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: 83 (1992)

Heft: 4

Artikel: Pilotanlage für Wasserstoffproduktion und Brennstoffzellen

Autor: Fischer, E. / Stüssi, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902797

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: 05.12.2025

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

Pilotanlage für Wasserstoffproduktion und Brennstoffzellen

E. Fischer und R. Stüssi

Im Bemühen der schweizerischen Elektrizitätswirtschaft um eine sichere und umweltfreundliche Energieversorgung mit neuen Technologien will auch die Aare-Tessin AG (Atel) in Olten einen Beitrag leisten. Mit einer unlängst in Betrieb genommenen Pilotanlage zur Produktion von Wasserstoff sowie zur Wiederverstromung mit Hilfe von zwei neuartigen Brennstoffzellen sollen erste Erfahrungen gesammelt werden. Die Investitionen belaufen sich bis jetzt auf 3,5 Millionen Franken.

L'Aare et Tessin d'électricité S.A. (Atel), Olten, tient elle aussi à contribuer aux efforts de l'économie électrique suisse visant un approvisionnement en énergie sûr et respectant l'environnement à l'aide de nouvelles technologies. Mise depuis peu en exploitation, une installation pilote pour la production d'hydrogène et sa retransformation en électricité à l'aide de deux nouvelles piles à combustible permettra de recueillir de premières expériences. Les investissements s'élèvent jusqu'à présent à 3,5 millions de francs.

Leicht gekürzte Fassung der Referate anlässlich einer Pressekonferenz am 23. Januar 1992 in Olten.

Adressen der Autoren
E. Fischer, Atel, Aare-Tessin AG für Elektrizität, Bahnhofquai 12, 4601 Olten.
R. Stüssi, Motor Columbus Tecinvest AG, 5401 Baden.

Wasserstoffanlage: Projekt, Anlagetechnik und Versuchsprogramm

Vor rund zwei Jahren wurde der Entscheid der Atel bekanntgegeben, eine Wasserstoff-Pilotanlage in Niedergösgen zu realisieren. Das damals vorgestellte Projekt umfasste den Bau einer innovativen Produktionsanlage für die Erzeugung von 20 Normkubikmetern Wasserstoff pro Stunde und einer Druckspeicheranlage für rund 1000 Normkubikmeter Wasserstoffgas.

Die entsprechende Baubewilligung wurde der Atel am 8. Mai 1990 erteilt, und der Spatenstich folgte am 29. Juni 1990.

Entsprechend dem Innovativcharakter des Projektes und den hohen definierten Anforderungen bezüglich Umweltverträglichkeit konnte der Prototyp einer Membran-Elektrolyseanlage schweizerischen Ursprungs beschafft und im Rahmen eines Forschungsprogramms in Zusammenarbeit mit dem Paul-Scherrer-Institut modifiziert, nachgerüstet und installiert werden.

Gleichzeitig mit der Errichtung des Gebäudes (Bild 1) und der Realisierung der Phase 1 (Wasserstoffproduktion und -speicherung) wurde ein Vorprojekt für eine Phase 2 (Wasserstoffanwendung: Brennstoffzellen) ausgearbeitet. Die Investitionen für die Phase 1 sind abgeschlossen und belaufen sich auf 2,6 Mio. Franken. Phase 2 wird inklusive Betrieb des Versuchsstandes für Brennstoffzellensysteme weitere rund 1,4 Mio. Franken beanspruchen.

Der Membran-Elektrolyseur (Bild 2) wird mit gleichgerichtetem Wechselstrom und mit hochreinem, über mehrere Stufen aufbereitetem Wasser, betrieben. Produkte der Elektrolyse sind Wasserstoff H_2 und Sauerstoff O_2. Der zwangsweise anfallende Sauerstoff wird im Projekt nicht verwendet. Unter einem Überdruck von rund 1 bar und mit einer Temperatur von 80 °C fällt Wasserstoff an und wird über Kühl- und Speicherstufen zu einem vierstufigen Kompressor geführt, auf 200 bar verdichtet und anschliessend in einer aufwendigen Gasreinigungsanlage von Wasser- und Sauerstoffspuren befreit.

