

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse

**Herausgeber:** Electrosuisse

**Band:** 98 (2007)

**Heft:** 1

**Artikel:** Low-Cost-Brennstoffzellen für den Markt

**Autor:** Fumey, Benjamin / Höckel, Michael / Jud, Stefan

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-857399>

### 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:** 07.02.2026

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

# Low-Cost-Brennstoffzellen für den Markt

## Gestanzte Folien vergünstigen die Produktion

Brennstoffzellen arbeiten mittlerweile zuverlässig in vielen Versuchsaufbauten, sind aber noch zu teuer, als dass sie von Konsumenten gekauft würden. Der Elektrowerkzeughersteller CEKA und die Berner Fachhochschule entwickeln derzeit gemeinsam eine PEM-Brennstoffzelle, die ab Frühjahr 2007 erhältlich sein soll – zu erschwinglichen Preisen. Bedingt durch die Konstruktion des Brennstoffzellenstapels aus stanzbaren Folienelementen und durch die Integration von Funktionalitäten in den Stapel werden die Herstellungskosten niedrig gehalten.

Antriebsstrang mit Brennstoffzelle und Lithium-Polymer-Batterie ausgestattet. Die PEM-Brennstoffzelle speist mit einer maximalen Leistung von 6 kW über einen DC/DC-Boostconverter einen Gleichspannungzwischenkreis. In Kombination mit Lithium-Polymer-Batterien kann an die Antriebeinheit des Fahrzeugs eine maximale Beschleunigungsleistung von 15 kW abgegeben werden. Im Sommer 2005 wurde das Fahrzeug auf den Straßen rund um Biel erfolgreich getestet und bei einem Durchschnittsverbrauch von umgerechnet 1,7 Liter Benzin auf 100 km die hohe Effizienz des Brennstoffzellenhybrids nachgewiesen [4].

Parallel begann das Brennstoffzellen-Team der BFH mit der Entwicklung eines neuen Brennstoffzellenstapels. Dieser sollte vollständig aus Folienmaterial aufgebaut sein und dadurch besonders einfache Herstellungsverfahren und tiefe Verkaufspreise ermöglichen. Mit den ersten Funktionsmustern konnten die Forscher an der BFH das Interesse der Firma CEKA aus Wattwil wecken, die auf der Suche nach einem zukunftsgerichteten Geschäftsfeld neben ihrem angestammten Markt (Elektrowerkzeuge) war. In einem durch das BFE geförderten zweijährigen Projekt wurde die Tauglichkeit des Konzepts nachgewiesen. Es zeigte sich allerdings, dass noch wesentliche Entwicklungsarbeiten notwendig sind, bis aus

Im Jahr 2000 begann ein kleines Team um Professor Michael Höckel mit breiter Unterstützung von diversen Industriepartnern an der Berner Fachhochschule (BFH) in Biel mit der Detailplanung für ein Brennstoffzellenlabor. Das Labor

*Benjamin Fumey, Michael Höckel,  
Stefan Jud, Marco Santis*

sollte der BFH und ihren Partnern eine solide Basis für angewandte Forschung an Applikationen und Systemen im wachsenden Markt der PEM-Brennstoffzellen bieten. Es zeigte sich schnell, dass die Entwicklung der PEM-Technologie mit grösseren Zeitkonstanten voranschreitet, als dies allgemein von der Fachwelt erwartet wurde. So wurde die Ausrichtung des Brennstoffzellenteams auf die Entwicklung und den Bau von Brennstoffzellen erweitert.

Dank einem massgeblich vom Bundesamt für Energie unterstützten Technologietransfer mit der ETH Zürich und der offenen Zusammenarbeit mit dem Paul-Scherrer-Institut (PSI) konnte die BFH stark vom in der Schweiz auf diesem Gebiet vorhandenen Know-how profitieren (PowerPac [1]). Heute steht an der BFH ein modernes Test- und Entwicklungslabor für PEM-Brennstoffzellen. In zahlreichen Projekten wurden Brennstoffzellenstapel und Brennstoffzellensysteme aufgebaut, die an nationalen und internationalen Konferenzen [2, 3] und Messen

präsentiert und mit verschiedenen Preisen ausgezeichnet wurden. Daneben wurden auch PEM-Stacks im Auftragsverhältnis entwickelt und an in- und ausländische Kunden geliefert.

