Klinikum in Bad Neustadt/Saale mit Strom und Wärme.

Daniel Reinhardt, Pressesprecher der MTU Friedrichshafen, freut sich: Zurzeit liegen Bestellungen für 19 Anlagen vor, fünf sind bereits ausgeliefert. Im Rhön-Klinikum leistet das Hot Module 250 Kilowatt elektrisch und 170 Kilowatt thermisch. Die 400 Grad heiße Abluft wird in Hochdruck-Wasserdampf umgewandelt. Der Wasserdampf dient der Klimatisierung der Klinik und zum Sterilisieren.

Die elektrochemischen Reaktionen der Hochtemperatur-Brennstoffzellen unterscheiden sich deutlich von dem Wasserstoff-Transportmechanismus in der PEM. Bei der MCFC ist der Elektrolyt eine Mischung aus den Alkalisalzen Lithium- und Kaliumkarbonat. Bei 450 Grad Celsius schmilzt der Elektrolyt – daher der Name „Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle“ – und wird leitfähig für Karbonat-Ionen (CO_3^{2-}). An der Kathode wird Kohlendioxid durch Reaktion mit Luftsauerstoff in Karbonat-Ionen umgewandelt. Diese wandern bei einer Arbeitstemperatur der Zelle von 650 Grad Celsius zur Anode, wo sie mit Wasserstoff zu Wasser und Kohlendioxid reagieren. Als Katalysator wird auf beiden Elektrodenseiten Nickel verwendet.

Auf einen separaten Reformier konnten die Ingenieure verzichten: Aufgrund der hohen Temperaturen wird das Erdgas durch Katalysatoren direkt am Brennstoffzellen-Stack in Wasserstoff, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid aufgespalten. „Mit den höheren Betriebstemperaturen steigt die Unempfindlichkeit gegenüber dem Kohlenmonoxid“, erklärt Joachim Scholta

vom ZSW. Das Problem der Katalysator-Vergiftung entfällt.

Auch die oxidkeramische **Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC)** – sie arbeitet bei 850 bis 1000 Grad Celsius – kommt ohne externen Reformier aus. „Das macht das System insgesamt billiger“, erläutert Prof. Ludger Blum vom Forschungszentrum Jülich. Außerdem sei die SOFC besonders effizient: Mit einem elektrischen Wirkungsgrad der Zelle von rund 50 Prozent liegt sie deutlich über PEM und PAFC (35 bis 40 Prozent).

Der Elektrolyt Zirkonoxid wird oberhalb von 750 Grad Celsius leitend für Sauerstoff-Ionen (O^{2-}). Sie entstehen auf der Kathodenseite durch katalytische Spaltung des Luftsauerstoffs. Die Sauerstoff-Ionen wandern durch den Festelektrolyten und vereinigen sich auf der Anodenseite mit Wasserstoff zu Wasser. Bis auf diesen Wasserdampf gäbe es theoretisch keine weiteren Emissionen – wenn da nicht in der Praxis wieder das Problem der Wasserstoffversorgung wäre.

Die Entwickler setzen auch hier auf Erdgas, das durch interne Dampfreformierung auf der Anodenseite zu Wasserstoff und Kohlendioxid umgesetzt wird. Rund 85 Prozent des Brenngases werden durch die SOFC energetisch verwertet, schätzt Blum. Das Restgas, das aus dem Stack strömt, verbrennt spontan im heißen Abgasstrom.

■ MARTIN SCHÄFER

bdw community

INTERNET

Alles über die Brennstoffzelle
www.initiative-brennstoffzelle.de

LESEN

Ledjeff-Hey, Mahlendorf, Roes
Brennstoffzellen. Entwicklung,
Technologie, Anwendung
C.F. Müller 2001, € 42,-

SPIELEN

Kosmos Experimentierkasten
Brennstoffzelle
30 Experimente für Kinder ab 12
Franckh-Kosmos 2000, € 120,-

Ein Spätzünder hebt ab

Seit der Erfindung der Brennstoffzelle 1839 haben Visionäre immer wieder vom bevorstehenden Zeitalter des Wasserstoffs gesprochen.

Doch erst in unserem Jahrhundert kann die Vision Wirklichkeit werden – die Brennstoffzellen-Technologie ist endlich einsatzreif.

Wasserstoff und Sauerstoff werden für sich oder zusammen zu einer unerschöpflichen Quelle von Wärme und Licht werden, von einer Intensität, die Kohle überhaupt nicht haben könnte; das Wasser ist die Kohle der Zukunft.“ Liebhaber von Jules Vernes fantastischen Abenteuer-geschichten konnten bereits 1874 in dem Roman „Die geheimnisvolle Insel“ von der Vision einer auf Wasserstoff beruhenden Energiewirtschaft lesen.

Die Brennstoffzelle ist ein zentraler Baustein für eine Wasserstoffwirtschaft der Zukunft. So visionär dieses Ziel auch ist, so beharrt ist das Prinzip der Brennstoffzelle – es wurde 1839 entdeckt. Diese Idee, Strom zu erzeugen, ist somit älter als das 1866 von Werner von Siemens gefundene „elektrodynamische Prinzip“, auf dem unsere heutige Stromversorgung beruht: der Generator. Bereits 1894 wusste man, dass die Brennstoffzelle einen besseren Wirkungsgrad als der Generator hat. Warum hat sich trotzdem das elektrodynamische Prinzip durchgesetzt? Die Antwort ist einfach: Eine Dampfturbine und ein Generator konnten mit den Kenntnissen und Fähigkeiten des klassischen Maschinenbaus im 19. Jahrhundert in großtechnischem Maßstab hergestellt werden – eine Brennstoffzelle jedoch nicht.

Die Entdeckung der Brennstoffzelle fiel noch in die Zeit der großen Erfinder und Universalgenies. In dieser Tradition betrieben auch ihre beiden Entdecker ihre Forschungen. Der Schweizer Schulmeister Christian Friedrich Schönbein schuf mit seinen theoretischen Überlegungen zur Elektrolyse die Grundlagen für die Erfindung durch den englischen Rechtsanwalt Sir William Grove im Jahre 1839. In einer galvanischen „Gasbatterie“ erzeugte Grove mittels „kalter Verbrennung“ von Wasserstoff und Sauerstoff elektrischen Strom. Die Brennstoffzelle war geboren.

Schönbein erkannte sofort die Bedeutung von Groves Fund. Er unterstützte seinen Freund, indem er die Nachricht in den führenden wissenschaftlichen Zeitschriften der Schweiz, Deutschlands, Frankreichs und Italiens verbreite-



SIR WILLIAM GROVE konstruierte die erste Brennstoffzelle, die damals noch galvanische Gasbatterie hieß.

te. Durch die Hilfe Schönbeins wurde die Kunde von der „gaseous voltaic battery“ innerhalb weniger Monate in ganz Europa bekannt. Schönbein war damit der erste Vermarkter der Brennstoffzelle. Der rege Briefverkehr, den er mit Grove führte, zeugt von der Begeisterung der beiden. „Ich würde gern viel mehr Zeit in die Wissenschaft investieren. Meine Arbeit als Rechtsanwalt nimmt aber zu viel Zeit in Anspruch“, beklagte sich Grove häufig in seinen Briefen an Schönbein.

Beide haben einander erfolgreich unterstützt. Durch Schönbeins Vermittlung wurde Grove zum Mitglied der Philosophischen Gesellschaft gewählt und empfing später ein Ehrendoktorat der Universität Basel. Groves größte Leistung war die Erfindung der Brennstoffzelle. Schönbein gilt als der Entdecker des Ozons und der Schießbaumwolle. Er war einer der bedeutendsten Chemiker seiner Zeit. Doch keiner der beiden Forscher hat mit seinen Erfindungen jemals Geld verdient. Vermutlich machte ihre Begeisterung für die Wissenschaft sie zu ungeschickten Geschäftsleuten.

Nach ihrer Entdeckung fiel die Brennstoffzelle lange in eine Art Dornröschenschlaf: ein interessantes technisches Phänomen – aber ohne praktische Bedeutung. Trotzdem weckte sie immer wieder das Interesse der Forscher. So verbesserten die beiden britischen Wissenschaftler Ludwig Mond und Charles Langer die Technik der galvanischen Gasbatterie weiter und gaben ihr 1889 ihren Namen: „Brennstoffzelle“. Auch der deutsche Chemiker Wilhelm Ostwald erkannte das Potenzial der Brennstoffzelle. In einer Rede, die er 1894 auf der Jahrestagung des Verbands der deutschen Elektrotechniker hielt, sprach er von der „Überlegenheit der Brennstoffzelle“ und sah den Siemens-Generator schon im Museum. Ähnlich wie Jules Verne lange vor ihm sprach Ostwald vom anbrechenden Zeitalter der elektrochemischen Verbrennung. Auch er war seiner Zeit weit voraus.



APOLLO-RAUMKAPSELN starteten von Anfang an mit Brennstoffzellen des Typs AFC an Bord (oben). Sie versorgten die Bordelektrik, und die Besatzungen (unten) nutzten das einzige Abfallprodukt: Wasser.

Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts setzte die Elektrifizierung im großen Maßstab ein. Aber es war das elektrodynamische Prinzip, das zur Stromerzeugung verwendet wurde. Die Zeit der Brennstoffzelle war noch nicht gekommen – die Technik für ihren praktischen Einsatz stand nicht zur Verfügung. So blieb sie weiterhin ein Exot.

Die Rolle des Prinzen, der die schlafende Schönheit schließlich aus ihrem Dornröschenschlaf wachküsste, fiel der bemannten Raumfahrt zu. Für die Energieversorgung der Raumkapseln waren die Techniker auf der Suche nach einer effektiven und leichten Stromquelle. Ihre Wahl fiel auf die Brennstoffzelle. Geschockt vom Sputnik-Erfolg der sowjetischen Konkurrenz, förderte die US-Regierung mit Hochdruck die neue Technologie. Innerhalb kürzester Zeit gelang die Entwicklung einsatzreifer Brennstoffzellen-Einheiten. Als die NASA 1960 das Gemini-Programm ins Leben rief, versorgte eine 1-Kilowatt-PEM-Brennstoffzelle die Raumkapseln mit Bordstrom (PEM ist das Kürzel für Polymer-Elektrolyt-Membran – siehe Seite 16). Alkalische Brennstoffzellen (AFC – siehe Seite 10) sorgten später in den Apollo-Raumkapseln und Mondlandefähren für Strom und Wärme. Wichtigstes Abfallprodukt: Trinkwasser für die Besatzungen. Bis heute leisten Brennstoffzellen in den amerikanischen Raumfähren ihre Dienste.

Bei anderen technischen Anwendungen ließ der Erfolg weiter auf sich warten. Erst mit der Ölkrise in den siebziger Jahren kamen die alten Visionen einer auf Wasserstoff basierenden Energiewirtschaft wieder auf die Tische der Politiker und Unternehmer. Untersuchungen für Kraftwerksanlagen mit mehreren hundert Megawatt Leistung auf Basis von Brennstoffzellen wurden gestartet. Mit dem Ende der Ölkrise und dem Siegeszug der Kernenergie verschwanden diese Studien vorübergehend in den Schubladen.

Vor allem das aufkommende Umweltbewusstsein und das Tschernobyl-Desaster haben Ende des 20. Jahrhunderts diese Schubladen wieder weit aufgerissen. Auf portablen, mobilen und stationären Einsatzgebieten steht die Technologie der Brennstoffzelle kurz vor ihrer Marktreife – mehr als 160 Jahre nach William Groves genialer Erfindung.

■ SEBASTIAN MOSER



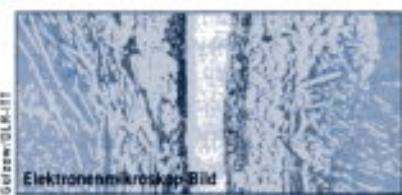
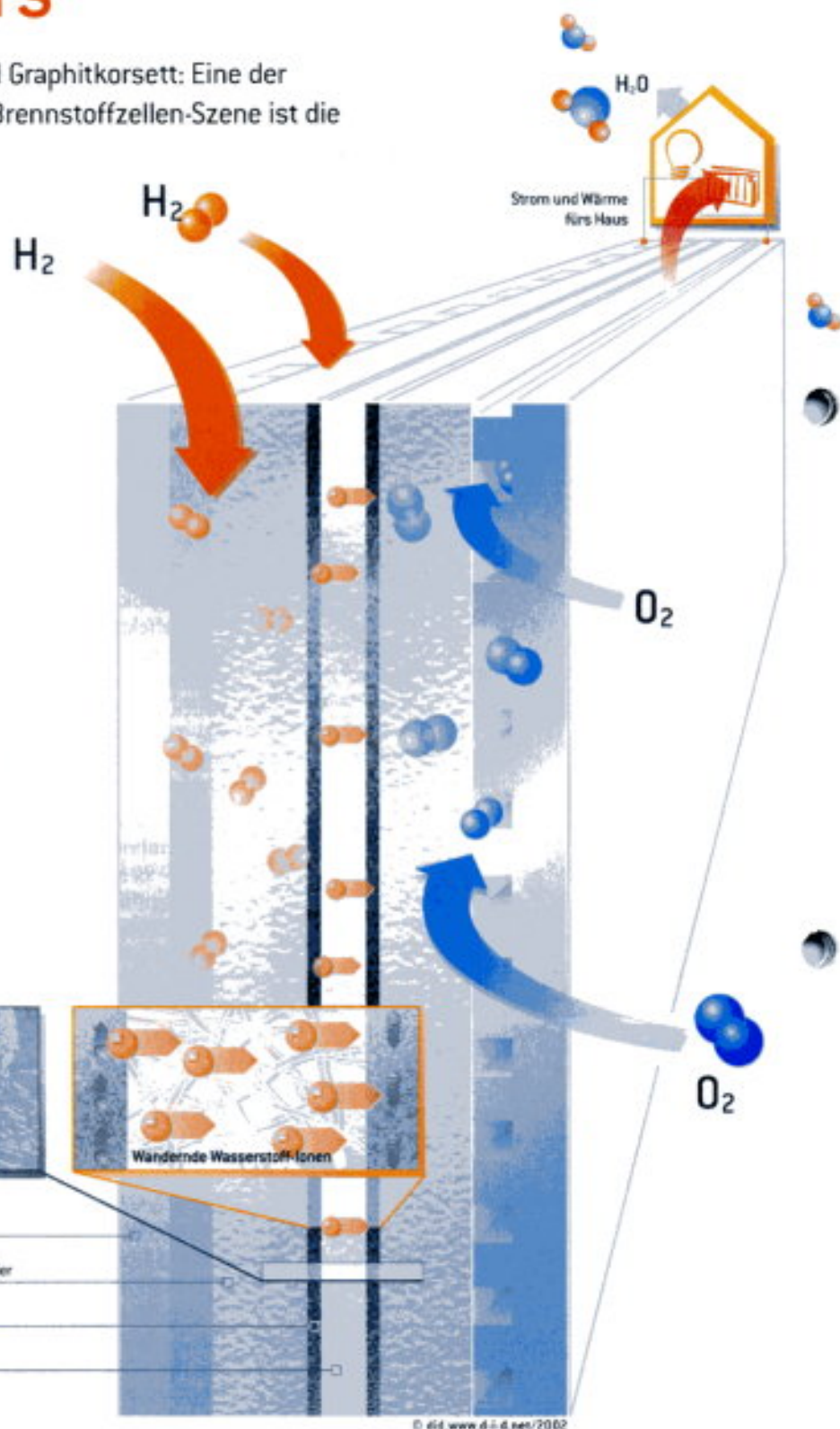
SP, Agentur Focus, Retrobit, NASA

Aus dem Innenleben eines Stars

Diva in Platinschmuck und Graphitkorsett: Eine der Hauptdarstellerinnen der Brennstoffzellen-Szene ist die Membran der PEM-Zelle.

Was in der PEM passiert

An der so genannten Anodenseite der Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM) strömt Wasserstoff (H_2) an. An Platin-Nanopartikeln in der Katalysatorschicht gibt der Wasserstoff pro Molekül zwei Elektronen ab: Sie fließen in der Graphitplatte zum Stromverbraucher. Die Wasserstoffkerne – „Protonen“ (H^+) – wandern durch die Membran. An der gegenüberliegenden Seite, der Kathodenseite, wird Luft eingeblasen. Ein Luftsauerstoff-Molekül (O_2) empfängt dort in der Katalysatorschicht vier Elektronen und vereinigt sich mit je zwei Wasserstoffkernen aus der Membran zu Wasser (H_2O). Die PEM-Zelle liefert Strom und Wärme.



- Bipolarplatte
- Gasdiffusionsschicht aus Kohlefaserpapier
- Katalysator
- Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM)

Wer sie nackt und bloß sieht, ist enttäuscht: DAS soll ein Superstar sein? Die Vielgepriesene ist farblos-transparent und nur halb so dick wie ein Blatt Schreibpapier. Lässt man die PEM-Folie (engl.: „Proton Exchange Membrane“, Protonen-Austausch-Membran) in Wasser quellen – denn nur dadurch wird sie funktionsfähig –, nimmt sie zwar an Dicke zu, aber nicht an Charme: Jetzt wirkt sie etwas glübrig und lässt immer noch nicht erahnen, was in ihr steckt.

