Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 99 (2008)
Heft: 19

Artikel: Erste kommerzielle Brennstoffzellen im Notstrombereich
Autor: Trachte, Ulrike
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855894

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: 09.07.2025

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

Erste kommerzielle Brennstoffzellen im Notstrombereich

Praxistest als USV für eine Mobilfunkbasisstation

«Brennstoffzellen sind die Technologie der Zukunft und stehen kurz vor der Markteinführung», hörte man vor einigen Jahren. Doch dann liess der kommerzielle Durchbruch auf sich warten. Zu gross waren die Hemmnisse in puncto Lebensdauer und Kosten. In den letzten Monaten, fast unbemerkt von der Aufmerksamkeit der Medien, haben die Brennstoffzellenhersteller eine Anwendung gefunden, die bereits eine erstaunliche Marktreife erreicht hat: die Notstromversorgung. In diesem Bereich ist die Lebensdauer der Brennstoffzellen ausreichend lang, und die Kosten werden aufgrund der vielen Vorteile attraktiver.

Noch vor wenigen Jahren galt die Brennstoffzelle als die grosse Zukunftstechnologie für Fahrzeugantriebe, Hausheizungen oder in portablen Anwendungen als Batte-

Ulrike Trachte

rieersatz. Der ersten Euphorie folgte eine Ernüchterung, da es in Bezug auf Lebensdauer und Kosten der Brennstoffzelle noch viele offene Punkte zu lösen galt.

Ein Bereich, in dem die Brennstoffzelle sich langsam einen Platz auf dem Markt erobert, ist die Notstrom- und unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV). Diese wird vor allem im IT- und Telekommunikationsbereich zunehmend wichtiger. Bei diesen Anwendungen kommen die Brennstoffzellen temporär zum Einsatz, sodass die für den Dauerbetrieb oft zu geringe Lebensdauer kein Nachteil ist. Als Ersatz für Bleibatterien oder Dieselgeneratoren weist ein Brennstoffzellensystem zahlreiche Vorteile auf: Brennstoffzellen arbeiten leise, es findet eine geräuschlose elektrochemische Energieumwandlung mit hohem Wirkungsgrad statt. Zudem arbeiten sie sauber, es entstehen lokal keine schädlichen Abgase. Eine individuelle Anpassung der erforderlichen Autonomiezeit der Anlage ist über die bereitgestellte Wasserstoffmenge möglich. Die verbleibende Autonomiezeit ist einfach kontrollierbar über die Füllstandsanzeige. Variable Leistungsklassen können durch einen modularen Aufbau der Zellen zusammengestellt werden. Zudem ist ein geringer Service- und Wartungsaufwand durch eine lange Betriebsbereitschaft zu erwarten.

Wie funktioniert eine Brennstoffzelle?

Die Brennstoffzelle wandelt in einer elektrochemischen Reaktion Wasserstoff und Sauerstoff um und erzeugt dabei Strom. Die chemisch gebundene Energie eines Brennstoffs wird direkt in elektrische Energie und Wärmeenergie umgewandelt. Bei der Reaktion entstehen Wasser und Wärme, die abgeführt werden müssen (Bild 1).

Alle Brennstoffzellen bestehen aus zwei Elektroden (Anode und Kathode) sowie einem Elektrolyten, der die beiden Elektroden voneinander trennt. Es gibt sechs verschiedene Typen von Brennstoffzellen, die sich durch die Art des Elektrolyts und ihre Betriebstemperatur unterscheiden (siehe Tabelle).

Die Niedertemperaturzellen arbeiten bei Temperaturen bis leicht über 100 °C, während die Zellen im Hochtemperaturbereich bis zu 1000 °C erreichen. Als Brennstoff muss Wasserstoff zugeführt werden, der entweder als reiner Wasserstoff bereitgestellt wird oder aus einem wasserstoffhaltigen Stoff (Methanol, Erdgas, Biogas, verdampfte Kraftstoffe) durch Reformierung aufbereitet wird. Nur die Direkt-Methanol-Brennstoffzelle DMFC arbeitet mit reinem Methanol, was aber derzeit noch zu Einbussen beim Wirkungsgrad führt. Sauerstoff wird meist aus der Umgebungsluft entnommen.

