Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 80 (1989)

Heft: 10

Artikel: Brennstoffzellen : Stromerzeuger mit Zukunft?

Autor: Weber, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-903675

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Brennstoffzellen – Stromerzeuger mit Zukunft?

R. Weber

Die 150 Jahre alte Brennstoffzelle ist allen anderen Stromerzeugern, die mit Verbrennung arbeiten, grundsätzlich überlegen, denn sie wandelt Brennstoffe direkt, hochwirksam und umweltverträglich in Strom um. Werkstoffprobleme haben jedoch ihre Entwicklung behindert. Im Hinblick auf die Umweltsituation und auf eine künftige Wasserstoffwirtschaft wird jetzt die Forschung wieder verstärkt. Brennstoffzellen könnten zunächst in Erdgas-Blockheizkraftwerken Verwendung finden, später auch im Auto.

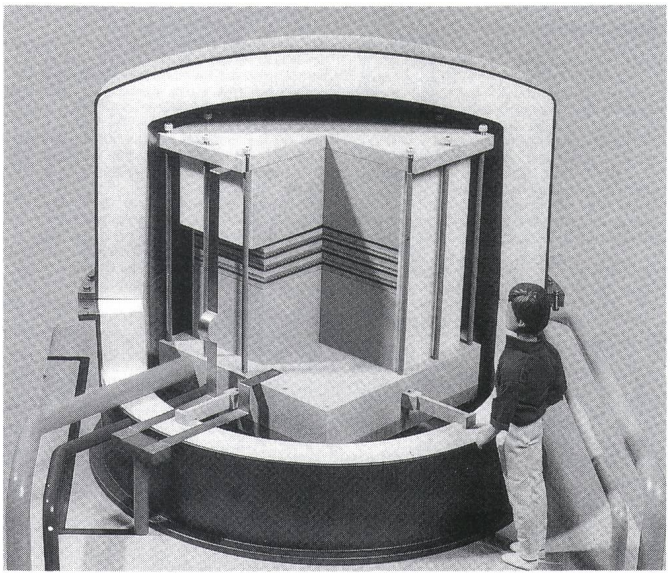
La pile à combustible transforme directement des combustibles en électricité, et ceci de manière fort efficace et en respectant l'environnement. Des problèmes de matériaux ont toutefois entravé son développement. En tenant compte de la situation écologique et en prévision d'un système énergétique futur basé sur l'hydrogène, la recherche est maintenant à nouveau intensifiée. Des piles à combustible pourraient être utilisées tout d'abord dans des installations de couplage chaleur–force fonctionnant au gaz naturel, puis – plus tard – aussi pour des voitures.

Adresse des Autors
Dr. *Rudolf Weber*, Wissenschaftsjournalist, 8225 Oberbözberg.

«Kalte» Verbrennung

Manch eine Erfindung oder Idee eilt den Möglichkeiten, sie in die Praxis umzusetzen, weit voraus. Die Technik schlägt dann oft einen Umweg ein, der leichter zu begehen ist. Ein Beispiel dafür ist die Stromerzeugung mit Brennstoffen. Schon 1839 beschrieb der Engländer William Robert Grove eine «galvanische Gasbatterie»: Sie sollte durch «kalte Verbrennung» von Wasserstoff mit Sauerstoff elektrischen Strom liefern, und zwar theoretisch mit nahezu 100 Prozent Wirkungsgrad. Erst 1866 entdeckte Werner von Siemens das dynamo-elektrische Prinzip, auf dem die Generatoren von Wasser- und Wärmekraftwerken beruhen. Und die Dampfturbine, welche den Generator im Wärmekraftwerk antreibt, wurde gar erst um die Jahrhundertwende erfunden. Damals kamen Wärmekraftwerke, worin durch Verbrennen von Brennstoffen Dampf erzeugt wird, auf 20 Prozent Wirkungsgrad, heute erreichen sie – im kombinierten Gas- und Dampfturbinenkraftwerk – bestenfalls um die 50 Prozent. Warum setzten sie sich durch und nicht die vom Prinzip her weit überlegene Brennstoffzelle?

Die Antwort hat mit den Werkstoffen zu tun. Eine Dampfturbine und einen Generator herzustellen, ist Maschinenbau, im wesentlichen also Bearbeitung von Stahl und Kupfer. Eine Brennstoffzelle hingegen gehört in das Gebiet der Elektrochemie, deren Reaktionen sich im Molekül- und Atommassstab abspielen. Chemisch gesehen, ist Verbrennung eine Reaktion von Brennstoffen, also wasserstoff- und kohlenstoffhaltigen Materialien, mit Sauerstoff. Wird die Zündtemperatur des Brennstoffs erreicht, setzt diese Oxidation (weil Sauerstoff in der Chemie Oxygenium genannt wird) unter Flammenbildung und Hitzeentwicklung ein. Dabei gehen Brennstoff- und Sauerstoffatome eine neue Verbindung ein. Beispielsweise verbinden sich zwei Wasserstoffatome mit einem Sauerstoffatom zu einem Wassermole-



Figur 1
Stapel mit ungefähr 250 übereinandergeschichteten Salzschmelzen-Brennstoffzellen und 500 Kilowatt elektrischer Gesamtleistung – wie in diesem Modell – sollen Mitte der 90er Jahre marktreif sein als modulare Bauelemente dezentraler Brennstoffzellen-Kraftwerke.
(Illustration ESTS Hoogovens)