Frisch eingekleidet, macht die PEM schon mehr her. Dazu wird die – je nach Hersteller – 25 bis 50 Mikrometer (millionstel Meter) dicke Spezialkunststoff-Folie auf beiden Seiten mit einer 5 bis 20 Mikrometer starken Lage aus Katalysatormaterial beschichtet. Das ist poröser, elektrisch leitfähiger Kohlenstoff, in den Nanopartikel aus Platin eingelagert sind. Das kostbare Edelmetall lässt chemische Reaktionen schneller ablaufen, ohne sich selbst zu verändern.

Auf die Katalysatorschichten wird zur homogenen Verteilung aller beteiligten Reaktionsgase auf jeder Seite ein etwa 200 Mikrometer dickes hochporöses Kohlefaserpapier gelegt. Mit diesem Festkleid kann die PEM-Folie nun in die Mitte einer wenige Millimeter starken Kammer eingespannt werden – der Brennstoffzellen-Einheit. Dabei verpasst man der PEM beiderseits ein straffes Korsett aus dünnen Graphitplatten („Bipolarplatten“), in die Gasführungskanäle gefräst wurden. Die Platten lenken Brenngas und Luft auf die Membranflächen.

In dieser Ausstattung präsentiert sich die Membran als eine der Hauptdarstellerinnen auf der Weltbühne der Brennstoffzellen-Technik. Ein Quadratmeter PEM liefert je nach Betriebsweise 2,5 bis 6 Kilowatt an elektrischer Leistung. Wie der strom- und wärme-liefernde Auftritt des Superstars vor sich geht, zeigt die Illustration auf der linken Seite. Protonen – die Kerne von Wasserstoff-Atomen, Träger einer positiven Ladung (H^+) – wandern von der Anoden- zur Kathodenseite durch die Membran. Dort vereinigen sich jeweils zwei Wasserstoffkerne mit einem Sauerstoff-Ion zu einem Wasser-Molekül.

Genau dies macht aus Umweltsichtspunkten den Reiz der Brennstoffzellen-Technik aus: Das Abgas ist reiner Wasserdampf – sofern reiner Wasserstoff als Brenngas dient. Da jedoch noch kein Versorgungsnetz für Wasserstoff existiert, muss der Wasserstoff in einen preisgünstigen, leicht handhabbaren und überall verfügbaren Wasserstoffträger verpackt sein. Zur Hausversorgung drängt sich Erdgas auf – sein natürlicher Hauptbestandteil ist das wasserstoffreiche Methan (CH_4).

In einer vorgeschalteten „Reformer“-Anlage muss der Wasserstoff aus seiner Transportverpackung gebrochen werden, um ihn der PEM-Membran servieren zu können. Außer dem erwünschten Wasserstoff entstehen dabei Nebenprodukte, vor allem Kohlenmonoxid (CO), das möglichst vollständig in Kohlendioxid (CO_2) umgewandelt werden muss. CO ist nämlich ein „Katalysatorgift“: Es würde sich dauerhaft an die Platin-Partikel in der Katalysatorschicht der PEM-Membran heften und das hilfreiche Edelmetall blockieren. Als Konsequenz der CO -Reinigung ist im Abgas einer mit Erdgas betriebenen PEM-Zelle neben Wasserdampf auch Kohlendioxid enthalten – allerdings nur etwa 70 Prozent dessen, was bei getrennter Strom- und Wärme-gewinnung pro Haushalt in die Abluft geht.

Platin ist teuer. Derzeit wird ein Kilogramm auf dem Weltmarkt mit rund 20.000 Euro gehandelt. Bei den ersten PEM-Testzellen Anfang der neunziger Jahre war ein Quadratmeter Folie noch mit 40 Gramm Platin beschichtet. Das Ziel heutiger Entwicklungsanstrengungen ist es, den Edelmetallgehalt drastisch zu senken, ohne an Leistung zu verlieren. Aber ein Kostenproblem verursacht auch die PEM-Folie selbst.

Im bislang gängigen Folienmaterial Polytetrafluorethylen schützen Fluor- atome die Membran hinreichend lange

vor dem Angriff der Gase, die an ihr entlangströmen. Doch Stars haben ihren Preis. Ein Quadratmeter PEM-Folie – etwa das Standardprodukt „Nafion“ des US-Herstellers DuPont – kostet heute rund 500 bis 800 Euro, und selbst eine kleine Brennstoffzellen-Hausanlage benötigt ein bis zwei Quadratmeter Membranfläche.

Der Marktpreis ist allerdings häufig von der Herstellmenge abhängig. DuPont teilte bereits mit, bei einer Produktionsmenge von einer Million Quadratmeter PEM-Folie pro Jahr werde ein Preis von 50 US-Dollar (rund 55 Euro) möglich. Außerdem ist das Bessere stets des Guten Feind: Die Konkurrenz schläft nicht – darauf muss man auch als Superstar Nafion gefasst sein.

Dieser Fluor-Kunststoff ist nämlich heute nicht mehr das einzige Material, aus dem sich Folien für PEM-Zellen herstellen lassen. Seit kurzem versucht sich eine von der Celanese AG in Frankfurt am Main entwickelte Konkurrentin am Markteintritt: eine Membran aus einem Stoff mit der komplizierten chemischen

Bezeichnung „sulfoniertes Polybenzimidazol“.

Celanese hat kürzlich eine automatisierte Fertigungsanlage in Betrieb genommen, aus der komplette Membran-Elektroden-Einheiten vom Band laufen. Zweierlei hält sich das neue Membranmaterial zugute: Es soll weniger kosten als der Fluor-Kunststoff und bei 160 bis 200 Grad Celsius betreib-

bar sein. Das macht es erstens einfacher, Wärme für die Hausversorgung daraus zu beziehen, und zweitens ist die Membran in diesem Temperaturbereich unempfindlicher gegen die Katalysatorvergiftung.

Der jahrelang konkurrenzlose Superstar muss gegen einen starken Herausforderer antreten. Das könnte beide zu Höchstleistungen in punkto Qualität und Preissenkung treiben. Das Publikum applaudiert. ■ THORWALD EWE

**PAPIERDÜNN
UND FARBLOS –
UND DOCH IST
DIE PEM-FOLIE
EIN BRILLANTER
AKTEUR AUF DER
ENERGIEBÜHNE**



Quelle: Ruhrgas AG / Infografik: G. Weber

Die sicher gewinnbaren Erdgasreserven rund um Westeuropa betragen 100 000 Milliarden Kubikmeter und sind damit 45-mal größer als der Welt-Erdgasverbrauch 2001. Weiße Linien: Pipelines. Gestrichelte Linien: geplante Pipelines. Zahlen: Milliarden Kubikmeter.

Gas satt

Der Dezember lag in den letzten Zügen. Die Spannung im Team um den Diplom-Geologen Olaf Hartmann näherte sich dem Höhepunkt. Die Testbohrung war in mehr als 3500 Meter Tiefe vorgedrungen, alle Sicherheitsvorkehrungen getroffen. Dann geschah es. Mit donnerndem Getöse verschaffte sich das Erdgas freie Bahn und jagte mit gut 400 Atmosphären Überdruck durch das Bohrloch.

„Mich überläuft heute noch eine Gänsehaut, wenn ich an diesen erhebenden Augenblick zurückdenke“, sagt

Selbst wenn die Technologie der Brennstoffzelle rascher expandiert als erwartet: Zu einer Verknappung der Vorräte an Erdgas wird es dadurch nicht kommen.

Hartmann, fast 34 Jahre danach. Erst ein Jahr im Berufsleben, hatte er bereits den Höhepunkt seiner Karriere erreicht: Das Team hatte die Lagerstätte Salzwedel-Peckensen angebohrt. Nach mitteleuropäischen Maßstäben ein „Giant“ – das englische Wort der Rohstoffkundler für besonders große Kohlenwasserstoffvorräte.

Zwei Jahrzehnte Arbeit waren vorausgegangen, ehe die mit Abstand ergiebige deutsche Erdgaslagerstätte auf dem Gebiet der ehemaligen DDR angezapft werden konnte. Bis heute

wurden dort mehr als 200 Milliarden Kubikmeter Gas gefördert – mit allerdings sehr hohem Stickstoffanteil, der energetisch nicht genutzt werden kann. Dennoch – statistisch betrachtet – genug, um den gesamten deutschen Erdgasbedarf der Gegenwart für knapp ein Jahr zu befriedigen. Olaf Hartmann, inzwischen 61 und beim Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt tätig, gehört zur seltenen Spezies von Geologen, denen es vergönnt war, beim Anstechen einer riesigen Lagerstätte dabei gewesen zu sein.

Der einzige Glückliche war er allerdings nicht, wie der Blick auf die bereits erschlossenen und auf die sicher gewinnbaren Erdgasvorkommen zeigt. Allein vor der Küste Norwegens lagern bekannte Reserven von mehr als 3000 Milliarden Kubikmeter Erdgas, die den aktuellen Weltbedarf (2001: 2500 Milliarden Kubikmeter) rund ein Jahr lang decken könnten. Ganz zu schweigen vom Iran, der den globalen Verbrauch für etwa zehn Jahre allein befriedigen könnte. Den Vogel schießen freilich die russischen Lagerstätten ab: Sie sind so gewaltig, dass sich damit der gegenwärtige Weltgasverbrauch fast 20 Jahre lang decken ließe.

Diese Vergleiche stehen im Konjunktiv, weil es für Erdgas keinen Weltmarkt gibt, sondern nur regional begrenzte Märkte. „Innerhalb dieser Märkte binden sich Produzenten und Verbraucher durch langfristige Verträge, um die hohen Investitionen für den Ausbau der Infrastruktur zu sichern“, erklärt Hilmar Rempel von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover. Die Ruhrgas AG beispielsweise hat nach Aussage von Werner Nowak – Leiter der Abteilung Energiewirtschaft – Verträge, die die Belieferung bis etwa ins Jahr 2030 sichern.

Weltweit unterscheiden die Experten vier große Erdgasmärkte: den europäischen mit Europa, GUS und Nordafrika, den asiatischen Markt mit dem asiatisch-pazifischen Raum ohne GUS, aber mit dem Nahen Osten, den nordamerikanischen Markt mit USA, Kanada und Mexiko sowie den gerade entstehenden südamerikanischen Markt. Jeder dieser vier Märkte hat seine eige-

ne Dynamik. So importieren die erdgasarmen Länder Ostasiens – allen voran Japan – den Rohstoff über Flüssigerdgas-Tanker, während die westeuropäischen Verbraucher hauptsächlich per Pipeline versorgt werden. Betrachtungen der Verfügbarkeit von Erdgaslagerstätten müssen daher stets auf die spezifischen Bedingungen der Region heruntergebrochen werden.

Für eine erste Beurteilung der Lagerstätten-situation reicht es allerdings, sich global zu orientieren. Nach dem Branchenreport „Erdgas im Energiemarkt“ betragen die sicher gewinnbaren Erdgasreserven Ende 2001 rund 156 Billionen Kubikmeter. Teilt man dies durch den Weltjahresverbrauch, so ergibt sich aktuell eine Reichweite von rund 65 Jahren. Diese „statische Reichweite“ berücksichtigt weder die spezifischen Gegebenheiten der Regionalmärkte noch Änderungen im Verbrauchsverhalten.

Bemerkenswert ist allerdings: Die statische Reichweite hat im Lauf der Jahrzehnte deutlich zugenommen, obwohl der Gasverbrauch ebenso deutlich gestiegen ist. 1960 lag die statische Reichweite bei 43 Jahren, 1980 bei 50 und seit 1990 stets oberhalb von 60 Jahren. Dass sich in den kommenden Jahren daran etwas ändert, glaubt der Lagerstätten-experte Rempel nicht: „Nach unseren Erfahrungen halten die Fördergesellschaften ihre Reservepotenziale nur auf dem Niveau, das für den Ausbau der Infrastruktur notwendig ist.“

Bei der Suche nach konventionellen Erdgaslagerstätten setzen die Fördergesellschaften moderne physikalische Messtechniken ein, insbesondere seismische Methoden, mit denen sie beispielsweise geologische Schichtgren-

zen über Schallwellen detektieren. So lassen sich die „höffigen“ Gebiete eingrenzen. Endgültige Klarheit bekommen die Lagerstättenkundler aber auch heute erst durch Probebohrungen.

Zu den sicher gewinnbaren Reserven kommen die „Ressourcen“ hinzu. Hierbei handelt es sich entweder um heute nicht wirtschaftlich nutzbare Vorkommen oder um – auf Basis der geologischen Kenntnisse – erwartbare Erdgasfelder, deren genaue Lage noch exploriert werden muss. Das Gesamtpotenzial bezifferte die Bundesanstalt

für Geowissenschaften und Rohstoffe Ende 1999 auf 197 Billionen Kubikmeter.

Fazit: Die Grenzen des Wachstums, vor 30 Jahren in Dennis Meadows' düsterem Weltbestseller postuliert, stehen in Hinblick auf die Erdgasvorräte für die nächsten Jahrzehnte nicht zur Debatte. Dies gilt erst recht für die Versorgungssicherheit der Westeuropäer. Sie sind vom weltgrößten Gas-Gürtel umgeben (Karte): Zwei Drittel der sicher gewinnbaren Reserven liegen hier oder in einer Entfernung, die sich mit Pipelines wirtschaftlich überbrücken lässt.

Sobald künftig deutlich mehr Strom über Erdgas erzeugt wird als heute – durch Großkraftwerke oder mittels Brennstoffzellen –, kann sich die statische Reichweite verringern. Doch selbst wenn der Welt-Erdgaskonsum jedes Jahr um unwahrscheinliche sechs Prozent zunähme, wären die sicher gewinnbaren Reserven auch 2025 noch nicht erschöpft.

Und zum Glück gibt es auch weiterhin Menschen vom Schlage Olaf Hartmanns, die eine Gänsehaut kriegen, wenn sie unter Donnerhall eine neue Gaslagerstätte angezapft haben.

■ WOLFGANG HESS

ERDGASVERBRAUCH 2001

in Milliarden Kubikmetern¹

WELT	2212,7
Europa insgesamt	470,1
Großbritannien	95,4
Deutschland	82,9
Italien	64,5
Frankreich	40,7
Niederlande	39,3
Österreich	7,4
Norwegen	4,5
Schweiz	2,8
frühere Sowjetunion	548,5
Russland	372,7
Ukraine	65,8
Usbekistan	51,1
Weißrussland	16,1
USA	616,2
Japan	79,0
Kanada	72,6
Iran	65,0
Saudi-Arabien	53,7
Argentinien	33,3

¹ Norm-Kubikmeter mit 11,5 Kilowattstunden Energieinhalt
Quelle: natural gas BP 2002

ERDGAS IST EINE UNIVERSELLE ENERGIE

Nach welchem Fahrplan die Erdgaswirtschaft vorgeht, um Brennstoffzellen in die Haushalte zu bringen, skizziert Dr. Jürgen Lenz. Er ist Technikvorstand der Ruhrgas AG in Essen.



BDW: Was gefällt Ihnen am Energieträger Erdgas am besten, Herr Dr. Lenz?

LENZ: Mir gefällt vor allem die universelle Verwendbarkeit. Durch Erdgas kann man einen Großteil unserer Energieversorgung sicherstellen, und das mit deutlich weniger CO₂-Ausstoß als bei anderen fossilen Energieträgern. Der Anteil von Erdgas als Kraftstoff für Fahrzeuge wird steigen. Die Gaswirtschaft unternimmt dafür zurzeit große Anstrengungen. Auch für

die Stromproduktion via Brennstoffzelle wird Erdgas als Energieträger zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Weiterhin ist Methan, der Hauptbestandteil des Erdgases, Grundstoff für die chemische Industrie. Gleichzeitig denken wir darüber nach, das auch im Erdgas enthaltene Ethan in Crack-Anlagen zu Ethylen zu verarbeiten. Die vorteilhaften Eigenschaften des Erdgases ermöglichen zudem optimierte Verbrennungsprozesse, insbesondere Anwendungen mit sehr hohem Wir-

kungsgrad. Beispiele sind die Brennwertechnik oder so genannte GuD-Kraftwerke mit Wirkungsgraden knapp unter 60 Prozent. In Kombination mit dem günstigen Kohlenstoff-Wasserstoff-Verhältnis verstärkt sich dadurch die CO₂-Einsparung.

BDW: In den letzten Monaten hat sich ein neuer und wohl sehr potenter Absatzmarkt herauskristallisiert: Die mit Erdgas betriebene Brennstoffzelle. Welche Potenziale sehen Sie?



Ruhrgas AG | 21

den. Dadurch kam es zu einem Imageproblem in der Öffentlichkeit, und die Technologie kippte.