Das bislang umfassendste Projekt der BFH stellte die Entwicklung eines Brennstoffzellen-Hybridfahrzeugs (Bild 1) dar. Im Projekt «Fuel Cell SAM» wurde in Zusammenarbeit mit der deutschen Umicore (MEA) und der Uni Fribourg<sup>1)</sup> mit finanzieller Unterstützung des BFE ein dreirädriges Leichtelektromobil SAM der Bieler Firma CREE mit einem hybriden



Bild 1 Brennstoffzellen-Hybridfahrzeug SAM

# Brennstoffzellen

dem Funktionsmuster ein marktfähiges Produkt wird [5].

## Mut zu Investitionen

Auf der Suche nach einem zukunftsorientierten Betätigungsfeld evaluierte die CEKA die Möglichkeit, Brennstoffzellen zu produzieren und zu vertreiben. Dabei wurde schnell klar, dass die Kosten der Brennstoffzellen drastisch gesenkt werden müssen. Nur so können die Brennstoffzellen als «marktreifes» Produkt und nicht als «Marketingprodukt» vertrieben werden. Denn bisher haben die (meisten) Brennstoffzellenhersteller ihre Produkte zu einem Bruchteil der Material- und Herstellungskosten vermarktet. Bei den kommerziell erhältlichen Brennstoffzellen handelt es sich bisher also (meistens) um Marketingprodukte.

Die Kosten von Brennstoffzellen setzen sich zusammen aus Materialkosten (elektrochemische Komponenten) und Herstellungskosten (Bipolarplatten), wie

in Bild 2 ersichtlich [6]. Diese Kosten werden zwar sinken, sobald die Nachfrage nach grossen Stückzahlen kommt. Die kommt aber erst, wenn der Verbraucher Zugang zur Technologie bekommt, diese also zu erschwinglichen Preisen erhältlich ist.

Das an der BFH erarbeitete Konzept für die Herstellung von PEM-Brennstoffzellenstapeln wird nun im Rahmen des IHPoS-Projekts unter der Leitung der Firma CEKA mit zusätzlicher Unterstützung durch das PSI innerhalb von 18 Monaten zu einem marktreifen Produkt weiterentwickelt. Für die Realisierung des Projekts fanden die BFH und CEKA in der Förderagentur des Bundes KTI einen Projektpartner, der die hohen Risiken eines solchen Entwicklungsprojekts durch einen erheblichen finanziellen Beitrag unterstützt.

Das Ziel des IHPoS-Projekts ist die marktfähige Einführung des BFH-Stapels im Frühjahr 2007. Die Messlatte der Marktfähigkeit liegt aber hoch, denn

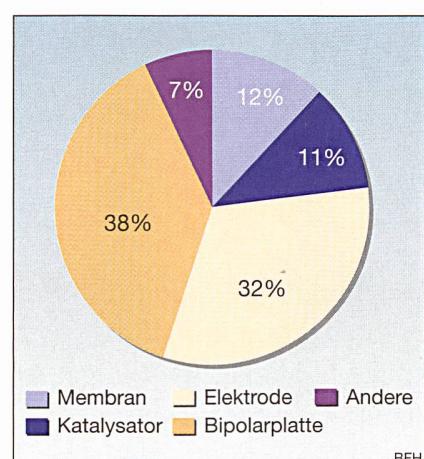


Bild 2 Kostenaufteilung der PEM-Brennstoffzelle

schliesslich will der normale Verbraucher nicht übermäßig viel mehr Geld ausgeben, um Brennstoffzellen dort einzusetzen, wo heutzutage andere Möglichkeiten zur Verfügung stehen. Dieser Punkt gehört auch zur Geschäftsstrategie der

## Was sind PEM-Brennstoffzellen?

Das gemeinsame Ziel konventioneller Generatoren und von Brennstoffzellen ist die Umwandlung der chemisch gespeicherten Energie eines Brennstoffes in nützliche elektrische Energie.

In konventionellen Generatoren findet diese Umwandlung in drei Schritten statt: Die chemische Energie des Brennstoffes wird in thermische Energie durch direkte chemische Oxidation (Verbrennung) freigesetzt. Die freigesetzte Verbrennungsenergie wird dann in mechanische Energie mittels einer Wärme-Kraft-Maschine umgewandelt und anschliessend in elektrische Energie mittels eines Generators. Im Gegensatz dazu haben Brennstoffzellen den Vorteil, dass sie die chemische Energie des Brennstoffes direkt und emissionsfrei (einziges Nebenprodukt ist reines Wasser) in Elektrizität umwandeln (Bild 5). Dies erlaubt einen hohen Wirkungsgrad, da Zwischenschritte vermieden werden.

