

# DAS MAGAZIN FÜR WASSERSTOFF UND BRENNSTOFFZELLEN

# H zwei



→ VIER BRENNSTOFFZELLEN-LADE-  
GERÄTE BUHLEN UM ERSTE KUNDEN

→ EZELLERON ENTDECKT DAS CROWD-  
FUNDING FÜR DIE BZ-BRANCHE



# INHALTSVERZEICHNIS

## 2 Impressum

## 3 Editorial

## 4 Meldungen

Reiche wechselt zum VKU  
 Insolvenz von CFC  
 Acta steht vor dem Aus  
 Nacco übernimmt Nuvera

## 7 Messen

4. Energy Storage & 9. IRES in Düsseldorf  
 Mit Freikarten zur Hannover Messe

## 10 Energiespeicherung

Die Energiepalette – Mobiler Speicher mit BZ-System  
 Hocheffiziente solare Wasserstoffproduktion  
 Hochdynamisches Elektrolysesystem von Siemens  
 DLR-Forscher bauen Kombitank für Wasserstoff

## 18 Elektromobilität

2. Nationale Bildungskonferenz in Berlin  
 Fahrbericht über den VW e-up!  
 Serie: Elektromobilität in Niedersachsen  
 Interview mit Gernot Lobenberg, eMO Berlin  
 Neue H<sub>2</sub>-Tankstelle für Hamburg  
 Range Extender mit Methanol-Brennstoffzelle  
 HYKangoo – serienreifes Elektroauto mit Range Extenter

## 34 Markt

Gute Zahlen und starke Ausblicke  
 eZelleron: Kleines „Kraftwerk“ ganz groß  
 H<sub>2</sub>-Döschen für unterwegs

## 40 Entwicklung

Keramische Protonenleiter für Mikro-Brennstoffzellen  
 Innovatives Spannsystem für BZ-Stacks  
 Optische Wasserstoffsensoren

## 46 Infrastruktur

Aufruf: Kleinsysteme nicht vernachlässigen

## 48 Weiterbildung

etude 2. Teil: HyDrive-Elektromobilitätstrainer

## 50 Lesecke

## 52 Terminkalender

## 53 Firmenverzeichnis



16 Der Schwamm im Fahrzeugtank



18 Investition in Köpfe - 2. Nationale Bildungskonferenz



36 Brennstoffzellen-Ladegeräte im Vergleich

### IMPRESSUM HZwei

**ISSN:** 1862-393X  
**Jahrgang:** 15. (2015) / Heft 2, April 2015  
**Verlag:** Hydrogeit Verlag  
 Inh. Sven Geitmann, Gartenweg 5  
 D - 16727 Oberkrämer  
**Sitz:** Oberkrämer  
**USHD.:** DE 221143829  
**Redaktion & ViSdP:** Dipl.-Ing. Sven Geitmann  
**TEL/Fax:** +49 (0)33055 - 21322/20  
**E-Mail:** kontakt@hydrogeit.de  
**Internet:** www.hydrogeit-verlag.de, www.hzwei.info  
 www.hzwei.info/blog, www.twitter.com/hydrogeit  
**Design:** Dipl.-Des. Andreas Wolter, Weimar  
**Satz:** Dipl.-Des. Henrike Hiersig, Berlin

**Anzeigen:** Kirsten Laasner Projektmanagement, Kirchheim  
**Lektorat:** Dione Gutzmer, Berlin  
**Druck:** Printec Offset - Medienhaus, Kassel  
 PEFC-zertifiziertes Papier  
**Druckauflage:** 4.500 Stück (plus 10.000 Downloads/Jahr)  
**Erscheinungsweise:** 4 x jährlich  
**Einzelpreis (Inland):** 8 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 2,00 € Versand)  
**Jahrespreis (Inland):** 30,00 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 6,50 € Versand)  
**Einzelpreis (Europa):** 8 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 3,50 € Versand)  
**Jahrespreis (Europa):** 30,00 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 12,50 € Versand)  
**Studenten:** 50 % Ermäßigung  
**Kündigung:** jederzeit möglich, 6 Wochen vor nächster Ausgabe  
**Bank:** Mittelbrandenburgische Sparkasse  
**IBAN:** DE3716050003705002189  
**BAC:** WELADED1PMB

Namentlich gekennzeichnete Beiträge spiegeln die Meinung der Autoren wider und entsprechen nicht unweigerlich der Meinung der Redaktion.  
 Inhalte der Zeitschrift sowie der Homepage sind urheberrechtlich geschützt und dürfen nur nach ausdrücklicher Zustimmung des Hydrogeit Verlages vervielfältigt oder anderweitig veröffentlicht werden. Für unverlangt eingesandte Manuskripte und Fotos wird keine Haftung übernommen.  
**H<sub>2</sub>HYDROGEIT**  
 Verlag  
 Alle technischen Angaben in dieser Zeitschrift wurden von den Autoren, der Redaktion und dem Verlag mit größter Sorgfalt erarbeitet und zusammengestellt. Trotzdem sind Fehler nicht vollständig auszuschließen. Der Hydrogeit Verlag weist ausdrücklich darauf hin, dass er keine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen kann.  
**Titelbild:**  
 Vier BZ-Ladegeräte drängen auf den Markt.  
 [Fotos: eZelleron, Intelligent Energy, myFC]

2

# UNGEWISSHEIT

Liebe Leserinnen und Leser!

Am Technologiestandort Deutschland gibt es zuhauf Erfinder und Entwickler, die hervorragende neue technische Geräte konstruieren, damit das Leben noch einfacher, noch besser wird. Leider finden die meisten dieser Konstrukte nie den Weg auf den Markt, weil in der Regel nicht ausreichend Geld vorhanden ist, um den noch jungfräulichen Erfindungen den letzten Schliff zu verpassen.

„Jetzt fehlt nur noch der richtige Investor!“ Diesen Ausruf hört man auf Messen überall, doch leider sind die potentiellen Geldgeber meist nicht an unausgereiften Spielereien, sondern nur an marktreifen Neuheiten interessiert, die innerhalb kürzester Zeit ordentlich Profit erwirtschaften.

So erging es auch eZelleron: Jahrelang suchten die Dresdner auf Messen und anderen Veranstaltungen nach Investoren. Als kleines Technologieunternehmen unter Tausenden fielen die Brennstoffzellenentwickler aber niemandem so richtig ins Auge, da erstens kein Geld für professionelle Medienarbeit da war und zweitens kein durchdachtes Marketingkonzept vorlag, wodurch Aufmerksamkeit hätte erhascht werden können. Erste zaghafte Anläufe mit fachmännischer PR-Unterstützung zeigten zunächst nur mäßigen Erfolg, bis die richtige Idee geboren wurde: Crowdfunding.

In nur fünf Tagen sammelte das sächsische Start-up über 0,5 Mio. US-\$ ein, nach zwei Monaten waren es 1,7 Mio. US-\$. Sowohl die eZelleron-Mitarbeiter als auch die Brennstoffzellenbranche waren völlig überrascht von dem enormen internationalen Interesse und dem damit verbundenen Geldsegen (s. S. 36).

Wie Kerry-Ann Adamson von *4th Energy Wave* zu berichten wusste, gab es zuvor lediglich die Firma Neah Power, die über diese Art der „Schwarmfinanzierung“ versucht hat, ein Brennstoffzellenprojekt zu realisieren. Sie erreichte allerdings lediglich elf Prozent ihrer Zielvorgaben. Nach dem Erfolg von eZelleron stellt sich nun die ungewisse Frage, ob diese Art der Geldbeschaffung auch für andere Brennstoffzellenprojekte Vorbildfunktion haben könnte.

Lange Zeit ungewiss war auch die Frage, welche Rolle wohl Brennstoffzellen im Bereich der Consumer Electronics spielen werden: Dachten Ende des vergangenen Jahrhunderts noch etliche Entwickler, dass BZ-Systeme gerade im Segment kleiner, portabler Elektrogeräte mannigfaltig zum Einsatz kommen würden, muss heute konstatiert werden, dass weder Laptops noch Akkubohrer mit Brennstoffzellentechnik vorzufinden sind – jedenfalls kaum, zumindest bisher.

Es dürfte zwar mittlerweile feststehen, dass die derzeitige BZ-Technik nicht zum direkten Betrieb von Notebooks, Mobiltelefonen und Filmkameras geeignet ist. Aber einen Anwendungsbereich gibt es doch in diesem Technologiespektrum: die Akku-Aufladegeräte. Es hat zwar auch hier bedeutend länger gedauert als erwartet, aber im Laufe dieses Jahres dürfte die Anzahl kommerziell erhältlicher Brennstoffzellenbetriebener Ladegeräte auf vier steigen, so dass von einem richtigen Markt gesprochen werden kann.

Wie die *HZwei* im Oktober-Heft 2014 berichtete, musste das US-amerikanische Unternehmen Lilliputian Systems zwar kurz vor dem Markteintritt aufgeben, aber mit eZelleron, Intelligent Energy und myFC gibt es jetzt drei europäische Firmen, deren Geräten gute Chancen im Elektroniksektor eingeräumt werden (s. S. 37). Wann diese Technik



auch für Großkonzerne wie Apple interessant werden könne, ist jedoch noch ungewiss.

Ungewiss ist auch, welche Auswirkungen im Kfz-Sektor der niedrige Ölpreis auf die weitere Entwicklung haben mag: Wird der aufkeimende Markt für Elektrofahrzeuge gleich wieder erstickt oder ist das E-Auto-Pflänzlein bereits so groß, dass das Wachstum nicht mehr gebremst werden kann?

Nicola Brüning, Leiterin der BMW-Repräsentanz Deutschland, baut weiterhin auf E-Mobilität und erklärte unlängst gegenüber *HZwei*: „Ohne Nachhaltigkeit bringe ich meine Autos heute nicht mehr in den Markt. [...] Für die Premiumhersteller sind die 95 g<sub>CO2</sub>/km nur mit Elektroautos zu schaffen.“ Der E-Mobilitäts-Skeptiker Prof. Ferdinand Dudenhöffer von der Universität Duisburg-Essen sieht das gänzlich anders. Er will festgestellt haben, „dass alle alternativen Antriebe Stück für Stück absterben“. Als Begründung dafür gibt er an: „Die Vorgaben sind mit den konventionellen Fahrzeugen mit dicken Motoren gut erfüllbar.“

Wer von diesen beiden Experten Recht behalten wird, werden wir erst in einigen Monaten wissen. Dann wird sich auch zeigen, ob es tatsächlich gelingen wird, die Reichweite der Fahrzeuge merklich zu erhöhen, was zu neuem Schwung in der Elektromobilitätsbranche führen könnte. Hierzu sagte Brüning: „Die Reichweite von 150 km lässt sich weiter steigern.“ Dies sieht auch Renault so. Béatrice Foucher, die Direktorin von Renault Z.E., stellte in Aussicht, dass die nächste Fahrzeuggeneration 300 Kilometer weit mit einer Akkulation kommen könnte. Neuaufgaben vom *Leaf* und *Zoe* werden allerdings erst 2017 erwartet.

Währenddessen sorgt nanoFlowcell wieder für ordentlich Wirbel im Blätterwald: Mit dem neuen *Quant F*, der am 3. März 2015 auf dem Auto-Salon in Genf vorgestellt wurde, sollen angeblich bis zu 800 km gefahren werden können (Spitzengeschwindigkeit vollelektrisch: über 300 km/h). Nachdem *HZwei* eher kritisch über die Ambitionen von nanoFlowcell-Beau Nunzio La Vecchia berichtet hatte, mehren sich auch anderswo die skeptischen Stimmen. Ob dies alles nur ein großer „schöner“ Marketing-Gag ist, bleibt ungewiss ... ||

Herzlichst

Sven Geitmann  
*HZwei* Herausgeber

## REICHE WECHSELT ZUM VKU



Norbert Barthle [Foto: BMVI]

Katherina Reiche hat Anfang des Jahres ihren Posten als Parlamentarische Staatssekretärin im Bundesverkehrsministerium abgegeben. Auf eigenen Wunsch verließ die ehemalige brandenburgische CDU-Politikerin das Ministerium und wechselt zum Verband kommunaler Unternehmen (VKU). Dort wird sie ab dem 1. September 2015 als Hauptgeschäftsführerin tätig sein. Ihr Nachfolger als Staatssekretär

ist seit dem 4. Februar 2015 Norbert Barthle, der seit 2009 haushaltspolitischer Sprecher der CDU/CSU-Bundestagsfraktion war. Der Ministerialrat studierte Germanistik, Sportwissenschaften und Philosophie auf Lehramt und ist direkt gewählter Abgeordneter des Wahlkreises Backnang/Schwäbisch Gmünd. Bundesweit sorgte der Wechsel Reiches für Aufsehen, weil sie genau an dem Tag ihr politisches Amt niederlegte, an dem das Bundeskabinett beschloss, dass Regierungsmitglieder fortan nur mit einer zwölfmonatigen „Karenzzeit“ (in Sonderfällen von 18 Monate) in die Wirtschaft wechseln dürfen. Am selben Tag tagte auch der VKU-Vorstand, bei dem die Neuwahl eines neuen Hauptgeschäftsführers anstand. Einzige Kandidatin war Katherina Reiche. ||

nehmen. Obwohl das vierte Quartal besser lief, verließ der Mitgründer und ehemalige Geschäftsführer Paolo Bert Ende November 2014 das Unternehmen. Anfang Dezember 2014 wurde dann zu einer außerordentlichen Hauptversammlung wegen einer Kapitalerhöhung über mehrere Millionen Euro eingeladen. Wegen mangelnder Stimmenzahl wurde dieser jedoch nicht zugestimmt. Am 12. Dezember 2014 wurde die Aktie vom Handel ausgesetzt. Am 22. Dezember beantragte das in Crespina bei Pisa ansässige Unternehmen ein gerichtliches Ausgleichsverfahren, um zunächst die Geschäfte weiterführen zu können. Seitens der Firmenführung hieß es dazu: „Da hat es eine Mehrzahl an Parteien gegeben, die Interesse an einer weiteren geschäftlichen Zusammenarbeit mit Acta signalisiert haben aufgrund der unverwechselbaren Einsatzmöglichkeiten ihres alkalischen Elektrolyseurs.“ ||

## FREIWILLIGE INSOLVENZ VON CFC LTD.

Das australische Brennstoffzellenunternehmen Ceramic Fuel Cells Ltd. hat am 1. März 2015 „freiwillige Administratoren“ ernannt, die bis auf weiteres die Geschäfte weiterführen sollen. Drei Tage später hat daraufhin das deutsche Tochterunternehmen, die Ceramic Fuel Cells GmbH, die Eröffnung eines Insolvenzverfahrens beim Amtsgericht Aachen beantragt. Gemäß einer Verlautbarung aus Australien war diesen Schritten ein Vorstandsbeschluss vorausgegangen, der feststellte, dass CFCL „entweder insolvent war oder dass es wahrscheinlich war, dass es insolvent wird“. Die Australier erklärten, dass „die freiwilligen Administratoren eine dringende Überprüfung der ihnen zur Verfügung stehenden Optionen durchführen“. Der Handel mit Aktien von CFCL wurde mit sofortiger Wirkung ausgesetzt.

Der Grund für die Insolvenz der Heinsberger Tochtergesellschaft dürfte die fehlende finanzielle Unterstützung aus Australien sein. Andreas Ballhausen, Mitglied der CFC-Geschäftsleitung, erklärte gegenüber *HZwei*: „Für Kunden und Partner gibt es derzeit keine Auswirkungen. Wir halten den Service für die Bestandanlagen vollständig aufrecht.“ Weiter sagte er, es bestünde nicht die Absicht, von den derzeit 36

## ACTA STEHT VOR DEM AUS

Der italienische Hersteller von Brennstoffzellen und Elektrolyseuren Acta S.p.A. befindet sich in Insolvenz. Aus Börsenkreisen war zu hören, dass sich bereits Ende des dritten Quartals 2014 abgezeichnet habe, dass Acta das Geld auszugehen droht, unter anderem wegen eines Schiedsspruchs in Höhe von 1,35 Mio. Euro gegen das 2004 gegründete Unter-

# EISENHUTH

**DIE ZUKUNFT IST HEUTE**  
Wir produzieren die Bipolar-Platte.

Sie ist das Herzstück der Brennstoffzelle. Hier wird aus Wasserstoff plus Sauerstoff Strom erzeugt.

Das ist Energie in reiner Form... und tut der Umwelt gut!

[www.artzeuch.com](http://www.artzeuch.com)

Mitarbeitern welche zu entlassen. CFC hat bisher 560 stationäre Brennstoffzellengeräte europaweit installiert und hofft nun, für den weiteren Betrieb einen neuen Partner finden und die CFC-Gruppe restrukturieren zu können. Ballhausen erklärte: „Bei allen Risiken liegt für CFC auch eine große Chance darin, jetzt unter neuen Rahmenbedingungen einen Investor zu finden.“

Die australische CFC Ltd. hatte in den vergangenen Jahren wiederholt mit Problemen zu kämpfen. So mussten im Herbst 2012 zunächst die ursprünglichen Pläne, BZ-Geräte auch in Australien, Japan sowie Nordamerika anzubieten, aufgegeben werden. Anfang 2013 meldete zudem der ehemalige Vertriebspartner sanevo Insolvenz an, nachdem kurz zuvor sein spanisches Partnerunternehmen Efficient Home Energy S.L. (EHE) pleitegegangen war. ||

## TRIGENERATION FÜR SÜDAFRIKA



Die N<sub>2</sub>telligence GmbH hat ein Brennstoffzellensystem an Mitochondria Energy in Südafrika verkauft. Ende Dezember 2014 erfolgte die Inbetriebnahme des 100-kW-Geräts beim Chamber of Mines in Johannesburg. Das *TriGeneration*-Brennstoffzellensystem (s. Foto) versorgt das Gebäude der Minenaufsicht mit Strom und Wärme und sichert es gleichzeitig gegen etwaige Stromausfälle ab. Am 31. März 2015 erfolgte die offizielle Einweihung. Vergleichbare Anlagen von N<sub>2</sub>telligence stehen in Deutschland, beispielsweise seit Sommer 2013 in Frankfurt am Main, wo ein *QuattroGeneration*-Gerät das Rechenzentrum von Equinix mit Strom und Wärme versorgt sowie vor Brand schützt, und auch in Japan. ||

## HYTEC JETZT AUCH IN OSLO

Die Organisation *Hydrogen Transport in European Cities* (HyTEC) hat Anfang des Jahres angekündigt, ein neues Entwicklungszentrum in Norwegen aufbauen zu wollen. Wie das Konsortium am 28. Januar 2015 bekanntgab, wird dies nach Kopenhagen in Dänemark und London in Großbritannien der dritte europäische Standort zur Weiterentwicklung wasserstoffbetriebener Fahrzeuge. Neuer Partner innerhalb des von der Europäischen Kommission geförderten HyTEC-

Projekts wird Hyundai Motor, die im Laufe dieses Jahres insgesamt acht ihrer Brennstoffzellenautos *ix35 Fuel Cell* nach Oslo bringen werden. Diana Raine, HyTEC-Projektleiterin und bei Air Products verantwortlich für Wasserstoffenergie, erklärte zu dieser Projekterweiterung: „Wir hoffen, demonstrieren zu können, dass Wasserstoff kein Kraftstoff für die Zukunft, sondern für heute ist, der gefährliche Emissionen reduzieren und die Luftqualität in unseren Städten verbessern kann.“ ||

## NACCO ÜBERNIMMT NUVERA

Die NACCO Materials Handling Group hat Ende 2014 den US-amerikanischen Brennstoffzellenhersteller Nuvera Fuel Cells übernommen. Nuvera ist ein amerikanisch-italienisches Unternehmen mit Hauptsitz in Billerica, Massachusetts. Es ist spezialisiert auf die Entwicklung und die Produktion von Brennstoffzellen-Stacks und -Systemen für mobile Anwendungen sowie auf Wasserstoffversorgungssysteme für Niederflurzeuge. NACCO Materials Handling mit Hauptsitz in Cleveland, Ohio, beabsichtigt die zügige Integration von Nuveras BZ-Technik ins Unternehmen, insbesondere im Gabelstaplerbereich in Hyster®- und Yale®-Produkten. Hyster-Yale Materials Handling gilt weltweit als eine der führenden Marken unter den Gabelstaplerherstellern. Bereits im Oktober 2010 war Robert Schafer von NACCO zu Nuvera Fuel Cells gewechselt und hatte den Posten des Vize-Präsidenten für Vertrieb und Marketing übernommen. ||

5



GRUPEXHIBIT  
HYDROGEN  
FUEL CELLS  
BATTERIES

H2FC-FAIR.com

## Europas größte Wasserstoff, Brennstoffzellen und Batterien Plattform

- 150 Aussteller aus 25 Ländern
- 5.000 m<sup>2</sup> Ausstellungsfläche
- 15.000 m<sup>2</sup> Ride+Drive Außenfläche
- 200 Interviews und Präsentationen



**HANNOVER MESSE 2015**

April 13–17, Hall 27, C66

[hannovermesse.de](http://hannovermesse.de)

**Celerity Fuel Cell Power System** is purposely developed for medium and heavy duty buses and trucks with design optimizations that significantly reduce integration time and costs.



**CELERITY**  
purpose-built for heavy duty mobility™

### Zero in on Celerity

- Zero emissions
- Zero hours for fuel cell integration\*
- Zero others with equal reliability
- Zero time to wait – “We’re Ready”
- Many reasons to find out more

Accelerate your pace to commercial fuel cell vehicles.

Visit Booth C59 in Hall 27  
or contact **Martin Troeger**  
mtroeger@hydrogenics.com  
49.2043.944.141

**Mark Kammerer**  
mkammerer@hydrogenics.com  
49.2043.944.142

\* CelerityPlus option

## NEUE HUBJECT-FÜHRUNG

Die Hsubject GmbH hat seit dem 5. Januar 2015 eine neue Geschäftsführung. Das Berliner Joint Venture, das sich insbesondere um den Aufbau eines paneuropäischen Marktplatzes für Elektromobilitätsdienstleistungen kümmert (s. HZwei-Heft Jan. 2015), wird fortan von Thomas Daiber und Christian Hahn, die beide auch zuvor schon bei Hsubject tätig waren, geleitet. Der bisherige Geschäftsführer Andreas Pfeiffer schied aus dem Unternehmen aus. Die Gesellschafter BMW, Bosch, Daimler, EnBW, RWE und Siemens beschlossen diesen Personalwechsel, „um mit dieser Neuausrichtung den aktuellen Veränderungen im Elektromobilitätsmarkt Rechnung zu tragen“. Hintergrund ist eine zunehmende Europäisierung des Tätigkeitsfeldes, die mit weiteren nationalen und internationalen Partnerschaften einhergehen soll. ||

→ [hsubject in Hannover: Halle 27, Stand H90](#)

## OMV TRITT CEP BEI

Die *Clean Energy Partnership (CEP)* vergrößert sich zunehmend: Am 3. März 2015 trat die OMV Deutschland GmbH dem Firmenzusammenschluss bei. OMV betreibt bereits eine Wasserstofftankstelle am Flughafen Stuttgart und plant den Bau von drei weiteren Stationen in Süddeutschland. Zudem eröffnete das Unternehmen im Herbst 2012 die erste H<sub>2</sub>-Tankstelle Österreichs in Wien-Floridsdorf. Im Herbst 2014 folgte eine weitere in Innsbruck, Bozen, an der unter anderem fünf Exemplare vom Hyundai ix35 Fuel Cell tanken. ||

## SCHILLER VERLÄSST PROTON ONSITE

Mark S. Schiller, ehemaliger Vice President Business Development bei Proton OnSite, hat Anfang dieses Jahres den US-amerikanischen Elektrolysehersteller verlassen und arbeitet fortan für die Wind Group, einen industriellen Hersteller von Schließern, Scharnieren und Griffen. Schiller erklärte gegenüber HZwei: „Mein Posten wurde gestrichen, das ist der Grund, wes-

halb ich nicht länger bei Proton bin.“ Seine Aufgaben dürfte voraussichtlich David Bow, der im Juni 2014 als Senior Vice President Sales and Marketing zu dem in Wallingford, Connecticut, beheimateten Unternehmen kam, mit übernehmen. Schiller war seit September 2004 für Proton OnSite tätig und während der Hannover Messe stets regelmäßiger Gast auf dem Gemeinschaftsstand Wasserstoff und Brennstoffzellen. ||

→ [Proton OnSite auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand C70](#)

## BIOLOGISCHE METHANISIERUNG



Abb. 1: Skizze der Referenzanlage in Allendorf [Quelle: MicrobEnergy]

Die Arbeiten an der Power-to-Gas-Pilotanlage in Allendorf (Eder) schreiten voran, so dass voraussichtlich noch in diesem Jahr 2015 die Einweihung der zweiten Ausbaustufe erfolgen wird. Erstmals soll in der Anlage großtechnisch die „biologische Methanisierung“ umgesetzt werden. Anfang März 2015 ging dafür die erste Ausbaustufe in Betrieb. Hierbei wird Methan, das mithilfe eines biologischen Verfahrens aus regenerativem Überschussstrom hergestellt wird, in das öffentliche Erdgasnetz eingespeist. Das eingesetzte Verfahren basiert auf den Ergebnissen des BioPower2Gas-Projekts. Im zweiten Schritt sollen Wasserstoff aus einer Elektrolyseanlage (max. 400 Nm<sup>3</sup>/h) sowie CO<sub>2</sub> aus einer Biogasaufbereitungsanlage in Biomethan umgewandelt werden. Beteiligt an diesem vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projekt sind unter anderem die MicrobEnergy GmbH, ein Tochterunternehmen der Viessmann Group, sowie als Koordinator das Institut dezentrale Energietechnologien gGmbH (IdE). Details folgen im nächsten HZwei-Heft im Juli 2015. ||

# ENERGIESPEICHERUNG IST (K)EIN THEMA

## 4. Energy Storage und 9. IRES in Düsseldorf



Abb. 1: Der Konferenzsaal war gut gefüllt.

Ist Energiespeicherung heute ein Thema? Diese Frage wurde während der *Energy Storage Europe*, die vom 9. bis zum 11. März in Düsseldorf stattgefunden hat, von allen erdenklichen Seiten und auch von allen erdenklichen Personen beleuchtet. Während aber teils noch heftig über diesen Punkt gestritten wurde, zeigte gerade die lebhafteste Diskussion, dass die Zusammenlegung der Veranstaltungen vom Bundesverband Energiespeicher (BVES), von Eurosolar, von OTTI, von der Solarallianz, vom VDE sowie von der Messe Düsseldorf genau zum richtigen Zeitpunkt kam. Durch das Zusammenspiel all dieser Veranstalter sowie deren Klientel ist eine große Plattform mit insgesamt fünf Konferenzen und einer Messe entstanden, auf der endlich mal wieder so etwas wie Aufbruchsstimmung geschnuppert werden konnte.

Die Stimmung im Congress Center Düsseldorf (CCD) war bestens, die Teilnahme sehr gut. Der große Konferenzsaal, in dem am ersten Veranstaltungstag gemeinsam im Rahmen der 9. IRES sowie der 4. Energy Storage die Begrüßungsreden und Keynotes gehalten wurden, war bis zum Abend gut gefüllt (s. Abb. 1). Auch im Ausstellungsbereich herrschte – selbst während des Konferenzbetriebs – reges Treiben, ebenso im Foyer, wo vielfach bereits konkrete Verhandlungen geführt wurden.