Bis zum problemfreien und alltags-tauglichen Einsatz der Brennstoffzelle sind noch eine Reihe technischer Probleme zu lösen. Dies beginnt mit dem völligen Abtrennen des Schwefels aus dem schon schwefelarmen Erdgas. Der Wasserkreislauf muss zur Maximierung der Wasserstoffausbeute optimiert werden. Reformier und Katalysator müssen noch verbessert werden. Nicht zu vergessen sind die steuerungstechnischen Probleme, sowohl bei wärme- als auch bei stromgeführter Betriebsweise. Gleichzeitig muss die Anlage so kompakt gebaut werden, dass sie in den Heizungskeller passt.

BDW: Wenn viele Menschen in ihren Haushalten via Brennstoffzellen Strom erzeugen und ihn bei geringem Eigenbedarf ins Netz einspeisen, reicht das heutige Stromnetzmanagement nicht mehr aus.

LENZ: Beim Einbeziehen vieler Brennstoffzellen in die öffentliche Stromerzeugung müssen Strombedarf und Stromerzeugung miteinander abgeglichen werden, um ein Optimum zu erreichen. Anhand von Lastprofilen würde dann die Leistung der einzelnen Zelle über ein übergeordnetes Lastmanagement-System gesteuert. Damit sind wir bei dem komplexen Thema des virtuellen Kraftwerks. Dies ist jedoch erst der übernächste Schritt.

BDW: In welchen Zeithorizonten denken Sie?

LENZ: In den kommenden beiden Jahren wollen wir mit Prototypen Erfahrungen sammeln. Mit unseren Partnern werden über Kleinserien systematisch Langzeitversuche gefahren. Die dabei gewonnenen Erfahrungen sollen die Brennstoffzellensysteme zur Serienreife bringen.

BDW: Was dürfen solche Systeme kosten, um noch konkurrenzfähig zu sein?

LENZ: Für den Anwender ist die Brennstoffzelle nur interessant, wenn die Summe der Bezugskosten für Erdgas und elektrische Energie und die anla-

LENZ: Die Haushalte verbrauchen etwa 50 Prozent der Primärenergie. Auf hohem Temperaturniveau erzeugte Wärme wird zur Niedertemperatur-Nutzung eingesetzt. Mit Brennstoffzellen wird Erdgas in hochwertige elektrische Energie überführt und mit der Abwärme wird geheizt. Mit Brennstoffzellen entstehen dezentrale Einheiten der Kraft-Wärme-Kopplung.

BDW: Welche Hürden sind bis zu einer flächendeckenden Einführung der

Brennstoffzellen in den Haushalten zu nehmen?

LENZ: Wichtig ist eine sichere Anwendung der neuen Technologie. Einen Rückschlag, wie wir ihn bei Wärmepumpen zu verzeichnen hatten, wollen wir keinesfalls mehr riskieren. Nach der Erdölpreiskrise versuchte man damals zu schnell, diese überwiegend funktionsfähige Technik in den Markt einzuführen. Die Folge war, dass Vertrieb, Service und die Installation nicht richtig aufeinander abgestimmt wur-

genbedingten Kosten niedriger sind als bei den heutigen Systemen. Dazu müssen die Kosten des Brennstoffzellenteils der Energieversorgung auf unter 1500 Euro je Kilowatt installierter Leistung gesenkt werden. Dieses Ziel werden wir bis 2006 wohl noch nicht erreicht haben, weshalb Anschub- oder Übergangsfinanzierungen nötig sind, um diese Technologie nach vorne zu bringen.

BDW: Werden die Brennstoffzellensysteme zunächst für größere Gebäude in Betracht kommen?

LENZ: Rein wirtschaftlich gedacht ist es immer besser, bei größeren Einheiten zu beginnen, zum Beispiel beim Hochhaus. Auch deshalb, weil dort die mit Sicherheit auftretenden Kinderkrankheiten leichter zu beherrschen sind. Das ändert nichts an unserem Ziel: Auch Ein- oder Zweifamilienhäuser

Dr. Jürgen Lenz [Jahrgang 1950] ist seit 1999 Mitglied des Vorstandes der Ruhrgas AG für das Ressort Technik. Der gebürtige Württemberger studierte an der Technischen Hochschule in Karlsruhe Chemie-Ingenieur- und Wirtschafts-Ingenieurwissenschaften. Von 1974 bis 1998 arbeitete er in unterschiedlichen Bereichen und Funktionen bei der BASF. Von 1989 bis 1992 war er Mitglied der Geschäftsleitung der BASF Brasiliera in São Paulo, anschließend technischer Leiter der Wintershall AG und im Anschluss für den Bereich Ingenieurtechnik bei der BASF zuständig.



Wir sind überzeugt, dass mittel- bis langfristig die Brennstoffzellen- technologie eine wichtige Rolle in der Energieversorgung haben wird

sollen ihre Energieversorgung möglichst bald über Brennstoffzellen verwirklichen.

Um dieses zu erreichen, denken wir beispielsweise über begleitende Contracting-Modelle nach. Dabei müsste sich der einzelne Haushalt gar nicht mehr um seine gesamte Energieversorgung kümmern, sondern würde alles als Dienstleistung zur Verfügung gestellt bekommen. Es ist allerdings noch zu früh, um sich darüber im Einzelnen zu unterhalten.

BDW: Wie viele Millionen Euro macht die Erdgasbranche locker, um die Brennstoffzellentechnologie in die Haushalte zu bringen?

LENZ: Das ist schwer zu beziffern. Neben den Feldversuchen wird an verschiedenen Firmen und Instituten entwickelt und geforscht. Teilweise werden die Aufwendungen aus wettbewerbsrechtlichen Gründen nicht offen gelegt. Sehr hohe Entwicklungskosten sind in mobilen Anwendungsbereichen angefallen. Die Ergebnisse dieser Arbeiten kommen letztlich auch stationären Anwendungen zugute.

BDW: Angestoßen wurde die jüngste Entwicklung der Brennstoffzelle vor allem in den USA.

LENZ: Ursache dafür waren die häufigen Stromausfälle und der daraus resultierende Bedarf an Notstromaggregaten. Dafür eignen sich Brennstoffzellen hervorragend. Für diesen Zweck spielt es auch keine große Rolle, ob der Wirkungsgrad oder die Abmes-

sungen optimiert sind. Für den dauerhaften Einsatz in Haushalten brauchen wir allerdings elegantere und technisch anspruchsvollere Geräte. Und da sind wir in Deutschland führend.

BDW: Warum engagiert sich die Ruhrgas AG so vehement?

LENZ: Wir sind überzeugt, dass mittel- bis langfristig die Brennstoffzellentechnologie eine wichtige Rolle in der Energieversorgung haben wird, insbesondere bei der Kraft-Wärme-Kopplung. Diese Zellen funktionieren nur mit Wasserstoff. Und Erdgas ist von allen fossilen Energieträgern die ergiebigste Wasserstoffquelle. Da gleichzeitig ein Beitrag zur effizienten Energienutzung und zur Reduktion der CO₂-Emissionen erzielt wird, dürfte dies die künftige Marktpositionierung zusätzlich verbessern.

BDW: Mit welchen Partnern arbeiten Sie zusammen?

LENZ: Da ist Interdisziplinarität im wahrsten Sinne angesagt. Zum einen sind die Forschungsinstitute gefragt, die uns grundlegendes Wissen bereitstellen müssen. Dann kooperieren wir mit den Herstellern, des Weiteren mit der Energiewirtschaft. Die brennstoffspezifischen Fragen muss die Gaswirtschaft klären. Die Installation, die Vermarktung und die Kundenbetreuung schließlich betreffen sowohl die Verbände als auch die Handwerker.

BDW: Das Engagement der Ruhrgas ist wohl auch vor dem Hintergrund zu sehen, dass traditionelle Absatzmärkte zusammenschnurren. Die in Deutschland geltende Energieeinsparverordnung führt dazu, dass weniger Energie vergeudet, also auch weniger Energie nachgefragt wird.

LENZ: Trotz den Energieeinspar-Erfolgen, die wir selbst fördern, kann unserem Unternehmen nicht daran gelegen sein, Marktanteile zugunsten anderer Energieträger zu verlieren. Da ist es schon ein faszinierender Gedanke, den Haushalten über die Gasversorgung gleichzeitig Elektrizität und Wärme zur Verfügung zu stellen.

Das Gespräch führte Wolfgang Hess

APFEL, BIRNE, WIRKUNGSGRAD

Auf Spurensuche im Dickicht des Zahlenschungels:
Was bedeutet „hoher Wirkungsgrad“?

Ein Apfel ist ein Apfel, und eine Birne ist eine Birne. Man kann die beiden im Normalfall gut auseinander halten. In Zweifelsfällen entlarvt spätestens ein herzhafter Biss – ein Blick ins Innere sozusagen – die Zugehörigkeit zur Sorte.

Der Wirkungsgrad wächst zwar nicht auf Obstbäumen. Doch in den „Schaufenstern“ der Branchen, die mit dem Schlagwort Wirkungsgrad hantieren, werden oft Äpfel angepriesen, die in Wahrheit Birnen sind. Ein Hightech-Kugellager hat angeblich 99 Prozent Wirkungsgrad, ein Otto-Motor 20 Prozent, eine Brennstoffzelle 83 Prozent, ein moderner Heizkessel gar 109 Prozent. Soll man also den Wagen vor der Tür verschrotten und fortan mit dem Heizkessel fahren? Oder mit dem Kugellager?

Der direkte Vergleich hinkt. Dabei ist die Definition des Wirkungsgrades an sich denkbar einfach: Er ist das Verhältnis von „Was steckt man rein“ zu „Was bekommt man wieder raus“, der Quotient der beteiligten Energiemengen. Trotzdem ist auch ein Heizkessel sicher kein Perpetuum mobile. Woran liegt's?

Das Apfel-Birnen-Problem des Wirkungsgrads hat seine Ursache in der Thermodynamik. Der Franzose Sadi Carnot erkannte im 19. Jahrhundert, dass die Energieformen unterschiedlich wertvoll sind. Ein hoher Wirkungsgrad bei der Stromgewinnung aus Wärme ist ungleich schwieriger zu erzielen, als wenn man nur Wärme in Wärme umwandelt – bei-

spielsweise die Energie einer Gasflamme in Warmwasser.

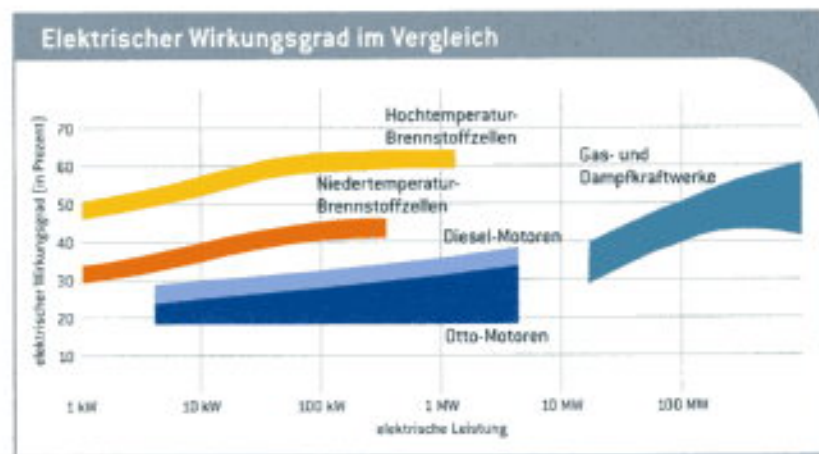
Auskunft darüber, wie viel „gute“ Energie man aus Wärme und damit aus Diesel, Erdgas, Wasserstoff & Co schöpfen kann, gibt der elektrische Wirkungsgrad (siehe Grafik). Mit ihm kann man besser vergleichen. Doch Vorsicht: Die Maschinen arbeiten in der Realität längst nicht am thermodynamischen Anschlag.

Beispiel Brennstoffzelle: Der theoretische, ideale Wirkungsgrad ist mit 83 Prozent bei der wasserstoffbetriebenen Brennstoffzelle so hoch wie bei keiner anderen Wärmekraftmaschine in diesem Leistungsbereich. Doch es gibt Verluste: beim Abgreifen der Klemmspannung, bei der Brennstoffnutzung, beim Eigenverbrauch für Kompressoren und Ventile und nicht zuletzt im so genannten Inverter, der den Gleichstrom der Zelle in haushaltstypische Wechsel-

spannung wandelt. Sie alle lassen die Effizienz der Zelle schwinden.

Am Ende landet die Niedertemperatur-Brennstoffzelle bei Wirkungsgraden von 35 bis 40 Prozent, die Hochtemperatur-Brennstoffzelle bei 48 bis 60 Prozent. Damit liegt sie in der Größenordnung der GuD-Kraftwerke, die einen elektrischen Wirkungsgrad von 60 bis 65 Prozent erreichen. Nur dass große Kraftwerke bei viel höheren Leistungen arbeiten und bloß dort wirtschaftlich sind.

Ein üblicher Kniff ist es, die Abwärme der Prozesse einzubeziehen. Die „Kraft-Wärme-Kopplung“, bei der die Abfallwärme in den Heizkörpern landet, schraubt den „Gesamt-Wirkungsgrad“ eines Kraftwerks bis auf 90 Prozent hoch. Damit lassen sich zwar Öko-Steuern sparen. Aus einem Apfel wird aber schnell wieder eine Birne: Ein kräftiger Biss und ein Blick ins Innere genügen. ■ TOBIAS BECK



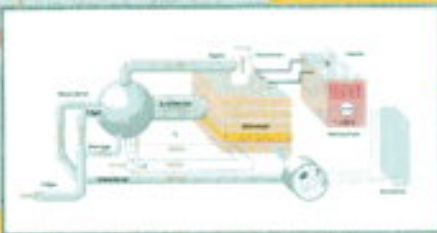
Der lange Weg zur Marktreife

WIRKUNGSGRAD

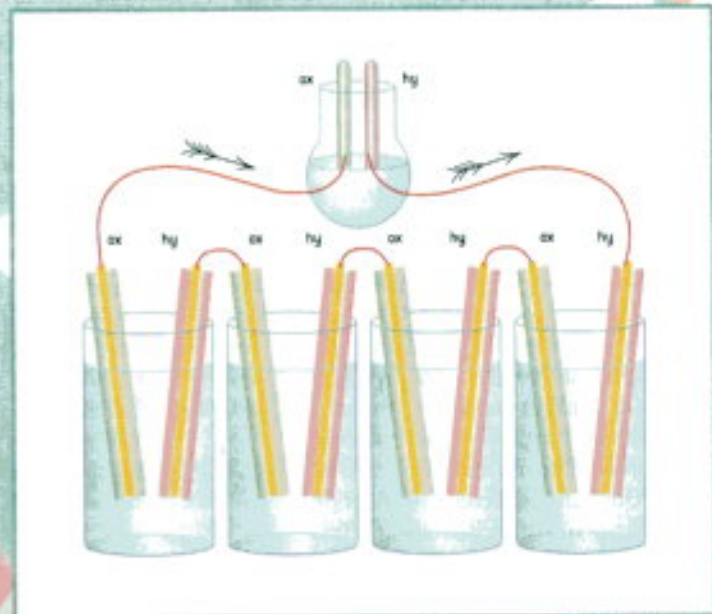
1991: Die US-Firma ONSI bringt die erste kommerziell genutzte Brennstoffzelle auf den Markt: ein Heizkraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 200 kW und einer Wärmeleistung von 220 kW.



Seit 1999: Busse mit Brennstoffzellenantrieb fahren in verschiedenen amerikanischen und europäischen Städten im normalen Nahverkehr.



1839: Sir William Grove entdeckt das Prinzip der Brennstoffzelle.



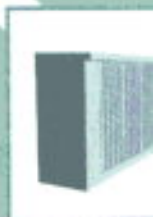
Mitte der 80er Jahre: Weltweit setzen verstärkt Forschungsarbeiten zur Brennstoffzelle ein. Die technologische Umsetzung des einfachen Brennstoffzellenprinzips wird unter anderem dadurch erschwert, dass Wasserstoff als Brennstoff wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig ist.



1965: Erstmals Einsatz von Brennstoffzellen im Weltraum bei einer Gemini-Mission. Auch später bei den Mondflügen mit den Apollo-Kapseln und im Space-Shuttle kommt der Strom aus Brennstoffzellen.



1959: Die amerikanische Allis-Chalmers Manufacturing Corporation präsentiert das erste Brennstoffzellenfahrzeug – einen Traktor.



2001: Kleine, erdgasbetriebene Brennstoffzellen-Heizgeräte (BZH) für Ein- und Mehrfamilienhäuser mit einer elektrischen Leistung bis 4,6 kW werden erstmals unter Praxisbedingungen getestet.



2006: Die Feldtests mit einigen Dutzend BZHs sind abgeschlossen. Die Vorserienfertigung (Precommercial) in kleiner Stückzahl beginnt.