Die chemischen Prozesse in Brennstoffzellen sind im Prinzip mit denen gewöhnlicher Batterien identisch. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass bei Batterien die chemisch aktiven Komponenten im Gehäuse gespeichert sind, während bei Brennstoffzellen die aktiven Komponenten kontinuierlich zugefügt werden. Das heisst, solange

man diese zur Verfügung stellt, kann elektrische Energie produziert werden. Für die kontrollierte und betriebs-sichere Versorgung der Brennstoffzelle ist ein System mit dazugehörigen Subsystemen notwendig (Bild 6). Aus den verschiedenen Typen von Brennstoffzellen sind die sogenannten PEM-Brennstoffzellen<sup>2)</sup> aufgrund deren hoher Leistungsdichte, der relativ nied-

rigen Betriebstemperatur (60°C bis 80°C) und dem guten dynamischen Verhalten ideal für den Einsatz in mobilen und portablen Anwendungen. Erstmals in den 60er-Jahren von der NASA im Gemini-Programm verwendet, werden PEM-Brennstoffzellen heutzutage für eine Anzahl von Anwendungen mit Leistungen von mW bis hin zum kW-Bereich entwickelt und

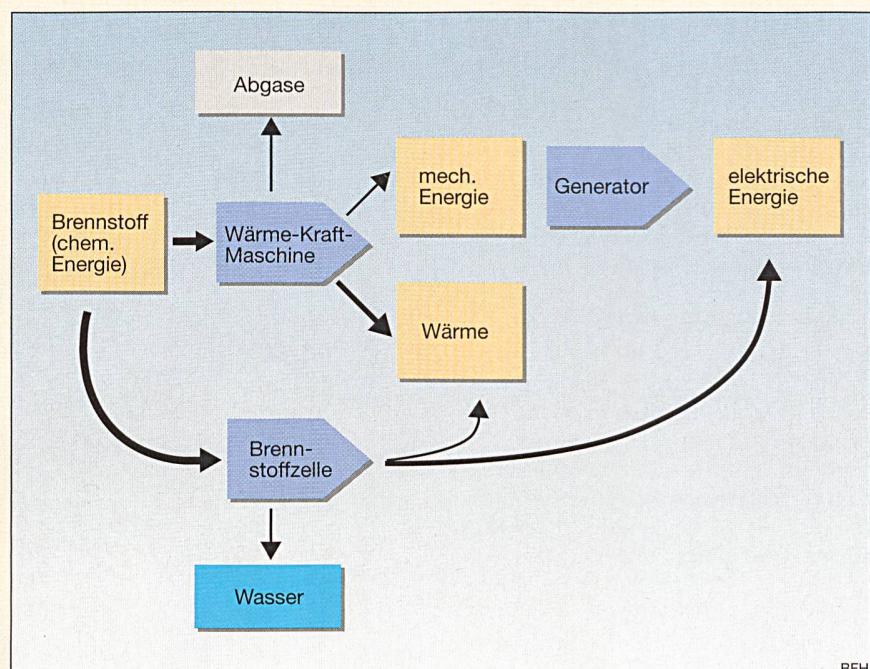


Bild 5 Vergleich Brennstoffzellen – Generatoren

CEKA: die Märkte zu identifizieren, wo die Vorteile der Brennstoffzellen zur Geltung kommen und man gewillt ist, für Komfort zu zahlen. Dies sind Anwendungen mit kurzen Aufladezeiten bzw. längeren Laufzeiten sowie emissionslosem und geräuscharmem Betrieb.

## Stacktechnologie

Das Konzept der BFH zur Herstellung von Bipolarplatten für PEM-Brennstoffzellen weist verschiedene Vorteile gegenüber bestehenden Herstellungsmethoden auf. Als Konstruktionsmaterial für die Bipolarplatten werden Grafitfolien eingesetzt, die günstig sind und sich einfach verarbeiten lassen. Die Folien werden gestanzt, um sie zu strukturieren. Dieses Herstellungsverfahren ist schnell und kostengünstig, sowohl für grosse als auch kleine Stückzahlen, denn es werden die gleichen Herstellungsprozesse genutzt, wie sie in der Papier- und Kartonverarbeitung eingesetzt werden.