Die am meisten verbreitete Brennstoffzelle, die auch für die Notstromversorgung eingesetzt wird, ist die Polymer-Elektrolyt-Membran-(PEM)-Brennstoffzelle. Ihr Elektrolyt besteht aus einer Polymermembran, die einerseits eine hohe Leitfähigkeit für Protonen besitzt, andererseits Anode und Kathode elektrisch isoliert (Bild 2). Das heisst, sie ist undurchlässig für Elektronen. Aufseiten der Anode wird Wasserstoff zu-

Typ Brennstoffzelle	Elektrolyt	Temperatur
AFC Alkalische Brennstoffzelle (Alcaline Fuel Cell)	Kalilauge	20–90 °C
PEM Polymer-Elektrolyt-Membran-BZ (= PEFC, Polymer Electrolyte Fuel Cell)	Polymermembran	20–80 °C
DMFC Direkt-Methanol-BZ (Direct Methanol Fuel Cell)	Polymermembran	80–110 °C
PAFC Phosphorsäure-BZ (Phosphoric Acid Fuel Cell)	Phosphorsäure	200 °C
MCFC Schmelzkarbonat-BZ (Molten Carbonate Fuel Cell)	Alkali-Karbonat-Schmelze	650 °C
SOFC Oxidkeramische BZ (Solid Oxide Fuel Cell)	Stabilisiertes Zirkonoxid	750–1000 °C

Niedertemperatur

Hochtemperatur

Tabelle Übersicht Brennstoffzellentypen.

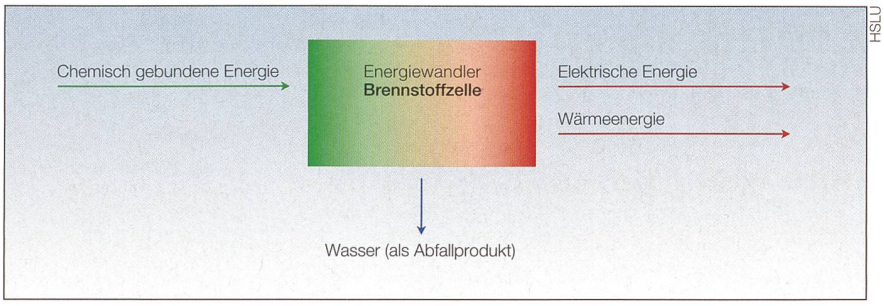

Bild 1 Die Brennstoffzelle wandelt chemische Energie direkt um.

geführt, aufseiten der Kathode Sauerstoff. Mithilfe eines meist platinhaltigen Katalysators wird das Wasserstoffmolekül oxidiert und in Protonen und Elektronen zerlegt. Die Protonen, also die H^+-Ionen, wandern durch die Polymermembran zur Kathode. An dieser findet die Reduktion von Sauerstoff statt. Als Gesamtreaktion entsteht Wasser.

Oxidation von Wasserstoff an der Anode:
$2\,H_2 \rightarrow 4\,H^+ + 4\,e$

Reduktion von Sauerstoff an der Kathode: $O_2 + 4\,e^- \rightarrow 2\,O_2^-$

Gesamtreaktion:
$2\,O^{2-} + 4\,H^+ \rightarrow 2\,H_2O$ + Wärme + Elektrizität

Die Potenzialdifferenz, die durch die Reaktion zwischen den beiden Elektroden erzeugt wird, ist die treibende Kraft der Brennstoffzellenreaktion. Die an der Anode frei gewordenen Elektronen werden über einen externen Stromkreis zur Kathode geleitet. Es entsteht Gleichstrom. Der Vorgang entspricht dem umgekehrten Prinzip der Elektrolyse.

Aus dem Standardelektrodenpotenzial von Anode und Kathode ergibt sich eine theoretische Zellspannung von 1,23 V. Durch Spannungsverluste, die beispielsweise durch Reaktionshemmungen oder ungenügende Gasdiffusion auftreten können, werden in der Praxis Spannungen zwischen 0,9 und 1 V pro Zelle erreicht. Je nach Höhe der Last sinkt die Spannung bis auf 0,6 V ab.