2010: Neben Wohnungsbau-Gesellschaften können immer mehr Privathaushalte BZHs kaufen – die Technologie wird wirtschaftlich konkurrenzfähig.

Jahrzehnte bis zum Laptop

Auch der Computer wurde nicht über Nacht alltagstauglich.



1981: IBM baut den ersten PC [Taktfrequenz: 4,77 MHz; Hauptspeicher: 64 kB]. Computer halten Einzug in Privathaushalte.

1946: Der erste Röhrencomputer – ENIAC – hat 30 Tonnen Gewicht und 80 Quadratmeter Grundfläche. Taktfrequenz: 0,1 MHz.

2002: ENIACs mobile Enkel wiegen nur drei Kilogramm und leisten mit 2000 MHz und 256 MB Hauptspeicher Erstaunliches.

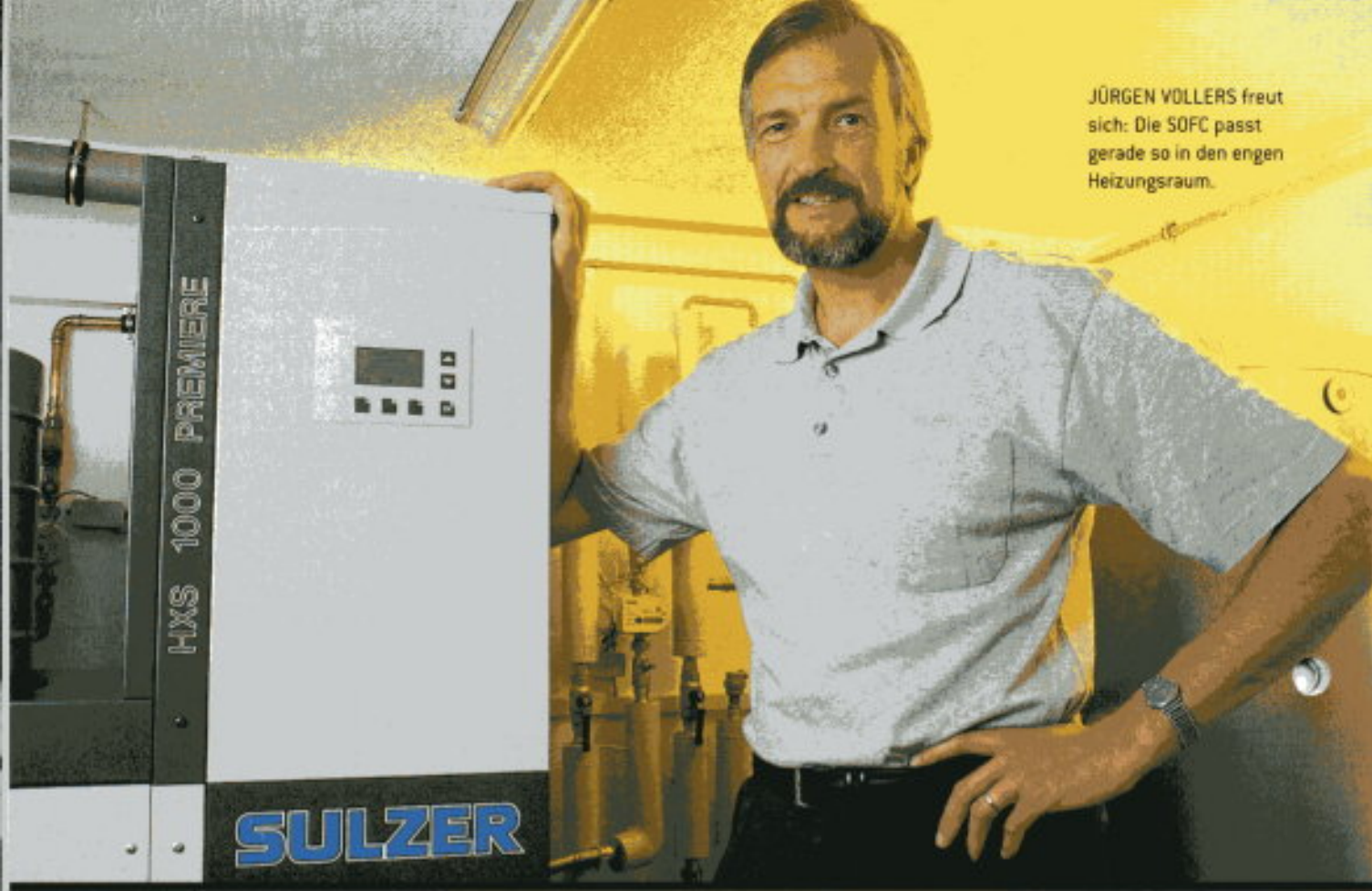


Noch gibt es erdgasbetriebene Brennstoffzellen-Heizgeräte für Ein- und Mehrfamilienhäuser nicht zu kaufen. Technisch und wirtschaftlich konkurrenzfähig werden sie wahrscheinlich erst 2008 bis 2010 sein, schätzt die „Initiative Brennstoffzelle“. Serienreif sind die Geräte wohl frühestens 2006.

Da das Prinzip der Brennstoffzelle schon seit 1839 bekannt ist, erstaunt diese zeitliche Perspektive beim ersten Hinschauen. Doch erst als eine umweltschonende Energienutzung vor etwa 20 Jahren zum Thema wurde, begannen weltweit Unternehmen verstärkt an Brennstoffzellen zu forschen – für den Einsatz in Kraftwerken, Autos und zur dezentralen Energieversorgung. Diese Zeitspanne ist nicht ungewöhnlich für eine umwälzende technische Entwicklung, wie ein Blick auf die Erfolgsgeschichte des PC zeigt: Es dauerte fast 40 Jahre, bis aus den ersten Computer-Ungetümen ein handlicher Personal Computer und damit ein Produkt für jedermann entstand: Allein 2001 wurden weltweit rund 129 Millionen PCs verkauft.

Während allerdings die Computerhersteller in den frühen Jahren auf Bastelleidenschaft und Spieltrieb ihrer Kunden bauen konnten – die ersten PCs waren tatsächlich Bausätze –, wird ein Gerät zur Wärme- und Stromerzeugung nur dann vom Verbraucher angenommen, wenn es zuverlässig und lange funktioniert. Das erklärt, warum es trotz existierender Prototypen und Vorseriengeräte noch dauert, bis die ersten erdgasbetriebenen Brennstoffzellengeräte auf den Markt kommen: Die Industrie muss vorher noch aufwändige Feldversuche und Langzeittests durchführen. Außerdem werden zurzeit die noch fehlenden Normen und Standards erarbeitet – und die Handwerksbetriebe werden mit Schulungsprogrammen auf die neue Technologie vorbereitet.

■ FRANK FRICK



JÜRGEN VOLLERS freut sich: Die SOFC passt gerade so in den engen Heizungsraum.

PIONIERE PACKEN'S AN

Wegbereiter für die neue Technik: Im norddeutschen Oldenburg testen Hausbesitzer und Handwerker die Brennstoffzellen in der Praxis.

Über der Garage von Jürgen Vollers steigt weißer Dampf auf. „Alles in Ordnung“, nickt der Zweimeter-Hüne und öffnet die Tür zum Heizraum, der vor wenigen Wochen noch Hobbyraum war. Drinnen steht ein metallenes Gebilde, das aussieht wie eine futuristische Variante von Emma, der Lokomotive aus den Jim-Knopf-Büchern.

Wo bei Emma der Schornstein qualmt, ragt hier ein Zylinder zur Decke, der zwar heiß ist, aber die Luft überhaupt nicht verpestet. Trotzdem scheint von ihm Gefahr zu drohen: „Achtung Vakuum – nicht anbohren“, warnt ein Schild darauf.

Jürgen Vollers, EDV-Organisator beim Oldenburger Energieversorger EWE AG, war sofort Feuer und Flamme, als er im November 2000 auf einer Veranstaltung zum 70-jährigen Bestehen seines Arbeitgebers erstmals eine Brennstoffzelle der Schweizer Firma Sulzer Hexis sah. Sein alter Heizkessel war 23 Jahre alt und so ineffizient, dass Vollers statt Gas auch gleich Geldscheine hätte verfeuern können. Und so griff der 47-Jährige zu, als ihm EWE anbot, eine Brennstoffzellen-Anlage in seine Garage zu stellen.

Statt Gas bezahlt Vollers jetzt die verbrauchte Wärme – so steht es in dem Wärme-Direkt-Service-Vertrag, den er

für zehn Jahre mit EWE abgeschlossen hat. Um Betrieb und Wartung kümmert sich das Unternehmen. Langfristig wäre ein neuer Brennwertkessel genauso teuer gewesen, vermutet Vollers, und so siegte die Faszination über die Gewohnheit. „Toll, da kommt ja nur Wasser raus, dachte ich damals.“

Vor allem der zweite Stromzähler im Schaltschrank lässt das Herz des EDV-Fachmanns höher schlagen. Der linke Zähler zeigt den Strom an, den die Familie aus dem Netz bezieht. Vollers deutet nach rechts: „Der hier misst den Strom, den die Brennstoffzelle erzeugt.“ Maximal ein Kilowatt Leistung schafft der Keramikstapel der Festelek-

trolyt-Brennstoffzelle (SOFC), der in dem zylindrischen Behälter steckt. Das reicht gerade mal für einen Föhn. Doch übers Jahr gemittelt genüge diese Leistung für einen Dreipersonenhaushalt, haben ihm die EWE-Experten versichert. Sind die Vollers nicht zu Hause, speist die Anlage überschüssigen Strom ins Netz.

Das klappt aber nur, wenn die Anlage funktioniert – und das tut sie nicht immer, gibt Vollers zu. Doch dank Netzstromer gibt es keine Versorgungs-lücken. Etwas mulmig sei ihm allerdings, wenn sich die Anlage von Geisterhand selbst repariere. Über ein Modem werden Betriebsdaten nach Winterthur zum Hersteller geschickt, wo ein Defekt meist mit einer Änderung an der Software behoben wird.

her gerissen zwischen Marketing-Optimismus und Ingenieurskepsis. Der 32-Jährige freut sich über die 600 Kunden, die sich für die 155 Anlagen beworben haben, welche EWE bis zum Jahresende 2003 aufstellen will. Auf der anderen Seite seien bis zur Serienreife in vielleicht drei Jahren noch technische Hürden zu bewältigen. Werbung für Brennstoffzellen findet Ballhausen deshalb zum heutigen Zeitpunkt kontraproduktiv.

Eine Brennstoffzelle dieses Typs arbeite im Feldtest zwar locker 6000 Stunden, bläse dabei aber mehr als die Hälfte ihrer elektrischen Leistung ein. Die größte Hürde sei bisher die Größe des Minikraftwerks: Bei Jürgen Vollers ging der Schrank nur um Haaresbreite durch die Heizraumbür. Ballhausen selbst muss bisher darauf verzichten –

Auch Handwerksmeister Rolf Renken sieht in der innovativen Brennstoffzellen-Technik eine große Marktchance für seinen Installateursbetrieb. „Ich schrecke vor nichts zurück“, sagt Renken. Dank ihres Know-hows sowohl in Hydraulik als auch in Elektrik wurde die Zehn-Mann-Firma zu einem von vier Partnern erkoren, die im Einzugsgebiet von EWE die Anlagen von Sulzer Hexis in Betrieb nehmen.

Über EWE ist Renken voll des Lobes. Schon 1997 habe die Firma so genannte Synergiegemeinschaften ins Leben gerufen, wo zu solchen Problemen Erfahrungen ausgetauscht wurden. Alle Meister bei EWE sind Kombimeister, haben also sowohl im Elektrohandwerk als auch im Sanitär-Heizung-Klima-Fach ihre Prüfung abgelegt. Über viele seiner Kollegen hingegen schüttelt

B. Neumann [4]

PFIFFIGE HANDWERKER begleiten die Brennstoffzelle auf ihrem Weg zur Marktreife [Mitte]. DAS HERZ dieser Brennstoffzellen-Anlage ist der kreisrunde Keramikstapel [links]. STROM ZÄHLEN mal ganz anders: Der Strom wird im eigenen Keller produziert [rechts].



Parallel gehen die Daten an die EWE-Leitzentrale in Oldenburg, wo Frank-Peter Schreiber am Computer das komplette EWE-Strommanagement im Griff hat. Ein Mausklick, und die Messwerte werden aus der Garage des Kollegen Vollers und von den fünf weiteren Pilotkunden abgerufen. Bei zwei Anlagen verharrt die Temperaturanzeige des normalerweise 1000 Grad Celsius heißen Brennstoffzellenstapels heute auf kühlen 55 Grad, der Wert für die Leistungsausbeute klebt hartnäckig bei Null Watt. „Wartungsarbeiten“, kommentiert Schreiber.

Andreas Bailhausen, Brennstoffzellen-Projektleiter bei EWE, ist hin und

seine Kellertreppe ist zu niedrig. Viel Idealismus ist also bei allen Beteiligten nötig – und natürlich Geld.

Wieviel der Oldenburger Energieversorger in das Brennstoffzellen-Abenteuer investiert, will Ballhausen nicht verraten, aber das liege schon im Millionenbereich. Dass EWE sich selbst das Wasser abgräbt, wenn bald alle Kunden neben Wärme auch ihren eigenen Strom erzeugen, glaubt der Maschinenbau-Ingenieur nicht. Ein Unternehmen wie EWE dürfe in Zukunft nicht nur Gas oder Strom liefern, sondern müsse ein komplettes Paket für Energiedienstleistungen anbieten. Und dazu gehöre auch die Brennstoffzelle.

Renken nur den Kopf: „Die haben schon Probleme, einen Brennwertkessel zu installieren.“ Welches Schicksal denen droht, wenn sich die Brennstoffzellen durchsetzen, mag Renken sich nicht ausmalen.

Sein Engagement bescherte dem Handwerker aus Leidenschaft kürzlich die Ehre, die Sulzer-Hexis-Brennstoffzelle mit der Seriennummer 007 im EWE-Ausbildungszentrum aufzubauen und der Einweihung durch den niedersächsischen Umweltminister Wolfgang Jüttner beizuwohnen. Er freue sich schon auf Nummer 007, lacht Renken: „Dann kommt vielleicht James Bond.“

■ BERND MÜLLER

BDW: Die EWE AG blickt auf eine lange Tradition als regionaler Energieversorger zurück. Welche Herausforderungen stellen sich heute?

BRINKER: Die Strom- und Gaslieferung war und ist nie einfach. Sie war immer schon kombiniert mit Fernwerkssystemen, Netzwerktechnik und Datenverarbeitung. Dadurch haben wir über Jahre hinweg ein eigenes Datenmanagement für die Netze aufgebaut. Und unser Wissen nutzen wir, um neue Ideen zu entwickeln – hin zu einer modernen Energiewirtschaft des 21. Jahrhunderts. Das war auch die Basis für uns, in den Telekommunikationsmarkt einzusteigen.

BDW: Ein ungewöhnlicher Schritt für ein Energieversorgungsunternehmen?

BRINKER: Nein. Denn wir haben ja nicht nur Know-how in der Netzwerktechnik, sondern auch in kaufmännischen Prozessen wie der Abrechnung. Ich glaube, dass die gesamte Energiewirtschaft lernen muss, ihre Netze intelligenter miteinander zu verbinden.

BDW: Und die Kunden akzeptieren Sie als Telekommunikations-Dienstleister – auch neben ihrer traditionellen Rolle als Strom- und Gaslieferant?

BRINKER: Ja. Denn viele wollen mehrere Produkte aus einer Hand haben. Die meisten unserer Kunden haben einfach nicht die Zeit, sich mit den verschiedenen Märkten zu beschäftigen. Die sagen: „Wir vertrauen euch, macht uns ein vernünftiges Angebot.“ Wir wiederum senken dadurch unsere Kosten für Verwaltung und Ver-

trieb. Das führt dazu, dass wir insgesamt kostengünstiger und damit konkurrenzfähiger werden. Wir haben in den letzten vier Jahren 170.000 Kunden im Telekommunikationsbereich gewonnen. Ich glaube, darauf kann man stolz sein.

BDW: Bisher beziehen Sie Ihren Strom in erster Linie

spielt keine große Rolle – es gibt einfach viel zu wenig Sonne in Norddeutschland. Insgesamt steigt der Anteil der regenerativen Energien kontinuierlich, doch noch geht das alles im allgemeinen Rauschen der großen Stromversorger unter.

BDW: Zu den Alternativen für die Stromversorgung der

die verstärkte Einführung der Brennstoffzellentechnologie nicht vor dem Jahr 2006 stattfinden wird.

BDW: In Zukunft wird es viele dezentrale Energielieferanten geben. Wie werden wir deren Zusammenbindung erleben?