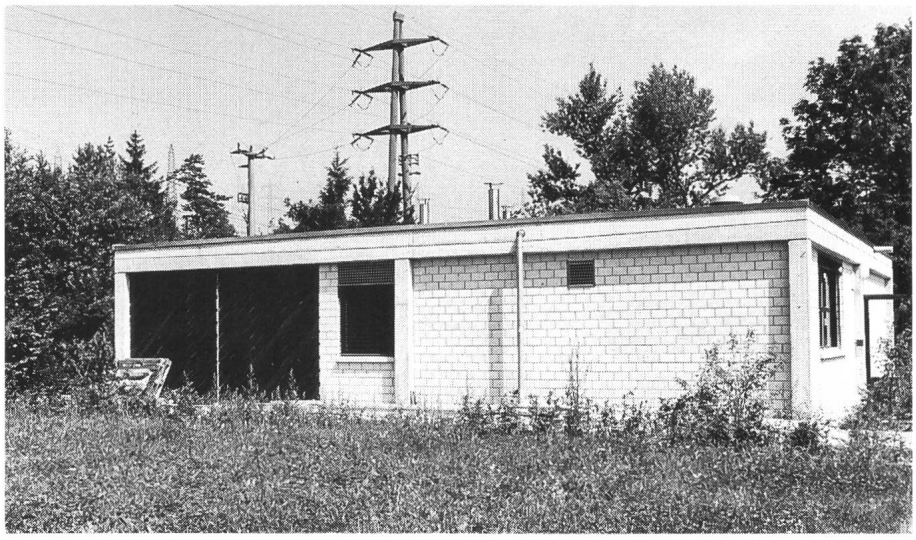


Bild 1 Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Anlage in Niedergösgen

Hauptdaten der Wasserstoff-Anlage

Elektrolyse	
Technologie	Membrantechnik
Anzahl Zellen	4 x 30 = 120
Produktion	20 Nm^3 pro Stunde
Nennspannung	210 V
Nennstrom	400 A
Wirkungsgrad	75%
Betriebsdruck	1–2 bar Überdruck
Betriebstemperatur	80°C
Speicheranlage	
Technologie	Druckwasserstoff
Speicherdruck	200 bar
Gesamt-Speicherkapazität	960 Nm^3
Volumen je Speichereinheit	120 Nm^3
Gewicht Speichereinheit leer	988 kg
Gewicht Speichereinheit gefüllt	1000 kg
Brennstoffzellen (2 Einheiten)	
Technologie	Membrantechnik
Eingangsmedien	Wasserstoff, Luft
Anzahl Zellen	35
Bruttoleistung	3 kW
Nennspannung	24 V
Nennstrom	125 A
Gewicht	150 kg
Betriebsdruck	1–2 bar Überdruck
Betriebstemperatur	70°C

Zur Speicherung des hochreinen Produktgases sind in einem separaten Raum acht handelsübliche und in Gruppen unterteilte Druckflaschenbündel zuschaltbar (Bild 3).

Vorteil der verwendeten Elektrolyseanlage ist der hohe Wirkungsgrad von rund 75%, die extrem kompakte Ausführung und die hohe Umweltverträglichkeit, die aus dem Einsatz eines Festelektrolyten in Form einer Membran resultiert.

Ein zentrales Leitsystem überwacht die gesamte Produktionsanlage, wobei wichtige Prozessgrössen und Alarme über ein Bildschirm-Visualisierungssystem angezeigt werden. Bezüglich Messdatenerfassung und -auswertung steht ein Minicomputersystem mit automatischer Abspeicherung der Messwerte zur Verfügung sowie eine grössere Anzahl konventioneller Zähler zur Erstellung von Jahresbilanzen für die einzelnen Funktionsgruppen (Elektrolyse, Wasseraufbereitung, Kompressor, Hilfsbetriebe).

Der in Speicherbatterien gelagerte Wasserstoff und eine Druckluftanlage mit verschiedenen Reinigungsstufen dienen als Ausgangsprodukte für die Wiederverstromung des Wasserstoffs über Brennstoffzellen. Entsprechende Druckregelstrecken sorgen für konstante und reproduzierbare Anspeisebedingungen des Brennstoffzellen-Prüfstandes (Bild 4). Seitens der elektrischen Belastung stehen ein netzunabhängiger Wechselrichter mit 3 kW elektrischer Leistung für Test- und Demonstrationszwecke und ein netzparalleler Wechselrichter mit 10 kW elektrischer Leistung für Dauerversuche zur Verfügung.