Schaltet man die einzelnen Zellen hintereinander, werden die Spannungen addiert. Die Grösse der Membranquerschnittsfläche bestimmt die Stromstärke. Bei Reihenschaltung mehrerer Zellen spricht man von einem Brennstoffzellenstack bzw. -stapel. Ein Brennstoffzellenstapel, der aus 60 hintereinandergeschalteten Zellen besteht, arbeitet somit in einem Spannungsbereich von 36 bis 57 V DC.

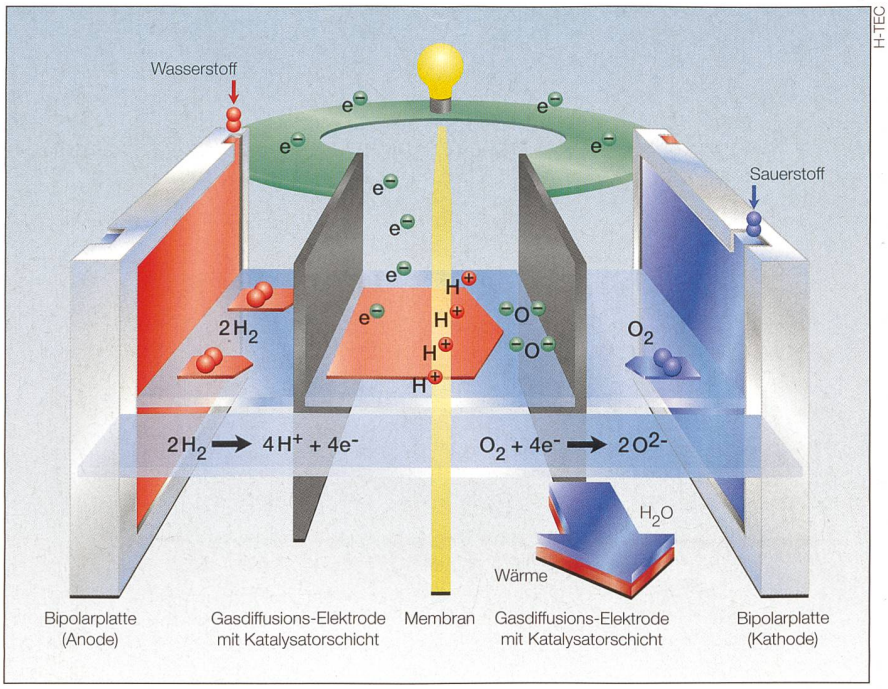

Bild 2 Prinzip der PEM-Brennstoffzelle.
Der Katalysator trennt bei der Anode die Wasserstoffatome in Protonen und Elektronen. Die Protonen, also die H^+-Ionen, wandern durch die Polymermembran zur Kathode und kombinieren dort mit dem freien Sauerstoff zu Wasser. Die Elektronen können die Membran nicht durchdringen und müssen aussen herum über einen Stromkreis.

Vergleich kommerzieller Systeme

Durch das tiefe Spannungsniveau und den Gleichstrom, der erzeugt wird, bietet die Brennstoffzelle gute Voraussetzungen für Anwendungen im Telekommunikationsbereich. Die Basisstationen für Mobilfunkantennen werden in der Regel bei einer Spannung von 48 V DC betrieben, sodass eine Brennstoffzelle ohne zusätzlichen Gleichrichter an eine Anlage angeschlossen werden kann.

Diese günstigen Bedingungen haben in jüngster Zeit verschiedene Brennstoffzellen- und Notstromanlagenhersteller erkannt und ihr Produkt speziell auf diesen Markt ausgerichtet. So werden bereits Systeme mit einem geregelten Spannungsausgang von + oder – 48 V DC angeboten. Auch die für den kontinuierlichen Betrieb noch zu geringe Lebensdauer der PEM-Zellen, die meist für bis zu 1500 h gewährleistet wird, ist bei einem Einsatz als Back-up-System nicht nachteilig. Geht man bei einer Notstromanlage von einer jährlichen Laufzeit von maximal 150 h aus, dann erreicht ein System mit 1500 h eine für technische Anlagen übliche Lebensdauer von 10 Jahren.