Brennstoffzellen: noch viel Entwicklungsarbeit zu leisten

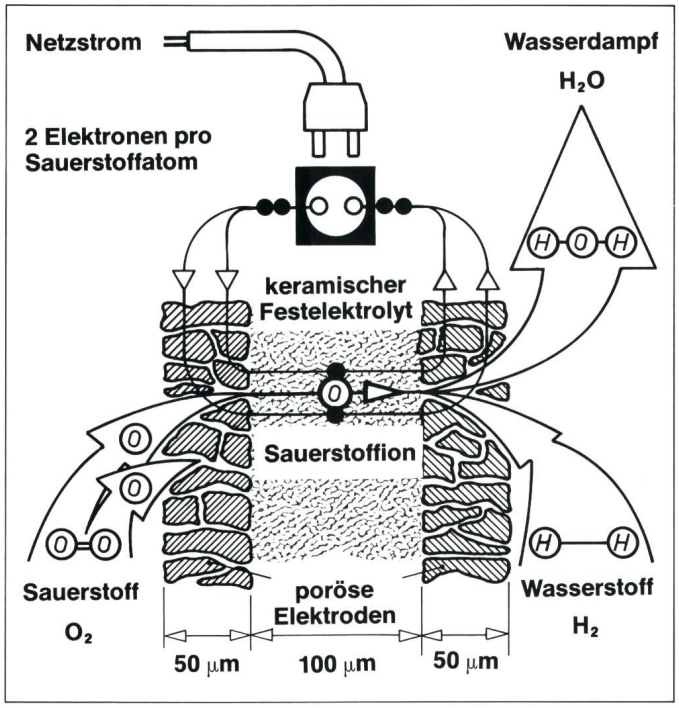
Niedertemperatur- (alkalische und Festpolymer-) sowie Mitteltemperatur-(saure) Brennstoffzellen stellen im Prinzip eine etablierte Technik dar, die jedoch noch wesentlich verbesserungsfähig ist; sie werden bereits in kleinem Massstab von einigen wenigen Herstellern gefertigt und angeboten. Demgegenüber ist bei den Hochtemperaturzellen (Karbonatschmelze- und Oxidkeramikzellen) noch mit einigen Jahren Entwicklungszeit zu rechnen, bis sie einsatzreif sind. Dies sind einige der Erkenntnisse, die an einem internationalen Brennstoffzellenseminar am 24./25. April in Stuttgart vermittelt wurden. Organisiert wurde diese Veranstaltung vom Zentrum für Wasserstoff-Forschung und der Deutschen Forschungsanstalt für Luft und Raumfahrt.

Dass noch viel Entwicklungsarbeit geleistet werden muss, zeigt nicht zuletzt die Tatsache, dass ein Grossteil der Referate vor allem Werkstoff- und Verfahrensfragen gewidmet war, Anwendungsaspekte wurden eher am Rande angesprochen. Allerdings deutet sowohl die rege Beteiligung von über 150 Teilnehmern aus verschiedenen Ländern als auch das Engagement der am Seminar vertretenen namhaften Firmen (Siemens, Varta, AEG, Dornier, Lurgi und neuerdings auch MBB) und Forschungsinstitute auf ein beträchtliches Interesse in Fachkreisen hin.

In bezug auf mögliche Anwendungen zeichnete sich die Auffassung ab, dass Niedertemperaturzellen mit einem hohen Wirkungsgrad von 60 bis 70 Prozent vor allem für mobile Einsätze in Frage kommen; Mitteltemperaturzellen weisen einen elektrischen Wirkungsgrad von etwa 40 Prozent auf, weitere 40% der eingesetzten Energie können jedoch als Wärme auf einem gut nutzbaren Temperaturniveau gewonnen werden, so dass sich diese Zellen vor allem für Blockheizkraftwerke eignen dürften. Bei den Hochtemperaturzellen wird ein Wirkungsgrad von etwa 50 bis 60% erwartet; sie dürften vor allem für den Einsatz in Grossanlagen (Kraftwerken) in Frage kommen, und zwar vorzugsweise in Verbindung mit nachgeschalteten GuD-(Gas- und Dampf)-Kombikraftwerken, die die in den Restgasen dieser Brennstoffzellen noch enthaltene chemische und thermische Energie optimal auszunützen gestatten.

Einer der ersten zivilen Anwender einer grösseren Brennstoffzellenanlage dürfte die Ruhrgas AG werden. Dieses grösste deutsche Gasversorgungsunternehmen ist speziell an phosphorsauren Brennstoffzellen interessiert, weil diese Technik im Bereich der Blockheizkraftwerke Eingang finden könnte, mit dem die Gasversorgung sehr stark verbunden ist. In diesem Sinne gab ein Vertreter der Ruhrgas AG bekannt, dass sein Unternehmen eine 200-kW_{el}-Brennstoffzellenanlage bestellt habe, mit der umfangreiche Tests und Messungen durchgeführt werden sollen, bevor sie bei einem Stadtwerk im praktischen Betrieb eingesetzt wird. Die Lieferung der Anlage (Preis komplett inkl. Reformer, Brennstoffzellen, Inverter und Kühlturm: 500 000 $) ist für Ende 1991 vorgesehen.

Red.