Abb. 2: Prof. Dr. Eicke Weber

Unter den nicht ganz 100 Ausstellern waren vornehmlich Batterieproduzenten und -zulieferer, aber auch Power-to-Gas-Firmen sowie Elektrolyseurhersteller. sunfire-Geschäftsführer Christian von Olshausen konnte beispielsweise berichten, dass die Produktion in der Power-to-Liquids-Demonstrationsanlage in Dresden nach dem Austausch einiger Komponenten um 3:00 Uhr am Sonntag zuvor ge-

startet wurde. Eine Premiere feierte auch die Areva H<sub>2</sub>Gen GmbH, die sich gerade erst wenige Tage zuvor als deutscher Ableger des Zusammenschlusses aus den französischen Firmen Areva Energy Storage und CETH<sub>2</sub> gegründet hatte.

„**MOMENTAN KEIN BEDARF**“ Die meisten der rund 1.500 Teilnehmer waren sich darin einig, dass die Speicherung von Energie zunehmend an Bedeutung gewinnt. Prof. Dr. Eicke R. Weber, BVES-Präsident und Leiter des Fraunhofer ISE, formulierte das so: „Der Sinn und die steigende Notwendigkeit von Speichern ist nicht mehr zu bestreiten.“ Auch Prof. Peter Droege, Präsident von Eurosolar, stellte nüchtern fest: „Speicher sind einfach essentiell.“ Und Prof. Dr. Michael Sterner, Versammlungsleiter der *Power-to-Gas*-Konferenz, ergänzte: „Ohne Speicher wird die Energiewende deutlich teurer.“

Gänzlich anders zeigte sich die Wahrnehmung im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Der Sprecher aus dem Hause von Minister Sigmar Gabriel stellte fest: „Momentan gibt es keinen Bedarf an Energiespeichern.“ Weiter sagte er: „Wir müssen erst einmal die kostengünstigste Lösung finden.“ Prof. Weber entgegnete dem umgehend, indem er darauf hinwies, dass die Solarindustrie gezeigt hätte, dass eine Kostenreduktion am einfachsten über einen schnellstmöglichen Markteintritt erreicht würde.

Hildegard Müller, Vorsitzende der Hauptgeschäftsführung des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) kritisierte erneut, dass im Koalitionsvertrag die Überprüfung der Letztverbraucherabgaben vereinbart worden war, dass diesen Ankündigungen aber bisher keine Taten gefolgt seien. Sie sagte: „Energiespeicher werden als Letztverbraucher behandelt, obwohl sie es physikalisch nicht sind.“ Auch der BVES erklärte dazu: „Ein Energiespeicher ist kein Energieverbraucher. Und auch kein Kraftwerk. Das begreift jedes Kind.“ Dr. Annegret Groebel, Abteilungsleiterin bei der Bundesnetzagentur, entgegnete derartigen Ausführungen jedoch: „Speicher sind aus unserer Sicht Verbraucher.“ ||

Spontanen Applaus erhielt die auf Energierecht spezialisierte Rechtsanwältin Dr. Dörte Fouquet, als sie den vom BMWi favorisierten Kapazitätsmarkt eine „Rettungsbeihilfe für abgehalfterte Energiekonzerne“ nannte.

## AREVA H<sub>2</sub>Gen

/ PEM ELECTROLYSER

Today's Flexible &  
Cost Effective Technology

/ HANOVER FAIR 2015

Hall 27, Booth C57



# VERNETZUNG VON STROM, WÄRME, MOBILITÄT & SPEICHERN

## Mit Freikarten zur Hannover Messe 2015

Wie die Deutsche Messe AG im Januar 2015 verkündete, wird **Energiespeicherung** ein ganz zentrales Thema während der diesjährigen Hannover Messe sein. In Halle 27 wird sowohl auf dem *Gemeinschaftsstand Hydrogen + Fuel Cells + Batteries* als auch auf der *MobiliTec* umfangreich über diese Thematik informiert. Nach Angaben der Messeleitung präsentieren insgesamt mehr als 300 Unternehmen vom 13. bis 17. April 2015 Technologien und Lösungen für Mobilitäts- und Speicherkonzepte.

Zu den fünf wichtigsten Bereichen, die 2015 auf den insgesamt zehn Leitmesen thematisiert werden, zählt neben Industrieautomation und IT, Antriebs- und Fluidtechnik, industrieller Zulieferung sowie Produktionstechnologien und Forschung auch der Sektor Energie- und Umwelttechnologie. Mehr und mehr hat auf diesem Gebiet in den vergangenen Jahren die Energiespeicherung an Bedeutung gewonnen. Das wird nicht zuletzt bei den großen Unternehmen aus der Erneuerbare-Energien-Branche deutlich, die sich nicht mehr nur um die Stromgeneration, sondern zunehmend auch um die Speicherung und die effiziente Vernetzung von Strom, Wärme, Mobilität und Speichern Gedanken machen.

So wird beispielsweise E.ON die Ergebnisse seines Power-to-Gas-Projekts in Falkenhagen und Siemens die mit dem neuen PtG-Vorhaben im Energiepark Mainz verbundenen Erwartungen auf dem von Tobias Renz organisierten Gemeinschaftsstand vorstellen. Bernd Bartels, Geschäftsführer der ebenfalls dort ausstellenden BeBa H<sub>2</sub> Speichersysteme GmbH, sagte dazu: „Mit dem stets zunehmenden Anteil von erneuerbaren Energien brauchen wir mehr und mehr die Umwandlung des grünen Stroms in Wasserstoff, der entweder in der Industrie oder in der Mobilität verwertet wird.“ Deswegen setzt er „künftig auf die Erzeugung von Wasserstoff“. In Hannover wird er 1- und 2-MW-PEM-Elektrolyseure vorstellen.

**EINIGE KOMMEN, ANDERE GEHEN** Immer mehr an Bedeutung gewinnen auch Batteriehersteller. Die Saft S.A. wird beispielsweise elektrochemische Energiespeicherlösungen (Lithium-Ionen-Akkus), die bei großtechnischen Anwendungen für Strom aus erneuerbaren Energien bereitstehen,

präsentieren. Unternehmen wie Gildemeister energy solutions gehen da noch einen Schritt weiter und zeigen Komplettlösungen zur Einsparung, Erzeugung und Speicherung von Energie in eigens entwickelten Vanadium-Redox-Flow-Batterien. Lars Möllenhoff, Geschäftsführer der Speichersparte, erklärte: „Vanadium hat den Vorteil, dass es beim Laden und Entladen nicht an Kapazität verliert und so der Energieträger praktisch unbegrenzt haltbar ist.“ Gildemeister energy solutions ist in diesem Jahr erstmals in Hannover mit dabei und wird den *CellCube FB 30-130* vorstellen.

Nicht mehr dabei ist in diesem Jahr beispielsweise Truma, da die Produktion des Brennstoffzellensystems *VeGA* bereits vor über einem Jahr eingestellt wurde. Seitens einer Unternehmenssprecherin hieß es dazu gegenüber *HZwei*: „Die Einstellung der *VeGA* war eine sehr schwierige und schmerzliche Entscheidung für unser Unternehmen, das über Jahre hinweg viel Geld, Zeit, Know-how und Herzblut investiert hat, um das Produkt auf den Markt zu bringen. Leider konnten wir keine signifikanten Stückzahlen im Caravaning- und Industriebereich erreichen und mussten die *VeGA* die letzten zwei Jahre subventionieren. Das war wirtschaftlich nicht mehr tragbar. Eine echt traurige Sache, da die Idee, Flüssiggas in Strom zu verwandeln, ja wirklich innovativ war. Selbstverständlich stellen wir den Service und die Gewährleistung für alle im Markt befindlichen Geräte sicher.“

**SOFC-TECHNIK AUS DRESDEN** Erfreulichere Neuigkeiten aus der BZ-Branche gibt es vom Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS). Die von den Dresdnern entwickelte flüssiggasbetriebene *eneramic*-Zelle (100 W) befindet sich nach drei Prototypengenerationen

### TOYOTA MIRAI

Mitte März 2015 konnte Tobias Renz 145 Aussteller auf seinen 5.000 m<sup>2</sup> Ausstellungsfläche vorweisen. Gegenüber *HZwei* erklärte er: „Ich denke Highlight wird sein, dass das Fahrzeug von Toyota, der *Mirai*, auf dem Freigelände gezeigt und für spezielle Gäste auch gefahren werden kann.“

- Wasserstoff
- Infrastruktur
- Brennstoffzellen

Der DWV ist die deutsche Interessenvertretung für Wasserstoff und Brennstoffzellen in Wissenschaft, Wirtschaft und Politik



Kontakt: [www.dwv-info.de](http://www.dwv-info.de) / (030) 398 209 946-0

Bestellungen für Toyota „Mirai“ übertreffen Erwartungen ... EU-Projekt soll Zertifizierung für „grünen Wasserstoff“ vorbereiten ... CEN gründet hochrangige Arbeitsgruppe für „Power-to-Gas“ ...



Abb. 1: Modell des am IKTS konzipierten eneramic-Systems [Quelle: Fraunhofer IKTS]

kurz vor der Markteinführung. Aktuell läuft in der sächsischen Landeshauptstadt am Großen Garten ein sechsmonatiges Pilotprojekt, in dessen Rahmen seit Ende Januar 2015 testweise LED-Verkehrsanzeigen über die Hochtemperatur-Brennstoffzelle mit Strom versorgt werden. Auf diese Weise könnten zukünftig aufwändige Akkuwechsel überflüssig werden. Werner Großmann, Niederlassungsleiter der beteiligten B.A.S. Verkehrstechnik AG, erklärte: „Derzeit müssen die Akkus bis zu zweimal pro Woche gewechselt werden. Das mit handelsüblichem Propan gas versorgte Brennstoffzellensystem liefert Energie für bis zu drei Wochen. Der niedrigere Wechsellaufwand bedeutet eine deutliche Senkung des Gefährdungspotenzials bei Arbeiten unmittelbar an der Autobahn.“

Der stellvertretende Institutsleiter Prof. Dr. Michael Stelter bestätigte gegenüber *HZwei*, dass in Hannover „das System natürlich in seiner neuesten, nochmals verkleinerten Version vorgestellt wird“. Weiter erklärte er, dass sich das Fraunhofer IKTS derzeit mitten im Kommerzialisierungsprozess befindet, dass die Technik also zu einem industriellen Hersteller überführt werden soll. Details über das netzunabhängige Batterieladesystem wird Dr. Marc Bednarz, externer Berater des IKTS, am 15. April auf dem Gemeinschaftsstand im Public Forum (Halle 27, Stand C66) mitteilen.

**BOSCH ARBEITET AM GOOGLE CAR** Auf der Elektromobilitätsmesse *MobiliTec* ist in diesem Jahr wieder der Baden-Württemberg-Pavillon eine interessante Anlaufstelle. Auf über 600 m<sup>2</sup> repräsentieren insgesamt 37 Institutionen das südwestliche Bundesland als breit aufgestellten Standort für Forschung und Wertschöpfung. Franz Loogen, Geschäftsführer der e-mobil BW GmbH, sagte: „Es ist klar, dass das Auto zukünftig elektrischer, intelligenter und vernetzter sein wird.“ Weiter berichtete er über konkrete Vorhaben: „Bosch liefert zum Beispiel den Powertrain für das *Google Car* und ist ein Technologiepartner von Tesla.“ ||

#### KOSTENLOSE FACHBESUCHER-TICKETS

Der Hydrogeit Verlag stellt den Leserinnen und Lesern der Zeitschrift *HZwei* Gratis-Eintrittskarten für die weltweit größte Industrieschau zur Verfügung: Um kostenlose Fachbesucher-Tickets zu bekommen, gehen Sie bitte einfach auf die Internet-Seite [www.hannovermesse.de/aktion?47h3v](http://www.hannovermesse.de/aktion?47h3v). Auf dieser Website erhalten Sie nach Registrierung per E-Mail ein personalisiertes e-Ticket. Die ausgedruckte Eintrittskarte im DIN-A4-Format ermöglicht Ihnen an allen Veranstaltungstagen den freien Zugang zum Messegelände, beinhaltet aber – anders als in der Vergangenheit – keinen Fahrausweis für öffentliche Verkehrsmittel (GVH).

# WORLD OF ENERGY SOLUTIONS

12.–14. Oktober 2015

Messe Stuttgart



## Wasserstoff: zentraler Baustein der Energie- und Mobilitätswende

Als Teil der **WORLD OF ENERGY SOLUTIONS** zeigt der f-cell Themenbereich die aktuellen Entwicklungen in den stationären und mobilen Anwendungsgebieten der Brennstoffzelle auf. Wasserstoff besitzt als Großspeichermedium in neuen Anwendungsfeldern und vernetzten Energiesystemen großes Potenzial. Dieses gilt es zu diskutieren und zu nutzen. Ein Schwerpunkt liegt 2015 auf der Serienfertigung von Brennstoffzellenfahrzeugen und deren Integration in ein intelligentes Gesamtspeicher- und -versorgungskonstrukt.

Präsentieren Sie Ihr Unternehmen auf der **WORLD OF ENERGY SOLUTIONS**, der Schlüsselveranstaltung in den Bereichen Batterietechnologie, Energiespeicherung, Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie und elektromobile Lösungen.

[www.world-of-energy-solutions.de](http://www.world-of-energy-solutions.de)

- BeBa H<sub>2</sub> Speichersysteme auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand C70
- e-mobil BW auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand H85
- Fraunhofer IKTS auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand C55
- Gildemeister energy solutions auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand E41

# DIE ENERGIEPALETTE

## *H<sub>2</sub>-Behälter mit BZ-System für den mobilen Einsatz*



Abb. 1: Das mobile Energieversorgungssystem, aufgebaut auf der Transportpalette [Foto: Hydrogenics]

Der Transport von Wasserstoff ist immer wieder ein zentrales Thema, unabhängig davon, ob es speziell um die H<sub>2</sub>-Mobilität oder allgemein um die Energiespeicherung geht. Einerseits wird Wasserstoff zwar schon seit weit über 100 Jahren in großen Mengen auf deutschen Straßen befördert, andererseits stellen sich Anwender immer wieder die Frage, ob die Transportbehälter ausreichend sicher sind. Die Wehrtechnische Dienststelle für Kraftfahrzeuge und Panzer (WTD 41) arbeitet schon seit vielen Jahren an dieser Thematik.

Seit 2007 ist die WTD 41 in Trier Außenstelle Koblenz beauftragt, die mobile Energieversorgung von Feldlagern der Bundeswehr unter Berücksichtigung alternativer Energien zu optimieren (s. H<sub>2</sub>-Heft Apr. 2012). Vieles wurde seitdem im Bereich der Wasserstofftechnik auf den Weg gebracht – von einer leisen Brennstoffzellen-Box, die laute Dieselaggregate ersetzen kann, bis hin zu Beschussversuchen, bei denen das Berstverhalten von Druckbehältern untersucht wurde (s. H<sub>2</sub>-Heft Jul. 2012).

Zur Einbettung der Wasserstofftechnik ins alternative Gesamtenergiekonzept der Bundeswehr ist die Wasserstoffspeicherung ein fundamentaler Bestandteil. An der WTD 41 wurde bereits vor drei Jahren ein Konzept für einen 10-Fuß-Container erarbeitet. Mit dem damals konzipierten Container konnten in insgesamt 30 Druckgasflaschen über 3.300 Kubikmeter gasförmigen Wasserstoffs gespeichert und befördert werden. Aufgrund von militärischen Randbedingungen und aus Gründen der Sicherheit wurde dieses Konzept zugunsten von geringeren zu transportierenden Mengen reduziert.

**450 M<sup>3</sup> WASSERSTOFF AUF EINER PALETTE** Basierend auf dem damaligen (Speicher-)Konzept hat die WTD 41 in den vergangenen Monaten gemeinsam mit Industriepartnern eine Energiepalette als Prototyp beziehungsweise Demonstrator konzipiert, die als Transportlösung sowohl bei der Bundeswehr als auch im zivilen Bereich einsetzbar ist. Eine erste Demonstrationsanlage wurde der Wehrtechnischen Dienststelle für Kraftfahrzeuge und Panzer im September 2014 von der Firma Hydrogenics übergeben.

Die in diesem Demonstrator zum Einsatz kommenden Composite-Behälter mit Metallinliner (Typ III) wurden eigens vom Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT) und der Firma Dynetek im Auftrag der WTD entwickelt und im vergangenen Jahr für den freien Markt zertifiziert (nach ADR für Wasserstoffgas zum Transport auf Straße und Schiene zugelassen). Durch die IATA-Zulassung (s. unten) sind die Behälter sogar als Luftfracht transportabel. Insgesamt sechs dieser 150 Liter fassenden Drucktanks wurden dabei auf einer Transportplattform, die bei der Bundeswehr zur Lagerung, zum Transport und zum Umschlagen von Lasten bis zu 1.700 Kilogramm dient, installiert (s. Abb. 1). Bei 500 bar Speicherdruck können damit maximal 450 m<sup>3</sup> Wasserstoffgas transportiert werden, im Vergleich zu 120 m<sup>3</sup> im konventionellen Stahlflaschenbündel (bei 200 bar).

Auf dieser so genannten Energiepalette wurde zudem ein PEM-Brennstoffzellensystem installiert, das über ähnliche Leistungsdaten wie ein konventioneller (Diesel-)Generator verfügt. Über ein Druckminderungssystem wird der Wasserstoff zunächst von 500 auf 30 bar und dann auf unter 6 bar zum Betrieb der Brennstoffzelle expandiert. Aufgrund der vorgegebenen „Ein-Knopf-Bedienung“ (s. Abb. 2) ist das System einfach zu handhaben. Nach der Aktivierung geht die Brennstoffzelle zunächst in den Stand-by-Betrieb und läuft je nach Lastanforderung automatisch hoch.

**DEUTLICHE VORTEILE** PEM-Brennstoffzellen haben gegenüber einem vergleichbaren Dieselaggregat militärspezifische Vorteile, zum Beispiel keine gesundheitsgefährdenden Abgase, im Wesentlichen nur Wasser als Reaktionsprodukt der „kalten“ Verbrennung, reduzierte Wärmeabstrahlung, geringere Betriebsgeräusche sowie keine Vibration von Seiten der Brennstoffzelle und somit keinerlei Beeinflussung des übergeordneten Systems.



Abb. 2: Einfache Bedienung [Foto: WTD 41]

Die flüssigkeitsgekühlte Brennstoffzelle leistet nach erfolgtem Anlauf kurzfristig maximal 8,5 kW. Ihre Leistungsabgabe wird spätestens nach 15-minütiger Dauerlast auf 5 kW gedrosselt. Die WTD 41 geht davon aus, dass bei einem denkbaren „Baukastensystem“ auch größere Grundsysteme mit 15 oder 30 kW Leistung im vorhandenen Bauraum des Paletten-Aufbaus untergebracht werden können.



Abb. 3: Neue Composite-Bündel (ohne seitliche Verkleidung), auf der Hannover Messe bei Wystrach in Halle 27, Stand E40 [Foto: WTD 41]

Aufgrund der großen mitgeführten Menge an Wasserstoffgas kann von einer möglichen Betriebsdauer von etwa acht Tagen ausgegangen werden (bei ca. 60 % Abdeckung über 24 Stunden), wobei wahlweise 12 V, 24 V, 230 V und auch 400 V zur Verfügung gestellt werden können.

**MEHR WASSERSTOFF, WENIGER GEWICHT** Ergänzend zur neuen Energiepalette wurden der WTD 41 in Koblenz auch zwei neue Gasflaschenbündel aus Composite-Werkstoff (500 bar, s. Abb. 3) übergeben. Es wurden wie auch bei der Energiepalette baugleiche 150-l-Behälter im Gasflaschenbündel verbaut. Die Grundfläche der Bündel ist angelehnt an die Größe einer EURO-Palette (120 cm x 90 cm), was bei der optimierten Platzierung auf einer Lkw-Pritsche von Vorteil ist. Aus Platzgründen wurden die Einzel tanks versetzt zueinander auf dem Grundrahmen platziert. Dies hatte zum Vorteil, dass zusätzlich ein Armaturenschrank zur Unterbringung von Ausstattungsmaterial integriert werden konnte (s. Abb. 4).



Abb. 4: Armaturenschrank mit weiteren Versorgungskomponenten [Foto: WTD 41]

Die von der Firma Wystrach konzipierten und hergestellten Bündel (Einzelgewicht: 800 kg) sind zugelassen für den Straßen- und den Bahntransport sowie für die Beförderung in zivilen Transportflugzeugen. Die IATA-Vorgaben hierfür beinhalten das Vorhandensein

- von mechanisch absperribaren Flaschenventilen,
- einer Ringleitung zum Befüllen/Entnehmen des Gases, welche entlüftet werden kann,
- einer Stickstoff-Flasche zum Spülen der Füllleitung vor dem Lufttransport.

Diese Grundvoraussetzungen wurden beim Bau des Bündels realisiert.

Des Weiteren werden alle zivilen Rahmenbedingungen erfüllt. Das Gestell inklusive aller Halterungen ist für eine Beschleunigung vom neunfachen Wert der Erdanziehung (9 g) ausgelegt. Zur Unterbringung der wesentlichen Ausstattungsteile und Bedienelemente ist ein Armaturenschrank eingebaut, in dem sich weitere Komponenten wie beispielsweise Druckminderer, Sicherheitsabsperrentil, Manometer, Rückschlagventil und Stickstoffflasche mit Schlauch zum Rückspülen sowie das Erdungskabel befinden.

Neben dem Füll- und Entnahmeventil für die Druckstufe von 500 bar ist ein Druckminderventil mit einer Anschlussmöglichkeit für die Entnahme von 200 bar verbaut. Dies hat den Vorteil der weiteren Verwendung der „alten“ Druckschiene bei Nutzung des größeren Speichervorrates mit 500 bar. ||

→ Hydrogenics auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand C59

→ Fraunhofer ICT auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand B72

Autor:



Peter Otte

WTD 41 – Geschäftsfeld 230 Batterien, elektrische Energieversorgungssysteme, Trier  
→ PeterOtte@bundeswehr.org

# HOCHEFFIZIENTE SOLARE WASSERSTOFF-PRODUKTION

**HyCon®: Wirkungsgradsteigerung auf über 20 % erwartet**



Abb. 1: Realisiertes HyCon®-Sechsermodul zur hocheffizienten solaren Wasserstoffproduktion

Wasserstoff als Sekundärenergieträger kann beim Umstieg von fossilen Brennstoffen auf regenerative Energien eine zentrale Rolle einnehmen. Da jedoch das Angebot beispielsweise von Wind- und Sonnenenergie oftmals zeitlich nicht mit dem Energiebedarf korreliert, ist nur eine bedingt vorhersehbare Netzeinspeisung von Wind- und Solarstrom gegeben. Eine Kopplung von erneuerbaren Energien mit Energiespeichern, die überschüssigen Strom speichern können, wäre somit von großem Vorteil. Der Anteil erneuerbarer Energien zur Stromproduktion soll laut Bundesregierung in Deutschland bis zum Jahre 2020 auf 35 % erhöht werden [1]. Der dabei überschüssig produzierte Strom lässt sich für Energiemengen im MWh- bis TWh-Bereich unter anderem in Wasserstoff überführen. Werden zudem Speicherzeiträume von Wochen bis zu Monaten angestrebt, so kann im Vergleich zu klassischen Speichern (z. B. Pumpspeicherkraftwerke, Batterien oder Supercaps) nur Wasserstoff obige Herausforderungen erfüllen. Bei Bedarf kann dieser wieder für den stationären oder mobilen Sektor zurückverstromt oder in andere chemische Energieträger umgewandelt werden.

Für eine klima- und ressourcenschonende Wasserstoffbereitstellung ist schon seit Jahrzehnten die Umwandlung von Sonnenlicht in Wasserstoff Gegenstand intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Hierzu wurden in der Vergangenheit unterschiedlichste Ansätze verfolgt. So kann solarer Wasserstoff zum Beispiel mit Hilfe der biologischen Wasserspaltung durch Bakterien und Algen, der solarthermischen Aufspaltung von Wasser bei hohen Temperaturen oder aber auch durch photoelektrochemische Zellen hergestellt werden.

In letzterem Verfahren befinden sich die Halbleiterschichten und der Elektrolyt in direktem Kontakt, was zu hoher Materialbeanspruchung und somit zu einer Reduzierung der Lebensdauer führt. Es besteht aber auch die Möglichkeit, Solarzellen und Elektrolysezelle räumlich zu trennen und den Solarstrom mittels eines DC-DC-Wandlers an die Elektrolysezelle anzupassen. Um die Gesamteffizienz weiter zu steigern, kann dies auch ohne DC-DC-Wandler erfolgen. Zur Kopplung mit einer Solarzelle eignet sich vor allem die Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEM-Elektrolyse), deren Kernkomponente die Membran-Elektroden-Einheit (MEA) ist. Dieses Verfahren kann kurzfristig mit hoher Überlast betrieben werden und weist eine sehr hohe Modulationsbreite im Millisekundenbereich auf. Somit kann es auf Leistungsprofiländerungen sehr schnell reagieren. Zudem wurde mit der PEM-Elektrolyse bereits eine hohe Betriebsstundenzahl nachgewiesen (über 60.000 Std.).

**KOPPLUNG VON SOLAR- UND ELEKTROLYSEZELLEN** Um solaren Wasserstoff möglichst hocheffizient zu produzieren, können konzentrierende III-V-Mehrfachsolarzellen, die aus Elementen der III. und V. Hauptgruppe bestehen, direkt elektrisch mit PEM-Elektrolysezellen verschaltet werden. Dieser vielversprechende Technologieansatz ist unter dem Namen HyCon® (Hydrogen Concentrator) bekannt und wurde am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) entwickelt und patentrechtlich geschützt [2].

Im Gegensatz zu herkömmlichen Systemen der solaren Wasserstoffproduktion, bei denen Solarzellen über einen DC-DC-Wandler mit einem PEM-Elektrolyseur aufeinander abgestimmt werden, kommt das HyCon®-System völlig ohne DC-DC-Wandler aus. Die Zellspannung liegt je nach eingesetzten III-V-Mehrfachsolarzellen typischerweise zwischen 1,6 und 3,7 V. Für die PEM-Elektrolyse liegt dieser Spannungsbereich deutlich über der theoretisch minimal benötigten Zellspannung von 1,48 V, die unter Standardbedingungen notwendig ist, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufzuspalten.

Für die hier vorgestellten Arbeiten wurden als Konzentratorsolarzellen  $\text{Ga}_{0,35}\text{In}_{0,65}\text{P}/\text{Ga}_{0,83}\text{In}_{0,17}\text{As}$ -Tandemsolarzellen verwendet, die am Punkt der maximalen Leistung eine Zellspannung von 2,0 V besitzen. Somit lässt sich aus technischer Sicht eine 1:1-Verschaltung von konzentrierenden Solarzellen mit PEM-Elektrolysezellen realisieren.