BRINKER: Ein Thema, das wiederum eng mit der Informations- und Kommunikationstechnologie zusammenhängt. Früher gab es für uns genau einen Stromlieferanten und viele Kunden, die wir versorgt haben. Heute gibt es hier eine Windkraft-Anlage, dort eine Brennstoffzelle oder eine Biogas-Anlage. Alle speisen Strom ins Netz ein. Da müssen wir den Abgleich zwischen dem Angebot und der Nachfrage herstellen. Wir brauchen also ein komplexes Datenmanagement-System.

BDW: Wird dies alles dazu führen, dass wir in Zukunft deutlich weniger Energie verbrauchen?

BRINKER: Nein, aber wir werden die eingesetzte Primärenergie wesentlich effektiver nutzen. Bisher hat jeder Haushalt zwei Versorgungsströme: Gas und Elektrizität. Der Gasstrom wird in einem Brennwärtekessel effektiv zu 95 Prozent in nutzbare Wärme umgewandelt. Beim Strom haben wir eine durchschnittliche Effektivität von 45 Prozent. Der sich daraus ergebende Jahresnutzungsgrad liegt etwa bei 60 Prozent.

Diese Marke werden wir schon bald durch neue Technologien wie die Brennstoffzelle und durch gutes Energiemanagement deutlich verbessern können.

Das Gespräch führte Swantje Middeldorff

DIE NETZE BESSER NUTZEN

Energieversorgung ist ohne Informations- und Kommunikationstechnologie nicht mehr denkbar. Dr. Werner Brinker von der EWE AG in Oldenburg erklärt, warum.

Dr. Werner Brinker ist seit 1998 Vorsitzender des Vorstandes der EWE AG. Der gelernte Bauingenieur ist früh in die Energiewirtschaft eingestiegen und hat über 20 Jahre lang in dieser Branche Erfahrungen gesammelt.



von den großen überregionalen Stromversorgern. Doch wie steht es mit den regenerativen Energien?

BRINKER: Da müssen wir zwischen den verschiedenen erneuerbaren Energiequellen unterscheiden. In unserer Region stammen zum heutigen Zeitpunkt 70 Prozent der regenerativen Energie aus Windkraft-Anlagen. Die Photovoltaik hingegen

Zukunft zählt auch die Brennstoffzelle. Wie schätzen Sie deren Entwicklung in den nächsten Jahren ein?

BRINKER: Die Brennstoffzelle hat das technische Potenzial, einen größeren Marktanteil zu erreichen. Allerdings sind bis dahin noch einige Dinge zu klären – sicherheitstechnischer und finanzieller Art. Wir gehen im Moment davon aus, dass

Zauberwort Contracting

Die Brennstoffzelle soll die Keller der Verbraucher erobern. Energieversorger schnüren zur Vermarktung ein Rundum-sorglos-Paket.



Die Experten sind sich einig: Die Brennstoffzelle als kleines Kraftwerk im Keller hat das Potenzial zur Energiequelle der Zukunft. Ab Mitte des Jahrzehnts soll aus dem haus-eigenen Ökokraftwerk Wirklichkeit werden. Und so wird hinter den Kulissen bereits kräftig an einem Vermarktungskonzept gewerkelt, das der Zelle den Weg in die Kellerräume ebnet soll.

Vor allem die Energieversorgungsunternehmen haben die Hausanlagen für ihre Zwecke entdeckt. Schließlich produzieren die Zellen mit Strom und Wärme genau die „Ware“, die zu ihrem Kerngeschäft zählt. Mit dem feinen Unterschied freilich, dass die kleinen dezentralen Anlagen nicht nur in Konkurrenz zum Strom aus Großkraftwerken treten, sondern sich auch auf dem umkämpften Heizungsmarkt behaupten müssen. So lautet also die entscheidende Frage: Warum soll ein Hausbesitzer seine Stromverträge kündigen und die gute alte Ölheizung gegen eine Brennstoffzelle tauschen?

Die Antwort ist kurz, schlicht und neudeutsch: Contracting. Der Sinn hinter dem Zauberwort, auf das die Unternehmen setzen: Einem „Contractor“ – also dem Anbieter und Vertragspartner – werden all jene Aufgaben überlassen, in denen er sich besser auskennt als man selbst.

Bereits James Watt, der Pionier der Dampfmaschine, machte zu Beginn des 19. Jahrhunderts seinen Kunden das Angebot, die neuen Maschinen kostenlos zu installieren. Die Gegenleistung bestand lediglich aus einem Anteil am eingesparten Futter für die nicht mehr

benötigten Pferde. Im Prinzip funktioniert Contracting im Energiebereich auch heute noch so. Bei großen Gebäuden, dem Betrieb von Kraftwerken und Industrieanlagen wird dies schon seit Jahren erfolgreich praktiziert.

Mit der Brennstoffzelle soll das Contracting nun auch in die Privathäuser Einzug halten. Ein „Rundum-sorglos-Paket“ nennen die Energieversorger gerne ihre Vermarktungsstrategie. Dabei wird dem Kunden ein auf seine Wünsche zugeschnittener Vertrag, der „Contract“, angeboten, der ihm Wärme, Strom und Wasser zu bestimmten Konditionen frei Haus liefert. So gesehen ist es also kein Unterschied zur heutigen Situation, nur dass Strom und Wärme eben aus dem kleinen Kraftwerk im eigenen Keller kommen.

Der Mannheimer Energieversorger MVV ist einer der Anbieter, die mit der neuen Technik an den Start gehen. „Beim Contracting muss sich der Kunde um nichts mehr kümmern“, erklärt Frieder Schmitt, der bei der MVV die Initiative vorantreibt, die Spielregeln. Und das darf er auch gar nicht mehr. Denn nicht nur, dass die Technik komplex ist – das neue Gerät gehört dem Kunden auch nicht. Beim Contracting bleibt die Zelle Eigentum des Energieversorgers. Er sorgt in enger Kooperation mit dem Handwerk für die Wartung und achtet darauf, dass alles läuft.

Die Herausforderungen für den Anbieter sind ziemlich hoch. „Wenn Sie mal für ein paar Stunden kein Internet haben, können Sie das vermutlich verschmerzen. Ohne Strom und Wärme dazustehen, ist indessen fatal“, be-

SCHIWA WÜRDE STAUNEN: Der „Contractor“ hat alles in der Hand und sorgt zugleich für Installation, Betrieb und Wartung.

schreibt Frieder Schmitt die Situation. Aus diesem Grund verfügen bis heute die Brennstoffzellen über Rettungssysteme, die zur Not Strom aus dem normalen Netz holen.

Doch bei allem guten Willen – eines wissen die potenziellen Brennstoffzellenbetreiber genau: Der Türöffner zu den Heizungsräumen der Hausbesitzer ist der Preis. Auch das beste Contracting-Angebot wird nur funktionieren, wenn es erschwinglich ist, wenn die neue Technik bei Preisen einer Ölheizung landet. Dazu kommt, dass die psychologische Hemmschwelle hoch ist. Ist jedem wohl bei der Vorstellung, dass einem zwar Haus und Garten gehören, die Heizung aber nicht mehr?

Die Experten sind sich einig: Der Verbraucher muss besser informiert werden – dann wird der Markt auch wachsen. Und wenn es die Zelle Ende des Jahrzehnts zu kaufen gibt, ist die Strategie jetzt schon klar: Contracting heißt das Zauberwort. ■ **TOBIAS BECK**

In den Startlöchern

Die Brennstoffzelle verlässt die Forschungslabors. Bei stationären Heizgeräten bereiten sich die Hersteller auf den Markteintritt vor.

Strom und Wärme im eigenen Haus erzeugen, und das äußerst effizient und umweltfreundlich – diese verlockende Perspektive eröffnet die Brennstoffzelle dem Verbraucher. „Mit einem Brennstoffzellen-Heizgerät können bis zu 25 Prozent an Primärenergie eingespart werden“, sagt Joachim Berg, Leiter der Brennstoffzellen-Entwicklung beim Remscheider Heizungsbauer Vaillant. „Der elektrische

Wirkungsgrad reicht bis zu 40 Prozent.“ So wird das Erdgas als Brennstoff optimal genutzt. Auf Erdgas setzen die Gerätehersteller, da es von allen fossilen Brennstoffen den höchsten Anteil an Wasserstoff hat: Auf vier Atome Wasserstoff kommt nur ein Kohlenstoff-Atom. Außerdem sind viele Häuser bereits ans Gasnetz angeschlossen.

Joachim Berg ist optimistisch. Bereits seit 1997 setzen die Remscheider



SULZER HEXIS will ein Gerät mit Festoxid-Brennstoffzellen (im Bild: Teststand mit Zellenstapel) bis zur Marktreife hochpäppeln.

auf die Brennstoffzelle. „Anfangs haben uns manche Energieversorger noch verlacht.“ Doch seit der Liberalisierung der Strommärkte ist die dezentrale Energieerzeugung in aller Munde, und die Brennstoffzellentechnik steht dabei ganz vorn: Die Geräte verlassen die Forschungslabors, die Heizgerätehersteller stehen in den Startlöchern in Richtung Markt.

Vaillant und Buderus haben sich über strategische Allianzen mit amerikanischen Brennstoffzellen-Fabrikanten das technische Know-how ins Haus geholt. Viessmann peilt innerhalb eines Projekts des Bundeswirtschaftsministeriums eine Eigenentwicklung an. Der Schweizer Brennstoffzellen-Hersteller Sulzer Hexis setzt ebenfalls auf ein Modell Marke Eigenbau. Neu in der Runde ist der Energiekonzern RWE. Die neue Tochtergesellschaft RWE Fuel Cells GmbH kooperiert mit einem italienischen Hersteller.

Erste Prototypen haben die prinzipielle Tauglichkeit der Brennstoffzelle für die Hausversorgung gezeigt. Jetzt geht es darum, in längeren Feldtests bei ausgewählten Verbrauchern Erfahrungen zu sammeln und die Technik bis hin zur Marktreife zu verbessern. Das wird nach Auskunft aller Hersteller noch einige Jahre in Anspruch nehmen.

Mit einer Ausnahme setzen die Hersteller auf die PEM-Technologie – lediglich die Schweizer Sulzer Hexis favorisiert das SOFC-Prinzip (zu den Technologien: siehe „Brennstoffzelle – Das Multitalent“, Seite 10). „Für uns haben die PEM und die SOFC das größte Potenzial im kleinen Leistungsbereich für Hausanlagen“, sagt Vaillant-Entwickler Berg. „Langfristig gesehen hoffen wir aber, mit der PEM die Kosten stärker senken zu können.“

Mit drei Geräten sind die Remscheider aus dem Labor in die Heizungskeller gezogen. Seit Dezember 2001 werden zwei Mehrfamilienhäuser in Gelsenkirchen und Essen sowie eine

Brauerei in der Düsseldorfer Altstadt mit Strom und Wärme versorgt.

Der Prototyp von Vaillant mit einer elektrischen Leistung von 4,6 Kilowatt und einer Wärmeleistung von 7 Kilowatt ist auf Mehrfamilienhäuser und kleine Gewerbebetriebe zugeschnitten. Die technischen Anforderungen sind nicht so anspruchsvoll wie bei Einfamilienhäusern: „Der Wärme- und Strombedarf ist ausgeglichener. Außerdem arbeiten die Anlagen hier wirtschaftlicher“, erläutert Berg. Dazu kommt, dass Brennstoffzellen-Heizgeräte noch nicht so kompakt sind wie vergleichbare Gaskessel – zumal ein so genannter Spitzenlastkessel für die Wärmeversorgung im Winter hinzukommt. Beides passt besser in Keller größerer Gebäude als in kleine Einfamilienhäuser.

Schon ab Ende 2002 will Vaillant eine zweite Gerätegeneration in die Feldtests schicken. In einem zweijährigen Projekt mit der Ruhrgas AG, der E.ON Energie AG, dem norddeutschen Energieversorger EWE AG und weiteren Partnern sollen 50 Anlagen im Netz erprobt werden. Danach geht's in die Vollen: Ab 2004 will Vaillant eine Vorserie von rund 400 Geräten über die Energieversorger und Fachhandwerker europaweit an Kunden verkaufen. „Eine Probe für die spätere Vermarktung“, erläutert Berg.

Für 2005 ist die Serienfertigung vorgesehen. Bis dahin müssen die Kinderkrankheiten der Pilotgeräte beseitigt sein. Denn, so Berg, „ein unreifes Produkt werden wir nicht auf den Markt bringen. Die Brennstoffzelle hat ein sehr gutes Image, das wollen wir erhalten.“ Schon 2010 möchte Vaillant rund 100 000 Geräte in Europa absetzen. Gemeinsam mit Sulzer Hexis wägen sich die Remscheider um ein bis anderthalb Jahre der Konkurrenz voraus.

Harald Raak, Leiter Marketing und Vertrieb der Sulzer Hexis AG in Winterthur, ist zurückhaltend. „In den Medien wurde vielfach berichtet, man



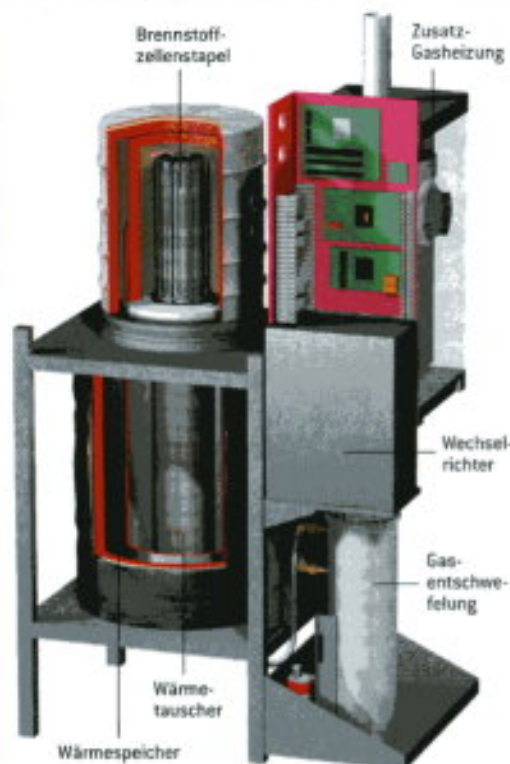
VAILLANT kooperiert mit der US-Firma Plug Power, um ab 2005 Brennstoffzellen-Anlagen als Serienprodukte anzubieten.

könne die Brennstoffzelle quasi morgen schon kaufen, aber das ist nicht so“, sagt Raak. Er rechnet Anfang 2005 mit einem seriennahen Brennstoffzellen-Heizgerät. „Im Moment testen wir mit Energieversorgungsunternehmen und lokalen Handwerksbetrieben unsere Vorseriengeräte.“ Bis Ende 2003 soll ein Großteil von insgesamt 400 Anlagen bei ausgewählten Kunden installiert sein.

Sulzer favorisiert die oxidkeramische Hochtemperatur-Brennstoffzelle (SOFC), weil sie einfacher aufgebaut ist als andere Brennstoffzellen-Typen. Beispielsweise können der Reformier und dessen komplexe Steuertechnik entfallen. „Damit hoffen wir, die Kosten schnell in den Griff zu bekommen“, so Raak. Der Brennstoffzellen-Stapel von Sulzer hat eine elektrische Leistung von 1 Kilowatt und eine thermische von 2,5 Kilowatt. „Das deckt die elektrische Grundlast und gemeinsam mit einem Zusatzbrenner den gesamten Wärmebedarf eines Einfamilienhauses.“

Zwischen 1997 und 2001 befanden sich mehrere Anlagen in Feldtests. Anfänglich wurden 8000 Betriebsstunden erreicht. Zum Vergleich: Ein Heizgerät muss 40 000 Betriebsstunden laufen.

Power-Paket im Heizungskeller



Ende 2001 startete das Unternehmen Sulzer Hexis in Winterthur die Vorserienphase für sein Brennstoffzellen-Heizgerät „HXS 1000 Premiere“. Es wird mit entschwefeltem Erdgas betrieben. Die Anlage liefert maximal 1 Kilowatt Strom und 2,5 Kilowatt Wärme. Reicht das an kalten Tagen nicht, springt automatisch ein integrierter Zusatz-Gasbrenner mit 12, 16 oder 22 Kilowatt thermischer Leistung an. HXS 1000 Premiere deckt den Bedarf eines Einfamilienhauses.

„Die momentane Vorserienphase dient dazu, die Zuverlässigkeit und den Wirkungsgrad zu steigern und gleichzeitig auf eine kostengünstigere Produktionsweise umzustellen“, erklärt Raak.

„Wenn wir unsere Hausaufgaben gemacht haben, sind bis Ende dieses Jahrzehnts Stückzahlen im Bereich von 100.000 durchaus realistisch“, sagt der Marketingleiter. Eine Konkurrenz zwischen den Brennstoffzellen-Technologien PEM und SOFC sieht er nicht: „Der Markt ist groß genug für verschiedene Techniken und Anbieter.“ Allerdings werde es einen begrenzten Verdrängungswettbewerb mit klassischen Heizungen geben, etwa mit Brennwertgeräten. „Auf lange Sicht wird die Brennstoffzelle genauso selbstverständlich im Haushalt zu finden sein wie die klassische Heizung“, meint Raak.