Figur 2
In Festoxid-Brennstoffzellen ist der keramische Festelektrolyt, Zirkonoxid, nur etwa 100 Tausendstelmillimeter (µm) stark. Er leitet Sauerstoff-Ionen, die an der linken porösen Elektrode je zwei Elektronen aus dem äusseren Stromkreis aufgenommen haben, zur rechten Elektrode. Dort geben sie die Elektronen wieder ab und verbinden sich mit je zwei Wasserstoffatomen zu einem Wassermolekül. Produkte dieser Reaktionen sind (Netz-)Strom, Wasser(dampf) und Wärme.
(Graphik Solentec)

kül, indem jedes Wasserstoffatom sein (einziges) Elektron an das Sauerstoffatom abgibt und mit ihm eine gemeinsame Elektronenschale bildet. Dieser Vorgang spielt sich vorwiegend in den Gasen ab, in welche der Brennstoff zerfällt und die sich mit dem Sauerstoff der Luft zu neuen Molekülen vereinigen.

Neben der normalen, heissen Verbrennung gibt es auch eine «kalte», nämlich die Oxidation des Brennstoffs in der Brennstoffzelle. Diese ist aufgebaut wie eine einfache Batterie: Zwei Elektroden begrenzen einen Elektrolyten, ein Material, das Brennstoff und Sauerstoff voneinander trennt, aber für bestimmte Ionen (d.h. elektrisch geladene Atome) durchlässig ist. Moderne keramische Elektrolyte z.B. leiten Sauerstoff-Ionen. Gelangt ein Sauerstoffmolekül (Sauerstoff bildet immer ein Molekül von zwei Atomen) durch die erste Elektrode zum Elektrolyt, so spaltet es sich in zwei Atome, deren jedes zwei Elektronen aufnimmt. Die nunmehr ionisierten Sauerstoffatome wandern durch den Elektrolyt zur zweiten Elektrode, wo sie die vier aufgenommenen Elektronen wieder abgeben und sich mit einem Brennstoffmolekül vereinigen. Die vier Elektronen sind durch einen elektrischen Leiter von der ersten zur zweiten Elektrode geflossen und haben so den Stromkreis geschlossen. Produkte der Reaktionen sind also elektrischer Strom, oxidierter Brennstoff und etwas Wärme (so wenig im Vergleich zur normalen Verbrennung, dass man eben von «kalter» Verbrennung spricht).

Auf die Poren kommt es an

Es liegt auf der Hand, dass die Elektroden von besonderer Beschaffenheit sein müssen, haben sie doch eine Mehrfachaufgabe zu erfüllen. Sie müssen zum ersten die Elektronen weiterleiten, die vom Sauerstoff zunächst aufgenommen und dann wieder abgegeben werden. Sie müssen zum zweiten die eben entstandenen Ionen an den Elektrolyt weitergeben. Drittens dürfen sich dabei die neutralen Moleküle und die Ionen nicht in die Quere kommen. Und viertens sollen möglichst viele solcher Einzelvorgänge gleichzeitig stattfinden, damit die Stromstärke möglichst hoch wird. All das lässt sich nur mit porösen Elektroden unter einen Hut bringen, mit offenen Poren von etwa einem Tausendstelmillimeter Durchmesser.

Die Schwierigkeit, derart feine und gleichmässige Poren in leitendem Material zu erzeugen, hat die Entwicklung der Brennstoffzelle seit ihrer ersten Beschreibung 1839 ebenso stark behindert wie die Korrosionsprobleme. So dauerte es denn trotz vielen Versuchen vor allem in England, Deutschland und den USA bis in die 50er-Jahre unseres Jahrhunderts, ehe die erste brauchbare Brennstoffzelle entstand. Sie fand in amerikanischen Raumkapseln Verwendung, wo Freisein von Abgasen sowie hoher Wirkungsgrad bei geringem Gewicht zählen. In der Folge machten auch Militärs von der Brennstoffzelle Gebrauch, etwa in Unterseebooten, wo sie den Vorteil absoluter Geräuschfreiheit bietet. Übrigens arbeiten diese Zellen in der Regel nicht mit reinem Wasserstoff als Brennstoff, sondern mit flüssigen Wasserstoff-Verbindungen wie Hydrazin, aus denen unmittelbar vor der Elektrode der Wasserstoff auf chemischem Wege abgetrennt wird.