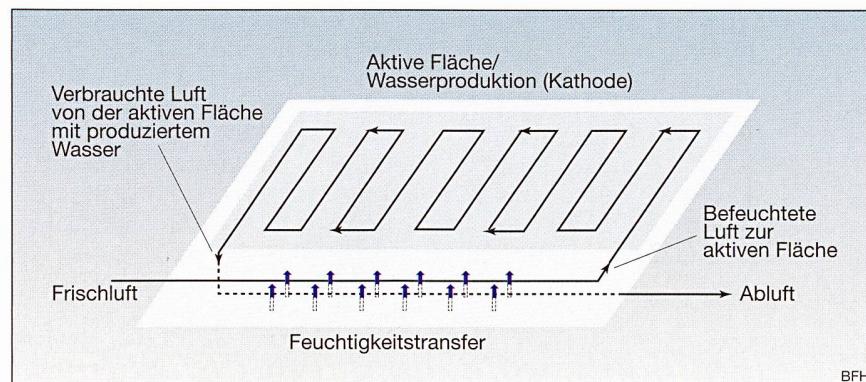
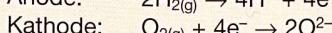
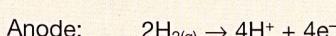


Bild 3 Interne Befeuchtung

Die Senkung der Herstellungskosten der Brennstoffzelle ist aber nur einer der kritischen Parameter, denn auch das System und seine Komplexität tragen zu den Kosten und zur Betriebssicherheit bei: Die Befeuchtung der Prozessgasse und die Kühlung der Zelle sind eine grosse Belastung für das Brennstoffzellensystem (siehe Kasten über PEM-Brennstoffzellen

auf der folgenden Seite). Diesem Punkt wird durch Integration dieser kritischen Funktionen in die IHPoS-Brennstoffzelle Rechnung getragen: Die Befeuchtung der Prozessgasse erfolgt direkt in der Zelle durch Verwendung des eigenen Produktwassers (Bild 3 [7]). Zudem wird die Kühlung der Zelle durch eine seitliche Verlängerung der Bipolarplatten zu K hl-

eingesetzt. PEM-Brennstoffzellen verwenden einen edelmetallhaltigen Katalysator (Stand der Technik sind Pt- oder Pt-basierte Legierungen), um die anodischen und kathodischen Teilreaktionen zu beschleunigen. Beim Elektrolyt in PEM-Brennstoffzellen handelt es sich, wie der Name schon sagt, um eine Polymermembran, die eine hohe Leitf igkeit für Protonen besitzt. Gleichzeitig erfüllt die Membran die Rolle der Gastrennung und der elektrischen Isolation zwischen Anode und Kathode. Stand der Technik für die Polymermembran sind wasseraufnehmende, perfluorierte Polymere mit einem Teflon-ähnlichen Grundgerüst. Bei der anodischen Teilreaktion wird das Wasserstoffmolekül ( $H_2$ ) in positiv geladene Protonen ( $H^+$ ) und negativ geladene Elektronen ( $e^-$ ) zerlegt. Die Elektronen fließen im äusseren Stromkreis und liefern den elektrischen Strom, während die hydratisierten Protonen durch die Membran zur Kathode wandern, wo sie sich mit dem Sauerstoff und den aus dem äusseren Stromkreis kommenden Elektronen zu reinem Wasser vereinigen (kathodische Teilreaktion, siehe Bild 2 auf Seite 20 dieser Ausgabe):



Gesamt-

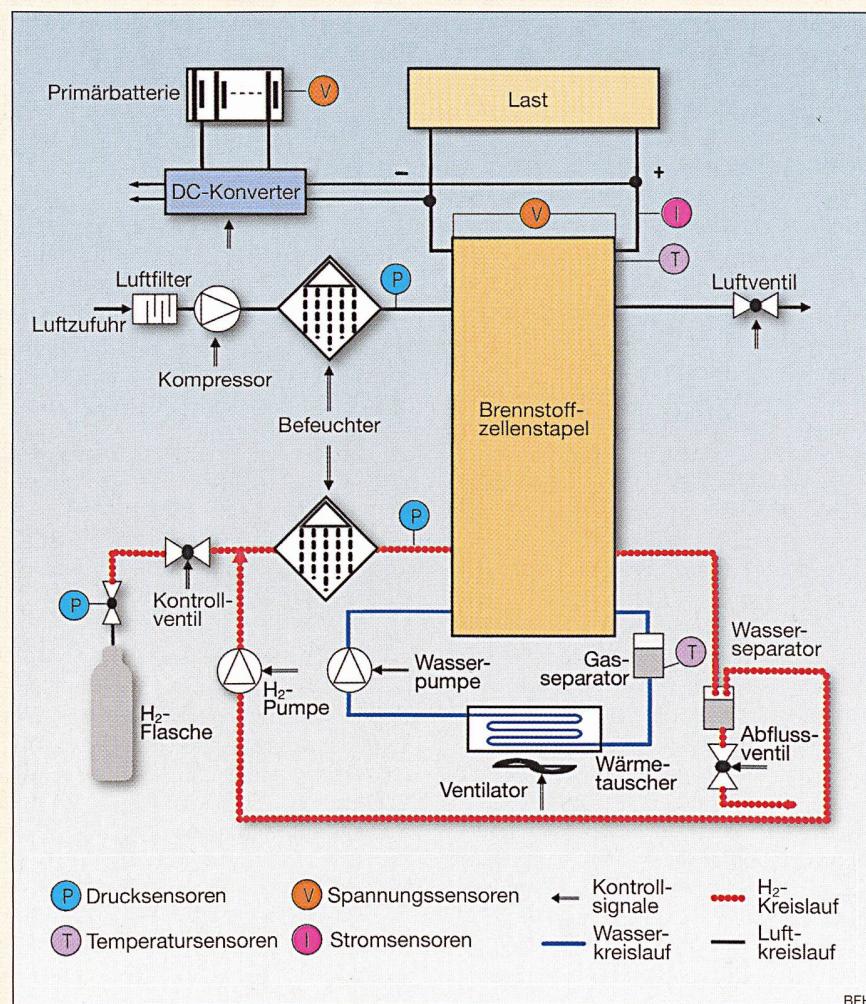
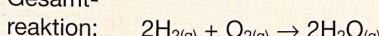