**2. GENERATION HYCON®-SECHSERMODUL** Im Gegensatz zu ersten Arbeiten zum HyCon®-Thema von Peharz et al. [3], bei dem sechs Tandemsolarzellen parallel elektrisch mit einer PEM-Elektrolysezelle verschaltet wurden, wurde jetzt ein HyCon®-Sechsermodul realisiert, bei dem jede einzelne Solarzelle mit einer PEM-Elektrolysezelle elektrisch verschaltet ist (s. Abb. 1). Hierbei konzentriert jede 16,0 cm<sup>2</sup> große Fresnel-Linse das Sonnenlicht mit einem geometrischen Faktor von 500 auf die nur 3,14 mm<sup>2</sup> große Tandemsolarzelle, deren Unterseite mit der oberen Elektrolyseplatte (Anode: Sauerstoffproduktion) verbunden ist. Die Membran-Elektroden-Einheit ist dabei zwischen den beiden grauen Kunststoff-

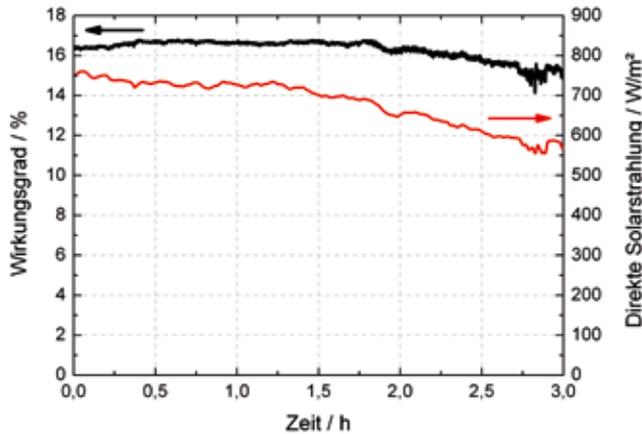


Abb. 2: Maximaler Wirkungsgrad und direkte Solarstrahlung, aufgenommen am 29.09.2011 in Freiburg [Quellen: Fraunhofer ISE]

platten positioniert, in denen sich Wasserkanäle befinden, um das notwendige Wasser für den Elektrolyseprozess in die Zellen zu transportieren und entstehende Gase aus der Zelle mit dem nicht umgesetzten Wasser auszutragen. Um einen geschlossenen externen Stromkreis herzustellen, wird die untere Elektrolyseplatte (Kathode: Wasserstoffproduktion) mit der Oberseite der Solarzelle elektrisch verbunden.

Eine der größten Herausforderungen des HyCon®-Systems ist die Abstimmung der Kennlinienverläufe zwischen einer III-V-Mehrfachsolarzelle mit einer PEM-Elektrolysezelle bei variierenden Betriebsbedingungen [4]. Gleichzeitig müssen teure Zellmaterialien, hauptsächlich bestimmt durch Komponenten der PEM-Elektrolyse (Titan, Elektroden, Stromverteiler), minimiert oder substituiert werden. Nur dadurch lässt sich zukünftig regenerativ erzeugter Wasserstoff wettbewerbsfähig anbieten.

**WIRKUNGSGRAD VON SOLAR HERGESTELTLEM H<sub>2</sub>** Mittels einer zweiachsigen Nachführeinheit und des realisierten HyCon®-Sechsermoduls wurde unter Feldbedingungen in Freiburg der Wirkungsgrad mittels direkter Solarstrahlung bestimmt (s. Abb. 2). Dabei bezieht sich der Wirkungsgrad auf das Verhältnis der im Wasserstoff gespeicherten chemischen Energie (Brennwert) zur direkten Einstrahlungsenergie. Wie aus Abbildung 2 ersichtlich, befindet sich der maximale Wirkungsgrad über eine Zeitdauer von mehr als zwei Stunden bei über 16 % und fällt danach auf 15 % ab. Dies korreliert mit der direkten Solarstrahlung, die zu Messbeginn mit 750 W/m<sup>2</sup> gemessen wurde und am Ende der Messung nur noch 550 W/m<sup>2</sup> betrug. Der maximale Wirkungsgrad wurde mit 16,8 % bestimmt. Weitere Informationen zur Bestimmung des Wirkungsgrades, zum Aufbau des HyCon®-Sechsermoduls sowie zu einer ökonomischen Betrachtung eines zukünftigen HyCon®-Systems können in [5] nachgelesen werden.

**WIRKUNGSGRAD ÜBER 20 % ERWARTET** Innerhalb eines aktuell laufenden HyCon®-Projektes arbeitet das Fraunhofer ISE derzeit zusammen mit dem Fraunhofer ICT, dem ICVT Stuttgart und dem IMTEK Freiburg daran, einen Wirkungsgrad oberhalb von 20 % zu erreichen. Der Arbeitspunkt soll bei etwa 2,0 V und 1,0 A liegen. Um den hohen Strom bei einer bevorzugten 1:1-Verschaltung zu erreichen, wird eine 10 cm<sup>2</sup> x 10 cm<sup>2</sup> große Fresnel-Linse verwendet.

Erste Solarzellenmessungen im Labor zeigen bereits vielversprechende Ergebnisse mit Wirkungsgraden > 30 %. Auf der Elektrolyseseite wurde ein spannungsbezogener Wirkungsgrad von über 75 % bei 30 °C und 1,0 A/cm<sup>2</sup> gemessen. Jetzt steht für dieses Projekt die Aufgabe an, diese hohen

Wirkungsgrade auch im Gesamtmodul unter Feldtestbedingungen zu erreichen. Erste Messungen sind für den Sommer 2015 geplant. ||

→ Fraunhofer ISE auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand C58

Literatur:

- [1] Energiekonzept der Bundesregierung, 28.09.2010
- [2] Dimroth, F., Vorrichtung und Verfahren zur photovoltaischen Erzeugung von Wasserstoff, DE 102004050638 B3, 2004
- [3] Peharz, G., Dimroth, F., Wittstadt, U., Solar hydrogen production by water splitting with a conversion efficiency of 18%. International Journal of Hydrogen Energy, 32(15), 3248-3252, 2007
- [4] Rau, S., Vierrath, S., Fallisch, A., Smolinka, T., u.a., Highly Efficient Solar Hydrogen Generation – An Integrated Concept Joining III-V Solar Cells with PEM Electrolysis Cells. Energy Technology, 2(1), 43-53, 2014
- [5] Rau, S., Hocheffiziente solare Wasserstoffproduktion mittels direkter Verschaltung von III-V-Mehrfachsolarzellen mit PEM-Elektrolysezellen, Universität Stuttgart, Dissertation, 2014

Autoren:

Dr. Sebastian Rau (Foto)

ehemaliger Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Dr. Arne Fallisch

→ arne.fallisch@ise.fraunhofer.de

Dr. Tom Smolinka

beide Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg



**PM**  
PROTON MOTOR  
Fuel Cells · Power Systems

PEM Brennstoffzellensysteme für  
mobile,  
maritime  
& stationäre  
Anwendungen

# DER STOFF, AUS DEM DIE ZUKUNFT IST

## Hochdynamisches Elektrolysesystem setzt neue Maßstäbe



Abb. 1: Siemens-Ingenieur bei der Prüfung der gase- und wasserführenden Druckkomponenten beim Silyzer

14

Regenerative Energie produzieren und sogar speicherbar machen – das gilt als wirklich CO<sub>2</sub>-frei. Siemens hat diese Hürde genommen und präsentiert in diesem Jahr auf der *Hannover Messe* ein hochdynamisches optimiertes Elektrolysesystem für die Wasserstoffgewinnung auf Basis der PEM-Technologie. Erstmals im Megawatt-Bereich liegt seine Leistung außergewöhnlich hoch. Der gewonnene Wasserstoff kann als Basisstoff in der Industrie dienen, als Treibstoff für innovative Elektromobilität, aber auch zur Rückverstromung, um Versorgungsschwankungen auszugleichen und zur Netzstabilität beizutragen.

Wasserstoff – Treibstoff der Zukunft, Baustein moderner Produktion und grüner Bestseller. Kurz gesagt: Der Stoff, aus dem die Zukunft ist! Und er ist dementsprechend gefragt. Dies ist einer der Gründe, warum sich Siemens seit einigen Jahren die wichtige Frage stellt, wie der Wasserstoffhunger der Moderne wohl zu stillen sei. Wie kann also ausreichend Wasserstoff produziert werden – möglichst kostengünstig und nachhaltig? Intensive Testläufe, unterschiedliche Prototypen, verschiedene Forschungsreihen und Optimierungen aller Bereiche einer Elektrolyse führten zum aktuellen Elektrolysesystem *Silyzer*, dessen Design nun die passende Antwort gibt.

**ERFAHRUNG MACHT DEN MEISTER** Beim Konzipieren des neuen Elektrolysesystems setzten die Ingenieure von Anfang an auf die Erfahrungswerte aus der langjährigen Forschung mit der PEM-Technologie (Proton Exchange Membrane). Ein Prototyp, dessen Konstruktion dem heutigen Stack sehr ähnlich war, lieferte bereits vor Jahren Wasserstoff bei einem Druck von 100 bar und zeigte sich als durchaus ausbaufähig. In zwölf Jahren Betriebseinsatz wurden zahlreiche Modifikationen vorgenommen. Dazu zählen beispielsweise verschiedene Varianten beim Zellstapel, dem Stack. Im Grunde mussten alle Hauptbestandteile einer Elektrolysezelle aus nahezu allen Perspektiven betrachtet und optimiert werden. Bei der Kombination aus Membran und Elektroden

(kurz: MEA) sind wesentliche „Stellschrauben“: die Wahl der Materialien für die Elektroden, ihre Konzentration und Mischung, die Art der Aufbringung auf die Membran und natürlich die Materialdicke. All das muss so konzipiert sein, dass sich das Verhältnis aus Lebensdauer und Materialkosten letztendlich für die Industrie eignet.

Ein weiterer wesentlicher Faktor für Effizienz, Leistung und Baugröße einer Elektrolyse ist die Stromdichte, mit der das System betrieben wird. Es hat sich gezeigt, dass die MEA auch Ströme von über zehn Ampere pro Quadratzentimeter und mehr verträgt. Aber auch hier stellt sich die Frage nach der Gesamtlebensdauer beziehungsweise den damit zu erzielenden Betriebsstunden.

Im nun marktreifen Elektrolysesystem wurde hier eine optimale Kombination realisiert, die mit Robustheit und mit einer hohen Lebensdauer auf die harten industriellen Anforderungen ausgelegt ist und allen Erwartungen hinsichtlich der Gesamtkosten im Betrieb „total costs of ownership“ einerseits sowie Produktivität und Systemverfügbarkeit andererseits gerecht wird. Aber auch bei den Bipolarplatten gab es Veränderungen. Es wurden verschiedene Metalle und Werkstoffe auf ihre Eignung getestet, was aktuell zu einer innovativen Kombination der Eigenschaften aus verschiedenen Werkstoffen führte. Zusätzlich forschten die Ingenieure an der Reduzierung des Wasserbedarfs im Betrieb und Zusatzfunktionen wie der einfachen und sicheren Fernsteuerung sowie Betriebsanalyse aus der Ferne mittels Remote Control. Parallel sind auch die Dauerversuche über mehrere Jahre zur Verifizierung der angestrebten Lebensdauer erfolgreich durchgeführt worden.

**MESSE-HIGHLIGHT: PEM-ELEKTROLYSESYSTEM** Heute ist die Technologie von Siemens so ausgereift, dass sie aus dem Labor in die Praxis überführt wurde. Am Standort Erlangen wurde in den vergangenen Monaten die moderne Serienfertigung für den *Silyzer* aufgebaut. Herzstück hierbei ist die vollautomatisierte Fertigung der „Membrane Electrode Assembly“ (MEA), das wesentliche Element und ausschlaggebend für die Lebensdauer und die Effizienz einer jeden PEM-Elektrolyse.

Für die Systemkomponenten existiert bereits eine Bescheinigung der CE-Konformität. Die vorgeschriebenen Druckfestigkeits- und Dichtheitsprüfungen sind ebenfalls durchlaufen. Auf der *Hannover Messe Industrie (HMI) 2015* wird nun ein Teilsegment des PEM-Elektrolyse-Stacks mit 1,25 MW Nennleistung und mit bis zu 35 bar Abgabedruck der Produktgase Wasserstoff und Sauerstoff vorgestellt. Was im letzten Jahr am Markt als Zielsetzung kommuniziert wurde, ist nun in Halle 9, Stand D35 real zu sehen: live und im 3D-Design.

**FIT FÜR DEN MARKT** Weitere Komponenten, die in dem *Silyzer* Elektrolysesystem stecken, sind beispielsweise das Leitsystem *Simatic PCS 7*, die effizienten Gleichrichter aus der *Sinamics-DCM*-Reihe sowie eigenproduzierte Elektroden. Alle zugekauften Materialien und Komponenten sind getestet und beständig gegen thermische, mechanische und elektrochemische Einwirkungen. Notwendige Zertifizierungen



Abb. 2: Zellstapel (Stack) des PEM-Elektrolyse-Systems *Silyzer 200* mit 1,25 MW Nennleistung und mit bis zu 35 bar Abgabedruck der Produktgase Wasserstoff und Sauerstoff [Fotos: Siemens]

und TÜV-Zulassungen sind erfolgreich durchgeführt worden, somit ist der *Silyzer* „ready for market“.

**WASSERSTOFF CO<sub>2</sub>-FREI GEWINNEN** Die Gewinnung von „grünem“ Wasserstoff haben sich in den letzten Jahren bereits verschiedene Hersteller von Elektrolysesystemen auf die Fahnen geschrieben. Klar ist, dass Wasserstoff durch die Elektrolyse von Wasser CO<sub>2</sub>-frei gewonnen werden kann. Regenerative Energiequellen sind jedoch sehr volatil. Vor allem die extremen Schwankungen bei der Stromproduktion mit Windkraftanlagen (WKA) und Photovoltaikfeldern sorgen oft für Probleme bei den Netzbetreibern – bisherige Elektrolyseure reagierten dabei häufig träge. Der *Silyzer* wurde auch dahingehend optimiert. Er reagiert hochdynamisch und kann problemlos innerhalb von Sekunden seinen gesamten Leistungsbereich entfalten, bis hin zu einem definierten Überlastbetrieb. Damit meistern Netzbetreiber kritische Situationen, indem sie überschüssige Energie in „grünen Wasserstoff“ umwandeln.

Stichwort Überschuss: Schon heute werden WKAs in Norddeutschland sehr häufig abgeschaltet, weil produzierter Strom nicht in Verbrauchsregionen geleitet werden kann. Fakt ist: Bereits 2012 konnten fast 400 GWh, erzeugt durch Windkraftanlagen, nicht vom deutschen Stromnetz aufgenommen werden. WKAs wurden abgeregelt. Dennoch sollen laut Bundesregierung bis 2030 rund 50 Prozent des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen gedeckt werden. Dynamische und flexible Energiespeicher mit großer Kapazität und großer Leistung sind Voraussetzung für die Erreichung dieses ambitionierten Ziels. Solche Speicherlösungen benötigen Elektrolysesysteme wie den *Silyzer* als Umwandler. Der erzeugte Wasserstoff kann als Basisstoff in der Industrie, Treibstoff für innovative Elektromobilität, aber auch zur Rückverstromung verwendet werden.

**IM TESTLAUF MIT KOHLENDIOXID** Erst 2012 startete Siemens als Kooperationspartner gemeinsam mit RWE, Bayer Technology Services, Bayer MaterialScience und zehn weiteren akademischen Partnern eine Forschungsreihe CO<sub>2</sub>-Reaction using Regenerative Energies and Catalytic Technologies

(CO<sub>2</sub>RECT, s. HZwei-Heft Apr. 2013), bei der die Kombination von Wasserstoff mit Kohlendioxid im Fokus stand. Hier konnte das Elektrolysesystem von Siemens unter Realbedingungen getestet werden: Dazu wurden netzspezifische Lastprofile und die Einspeisecharakteristik von Windparks simuliert und der Elektrolyse als Leistungskurve aufgetragen. Fazit: Die Elektrolyse erfüllte die an sie gestellten Dynamikanforderungen und produzierte im Projektverlauf mehrere Tonnen Wasserstoff für die weitere stoffliche Nutzung.

**„ENERGIEPARK MAINZ“ KURZ VOR DER ERÖFFNUNG** Im Mai 2014 legte Sigmar Gabriel, Bundesminister für Wirtschaft und Energie, den Grundstein für ein großes Pilotprojekt in Mainz, eine Kooperation von Siemens, Linde, den Stadtwerken Mainz und der Hochschule RheinMain (s. HZwei-Heft Jul. 2014). Die dort zu installierende Anlage soll große Mengen von Wasserstoff gewinnen, basierend auf Stromerzeugung mittels Windenergie. Der Wasserstoff wird anschließend gelagert, in Tankwagen gefüllt oder zur späteren Strom- oder Wärmeerzeugung direkt ins Erdgasnetz eingespeist. Das Besondere an der Mainzer Anlage ist die hochdynamische PEM-Druckelektrolyse mit bis zu sechs Megawatt Leistungsaufnahme. Die Anlage hat damit eine für Engpässe im Stromnetz und viele Windparks relevante Leistungsgröße. Im Juli 2015 steht die offizielle Eröffnung auf der Agenda.

**ELEKTROLYSESYSTEM UNTERSTÜTZT MOBILITÄT** Außerdem stehen dieses Jahr noch weitere Projekte und Einsätze in der Praxis auf dem Programm. Etwa in Nordrhein-Westfalen wird ein PEM-Elektrolysesystem im Bereich der Mobilität eingesetzt. Der *Silyzer* wird hier den Wasserstoff zur Versorgung einer Tankstelle für Brennstoffzellenfahrzeuge liefern. Im Fokus stehen hier sowohl Privatfahrzeuge als auch Busse für den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV).

Für einen Schweizer Kunden realisiert Siemens zudem ein Projekt mit dem Ziel, eine bessere, effizientere Integration von erneuerbaren Energien aufzuzeigen. Die zentrale Anforderung innerhalb dieses Projekts ist dabei ganz klar ein Power-to-Gas-Konzept. Die Aufgabe: Strom aus erneuerbaren Energien soll umgewandelt werden, so dass energiereiche Gase wie Wasserstoff oder Methan entstehen. Das bedeutet, überschüssige elektrische Energie wird in Form von chemischer Energie gespeichert. Die gasförmigen Energieträger werden gelagert, transportiert und bei Bedarf wieder in Strom oder Wärme umgewandelt. Auch die industrielle Nutzung oder die Verwendung als Treibstoff, zum Beispiel in Erdgasfahrzeugen oder in Brennstoffzellenautos, fließen in die Planung mit ein. ||



→ Siemens auf der Hannover Messe:  
Halle 9, Stand D35

Autoren:  
Fred Farchmin  
→ [fred.farchmin@siemens.com](mailto:fred.farchmin@siemens.com)



Erik Wolf  
→ [erik.wolf@siemens.com](mailto:erik.wolf@siemens.com)  
beide Siemens AG, Erlangen

# SCHWAMM IM FAHRZEUGTANK

## DLR-Forscher bauen Kombibehälter für Wasserstoff



Abb. 1: Die APU, bestehend aus einer HT-PEM-Brennstoffzelle und einem H<sub>2</sub>-Hydrid-speicher, in der Test-Tankstelle am DLR [Foto: DLR / Frank Eppler]

Nachts auf einer Autobahnraststätte: Es reiht sich Lkw an Lkw. Jeder kennt dieses Bild. Die Fahrer ruhen sich aus, schlafen meist in ihren Lastwagen. Dafür benötigen sie Strom. Oft hört man die Hauptmaschine mit mehreren hundert Kilowatt Leistung tuckern. Sie betreibt Kühlschrank, Kochplatte und Licht sowie in den kalten Wintermonaten die Heizung. „Das ist extrem ineffizient“, bemängelt Jörg Weiss-Ungethüm vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Und ergänzt: „In einigen Bundesstaaten der USA ist das bereits verboten.“ Deshalb liefert häufig eine Auxiliary Power Unit (APU) die Energie. Meistens ist das ein kleiner Benzinmotor. Denkbar ist aber auch eine Brennstoffzelle, und genau daran arbeiten Wissenschaftler des DLR am Institut für Technische Thermodynamik.

Das DLR-Team um den Wissenschaftler Jörg Weiss-Ungethüm hat einen Kombi-Tank entwickelt, der mit einer Brennstoffzelle gekoppelt wurde und Wasserstoff bei moderatem Druck und Umgebungstemperatur speichert. Der modular aufgebaute H<sub>2</sub>-Tank besteht aus nebeneinander liegenden silbernen Rohren. Ein Berg aus Glaswolle dient zur Isolation des Prototyps. Der Druckbehälter selbst ist jedoch nicht hohl, sondern enthält Speichermaterial, das den Wasserstoff chemisch bindet. Dabei handelt es sich um zwei verschiedene grau-schwarze Feststoffe. Diese Metallhydride saugen das Wasserstoffgas wie ein Schwamm auf. „Die Speicherdichte im Tank ist relativ hoch“, erklärt Weiss-Ungethüm. „Allerdings ist das Material aus Metallhydriden oder Metallschaum derzeit noch schwer“, schränkt er ein. Weltweit suchen Forscher seit Jahren nach einem leichteren Material.

**KOMBINATION MIT EINEM BZ-SYSTEM** Wird das Metallhydrid mit Wasserstoff beladen, wird dabei Wärme abgegeben. Soll andersherum Wasserstoff aus dem Tank entnommen werden, muss dafür Wärme aus der Brennstoffzelle zugeführt werden. Das Material muss bis auf eine Mindestreaktionstemperatur erhitzt werden. Die Forscher verwenden dafür einen Trick: Ein zweites, speziell ausgewähltes Speichermaterial dient der Erwärmung des Tankinnenraums und ermöglicht damit erst den gewünschten Reaktionsprozess. Erst die Kombination dieser beiden Materialien ermöglicht die hohe Dynamik, die zu kurzen Betankungszeiten führt.

Bei diesem neuen Konzept dienen beide Materialien als Speicher für den Wasserstoff. Das erste ist eine Legierung aus Lanthanum-Nickel (LaNi<sub>4,3</sub>Al<sub>0,4</sub>Mn<sub>0,3</sub>). Das zweite Material ist der Hauptspeicher. Es ist eine Verbindung aus Lithiumamid-Magnesiumhydrid, einem komplexen Hydrid mit einer hohen Speicherkapazität. Seine Aufladedynamik ist allerdings unterhalb von 100 °C eher gering. „Bei dieser Temperatur passiert fast nichts. Eine chemische Reaktion erfolgt erst bei einer Temperatur ab 140 °C“, erklärt Inga Bürger. Die Verfahrenstechnikerin ist als wissenschaftliche Mitarbeiterin beim DLR tätig. Sie entwickelte das Grundkonzept für den Kombi-Tank.

**KOMBINATION ZWEIER LEGIERUNGEN** Die Kombination aus verschiedenen Materialien gehört zur entscheidenden Innovation dieser Entwicklung. Während das Lanthanum-Nickel 1,2 Gewichtsprozent des Wasserstoffs speichert, nimmt das Lithiumamid-Magnesiumhydrid derzeit bis zu 3,2 Prozent auf. Genau diese Mengen können dann später bei der Entladung wieder freigesetzt werden. Eine Vorgabe für das Projekt war es, ein verfügbares komplexes Metallhydrid einzusetzen. „Wir haben ein Amid als Speichermaterial eingesetzt, weil es etwas mehr Wasserstoff als die schon gut erforschten Alanate binden kann“, begründet Bürger die Wahl. Allerdings müssen die thermodynamischen Eigenschaften der Materialien im Tank zusammenpassen, anders geht es nicht.

Welche H<sub>2</sub>-Menge kann der Feststoff also im Tank speichern? „Drei Kilogramm Metallhydrid nehmen 132 Gramm Wasserstoff auf“, rechnet Bürger vor. Das entspricht 1.400 Normlitern. „Im Vergleich dazu ist das Volumen, das die beiden Materialien einnehmen, mit rund 7,5 l sehr gering“, erklärt die Wissenschaftlerin. Derzeit befinden sich sechs Kilogramm des grauen Pulvers in dem Tank.

Die Vorteile dieses neuen Kombisystems liegen in seinen relativ niedrigen Temperaturen und einem moderaten Druckniveau von 70 bar. Herkömmliche Wasserstofftanks in Fahrzeugen arbeiten mit 700 bar – dem zehnfachen Wert. Zudem sei die Energiespeicherdichte relativ hoch, größer als die einer Li-Ionen-Batterie, sagt Bürger. Darüber hinaus ist der Tank mit Hilfe des entwickelten Verfahrens deutlich schneller zu beladen.

Trotz ihrer Erfolge haben die Wissenschaftler noch einige Herausforderungen zu meistern: „Ein besseres System als der herkömmliche Druckspeicher ist der Kombi-Tank derzeit noch nicht“, urteilt Weiss-Ungethüm. Dafür seien das verwendete Material und das Gesamtsystem noch zu schwer. „Da muss noch was passieren“, sagt er. Die Speicherdichte müsse weiter erhöht werden, ebenso wie die Reaktionskinetik. „Gut wäre es, den Druck von 70 bar weiter abzusenken.“ Dann könnten die Wandstärken des Tanks dünner gebaut werden, wodurch sein Gewicht

erheblich reduziert werden könnte. Denn auch bei einem Lkw gilt wie bei einem Pkw: Jedes unnötige Kilogramm Gewicht muss transportiert werden und kostet Energie.

Zudem müssen bessere Speichermaterialien gefunden werden. Die Anforderungen an diese Materialien sind nicht ohne: Sie sollen günstig, verfügbar und weder giftig noch brennbar sein. Denn die Sicherheit bei H<sub>2</sub>-Tanks in Fahrzeugen ist und bleibt ein sensibles Thema. Sollte beispielsweise ein Leck im Tank auftreten, verlangsamt sich der Reaktionsprozess automatisch, da das Loch im Tank die Temperatur senkt. Dennoch würde am Ende fast der gesamte Inhalt freigesetzt. „Aber der Wasserstoff strömt nicht schlagartig aus dem Tank aus“, erklärt Weiss-Ungethüm.

**EFFIZIENZ UND KOSTEN IN EINKLANG BRINGEN** Die zweite Baustelle ist die Brennstoffzelle. Sie produziert neben Strom auch Wärme, die die Temperatur im Tank entscheidend anheben kann. „Mit einer normalen Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzelle funktioniert das nicht, weil sie nur zwischen 50 und höchstens 90 °C arbeitet“, erläutert Bürger. Deren Temperatur reicht folglich nicht aus, um den Speicher aufzuheizen. Die Forscher setzen deshalb eine Hochtemperatur-PEM ein, die über eine Membran auf Basis von Phosphorsäure-dotiertem Polybenzimidazol verfügt und Temperaturen von bis zu 180 °C verträgt. Den Brennstoffzellen-Stack bekam das DLR vom dänischen Projektpartner Serenergy, der diese Stacks kommerziell herstellt.