Fünf Hauptvarianten

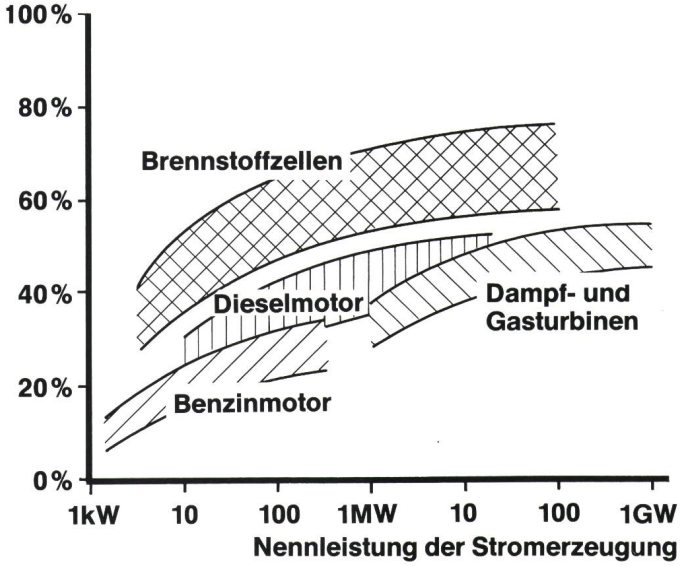
Seit den 50er Jahren haben einige Laboratorien – insbesondere in den USA und Japan, aber auch in Deutschland, der UdSSR und den Niederlanden – die Entwicklung von Brennstoffzellen weiter vorangetrieben, wenn auch mit bescheidenem Aufwand und eher im stillen. Ein vorrangiges Ziel war die Senkung der Herstellungskosten, ein anderes die Verwendung von Erdgas, das zur Hauptsache aus dem Kohlenwasserstoff Methan besteht. Ende der 80er-Jahre hat jedoch die Publizität, die einer künftigen Wasserstoffwirtschaft zuteil wird, ein breiteres Interesse an der Brennstoffzelle geweckt, obschon sie auch mit anderen Brennstoffen als Wasserstoff betrieben werden kann – die Forschungsanstrengungen werden jedenfalls wieder verstärkt.

Beim heutigen Entwicklungsstand unterscheidet man nach dem Elektrolyt fünf Hauptvarianten der Brennstoffzelle, die allesamt heute schon Wirkungsgrade um oder sogar über 50 Prozent erreichen:

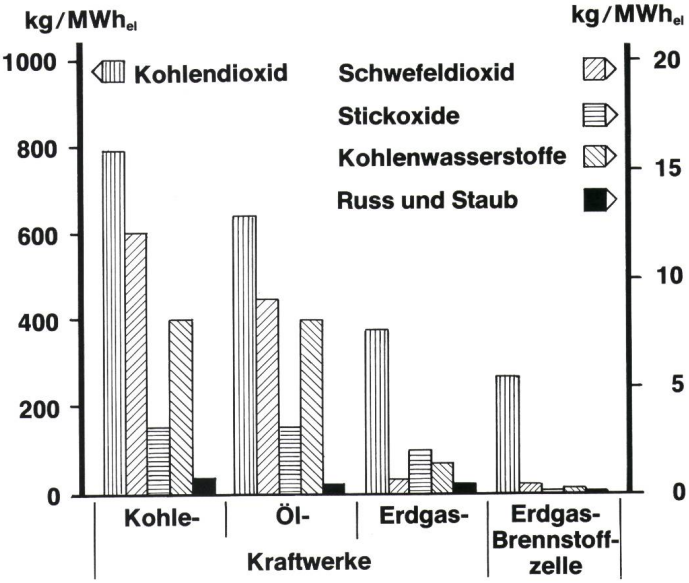
- In der *alkalischen Brennstoffzelle* ist, wie der Name besagt, der Elektrolyt eine Lauge, z.B. Kalilauge. Die Betriebstemperatur liegt zwischen 70 und 90 °C. Als Elektrodenmaterial wird Graphit oder Platin verwendet.
- Als Elektrolyt in der bei ähnlichen Temperaturen arbeitenden *Festpoly-*

Brennstoffzellenforschung in der Schweiz

Brennstoffzellen, die Erdgas als Brennstoff verwenden, sind in zahlreichen Ländern Gegenstand zunehmender Forschungsaktivitäten, u.a. in den USA, Kanada, Japan, Norwegen und in der EG. Auch in der Schweiz hat das Bundesamt für Energiewirtschaft beschlossen, ein Forschungsprogramm über «Fortgeschrittene Wärme-Kraft-Kopplung» zu lancieren, bei dem es um die Entwicklung von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen mit keramischen Brennstoffzellen geht, die auf Basis Erdgas arbeiten. Das Programm, das in Kürze anlaufen soll, zielt einerseits auf die Entwicklung eines flachen Keramikelementes, wobei man sich auf die langjährigen Erfahrungen von Battelle-Genf abstützen will, und anderseits auf die Untersuchung des Gesamtsystems inkl. Peripherie-Einrichtungen, wozu ein Konsortium aus interessierten Organisationen und Firmen gegründet werden soll. Verhandlungen sind im Gang, eine komplette 20-kW-Brennstofzelle zu beschaffen, die als Pilotanlage im Gaslabor in Schwerzenbach aufgestellt werden soll. *Red.*



Figur 3
Hinsichtlich Wirkungsgrad der Umsetzung von Brennstoffenergie in elektrische Energie sind Brennstoffzellen allen anderen Stromerzeugungsanlagen (mit Ausnahme von Wasserkraftwerken) weit überlegen – sie erreichen 65 und mehr Prozent.
(Graphik Solentec)



Figur 4
Im Vergleich nicht nur zu Kohle- und Ölkraftwerken, sondern auch zu Erdgaskraftwerken produzieren Brennstoffzellen weitaus weniger Emissionen.
(Graphik Solentec)

Solare Gewinnung von Wasserstoff

Für den Betrieb von Brennstoffzellen ist Wasserstoff ein idealer Brennstoff. Als Primärenergiequelle für die grosstechnische Bereitstellung von Wasserstoff steht heute vorläufig vor allem Erdgas im Vordergrund, aus dem H_2 entweder durch Reforming oder thermisches Cracken gewonnen werden kann. Langfristig wird aber auch an die Nutzung anderer Primärenergieträger gedacht, so z.B. an die Kohlevergasung oder – als nichtfossile Variante, die auch keine CO_2-Emissionen aufweist – an die Nutzung der Sonnenenergie (solare Stromerzeugung in Verbindung mit Wasserelektrolyse). Verschiedene solcher Projekte werden bereits bearbeitet, wie die nachfolgende Aufstellung zeigt, die einer Broschüre «Solarer Wasserstoff – Energieträger der Zukunft» der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt und des Landesgewerbeamtes Baden-Württemberg entnommen ist.[1]