Von erstrangiger Bedeutung bei der Wasserstofftechnik ist die Sicherheit des Anlagebetriebes. Dabei stellt Wasserstoff im Vergleich mit anderen, häufiger verwendeten Energieträgern wie Benzin, Erdgas oder Propan keine wesentlich neuartigen Sicherheitsprobleme. Anlagetechnisch geht es vor allem darum, bei allfälligen Leckagen eine Aufkonzentration von Wasserstoff in geschlossenen Räumen zu verhindern. Dies erfolgt in erster Linie durch künstliche Belüftung des Produktionsraumes und durch natürliche Belüftung des Lagerraumes, entsprechend der Einteilung des Gebäudes in Explosionsschutzzonen. Zusätzlich verfügen die Räumlichkeiten über eine Brandmeldeanlage, ein Wasserstoff-Detektionssystem und weitere Sicherheitseinrichtungen.

Neben dem Betrieb der Produktionsanlage für qualitativ hochwertigen, reinen Wasserstoff, der als Erfahrungsbasis für den Umgang mit diesem Sekundärenergieträger dient, werden begleitend im Rahmen eines technisch-wissenschaftlichen Untersuchungsprogramms verschiedene Fragen im Zusammenhang mit der Wasserstofftechnologie verfolgt.

H_2-Produktion mit Membrantechnik

Ein in Zusammenarbeit mit dem Paul-Scherrer-Institut durchgeführtes Messprogramm dient der Langzeit-

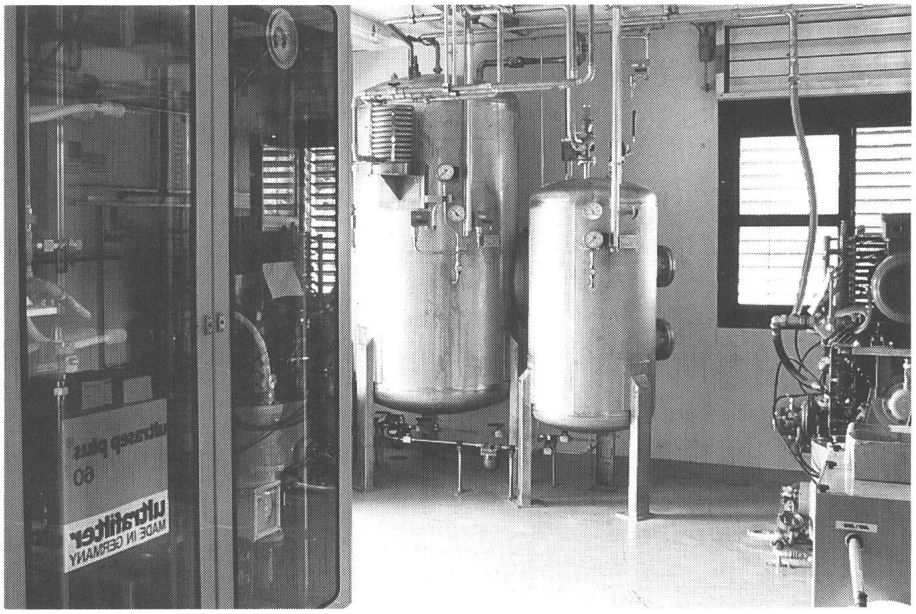


Bild 2 Produktionsteil der Wasserstoffanlage
Im Elektrolyseur (links, Leistung rund 90 kW) wird Wasserstoff aufgespalten. Der Wasserstoff wird zwischengespeichert (Mitte) und in einem Kompressor (rechts) auf das für die Speicherung notwendige Druckniveau erhöht

Bild 3 Speicherbatterien für gasförmigen Wasserstoff
(Inhalt je 120 m², entsprechend 360 kWh)

überwachung des elektrochemischen Verhaltens der Elektrolyseblöcke und -zellen und der Erhaltung des entsprechenden «Know-hows» in der Schweiz.

Nach erfolgreichem Probebetrieb sollen weiter die möglichen Laständerungsgeschwindigkeiten ermittelt werden. Im Rahmen einer Betriebsoptimierung werden sinnvolle Betriebsstrategien unter Berücksichtigung der Anlagetechnologie und der Verfügbarkeit der elektrischen Energie festgelegt.

Eine möglichst vollständige Erfassung des Energiebedarfs für Haupt- und Nebenanlagen wird mit dazu beitragen, verlässliche Fakten im Hinblick auf die Beurteilung der Einsatzmöglichkeiten zu schaffen.

Brennstoffzellen

Der erstmalige Einsatz von Wasserstoff/Luft-Membranzellen in Europa verfolgt neben der Demonstration der Machbarkeit folgende Ziele:

Im Rahmen eines Dauertests werden die Stabilität der Leistungskennwerte in Zusammenarbeit mit dem kanadischen Hersteller untersucht und Betriebserfahrungen mit der neuen Technologie und den verwendeten Komponenten gesammelt.