Derzeit in Lkw eingesetzte APUs liegen preislich bei rund 2.000 Euro. Mit dieser Preisvorgabe des Marktes müsste sich ein fertiges Produkt mit Brennstoffzelle messen lassen. „Wir

sind jedoch auf einem vielversprechenden Weg, Funktionalität, Effizienz und Kosten in Einklang zu bringen“, fasst Josef Kallo, Abteilungsleiter Energiesystemintegration am DLR-Institut für Technische Thermodynamik, die Entwicklung zusammen.

„Der erste Schritt, die Funktionalität, ist nachgewiesen“, bestätigt auch Weiss-Ungethüm und verweist auf den Demonstrator, den die Wissenschaftler bereits in Stuttgart betreiben. Im Juni 2014 machte dieses Testsystem eine Probefahrt in einem Kleintransporter Fiat *Iveco*. Fazit: Der Kombi-Tank funktioniert. ||

→ DLR auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand D66

Die Entwicklung dieses Tanks erfolgte mit einem breit aufgestellten internationalen Team im Rahmen des Projekts *SSH2S*: Die Universität Turin koordinierte das EU-Forschungsprojekt mit dem Kürzel *SSH2S*. Beteiligt waren insgesamt sieben weitere Forschungszentren und Unternehmen aus Europa. Darunter das DLR, das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), das technische Institut für Energie IFE aus Norwegen und das Forschungszentrum von Fiat. Gerade das Interesse aus der Industrie war wichtig, um eine EU-Förderung über 1,6 Mio. Euro zu erhalten. Das Gesamtbudget des Forschungsprojekts, das im Mai 2015 ausläuft, betrug 3,5 Mio. Euro. Ein Anschlussvorhaben und weitere internationale Treffen wären aus Sicht der DLR-Forscher hochwillkommen.

# HARNESSING THE ENERGY AROUND US

## POWER-TO-GAS: innovative energy conversion and storage

- The most experienced PEM electrolysis manufacturer in the world
- 2000+ units fielded worldwide
- Our PEM systems are located in 70+ countries
- Over 18 years of experience with PEM electrolysis
- Lowest life cycle cost in the market
- Hundreds of thousands of logged PEM electrolysis testing hours

# INVESTITION IN KÖPFE

## 2. Nationale Bildungskonferenz Elektromobilität in Berlin

Bildung ist ein wertvolles Gut, das weiß insbesondere das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Da dies auch für den E-Mobilitätssektor gilt, hat das Ministerium von Johanna Wanka gemeinsam mit der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) am 23. und 24. Februar 2015 die 2. Nationale Bildungskonferenz Elektromobilität in der Bundeshauptstadt organisiert. Im Mittelpunkt dieser Veranstaltung in der TU Berlin standen sowohl die akademische Ausbildung an Hochschulen als auch die Weiterqualifikation von Fachkräften.



Abb. 1: Prof. Dr. Johanna Wanka

Johanna Wanka konkretisierte: „Verschiedene Branchen haben systematische Berührungspunkte und müssen ganz anders zusammenarbeiten. Das können wir, da unser Berufsbildungssystem dynamisch ist.“

Wanka wies gleichzeitig darauf hin, dass „Deutschland in der Elektromobilität in einem starken internationalen Wettbewerb steht“. Auch deswegen müsse darüber nachgedacht werden, „die Anschubphase nun bald abzuschließen“. Sie schob allerdings gleich hinterher: „Das soll nicht heißen, dass kein Geld mehr fließt.“ Den Kritikern des 1-Mio.-Elektrofahrzeuge-Ziels entgegnete sie in diesem Zusammenhang: „Das Ziel – über das sich einige auch etwas lustig gemacht haben – war richtig. Ohne das stünden wir heute ganz anders da.“

**AUF BATTERIETECHNIK AUSGERICHTET** Der NPE-Vorsitzende Prof. Henning Kagermann knüpfte in seinem Vortrag, der den Titel *Abschluss der Marktvorbereitung* trug, an dieses Thema an, indem er rückblickend feststellte: „Wir haben nicht die Menge an Fahrzeugen, die wir uns gewünscht haben. [...] Bei der Leitanbieterschaft sind wir in Deutschland auf einem guten Weg, beim Leitmarkt liegen wir nur im Mittelfeld. [...] Wo wir uns vertan haben, sind die BEV.“ Bei den rein batteriebetriebenen Fahrzeugen war die NPE ursprünglich von einem Anteil von 45 % aller Elektrofahrzeuge ausgegangen, jetzt werden es wohl 25 %. „Das bedeutet, dass man Hybridfahrzeuge länger als Übergangstechnologie benötigen wird“, so Kagermann.

Er wies während seiner Standortbestimmung jedoch auch darauf hin, dass „es keinen Experten gibt, der sagt, Elektromobilität wird sich nicht durchsetzen“. Zudem stellte er fest, dass „wir eine ganz gute Dynamik haben“ (78 %). Um das Ziel von 1 Mio. E-Autos bis 2020 zu erreichen, sei ein Wachstum von 80 bis 100 % erforderlich, und dies „ist nur mit zusätzlichen Maß-

nahmen erreichbar“. Weiter sagte der Präsident der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften *acatech*: „Wir brauchen noch einen Schub in der zweiten Phase, weil wir sonst nicht zu den Stückzahlen kommen. [...] Eine Kaufprämie ist das effizienteste. Wir wissen aber, dass das nicht gewollt ist.“

Für Unmut in der Wasserstofffraktion sorgte seine Feststellung: „Die Brennstoffzelle ist für mich der bestmögliche Range Extender, den man in ein Elektrofahrzeug einsetzen kann.“ Mehr war in all den Einführungsvorträgen nicht über Wasserstoff und Brennstoffzellen zu hören. Mittels einer Folie stellte Kagermann jedoch nochmals klar, dass BZ-Autos nicht bei den anvisierten 1 Mio. E-Fahrzeugen mitgezählt, sondern ebenso wie Automobile, die Biokraftstoffe oder Erdgas als Kraftstoff nutzen, nur am Rande mitberücksichtigt werden.

Im Hinblick auf die weitere Entwicklung innerhalb der NPE berichtete Kagermann: „Wir haben uns entschieden, weiterzumachen. Viele Leute haben gesagt, sie würden zumindest in der zweiten Phase bis 2017 dabei bleiben.“

Neben politischen Statements wurden während der Konferenz aber auch neue Inhalte erarbeitet: Rund 60 Auszubildende, Studierende und berufstätige Fachkräfte unter den etwa 280 angemeldeten Teilnehmern diskutierten gemeinsam mit den anderen Anwesenden in Workshops darüber, wie das Ingenieurstudium aktueller gestaltet und die duale Berufsausbildung weiterentwickelt werden kann. Bildungsministerin Wanka drängte diesbezüglich darauf, dass man sich unter anderem „frühzeitig innerhalb der Ausbildung mit Elektromobilität befassen“ müsse. ||

### BILDUNGSPOTENTIAL IM KOPF

In ihrer Begrüßungsrede stellte Cornelia Yzer, Senatorin für Wirtschaft, Technologie und Forschung des Landes Berlin, gleich zu Beginn der Konferenz klar: „Investition in Forschung ist ebenso notwendig wie die Investition in Köpfe.“ Außerdem erklärte sie: „Bildung spielt im *Schaufenster Elektromobilität* eine besondere Rolle.“ Deswegen würden die gefördert werden, die „das Bildungspotential im Kopf haben“.

## EIN „SEHR SPEZIELLES RENNEN“

Die *Formel E* hat die erste Hälfte ihrer ersten Wettkampfsaison mit viel Zuspruch hinter sich gebracht. Die Rennen sind nicht zuletzt wegen der zahlreichen prominenten Fahrer spannend und lockten bisher viele Tausend Zuschauer an. Nach zwei Wettfahrten in den USA (Miami und Long Beach) stehen als Nächstes die Rennen in Monaco und am 23. Mai 2015 in Deutschland an. Wie die Organisatoren bekannt gaben, wird der *Berlin ePrix* auf dem Gelände des ehemaligen Flughafens Tempelhof 2,5 km lang sein und 17 Kurven beinhalten. Entgegen den ursprünglichen Meldungen, der Eintritt sei kostenlos, müssen für die Karten 10 Euro (Stehplatz) bis 45 Euro (Sitzplatz Zielgerade) bezahlt werden. Der Rennntag startet morgens mit dem freien Training, woraufhin mit tags vier zehnmütigen Qualifying-Gruppen folgen. >>



# TECHNISCH GUT, ABER DIE AUFLADUNG

## Fahrbericht über den VW e-up!



Abb. 1: Aufladung an der neuen Ladesäule von Auto Hönigk

Der elektromobile Alltag hält immer noch diverse Überraschungen parat, insbesondere wenn man häufig unterschiedliche Modelle fährt. So ist die HZwei-Redaktion im Januar 2015 einen Volkswagen e-up! Probe gefahren, um zu testen, wie das E-Auto fährt, wie es bei der Jugend ankommt und wie weit der Ausbau der Ladeinfrastruktur vorangeschritten ist. Kurz gesagt lässt sich feststellen, dass Auflademöglichkeiten insbesondere auf dem Lande immer noch Mangelware sind, dass die Fahrzeugtechnik jedoch durchaus als ausgereift bezeichnet werden darf und dass die nachwachsende Generation zwar interessiert ist, aber bisher noch nicht besonders viel über diese Technologie weiß.

Mein Praxistest beginnt mitten in Berlin bei der Hauptstadtfiliale der *Lautlos durch Deutschland GmbH*. Hier in der Wilhelmstraße unweit des Brandenburger Tors steht der VW e-up! auf einem für Elektrofahrzeuge reservierten Parkplatz. Gleich nebenan ist auch die Geschäftsstelle des Bundesverbands Solare Mobilität e.V. (BSM) ansässig, weshalb hier gleich drei Parkplätze mit Ladesäulen ausgestattet sind.

Beres Seelbach, einer der beiden Geschäftsführer von *Lautlos durch Deutschland*, händigt mir freundlicherweise den Schlüssel des E-Autos aus, das normalerweise von Herman Albers, dem neuen Geschäftsführer des Unternehmens (s. Interview im HZwei-Heft Januar 2015), gefahren wird. Albers war bereits zuvor Gesellschafter des Unternehmens, widmet sich aber seit Januar 2015 stärker der Elektromobilität. Seelbach kümmert sich hauptsächlich um den Verkauf von Pedelecs (bis 25 km/h) beziehungsweise S-Pedelecs. Letztere sind schneller als normale Elektrozweiräder (bis 45 km/h) und kosten dementsprechend mehr (1.500 bis 6.000 Euro). Außerdem vertreibt Seelbach auch E-Autos und berät Flottenbetreiber beim Umstieg auf Elektromobile.

**KLEINWAGEN MIT PEP** Der e-up! ist ein Kleinwagen, bringt aber wegen seines schweren Akkumulators stolze 1.214 kg auf die Waage. Dementsprechend sicher liegt er auf der Straße. Im Vergleich dazu wiegt der VW up! Lite – eine Niedrigverbrauchsstudie – nur 695 kg, also etwas mehr als die Hälfte. Der Lithium-Ionen-Akku der Elektroversion speichert 18,7 kWh, die für eine nominelle Reichweite von 160 km sorgen. Als ich in den dreieinhalb Meter langen Viersitzer einsteige, zeigt mir der Bord-Computer, dass ich mit dem vorliegenden (fast vollen) Ladezustand 120 km weit komme.

Ich setze mich also ganz entspannt in Bewegung und genieße die ruhige Fahrt im Berliner Berufsverkehr. Der Synchron-Elektromotor ist kaum zu hören, außer einem dezenten Surren beim Beschleunigen. Auch die Leichtlaufreifen verursachen kaum Geräusche, so dass auch die Fahrt über die Stadtautobahn ganz ruhig verläuft. Obwohl der e-up! ein Kleinwagen ist, ermöglicht der durchzugstarke E-Motor dank seiner 60 kW eine sportliche Fahrweise. Selbst bei 120 km/h macht das Auto nochmals einen Satz nach vorne, sobald das Strompedal gedrückt wird. Als Höchstgeschwindigkeit werden in den Papieren 130 Stundenkilometer angegeben – tatsächlich regelt die Automatik spätestens bei 138 km/h ab.

Die rund 50 km bis nach Oberkrämer lege ich rasch zurück. Zu Hause angekommen lege ich das Elektromobil an die Steckdose und erlebe meine erste Überraschung: Die Kontrolldiode des Ladegeräts, das in das mit einem Schukostecker ausgestattete Kabel integriert ist, leuchtet rot. Die Aufladung an einer Haussteckdose funktioniert also scheinbar nicht. Aber keine Panik: Beres Seelbach hatte angedeutet, dass VW eine Aufladung an zu schwach abgesicherten Steckdosen aus Sicherheitsgründen (Überhitzungsgefahr) unterbindet. Ist ja auch richtig so, schließlich soll durch eine Akkuladung kein Brand verursacht werden.

**RUNDFAHRT IM SPARBETRIEB** Ich wende mich daraufhin an die VW-Hotline und ermittle das nächste Autohaus, das Elektroautos anbietet. *Auto Hönigk* sitzt in Oranienburg. Die Reichweite meines Mitwagens reicht noch aus, um am nächsten Tag zunächst nach Velten zur Projektwoche des dortigen Gymnasiums



Abb. 2: Bei solch einem Energieverbrauch schrumpft die Reichweite schnell dahin (Akkukapazität: 18,7 kWh).

(s. Kasten) fahren zu können und anschließend zum Autohaus. Sicherheitshalber fahre ich im energiesparenden *Eco+*-Modus. Gleichzeitig nutze ich die dritte Stufe der Rekuperation, um möglichst viel Energie wieder zurückgewinnen zu können.

Ohne Probleme erreiche ich den Volkswagen-Händler im etwas abgelegenen Gewerbepark Nord bei Sachsenhausen. Hier auf dem Betriebsgelände steht eine Ladestation mit zwei Kabeln und Typ-2-Steckern, obwohl sie auf keiner Homepage bereits existierender Ladepunkte verzeichnet ist. Nach kurzer Anfrage darf ich hier mein Testfahrzeug einstöpseln. Alles leuchtet grün. Die Komplettladung soll laut Bord-Computer 4,5 Stunden dauern. Ich kann also in aller Ruhe klären, wie ich an ein neues Ladekabel komme.

Im Lager ist keins zu finden, aber innerhalb eines Tages kann es besorgt werden. Alles okay. Ich setze mich im Kundenbereich mit einem Wasser und einem Kaffee auf eine gemütliche Couch und unterhalte mich etwas mit den freundlichen VW-Mitarbeitern. Service-Assistentin Diana Schütt berichtet mir: „Sie sind der Zweite, der seit Herbst 2014 wegen einer Akkuladung vorbeikommt.“ Viel Erfahrung mit Elektromobilität liegt in dieser Filiale erklärtermaßen nicht vor. Bezüglich der Praxistauglichkeit von Elektrofahrzeugen zeigen sich die Kollegen daher auch eher skeptisch. Ein Mitarbeiter äußert ganz offen die Vermutung, dass das Interesse der Automobilkonzerne, Elektrofahrzeuge zu verkaufen, nicht sonderlich hoch zu sein scheint. Broschüren über den *e-up!* oder den *e-Golf* sind im Showroom jedenfalls nicht zu finden, immerhin aber eine Wallbox zur Akku-Aufladung.

Nach zwei Stunden beschließe ich, dass ein zu 75 % gefüllter Akku ausreicht, damit ich nach Hause und am nächsten Tag über Velten wieder zum Autohaus kommen kann. Ich verabschiede mich und fahre los – sicherheitshalber wieder im *Eco+*-Modus und nur mit Sitzheizung anstelle der energieraubenden Klimaanlage. Leider verfügt der *e-up!* nicht wie der *e-Golf* über eine effiziente Wärmepumpe, so dass ein warmer Autoinnenraum gleichbedeutend ist mit merklich reduzierter Reichweite.

**ENERGIESPAREN BLEIBT TRUMPF** Am nächsten Tag folgt nochmals die gleiche Tour: Erst zur Projektwoche nach Velten und dann zum Autohaus. Zum Glück habe ich trotz kühler 2 °C auf die Heizung verzichtet, so dass ich mit nur noch 10 km Restreichweite gut in Oranienburg ankomme. Dabei stelle ich fest, dass die Bordelektronik bei einem Achtel der Akkukapazität automatisch den Fahrkomfort reduziert, so dass nur noch im *Eco-* oder *Eco+*-Modus gefahren werden kann. Das ist mir allerdings in diesem Fall egal, da ich ohnehin schon äußerst energiesparend fahre.

Beim VW-Händler liegt das neue Ladekabel bereits bereit. Kurzerhand testen wir noch beide Kabel und stellen fest, dass

das alte Ladegerät tatsächlich einen Defekt hat. Das neue funktioniert – und wie das Design unschwer erkennen lässt, ist es auch mindestens eine Generation neuer. Ich setze mich, nachdem ich den *e-up!* zur Zwischenladung nochmals an die Station angedockt habe, also wieder auf die Couch, arbeite etwas am Laptop und verlasse Oranienburg nach 30 Minuten mit einigen Kilowattstunden kostenlosen Stroms sowie einem nagelneuen Ladekabel. Dieses Mal gönne ich mir bei der Heimfahrt genüsslich den sportlichen Normal-Fahrmodus plus Heizung.

Doch nein, falsch gedacht! Bereits nach kurzer Zeit merke ich, dass innerhalb dieser 30 Minuten doch nicht so viel Strom wie gedacht in den Akku befördert wurde. Ich rechne nochmals nach, wie weit die Rückfahrt wohl sein mag, und stelle die Wärmezufuhr umgehend wieder runter, dafür aber den Energiesparmodus wieder ein. Gut so, in gemächlicher Fahrweise erreiche ich mein Ziel, nachdem von der Bordelektronik nach dem Komfort zunächst die Leistung und dann auch die Geschwindigkeit des Autos reduziert werden. Schlussendlich verfüge ich nur noch über ein „Guthaben“ von 3 km. Egal, geschafft!

**ALLES LEUCHTET GRÜN** Anschließend läuft dann aber wirklich alles wie geplant: Heil zu Hause angekommen, stöpsle ich den Elektro-VW mit dem neuen Ladegerät an die Haussteckdose und alles leuchtet grün. Innerhalb von 4,5 Stunden ist der Akku voll und ich kann am nächsten Tag so richtig Strom geben, als ich mit den Schülerinnen und Schülern meine Proberunden drehe – das kommt gut an. Ist zwar nicht ganz so toll wie in der Dokumentation über die *Formel E*, die wir uns angeschaut hatten, aber trotzdem allemal besser als ein Benzinauto – so die einhellige Meinung.

Als ich den Wagen nach vollendetem Test zurückbringen will, ist es kalt. Trotz der dadurch reduzierten Akkukapazität komme ich warm und sicher nach Berlin-Mitte. Der Durchschnittsverbrauch von über 20 kWh auf 100 km (s. Abb. 2) belegt jedoch die Pendelproblematik: Selbst wenn rein rechnerisch bei 45 km Fahrstrecke das Rein- und Rauspendeln mit einer Akkuladung möglich sein müsste, ist es doch besser, vor der Rückfahrt nochmals zu laden.

Als ich anschließend mit meinem flüssiggasbetriebenen Mini heimwärts fahre, erlebe ich so etwas wie einen Zeitsprung: Raus aus dem Auto der Zukunft, das leise und leichtgängig zu fahren ist, rein in ein Fahrzeug von gestern, das ruckelt, laut ist und stinkt. Es hat sich somit wieder einmal bestätigt: Die Fahrzeugtechnik von E-Autos ist alltagstauglich – abgesehen von der Reichweite und dem Ladekomfort. ||

– BSM auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand H90

#### NACHWUCHSARBEIT

Zum wiederholten Mal veranstaltete das Hedwig-Bollhagen-Gymnasium in Velten, nordwestlich von Berlin, im Januar 2015 eine Projektwoche, und zum wiederholten Male bot der Hydrogeit Verlag „Elektromobilität mit Batterien und Brennstoffzellen“ als Thema an. Das Interesse in den Klassenstufen 8 und 9 war groß, das Vorwissen eher klein, so dass das gemeinsam mit der NOW GmbH herausgegebene *Unterrichtsmaterial über Batterien und Brennstoffzellen* optimal eingesetzt werden konnte. Besonders gut kamen dieses Mal die Probefahrten im *e-up!* an, da dieser für einen Kleinwagen vergleichsweise geräumig und äußerst flott unterwegs ist. Gleich mehrere Schülerinnen und Schüler erklärten, dass sie mit ihren Eltern reden würden, damit diese beim nächsten Autokauf ein Elektrofahrzeug wählen.

# ECHT ELEKTRISCH

## Zwischenruf von Stefan Schlutter

Und es passiert doch: Elektroautos erobern zunehmend den Markt – auch wenn die absoluten Zahlen etwas anderes sagen. Laut Kraftfahrtbundesamt (KBA) wurden im Februar 2015 mit 436 Fahrzeugen deutschlandweit so wenig Elektroautos wie zuletzt im August 2013 zugelassen. Was wie eine Delle scheint und Skeptiker der alternativen Antriebsform zu Unkenrufen animiert, spiegelt in Wahrheit nur eines wieder: Das Angebot an Elektroautos deckt sich nicht mit der Erwartungshaltung der potentiellen Kunden, weil vor allem elektromobile Kleinwagen viel zu teuer sind. Vielmehr findet die Stecker-Revolution im hochpreisigen Segment und damit am anderen Ende der Skala statt. Das lässt sich auf dem Genfer Autosalon eindrucksvoll ablesen.



Abb. 1: Sehen so „typische“ E-Autos aus?

Audi präsentiert hier beispielsweise den *A8e-tron* mit einer Reichweite von 450 Kilometern. Die Luxuslimousine wird allerdings nur auf Kundenwunsch hin elektrisiert. In Serie gehen soll hingegen der *R8e-tron* der Ingolstädter, der mit zwei 170 kW starken Elektromotoren angetrieben wird, mit einer Batterieladepkapazität von 92 kWh selbst Tesla in den Schatten stellt und ebenfalls mit einer Reichweite von 450 Kilometern trumpft. Der englische Luxus-Sportwagenhersteller Austin Martin überrascht auf der Autoschau mit einem reinen Stromer. Das *DBX-concept-car* wird mit vier elektrischen Radnabenmotoren angetrieben. Für die Energieeinspeisung sorgen Lithium-Schwefel-Zellen.

Und selbst in der Welt der Supersportler, wo bisher nur der Ferrari *LaFerrari* mit Hybridantrieb gute 735 kW auf die Straße bringt, die für eine Spitzengeschwindigkeit von über 350 km/h sorgen, aber nur eine rein elektrische Reichweite von unter zehn Kilometern ermöglicht, kommt man am Strom nicht mehr vorbei: Die schwedische Sportwagenschmiede Koenigsegg zeigt in Genf mit dem *Regera* einen Supersportler, der ein V8-Triebwerk mit drei Elektromotoren kombiniert, die alleine 515 kW der gut 1.100 kW zur Systemleistung beitragen.

Und was sagt uns das? Dass Elektromobilität vor dem Hintergrund der sich verschärfenden Klimaschutzziele und der definierten Grenzwerte beim CO<sub>2</sub>-Ausstoß zwingend notwendig ist, um auch morgen noch Hochleistungsrenner und Luxuskarossen mit entsprechender Motorisierung verkaufen zu können. Daneben war es in der automobilen Entwicklung schon immer so, dass serientechnische „Revolutionen“ grundsätzlich über die hochpreisigen Fahrzeuge den Einzug ins Volumengeschäft fanden. Das gilt auch für die Elektromobilität – und erklärt, warum man mit *e-Up!* und Co. den Markt nicht aufrollen kann.

Ein klassischer Kleinwagenkäufer ist es gewohnt, 10.000 bis maximal 15.000 Euro für einen Neuwagen zu bezahlen. Punkt! Die kleinen Stadtflitzer kosten aber aktuell um die 25.000 Euro und verschrecken mit einer Reichweite von 130 Kilometern unter Idealbedingungen und 70 Kilometern im Winterbetrieb den Kunden. Solche Autos kaufen nur ideologisch geprägte Enthusiasten, denen es auch egal ist, ob sie im Winter statt in wohliger Wärme und mit Sitzheizung mit Wollmantel im Auto sitzen oder – im Falle des *Twizzys* – bei Schlagregen klitschnass ankommen, weil: Hauptsache elektrisch.

So kann das nicht funktionieren. Das spiegelt eben auch der Markt wider, nicht nur in Deutschland, sondern auch international. In China, wo der Zwang, mit Elektromobilität gegen die Luftverschmutzung anzukämpfen, drängender als irgendwo anders ist und sich deswegen ein dynamischer Leitmarkt (hier politisch gefordert) entwickelt, ist das Auto ein Statussymbol. Wer es sich nur irgendwie leisten kann, steigt erst bei der Mittelklasse ein. Darum ist China für Audi, BMW, Mercedes und Co. ja ein so wichtiger und großer Absatzmarkt.

Alle Player, die mit unförmigen Nischenprodukten auf den Markt gingen, die zwar die Idealistengilde beglückten, aber am Markt nicht bestehen konnten, sind längst auf dem Schrottplatz der Geschichte begraben, wie beispielsweise der *Eco-Crafter* aus Hannover und ähnlichen Kleintransporter-Kästen. Deshalb atmete die Branche ja auch nicht laut auf, als Google sein fahrendes Ei präsentierte, das eher Schmunzeln als Irritation erzeugte.

Ganz anderes bewirkt hingegen das hartnäckige Gerücht, dass Apple ein Elektroauto bauen will. Diese Annahmen – mehr ist es noch nicht, weil es kein offizielles Statement von Apple dazu gibt – nötigen die Vorstandsvorsitzenden der automobilen Marktführer aktuell reihenweise dazu, hier Kommentare abzugeben, die vor allem eines bewirken sollen: Die Angst zu zerstreuen, die da mitschwingt, seit das wertvollste Unternehmen der Welt namhafte Konstrukteure und Techniker von Autofirmen abwirbt und damit scheinbar Fakten schafft: Angst vor der Schlagkraft Apples, Angst vor deren Innovationskraft, Angst vor dem Wissen, dass Apple-Produkte so sexy und bedienerfreundlich gestaltet, dass die Welt sie haben will – selbst dann, wenn man sie nicht braucht.

Davon sind die E-Autobauer mit ihren allzu vernünftigen „Biedermeierkleinwagen“, die viel kosten, wenig Reichweite haben, keine Reputation bergen und nur in Einzelfällen Fahrspaß aufkommen lassen, weit entfernt. Darum erfolgt der elektromobile Markthochlauf an der Spitze der automobilen Klasse, wo Kunden willens sind, für Technik zu bezahlen, wo Formsprache und Ästhetik gesetzte Standards sind.