● *350-kW-Demonstrationsanlage Hysolar in Saudi-Arabien*

Eine erste photovoltaische 350-kW-Wasserstofferzeugungsanlage wird zurzeit in Saudi-Arabien aufgebaut und erprobt. Diese Anlage ist Teil einer deutsch-saudiarabischen Kooperation, bei der die solare Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff erforscht und demonstriert werden soll.

Mit nahezu 2500 kWh/m² Sonneneinstrahlung pro Jahr bietet Saudi-Arabien weltweit mit die besten Voraussetzungen für den Betrieb von Solarkraftwerken und die Erzeugung von solarem Wasserstoff. Wie Erdöl und Erdgas könnte zukünftig auch solarer Wasserstoff in Pipelines oder Flüssiggastankern nach Europa transportiert werden. Die Anlage in Riad besteht aus einem Generatorfeld mit der Sonne nachgeführten Solarzellen, die mit konzentrierter Strahlung arbeiten und einer fortschrittlichen alkalischen Elektrolyseanlage samt umfangreichen Messeinrichtungen.

Die Anlage wird Mitte 1989 ihren Betrieb aufnehmen und pro Jahr etwa 170 000 m³ Wasserstoff erzeugen.

● *Hysolar-10-kW-Versuchsanlage in Stuttgart*

Während die kontinuierliche Wasserelektrolyse, z.B. mit Strom aus Wasserkraftwerken, technisch ausgereift ist, bedarf die diskontinuierliche Elektrolyse von Wasser, z.B. mit Solarstrom von Photovoltaik- oder solarthermischen Kraftwerken, noch der Erforschung und technischen Entwicklung. Für eine optimale Wasserstoffausbeute ist vor allem die Optimierung des Systems Solargenerator/Elektrolyseur von besonderem Interesse, gerade im Hinblick auf die Möglichkeit der dezentralen solaren Wasserstofferzeugung unter mitteleuropäischen Einstrahlungsbedingungen.

Im Rahmen von Hysolar wird in Stuttgart eine 10-kW-Versuchsanlage zur solaren Wasserstoffherstellung betrieben, die im Sommer 1988 erfolgreich den Testbetrieb aufgenommen hat. Arbeitsschwerpunkte sind: die Überprüfung und Verbesserung von neuen Konzepten der Leistungsanpassung, die Untersuchung und Weiterentwicklung fortschrittlicher Elektrolyseverfahren für den intermittierenden Betrieb sowie die technische Optimierung photovoltaisch-elektrolytischer Gesamtsysteme zur solaren Wasserstoffherstellung. Der Solargenerator besteht aus 720 Einzelmodulen mit polykristallinen Siliziumzellen und ist für eine Leistungsabgabe von 10 kW bei 800 W/m² Solareinstrahlung ausgelegt. Für die Untersuchungen zur Elektrolyse werden mehrere fortschrittliche alkalische Niedertemperatur-Elektrolyseure eingesetzt. Der während der Experimente und im solaren Routinebetrieb erzeugte Wasserstoff wird in konventionelle Druckflaschen abgefüllt und in das örtliche Vertriebsnetz eines industriellen Gaslieferanten eingebracht.

● *Solar-Wasserstoff in Bayern*

In Neunburg vorm Wald (BRD) wird zurzeit eine Solar-Wasserstoff-Pilotanlage in industriellem Demonstrationsmassstab errichtet. Dabei soll die komplette Systemkette von der photovoltaischen Stromerzeugung, über Leistungsaufbereitung, Elektrolyse und Wasserstoffspeicherung bis hin zu verschiedenen energetischen Anwendungen errichtet werden.

Das langfristig angelegte Projekt soll belastbare Erkenntnisse zur weiteren Beurteilung der Chancen einer Solar-Wasserstoff-Energiewirtschaft unter den Einstrahlungsbedingungen Mitteleuropas erbringen. Die 1. Projektphase läuft bis 1991. Inbetriebnahmeschwerpunkt ist die erste Jahreshälfte 1990.

Die Auslegung im einzelnen: Photovoltaik 430 kW_p, mono- und multikristalline (künftig auch amorphe) Zellentechnologie mit vorwiegend starrer Aufständerung. Eine Membranelektrolyse mit Festelektrolyt, eine fortgeschrittene alkalische Elektrolyse; Summenleistung 210 kW_{el}. Wasserstoff-/Sauerstoff-Druckspeicherung (30 bar, 5000 bzw. 500 m³). Vier Brennstoffzellen (zwei alkalische, zwei phosphorsaure) mit 108 kW_{el} Summenleistung. Zwei katalytische Heizer (Summe 4 kW_{th}), zwei Heizkessel (Summe 40 kW_{th}). Eine Tankstelle für Flüssigwasserstoff. Die Übergangsphase in eine Wasserstoff-Energiewirtschaft wird im Erdgas-Wasserstoff-Mischbetrieb untersucht. *Red.*

[1] siehe auch Dr. Rudolf Weber: Der sauberste Brennstoff – Der Weg zur Wasserstoffwirtschaft, Olynthus Verlag, Oberbözberg, 1988

mer-Brennstoffzelle dient eine ionenleitende, hauchdünne Kunststoffmembran. Sie ist beidseits mit porösen Elektroden beschichtet, die nur etwa 40 Tausendstelmillimeter dick sind.