Bild 6 Gesamtsystem einer PEM-Brennstoffzelle

## Brennstoffzellen



Bild 4 Clevertrailer mit Brennstoffzelle

BFH

rippen realisiert, über die mittels Ventilatoren Luft geblasen und somit die Wärme aus der Reaktionszone abgeführt wird.

Durch die zellintegrierte Gasbefeuchtung und Luftkühlung mittels Ventilatoren wird das Brennstoffzellensystem vereinfacht, klein und leicht gehalten und trägt somit weiter zur Kostensenkung und Betriebssicherheit bei. Ein zusätzlicher Befeuchtungskreis und eine aufwendige Flüssigkühlung entfallen.

### Mobile Stromversorgung

Ein potenzieller Einsatzbereich der IHPoS-Stacks sind aufgrund des geringen Gewichtes die tragbaren oder fahrbaren Stromerzeugungseinheiten. Aus diesem Grund wurden an der BFH im Rahmen von mehreren Semester- und Diplomarbeiten entsprechende Systeme entwickelt und aufgebaut.

Im Clevertrailer der gleichnamigen Firma aus Lyss bildet ein komplettes System um einen IHPoS-Stack eine netzunabhängige Stromversorgung von Wechselspannungsverbrauchern bis zu einer elektrischen Leistung von 1 kW (Bild 4). Der praktische Hintergrund der Arbeit ist der Einsatz des Clevertrailers von zahlreichen Firmen (Swisscom, Orange, Tuk-Tuk usw.) als Präsentations- oder Verkaufsstand. Um den Anhängerladeraum nicht einzuschränken, wurde die Stromversorgung unterhalb des Anhängerbodens in einer schubladenartigen Fiberglaswanne eingebaut. Sie stellt wahlweise eine Wechselspannung von 230 V oder eine Gleichspannung von 24 V zur Verfügung. Als Wasserstoffspeicher wurde ein lufttemperierter Metallhydridspeicher eingesetzt, der in Zusammenarbeit mit der Uni Fribourg entwickelt wurde. Im Metallhydrid können 300 g Wasserstoff – entsprechend einer Energiemenge von rund 10 kWh – bei niedrigem Druck eingespeichert werden, wodurch ein Dauerbetrieb von rund 10 Stunden ermöglicht wird. Zur Verbesserung der Dynamik des Systems wurden parallel zum Brennstoffzellenstack Supercaps geschaltet.

Das Gesamtsystem wird von einem Mikroprozessor gesteuert und überwacht. Um einen hohen Wirkungsgrad von bis gegen 50% zu erreichen, werden die grösseren Verbraucher der Brennstoffzellenperipherie wie Pumpen und Ventilatoren lastabhängig angesteuert. Alle für die Sicherheit relevanten Systemparameter werden kontinuierlich erfasst, und das System wird bei Grenzwertüberschreitungen automatisch heruntergefahren.

setzt. Das System wird mittels Druck- und Temperatursensoren von einem Mikroprozessor überwacht und geregelt, so dass für die Bedienung keine Systemkenntnisse nötig sind.