Das ist auch gut so. Schließlich schwärmen wir als auto-begeisterte und technikaffine Zeitgenossen eher für „große“, emotionsgeladene Autos denn für Stadtflitzer mit Zweitwagenstatus. Somit kann man dann ökologisch korrekt und ganz ohne schlechtes Gewissen den E-Sportler kaufen. Außerdem: Deutsche Autobauer können sowieso viel besser große Autos bauen. ||



Autor:  
Stefan Schlutter

**MIT GRÜNEM ANTRIEB  
AUF DER ÜBERHOLSPUR  
DIE GALA DES JAHRES**



**Panamera S E-Hybrid:**  
Kraftstoffverbrauch (in l/100 km)  
kombiniert: 3,1; CO<sub>2</sub>-Emissionen: 71 g/km;  
Stromverbrauch kombiniert: 16,2 kWh/100 km

**Europas größter Umwelt- und Wirtschaftspreis mit Porsche. Am 29. Mai 2015 | Berlin | Tempodrom**

Erzielen Sie maximale Aufmerksamkeit und präsentieren Sie Ihr Unternehmen in der exklusiven Ausstellung der GreenTec Awards. Ob innovative Umwelttechnik, saubere Energielösungen oder Elektromobilität – reihen Sie sich ein in das Who-is-Who der grünen Pioniere und sichern Sie sich jetzt Ihren Auftritt im Rampenlicht.

[www.greentec-awards.com](http://www.greentec-awards.com)



Medienpartner





Abb. 1: Raimund Nowak, Geschäftsführer der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg GmbH

Thema: Elektromobilität | Autor: Raimund Nowak

## WO FAHREN SIE DENN?

### *Auf der Suche nach einer Strategie für mehr Elektroautos*

1997 beschäftigte ich mich erstmals intensiver mit den Chancen von Elektroautos in Deutschland. Im Zuge des Baus des Hundertwasser-Bahnhofs in Uelzen schlugen findige Menschen aus dem Umfeld des Wiener Baumeisters die Organisation einer Stromauto-Rallye zwischen der Heidestadt und der österreichischen Metropole vor. Bezugnehmend auf die (für damalige Verhältnisse) große Photovoltaikanlage auf dem Bahnhofsdach suchte ich nach Unterstützern. Das Ergebnis war höchst ernüchternd. Vertreter der Automobilwirtschaft gaben dem Elektroauto keine Chance und verwiesen dabei gern auf einen gerade gescheiterten Großversuch auf der Insel Rügen. Die Umweltszene setzte auf Bahnen, die ja schon elektrisch angetrieben wurden, und zeigte sich für strombetriebene Autos wenig aufgeschlossen.

Ein Jahrzehnt später, seinerzeit war ich Landesvorsitzender der niedersächsischen Grünen, riet Renate Künast als Vorsitzende der grünen Bundestagsfraktion zum Kauf von Hybridfahrzeugen. Da derartige Fahrzeuge nur vom japanischen Hersteller Toyota zu kaufen waren, galt diese Produktempfehlung als Anschlag auf die deutsche Automobilindustrie. Höchste Kreise der deutschen Hersteller bemühten sich plötzlich um die grünen Funktionsträger und

erklärten, dass die angestrebten Klimaschutzziele nur mit optimierten Verbrennungsmotoren zu erreichen seien. Der Hybridtechnik – schon gar nicht den vollelektrischen Fahrzeugen – wurde keine realistische Chance eingeräumt.

Viel geholfen hatten diese Lehrstunden nicht. In einem Strategiepapier forderten die Grünen 2007, dass Deutschland bis zum Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf der Straße haben sollte. Zwei Jahre später übernahm die Bundesregierung diese Zielsetzung und mühte sich fortan unter Einbeziehung vieler relevanter Akteure um die Platzierung Deutschlands als Leitanbieter und Leitmarkt für Elektrofahrzeuge.

#### KONZENTRATION AUF VOLLELEKTRISCHE FAHRZEUGE

Gut sechs Jahre und einige Hundert Millionen Staatsförderung später ist die Distanz bis zur ausgerufenen Zielzahl leicht erkennbar. Und es ist nicht klar, welcher Umstand größere Sorgen bereiten sollte: Die fehlenden 975.000 Elektroautos bis 2020 oder die Unsicherheit bei der Entwicklung einer Strategie, dieses Ziel zu erreichen.

Angesichts des aktuellen Bestands von weniger als 30.000 Elektroautos klingt eine Million Fahrzeuge viel. Der angestrebte Marktanteil von zwei Prozent hingegen eher wenig. In einigen europäischen Ländern wie Norwegen oder den

Niederlanden verzeichnet man bei den Neuzulassungen bereits jetzt Werte, die das Erreichen eines Zwei-Prozent-Marktanteils als leicht erreichbar erscheinen lassen. Nicht das Umweltbewusstsein der Autofahrer, sondern die relativ großzügigen Kaufpreisförderungen treiben dort den Markt für Elektrofahrzeuge. Allerdings auch mit seltsamen Ergebnissen: So steht mit dem Mitsubishi *Outlander* ein großer Plug-In-Hybrid-SUV weit oben auf der Verkaufsliste. Dieses Fahrzeug symbolisiert eher einen Irrweg der urbanen Automobilität und kann beim besten Willen nicht als zukunftsfähiges Stadtfahrzeug gelten.

Hybridfahrzeuge benötigen weder Kaufprämien noch Benutzervorteile. Wer der Elektromobilität Gutes tun will, sollte sich bei der Förderung auf die vollelektrischen Fahrzeuge konzentrieren und vermeiden, Elektroautos als Alternative zum städtischen ÖPNV zu platzieren. Auf Busspuren gehören Busse – im Idealfall Busse mit Elektromotoren. Auch hier beweisen die ersten vollelektrischen Fahrzeuge mittlerweile ihre Einsatzfähigkeit.

**FAHRRÄDER UND FLOTTEN NICHT VERGESSEN** Die Proklamierung des 1-Mio.-Elektroauto-Ziels wirkt zweifelsfrei motivierend, verengt allerdings auch den Blick auf Pkw. Bei den E-Fahrrädern benötigt man weder Zielzahlen noch Kaufpreisförderungen. Hier wären bessere Radwege und mehr Geld für die Entwicklung von Elektrolastenträgern hilfreich. Es sind ja vergleichsweise kleine Unternehmen, die diese Produkte anbieten.

Im Busbereich ist die Nachfrage staatsseitig viel leichter zu beeinflussen als im Pkw-Segment. Übrigens ist es erstaunlich, dass ein kleiner Anbieter (Sileo, Salzgitter) als einziger deutscher Hersteller einen vollelektrischen Bus produziert. In Deutschland fahren rund 40.000 Linienbusse. Warum erhebt bisher niemand die Forderung, dass bis 2020 mindestens 1.000 vollelektrische Busse in Deutschland im Einsatz sein sollten?

Eine weitere sinnvolle Zieldefinition liegt bei dem Anteil der Elektroautos in öffentlichen Flotten. Ein wirksames Förderprogramm könnte in absehbarer Zeit dazu führen, dass rund 10 % der öffentlichen Fuhrparks aus Elektroautos bestehen würden. Damit würde eine Grundlage für den massenhaften Einsatz von Elektrofahrzeugen gelegt. Ein derzeit vom Verein *Kommunen in der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg* betriebene Flotte mit rund 150 vollelektrischen Pkw lässt nach rund 15 Monaten verlässlich den Schluss zu, dass Elektroautos in vielen Bereichen der Fuhrparks bei Kommunen und kommunalen Betrieben ohne Einschränkungen eingesetzt werden können. Die Reichweiten der Fahrzeuge sind ausreichend und für die Ladevorgänge sind keine größeren Investitionen notwendig. Es geht derzeit allein um die Deckung von Mehrkosten, die zwischen 100 und 250 Euro monatlich pro Elektroauto liegen dürften.

Eine Initiative, die dieses Mehrkostendelta zumindest teilweise schließen könnte, würde sicher rasch für mehr Elektroautos in einem sinnvollen Einsatzbereich sorgen. Es gäbe letztlich nicht mehr, sondern „bessere“ Fahrzeuge in den Kommunen. Bei einer Betrachtung der Gesamtkosten dürfte in vielen Fällen der Einsatz von Elektrofahrzeugen bei günstigen Stromtarifen schon bald in vergleichbarer Nähe zum Benzin- oder Dieselfahrzeug liegen. Dies gilt für einige Fahrzeuge mit Laufleistung über jährlich 20.000 km schon jetzt. Die Elektrifizierung der Fuhrparks sollte mit der Optimierung des Fahrzeugeinsatzes, also der Implementierung eines Fuhrparkmanagementsystems, erfolgen. Hier wäre dann auch dafür zu sorgen, dass die Elektrofahrzeuge in

Bereichen mit hoher Laufleistung eingesetzt werden. Was spricht dagegen, die öffentlichen Fuhrparks zu den saubersten der Welt zu machen?

**WANN, WENN NICHT JETZT?** Elektrofahrzeuge sorgen für bessere Stadtluft und weniger Lärm. Diese Sichtweise kommt in der deutschen Elektromobilitätsdiskussion viel zu wenig zum Tragen. Es dominieren buchhalterisch anmutende Diskussionen über die Zahl von Ladepunkten und von Mutlosigkeit gekennzeichnete Prognosen zur Wandlungsfähigkeit von Mobilitätsverhalten und Fahrzeugkonzepten. Natürlich wird es künftig weniger Autos in den Städten geben, und die neu zu beschaffenden Fahrzeuge werden immer leiser und ohne lokale Luftbelastung unterwegs sein. Diese Aussichten sollten Stadtplaner und die lokale Politik eigentlich zu neuen Entwürfen des Stadtlebens motivieren. Noch ist wenig davon zu sehen. Konsequente Reaktionen auf neue Fahrzeugtechnologien und die Nutzung der modernen Informationstechnik finden derzeit nur in den seltensten Fällen in Deutschland statt.

Es ist nachvollziehbar, dass die Autoindustrie versucht, Elektroautos anzubieten, ohne das Modell der konventionellen Automobilität zu gefährden. Autos sollen im privaten Besitz sein und sowohl als Vehikel für den kleinen Einkauf als auch für die große Urlaubsreise dienen. Deshalb wird viel Energie in die Steigerung der Reichweiten der Elektroautos und in die Senkung der Ladezeiten der Batterien gesteckt.

Das Alternativmodell wäre eine Konzentration auf die Felder, in denen das Elektroauto schon heute ohne größere Probleme einsetzbar ist. Also für Tageskilometerleistungen unter 150 km und bei Nutzern, die auf leicht verfügbare >>

25

Terminhinweis



Nationales Innovationsprogramm  
Wasserstoff- und  
Brennstoffzellentechnologie

## Vollversammlung und Statusseminar Brennstoffzelle

**1. und 2. Juni 2015**

Berlin Marriott Hotel am Potsdamer Platz

**Einladung folgt**



Stromlademöglichkeiten, etwa in ihrer Garage oder bei ihrem Arbeitgeber, zurückgreifen können. Zu Hause könnte vor Ort erzeugter Solarstrom und bei Arbeitgebern preisgünstiger Gewerbe- oder gar Industriestrom geladen werden. Das würde den Betrieb von Elektrofahrzeugen deutlich günstiger machen. Wer auf kostenpflichtige öffentliche Ladeinfrastruktur angewiesen ist und häufiger längere Strecken mit dem Auto fährt, wird aller Voraussicht nach in nächster Zeit kein Elektroauto kaufen. In Deutschland leben jedoch deutlich mehr als eine Million Autofahrer, die alle Kriterien für den relativ problemlosen Umstieg auf ein Elektroauto erfüllen.

**WO LADEN SIE DENN?** Es ist schwer verständlich, warum in einem Land mit weitgehend intakten Stromnetzen und einer Vielzahl von gut zugänglichen Starkstromanschlüssen Elektroautofahrer mit Reichweitenangst unterwegs sein müssen. Die Realität des E-Auto-Fahrens wird bei der Planung der Ladeinfrastruktur offensichtlich zu wenig berücksichtigt. Die überwiegende Zahl der Ladevorgänge von E-Fahrzeugen wird zu Hause oder beim Parken am Arbeitsplatz vollzogen. Das macht Sinn, weil sie dort ohnehin länger als vier Stunden stehen, was im Normalfall eine ausreichende Batterieladung garantiert. Für das Stromladen in der eigenen Garage oder am Arbeitsplatz sprechen die Bequemlichkeit und insbesondere die Kosten. Auswärts Laden muss zwangsläufig teurer sein, da ja neben dem Strom auch der Betrieb der Ladesäule finanziert werden muss. Es sei denn, ein Modell der Kundengewinnung in Handel, Gastronomie, Energiewirtschaft oder bei Autoherstellern lockt mit der Gratisabgabe von Strom. Wer in den Aufbau von Ladeinfrastruktur investieren will, sollte bedenken, dass die Elektroautos eher selten an einer kostenpflichtigen Stromtankstelle geladen werden.

Wer auswärts laden *muss*, weil die geplante Fahrt die Reichweite der Batterie übersteigt, benötigt die absolute Sicherheit des Zugangs zu einer Stromquelle. Diese Sicherheit wird eine im öffentlichen Raum platzierte Ladesäule kaum bieten können. Hier sollten Tankstellen (endlich) in die Verantwortung gehen beziehungsweise genommen werden. Es gibt für das schnelle Aufladen von Elektroautos sicher keinen geeigneteren Standort als eine Tankstelle, weil diese Einrichtungen auf vergleichbare Vorgänge eingestellt sind. Natürlich müsste man zudem von den Herstellern von Elektroautos erwarten, dass sie an ihren Autohäusern Lademöglichkeiten anbieten.

Eine weitere wichtige Rolle beim Aufbau von Stromtankstellen sollten Hotels, Restaurants und der Einzelhandel spielen. In der Regel wird sich hier nicht der Aufbau von teuren Schnellladeeinrichtungen rechnen. Hier sollten Möglichkeiten der sicheren, beschleunigten Ladung angeboten und der Einsatz von mobilen Ladeboxen stärker in Betracht gezogen werden. Mit dem einfachen Anschluss dieses tragbaren Geräts an eine, im gewerblichen Bereich fast überall verfügbare Starkstromsteckdose (CEE) kann beschleunigtes Laden sehr unkompliziert angeboten werden. Eine derartige Box kostet derzeit zwischen 1.500 und 2.000 Euro. Im Vergleich zu festinstallierten Säulen entsteht so ein Kostenvorteil und es wird eine größere Variabilität bezüglich des Zugangs geschaffen. Die einfachste Form der Unterstützung des Elektroautofahrens durch Gastronomie und Einzelhandel wäre dann die Bereitstellung vorhandener CEE-Steckdosen.

**FAZIT** Kurz gefasst sähe eine Strategie zum schnellen Aufbau von Ladeinfrastruktur wie folgt aus: Tankstellen liefern die Grundausstattung für das sichere Schnellladen (30 bis 50 kW). Ergänzt wird das Schnellladeangebot von Autohäusern und

ggf. den Gebäuden der Energieversorger. Das beschleunigte Laden wird in erster Linie von Handel und Gastronomie angeboten. In der Regel reichen hier Starkstromsteckdosen und mobile Ladeboxen. Auf Marktplätzen findet man sie übrigens in großer Zahl. Für eine Übergangszeit von zwei Jahren sollte man vollelektrischen Fahrzeugen Vergünstigungen beim Parken einräumen. Natürlich wäre es sinnvoll, in einer deutschlandweiten kommunalen Aktion einheitlich zwei freie Elektroparkstunden einzuführen. Ein Wirrwarr an unterschiedlichen Regelungen in den verschiedenen Städten, die Platzierung von unterschiedlichen Sonderausweisen und Flächenkennzeichnungen, sollte unbedingt vermieden werden.

In den letzten Monaten sorgten der Preisverfall beim Rohöl, die ernüchternden Zulassungszahlen bei den Elektroautos und ausbleibende Produktinnovationen für eine sehr eingetrübte Stimmung im Elektromobilitätssektor. Der überfällige neue Schwung kommt (leider) wieder mal aus Kalifornien. Apple soll an der Entwicklung eines Elektroautos arbeiten und Google experimentiert mit selbstfahrenden Elektroautos. Nun sind es also nicht nur Tesla, sondern auch die IT-Riesen, die zweifelsfrei die Möglichkeiten besitzen, das neue Bild der Automobilität zu definieren. Es ist eher unwahrscheinlich, dass sich der Elektroautomarkt nach den Regeln des Automobilmarktes der letzten 30 Jahre entwickelt. Viel spricht für einen raschen Umbruch, den wir in den letzten Jahren in mehreren Technologiebereichen erlebt haben. Deutschland und die meisten Länder der Europäischen Union vermitteln derzeit nur bedingt den Eindruck, diesen Umbruch zu gestalten. Dabei wäre es ja eine gut geeignete Herausforderung des alten Europas, der Heimat des Automobils, in den unterschiedlichsten Stadttypen zukunftsfähige Mobilitätskonzepte mit Elektrofahrzeugen zu realisieren. Wo fahren denn die Elektrofahrzeuge? In Europa. Das sollte die Antwort sein. ||

→ Metropolregion auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand E50

Autor:

Raimund Nowak

Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg GmbH

→ [raimund.nowak@metropolregion.de](mailto:raimund.nowak@metropolregion.de)

„Derzeit sind in Deutschland durch die zahlreichen Modell- und Schaufensterprojekte unterschiedliche Authentifizierungs- und Abrechnungsverfahren realisiert worden. Dies ist für die Nutzer von Elektrofahrzeugen sehr unübersichtlich, weil selbst in einer Stadt bei Ladesäulen unterschiedliche Ladekarten oder Apps benötigt werden. Hier gab es Fehlentwicklungen, die wir jetzt korrigieren möchten. Deswegen haben wir in Berlin konkrete Rahmenbedingungen definiert und vorgeben, die von den Ladeinfrastrukturbetreibern einzuhalten sind. Für die Nutzer soll damit eine einheitliche Benutzeroberfläche geschaffen werden, die eine einfache Handhabung ermöglicht. Mit der in Berlin durchgeführten Ausschreibung und der nun erfolgten Entscheidung zugunsten des Konsortiums Alliander-TheNewMotion-Allego haben wir einen entscheidenden Schritt getan, um die Entwicklung der Elektromobilität weiter voranzutreiben. In Berlin wird diese kundenorientierte Ladeinfrastruktur ab April 2015 realisiert werden.“

Hermann Blümel, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin

# „BERLIN IST UM EINE ATTRAKTION REICHER“

## Interview mit Gernot Lobenberg, eMO Berlin

Die *Schaufenster Elektromobilität* mussten schon einiges an Kritik einstecken: Das dauere viel zu lange, heißt es immer wieder, und richtig was zu sehen gebe es auch nicht. Selbst der ehemalige regierende Bürgermeister von Berlin, Klaus Wowereit, kritisierte vor zwei Jahren während der Hauptstadtkonferenz, dass sich „der Start etwas verzögert hat – vorsichtig ausgedrückt“. Zeitweise war sogar die Rede davon, dass „nichts so langweilig ist wie ein leeres Schaufenster“. Über den aktuellen Stand in Berlin-Brandenburg und die neuste Entwicklung beim Ausbau der Ladeinfrastruktur in der Hauptstadt sprach HZwei mit Gernot Lobenberg, dem Leiter der Berliner Agentur für Elektromobilität eMO.



Gernot Lobenberg

HZwei: Sehr geehrter Herr Lobenberg, am 25. März 2015 findet in Berlin die „3. Hauptstadtkonferenz Elektromobilität“ in Berlin statt. Freuen Sie sich auf diese Veranstaltung oder befürchten Sie, dass es mal wieder Kritik geben könnte?

Lobenberg: Ja natürlich freue ich mich darauf, und auch, wenn wir Diskussionen über das Thema führen. Schließlich ist nichts so langweilig wie eine Konferenz, auf der sich alle einig sind. Wir wollen in diesem Jahr vor allem beleuchten, wie man es hinbekommt, dass der Funke der Elektromobilität aus der sowieso überzeugten „Community“ auf die breite Öffentlichkeit überspringt. Dafür haben wir einige hochkarätige Gäste eingeladen: Die Zukunftsforscher Lars Thomsen und Stephan Rammler werden uns einen Ausblick bieten, die Politik ist vertreten und wird über die anstehenden Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität berichten, und wir haben Best-Practice-Beispiele aus dem Bereich Herstellung/Local Motors/Anwendung/SAP.

HZwei: In den vergangenen beiden Jahren war das Rote Rathaus bei diesem Event stets gut besucht. Ich erinnere mich aber gut, dass sich insbesondere 2013 etliche Gesprächspartner über die träge Anlaufphase beschwert haben. Läuft denn jetzt alles wie geplant?

Lobenberg: Naja, wissen Sie, mit der Einführung von Innovationen ist das so eine Sache. Viele Menschen sind begeistert von einer neuen Technologie, zumal wenn sie so viele Vorteile verspricht wie die Elektromobilität: Leise, klimafreundlich, mit großem Spaßfaktor. Da geht es natürlich oft nicht schnell genug. Auch ich wünschte mir manchmal, dass es viel schneller vorwärts geht. Gleichzeitig brauchen solche Entwicklungen natürlich Zeit. Zunächst müssen technische Lösungen gefunden werden, dann muss das Machbare um- und das politisch Gewollte durchgesetzt werden. Da sind viele Akteure im Spiel und zahllose Interessen. Dass das nicht ohne Haken und Ösen ablaufen würde, musste jedem vorher klar sein. Und das Ganze unter permanenter Beobachtung der Öffentlichkeit. Andere Technologien, wie zum Beispiel die Wasserstofftechnologie, haben es da einfacher. Das interessiert nur eine eingeschworene Community.

HZwei: Gemäß den neuen Zulassungszahlen wurden im Jahr 2014 in Berlin 237 Elektroautos angemeldet. Im Jahr zuvor waren es noch 338. Wie kommt es, dass die Zahlen rückläufig sind? Ist dies nicht insbesondere für ein Schaufenster Elektromobilität eine ernüchternde oder gar erschreckende Entwicklung?

Lobenberg: Das Schaufenster ist ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, vor allem im Bereich der Anwendung. Das heißt, hier wird erprobt und gezeigt, ob und wie Elektromobilität alltagstauglich ist. Wir bereiten das Thema hier in Berlin also vor, machen Demonstrationsprojekte in allen Bereichen, auch in der Logistik und bei smart grids. Autos in Privatbesitz spielen nur eine Rolle unter vielen. Im Übrigen sind wir kein Autohaus und schon gar kein Hersteller von Elektrofahrzeugen. Für den Verkauf müssen die Hersteller trommeln. Hinzu kommt: In Berlin besitzen im bundesweiten Vergleich nur sehr wenige Menschen ein eigenes Auto, und die Neuzulassungen nehmen insgesamt ab. Gerade hier wird das Motto „teilen statt besitzen“ immer wichtiger.

HZwei: Und wie sieht es mit der induktiven Ladung von Elektrobussen bei der BVG aus? Bombardier berichtete vor zwei Jahren in einem HZwei-Interview (s. April-Heft 2013), dass ihre *PrimeMove*-Technik auf der Linie 147 eingesetzt würde. Dann war die Linie 192 im Gespräch, mittlerweile ist es die 204. Was gilt jetzt?

Lobenberg: Definitiv steht fest: Es ist die Linie 204 vom Bahnhof Zoologischer Garten zum Südkreuz. Die Linie wird ab Sommer dieses Jahres mit vier Elektrobussen betrieben, und Berlin ist um eine Attraktion reicher. Die induktiven Ladestationen werden an den Endhaltestellen für die notwendige Energie sorgen.

HZwei: Hamburg hat Ende 2014 die „Innovationslinie 109“ gestartet (s. HZwei-Heft Jan. 2015), auf der drei innovative Busantriebskonzepte getestet werden. Warum ist in der Hauptstadt die Umsetzung eines Busprojekts mit nur einem Antriebskonzept so kompliziert?

Lobenberg: Das Ziel in Berlin ist es weniger, unterschiedliche Technologien einzelner Hersteller zu erproben, sondern Erfahrungen beim Regelbetrieb einer vollelektrischen Omnibuslinie zu sammeln, bis hin zu den Werkstattprozessen. Das können Sie sinnvoll nur mit mehreren Fahrzeugen >>

desselben Typs machen. Mit der Linie 204 ist ein guter Kompromiss zwischen den Rahmenbedingungen, die für einen stabilen Linienbetrieb nötig sind, und dem Wunsch nach einer guten innerstädtischen Sichtbarkeit gefunden worden. Das Finden der optimalen Linie hat zwar länger gedauert als geplant, aber dafür verbinden wir auch zwei verkehrliche Hot Spots: den Bahnhof Zoo mit dem Zukunftsbahnhof Südkreuz, bei dem weitere Schaufensterprojekte laufen.

**HZwei:** Können Sie denn bestätigen, dass hier Anspruch und Realität derzeit noch weit auseinanderklaffen? Cornelia Yzer, die Berliner Senatorin für Wirtschaft, Technologie und Forschung, hat Berlin Ende 2014 als „Hauptstadt der Elektromobilität“ bezeichnet, die „schon heute Vorreiter für eine der zentralen Mobilitätslösungen der Zukunft“ ist. Sind derartige Äußerungen nicht doch etwas übertrieben?

**Lobenberg:** Wir sehen das Thema Elektromobilität ganzheitlich und nicht nur als einen Austausch des einen durch ein anderes Antriebskonzept. Es geht um mehr als nur um Elektroautos. Die Mobilität der Zukunft ist geprägt durch das Zusammenspiel verschiedenster nachhaltiger Verkehrsmittel, die Integration in die Energiewende und ihre intelligente Verknüpfung. Die Frage wird nicht mehr sein: Welches Fortbewegungsmittel kaufe ich mir und bewege mich fast ausschließlich damit fort, sondern: Wie komme ich am schnellsten, bequemsten und günstigsten mit welchen Verkehrsmitteln von A nach B. Smartphones, Apps und Internetdienste werden dabei immer mehr helfen. Elektromobilität passt hervorragend in diese Art der Fortbewegung.

Und ja, auch bei den konkreten Zahlen stehen wir hervorragend da: 2.000 Elektrofahrzeuge sind in der Hauptstadtregion unterwegs, wir haben eine jetzt schon gut ausgebaut Ladeinfrastruktur, die weiter ausgebaut wird, und eines der besten Nahverkehrssysteme der Welt und vor allem eine Bevölkerung, die für eine multimodale Fortbewegung höchst aufgeschlossen ist.

**HZwei:** Kommen wir jetzt vielleicht zu den erfreulicheren Projekten: Sie haben die „Initiative Berlin-Brandenburg“, bei der 500 E-Fahrzeuge kostengünstig verleast werden sollen, ins Leben gerufen. Wie läuft dieses Vorhaben an?

**Lobenberg:** Einige Dutzend Fahrzeuge sind auf Berliner und Brandenburger Straßen aus dem Projekt schon unterwegs. Wir erhalten sehr viele Anfragen, aber bis zur Kaufentscheidung ist es dann noch ein langer Weg mit viel Überzeugungsarbeit. Elektroautos sind nach wie vor auch mit Förderung kein Selbstläufer. Außerdem konkurriert die Förderung mit den zum Teil satten Rabatten bei den Verbrennern und natürlich den derzeitigen Ölpreisen.

**HZwei:** Im Januar-Heft der HZwei berichteten wir über die beiden Berliner Anbieter ubitricity und ebee, die Laternen zu Ladesäulen umfunktionieren wollen. Wie geht es hier voran?