● Die *saure Brennstoffzelle* verwendet z.B. Phosphorsäure als Elektrolyt, die Betriebstemperatur liegt bei etwa 180 bis 200 °C.

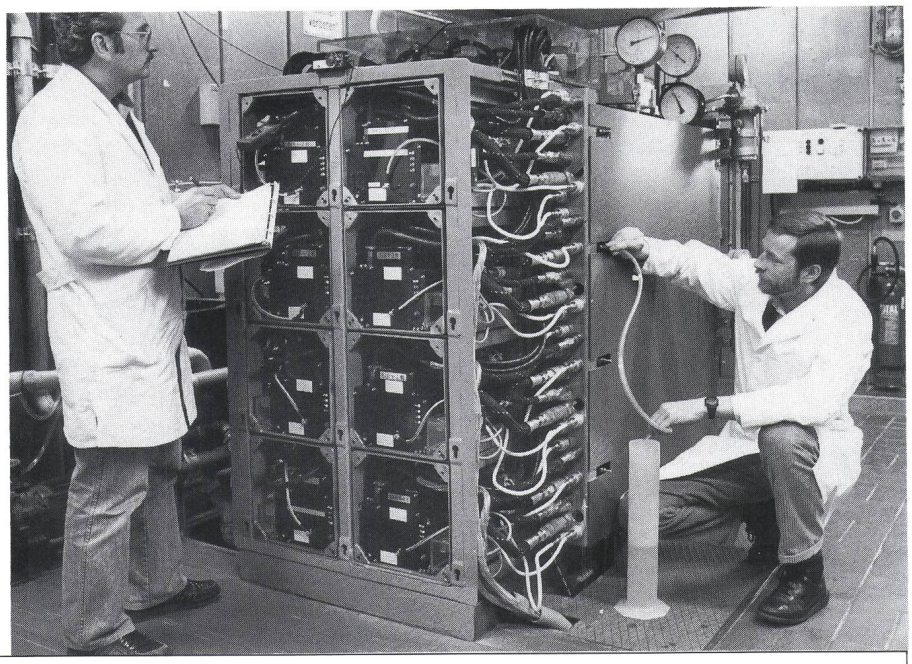
● Bei 650 °C arbeitet die *Salzschmelzen-Brennstoffzelle,* Elektrolyt ist z.B. flüssige Pottasche (Kaliumkarbonat).

● Die *Festoxid-Brennstoffzelle* hat als Elektrolyt eine feste, ionenleitende Keramik, nämlich Zirkonoxid. Sie wird bei 800 bis 1000 °C betrieben.

Zellen mit Festelektrolyt favorisiert

Nun sind zwar die drei Varianten mit flüssigem Elektrolyt am weitesten fortgeschritten und dürften innerhalb der nächsten Jahre die Serienreife erreichen. Der Konstruktionsaufwand ist jedoch beträchtlich. Einmal muss das Reaktionsprodukt Wasser laufend abgeführt werden, weil es sonst den Elektrolyt unzulässig verdünnt. Sodann gilt es Vorsorge gegen Korrosion durch den heissen, aggressiven Elektrolyt zu treffen. Und schliesslich sind die Dichtungsprobleme nach wie vor nicht überzeugend gelöst. Da sie in diesen drei entscheidenden Punkten die geringsten Schwierigkeiten bieten, sollte die Zukunft eigentlich den beiden Zellen mit festem Elektrolyt gehören, also der Festoxid- und der Festpolymer-Brennstoffzelle.

Allerdings bleiben auch bei ihnen noch die gemeinsamen Probleme aller Varianten von Brennstoffzellen in wirklich befriedigender Weise zu lösen. Dazu zählen die stetige Zufuhr der Reaktionsstoffe und das Abführen der Reaktionsprodukte sowie der Abwärme, ferner die Herstellung der Elektrodenoberflächen mit den bestgeeigneten Poren. Vor allem aber ist es unum-



Figur 5 Nach über 20jähriger Entwicklungsarbeit baute die Siemens AG in Erlangen im Frühjahr 1988 diese mit 50 Kilowatt – bis dahin – leistungsstärkste alkalische Brennstoffzellen-Batterie der Welt. In ihr sind 480 Zellen zusammengeschaltet. Die Zellen verbrennen reinen Wasserstoff, der «Abfall» besteht im wesentlichen aus 0,5 l chemisch reinem Wasser je abgegebener Kilowattstunde. Infolge der hohen Herstellungskosten kommt sie nur für Spezialanwendungen in Betracht, z.B. in der Raumfahrt. (Photo Siemens AG)

Elektrotransporter mit Brennstoffzellen im Test

Anlässlich des Brennstoffzellen-Seminars am 25. April 1989 in Stuttgart stellte das Kernforschungszentrum Karlsruhe einen Elektrotransporter vor, der mit Wasserstoff-Brennstoffzellen betrieben wird. Dieses Fahrzeug wurde gebaut, um das Konzept eines Fahrzeugantriebs unter Verwendung von Wasserstoff als Energieträger zu erproben.