Eine technische Hürde gibt es allerdings in der Anwendung als USV: Brennstoffzellen starten relativ träge und brauchen 20–40 s, um die volle Last zu erreichen. Dieses verzögerte Anfahrverhalten wird bei den meisten Systemen durch eine Batterie überbrückt.

Als Teil einer Studie hat die Hochschule Luzern zusammen mit Industriepartnern und finanzieller Unterstützung des Bundesamts für Energie (BFE) kommerziell erhältliche Brennstoffzellenmodule für die Energieversorgung einer mobilen Basisstation miteinander verglichen [1]. Das Modul mit einer geforderten Leistung von 5 kW sollte im Freien aufgestellt werden, weshalb vor allem die Systeme für den Ausseneinsatz betrachtet wurden.

Die Marktrecherche ergab, dass die drei Hersteller Hydrogenics, PlugPower und IdaTech ihre Systeme bereits im standardisierten Outdoorgehäuse präsentieren, das bei Aussentemperaturen von –40 bis fast 50 °C eingesetzt werden kann. Bei Minustemperaturen schaltet sich im Stand-by-Betrieb automatisch eine elektrische Heizung ein. Die empfohlene Aufstellungshöhe reicht bis auf 2000 m ü.M., doch auch in höheren Regionen scheint die Brennstoff-

HSLU

Bild 3 Installation der Mobilfunkbasisstation und USV mit Brennstoffzelle auf dem Dach der Hochschule Luzern.

HSLU

Bild 4 Superkapazitäten liefern kurzfristige Energie.

zelle zu funktionieren. Auf 3000 m ü.M. ist ein Leistungsabfall von 12% zu erwarten. Im Gegensatz dazu sinkt die Leistung bei einem handelsüblichen Dieselgenerator um bis zu 35%.

Auch die Lärmemissionen sind vergleichsweise gering. So beträgt der Geräuschpegel im Betrieb aus 1 m Abstand zur Anlage zwischen 60 und 70 dBA. Bei einem Dieselgenerator wird der gleiche Geräuschpegel noch in 7 m Entfernung gemessen.

Erhältlich sind die Notstromanlagen mit Brennstoffzelle in verschiedenen Leistungen. Hydrogenics bietet Ausgangsleistungen von 4, 8 oder 16 kW an, PlugPower hat ein System mit 5 kW und IdaTech mit 3 und 5 kW im Programm. Die Firma Electro Power Systems (EPS) bietet ebenfalls ein System mit 6 kW an, allerdings noch nicht im standardisierten Outdoorgehäuse.

Die Lieferfrist für eine Anlage liegt bei 10–16 Wochen. Der Preis für eine 5-kW-Brennstoffzelle im Outdoorgehäuse ohne Wasserstoffschrank liegt bei PlugPower um die 15 000 Euro, bei IdaTech im Bereich von 22 500 Dollar. Die Anlagen können in der Regel mit Fernüberwachung ausgestattet werden. Auch ein zusätzlicher Ausgang für 220 V AC Wechselspannung ist individuell möglich.

Brennstoff: Wasserstoff und Methanol

Als Brennstoff benötigen alle PEM-Brennstoffzellen Wasserstoff. Dieser kann entweder gasförmig in Druckgasflaschen, flüssig in vakuumisolierten Tanks oder gasförmig eingelagert in Metallhydridspeichern bereitgestellt werden. Die Systeme für flüssigen Wasserstoff und die Metallhydridspeicher sind jedoch aufwendig und derzeit nicht uneingeschränkt kommerziell erhältlich. Transportbedingungen und Zulassungen müssen jeweils für den Einzelfall geprüft werden.

Handelsüblich ist Wasserstoff in Druckgasflaschen aus Chrommolybdänstahl mit 10, 20 oder 50 l oder im Bündel bestehend aus 12 Flaschen. Die Stahlflaschen sind mit Drücken von 200 und 300 bar erhältlich. Standardmässig haben die Gasversorger die Flaschen mit 200 bar auf Lager, sodass diese schnell verfügbar sind. Die 300-bar-Gebinde müssen individuell angefragt werden.