Um die gewünschte Portabilität zu gewährleisten, wurde darauf geachtet, dass das Gesamtgewicht des auf ein Rückentragegestell aufgebauten Systems bei 15 kg liegt. Folglich waren Kompromisse bezüglich Grösse und Inhalt der beiden Druckflaschen ( $H_2$  und  $O_2$ ) einzugehen. Bei maximalem Fülldruck von 200 bar ermöglichen diese einen unterbruchsfreien Betrieb während ungefähr einer Stunde. Die Hauptvorteile dieses Systems gegenüber konventionellen Stromaggregaten mit Verbrennungsmotoren sind die geringen Lärmemissionen und der abgasfreie Betrieb. Der Betrieb kann durch weitere Druckflaschen verlängert werden, da die Gasanschlussleitungen mit einer Schnellkupplung versehen sind.

### Ausblick

Auch wenn die beschriebenen Anwendungen bereits eine relativ gute Praxistauglichkeit und Betriebssicherheit aufweisen, zeigen sie bei näherer Betrachtung ein weiteres Entwicklungspotenzial. Einerseits ist die Lebensdauer bzw. die

### Zur Firma CEKA

Wie kommt ein Elektrowerkzeughersteller im Herzen des Toggenburgs dazu, PEM-Brennstoffzellen zu fabrizieren?

Die Firma CEKA Elektrowerkzeuge wurde 1979 durch Willy Kress gegründet, zwecks Entwicklung und Herstellung von Elektrowerkzeugen und Elektromotoren. Parallel zur flexiblen Fertigung folgte der Aufbau des Werkzeug- und Spritzgussformenbaus. Hinzu kam 1999 der Vertrieb der Marke Kress in der Schweiz sowie von OEM-Produkten für internationale Konzerne. Momentan sind ca. 90



Mitarbeiter beschäftigt, und der jährliche Umsatz von ca. 30 Mio. CHF stammt zur Hauptsache aus der Entwicklung/Herstellung von Elektrowerkzeugen. Seit einigen Jahren unterliegt die Elektrowerkzeugbranche einem starken Preisdruck aus dem asiatischen Raum. Um den Standort in der Schweiz zu sichern, sollte ein weiteres Standbein aufgebaut werden, das mit dem bisherigen Geschäft nicht in direkter Verbindung steht. Dies führte zu den Brennstoffzellen. Obwohl auf den ersten Blick ein Elektrowerkzeug mit einem Brennstoffzellensystem nichts Gemeinsames hat, finden sich dennoch viele Berührungspunkte, im Speziellen bei der Systementwicklung, der Teilebeschaffung und der kostenoptimierten Produktion von elektromechanischen Geräten und Systemen. Zudem zeichnet sich die Brennstoffzellentechnologie im Hinblick auf die Umweltverschmutzung und die Ressourcenknappheit als Zukunftsmarkt ab ([www.ceka.ch](http://www.ceka.ch)).

Leistungsdegradation über die Zeit noch unbefriedigend, andererseits sind viele Elemente der Brennstoffzellenperipherie zu wenig an die Bedürfnisse der Brennstoffzelle adaptiert. Gerade über die Integration von Funktionalitäten, wie es heute im Motorenbau der Automobilindustrie zur Referenz geworden ist, liesse sich die Komplexität der Gasperipherie stark vereinfachen und damit Gewicht, Volumen und Kosten einsparen.

Es ist anzunehmen, dass sich für die Brennstoffzelle mittelfristig ein Markt zuerst in Nischen öffnet, wo die spezifischen Vorteile (leise, emissionsfrei) der Brennstoffzellen einen besonderen Zusatznutzen für den Kunden generieren. Bis eine entsprechende Wasserstoffinfrastruktur aufgebaut ist, wird der Brennstoff wohl eher vor Ort aus leicht verfügbaren Gasen reformiert werden. Der grosse Markterfolg wird sich langfristig erst mit einer massiven Verteuerung der leicht verfügbaren, transportablen Ener-

giträger Öl und Gas einstellen. Es ist zu hoffen, dass der Brennstoffzellenforschung in der Schweiz angesichts der starken Kürzung der Fördergelder bis dahin nicht der Atem ausgeht. In den wichtigsten Industrieländern werden jedenfalls angesichts des Zukunftspotentials dieser Technologie die Fördergelder massiv erhöht.