Das Wasserstoff-Auto des Kernforschungszentrums wurde auf der Basis eines VW-Transporters mit Elektroantrieb und Energiespeicherung mit Bleibatterie entwickelt. Das Fahrzeug konnte von VW mit einem Elektromotor und den für den Fahrbetrieb notwendigen Steuereinrichtungen bezogen werden. Die Bleibatterie wurde ausgebaut. Anschliessend wurden die zum Betrieb der Brennstoffzellen notwendigen Versorgungs- und Steuerungseinrichtungen entwickelt und gebaut. Schliesslich wurden die Gasspeicher und die Versorgungs- und Steuerungseinrichtungen auf dem Fahrzeug montiert. Die Sicherheitsvorrichtungen wurden entsprechend den Auflagen des Technischen Überwachungsvereins Baden, Mannheim, ausgeführt. Im Spätjahr 1988 wurde die Zulassung zum öffentlichen Strassenverkehr nach einer umfangreichen Überprüfung durch den TÜV erteilt.

Das Fahrzeug wird zurzeit im praktischen Betrieb auf der Strasse erprobt. Dabei soll insbesondere festgestellt werden, ob sich die Brennstoffzellen für den Fahrzeugbetrieb eignen, wie die Handhabung der zurzeit noch umfangreichen Überwachungs- und Steuerungseinrichtungen ist und welche Fahrleistungen – Geschwindigkeit, Beschleunigung, Steigvermögen, Aktionsradius – erzielt werden. Dabei wird auch festgestellt werden können, wie die Zuverlässigkeit der Aggregate und Komponenten ist, und es wird erwartet, dass sich Hinweise für eine Weiterentwicklung des Fahrzeugkonzeptes ergeben.

Alle Einrichtungen des Fahrzeuges zum Betrieb der Brennstoffzellen (Gasversorgung, elektrische Einrichtungen, Steuerungen, Wasserkreislauf und Kühlung, mechanische Aufbauten, sicherheitstechnische Einrichtungen) sowie die Umänderungen am Fahrzeug wurden vom Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik des Kernforschungszentrums Karlsruhe mit Unterstützung durch andere Abteilungen des KfK entworfen, entwickelt und realisiert.

Technische Daten

VW-Transporter, Baujahr 1981

Leergewicht: 2275 kg

Zul. Gesamtgewicht: 3075 kg

Fahrzeugantrieb: Elektromotor über Ausgleichsgetriebe auf die Hinterachse

Motorleistung: 23 kW bei 2200 U/min (Kurzbetrieb), 18 kW (Dauerbetrieb)

Antriebsspannung: 144 V

Leistungssteuerung: Gleichstromsteller

Bremsen: mechanisch, sowie zusätzlich elektrisch bei mehr als 35 km/h mit Rückspeisung eines Teils der Energie in die Pufferbatterie

Höchstgeschwindigkeit: 70 km/h

Steigvermögen: 10%

Gasvorrat Wasserstoff: 20 Ncbm in konventionellen Druckgasflaschen

Sauerstoff: 10 Ncbm in konventionellen Druckgasflaschen

Reichweite: etwa 130 km (ebene Fahrstrecke)

Brennstoffzellen: 3 Aggregate, Fabrikat Siemens, davon 2 Aggregate mit 7,6 kW und 70 V Leerlaufspannung. 1 Aggregat mit 3,8 kW und 35 V Leerlaufspannung. Gesamtnennleistung 19 kW. Gesamtnennspannung 175 V. Wirkungsgrad 50 bis 60% bei 10 bis 100% Nennlast

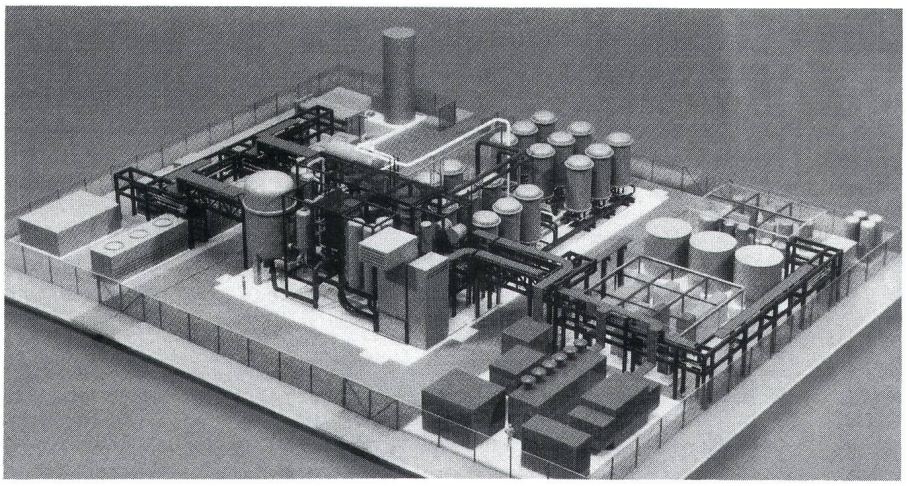
Brennstoffzellentechnik: Alkalische Brennstoffzellen (Kalilauge). Umgepumpter Elektrolyt. 70 bzw. 35 Zellen pro Aggregat. Wasserstoffelektrode Raney-Nickel. Sauerstoffelektrode Raney-Silber. Jedes Aggregat enthält Versorgungs-, Regel- und Sicherheitseinrichtungen für die internen Kreisläufe sowie einen Spaltverdampfer zur Destillation der Lauge