Ausgangspunkt für die Beurteilung der Effizienz des Gesamtsystems bilden Messungen betreffend elektrischem Eigenbedarf und Energiebedarf der Nebenanlagen. Im Hinblick auf potentielle Anwendungen wird das Gesamtsystem anwendungsspezifischen Lastzyklen unterworfen.

Systemtechnik

Ein Schwerpunkt der Abklärungen liegt bei der Untersuchung der möglichen Zykluswirkungsgrade für auf Wasserstoff basierende Speichersysteme (Elektrolyse, Speicherung, Wiederverstromung). In diesem Zusammenhang stellen sich auch mit der Netzeinspeisung (dreiphasiger Wechselrichter) für ein Elektrizitätswerk interessante Fragen.

Brennstoffzellen: Eine zukunftsgerichtete Technologie zur Elektrizitätserzeugung

Das Interesse an Brennstoffzellen hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Eine Vielzahl von Bauarten werden verfolgt. Erprobte und wirtschaftliche Systeme sind derzeit noch nicht erhältlich, dürften jedoch innerhalb der Planungshorizonte der Elektrizitätsindustrie angeboten werden. Die Atel erprobt daher eine aus ihrer Einschätzung besonders aussichtsreiche Bauart, eine Festpolymer-Brennstoffzelle, in ihrer Wasserstoffanlage.

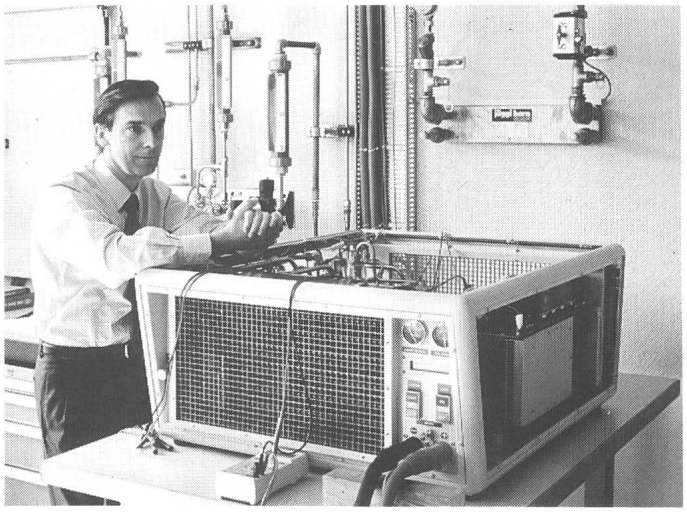
Weltweit neu erwecktes Interesse an Brennstoffzellen

Für sonnen- und windarme Gebiete wie die Schweiz sind Brennstoffzellen eine interessante Option. Elektrizitätserzeugungsanlagen auf Basis von Brennstoffzellen haben das Potential, einen bedeutenden Teil des zukünftigen zusätzlichen Kapazitätsbedarfs für Elektrizität abdecken zu können und die Effizienz von Energiesystemen wesentlich zu verbessern.

Brennstoffzellen sind der effizienteste und umweltfreundlichste Weg, um fossile Energie in Elektrizität umzuwandeln.

- Schon bei kleinen Leistungseinheiten von wenigen Kilowatt werden – unabhängig von der Bauart – Wirkungsgrade von über 40% erreicht, bei grösseren Anlagen sind über 50% möglich.
- Im Gegensatz zu Verbrennungsmotoren oder Turbinenanlagen, die im Teillastbetrieb rasch an Wirkungsgrad verlieren, steigert sich dieser bei Brennstoffzellen, was einen viel flexibleren Betrieb erlaubt.
- Auch bei Verwendung fossiler Brennstoffe liegen die Emissionen deutlich unter denjenigen moderner Verbrennungsmotoren oder Turbinenkraftwerke.

Bild 4
Prüfstand für Brennstoffzellensysteme



Brennstoffzellen eignen sich somit hervorragend für den dezentralen Einsatz in lokalen netzentlastenden Kleinkraftwerken und beim Wärmeverbraucher als Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen. Vom energetischen und ökologischen Standpunkt aus dürfte es sinnvoll sein, Heizungsanlagen durch Brennstoffzellen zu ersetzen.