Ganz anders sieht dies Behrouz Ahmadi, Forschungschef beim Heizgerätebauer Viessmann: „Die klassische Heiztechnik wird die nächsten 25 Jahre weiterhin dominieren.“ Selbst wenn sich die Brennstoffzelle durchsetzen

sollte: Jedes Gerät benötige einen zusätzlichen konventionellen Spitzenlastkessel. Ab 2010, so Ahmadi, könnten Brennstoffzellen-Heizgeräte vielleicht zehn Prozent des Wärmebedarfs deutscher Ein- und Mehrfamilienhäuser decken. Und dies werde auf absehbare Zeit so bleiben.

Dennoch will auch Viessmann im künftigen Brennstoffzellen-Markt dabei sein. Seit Juli 2000 arbeitet die in Allendorf/Eder angesiedelte Firma in einem Drei-Jahres-Projekt des Bundeswirtschaftsministeriums an einer Eigenentwicklung. Mit im Boot sind Industriepartner und das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung in Ulm. Die Projektpartner haben Ein- bis Zweifamilienhäuser im Auge. Ein erstes Gerät auf PEM-Basis mit zwei Kilowatt elektrischer Leistung befindet sich im Laborstadium.

Ziel des Projekts ist es, bis Mitte 2004 einen seriennahen Prototypen für Feldtests zu entwickeln. „Wir sehen natürlich einen gewissen Vorsprung unserer Wettbewerber, doch auch wir

peilen an, Ende 2005 mit ersten Geräten in kleinen Stückzahlen auf den Markt zu kommen“, betont Ahmadi. Im Vergleich zu Vaillant, Buderus und RWE, die ihre Brennstoffzellen von kooperierenden Spezialisten beziehen, sei eine Eigenentwicklung zwar aufwändiger. Doch „später stehen wir besser da, da wir das Gerät von der Pike auf entwickeln und sämtliches Know-how selbst aufbauen“, sagt Ahmadi.

Von einem akzeptablen Preis sind die Hersteller noch weit entfernt. Heinz Bernd Grabenhenrich von der Buderus Heiztechnik in Weitzlar nennt einen Zielpreis von 1000 bis 2000 Euro pro elektrisches Kilowatt Leistung. Derzeit liegen die Kosten – nach Branchenschätzung – um den Faktor zehn darüber. „Wir glauben aber, mit der PEM-Technik die Chance auf günstigere Kosten zu haben“, so Grabenhenrich.

Außerdem könne das Handwerk besser mit Niedertemperatur-Brennstoffzellen wie der PEM vertraut gemacht werden. „Im Reparaturfall ließe sich bei der PEM bereits kurz nach dem Abschalten des Geräts ein Austausch von Komponenten vornehmen, ähnlich wie bei Heizkesseln“, erklärt Grabenhenrich. Eine Hochtemperatur-Brennstoffzelle des Typs SOFC muss über Stunden abgekühlt und dann langsam wieder angefahren werden.

Eine PEM-Zelle jedoch liefert schon nach einigen Sekunden elektrischen Strom, wenn sie mit Wasserstoff gefüttert wird. „Und selbst mit dem Reformert dauert es nicht länger als eine Viertelstunde.“

■ MARTIN SCHÄFER

bdw community

INTERNET

Allgemeiner Überblick
www.initiative-brennstoffzelle.de

Die Gerätehersteller
www.buderus.de
www.rwe.com/de/welt/innovationen/technologien/brennstoffzelle
www.vaillant.de
www.viessmann.de
www.hexis.com

Allrounder fürs Haus

Für den Betrieb von Brennstoffzellen-Hausanlagen sind Gebäudetechniker mit ihrem speziellen Know-how in Sachen Strom, Wasser, Gas gefragt.

Das Gebäude gibt die richtige Bühne ab für den Auftritt der Brennstoffzelle als Zukunftstechnik: groß, modern, lichtdurchflutet. Kunst an den Wänden. Im Foyer eine Ausstellung von Fotos, die den Wandel deutscher Industrieanlagen im Laufe der Zeit zeigen. So präsentiert sich der Hauptsitz der VNG – Verbundnetz Gas Aktiengesellschaft in Leipzig.

„Wir sammeln bereits seit Jahren in Büro- und Gewerbebauten, Schwimmbädern und Krankenhäusern wertvolle Erfahrungen mit erdgasbetriebenen Brennstoffzellen-Anlagen“, berichtet Vorstandsmitglied Wolfgang Eschment. Er ist bei dem mit 16 Prozent Marktanteil drittgrößten deutschen Ferngasunternehmen für Gasverkauf und Technik zuständig.

Derzeit sorgt Gas deutschlandweit in 53 Prozent und in Ostdeutschland sogar in 71 Prozent aller Haushalte für Wärme. In den neuen Ländern wurden von 1991 bis 1995 viele Gasheizungen installiert, so Eschment. Bei einer geschätzten Lebensdauer von 15 Jahren steht diesen Geräten zwischen 2006 und 2010 eine Erneuerung ins Haus. Darin wittert der 62-jährige Maschinenbau-Ingenieur eine Chance für den Marktdurchbruch der Brennstoffzelle.

Vor allem umweltbewusste Besitzer von Eigenheimen sieht Eschment als Klientel



WOLFGANG ESCHMENT
von der VNG AG fördert
Das Handwerk muss
rasch mit Brennstoff-
zellen umgehen lernen.

B. Meißner

für erdgasbetriebene Brennstoffzellen. Doch das wird nur funktionieren, sagt er, wenn kompetente Installateure zur Verfügung stehen. Der Umgang mit dieser Zukunftstechnik stellt neue Anforderungen an die Fachkräfte. Das Installationshandwerk muss beizeiten lernen, wie man Brennstoffzellen installiert, wartet und repariert.

Innerhalb der „Initiative Brennstoffzelle“ zeichnet die VNG für den Part „Vorbereitung Handwerk“ verantwortlich. Regelrechte Brennstoffzellen-Techniker werde es wohl nicht geben, meint Eschment. Er setzt auf „Gebäudetechniker“ als Allrounder – egal, ob es um Heizung, Klima, Lüftung oder anderes geht. Dazu wird in der Regel ein Abschluss als staatlich

Zwischen 2006 und 2010 eröffnet sich in den neuen Bundesländern die Chance auf einen Marktdurchbruch der Brennstoffzelle

geprüfter Techniker (Fachrichtung Elektrotechnik mit Gebäudetechnik als Schwerpunkt) gefordert.

Infrage kommen auch Elektrotechniker mit anderen Schwerpunkten – allerdings sollten sie langjährige Berufserfahrung in der Gebäudetechnik haben. Nachwuchs lässt sich auch durch Fortbildung von Facharbeitern aus der Gas- und Wasserinstallation sowie aus

dem Heizungs- und Lüftungsbau gewinnen.

Nützlich für die künftige Zusammenarbeit mit dem Handwerk findet Eschment die Erfahrungen mit einem Call-Center, das die VNG für ihre Kunden in den neuen Bundesländern installiert hat: Wer die Hotline anruft, soll garantiert spätestens zwei Stunden später einen Installateur empfangen können, der sich um die Anlage kümmert.

Künftig werde es noch schneller gehen, prophezeit Eschment: Intelligente Systeme melden eine notwendige Wartung oder eventuelle Störungen direkt beim Call-Center. Seine Vision: „Der Installateur klingelt, bevor der Kunde überhaupt gemerkt hat, dass seine Anlage defekt ist.“ ■ PAUL JANOSITZ

Der optimale Mix

Immer mehr Dezentralisierung im Energiemarkt – oder europaweite, zunehmende Zentralisierung? In seinem Essay plädiert der Experte Stephan Kohler für intelligentes Optimieren statt für Radikallösungen.

Die Investitions- und Innovationsblockade in der Kraftwerksszene auf Grund von Überkapazitäten in der Stromversorgung geht zu Ende. Spätestens ab Ende dieses Jahrzehnts werden hohe Ersatzinvestitionen für alte Großkraftwerke erforderlich. Insider gehen von einem Ersatzbedarf in Höhe von zirka 30 000 Megawatt (MW) elektrischer Leistung bis Ende 2030 aus.

Das heißt: Rund ein Drittel der derzeit installierten Kraftwerksleistung soll 2030 aus neuen Anlagen stammen.

Angesichts dieses umfangreichen Erneuerungsprozesses sind viele gespannt: In welche Technologien wird investiert – welche Struktur wird folglich die zukünftige Stromversorgung haben?

Häufig im Gespräch ist die Vision der „virtuellen Kraftwerke“. Wird sie verwirklicht, dann gibt es künftig keine neuen Großkraftwerke mehr – statt dessen erzeugen zigtausende von de-

zentralen Anlagen Strom. Gleichzeitig werden über intelligente Netzwerke die Anlagen von Energiekunden mit einbezogen – vom Solarmodul auf dem Reihenhausdach bis zur privat betriebenen Windkraftanlage. Solche intelligenten Netzwerke optimieren Erzeugung und Verbrauch bereits auf der Nieder- und Mittelspannungsebene und greifen erst dann auf die Höchstspannungsebene zurück, wenn entweder Defizit oder Überschuss in dem jeweiligen Gebiet besteht.

DOCH DAS IST NICHT die einzige Zukunftsperspektive. Eine konkurrierende Vision favorisiert weitere Investitionen in Großkraftwerke, deren Standortwahl aber nicht mehr innerhalb nationaler Grenzen erfolgt, sondern europaweit: Dies würde eine weitere Zentralisierung der Kraftwerks- und Verbundnetzstruktur bedeuten.

Bei aller Unterschiedlichkeit der Positionen seitens der Stromerzeuger besteht in einem Fall Konsens: Der Einsatz von immer effizienteren Geräten und Anlagen wird den Stromverbrauch auf dem heutigen Niveau stabilisieren – sogar ein Rückgang des Stromverbrauchs ist möglich. Einig ist man sich auch, dass künftig verstärkt Anlagen


zur gleichzeitigen Nutzung von Kraft und Wärme beziehungsweise Kälte („Kraft-Wärme-Kopplung“ und „Kraft-Kälte-Kopplung“) sowie regenerative Kraftwerke ausgebaut werden – schon aus Klimaschutzgründen.

Selbst große deutsche Energieversorgungsunternehmen gehen davon aus, dass sich der Anteil der Stromerzeugung durch Großkraftwerke von derzeit 76 Prozent bis 2010 auf 66 Prozent verringern wird – bis zum Jahr 2020 sogar auf 54 Prozent. In weniger als 20 Jahren sollen also bereits 46 Prozent unseres Stroms aus KWK/KKK-Anlagen und regenerativen Kraftwerken kommen. Doch aus diesen Angaben allein lässt sich keine eindeutige Aussage über die künftige Struktur des Systems treffen. Denn was wir heute beobachten, ist ein durch staatliche Förderprogramme initiiertes Neubau von regenerativen Kraftwerken und KWK-Anlagen. Und deren Strukturen könnten nicht gegensätzlicher sein. Das fängt bei der Leistung an: In den Bereichen Photovoltaik, kleine Blockheizkraftwerke und Brennstoffzellen sind Anlagengrößen von 1 bis 50 Kilowatt üblich. Windkraftparks hingegen bewegen sich bei einigen Dutzend Megawatt – mit steigender Tendenz.

Hinzu kommt: Photovoltaik-Anlagen, Biomassekraftwerke und KWK-Anlagen werden über das ganze Land verstreut gebaut, meist orientiert an bestehenden Siedlungsstrukturen und integrierbar in das vorhandene elektrische Verbundsystem. Die großen, effizienten Windkraftanlagen hingegen konzentrieren sich zunehmend an windstarken Standorten im Norden Deutschlands – wo keine ausreichende

Stephan Kohler, Jahrgang 1952, ist seit Juli 2001 gemeinsam mit Kristina Steenbock Geschäftsführer der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena). Stationen seines Berufswegs: Nach Tätigkeiten bei TÜV Bayern, MAN Neue Technologien und der Hochtemperaturreaktorbau-Gesellschaft (HRB) wechselte er 1981 zum Öko-Institut Freiburg. 1983 übernahm er dort die Leitung des Fachbereichs Energie. 1991 wurde er Geschäftsführer der vom Land Niedersachsen und der VEBA AG neu gegründeten Niedersächsischen Energie-Agentur. Seit Juni 2001 ist der mehrfache Buchautor Mitglied im Vorstand des Weltrats für erneuerbare Energien.





Netz-Infrastruktur vorhanden ist. Diese Tendenz wird durch den Ausbau von „Offshore-Windparks“ in der Nord- und Ostsee weiter verstärkt, da Windparks aufgrund ihrer hohen Infrastrukturkosten in Leistungsgrößen von 500 MW und mehr gebaut werden müssen, um Kosten zu minimieren.

Trotz so viel Unterschiedlichkeit ist vielen dieser Anlagen ein besonderes Charakteristikum gemein – und zwar ein unliebsames: Die von ihnen gelieferte Energie ist nicht genau dann und in dem Umfang verfügbar, wie die Elektrizitätswirtschaft sie für die Versorgung der Kunden braucht. Dies trifft für die meisten regenerativen Energiequellen zu, aber auch für viele KWK-Anlagen, deren effizienter Betrieb an den Wärmeabsatz gekoppelt ist.

Der Lastbeeinflussung des Netzes in „virtuellen Kraftwerken“ – also durch elektrische Geräte der Kunden –, die hier ausgleichend wirken könnten, sind enge Grenzen gesetzt. Denn nur solche Geräte können eingebunden werden, die nicht direkt an den Lebens-, Produktions- und Arbeitszyklus gekoppelt sind – zum Beispiel Kühl- und Gefrierschränke oder Waschmaschinen. Der Optimierungseffekt wird auch dadurch infrage gestellt, dass durch immer effizientere Geräte der Stromverbrauch sinkt – beziehungsweise der erforderliche Regel- und Steuerungsaufwand so in die Höhe steigt, dass das Ganze ökonomisch uninteressant wird.

Immer wieder wird jedoch in der öffentlichen Diskussion auf die Vorteile der „virtuellen Kraftwerke“ verwiesen, auf den dort möglichen Lastausgleich zwischen Stromerzeugung und -nachfrage. Das ist zwar richtig, wäre aber ei-

gentlich nichts Bahnbrechendes. Denn der schon sehr alte Elektrizitätswirtschaftliche Verbundgedanke basiert auf genau diesem Optimierungsprinzip: auf der Vernetzung der uneinheitlichen Stromnachfrage der einzelnen Verbraucher und Verbrauchsgebiete (Stadt/Land) mit den diversen Kraftwerkstypen, die verschiedene Kosten- und Lastcharakteristika aufweisen.

Dieser Verbundgedanke dokumentiert sich zum Beispiel in der Vernetzung von Großkraftwerken auf nuklearer und fossiler Brennstoffbasis mit Wasserkraftwerken in den Alpen, wie wir sie heute haben. Das dient unter anderem einer effizienten Reservhaltung. Die großen Leitungs-Trassen beispielsweise in der Rheinebene sind ein sichtbares Zeichen dieser Strategie.

WAS FÜR KONSEQUENZEN ergeben sich denn nun aus den Anforderungen der Energiewirtschaft – angesichts dessen, dass sie sich immer stärker dezentralisiert und an regenerativen Energiequellen orientiert?

So enttäuschend es klingen mag: nicht viel. Alle werden mit dieser Enttäuschung fertig werden müssen. Zum einen diejenigen, die mit einer Dezentralisierungsstrategie die Höchstspannungsverbundnetze und Großkraftwerke gänzlich überflüssig machen wollen. Aber auch diejenigen, die den weiteren Ausbau des Verbundnetzes zur Integration der „zentralen“ Windkraftparks verhindern und als Hebel benutzen möchten, um den wachsenden Einsatz der Windenergie zu blockieren.

Eine Optimierung sowohl in die eine als auch in die andere Richtung steht an. Der Ausbau des Verbundnetzes in


Richtung Norden ist sehr wohl notwendig – insbesondere, um das Offshore-Windpotenzial nutzen zu können. Doch der Ausbau der Windkraftwerke muss andererseits durch den Zubau von Regel- und Reservekraftwerken ergänzt werden, um einen Lastausgleich sicher zu stellen.

Langfristig wird man neue Speichertechnologien in das System integrieren müssen, zum Beispiel Elektrolyse-Anlagen zur Wasserstoffherzeugung. Über eine Wasserstoffproduktion können Lastschwankungen ausgeglichen werden. Außerdem hat man dadurch einen speicherbaren Energieträger, der sowohl in den dezentralen, stationären Brennstoffzellen-Anlagen als auch im Verkehr eingesetzt werden kann.