Pufferbatterie: Bleibatterie 144 V, 60 Ah (Starterbatterien). Ausgleich der Stromspitzen. Nachladung durch die Brennstoffzellen. Aufnahme eines Teils der Bremsenergie. Start der Hilfsaggregate für die Brennstoffzellen

Kühlwasserkreislauf: Abfuhr der nicht in elektrische Energie umgewandelten Energie. Kühlwasserpumpe, Wasservorratsbehälter, 4 Luftkühler mit Gebläsen

Wassersammelbehälter: etwa 5 l für Verbrennungswasser

Red.



Figur 6 Eine amerikanische Firma bietet bereits schlüsselfertige, unbeaufsichtigt zu betreibende Brennstoffzellen-Kleinkraftwerke von 11 Megawatt Leistung an. Die Zellen verbrennen aus Erdgas gewonnen Wasserstoff, arbeiten mit dem «sauren» Elektrolyt Phosphorsäure und sind japanischer Herkunft. Die Anlage ist luftgekühlt, doch kann die Abwärme der Zellen auch für Heizzwecke genutzt werden. (Bild IFCC)

gänglich, die Herstellungskosten auf 2000 bis 3000 DM je Kilowatt Leistung (wie bei herkömmlichen Kraftwerken) zu senken. Am ehesten dürfte das bei der Festoxid-Zelle zu erreichen sein, falls es gelingt, die keramischen Bauteile in grossen Stückzahlen zu fertigen.

In der heute üblichen Bauweise hat eine Einzelzelle die Form einer Scheibe von etwa einem Zentimeter Dicke und bis zu einem Meter Durchmesser. Eine solche Zelle liefert rund ein Volt Spannung und leistet je nach Fläche einige 100 Watt. Für den praktischen Einsatz werden mehrere hundert Einzelzellen zu einem Stapel bzw. Modul verbunden, der - aus der Addition aller Zellen - eine praxisgerechte Spannung sowie Leistungen bis zu einem Megawatt bietet. Für die meisten Anwendungen muss der Gleichstrom, den die Zellen erzeugen, erst zu Wechselstrom umgeformt werden.

Erst Erdgas, dann Wasserstoff

Bei der Überlegung, wozu Brennstoffzellen eingesetzt werden könnten, muss man unterscheiden, ob als Brennstoff Erdgas oder Wasserstoff dienen soll. So kann es durchaus sinnvoll sein, mit fossilen Brennstoffen betriebene Kraftwerke bzw. deren turbinengetriebene Generatoren durch Erdgas-Brennstoffzellen zu ersetzen, weil diese ja einen viel höheren Wirkungsgrad haben und ungleich weniger Abgase produzieren. Allerdings erscheinen sie aufgrund ihres modularen Aufbaus in erster Linie für kleinere, dezentrale Anlagen geeignet, und da wiederum für Blockheizkraftwerke. Hier könnte man die Abwärme nutzen, die auch Brennstoffzellen abgeben. Bis zu 65 Prozent der ihnen zugeführten Energie werden jedoch in Strom umgewandelt. Das ist wesentlich mehr als bei fossil befeuerten Anlagen, zugleich arbeiten Brennstoffzellen ungleich sauberer als Gasmotoren und sind, was in Wohngebieten zählt, praktisch lautlos.

Bei Betrieb mit Wasserstoff ist zu bedenken, dass der Wasserstoff erst einmal gewonnen werden muss. In einer künftigen Wasserstoffwirtschaft soll das mit Solarstrom per Elektrolyse von Wasser geschehen, wobei der gewonnene Wasserstoff über grosse Entfernungen zu den Energieverbrauchszentren transportiert würde. Müsste dieser Wasserstoff hier wiederum zur Stromerzeugung dienen, so wäre das mit Brennstoffzellen sinnvoller als mit weniger wirksamen Wärmekraftwerken. Brennstoffzellen könnten auch ein breites Einsatzgebiet in der Antriebstechnik finden. Ein Verbrennungsmotor im Wasserstoffauto z.B. hat allenfalls 25 Prozent Wirkungsgrad. Würde man mit dem Wasserstoff per Brennstoffzelle an Bord Strom erzeugen und damit einen Elektromotor speisen, käme man auf 50 und mehr Prozent - mit dem gleichen Wasserstoffvorrat würde also die Reichweite des Fahrzeugs verdoppelt.

So gesehen ist die Brennstoffzelle wichtiger Bestandteil sowohl eines möglichen Erdgaszeitalters als auch einer Wasserstoffwirtschaft. Doch einerseits muss noch eine Menge Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet werden, bis zuverlässige und preiswerte Zellen marktreif sind. Andererseits käme es den Gasvorräten und der Umwelt zugute, wenn schon bald Brennstoffzellen zur Verfügung stünden, die mit Erdgas betrieben werden und Erdgaskraftwerke ersetzen könnten. Beide Ziele sollten sich auf einem gemeinsamen Weg erreichen lassen: Die Entwicklung muss sich zunächst auf Erdgaszellen konzentrieren. Sind diese ausgereift, kann man sie jederzeit auf Betrieb mit Wasserstoff umstellen.