Brennstoffzellen sind vom Prinzip her seit 150 Jahren bekannt. Eine funktionstüchtige Einheit wurde 1853 von Francis T. Bacon demonstriert. Brennstoffzellen wurden bisher aufgrund ihrer hohen Kosten vorwiegend in der Raumfahrt eingesetzt. Die höheren Ansprüche an die Umweltverträglichkeit von Energiesystemen haben das weltweite Interesse wiedererweckt und Pläne zu deren kommerziellen Weiterentwicklung beschleunigt:

- Japans Ziele sind sehr ambitiös. Pläne des MITI streben an, bis ins Jahr 2000 Brennstoffzellenanlagen mit 2250 MW Leistung zu installieren.
- Auch in den USA ist man von der Zukunft von Brennstoffzellen überzeugt: Das amerikanische Energieministerium und Westinghouse Electric Corp. vereinbarten ein mit US$ 140 Mio. veranschlagtes Programm zur Beschleunigung der kommerziellen Lieferbarkeit von Brennstoffzellen-Systemen.

Oberer Heizwert oder Brennwert:
Bei der Verbrennung freiwerdende Wärmemenge, wenn das entstandene Verbrennungswasser kondensiert ist

12 770	kJ/m³
141 890	kJ/kg
3,55	kWh/m³
39,4 1	kWh/kg

Heizwert oder unterer Heizwert:
Verbrennungswärme, wenn das Verbrennungswasser dampfförmig ist (Brennwert abzüglich Kondensationswärme)

10 800	kJ/m³
120 000	kJ/kg
3,00	kWg/m³
33,33	kWh/kg

Dichte gasförmig: 0,09 kg/m³
Dichte flüssig (bei –252 °C): 70,9 kg/m³

Alle Angaben für den Normzustand: Temperatur 273,15 K; Druck 1,013 bar

Umrechnungsfaktoren:
1 kJ = 1 Kilojoule = 0,0003 kWh
1 kWh = 1 Kilowattstunde = 3600 kJ

Energetische Daten von Wasserstoff

- Traditionell wurden in Europa bedeutende Anstrengungen in verschiedensten Gebieten der Brennstoffzellen-Entwicklung unternommen. Ein mit Japan und Nordamerika vergleichbarer Aufschwung ist jedoch nicht erkennbar.

Insbesondere aufgrund der japanischen Initiative dürfen Elektrizitätsunternehmen annehmen, dass im Zeithorizont von 10 bis 15 Jahren wirtschaftliche und betriebssichere Systeme angeboten werden.

Die Wahl der Brennstoffzellen-Bauart hängt von dem Einsatzzweck ab. Bei Atel wird eine Festpolymer-Brennstoffzelle erprobt.

Weltweit werden eine Vielzahl von Brennstoffzellen-Bauarten in Kombination mit Erdgas, Kohlegas und Methanol verfolgt.

- Am weitesten entwickelt sind mit Erdgas betriebene phosphorsaure Brennstoffzellen, die mit flüssigen Elektrolyten bei etwa 270 °C arbeiten. Mit solchen Anlagen lassen sich erste Erfahrungen sammeln und die einzelnen Komponenten des Gesamtsystems erproben.
- Langfristig dürften sich jedoch die Festoxid- und die Festpolymer-Brennstoffzellen durchsetzen, die ohne heisse, aggressive flüssige Elektrolyten arbeiten und die damit verbundenen Korrosions- und Dichtungsprobleme vermeiden.
  - Die Festoxid-Brennstoffzelle arbeitet mit Temperaturen von 800 bis 1000 °C, bei ihr sind noch bedeutende materialtechnische Probleme zu lösen. Kommerziell einsetzbare Systeme sind noch mindestens 10 Jahre, wahrscheinlich eher 15 Jahre entfernt. Sie dürften vorwiegend als grössere Kraftwerke realisiert werden, da für hohe Wirkungsgrade die Abwärme mit Turbinen genutzt werden muss.
  - Weniger fundamentale Entwicklungsprobleme bereiten die Festpolymer-Brennstoffzellen, da sie bei 70 bis 80 °C arbeiten. Allerdings galten sie in der Herstellung als zu teuer. Gerade in diesem Bereich sind in letzter Zeit jedoch bedeutende Forschritte erkennbar geworden. Wirtschaftlich einsetzbare Systeme dürften in 5–10 Jahren angeboten werden. Wegen ihres einfachen Aufbaus eignen sie sich für dezentral eingesetzte Systeme.

Weltweit gibt es sehr wenige Erfahrungen mit Festpolymer-Brennstoffzellen in netzverbundenen Anwendungen.