Die Autonomiezeit der Anlage ist abhängig von der bereitgestellten Wasserstoffmenge und kann einfach über eine Druckanzeige kontrolliert werden. Bei einem typischen Verbrauch von 70 l/min bei einer Leistung von 5 kW reichen zwei 50-l-Wasserstoffflaschen mit 200 bar für eine Laufzeit von rund 4 h. Entsprechend reicht bei

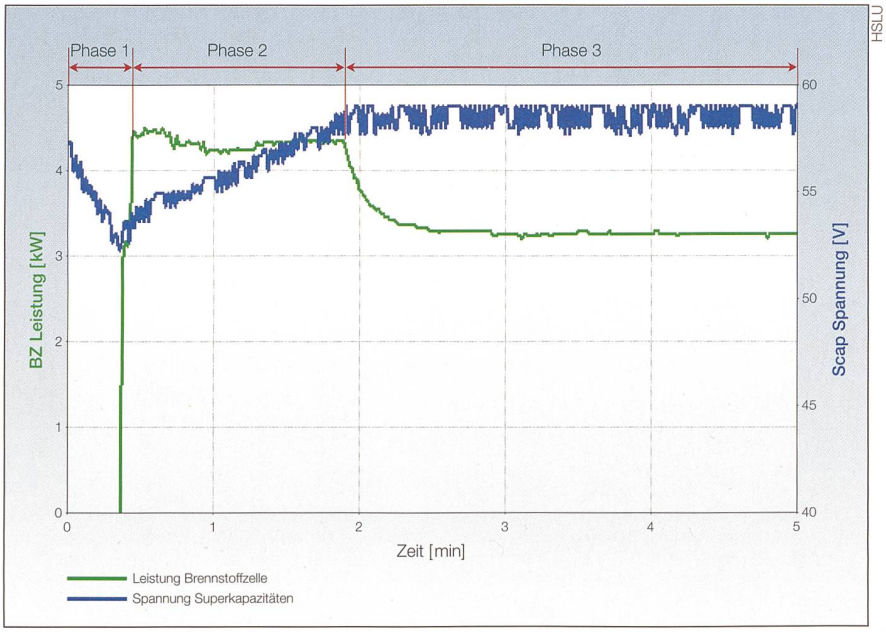

Bild 5 Start der Brennstoffzelle.
Während den ersten 20–30 s liefern Superkapazitäten die Energie, dann ist die Brennstoffzelle hochgefahren. 2 min später sind die Kapazitäten wieder gefüllt, und die Brennstoffzelle reduziert die Leistung.

einer Leistung von 2 kW die gleiche Füllung für 10 h Netzautonomie.

Da die Stahlflaschen relativ schwer sind, wurden aus Gewichtsgründen die leichteren Composite-Tanks entwickelt. Die Firma Dynetek bietet Aluminiumflaschen an, die mit einem Netz aus Kohlenstofffasern ummantelt sind und dadurch bis zu einem Drittel leichter sind als herkömmliche Stahlflaschen. Dynetek besitzt jedoch noch keine Zulassung der Flaschen als Transportbehälter, und somit ist ein Transport auf der Strasse nicht erlaubt.

Alternativ zum Wasserstoff aus Druckgasflaschen bietet IdaTech ein Brennstoffzellensystem mit Reformer an, der den Wasserstoff bei Bedarf vor Ort erzeugt. Als Brennstoff wird ein flüssiges Methanol/Wasser-Gemisch in einem in der Anlage integrierten 220-l-Tank gelagert. Methanol ist giftig, und der Transport unterliegt der Gefahrgutverordnung. In geringem Umfang entstehen bei der Reformierung CO_2 und Schadstoffe. Die Vorteile des Methanols sind hingegen der geringere Platzbedarf und das niedrigere Gewicht. Ein Bündel Wasserstoff wiegt knapp 1000 kg. Methanol hat eine etwas niedrigere Dichte als Wasser. Mit einem Verbrauch von 1,1 l/h pro kW hat das Methanol/Wasser-Gemisch bei gleichem Gewicht wie ein Bündel Wasserstoff eine über 5-fach höhere Laufzeit.

Auch auf den Preis bezogen, schneidet der Betrieb mit Methanol gut ab. Die höheren Investitionskosten für die Anschaffung des Reformers müssen jedoch berücksichtigt werden, und der Energieaufwand im Stand-by-Betrieb ist grösser.