**Lobenberg:** Beide Projekte sind angelaufen und einige Laternen sind ausgestattet. An diesen wollen wir lernen, wie Genehmigungsprozesse laufen und wie die Einbindung in Betreibermodelle funktioniert. Ich finde, dass das eine charmante technische Entwicklung ist, die eine, aber nicht die einzige, zukunftsfähige Lösung bietet.

**HZwei:** Ein zentrales Thema in der Bundeshauptstadt war zuletzt die Ausschreibung der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt für die Erweiterung und den Betrieb der Ladeinfrastruktur. Hier ist am 9. Januar 2015 eine Entscheidung gefallen. Wie lautet diese?

**Lobenberg:** Die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt erteilte den Zuschlag für die Erweiterung und den Betrieb der Ladeinfrastruktur dem niederländisch-deutschen Konsortium Alliander-TheNewMotion-Allego. In der ersten Phase bis Mitte 2016 sollen 400 Wechselstrom-Ladepunkte und 20 Gleichstrom-Schnellladepunkte in Berlin in Betrieb gehen. Insgesamt haben wir dann rund 800 Ladepunkte in der Stadt. In einem zweiten Schritt wird dann geschaut, welcher weitere Bedarf an welchen Stellen und mit welcher Technik nachgewiesen wird und bei Bedarf weiter ausgebaut wird.

**HZwei:** Was wird sich denn dadurch konkret für die Fahrer von Elektroautos in der Stadt ändern?

**Lobenberg:** Berlin baut als erste Stadt in Deutschland eine Ladeinfrastruktur mit einheitlicher Benutzeroberfläche auf. Die Benutzeroberfläche umfasst mehrere Elemente wie die anbieterneutrale Information über die verfügbare Ladeinfrastruktur und deren aktuellen Status. Der Zugang zu allen Ladeeinrichtungen wird mit zahlreichen RFID-Ladekarten der Mobilitätsanbieter möglich sein, an allen Ladepunkten ist eine einheitliche Tarifstruktur vorgesehen. Auch die Rollenmodelle sind neu: Neben dem Vertragspartner Alliander-TheNewMotion-Allego sind auch die vertraglichen Grundlagen für weitere Anbieter von Ladekarten geregelt. Und schließlich sind alle derzeit am Markt verfügbaren Ladetechniken vom langsamen Laden mit Wechselstrom bis zum Gleichstrom-Schnellladen eingeschlossen. Wir sind gespannt, ob wir die viel benutzte Metapher vom Henne-Ei-Problem in ein bis zwei Jahren bestätigen können. Die Zahl der Anrufe von Bürgern, die vom Ausbau gelesen haben und nun überlegen, sich ein Elektroauto anzuschaffen, wenn die Ladeinfrastruktur erweitert wird, hat deutlich zugenommen.

**HZwei:** Wie bewerten Sie, dass hier ein niederländisches Konsortium den Zuschlag erhalten hat?

**Lobenberg:** Der Ausbau und Betrieb der Ladeinfrastruktur wird vom Land Berlin gefördert. Bei der Größenordnung des Auftrags ist eine europaweite Ausschreibung obligatorisch. Damit wird zugleich die Möglichkeit eröffnet, die Erfahrungen im EU-Ausland in Berlin zu nutzen. Das Konsortium hat nicht nur das preisgünstigste Angebot abgeliefert, sondern war auch inhaltlich überzeugend. Ein wichtiges Auswahlkriterium war die Qualität des Konzepts, um die Nachfrage nach Lademöglichkeiten zu stärken. Auch für diese Aufgabe hat das Konsortium sehr gute Ansätze vorgelegt. Nicht zuletzt haben die Konsortialpartner ihre deutschen Firmensitze in Berlin, was aber bei der Vergabe keine Rolle spielen durfte.

**HZwei:** Auch hier gab es ein langwieriges Bieterverfahren mit Unstimmigkeiten darüber, wer überhaupt teilnehmen durfte. Können Sie bitte kurz zusammenfassen, warum das so lange gedauert hat? In der EU-weiten Ausschreibung vom 23. Oktober 2012 stand, dass der 23. November 2012 der Schlusstermin für den Eingang der Angebote gewesen ist.

**Lobenberg:** Das Verfahren war in zwei Stufen angelegt, beginnend mit einem Teilnahmewettbewerb. Die Bewerbungen hierfür mussten bis Ende 2012 vorgelegt werden. Unstimmigkeiten über die Teilnahme traten nicht auf. Mit einem nach wettbewerblichen Kriterien ausgewählten Teil der Bewerber begann im Januar 2013 ein Dialogverfahren, in dem alle technischen, organisatorischen und vertraglichen Elemente Schritt für Schritt gemeinsam entwickelt wurden. Die

Angebotsfrist wurde auf Wunsch einzelner Bieter bis Anfang November 2014 verlängert. Vorbilder für diesen komplexen Ansatz gab es in Europa nicht. Zudem sind etliche in Verträgen festzulegende Elemente bisher nicht genormt. Auch die Nachfrageentwicklung (z. B. nach 50-kW-Gleichstromladen) ist heute nicht absehbar, da niemand die Entwicklung der Verbreitung der Ladetechnik in den Fahrzeugen sicher beschreiben kann. Und schließlich werden neben der Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum auch öffentlich zugängliche Lademöglichkeiten auf privatem Grund gefördert.

**HZwei: Was ist denn Ihre persönliche Erkenntnis aus diesen langwierigen Politikentscheidungen: Sind derartige bürokratischen Hürden unabdingbar? Ist das so der natürliche Gang der Dinge, dass gewisse Prozesse einfach viel Zeit benötigen, oder fehlt hier einfach der politische Wille?**

**Lobenberg:** Die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt hat mit dem umfassenden Ansatz und den anspruchsvollen Zielen in vielfacher Hinsicht Neuland be-

schritten und Standards festgelegt. Das hat erst mal nichts mit Bürokratie und fehlendem politischen Willen zu tun. Der Aufwand hat sich auch aus Sicht der Steuerzahler gelohnt. Mit einem anderen verfahrensmäßigen Ansatz wäre der hohe Anspruch des Landes Berlin sicher nicht erreicht worden, oder die Belastungen für den Haushalt des Landes Berlin wären künftig höher.

**HZwei: Letzte Frage: Worauf freuen Sie sich jetzt als Nächstes?**

**Lobenberg:** Natürlich erst einmal auf die Hauptstadtkonferenz. Da haben wir ein tolles Programm zusammengestellt. Außerdem wollen wir in diesem Jahr das Projekt „Autotausch“ starten: 10-mal werden 10 Berliner für 10 Tage ihren Verbrenner gegen ein Elektroauto tauschen und so im Alltag Erfahrungen sammeln. Das wird sicherlich eines unserer diesjährigen Highlights.

**HZwei: Herr Lobenberg, herzlichen Dank für die Beantwortung der Fragen.**

Thema: Elektromobilität | Autor: Sven Geitmann |

## WASSERSTOFF WIRD UNTERSCHÄTZT

### Neue H<sub>2</sub>-Tankstelle für Hamburg



Abb. 1: Neuer Hyundai ix35 Fuel Cell an neuer H<sub>2</sub>-Station – hinten die beiden neuen Hochtanks

zwei grauen Türen ein PEM-Elektrolyseur des US-amerikanischen Herstellers Proton Onsite. Der Proton C30 Elektrolyseur liefert pro Stunde 3,5 kg Wasserstoff, also „ausreichend Kraftstoff für stündlich eine Betankung“, wie Projektleiter Lars Zimmermann erläuterte. Gestartet wird die H<sub>2</sub>-Produktion, sobald im Mittelspannungsnetz Überschussstrom vorhanden ist. Das erzeugte Gas wird dann bei 30 bar in zwei Hochtanks zwischengespeichert. Nach der Komprimierung auf 900 bar und einer Zwischenkühlung auf -40 °C gelangt

Hamburg hat seine dritte Wasserstofftankstelle erhalten. Am 16. März 2015 nahm der Parlamentarische Staatssekretär beim Bundesverkehrsministerium Enak Ferlemann gemeinsam mit dem Hamburger Wirtschaftssenator Frank Horch die neue Station in der Schnackenburgallee in Betrieb. Die in die dortige Shell-Tankstelle integrierte Betankungsanlage erzeugt den Wasserstoff per Elektrolyse direkt vor Ort, und zwar aus 50 % erneuerbar produziertem Strom und 50 % Regelenergie.

In dem Container hinter der Waschstraße befinden sich recht unauffällig hinter

das Gas in die von H2 Logic bereitgestellte Zapfsäule (H2Station®) zur Betankung der Fahrzeuge. Insgesamt kostete die H<sub>2</sub>-Betankungsanlage 2,8 Mio. Euro, wobei 47 % der Kosten vom Bund getragen wurden.

Getrübt wurde die Einweihungsfeier von der Mitteilung, dass der Leiter des H<sub>2</sub>-Operations-Teams von Shell Andreas Pagel unerwartet rund zwei Wochen zuvor verstorben war. Dr. Peter Blauwhoff, Vorsitzender der Geschäftsführung von Shell Deutschland Oil, sagte: „Die Nachricht von seinem unerwarteten Tod hat uns alle getroffen.“ Auch der CEP-Vorsitzende Patrick Schnell zollte Pagel seinen Respekt, indem er erklärte: „Wir werden seine Begeisterung schmerzlich vermissen.“

**WASSERSTOFF-REGION NORDDEUTSCHLAND** Ferlemann stellte sich während der Einweihungsfeier voll hinter die H<sub>2</sub>-Technik und sprach sich eindeutig für eine Fortsetzung des Nationalen Innovationsprogramms für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) aus, damit nach 50 H<sub>2</sub>-Tankstellen bis Ende 2015 anschließend in der zweiten Phase 400 bis 2023 und dann 1.000 Stationen bis Mitte des nächsten Jahrzehnts gebaut werden können. Er sagte: „Wasserstoff wird landläufig unterschätzt.“ Zudem sprach er sich für die Initiierung einer H<sub>2</sub>-Region Norddeutschland aus: „Das ist mein großes politisches Ziel“, schließlich habe man „hier im Norden Firmen, die mit Wasserstoff gut umgehen können“. Wie zur Bestätigung fügte Senator Frank Horch hinzu, dass nach diesem mittlerweile dritten Standort im Hamburger Raum in Kürze die vierte H<sub>2</sub>-Station südlich der Elbe in Finkenwerder folgen werde. ||

Eins der ersten von den 50 Toyota-Mirai-Exemplaren, die voraussichtlich nach Deutschland geliefert werden sollen, hat bereits Nikolaus W. Schües, langjähriger Vorsitzender der Wasserstoff-Gesellschaft Hamburg e.V., bestellt.

# RANGE EXTENDER MIT METHANOL-FUEL-CELL

## Innovationscluster REM 2030 entwickelt und testet Alternativsystem

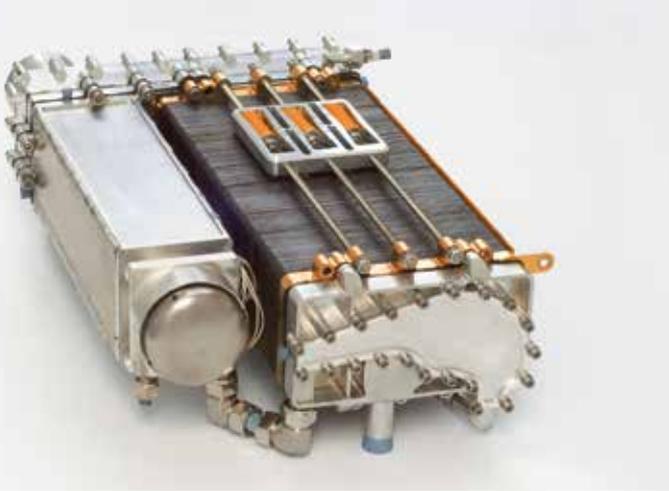


Abb. 1: 5-kW-RMFC-System von SerEnergy AS

Um die Reichweite von batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) bei Bedarf zu vergrößern, kommen sogenannte Range Extender zum Einsatz. Die am häufigsten eingesetzten Systeme basieren auf Verbrennungsmotoren, die einen Generator antreiben. Hiermit können im Bedarfsfall und bei längeren Fahrstrecken die Traktionsbatterie und der Elektromotor mit Strom versorgt werden. Bei den Serienfahrzeugen Opel Ampera / Chevrolet Volt und BMW i3 kommen Mehrzylinder-Reihenmotoren zum Einsatz. Im Bereich der Prototypen mit Range Extender werden auch andere Verbrennungsmotorkonfigurationen wie zum Beispiel V-Motoren (KSPG) [1] oder Wankelmotoren (Audi) [2] verwendet. Die Motivation für solche alternativen Bauformen gegenüber Reihenmotoren ist oftmals der Vorteil im Bereich Bauraum und Akustikverhalten.

Im Rahmen des Projekts REM 2030 (*Regional Eco Mobility 2030*) – Systemkonzepte für die urbane Mobilität von morgen wurden in einer Zusammenarbeit zwischen der Fraunhofer Projektgruppe Neue Antriebssysteme (NAS) und internationalen Industriepartnern alternative Range-Extender-Systeme untersucht. Der Fokus lag dabei auf Verbesserungen bezüglich Lärm und Schadstoffemissionen, der Nutzung eines erneuerbaren Brennstoffs und der Erhöhung des Wirkungsgrades im Vergleich zum konventionellen Verbrennungsmotor. Diese Verbesserungen sollen im Rahmen des Innovationsclusters mittels einer Brennstoffzelle ermöglicht werden. Im Rahmen des Projektes wurde das Range-Extender-System in ein Technologieträger-Fahrzeug, einen Audi A1 Sportsback, integriert und wird aktuell getestet.

**RMFC ALS RANGE EXTENDER** Beim NVH-Verhalten (Noise, Vibration, Harshness = Geräusch, Vibration, Rauheit), aber vor allem beim Tank-to-Wheel-Wirkungsgrad bieten Wasserstoffbrennstoffzellen wesentliche Vorteile gegenüber Verbrennungsmotoren. Allerdings hat die Nutzung von H<sub>2</sub>-Brennstoffzellen als Range Extender auf Grund der fehlenden Infrastruktur zur Betankung und wegen der aufwendigen Speicherung von Wasserstoff im Fahrzeug noch keine weite Verbreitung erreicht. Im Rahmen des REM-2030-In-

novationsclusters kommt daher ein Range-Extender-System vom Typ Hochtemperaturpolymerelektrolytmembran (HT-PEMFC) mit einem vorgeschalteten Methanoldampfreformer zum Einsatz, um das Problem der fehlenden Wasserstoffinfrastruktur und Betankung zu umgehen.

Diese sogenannte *Reformed-Methanol-Fuel-Cell* (RMFC) stammt von den Projektpartnern SerEnergy AS und Fischer Eco Solutions GmbH und ist ein System mit vergleichsweise hohem elektrischem Wirkungsgrad und sehr guter Leistungsdichte. Somit ist dieses System gut dafür geeignet, die Reichweite von BEVs zu erweitern. Der wesentliche Vorteil bei der Verwendung von Methanol ist gegenüber der rein wasserstoffbetriebenen Brennstoffzelle die schnelle und einfache Betankung, da die vorhandene Infrastruktur zur Aufbewahrung und Distribution von flüssigen Brennstoffen wie Benzin und Diesel mit einfachen Modifikationen auch für Methanol verwendet werden kann. In China wird Methanol bereits als Treibstoff verbreitet angeboten, und in Europa arbeiten Projekte wie *Green Methanol Infrastructure* (GMI) [3] daran, eine Tankstelleninfrastruktur für Methanol und Bio-Methanol aufzubauen. Ein weiterer Vorteil der HT-PEM ist das höhere Temperaturniveau des Kühlmittelkreises (160 °C im Vergleich zu ca. 80 °C bei einer Standard-PEM), wodurch sich die benötigten Volumina der Wärmetauscher verringern.

**EIGENSTÄNDIGER FAHRZYKLUS** Im Innovationscluster REM 2030 wird ein RMFC-System mit einer elektrischen Leistung von 5 kW (s. Abb. 1) in Verbindung mit einem 20-Liter-Treibstofftank im Heck des Fahrzeuges integriert (s. Abb. 2). Das eingesetzte Tanksystem, welches vom Projektpartner Plastic Omnium Auto Inergy Division entwickelt worden ist, ist als Speicher für ein Methanol-Wassergemisch (60 % / 40 %) angepasst worden. Im Rahmen des Projektes ist eine Erweiterung des Systems um ein leakagefreies Befüllsystem inklusive Tankstutzen am Fahrzeug vorgesehen.

Ziel des Projektes ist die Entwicklung von Technologien für eine regionale, ökologische Mobilität. Da in der Literatur kein Fahrzyklus bekannt ist, der diese Mobilitätsbedürfnisse entsprechend gut widerspiegelt, wurde im Rahmen des Projektes ein eigener Fahrzyklus erstellt. Das REM-2030-Fahrprofil besteht überwiegend aus Fahrten im Stadtverkehr, enthält aber auch Überlandanteile sowie einen kurzen Autobahnabschnitt. Dadurch kann ein typisches urbanes/regionales Mobilitätsszenario dargestellt werden. Die Zykluslänge

Tab. 1: REM-2030-Fahrprofil: Wichtige Eckdaten des Streckenprofils

Länge: 66,5 km
Ø Geschwindigkeit: 38,8 km/h
Höchstgeschwindigkeit: 120 km/h
Maximale Steigung: 17 %
Anteil Stadtverkehr: 18,9 %
Anteil auf Landstraßen: 58,7 %
Anteil auf Autobahnen: 22,4 %
Maximale Leistung: 50 kW



Abb. 2: CAD-Modell vom Einbau der RMFC und das Tanksystem im Heck des Audi A1 Sportsback

baut auf die Erhebungen des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) auf, wonach der weitest große Teil der Tagesfahrleistung deutscher Autofahrer weniger als 70 km beträgt.

Für die Ermittlung des Leistungsbedarfs wurde die Route mit einem Versuchsfahrzeug (Opel Ampera) abgefahren. Dabei wurden die Geschwindigkeits- und die Höhendaten mit einem hochauflösenden GPS-Gerät aufgezeichnet. Aus den Daten konnte der Zugkraftbedarf und somit die erforderliche Antriebsleistung für unterschiedliche Fahrzeuge berechnet werden. Als Ergebnis ließ sich hieraus mit den Daten für den REM-2030-Technologiedemonstrator die Leistungsanforderung in einer Fahrzeugsimulation berechnen. Als Input für die Simulation wurden Roll-, Luft-, Beschleunigungs- und Steigungswiderstandswerte für den Technologieträger berücksichtigt. Mit Hilfe dieses Fahrzyklus, dem Fahrverhalten und den Fahrzeugdaten können somit wichtige Größen wie die erforderliche Antriebsleistung festgelegt werden.

**REICHWEITENERWEITERUNG IM FAHRZYKLUS** In dem REM-2030-Fahrzyklus konnte ein erstes Konzept zur Nutzung des ausgewählten Brennstoffzellensystems entwickelt werden. In Abbildung 3 wird die Restkapazität der Traktionsbatterie (11,8 kWh Nettokapazität) im Verlauf der im Fahrzyklus gefahrenen Zeit beziehungsweise der gefahrenen

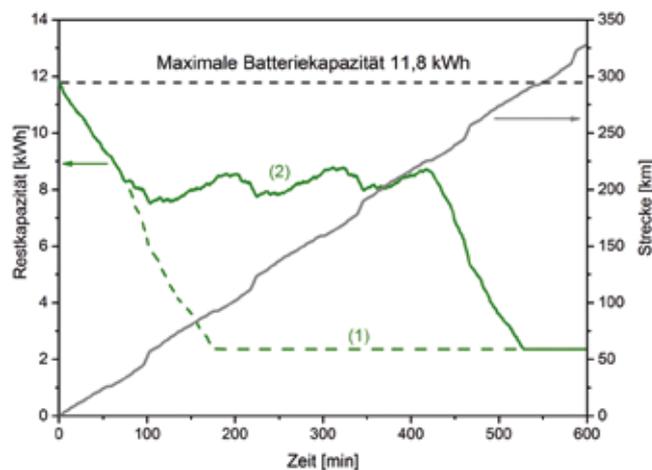


Abb. 3: Nutzung des Brennstoffzellen-Range-Extenders im REM-2030-Fahrzyklus (Startzeitpunkt RMFC-System 1h nach Fahrtbeginn, benötigte Aufheizzeit 15 Min. und Auslastung des Range Extenders bei 70 % bezogen auf eine maximale Leistung von  $5 \text{ kW}_{el}$  und 20 Liter Tankvolumen)

Kilometer dargestellt. Die gestrichelte Kurve (1) zeigt den Batterieladestand in Abhängigkeit von der Fahrzeit ohne zugeschalteten Range Extender, die durchgehende Kurve (2) hingegen zeigt ein Beispiel für einen Lastfall mit kontinuierlichem Betrieb des RMFC-Systems.

Der durchschnittliche Leistungsbedarf des Technologieträgers in diesem Zyklus beträgt etwa  $3,4 \text{ kW}_{el}$  und kann von dem gewählten RMFC-System gepuffert werden (vgl. Abb. 3, (2)). Dies bestätigt, dass die Reichweite des Fahrzeugs mit Hilfe des Range Extenders in der gewählten Leistungsklasse und bei ausreichender Tankgröße auf die Reichweite konventioneller Automobile (einige hundert Kilometer) gesteigert werden kann. Dabei wird der REM-2030-Fahrzyklus (Streckenlänge 66,5 km) mehrmals durchfahrbar. Einschränkend sind dabei die Startzeit des RMFC-Systems, seine maximale Leistung und die Größe des Tanksystems.

Nicht berücksichtigt in der Simulation wurde die Nutzung der Abwärme ( $\geq 3 \text{ kW}$ ) des Range-Extender-Systems, die beispielsweise für die Innenraumtemperierung genutzt werden kann. Bei vollständiger Abdeckung des Heizbedarfs durch die Abwärme sollten die Reichweiten im Winter- und Sommerbetrieb identisch sein, während sich in einem Szenario ohne Range Extender aufgrund des durch die elektrische Heizung erhöhten elektrischen Energiebedarfs die Reichweite im Vergleich zum Sommerbetrieb deutlich verringern sollte.

Im Rahmen des Projektes und bei der Entwicklung des Technologieträgers stellt die Betriebsstrategie der Komponenten im Fahrzeug einen zentralen Entwicklungspunkt dar. Hier bietet die RMFC-Technologie Vorteile und vor allem Möglichkeiten, nicht nur die Reichweite zu erhöhen, sondern auch durch eine Lastpunktverschiebung mehr Abwärme zu produzieren, die für Komfortzwecke genutzt werden kann. ||

#### URBANE MOBILITÄT DER ZUKUNFT

Das Konzept zur Reichweitenverlängerung sowie weitere Innovationen werden am 17. und 18. Juni 2015 im Rahmen des Symposiums *Urbane Mobilität der Zukunft* des Innovationsclusters REM 2030 im Konzerthaus Karlsruhe vorgestellt. Das zweitägige Programm beinhaltet neben der Vorstellung des REM-2030-Technologieträgers auch Fachvorträge aus Industrie, Politik und Wissenschaft.

→ [www.rem2030.de](http://www.rem2030.de)

→ Fraunhofer ICT auf der Hannover Messe: Halle 9, Stand B72

#### Literatur:

- [1] J. Andert, E. Köhler, J. Niehues, G. Schürmann: KSPG Range Extender, MTZ worldwide, Ausgabe 05/2012, S. 12-18, Springer Automotive Media, 2012
- [2] M. Peters: Audi A1 E-Tron im Fahrbericht, AutoMotorund-Sport, Heft 21 / 2010, Motor Presse Verlag, Stuttgart, 2010
- [3] N.N: <http://greenmethanol.dk/de/>

#### Autor:



Dr.-Ing. Lars Fredrik Berg  
Fraunhofer Projektgruppe Neue Antriebssysteme (NAS), Karlsruhe  
→ [Lars.fredrik.berg@ict.fraunhofer.de](mailto:Lars.fredrik.berg@ict.fraunhofer.de)

# VORAUSSCHAUEN – NICHT IN PANIK VERFALLEN

## Der HYKangoo – serienreifes E-Auto mit Range Extender



Abb. 1: Der Renault HYKangoo Maxi Z.E.

Während die großen deutschen Automobilbauer weder bei den rein batteriebetriebenen noch bei den brennstoffzellenbetriebenen Fahrzeugen so recht vorankommen, lohnt sich mal ein Blick zu den Kleinunternehmen, denn die treiben teils mit sehr viel mehr Elan die Technologieentwicklung voran. So gibt es einen Zusammenschluss einer französischen und einer deutschen Firma, die gemeinsam ein reines Batterieauto mit einem Brennstoffzellen-Range-Extender ausgestattet haben, um auf diese Weise das Reichweitenproblem zu lösen. Im Herbst 2014 stellten sie ihr erstes Fahrzeug vor, und mittlerweile arbeiten sie zudem an einer reinen Brennstoffzellenlösung für Nutzfahrzeuge.

In Frankreich treibt Renault die Elektrifizierung des Transportsektors emsig weiter voran: Weltweit verkaufte die Renault-Nissan-Allianz bis Ende 2014 über 200.000 Elektroautos. Ihr Marktanteil an Zero-Emission-Vehicles liegt bei 58 Prozent. Diese Rahmenbedingungen dürften wesentlich dazu beigetragen haben, dass sich das französische Unternehmen Symbio FCell Sàrl bei der Auswahl eines für Umrüstarbeiten geeigneten Fahrzeugmodells für den Renault *Kangoo Maxi Z.E.* entschied.

In die Langversion dieses Lieferfahrzeugs, das serienmäßig mit einem 44-kW-Elektromotor ausgestattet ist und gemäß Werksangaben rein batteriebetrieben eine Reichweite von maximal 160 Kilometern erzielt, integrierten die Franzosen ein BZ-System als Range Extender. Mit Hilfe eines 350-bar-Wasserstoffdruckbehälters (Volumen: 74 l, H<sub>2</sub>-Menge: 1,8 kg) erhöht sich dadurch die realisierbare Fahrstrecke auf rund 300 km. Der Range Extender *ALP10* liefert 5 kW und springt an, sobald der Ladestatus des Fahrzeugakkus unter ein bestimmtes Level sinkt, und lädt diesen wieder auf.

Unter dem Namen *HYKangoo* wird dieses zweiseitige Brennstoffzellen-Batterie-Hybrid-Fahrzeug nunmehr seit 2014 von Symbio FCell in Serie gefertigt. Dabei werden allerdings kaum grundlegende Veränderungen am Fahrzeug selbst vorgenommen. Es werden lediglich einige Zusatzkomponenten, die in einem für 7.000 Betriebsstunden ausgelegten H<sub>2</sub>-Kit zusammengefasst sind, eingebaut. Die konzeptionelle Auslegung dieses Kits erfolgte in enger Zusammenarbeit mit Renault Tech.