Neue dezentrale Energiemanagement-Systeme müssen entwickelt und eingeführt werden – zur optimalen Vernetzung, Steuerung und Optimierung der vielen kleinen Erzeugungsanlagen und zur optimalen Einbindung der steuerbaren Verbrauchsgeräte bei den Nutzern. Diese Optimierung findet am sinnvollsten bereits auf der Nieder- und Mittelspannungsebene statt, also direkt dort, wo die Anlagen betrieben werden. Das bedeutet aber nicht, dass viele kleine Inselnetze parallel laufen. Denn neben der Optimierung auf der dezentralen Ebene ist ein ständiger Abgleich mit den überregionalen Strukturen unverzichtbar, um auch in dieser Richtung Synergieeffekte zu nutzen.

Durch diese gegenseitige Optimierung von dezentralen und zentralen Strukturen entstehen wesentlich „intelligenter“ Kraftwerke als heute. Und, was man nie aus dem Blick verlieren sollte: ökologisch verträglichere.

© dpa, SFL/Agentur Focus



»U 31« ist das erste U-Boot der Klasse 212 A, die serienmäßig mit Brennstoffzellen ausgerüstet ist.

Brennstoffzelle ahoi!

Die Brennstoffzelle wird mobil. Doch in Zukunft macht sie nicht nur im Auto Sinn, sondern auch auf der Schiene und dem Wasser. Das erste U-Boot mit Wasserstoffantrieb ist bereits auf Tauchfahrt.

Am ersten Sonntag im August 1988 glitt das deutsche U-Boot „U 1“ durch den Nord-Ostsee-Kanal in Richtung Norwegen. Auf den ersten Blick nichts Ungewöhnliches. Denn sehen konnte niemand, dass ein revolutionärer Antrieb „U 1“ auf die offene See schob. „Zauberbox“ nannte die Besatzung das bahnbrechend neue Triebwerk, das sie weltweit als erste auf einer langen Tauchfahrt erproben sollte. Als „U 1“ wieder auftauchte, jubelte Dirk Uhde, damals Kommandant und heutiger Fregattenkapitän: „Der Beweis ist erbracht, dass die Brennstoffzellen-Anlage an Bord eines U-Bootes problemlos funktioniert.“

Vor rund 15 Jahren galt die Brennstoffzelle noch als Exot unter den An-

triebsaggregaten. Doch im März 2002 knallte eine Sektflasche an den Bug von „U 31“ – dem weltweit ersten serienreifen U-Boot. Es lief mit einem von der Außenluft unabhängigen Antrieb auf der Basis einer AFC (alkalische Brennstoffzelle – siehe Seite 10) vom Stapel.

„U 31“ ist das erste von vier U-Booten der neuen Klasse 212 A, die in Kiel bei Howaldtswerke-Deutsche Werft AG (HDW) und den Thyssen Nordseewerken in Emden für die Deutsche Marine gebaut werden. Nach einer gründlichen Erprobung sollen sie voraussichtlich im März 2004 in Dienst gestellt werden. Dank der Brennstoffzellen-Antriebs werden von „U 31“ außergewöhnliche Leistungen erwartet. Mit dem aus Wasserstoff erzeugten Strom

kann die neue U-Boot-Klasse wochenlang unter Wasser in Fahrt bleiben. Herkömmlichen dieselelektrisch betriebenen U-Booten geht nach etwa zwei Tagen Unterwasserfahrt der Saft aus: Ihre Batterien sind leer gefahren. Zudem erzeugt die Brennstoffzelle weder Geräusche noch Abgaswärme. Damit ist das Unterseeboot so gut wie nicht zu orten.

Tatsächlich hat die Entwicklung des Brennstoffzellen-U-Boots für die HDW schon jetzt eine Reihe Folgeaufträge gebracht. Zu den vier bereits geordneten Booten hat die Bundesmarine zwei weitere bis 2006 bestellt. Und Korea, Spanien, Portugal und Griechenland haben bereits die Exportversion U 214 in Auftrag gegeben. Stückpreis: 400 Millionen Euro.

Auch über Wasser findet die Brennstoffzelle zunehmend Akzeptanz. Lange vor der Taufe der „U 31“ hat die Bonner Oberbürgermeisterin Bärbel Dieckmann im Juni 2000 das erste Schiff in Europa vom Stapel laufen lassen, das durch Brennstoffzellen angetrieben wird. Die zwölf Meter lange „Hydra“, von der Hamburger Bootswerft Eco-boat für 22 Passagiere gebaut, wurde speziell für Ausflugsfahrten in Naturschutzgebiete entworfen. Den Antrieb übernimmt eine AFC mit einer maximalen Leistung von fünf Kilowatt – das Boot macht damit sechs Knoten (neun Kilometer pro Stunde). Ihre Energie schöpft die AFC aus einem Metallhydridtank mit einem Volumen von einem Viertel Kubikmeter. Der Clou daran: Der Tank vermag 33 Kubikmeter gasförmigen Wasserstoff zu speichern. Das genügt für zwei Tage Fahrt.

Derzeit liegt die Hydra an Land und wartet auf einen neuen Besitzer: Der Betreiber musste Insolvenz anmelden – aufgrund einer betriebswirtschaftlichen Fehlentscheidung, wie Gorch von Blomberg von der Bauwerft des Schiffes vermutet. „Schiff und System funktionierten einwandfrei“, ist Blomberg überzeugt.

Auch Islands Fischer setzen auf die Brennstoffzelle. Zur Zeit werden bereits die ersten Fischkutter auf den ökologischen Antrieb umgerüstet. Denn es ist erklärtes Ziel der isländischen Re-



FAHRRAD FAHREN
in einer neuen Dimension: Die amerikanische Firma Paican baut Brennstoffzellen mit einer Leistung von bis zu einem Kilowatt auch für Fahrräder.



BELASTUNGSTEST:
Der Hermes Versand testet den mit Brennstoffzellen angetriebenen Mercedes Sprinter derzeit im Alltagsbetrieb. Die Brennstoffzelle bewegt einen Elektromotor mit einer Leistung von 55 Kilowatt. Spitzengeschwindigkeit: rund 120 Stundenkilometer.

HDW, Paican Fuel Cell Company; DaimlerChrysler

ISLAND DAMPFT VORAUSS. Um den Verbrauch fossiler Brennstoffe zu senken, setzt die Fischereiflotte künftig auf die Brennstoffzelle.



gierung, die Öleinfuhren drastisch zu senken. Und rund 30 Prozent davon werden allein von Islands stattlicher Fischereiflotte verbraucht. So hat etwa Berufsfischer Eiríkur Tomasson für seine Trawlerflotte – eine der zehn größten des Landes – 1500-Tonnen-Schiffe mit Wasserstoff-Antrieb im Blick, die in Japan konzipiert wurden.

Und einen weiteren Markt für Brennstoffzellen testen die Isländer: Bereits vom Frühjahr bis zum Herbst des Jahres 2001 waren Brennstoffzellen als Batterieersatz im Handel. Groß wie eine Getränkedose, liefern sie zwölf Watt bei zwölf Volt und wiegen 640 Gramm. Die Zellen stammen von der amerikanischen Firma DCH Technology (Valencia, Kalifornien) und wurden von Skeljungur Ltd. (Shell in Island) zusammen

mit verschiedenen Arten von Wasserstoffspeichern (Gasflaschen, Metallhydrid) über das Tankstellennetz vertrieben. Zu den ersten Nutzern gehörten Bergsteigervereine, Fischereiverbände, Notdienste und die Küstenwache.

Torsteinn Sigfusson, Vorsitzender der Firma Icelandic New Energy, sagt: „Diese Marktstudie ermöglichte es den Isländern, mit Brennstoffzellen und der sauberen Energie, die sie liefern, vertraut zu werden und zu sehen, wie einfach und sicher sie funktionieren.“ Der Erfolg ermutigt die Isländer, die Studie noch dieses Jahr mit weiter entwickelter Technologie fortzusetzen.

Die Brennstoffzelle läuft natürlich auch zu Lande: Bahntechniker haben die Vorzüge der Brennstoffzelle längst erkannt. So hat die DaimlerChrysler-

Tochter MTU Friedrichshafen begonnen, eine PEM-Brennstoffzelle, die DaimlerChrysler mit der kanadischen Firma Ballard für das Automobil entwickelt, für MTU-spezifische Anwendungen zu adaptieren. Laut Geschäftsführer Rolf A. Hanssen rückt dabei neben der Schifffahrt vor allem die Bahn-anwendung ins Blickfeld.

Derweil denkt die schleswig-holsteinische Landesregierung darüber nach, die Eisenbahnstrecke Kiel-Lübeck zu elektrifizieren – nicht durch Spannen einer teuren Oberleitung, sondern mit Brennstoffzellen-Lokomotiven. Dann kann der Strom für die E-Loks direkt an Bord mit Brennstoffzellen erzeugt werden – aus dafür mitgeführtem Wasserstoff. Drei Windkraft-Anlagen mit je 1,5 Megawatt Leistung sollen die Energie

zur Wasserstoffherzeugung entlang der Strecke liefern. Damit ist das Gesamtsystem wirtschaftlicher als eine herkömmliche Elektrifizierung. Doch noch sind dies nur Ideen.

Ganz anders steht die Sache bei den Straßenfahrzeugen. Jeder Autohersteller – egal ob amerikanisch, asiatisch oder europäisch – hat inzwischen mindestens einen vorzeigbaren Pkw-Prototypen mit Brennstoffzellen-Antrieb. Doch sind es vor allem die Busse, die hier eine Vorreiterrolle spielen. Denn die noch sperrigen Aggregate passen gut in die großen Fahrzeuge. Außerdem reichen den Flotten-Betrieben wenige Tankstellen zur Wasserstoffversorgung. Die ersten Busse für den umwelt-

freundlichen Nahverkehr laufen schon. Ein großes europäisches Projekt beginnt 2003: „CUTE“ (Clean Urban Transport for Europe). In mindestens acht europäischen Städten werden Wasserstoff-Busse im normalen Betrieb laufen – in Amsterdam, Barcelona, Hamburg, London, Luxemburg, Porto, Stockholm und Stuttgart.

Die Verkehrsbetriebe dieser Städte haben jeweils drei umgerüstete Stadtbusse vom Typ Mercedes-Benz Citaro gekauft. Der zwölf Meter lange Niederflurwagen wird eine Reichweite von 200 Kilometern, eine Spitzengeschwindigkeit von 80 Kilometern pro Stunde und eine Kapazität von über 60 Fahrgästen haben. Die Brennstoffzelle mit

mehr als 200 Kilowatt Ausgangsleistung sowie die Drucktankflaschen mit dem auf 350 Bar komprimierten Gas sind auf dem Dach untergebracht. Die Europäische Kommission steckt insgesamt 18,5 Millionen Euro in das Projekt.

Auch bei Transport- und Nutzfahrzeugen trauen Experten der Brennstoffzelle eine große Zukunft zu. Erste Projekte laufen bereits: Seit dem Juli 2001 verkehrt in Stuttgart ein Mercedes-Transporter vom Typ Sprinter mit Brennstoffzellen-Antrieb. Er wird zunächst im Raum Stuttgart und später in Hamburg zwei Jahre lang unter den Alltagsbedingungen eines Versanddienstleisters getestet.

Eine andere Nutzung hat die amerikanische Freightliner LLC, eine Tochter von DaimlerChrysler, im Sinn. Sie statet schwere Lastwagen mit einer Brennstoffzelle aus, die auch im Stand elektrische Energie liefert – ohne die Maschine leer laufen zu lassen und dabei Lärm und Abgase zu emittieren.

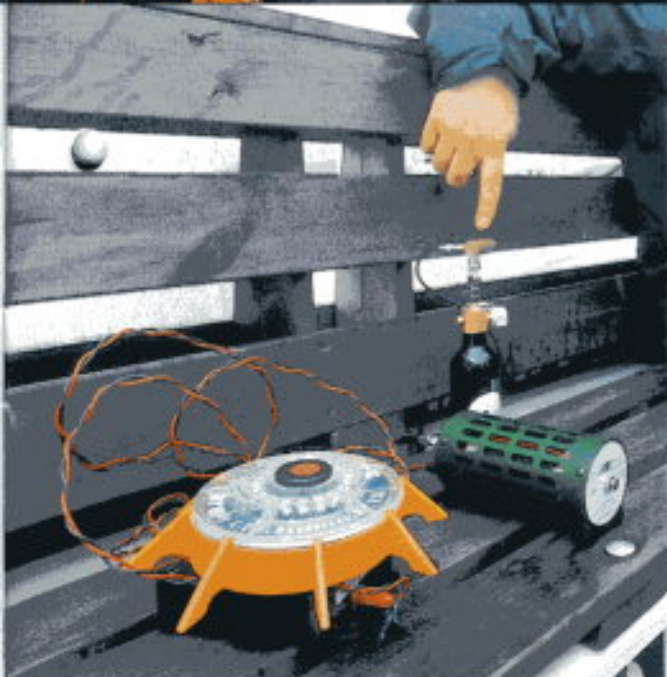
Mit einer ähnlichen Vorrichtung soll der neue Bentley auf den Markt kommen. Und auch BMW setzt künftig auf eine Brennstoffzelle statt einer Batterie, um das elektrische Bordnetz in allen Situationen zu speisen.

Ob zu Lande oder zu Wasser – überall lautet die gleiche Devise: Leinen los. Der Brennstoffzellen-Dampfer legt ab.

■ HANS SCHILDER



EXPERIMENT AN BORD: Islands Fischer testen die Brennstoffzelle als Antriebsaggregat.



DIE BRENNSTOFFZELLE wird tragbar: Nicht größer als eine Getränke-dose mit einem Wasserstoffspeicher, der eher an eine Bierflasche erinnert, lassen sich Elektroklein-geräte unabhängig vom Stromnetz betreiben.

K. Hensler [3]

hdw community

● INTERNET
Allgemeiner Überblick
www.fuelcelltoday.com

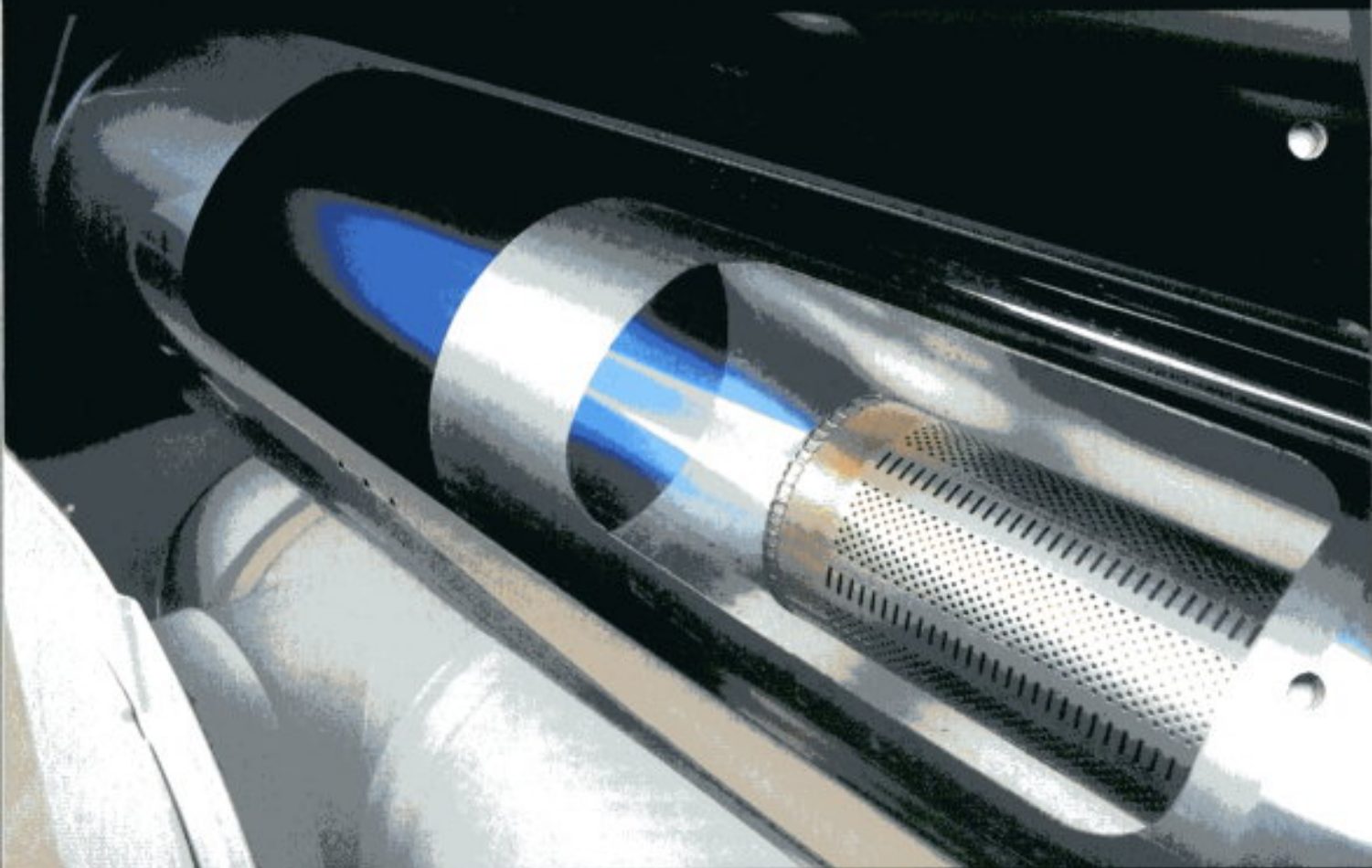
U-Boote mit Brennstoffzelle bei HDW
www.hdw.de/bau/marine.html

Bus-Projekte von DaimlerChrysler
www.daimlerchrysler.de/news/top/2002/t20204a.g.htm

Zukunftsszenario für Brennstoffzellen-Autos
www.isi.fhg.de/pi/bz/index.htm

Vision Erdgashaushaus

Wäsche trocknen (fast) ohne Strom:
Erdgasbetriebene Haushaltsgeräte
machen es möglich.