Vor diesem Hintergrund ist die Form der Brennstoffbereitstellung für jede Anwendung zu überprüfen. Wenn jedoch einst der zum Betrieb benötigte Wasserstoff umweltfreundlich und direkt vor Ort mittels Solarenergie gewonnen wird, könnte die Brennstoffzelle alle Vorteile auf ihrer Seite haben.

Erfahrungen aus der Praxis

Ein Projekt zur Notstromversorgung mit Brennstoffzellen wird seit Sommer 2004 an der Hochschule Luzern am Kompetenzzentrum Thermische Energiesysteme und Verfahrenstechnik durchgeführt [2]. In diesem Projekt wurde die Batterie einer bereits installierten USV für eine Mobilfunkantenne durch eine Brennstoffzelle ersetzt.

In Zusammenarbeit mit zwei Industriefirmen – einem Hersteller[1)] und einem Anwender[2)] von USV-Anlagen – und finanzieller Unterstützung des Bundesamts für Energie wurde ein Prototyp entwickelt und aufgebaut. Nach erfolgreicher Inbetriebsetzung im Labor sollte die Brennstoffzelle ihre Funktionsfähigkeit auch bei realen Betriebsbedingungen unter Beweis stellen. In Kooperation mit der Swisscom konnte die Testanlage an einer realen Mobilfunkbasisstation auf dem Dach der Hochschule in Horw installiert werden (Bild 3).

Leitgedanke für dieses Projekt war neben dem Einsatz von Brennstoffzellen auch die Idee, die schwermetallhaltigen Batterien komplett zu ersetzen. Als Energiepuffer zur Überbrückung des verzögerten Anfahrverhaltens wurden deshalb Superkapazitäten eingesetzt. Superkapazitäten, abgekürzt auch Scap genannt, sind an der Hochschule Luzern ein Forschungsschwerpunkt am Kompetenzzentrum für Integrale, intelligente und effiziente Energiesysteme [3, 4]. Scaps sind gewickelte Kondensatoren mit einem minimalen Abstand zwischen den Kondensatorplatten durch eine dünne Isolationsschicht. Sie können in kurzer Zeit Energie speichern und bei einem Netzunterbruch im Sekundenbruchteil den benötigten Strom liefern (Bild 4).

Der Startvorgang der Brennstoffzelle mit Superkapazitäten lässt sich in 3 Phasen beschreiben. In Phase 1 fährt die Brennstoffzelle an. Die Kapazitäten liefern in dieser ersten Phase die Spannung, um die unterbrechungsfreie Stromversorgung zu gewährleisten. Den Abfall der Spannungskurve während der Startphase zeigt Bild 5. Nach 20–30 s ist die Brennstoffzelle betriebsbereit. Sie übernimmt die Stromversorgung für die Mobilfunkbasisstation und lädt gleichzeitig die Kapazitäten wieder auf. Die Leistungskurve in Phase 2 verdeutlicht diesen Prozess. Nach kurzer Zeit sind die Kapazitäten geladen. In Phase 3 liefert die Brennstoffzelle solange den Strom, bis das Netz wieder zur Verfügung steht.

Seit Januar 2006 simulieren die Ingenieure der Hochschule Luzern monatliche Stromausfälle. Auch 2 netzbedingte Stromausfälle, die bis zu 1,5 h dauerten, wurden problemlos bewältigt, ebenso Dauertests von 4 h.

Nach den guten Ergebnissen im ersten Betriebsjahr werden die Tests fortgesetzt, um Erfahrungen im Langzeitbetrieb zu gewinnen und um die Störanfälligkeit des Gesamtsystems zu testen. Zum aktuellen Zeitpunkt wurden über 250 Start-Stopps der

Bild 6 Brennstoffzelle mit integriertem Reformer und Methanoltank (ElectraGen XTi).

PlugPower

Bild 7 Brennstoffzellensystem im Freien installiert.
Links die eigentliche Brennstoffzelle (GenCore) von PlugPower, rechts der Schrank für die Wasserstoffflaschen.

auf der Hand, und die bereits vorliegenden Erfahrungen stimmen zuversichtlich für einen Erfolg dieser neuen Technologie im Notstrombereich. Im Hinblick auf die steigenden Preise sowohl für Rohöl als auch für Blei und Schwefelsäure in Batterien ist zu erwarten, dass die Anwender für die Vorteile der Brennstoffzelle zunehmend bereit sein werden, höhere Investitionskosten zu zahlen.