Vorteile der Membran-Brennstoffzellen-Technologie gegenüber anderen Brennstoffzellen-Technologien

- Geeignet auch für Kleinaggregate
  - Kostengünstige Erprobung
  - früh hohe Produktionsvolumen
  - verringertes Technologierisiko
- Keine korrosiven Elektrolyten
  - weniger Dichtigkeitsprobleme
  - kein regelmässiger Elektrolytaustausch
- Hohe elektrische Wirkungsgrade und hohe Leistungsdichte
- Günstiges Leistungsgewicht
- Kurze Start- und Anfahrzeiten
- Arbeitet bei moderaten Temperaturen

➜ Die Membran-Brennstoffzellen-Technologie ist heute die geeignetste und am leichtesten akzeptierte Brennstoffzellentechnologie für Leistungsbereiche < 100 kW.

Die Atel entschloss sich daher, in ihrer Anlage diese Bauart zu testen.

Eigenschaften der von Atel eingesetzten Brennstoffzelle

Gedanklich kann man sich Brennstoffzellen als mit Wasserstoff betriebene Batterien mit externem Tank vorstellen: Solange Wasserstoff und Sauerstoff bzw. Luft zugeführt werden, entsteht in einer elektrochemischen Reaktion Strom, Wärme und Wasser.

Bis zum Aufbau einer umfassenden Wasserstoff-Infrastruktur wird der zum Betrieb der Brennstoffzelle notwendige Wasserstoff vor Ort mit Elektrolyse aus Elektrizität oder durch Reformierung aus fossilen Brennstoffen wie Erdgas oder Methanol gewonnen werden müssen. Methanolsysteme sind vom Lieferanten der Atel-Brennstoffzelle, die Firma Ballard in Vancouver, Kanada, in etwa 1,5 Jahren verfügbar, Erdgassysteme in 4–5 Jahren.

Die Festpolymer-Brennstoffzelle eignet sich als einzige Bauart für den Automobileinsatz, was die Kommerzialisierung positiv beeinflusst. Bekannt ist, dass General Motors in einem vom amerikanischen Energieministerium unterstützten Programm eine Brennstoffzelle von Ballard in ein Elektrofahrzeug integrieren will. Ballard selbst wird Ende 1992 einen mit ihren Brennstoffzellen ausgerüsteten, mit Wasserstoff betriebenen Bus zur Erprobung abliefern.

Die von der Atel eingesetzte Brennstoffzellen-Technologie eignet sich somit besonders für dezentrale Anlagen, arbeitet bei entsprechender Ausrüstung auch mit fossilen Brennstoffen, hat wesentliche Vorteile im Kommerzialisierungsprozess und dürfte der dezentralen Energieerzeugung innerhalb weniger Jahre bedeutende neue Möglichkeiten eröffnen.

Aufbau und Funktionsweise einer Brennstoffzelle

In der Brennstoffzelle findet der Umkehrprozess der Elektrolyse von Wasser statt: Beim Zusammenführen von Wasserstoff und Sauerstoff in einem kontrollierten Prozess entsteht direkt Strom, Wärme und hochreines Wasser.

Bei der Festpolymer-Brennstoffzelle (oftmals auch als Membran-Brennstoffzelle oder Solid Polymer Fuel Cell bezeichnet, Bild 5) wird der elektrochemische Prozess durch eine speziell behandelte Membran aus einem teflonähnlichen Material kontrolliert, die den Wasserstoff und den Sauerstoff physisch trennt. Die Membran wird beidseitig mit dem Katalyt Platin beschichtet und mit porösen Kohleelektroden versehen. Diese elektrochemisch aktive Einheit wird zwischen zwei Graphitplatten geklemmt, in denen die Kanäle für die Wasserstoff- und Luftzufuhr und für die Kühlung eingelassen sind, und über die der produzierte Strom abgeleitet wird. Eine solche Konfiguration bildet eine Zelle. Die Zellen werden dann analog wie bei Batterien hintereinander gereiht und geschaltet und bilden den Brennstoffzellen-Block.

Wird nun einer der Elektroden, der Anode, Wasserstoff zugeführt, so diffundiert dieser durch die poröse Elektrode hin zur Katalytschicht. Am Katalyt spaltet sich der Wasserstoff in positive geladene Wasserstoffatome, das heisst Protonen, auf und in Elektronen. Die Membran wirkt als Elektrolyt, das heisst als ein Protonenleiter, und leitet die positiv geladenen Wasserstoffatome an die gegenüberliegende Elektrode, die Kathode. Da die Membran für Elektronen undurchlässig ist, müssen diese über einen externen Kreislauf, das heisst über eine elektrische Last (die z.B. ein Elektromotor sein kann), an die Kathode geführt werden, damit die Reaktion weiter ablaufen kann. An der Kathode verbinden sich dann Elektronen, positiv geladene Wasserstoffatome und der (in der Luft enthaltene) Sauerstoff zu Wasser.