## Referenzen

- [1] M. Santis et al.: PowerPac, A Portable 1 kW Fuel Cell System, PSI Scientific Report, ISSN No. 1423-7342, V, 2004, 118-119.
- [2] Martin Ruge, Michael Höckel: Air Cooled Fuel Cell Stack Made of Foil Materials, Proceedings of the European Fuel Cell Forum, 2005.
- [3] Michael Höckel, Andrea Vezzini: Fuel Cell SAM, EVS 21, Monaco, 2005.
- [4] Michael Höckel, Stefan Zürcher: Brennstoffzellenfahrzeug BZ-SAM, BFE-Schlussbericht, 2005, BFE-Projektnummer: 100255.
- [5] Martin Ruge, Michael Höckel: Entwicklung eines luftgekühlten Brennstoffzellen-Systems, BFE-Schlussbericht, 2005, BFE-Projektnummer: 100198.
- [6] S.K. Kamarudin et al.: Technical design and economic evaluation of a PEM fuel cell system, Journal of Power Sources, Volume 157, 2006, 641-649.
- [7] M. Santis et al.: Modular Stack-Internal Air Humidification Concept-Verification in a 1 kW Stack, Fuel Cells, 4, 2004, 214-218.

## Angaben zu den Autoren

**Benjamin Fumey** hat 2005 im Rahmen einer Diplomarbeit an der Berner Fachhochschule das Brennstoffzellensystem Clevertrailer entwickelt und arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der BFH im IHPoS-Projekt und an diversen Brennstoffzellprojekten der BFH.  
BFH HTI, 2501 Biel, benjamin.fumey@bfh.ch

**Michael Höckel** ist seit 1997 an der Berner Fachhochschule in Biel als Professor für Energiesysteme tätig. Seine Forschungsgebiete umfassen die Bereiche Modellierung von Drehstromnetzen, Elektrizitätswirtschaft und neue Energietechnologien.  
BFH HTI, 2501 Biel, michael.hoecke@bfh.ch

**Stefan Jud** ist El.-Ing. HTL mit betriebswirtschaftlichem Nachdiplomstudium als Wirtsch.-Ing. STV. In der Funktion als Geschäftsführer leitet er seit 2002 die Firma CEKA Elektrowerkzeuge in Wattwil. CEKA Elektrowerkzeuge AG & Co. KG, 9630 Wattwil, js@ceka.ch

**Marco Santis** studierte an der TU Graz technische Chemie und schloss mit einer Diplomarbeit im Bereich Lithium-Ionen-Batterien ab. Es folgte ein Forschungsjahr an der ENEA (Italian National Agency for New Technologies, Energy and the Environment) in Rom. Seine Dissertation (ETH Zürich) schrieb er im Bereich PEM-Brennstoffzellen beim Paul-Scherrer-Institut (PSI) in Villigen. Seit Mai 2006 ist er bei der Firma CEKA für den Bereich Brennstoffzellen, im Speziellen das Projekt IHPoS, verantwortlich.

CEKA Elektrowerkzeuge AG & Co. KG, 9630 Wattwil, sm@ceka.ch

## Résumé

### Des piles à combustible de prix abordable pour le commerce

Des feuilles estampées rendent la production plus économique. Les piles à combustible fonctionnent désormais fiablement dans de nombreux montages expérimentaux mais sont encore trop chères pour être achetées par les consommateurs. Le fabricant d'outils électriques CEKA et la Haute Ecole spécialisée bernoise sont en train de développer une pile à combustible PEM qui doit être disponible au printemps 2007 – à des prix abordables. La construction de l'empilage en éléments de feuilles estampées et l'intégration de fonctionnalités dans la pile réduisent les coûts de production.

## Studium und Karriere kombinieren

berufsbegleitend studieren in  
Zürich | Basel | Bern | Brig

[www.fernfhochschule.ch](http://www.fernfhochschule.ch)