**AUSLIEFERUNG HAT BEGONNEN** In Frankreich lagen Anfang dieses Jahres über 200 Bestellungen vor (z. B. von der französischen Post, von Logistikdienstleistern wie DHL & DPD und Stadtwerken). Die ersten fünf Exemplare gingen im Januar 2015 an den Generalrat von La Manche in der West-Normandie, einem der ersten Departements mit einer Wasserstofftankstelle. 35 weitere Fahrzeuge sollen folgen. Zudem sollen welche ab März 2015 bei DHL Express in Lyon für 18 Monate getestet werden. Parallel zur Produktion dieses Pkws bauen die Franzosen derzeit ihr Angebotsspektrum insbesondere für Nutzfahrzeuge (Lastwagen und auch Baufahrzeuge) weiter aus.

Fabio Ferrari, Geschäftsführer von Symbio FCell, erklärte: „Der ‚Range-Extender‘ verbessert beides – die Reichweite und die Verfügbarkeit von Elektrofahrzeugen bei kommerziellen Anwendern, während das Investment in Batterie-ladeinfrastruktur für große Flotten reduziert wird.“ Im November 2014 hatte Symbio FCell die Technologie während der *Michelin Challenge Bibendum* in Chengdu, China, vorgestellt. Dies passte insofern, als Michelin seit Mai 2014 als Investor involviert ist und maßgeblich an der Entwicklung mitgewirkt hat, ebenso wie das französische Forschungszentrum CEA und der deutsche Anbieter von Polymermembranen Solvicore.

**AUCH IN DEUTSCHLAND ERHÄLTlich** Den Vertrieb in Deutschland und Österreich übernimmt die Anleg GmbH – Advanced Technology, die seit Februar 2015 ihren Hauptsitz in Wesel hat. Hier arbeitet neben Willfried Müller, früherer Leiter der Brennstoffzellenabteilung bei der Masterflex AG, seit Mai 2014 auch Jan Andreas, der zuvor jahrelang bei der GHR Hochdruck Reduziertechnik GmbH tätig war. Dort wirkte er maßgeblich an der Entwicklung mobiler H<sub>2</sub>-Betankungseinrichtungen mit. Inzwischen ist Andreas neben Martin Brüggemann Geschäftsführer bei Anleg.

Im September 2014 veranstaltete das nordrhein-westfälische Unternehmen einen Tag der offenen Tür im Industriepark Wolfgang und bot Probefahrten an. Dort hieß es, „der *HYKangoo* hat eine europäische Straßenzulassung und kann bei jeder Renault-Werkstatt gewartet werden“.



Abb. 2: Der ALP5-H<sub>2</sub>-Fuel-Cell-Range-Extender (5 kW)  
[Quellen: Symbio FCell]

Der Kaufpreis für den Renault *Kangoo Maxi Z.E.* liegt bei 23.000 Euro (ohne Batterie). Das H<sub>2</sub>-Range-Extender-Kit kostet 36.000 Euro. Während in Frankreich 50 % der Anschaffungskosten subventioniert werden, ist eine Förderung in Deutschland nicht möglich.

Gegenüber *HZwei* erklärte Jan Andreas: „Die H<sub>2</sub>-Kits werden in einer Michelin-Fabrik zusammengebaut und entsprechen allen Automobilstandards inklusive Komponentenverfolgung usw.“ Weiter berichtete er, dass derzeit die ersten 49 Autos produziert werden und fügte hinzu, dass sich auch eine Version mit 700-bar-Technologie in Planung befindet. Zudem sagte Andreas: „Unser Produktionsplan für dieses Jahr sieht 300 H<sub>2</sub>-Kits und Autos vor, einige Tausend in 2016. Unsere Kapazität liegt bei über 800 Autos. Es ist besser vorzuschauen, als in Panikmodus zu verfallen.“ ||

## BEÖ IN WIEN GEGRÜNDET

Österreich hat jetzt auch einen Bundesverband Elektromobilität. Der *BEÖ* ist ein gemeinnütziger Verein und wurde im Januar 2015 von elf regionalen Energieversorgungsunternehmen in Wien gegründet. Gemeinsam wollen sie unter anderem die Weiterentwicklung von E-Mobilität in gezielten Forschungsprojekten vorantreiben und ein Anreizsystem für den Umstieg auf Elektrofahrzeuge initiieren. Jürgen Halasz, Vorstandsvorsitzender des *Bundesverbands Elektromobilität Österreich*, betonte: „Eine unserer wichtigsten Aufgaben ist

es, ein offenes, interoperables, österreichweites Ladestellenetz zu entwickeln. Der BEÖ versteht sich hier als Impulsgeber.“ Halasz, der bislang Abteilungsleiter bei der Wien Energie GmbH war, sagte weiter: „Österreich hat Nachholbedarf bei Förderungen und Anreizsystemen für Elektromobilität. In Ländern mit hohen Anreizsystemen, wie etwa Norwegen und die Niederlande, stieg nicht nur die Akzeptanz in der Bevölkerung, sondern auch die Marktdynamik.“ In Österreich wurden im Jahr 2014 doppelt so viele E-Autos und Plug-in-Hybride (1.281) wie 2013 (654) zugelassen. Insgesamt gibt es derzeit über 1.600 Ladepunkte in dem Alpenstaat. ||

## ELEKTR-O-MAT HILFT WÄHLEN

Kommt ein Elektroauto für mich in Frage? Diese Überlegung bewegt immer mehr Menschen, aber wo findet sich darauf die richtige Antwort? Die e-mobil BW hat mit dem Fraunhofer IAO ein Online-Tool programmiert, das bei der Entscheidung für oder gegen ein E-Auto behilflich sein soll. Der *Elektr-O-Mat* ist seit Februar 2015 online unter [www.elekttr-o-mat.de](http://www.elekttr-o-mat.de); allerdings zunächst als Modellversuch, mit dem getestet werden soll, wie die Bürger bei der Einführung der Elektromobilität beteiligt werden können. Durch die Beantwortung von 15 Fragen grenzt der User dabei sein Mobilitätsprofil ein, so dass das Programm Denkanstöße liefert und auch eine Empfehlung gibt, welche Fortbewegungsvariante geeignet ist (E-Auto, Hybridauto, Pedelec, E-Bike, ÖPNV, Pedelec-Sharing oder E-Car-Sharing). ||

→ *Elektr-O-Mat* auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand H85

33

## MEMBRANEN UND SEPARATOREN FÜR DIE SPEICHERUNG UND WANDLUNG VON ENERGIE:

- LSC- und SSC-PFSA Membranen für Brennstoffzellen
- PBI-Membranen für Hochtemperatur-Brennstoffzellen
- Membranen für Direktmethanolbrennstoffzellen
- Separatoren für alkalische Elektrolyseure und Brennstoffzellen
- Membranen und CCM für PEM-Elektrolyseure
- Separatoren für Redox-Flow-Batterien
- Membranbefeuchter

**Hannover Messe: Halle 27, Stand D61**



**BWT GROUP**

**FuMA-Tech Gesellschaft für funktionelle Membranen und Anlagentechnologie mbH**  
Carl-Benz-Straße 4  
D-74321 Bietigheim-Bissingen

☎ Phone: +49(0)7142/3737-900  
☎ Fax: +49(0)7142/3737-999  
✉ E-Mail: [info@fumatech.com](mailto:info@fumatech.com)  
🌐 Internet: [www.fumatech.com](http://www.fumatech.com)

# GUTE ZAHLEN UND STARKE AUSBLICKE

## Die Vergangenheit im Gepäck und die Zukunft im Visier

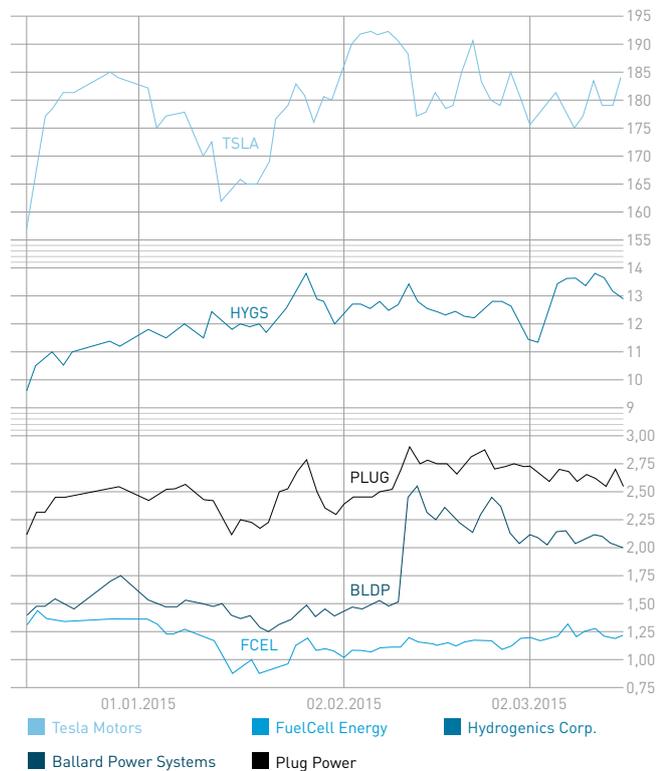


Abb. 1: Verlauf der Aktienkurse der fünf börsennotierten Unternehmen [Quelle: [www.wallstreet-online.de](http://www.wallstreet-online.de)]

\*: Aktienkurs vom 23.03.2015

Gut zwanzig Jahre hat es gedauert, bis die Brennstoffzelle Marktreife erlangt hat. Wir befinden uns am Anfang eines neues Megatrends, der einerseits die mannigfaltigen Einsatzmöglichkeiten der BZ aufzeigt und andererseits die Produktion, den Einsatz von „grünem“ Wasserstoff, immer effizienter werden lässt. Die hier vorgestellten BZ-Unternehmen haben sich auf spezielle BZ-Märkte konzentriert, besitzen wichtiges Know-how sowie langfristige Erfahrungen und stehen vor dem wirtschaftlichen Durchbruch, das heißt vor der Gewinnschwelle. Letzteres ist an der Börse von Bedeutung, da hierdurch und durch die Wachstumspotentiale Kursfantasien ausgelöst werden, so dass immer mehr Anleger auf diese Branche setzen.

### BALLARD POWER TECHNOLOGIES (BLDP; US-\$ 2,06\*)

Dass die Zahlen für das 4. Quartal per 31.12.2014 hinter den Erwartungen zurückliegen würden, war absehbar. Grund war der geplatze Deal mit der chinesischen Azure über den Bau von BZ-Stacks für Busse in China (s. Kasten *Azure-Deal*). Aber das ist Vergangenheit. Konkret: Ein Umsatz in Höhe von US-\$ 68,7 Mio. im Finanzjahr 2014 (+ 12 %) und ein Verlustausweis von etwa US-\$ 28,2 Mio. Barmittel standen am 31. Dezember bei US-\$ 23,7 Mio. Vor allem im Bereich der Engineering Services (VW !) konnte ein hoher Zuwachs im Geschäftsjahr 2014 um 43 % auf US-\$ 30,2 Mio. erzielt werden = ein Bereich mit hohen Gewinnmargen. Die Umsätze des Großkunden Plug Power stiegen gar um 124 %. (Plug erwartet in 2015 Neuaufträge im Wert von über US-\$ 200 Mio.). Noch wichtiger: Ballard konnte bereits in diesem

ersten Quartal von 2015 große Geschäfte zum Abschluss bringen, die sich mittel- bis langfristig sehr positiv auswirken und damit das Geschäftsjahr 2014 vergessen lassen.

Mit Volkswagen ist Ballard jetzt noch tiefer verbunden. Die Wolfsburger kauften Patente, die Ballard vor nicht allzu langer Zeit günstig von United Technologie erworben hatte (für US-\$ 2 Mio. plus 5 Mio. Aktien; UTX hält 3,9 % des Kapitals an Ballard). Daraus fließen Ballard noch US-\$ 29 Mio. in diesem Quartal an frischem Kapital zu und erhöhen somit den Barmittelbestand auf über US-\$ 53 Mio. United Technologies erhält dadurch weitere US-\$ 10 Mio. Eine zweite Zahlung über netto US-\$ 9 Mio. erhält Ballard im ersten Quartal 2016.

Parallel dazu wurde die Forschungskoooperation bis auf das Jahr 2019 verlängert (plus zweijährige Folgeoption). Wichtig bei diesem Deal, der nicht nur Bares und einen weiteren Auftrag (ca. US-\$ 20 Mio. p.a.) bringt, ist, dass Ballard diese Patente auch weiterhin in anderen Produktgruppen nutzen kann, also keine Einschränkung erhält. Dies ist von Bedeutung, da zeitnah ein weiteres F&E-Geschäft mit einem „namhaften, weltweit tätigen Kfz-OEM“ abgeschlossen wurde. Über die Größenordnung gibt es zwar keine Angaben, aber die Spekulationen lassen einen Deal vermuten, der sich – ohne Obligo – im zweistelligen Millionenbereich aufhält, wenn nicht sogar darüber hinausgeht.

Ballards Präsident und Geschäftsführer Randy MacEwen erklärte: „Ich bin begeisterter heute, optimistischer heute, stolzer heute auf das Ballard-Team und unsere kurzfristigen, mittelfristigen und langfristigen Perspektiven als vor fünf Monaten, als ich zum Unternehmen kam.“ Zudem erwarb er selbst 200.000 Aktien zum Kurs von US-\$ 3,00 – unabhängig von Stock-Options und Bonusabkommen – ein gutes Zeichen!

Ballard hat somit das neue Geschäftsjahr perfekt eingeleitet. Nun kann davon ausgegangen werden, dass weitere Aufträge für Busse sowie Großaufträge von Plug Power für Gabelstapler-Stacks eintreffen werden. Für die Börse ist vor allem wichtig, dass das laufende neue Geschäftsjahr profitabel abgeschlossen wird – das erste Mal in der Firmengeschichte. Und es kann darauf spekuliert werden, dass Ballard sein Wachstumsziel von 20 % p.a. im Jahresverlauf wird erhöhen können. Analysten (Cowen & Co) sehen dies eher bei plus 15 % p.a. – indes ohne viele außerordentliche Entwicklungen berücksichtigt zu haben.

### AZURE-DEAL: GLÜCK IM UNGLÜCK

Der gescheiterte Azure-Deal könnte sich im Nachhinein noch als Glücksfall herausstellen: CEO Randy MacEwen verhandelt nach eigener Aussage derzeit mit mehreren großen, namhaften Buserstellern in China, da dieser Markt für Ballard ausgesprochen interessant ist. Noch in 2015 soll es hier einen Deal geben (z. B. Lizenzvertrag oder Stack-Lieferung). Die Größenordnung – so meine Interpretation – könnte den geplatzen Deal bei Weitem in den Schatten stellen. Übrigens: Beim Azure-Vertrag habe man frühzeitig die Reißleine gezogen, bevor es zu einem Abfluss von IP/Patenten/Know-how gekommen wäre, heißt es.

**ARGUMENTE FÜR EIN INVESTMENT BEI BALLARD**

1. Aufträge für BZ-Hybridbussysteme in den USA, Kanada und Europa
2. Große Auftragszuwächse des Kunden Plug Power für Gabelstapler-BZ-Stacks
3. VW-Abkommen = hoher sicherer Auftragsbestand bis 2019 (2021)
4. Barmittelbestand von über US-\$ 53 Mio. (keine Schulden)
5. Neue Märkte in Sicht = Aufträge für Backup-Power-BZ-Systeme für Telekommunikationsunternehmen (China, Indien, Südafrika, USA)
6. Potentieller Auftrag (Kooperation) mit führendem Busersteller in China
7. Umfangreichstes IP-Portfolio der BZ-Industrie
8. Weitere OEMs in verschiedenen BZ-Märkten (Lizenzabkommen) zu erwarten
9. Märkte für BZ-Produkte vor großem Wachstumsschub (Bsp.: Toyota)
10. Ballard könnte 2015 das erste Jahr in der Firmengeschichte profitabel abschneiden.
11. Übernahmefantasie

**HYDROGENICS (HYGS, US-\$ 12,91\*)**

Hydrogenics hat als erste der hier besprochenen BZ-Aktien einen Gewinnaussweis vorgelegt: Im vierten Quartal 2014 wuchs der Umsatz um 42 % auf US-\$ 15,7 Mio. Der Auftragsbestand stieg auf etwa US-\$ 80 Mio. Das Quartal schloss mit einem Überschuss von US-\$ 1,6 Mio. ab! Interessant am Rande: Der neue CEO von Ballard Power, Randy MacEwen, war Mitbegründer von Hydrogenics und hält immer noch rund 130.000 Aktien. Meines Erachtens wird es hier über kurz oder lang eine Kooperation, ein Venture, geben, da Hydrogenics mit dem Bau von H<sub>2</sub>-Tankstellen wie auch Elektrolyseuren komplementär zu den Aktivitäten von Ballard aufgestellt ist. Will see!

**PLUG POWER (PLUG, US-\$ 2,66\*)**

Auf einer Investorenkonferenz von Roth Capital am 10. März 2015 gab Plug-CEO Andy March im Rahmen der Unternehmenspräsentation einen sehr optimistischen Ausblick, wonach das Wachstum der kommenden drei bis fünf Jahren zwischen 40 und 50 % p.a. liegen soll und man sich perspektivisch bei einem Umsatz von US-\$ 500 Mio. p.a. sieht. Besonders wichtig sind dafür gemäß seinen Ausführungen der Verkauf und die Herstellung von Wasserstoff, wobei der Anteil an „grünem H<sub>2</sub>“ steigen wird und man damit hohe laufende und ertragsstarke Einnahmen erzielen wird. Über 95 % der Kunden geben Folgeaufträge für die Umwandlung von Gabelstaplerantrieben auf Brennstoffzellen und weg von der Batterie, was einem klaren Vertrauensbeweis entspricht. Für 2015 habe man bereits Aufträge in Höhe von US-\$ 85 Mio. eingenommen – es sollen US-\$ 200 Mio. im Verlauf des Jahres werden.

Im März 2015 meldet das Unternehmen einen Verlust für 2014 in Höhe von US-\$ 88,6 Mio. Pro Aktie lag der Verlust im Quartal bei US-\$ 0,08/Aktie – erwartet waren minus US-\$ 0,04/Aktie. Wichtiger ist jedoch die Anzahl der umgewandelten Gabelstapler, die in 2015 auf 2.644 stieg, von denen indes nur 2.408 in den Zahlen von 2014 berücksichtigt worden sind. Der Auftragsbestand liegt bei mehr als US-\$ 150 Mio. (soll US-\$ 200 Mio. in 2015 übersteigen). Die Gewinnmarge konnte 2014 von minus 7 % auf plus 18 % verbessert werden. Bargeld liegt mit über US-\$ 146 Mio. in der Bank. Fazit: Das Unternehmen sollte nach den Wachstumsperspektiven be-

wertet werden. Da Plug immer und permanent am H<sub>2</sub>-Verkauf verdient und nicht nur an dem Umbau von Gabelstaplern, wird dies das zukünftige Ertragswachstum ausmachen.

**FUELCELL ENERGY (FCEL, US-\$ 1,30\*)**

US-\$ 0,02 betrug der Verlust pro Aktie im ersten Quartal des Geschäftsjahres 2015 per 31.1.2015. Dies entsprach US-\$ 4,9 Mio. Im Vorjahr lag der Verlust bei minus US-\$ 0,06 pro Aktie beziehungsweise insgesamt bei US-\$ 11,4 Mio. Der Umsatz im 1. Quartal des Fiskaljahres 2015 (31.1.15) betrug US-\$ 41,7 Mio. Das Unternehmen verfügt über einen Auftragsbestand in Höhe von US-\$ 337 Mio. sowie über US-\$ 111 Mio. in der Bank (plus Kreditlinie über US-\$ 40 Mio. von NRG Energy) und konnte diverse Großaufträge abschließen. Ein Highlight und Meilenstein stellt ein neues technologisches Verfahren da, welches über 90 % des NO<sub>x</sub>-Anteils (Stichwort: Carbon Capture Solution) reduziert.

**TESLA (TSLA, US-\$ 198,08\*)**

Es wird vermutet, Apple habe Interesse, sich Tesla einzuverleiben, um die eigene *iCar*-Initiative mit Leben zu füllen. Aber warum sollte Apple dies tun? Warum soll es nicht besser den Hybridweg gehen, also Batterie plus BZ/H<sub>2</sub> wählen? Klar ist: Da steckt Sprengstoff drin – so oder so. Geht Apple den Weg wie Tesla, dann bekommt Tesla meines Erachtens Probleme, da ein starker Wettbewerber entstehen könnte. Geht Apple aber als First Mover den Weg über BZ/H<sub>2</sub> und Batterie, dann würde die Kfz-Industrie hellhörig werden müssen. Eventuell müsste sie die eigenen Anstrengungen bei der Markteinführung erheblich beschleunigen und nicht wie Daimler erst in 2017 mit dem BZ-Hybrid-Markteintritt beginnen.

Reine Spekulation, mag der eine oder andere zu bedenken geben, aber Apple könnte mit einem OEM-Produktionspartner, wie sie dies bei Handys/iPhone u.a. mit Foxcomm machen, kooperieren und mit einem etablierten Kfz-Hersteller eine Gemeinschaftsfirma gründen. Dann müsste Apple nicht selbst ins Kfz-Geschäft einzusteigen, sondern würde dies über ein Venture gestalten. Für mich ist aber klar, dass die BZ-Industrie – und da vor allem die börsennotierten BZ-Unternehmen – einen gewaltigen Auftrieb in der Börsenbewertung erhält, sollte Apple den BZ-Hybrid-Weg einschlagen. We will see!

Auf Tesla bezogen gibt es immer mehr kritische Kommentare, zumal das Unternehmen seine sehr ehrgeizigen Ziele nicht erreicht und zudem die Verluste – vielleicht ja auch bezogen auf die im Bau befindliche Batteriefabrik in Nevada/USA – anziehen. Und der Wettbewerb kommt immer näher an Tesla heran. Selbst neue Modellreihen finden im Markt Wettbewerber vor. Die Luft wird dünner für Tesla, so mein Fazit. ||

Dieser Bericht stellt eine persönliche Meinung dar und ist keine Aufforderung zu einem Investment. Jeder Anleger muss sich über seine eigene Risikobereitschaft bezüglich Aktien selbst bewusst sein. Ohne Obligo.

Autor:

Sven Jösting

→ [s.joesting@gmx.de](mailto:s.joesting@gmx.de)

→ Ballard Power auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand D66/2

→ FuelCell Energy auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand B44

→ Hydrogenics auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand C59

# KLEINES KRAFTWERK GANZ GROSS

*eZelleron sammelt in Windeseile 1,5 Mio. Euro ein*



Abb. 1: „kraftwerk“ läuft mit handelsüblichem Feuerzeuggas.  
[Quelle: eZelleron]

Nach jahrelangen Bemühungen ist dem Dresdner Brennstoffzellenhersteller eZelleron GmbH im Januar 2015 der Durchbruch gelungen: Das sächsische Kleinunternehmen startete im Dezember 2014 eine Crowdfunding-Aktion, durch die mit Hilfe von vielen Kleinanlegern die Produktion eines Brennstoffzellenladegeräts für Smartphones auf die Beine gestellt werden sollte. Völlig überraschend erhielt der Firmengründer Dr. Sascha Kühn mit dieser Kampagne für sein *kraftwerk* innerhalb weniger Tage eine derart überwältigende Resonanz, dass die Zielvorgaben nach kürzester Zeit um den Faktor drei hochgesetzt werden konnten. Bis Anfang März 2015 generierte eZelleron über die Online-Plattform *kickstarter.com* 1,5 Mio. Euro.

Es begann ganz bescheiden: Mitte Dezember startete eZelleron-Geschäftsführer Sascha Kühn auf dem Crowdfunding-Portal sein Engagement. Seine Zielvorgabe war, von der Menge der vielen anonymen Internet-User eine Summe in Höhe von 500.000 US-Dollar einzusammeln, um damit eine Produktionsstrecke für seine Brennstoffzellengeräte aufbauen zu können. Gegenüber *HZwei* erklärte Kühn zum Kampagnenstart: „Wir wollen eigentlich rausfinden, ob es stimmt, dass die Brennstoffzelle ein Lifestyle-Produkt sein kann. Stimmen die ganzen Marktstudien, müssten wir die 500.000 US-\$ erreichen. Oder braucht eigentlich niemand so ein Gerät?“

Nachdem der erste Prototyp vom *kraftwerk* im November 2014 fertiggestellt worden war, ging seine Kampagne nach der anfänglichen Anmeldeprozedur auf der US-amerikanischen Homepage am 5. Januar 2015 online. Der Hydrogeit Verlag war einer der Ersten, die sich an diesem Tag (mit einem Kleinbetrag) beteiligte. Kühn gab sich allerdings zu dieser Zeit noch sehr zurückhaltend und sagte: „Wir haben bis jetzt gerade mal 1.500 Leute auf die Seite gebracht und davon haben 400 gekauft (41.000 US-\$). Andererseits ist das vielleicht für den ersten Tag (Stand: 15:30 Uhr) nicht schlecht. Unsere Pressemeldungen gehen heute Abend erst raus. [...] Leider haben wir ja nicht das Geld für große Presseagenturen.“

**GEWALTIGER START** Die Folgetage gestalteten sich extrem spannend, denn wie sich herausstellte, waren große Agenturen gar nicht notwendig. Und auch keine Messen, denn auf

die Anfrage der *HZwei*-Redaktion, ob eZelleron 2015 wieder auf der Hannover Messe ausstellen würde, antwortete der stämmige Vollbartträger drei Tage nach Kampagnenstart: „Hannover haben wir letzte Woche abgesagt. Zum ersten Mal seit 2008 sind wir nicht dabei.“ Weiter berichtete er: „Hannover brachte uns bisher pro Woche etwa so viele Kontakte wie *kickstarter* alle zehn Minuten. Etwa jeder Zehnte, den wir erreichen, kommt auf unsere Web-Seite und jeder Fünfte davon unterstützt uns. Jetzt brauchen wir einen Weg, möglichst viele zu erreichen, dann kann keiner mehr sagen, die Brennstoffzelle kommt nicht. Dann kommt sie gewaltig.“

Und tatsächlich kam die Brennstoffzelle ganz gewaltig: Bereits am fünften Tag der Kampagne verschickte das sächsische Unternehmen die Meldung an seine internationale Community: „Thank you, we just hit our goal!!! We are sooo happy! *kraftwerk* will be coming!“ Die ersten 500.000 US-\$ waren in sehr viel kürzerer Zeit, als es irgendjemand vorausahnen konnte, geschafft. Kühn hatte dazu bereits im Vorfeld gesagt: „Für mich ist das schon der proof of market, wie wir immer gesagt haben (auch wenn es kaum jemand geglaubt hat).“

Die 25-köpfige Mannschaft um den kaufmännischen Geschäftsführer Thomas Pessara reagierte auf diesen furiosen Auftakt umgehend und steckte sich nach nur fünf weiteren Tagen neue Ziele: Die Vorgaben wurden zweistufig erweitert – auf 1 Mio. beziehungsweise 2,5 Mio. US-\$. Letztlich lag die Zahl der Unterstützer bei über 11.600 (über 1,53 Mio. US-\$). Entsprechend selbstbewusst trat Sascha Kühn auf und fragte: „Hat schon mal jemand 12.000 Brennstoffzellen verkauft?“

**ONLINE-VERMARKTUNG** Als Nächstes ist geplant, im April 2015 die Produktion zu starten, damit im August Feldtests vorgenommen werden können und im Dezember des Jahres die Serienproduktion starten kann. Kühn teilte Ende Februar auf *HZwei*-Anfrage mit: „Wir sind diese Woche in einen

## KLEIN, LEICHT UND DYNAMISCH

Die mit über 27 Patenten geschützte mikrotubulare Brennstoffzelle basiert auf der SOFC-Technologie, ist aber schnellstartfähig wie ein PEM-Modul. Sie enthält allerdings keine Membranen, die befeuchtet werden müssten, und auch keine teuren Katalysatoren. Und obwohl sie als voll-metallische Brennstoffzelle bezeichnet wird, ist sie doch vergleichsweise leicht. Als Energieträger kommen verschiedene Medien in Frage: Neben Propan und Butan sind auch Wasserstoff und Methanol einsetzbar. *kraftwerk* ist vergleichsweise einfach mit Feuerzeug- oder Campinggas (56 Wh) nachfüllbar. Zehn- bis zwölfmal kann ein Smartphone per Plug-& Play damit aufgeladen werden, wobei der Ladevorgang über einen Micro-USB- oder USB-Anschluss mit einer Dauerleistung von 2 W bei 5 V ähnlich lange dauert wie an der Steckdose.