Referenzen

[1] U. Trachte, E. Lüthi, B. Wellig: Konzeptstudie für Energieversorgung mobile Basisstation mit Brennstoffzellen. BFE-Schlussbericht, März 2008, BFE-Projektnummer: 102 202.

[2] U. Trachte, E. Lüthi: USV mit BZ für GSM-Basisstationen. BFE-Schlussbericht, März 2007, BFE- Projektnummer: 100 957.

[3] V. V. Härri, S. Egger, S. Eigen: Industrietauglicher Superkapazitätenspeicher SAM. Schlussbericht Dezember 2002, KTI-Projekt 4504.1 FHS, Januar 2003.

[4] V. V. Härri, D. Martinovic: Supercapacitor Module SAM for Hybrid Busses: an Advanced Energy Storage Specification based on Experiences with the Tohyco-Rider Bus Project. Proceedings of the 2007 IEEE Conference IECON-07 in Taipei, Taiwan, November 2007.

Angaben zur Autorin

Ulrike Trachte (Dipl.-Ing.) ist seit 2002 wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur, und Projektleiterin des Projekts USV für GSM-Basisstationen.
Hochschule Luzern – Technik & Architektur, 6048 Horw, ulrike.trachte@hslu.ch

[1] American Power Conversion (APC).
[2] Swisscom (Schweiz) AG.

Brennstoffzelle erfolgreich durchgeführt, und der Feldtest wird bis Mitte 2009 andauern.

Noch besteht bei Herstellern und Anwendern der Brennstoffzelle ein Mangel an Erfahrung über das Anlagenverhalten im Langzeitbetrieb unter realen Betriebsbedingungen. Auch braucht es noch mehr gesicherte Informationen zu den tatsächlichen Betriebs- und Unterhaltskosten über einen längeren Zeitraum. Jeder einzelne Hersteller wird die Zuverlässigkeit seines Brennstoffzellensystems in der Praxis beweisen müssen. Doch die zahlreichen Vorteile liegen

Résumé

Premières piles à combustible commerciales dans le domaine de l'alimentation de secours

Test pratique comme ASC pour une station de base de radio mobile. «Les piles à combustible sont la technologie de l'avenir et sur le point d'être lancées sur le marché», nous disait-on voici quelques années. Mais la percée commerciale se fait attendre. Les problèmes de durée de vie utile et des coûts étaient trop complexes. Ces derniers mois, les fabricants de piles à combustible ont trouvé une application qui a passé presque inaperçue des médias, mais a déjà atteint un niveau surprenant de maturité de marché: l'alimentation de secours. Dans ce domaine, la durée de vie des piles à combustible est suffisamment longue et les coûts sont plus attrayants étant donné les nombreux avantages offerts.

Schutzprüfung anders gesehen

Das Prüfen von Schutzgeräten stellt heute vielfältige Anforderungen an die Schutztechniker und die eingesetzten Prüfmittel.

Die Palette der Prüfobjekte reicht von elektromechanischen Relais mit hohem Leistungsbedarf bis zu multifunktionalen Geräten mit modernster IEC 61850 Technologie.

Spezialisiert auf Prüflösungen für die Schutz- und Messtechnik, hat OMICRON die bewährte CMC-Gerätefamilie dafür um ein neues Modell erweitert:

CMC 356 – Das universelle Kraftpaket zum Prüfen aller Relais-Generationen

Höchste Flexibilität sowie einzigartige Leistungsdaten zeichnen dieses neue Schutzprüfgerät und Inbetriebsetzungswerkzeug aus.

Machen Sie sich selbst ein Bild davon, welche Lösungen OMICRON für die Anforderungen in der Schutzprüfung bereit hält.

Innovative Prüflösungen für die Energietechnik

OMICRON

OMICRON electronics GmbH • Oberes Ried 1 • 6833 Klaus • Austria • Tel: +43 5523 507-0 • **www.omicron.at** • **info@omicron.at**