EINE GASFLAMME schießt aus dem Brenner. Sie erwärmt die Luft, die in der Trommel für trockene Wäsche sorgt.

Rund die Hälfte der deutschen Haushalte werden mit Erdgas beheizt. „Doch nur wenige Hausbewohner wissen, dass sie Erdgas zu viel mehr als nur zum Heizen und zum Kochen nutzen und dabei Geld sparen können“, sagt Heinz-Dieter Corsten, Referatsleiter Gerätemarketing der Ruhrgas AG.

Dabei muss es nicht einmal gleich eine Brennstoffzelle sein, die den Strom durch Erdgas produziert. Bei vielen Haushaltsgeräten, die Wärme erzeugen, kann Erdgas den Strom ersetzen: in Wäschetrocknern sowie indirekt in Wasch- und Geschirrspülmaschinen.

Und das geht relativ einfach: Das Warmwasser, das der Gasbrenner fürs Duschen und Händewaschen produziert, kann ebenso gut für die Wasch- oder die Geschirrspülmaschine genutzt werden. Das Rezept: Einfach die Maschine an die Warmwasserleitung (bis 60 Grad Celsius) anschließen.

Beim üblichen Kaltwasseranschluss heizt der Geschirrspüler das Wasser für den Reinigungsvorgang mit Strom auf. Das ist energetisch ungünstig, außerdem geht die Wärme wieder verloren, weil die Zwischenspülgänge kalt sind. Bei der Warmwasserzufuhr via Gas laufen alle Spülgänge mit warmem Wasser. Das ist immer noch günstiger als die Stromvariante, schon das Geschirr und verkürzt gleichzeitig die Laufzeit: bei einem 55-Grad-Spülprogramm um etwa ein Viertel. Die Kosten sinken um etwa ein Drittel. Und die Umwelt wird mit rund 70 Kilogramm Kohlendioxid pro Jahr weniger belastet.

Auch Waschmaschinen können an die Erdgas-Warmwasserbereitung angeschlossen werden – allerdings nur Geräte, die sowohl mit einem Kalt- als auch mit einem Warmwasseranschluss ausgerüstet sind. Ansonsten lässt sich ein so genanntes Vorschaltgerät im Zulaufschlauch der Waschmaschine installieren, das Warm- und Kaltwasser auf die richtige Temperatur mischt.

Vor dem Anbau sollte man allerdings klären, ob Zulaufschlauch, Magnetventil, Schaltprogramm und eventuell andere Komponenten der Waschmaschine für den Warmwasseranschluss ausgelegt sind. Die Gesamtlaufzeit des

60-Grad-Waschprogramms verkürzt sich durch den Warmwasseranschluss um rund zehn Prozent, und laut Deutscher Energieagentur werden 0,5 Kilowattstunden Strom eingespart. Das entspricht sechs Cent pro 60-Grad-Wäsche. Bei einem 40-Grad-Pflegeprogramm wären es rund drei Cent.

Seit vier Jahren ist ein mit Erdgas betriebener Wäschetrockner auf dem Markt. Das Herzstück des Gastrockners ist eine Brennkammer, in der ein Gas-Luft-Gemisch automatisch entzündet

unschlagbar bei Energiekosten und Tempo: Verglichen mit den 14 getesteten Elektrotrocknern arbeitet er doppelt so schnell und verbraucht dabei nur ein Drittel der Energie. Durch die kürzeren Laufzeiten wird zusätzlich die Wäsche geschont. Allerdings ist das Gerät auch etwas teurer. Die Mehrkosten betragen gegenüber einem vergleichbaren Elektrotrockner rund 350 Euro. Sie amortisieren sich für einen Vier-Personen-Haushalt mit rund 250 Trockengängen nach etwa fünf Jahren.

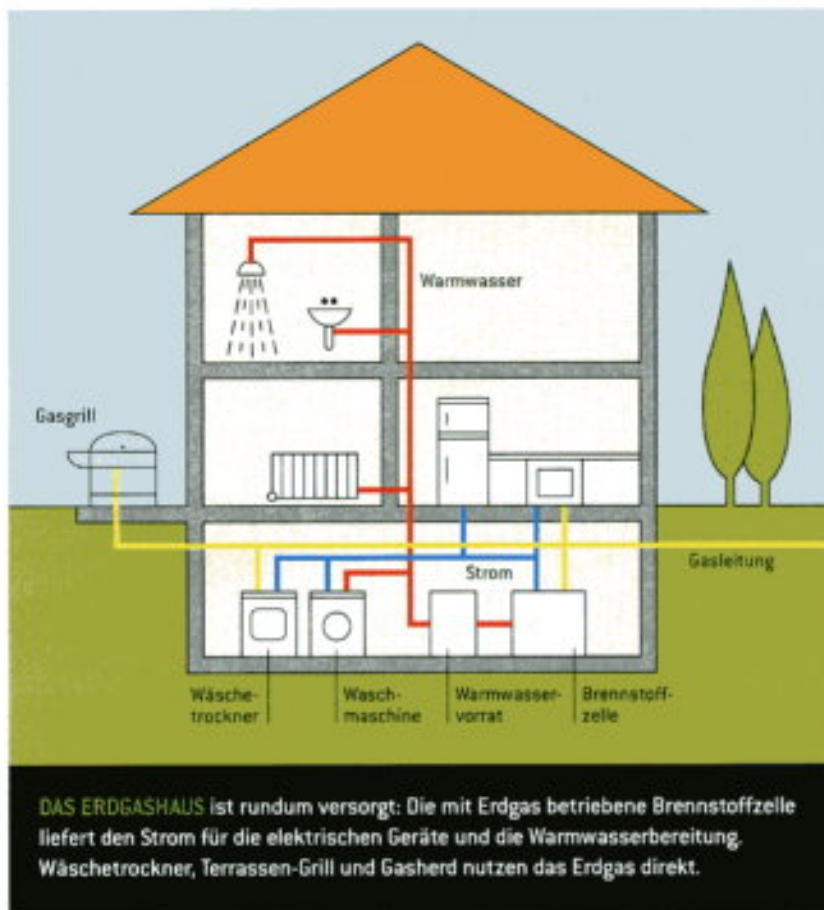


ERDGAS HAT VIELE VORTEILE: Der Wäschetrockner der Firma Miele ist ein Beispiel dafür, wie man mit erdgasbetriebenen Haushaltsgeräten Geld sparen kann.

und kontinuierlich verbrannt wird. Um die Brennkammer strömt Luft, die sich an der Außenhülle der Kammer erwärmt und zusammen mit der Abluft aus der Brennkammer zum Trocknen der Wäsche in die Trommel geführt wird. Elektronische Temperaturfühler überwachen die Betriebstemperatur.

Laut Stiftung Warentest ist der Gastrockner „der beste Wäschetrockner“,

Wer mehr Luxus im Haus plant, kann auch hier mit Erdgas sparen. Kachelofen und Kamin, Grill und Terrassenstrahler oder die Sauna – alles lässt sich mit Erdgas betreiben. Voraussetzung für die unkomplizierte Gasnutzung im Haushalt sind Gas-Steckdosen. Denn die Geräte sollen sich an den gewünschten Stellen so komfortabel wie bei Stromsteckdosen anschließen las-



sen. Ruhrgas hat die Entwicklung und Zertifizierung komfortabler Gassteckdosen daher vorangetrieben.

Wer noch keinen Gashausanschluss hat und sich einen neu legen lassen möchte, sollte vom ortsansässigen Gasversorgungsunternehmen ein Angebot einholen: Je nach Entfernung zur Gasversorgungsleitung in der Straße kostet ein Anschluss zwischen 500 und 3500 Euro. Um die Kosten für die Gasinstallation im Haus zu senken, führte die Ruhrgas AG gemeinsam mit den Stadtwerken Solingen ein Demo-Projekt durch. In einem Zwölf-Familien-Haus verlegten die Techniker flexible Kunststoffverbundrohre mit Pressverbindungstechnik. Das Ergebnis: Die Installationszeit verringerte sich um zirka 30 Prozent, was zu einer deutlichen Kosteneinsparung führte. „Durch die Verwendung der neuen Materialien und der nun zugelassenen Unterputz-Gassteckdose kostet ein Anschluss beispielsweise für den Gasherd einschließ-

lich zehn Meter Rohrleitung nur rund 150 Euro“, sagt Heinz-Dieter Corsten.

Durch die neue Energieeinsparverordnung (EnEV), die seit Februar 2002 gilt, können Bauherren jetzt durch entsprechende Kombination des Wärmedämmstandards und moderner Heizanlagentechnik die weiter verschärften Anforderungen erfüllen. Je höher der Wirkungsgrad der Heizungsanlage ist, desto geringer sind die Anforderungen an die Wärmedämmung. Und da bietet Erdgas echte Vorteile: Ein Gasbrenner mit neuer Brennwertechnik deckt den nötigen Wärmebedarf – nahezu ohne Energieverlust und mit geringen Investitionskosten.

Neben Erdgas bietet sich als Energielieferant auch eine Solaranlage an. Denn Einsparungen bei Haushaltsgeräten lassen sich ebenso mit Warmwasser aus einer solar betriebenen Anlage erreichen – mit dem Vorteil, dass hier regenerative Energien verwendet werden. Eine Solaranlage zur Warm-

wasserbereitung für einen Vier-Personen-Haushalt bedeutet für den Bauherren einen Mehraufwand von etwa 4500 Euro, bei einer Anlage auch für die Heizung rund 8000 Euro.

Diplomphysiker Ralf Nickel vom Energieberatungszentrum Ravensburg spricht sich trotz Mehrkosten für eine Solaranlage aus: „Viele Bauherren wählen die günstige Gas- oder Ölbrenneranlage und lassen die Solaranlage dann weg, weil ihnen der Einbau wirtschaftlich nicht viel nützt. Doch wir empfehlen den Einbau einer Solaranlage, weil wir langfristig gedacht auf regenerative Energien setzen müssen.“

In den meisten Fällen reicht die Solarenergie nicht aus. Vor allem im Winter wird noch zusätzliche Energie für Warmwasser, besonders für die Heizung, gebraucht. „Die fehlende Restwärme kann dann ein moderner Gasbrenner umweltschonend liefern“, erläutert Corsten. Die ideale Ergänzung zur Solartechnik ist die Brennwerteanlage mit ihrem hohen Nutzungsgrad.

Wer Gas den Vorzug gibt, könnte sich sogar eine Brennstoffzelle neben den Gasbrenner stellen, um auch noch kostengünstig Strom zu bekommen. Dabei müssen sich die Hausebauer aber noch gedulden: Die umweltfreundlichen Brennstoffzellengeräte werden noch nicht so bald für breite Käuferschichten erhältlich sein.

Doch wer schon jetzt nicht nur mit dem eigenen Haus die Umwelt schonen möchte, kann Benzin sparen und mit Erdgas fahren – im Erdgas-Auto.

■ ANKE BIESTER

tdw community

● INTERNET

Energie-Spartipps für Haus und Wohnung
www.thema-energie.de

Einsatzmöglichkeiten von Gas
www.ruhrgas.de/deutsch/technik
 im Quickfinder unter Innovations

Die Energieeinsparverordnung
www.enev.de

Fotograf: G. Meier

Neugierig geworden?

Die Initiative Brennstoffzelle (IBZ) freut sich auf Ihre Fragen zur Hausenergieversorgung.

Vier Unternehmen der Gaswirtschaft haben im Herbst 2001 die „Initiative Brennstoffzelle (IBZ)“ gegründet. Sie wollen eine gemeinsame Strategie entwickeln, die Zukunftstechnologie Brennstoffzelle am Markt durchzusetzen. Ansprechpartner der Initiative:

gti.publik
Agentur für Kommunikation
Kirchfeldstraße 16
45219 Essen
Tel.: 0 20 54/95 62-0
Internet: www.gti-publik.de

Im Fokus der IBZ steht vor allem der Einsatz der Brennstoffzelle in der Haustechnik. Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie größere Komplexe wie Schulen und Krankenhäuser mit Wärme und Strom zu versorgen – allein auf der Basis von Wasserstoff oder Erdgas –, ist das Ziel der Partnerunternehmen. Darüber informiert die Initiative umfassend auf ihrer Website im Internet:

www.initiative-brennstoffzelle.de



DIE GANZE BRENNSTOFFZELLEN-WELT auf einen Klick: die Website der IBZ.

Aber auch die vielfältigen anderen Einsatzmöglichkeiten der neuen Technologie kommen nicht zu kurz: als Antrieb für Autos, Busse und Schiffe oder als Batterieersatz für Laptops. Die neuesten Meldungen aus den Labors der Unter-

nehmen und Forschungsinstitute ergänzen das Angebot und sorgen auf der Website für Aktualität.

Innerhalb der IBZ haben sich die vier Partnerunternehmen die anstehenden Aufgaben geteilt: Verantwortlich für über 300 Brennstoffzellen-Anlagen im Feldtest ist die

EWE AG
Tirpitzstraße 39
26122 Oldenburg
Tel.: 04 41/8 03-0
Internet: www.ewe.de

Contracting-Modelle sind unbedingte Voraussetzung für die Einführung der Brennstoffzelle. Entwicklungsarbeit leistet hier die

MVV Energie AG
Luisenring 49
68159 Mannheim
Tel.: 06 21/2 90-0
Internet: www.mvv.de

Erdgas wird bei der Einführung der Brennstoffzelle eine wichtige Rolle spielen. Deswegen engagiert sich in der Entwicklungsarbeit erdgasbetriebener Brennstoffzellen-Heizgeräte die

Ruhrgas AG
Hutropstraße 60
45138 Essen
Tel.: 02 01/1 84-00
Internet: www.ruhrgas.de

Damit die Brennstoffzellen auch in die Häuser kommen, muss das Handwerk vorbereitet werden. Konzepte für die Ausbildung entwickelt die

VNG Verbundnetz Gas AG
Braunstraße 7
04347 Leipzig
Tel.: 03 41/4 43-0
Internet: www.vng.de

IMPRESSUM

Die Power-Generation
Eine junge Technologie startet durch: Hausenergie aus Brennstoffzellen
Eine Sonderausgabe von bild der wissenschaft in Zusammenarbeit mit der Initiative Brennstoffzelle

Chefredakteur:
Wolfgang Hess

Projektteam:
Thorwald Ewe (Leitung)

Medien-Service Wissenschaft:
Swantje Middeldorff,
Martin Schäfer

Textchefin:
Dr. Uta Altmann

Grafische Gestaltung:
Richard Zuern

Bildredaktion:
Ruth Rehbock

Fotoproduktion:
Klaus Mellenthin, Britt Moulien

Fachliche Beratung:
Dietrich Berthold, Ruhrgas AG
Heinz Egermann, MVV AG
Karl Hackstette, EWE AG
Volker Kadow, VNG AG
Helmut Roloff, Ruhrgas AG

Verlagsleitung:
Raimund T. Arntzen

Vertriebsmarketing:
Rüdiger Eichholz

Herstellung:
Friederike Mönning

Elektronische Bildbearbeitung:
DVA

Druck:
Oberndorfer Druckerei

Weitere Exemplare von **Die Power-Generation** können unentgeltlich angefordert werden bei:

bild der wissenschaft
Leserservice
Postfach 10 60 12
70049 Stuttgart

Handeln für den Fortschritt

Gehört der Brennstoffzelle die Zukunft? Sie haben die Chance, die entscheidende Phase einer so revolutionären wie ressourcen- und umweltschonenden Zukunftstechnik mitzuerleben. Ob Sie dabei bereits die optimale Wärme- und Stromversorgung Ihres Einfamilienhauses im Auge haben oder an größere Objekte denken: Die **Initiative Brennstoffzelle (IBZ)** zeigt Ihnen die Zukunftsoptionen. Vier starke Unternehmen und ihre engagierten Partner ebnen dem Fortschritt den Weg.

Alles über den neuesten Stand der Technik und vieles mehr erfahren Sie unter www.initiative-brennstoffzelle.de

oder über unser Pressebüro:

gti.publik

Tel. 0 20 54/95 62-0

Fax: 0 20 54/95 62-70

E-Mail: info@gti-publik.de

Wir freuen uns auf Ihr Interesse.