Die meisten Brennstoffzellen-Bauarten können mit Luft als Sauerstofflieferanten arbeiten. Steht reiner Wasserstoff nicht zur Verfügung, kann dieser emissionsarm durch ein Vorschaltgerät, einen Reformer, aus fossilen Brennstoffen wie Erdgas oder Methanol produziert werden.

Ein Brennstoffzellen-System besteht aus:

- dem Brennstoff-Liefersystem (Tank oder Zuleitung),
- der Brennstoff-Aufbereitung (im Fall von Erdgas oder Methanol ein Reformer),
- der Luftaufbereitung,
- dem Brennstoffzellen-Block,
- dem Kühlsystem,
- dem Stromkonditionierungsgerät
- dem Überwachungs- und Steuerungssystem.

Die im Wasserstoff enthaltene chemische Energie wird bei der Brennstoffzelle direkt in elektrische Energie umgesetzt. Dieser elektrochemische Prozess vermeidet den «Umweg» der Umsetzung der chemischen Energie zuerst in Wärme (bei hohen Temperaturen), dann der Wärme in mechanische Energie und schliesslich der mechanischen Energie in Elektrizität, wie er bei Stromerzeugungssystemen mit Verbrennungsmotoren oder Turbinen stattfindet. Der Wirkungsgrad der Brennstoffzelle ist dadurch wesentlich höher, der Prozess ist geräuschlos und verschleissfrei (keine beweglichen Teile). Die Lebensdauer wird im wesentlichen durch die Alterung der Materialien oder Verunreinigung der Elektroden bestimmt. Es werden keine die Umwelt belastende Materialien verwendet.

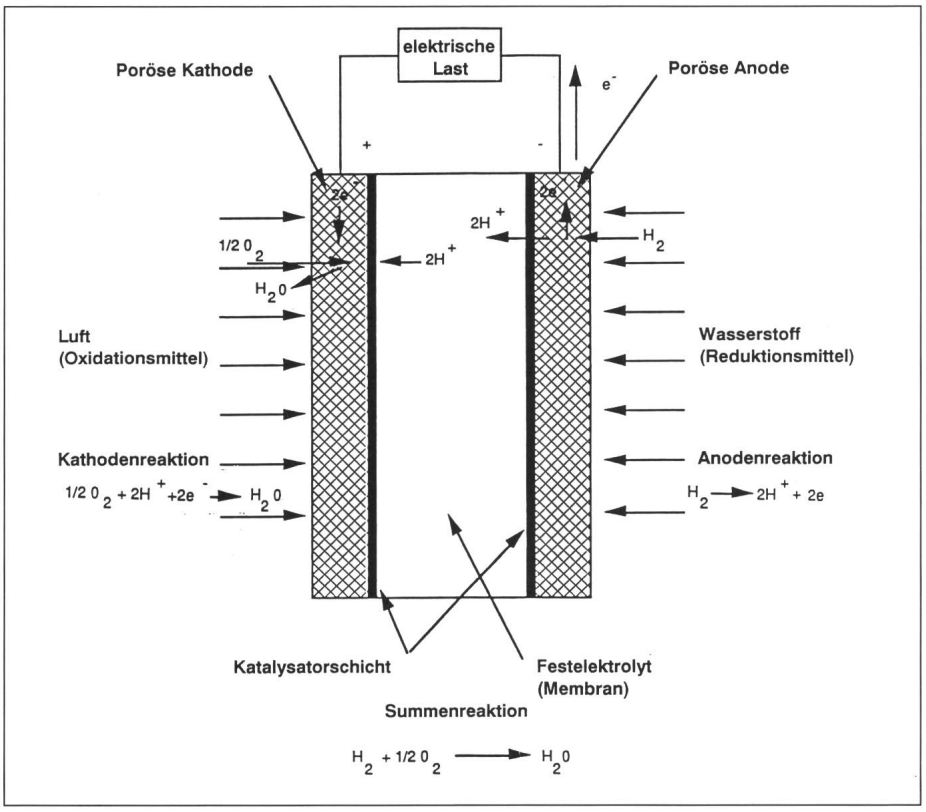


Bild 5 Elektrochemischer Prozess einer Membran-Brennstoffzelle (Solid Polymer Fuel Cell)
Wasserstoff diffundiert durch die poröse Anode zur Katalysatorschicht und wird aufgespalten in Protonen H^+ und Elektronen e^-. Die Protonen erreichen durch die protonenleitende und bezüglich Elektronen isolierende Membran die Kathode. Aus den über den äusseren Stromkreis fliessenden Elektronen und den Protonen wird zusammen mit dem Luftsauerstoff an der Kathode Wasser rekombiniert