### Bachelor-Studiengänge

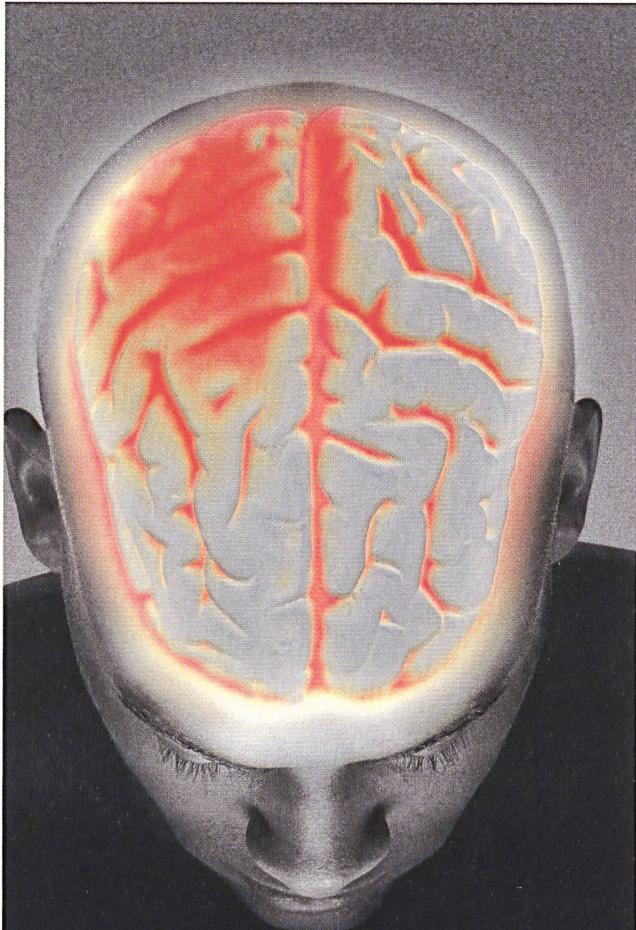
- Wirtschaftsingenieur
- Betriebsökonomie
- Informatik
- Wirtschaftsinformatik

### Master-Studiengänge

- Executive MBA
- MAS in Informatik
- MAS in Mehrwertsteuer

### CAS-, DAS-Kurse





## Der EMV-Ingenieur in Aktion

Die EMV-Ingenieure von montena emc zeichnen sich aus durch:

- einzigartiges Know-how in den Bereichen Elektromagnetismus, Hochfrequenz und Hochspannung
- eine langjährige Routine in der Realisierung von Standardprüfungen an allen möglichen Produktfamilien
- die Fähigkeit, besondere Versuche aufzubauen, welche auf den komplexesten Messmethoden basieren
- die Flexibilität, Versuche vor Ort unter schwierigsten Bedingungen durchzuführen
- langjährige Erfahrung im Bau von Prüfeinrichtungen



# montena

montena emc ag

Schweizer Leader in EMV und  
Funkkommunikation

montena emc ag • CH-1728 Rossens • [www.emc.montena.com](http://www.emc.montena.com)  
Tel. ++41 (0)26 411 93 33 • Fax ++41 (0)26 411 93 30  
Niederlassungen: Turgi, St. Gallen (Goldach)

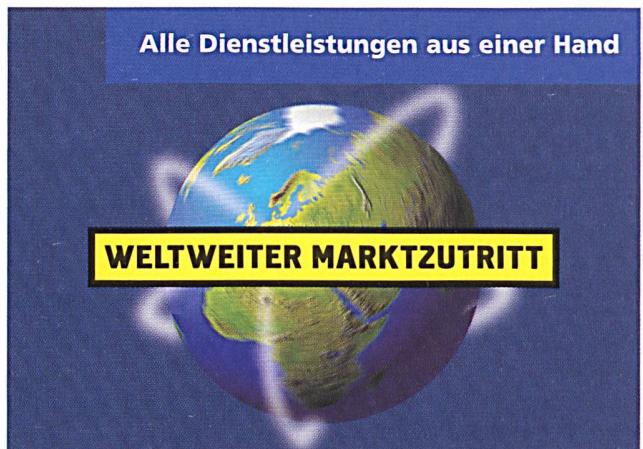
 **Systron** Magnetfeld-Abschirmtechnik

## NISV-Abschirmung für Trafos

- ✓ Kompaktabschirmung
- ✓ EWZ-Systron Co-Entwicklung
- ✓ AGW garantiert
- ✓ Geprüft von electrosuisse
- ✓ Empfohlen von electrosuisse
- ✓ Für 250kVA bis 1000kVA Trafos
- ✓ Passend für alle Oel-Trafos
- ✓ Passt in jede Trafozelle
- ✓ Einfach und schnell montiert
- ✓ Garantiert korrosionsfest

Systron EMV GmbH · Untere Bahnhofstrasse 25a  
Tel 044 937 53 50 · Fax 044 937 53 70 · [www.systron.ch](http://www.systron.ch)

Alle Dienstleistungen aus einer Hand



**WELTWEITER MARKTZUTRITT**

- Beratung Normen und EU-Richtlinien
- EMV und elektrische Sicherheit
- Risikoanalyse und Risikobewertung
- Typenprüfung und Expertisen
- Produktezertifizierung weltweit

Electrosuisse  
Luppenstrasse 1  
CH-8320 Fehrlitorf  
Tel. +41 (0)44 956 13 24  
[testing@electrosuisse.ch](mailto:testing@electrosuisse.ch)  
[www.electrosuisse.ch](http://www.electrosuisse.ch)

**electrosuisse** >>