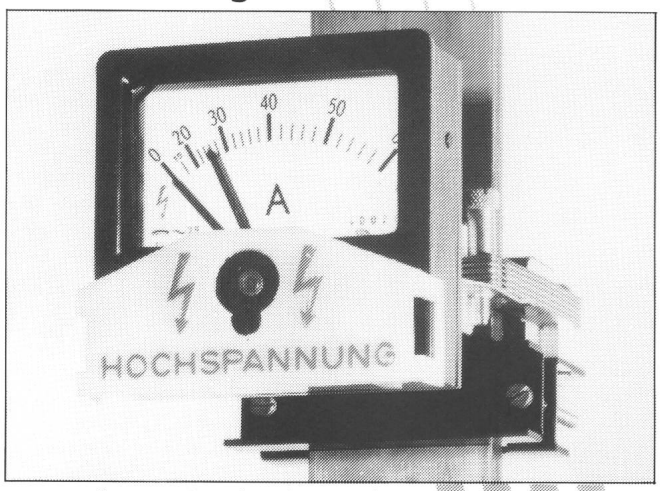
Marktentfaltung

Atel-Direktor Dr. Hans Rudolf Lutz ist überzeugt, dass in 10–15 Jahren wirtschaftliche und betriebssichere Systeme angeboten werden können und die neue Technologie als kombinierter Wärme-Kraft-Lieferant in dezentralen Kleinkraftwerken und Wohnhäusern eingebaut werden kann. Im Jahre 2000 werde der Beitrag von dezentralen Kleinkraftwerken mit Brennstoffzellen allerdings noch kaum ins Gewicht fallen. Die Entwicklung der Brennstoffzelle werde ihre Marktentfaltung erst im 21. Jahrhundert erleben.
Wasserstoff gilt heute als einer der saubersten Brennstoffe. In der Energieversorgung steht er aber aus technologischen und wirtschaftlichen Gründen immer noch am Anfang. Angesichts der zunehmenden Umweltbelastung kommt diesem Energieträger künftig aber eine immer grössere Bedeutung zu, sofern es gelingt, ihn auf umweltschonende Art herzustellen.

Schienenampèremeter

zur direkten Strommessung

KIEPE ELECTRIC



- Typenreihe S10 mit Drehspulmesswerk
- Typenreihe S40 mit Bimetallmesswerk 4'
- Dauerüberlast bis dreifachem Nennstrom
- Messbereiche von 30–1600 A
- einfache Direktmontage auf Stromschienen

Gasenzer AG

PRÜF- UND MESSTECHNIK

Lochacker 11
CH-8340 Hinwil
Tel. 01/937 17 51
Fax 01/937 51 26

Inserieren Sie im

Bulletin SEV/VSE

86% der Leser sind Elektroingenieure ETH/HTL

91% der Leser haben Einkaufsentscheide zu treffen

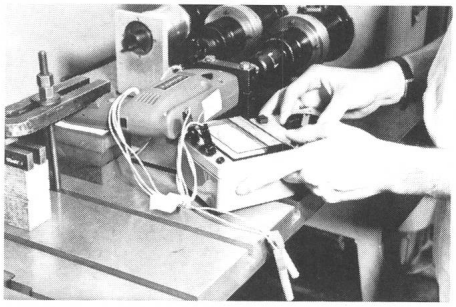
Sie treffen ihr Zielpublikum

Wir beraten Sie kompetent
Tel. 01/207 86 32

Schweizerischer Elektrotechnischer Verein
Association Suisse des Electriciens
Associazione Svizzera degli Elettrotecnici
Swiss Electrotechnical Association

SEV ASE

SWISS TESTING



Die SEV-Prüfstelle Zürich

- **prüft** die Sicherheit elektrischer Niederspannungserzeugnisse
- **kalibriert** die Genauigkeit von elektrischen Messinstrumenten (Kalibrierdienst)
- **führt** Abnahmen, Expertisen und Beratungen durch

Unsere Fachspezialisten stehen zu Ihrer Verfügung. **Rufen Sie uns an!**

Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, Prüfstelle Zürich
Seefeldstrasse 301, Postfach, 8034 Zürich
Telefon 01 / 384 91 11 – Telex 817431 – Telefax 01 / 55 14 26