Das mobile Gadget ist relativ leise. Lediglich ein Lüfter summt ganz dezent, damit der bei 800 °C arbeitende BZ-Stack gekühlt wird. Trotz dieser hohen Temperatur eignet sich das robuste, 10 cm große Gerät bestens für die Jackentasche und darf bei Flügen mit ins Handgepäck.

Tab.: Vergleich kommerziell erhältlicher Brennstoffzellenladegeräte

	KRAFTWERK	POWERTREKK 2.0	MINIPAK	UPP
Hersteller	eZelleron GmbH	myFC AB	Horizon Fuel Cell Technologies	Intelligent Energy Ltd.
BZ-Typ	voll-metallisch	PEM	PEM	PEM
Leistung	2,0 W (5 V)	6,5 W (5 V)	1,5 W (5 V)	5 W (5 V)
Energieinhalt	56 Wh	5,2 Wh (+ 14,1 Wh)	14 Wh	25 Wh
Gewicht	200 g (befüllt)	305 g (mit Puck u. Wasser)	216 g (mit Hydrostick)	620 g (mit Speicher)
Abmaße	10,0 cm x 7,5 cm x 3,0 cm	12,8 cm x 6,6 cm x 4,7 cm	11,4 cm x 3,2 cm x 7,1 cm	12,0 cm x 4,0 cm x 4,8 cm
Kraftstoff	Camping- od. Feuerzeuggas	Salz u. Wasser	Wasserstoff	Wasserstoff
Preis	133 Euro	149 Euro (3 Pucks: 10 Euro)	120 Euro *	205 Euro
Flugzulassung	ja	ja	ja	ja
Vertrieb	weltweit	EU	weltweit	Großbritannien
Anwendung	Smartphones	Smartphones, Tablets	Smartphones	Smartphones, Tablets
Pufferspeicher	keiner	Lithium-Ionen-Akku	keiner	keiner

\*: Zur Befüllung der Hydrosticks ist der Hydrofill-Elektrolyseur (600 Euro) erforderlich.

neuen Produktionsstandort umgezogen und bauen hier auf. Der Aufbau der Produktionslinie hat also bereits begonnen und wird bis zum finalen C-Serien-Prototypen weitergehen.“ Wenn alles klappt wie geplant, könnten Weihnachten 2015 die ersten Geräte – wahlweise in silberfarbenen, gelb oder cremefarbenen – unter dem Christbaum liegen. Der angepeilte Preis beträgt 149 US-\$ (133 Euro). Unterstützer, die frühzeitig per Crowdfunding zum Gelingen dieses Projekts beigetragen haben, zahlen nur 99 US-\$.

Die aktuelle Vermarktungsstrategie ist extra zugeschnitten auf das Zielpublikum, das gleichzeitig ja auch als Geldgeber fungiert. Hier läuft derzeit fast alles online ab. Mit einem professionell gemachten Video sowie regelmäßigen Updates informiert eZelleron so oft wie möglich über Neuigkeiten und versucht zudem, die Community aktiv in den Entscheidungsprozess mit einzubinden. So startete im Februar eine Abstimmung darüber, welche zusätzliche Farbvariante produziert werden soll: Kickstarter Green, Black Beauty oder Arctic Blue. Zudem wurden per Newsletter nach und nach die Technik und auch das Team, das hinter *kraftwerk* steht, vorgestellt. Hinzu kommt nach Auskunft von Kühn, dass mehrfach täglich Vorführungen laufen, weil stetig neue Interessenten und Medienvertreter anfragen.

Wo Erfolg ist, ist auch Misserfolg. Dies beweist die Klage von Ralf Hütter, dem Gründer der deutschen Elektro-Pop-Band „KRAFTWERK“: Am 9. März 2015 hat Hütter bei einem US-amerikanischen Gericht in Delaware Klage gegen die eZelleron Inc., den für den US-amerikanischen Vertrieb zuständigen Kooperationspartner, eingereicht wegen der angeblich missbräuchlichen Verwendung des Begriffs „Kraftwerk“. In einer Stellungnahme erklärte Dr. Sascha Kühn dazu: „Von der Klage haben wir über die amerikanische Presse erfahren. Die offizielle Klageschrift wurde der eZelleron Inc. noch nicht zugestellt.“ Weiter sagte er: „Wir sehen hier keine Verwechslungsgefahr mit dem Bandnamen.“ Dies habe er sich von deutschen und amerikanischen Anwaltskanzleien bestätigen lassen. Kühn lud Hütter zu einem Gespräch ein, um Streitigkeiten beseitigen zu können.

**WENIG WETTBEWERBER** Viele ernst zu nehmende Mitbewerber muss das 2008 in Dresden gegründete Start-up derzeit noch nicht fürchten: Lilliputian Systems ist kurz vorm Eintritt in die Marktphase insolvent gegangen (s. HZwei-Heft Okt. 2014). Intelligent Energy ist mit seinem *Upp*

seit November 2014 auf dem Markt vertreten (z. B. Apple Store). Dieses Device wiegt 500 g und kostet 205 Euro – ist im direkten Vergleich also deutlich schwerer und teurer. Als Kraftstoff dient dem PEM-Brennstoffzellensystem – ähnlich wie beim *Powertrekk* von myFC (s. nächste Seite) – reiner Wasserstoff, der jedoch in einem Metallhydridbehälter gespeichert wird und für fünf Handyladungen reicht. Die Kraftstoffversorgung ist bisher allerdings nur für Großbritannien geregelt. ||

→ Intelligent Energy auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand B73

37



**CHARGING THE FUTURE**

26.500 Besucher erleben mit Ihnen die Zukunft der Energiespeicherung  
290 Aussteller präsentieren die innovativsten Produkte, Services und Lösungen der Energiespeicherbranche  
Der ees AWARD, das Messeforum und die Fachkonferenz bieten Ihnen internationale Kontakte und erstklassiges Know-how

**10.–12. JUNI 2015**  
**MESSE MÜNCHEN**

INTERNATIONALE FACHMESSE FÜR BATTERIEN, ENERGIESPEICHERSYSTEME UND INNOVATIVE FERTIGUNG

refined with **inter solar** EUROPE

**ees**  
electrical energy storage

www.ees-europe.com



Abb. 1: PowerTrek 2.0 mit myFC-Puck bei der „Aufladung“

Thema: Markt | Autor: Sven Geitmann

## 38 DIE H<sub>2</sub>-DÖSCHEN FÜR UNTERWEGS

### *Stromtransfer von der Brennstoffzelle zum Akku*

Das *PowerTrek* ist bereits seit längerem auf dem Markt. Das schwedische Unternehmen myFC AB stellte das erste Modell während der CES in Los Angeles im Januar 2012 vor. Anfänglich kostete dieses Gadget über 200 Euro und jeder H<sub>2</sub>-Puck 6 Euro. Die Nachfolgeneration, die seit Oktober 2014 erhältlich ist, verfügt über mehr Kapazität und kostet jetzt 149 Euro. Die *HZwei*-Redaktion erhielt nach langer Wartezeit Anfang dieses Jahres ein *PowerTrek-2.0*-Ansichtsexemplar, um sich einen eigenen Eindruck von diesem Gerät machen zu können.

Nachdem es Anfang dieses Jahrhunderts bereits vielfach verfrühte Meldungen über angeblich marktreife Mikro-Brennstoffzellensysteme gab, entschied sich die *HZwei*-Redaktion, etwaige Ankündigungen neuer Entwicklungen im Bereich der Unterhaltungselektronik stets eher zurückhaltend zu

bewerten, bevor vorzeitig falsche Erwartungen geweckt würden. Somit war zuletzt im *HZwei*-Heft vom Januar 2008 etwas über die Entwicklungsarbeiten von myFC zu lesen gewesen. Seitdem sind etliche Player aus diesem Bereich auf der Strecke geblieben. Weder von der israelischen Medis Technology Ltd. noch von Antig Technology Co. Ltd. aus Taiwan ist heute noch etwas zu hören.

Die in Stockholm ansässige myFC AB hingegen hat ebenso bis heute durchgehalten wie die in Singapur ansässige Firma Horizon Fuel Cell Technologies, die ebenfalls auf wasserstoffbasierte Lösungen setzt (s. *HZwei*-Heft Okt. 2011) – allerdings mit Metallhydridspeicher. Seit der Gründung im Jahr 2005 arbeiten die Skandinavier an einer PEM-Brennstoffzelle, die auf Natrium-Borhydrid als Wasserstoffspeicher zurückgreift. Mittlerweile liegt davon die zweite Gerätegeneration vor.

## HYDROGEIT-NEWSLETTER

DER INFO-SERVICE FÜR WASSERSTOFF UND BRENNSTOFFZELLEN

Kostenloser, monatlich erscheinender Newsletter mit aktuellen Meldungen, Terminen, Kommentaren und Freikarten

Jetzt anmelden unter: [www.hydrogeit.de/newsletter.htm](http://www.hydrogeit.de/newsletter.htm)

### KRAFTSTOFFDÖSCHEN

In den kleinen, runden, scheibenförmigen Pucks (Ø: 5 cm) befinden sich Natrium-Silicid, Natrium-Borhydrid sowie 12 g Aluminium. Diese Metallverbindungen reagieren in Verbindung mit Wasser und setzen reinen Wasserstoff frei. Dieses Gas wird dann für den Betrieb der Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzelle, die das Gerät auf etwas über Handtemperatur erwärmt, eingesetzt. Damit die Polymermembran der Brennstoffzelle nicht dehydriert, empfiehlt das schwedische Unternehmen die Aufbewahrung in dem mitgelieferten, luftdicht verschließbaren Kanister. Nach dem Gebrauch empfiehlt myFC die Entsorgung der Kraftstoffdöschen über Metallrecycling.

**DAS „WARM-UP“** Das *PowerTrek 2.0* kommt in einem zunächst futuristisch anmutenden, leuchtend grünen Design daher. Intuitiv zu bedienen ist es allerdings nicht, weshalb ein Blick in die Bedienungsanleitung hilft. Darin geben die Schweden zwei wichtige Hinweise: Erstens darf ein myFC-Puck (s. Abb. 1, vorne links) – wurde er erst einmal aktiviert – nicht wieder herausgenommen werden, bevor er nicht all seine Energie abgegeben und sich das Ladegerät ausgeschaltet hat. Zweitens darf ein Puck kein zweites Mal verwendet werden. Selbst wenn die Vermutung besteht, dass er noch nicht ganz leer ist, sollte er nicht wieder in das Gerät eingesetzt werden. Ist in Ordnung, aber wie erfolgt die Inbetriebnahme?

Beim Kauf dieses Brennstoffzellenladegeräts wird für das „Warm-up“ ein erster Puck mitgeliefert. Dieser muss zunächst aus seiner silbernen Schutzfolie entnommen und in den Geräteunterbau eingelegt werden. Außerdem muss das



Abb. 2: Die nächste Gerätegeneration: JAQ

Wasserreservoir mit etwa ein bis zwei Teelöffeln ordinären Wassers befüllt werden. Nachdem dann das Siegel von der Oberseite des Pucks entfernt und das Gerät mit zwei Klemmen ordnungsgemäß wieder verschlossen wurde, startet im Inneren die chemische Reaktion und die Brennstoffzelle lädt den in den Oberbau integrierten Lithium-Ionen-Akku. Im Vergleich zum Vorgängermodell speichert der Akku jetzt dreimal mehr Energie.

Beim ersten Startvorgang dauert es zunächst rund zwei Stunden, bis der Stromspeicher voll ist. Während dieser Zeit sollte erst einmal kein Gerät angeschlossen werden. Wurde danach der Start-Puck entfernt, kann ein Mobiltelefon an den USB-Ausgang angeschlossen werden. Nach Betätigung des „Power Transfer Buttons“ an der Gerätelängsseite leuchtet ein grüner Pfeil und die Aufladung beginnt. Weitere Ladevorgänge können wahlweise per Kabel über den Micro-USB-Eingang erfolgen oder mit weiteren Pucks, die für 3,30 Euro pro Stück nachgekauft werden können. Das Gerät schaltet sich allerdings nicht selbständig wieder aus. Erst wenn der Power-Transfer-Button gedrückt wird, erlischt der grüne Pfeil.

Insgesamt mutet diese externe Stromreserve noch etwas kompliziert an. In Zeiten intuitiv zu bedienender Elektrogeräte fehlt noch das gewisse Etwas. Auch wenn Wassernachfüllen und Puck-Wechsel nicht aufwändig sind, entspricht dies eher dem althergebrachten Technologiestandard, wie es auch die Diskussion im Internet widerspiegelt: Hier gibt es zwar Anwender, die das Gerät beispielsweise als dauerhaften Stromlieferanten für Pedelecs nutzen und in höchsten Tönen loben, aber viele fragen auch, warum nicht einfach normale Akkus verwendet werden – insbesondere angesichts des hohen Preises.

**NEUES KARTENKONZEPT** Der entscheidende Schritt in die richtige Richtung könnte mit dem neuen Systemkonzept folgen, das myFC am 27. Januar 2015 ankündigte und Anfang März 2015 auf dem *Mobile World Congress* in Barcelona präsentierte. Das JAQ ist eine kleine Karte im handlichen Handy-Format, die bereits reines Wasser sowie Salz enthält und ein Smartphone einmal aufladen kann (s. Abb. 2). Es soll gegen Ende dieses Jahres für unter 100 Euro erhältlich sein und über den normalen Hausmüll entsorgt werden können. „Die bemerkenswerte Verkleinerung des Brennstoffzellenladegeräts und des benötigten Brennstoffs ermöglicht ein sehr viel dünneres Ladegerät, welches zum Beispiel ohne Probleme in die Tasche einer Gore-Tex-Jacke passt“, erklärte Björn Westerholm, der Geschäftsführer der seit dem 4. Mai 2014 an der NASDAQ OMX First North gelisteten Firma. ||

### BDEW Kongress 2015

Die Rahmenbedingungen für einen neuen Energiemarkt sind derzeit immer noch offen. Immer noch werden in der Energiepolitik Probleme isoliert betrachtet. Manchem Reformprojekt fehlt es an einer Einbindung in einen Gesamtrahmen. Letzteren brauchen die Unternehmen dringend. Bezahlbarkeit und Versorgungssicherheit stehen auf der Agenda ganz oben. Sie müssen gleichberechtigt neben dem Klimaschutz stehen. Es gilt, alle anstehenden Herausforderungen des zukünftigen Energiemarktes zu bündeln und gemeinsam zu diskutieren!

### BDEW Kongress vom 23. – 25. Juni 2015, InterContinental Berlin

BDEW Kongress Infoline +49. 30. 28 44 94 -185 · [www.bdew.de/kongress](http://www.bdew.de/kongress) · [kongress@bdew.de](mailto:kongress@bdew.de)

#### Diese Themen stehen im Mittelpunkt des BDEW Kongresses 2015:

- EEG 2.0 – kann die wettbewerbliche Förderung der Erneuerbaren Energien so gelingen?
- Welche Lösungen gibt es für die Herausforderungen im Energienetz 2.0?
- Welche Bedeutung hat die IT in der Energiewirtschaft und welche Sicherheitsanforderungen sind notwendig?
- Wie heizt Deutschland morgen?
- Mehr als nur Netze und Erzeugung? Der Faktor Vertrieb und Handel in der Energiewende
- Wie lässt sich Energieeffizienz zu einem Gewinnerthema machen?
- Mit welchen Innovationen stehen junge Unternehmen unserer Branche in den Startlöchern?

# PROTONEN AUF DIE SPRÜNGE HELFEN

## Keramische Protonenleiter als Festelektrolyte für Mikro-BZ

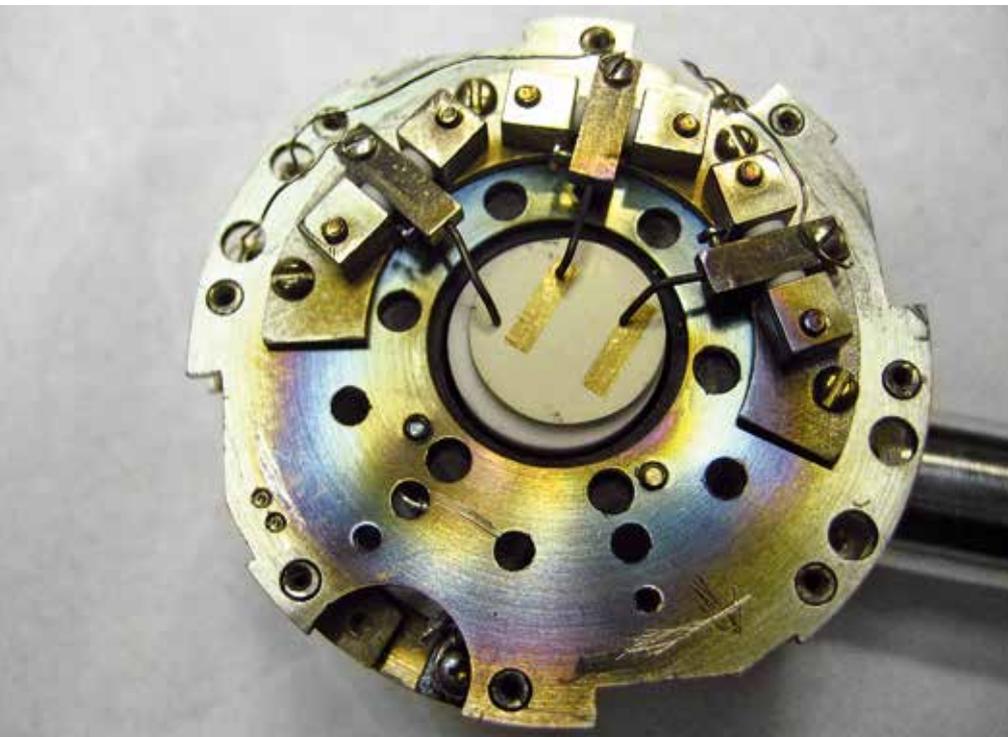


Abb. 1: Protonenleitende Elektrolytscheibe aus yttrium-substituiertem Barium-Ceroyd mit elektrischen Goldkontakten und Referenzelektrode auf einem Probenhalter für kombinierte Messungen der Impedanz und Valenzbandstruktur bei hohen Temperaturen und Feuchtigkeitskonzentrationen.

Der Elektrolyt von Festoxidbrennstoffzellen (solid oxid fuel cell, SOFC) ist eine keramische Membrane aus Zirkonoxyd, deren Funktion auf der Hochtemperaturdiffusion von Sauerstofffehlstellen beruht. Dieser Prozess setzt ab 600 °C ein und wird typischerweise bei 800 bis 1.000 °C optimal. Wissenschaftler haben frühzeitig erkannt, dass bei solch hohen Temperaturen auch unerwünschte chemische Prozesse einsetzen, welche langfristig zu einer Degradation der SOFC-Komponenten führen. Deswegen begann eine Suche nach alternativen Ladungstransportprozessen, die eine niedrigere Aktivierungstemperatur besitzen als die für Sauerstoffionenleiter. Fündig wurde die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) bei ultradünnen, epitaktisch verspannten Protonenleitermembranen.

Viele Metalloxide nehmen nahezu unmerklich in geringen Mengen Wasser aus der Umgebungsfeuchtigkeit auf. Sollten sich in diesen Metalloxiden Sauerstofffehlstellen befinden, werden diese mit dem Sauerstoffion des Wassermoleküls besetzt. Von den beiden Protonen des Wassermoleküls bleibt dann eines an diesem Sauerstoffion und stellt mit diesem ein Hydroxyl-Ion (-OH) dar. Das zweite Proton bindet sich an ein benachbartes Sauerstoffion im Kristallgitter und stellt ein weiteres Hydroxyl-Ion dar.

Bei einer ganzen Reihe von Metalloxiden reicht eine Aktivierungstemperatur von 450 °C aus, um die Hydroxydbindungen zu brechen, womit die beteiligten Protonen dann als Ladungsträger zur Verfügung stehen. Das Metalloxyd wird dadurch zum Protonenleiter. Allerdings reicht die elektrische Leitfähigkeit der bislang besten keramischen Protonenleiter auch bei optimalen Betriebsbedingungen nicht an die Leitfähigkeit der gängigen Sauerstoffionenleiter heran. Zum Beispiel stellen Korngrenzen in den Protonenleitern ein bekanntes Hindernis für die Protonenleitung dar. Daher wurde bislang ein großer Akzent auf die Erforschung der richtigen Synthese- und Prozesstechnik gelegt, um korngrenzenarme Keramiken herzustellen.

**AUFWEITUNG DER KRISTALLGITTER** Hoffnung für verbesserte Protonenleiter kommt derzeit aus einer gänzlich unerwarteten Richtung: Schweizer Wissen-

schaftler haben entdeckt, dass die Aktivierungsenergie für Protonenleitung in Metalloxiden von den Gitterparametern des Protonenleiters abhängt. Trivial ausgedrückt brauchen die Protonen einen gewissen räumlichen Platz im Kristallgitter, um sich gut darin fortbewegen zu können. Enge Gitter bremsen die Protonen, während bei weiten Gittern eine niedrige Aktivierungsbarriere überwunden werden muss, damit die Protonen ihre Ladung durch den Festkörper transportieren können.

Während allfällige Fortschritte beim Korngrenzen-Engineering gerne mitgenommen werden, konzentrieren sich die Schweizer Forscher darauf, praktische Konzepte dafür zu finden, wie man das Gittervolumen von Metalloxiden vergrößern kann. Um den Mechanismus, der zur Protonenleitung führt, näher ausleuchten zu können, haben Gruppenleiter Artur Braun und Doktorandin Qianli Chen von der ETH Zürich an der EMPA in Dübendorf die Protonenleitung von Y-dotiertem Bariumcerat und Bariumzirconat gemessen, während das Material einem immer größer werdenden isostatischen Druck von schließlich 10 GPa bei Temperaturen von bis zu 600 °C ausgesetzt war.

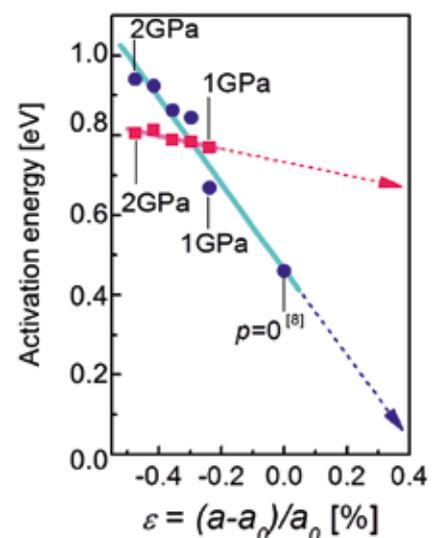


Abb. 2: Aktivierungsenergie für Protonenleitung beim  $\text{BaZr}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{O}_3$  Festelektrolyten in Abhängigkeit von der elastischen Verspannung  $\epsilon$ . Für den Fall von Dehnungsverspannungen  $\epsilon \rightarrow 0$  nimmt die Aktivierungsenergie linear ab, weshalb die Protonenleitung bereits bei niedrigeren Temperaturen einsetzt. [Quellen: EMPA]

Die daraus ermittelten Aktivierungsenergien stiegen linear mit dem aufgeprägten Druck an. Extrapoliert man diesen quantitativen Zusammenhang in Richtung Zugspannung, dann lässt sich errechnen, wie weit die Betriebstemperatur des Protonenleiters und damit der Brennstoffzelle gesenkt werden kann, um die gleiche Protonenleitfähigkeit des Elektrolyten bei beispielsweise 500 °C zu erhalten.

Diese „Extrapolation“ in Richtung Zugspannung lässt sich dabei durchaus praktisch bewerkstelligen, wenn man die Protonenleiter als epitaktisch wachsende Filme herstellt. Der Zweck des epitaktischen (gerichteten) Wachstums ist, dass dadurch den Filmen neue Eigenschaften erwachsen können. Diese Methode ist zum Beispiel aus der Halbleitertechnologie (Halbleiterepitaxie) und bei magnetischen Filmen bekannt und etabliert.

Wird ein Trägermaterial mit einer bestimmten Gitterkonstanten genommen und darauf ein Film aus einem anderen Material, das eine kleinere Gitterkonstante besitzt, aufgedampft, dann wächst das Filmmaterial bis zu einer gewissen Grenzdicke mit der größeren Gitterkonstanten des Trägermaterials. Der Film wird dann in der Ebene gedehnt und wächst damit in einer kristallographischen Phase, die ihm durch die Natur nicht in die Wiege gelegt, sondern durch das Trägermaterial aufgeprägt worden ist.

**DÜNNERE DICKEN** In der SOFC-Gemeinde könnten sich anfänglich Akzeptanzprobleme angesichts dieses neuen Konzepts auftun. Während konventionelle Festelektrolyte wie yttrium-stabilisiertes Zirkonoxid oder Cer-Gadoliniumoxid Dicken von bis zu mehreren 100 Mikrometern haben können, haben epitaktisch gewachsene Filme in der Regel „Dicken“ im Bereich von 1 bis 100 Nanometer. Derart dünne Filme sind in der konventionellen Brennstoffzellentechnologie eigentlich nicht zu finden. Elektrolytfilme von maximal 10 Nanometer Dicke können jedoch den gewünschten Effekt – gleiche Leistung bei halber Temperatur oder noch mehr Leistung bei der gleichen Temperatur – gewährleisten.

Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Elektrolytfilme mit der gewünschten elastischen Verspannung auf der Anode oder Kathode (Trägerelektroden) der Brennstoffzelle aufgedampft werden können. Hierzu sind Materialanpassungen bei den genannten Trägerelektroden notwendig, deren Komplexität sich erst bei weiteren Untersuchungen herausstellen könnte.

**EINSATZ IM IT-SEKTOR** Als Eintrittstechnologie für epitaktisch verspannte Protonenleiternmembranen könnten zum Beispiel Mikro-Brennstoffzellen dienen. Die Miniaturisierung von Komponenten ist hierfür gewissermaßen systemimmanent. Für Mikro-Brennstoffzellen wäre es durchaus denkbar, dass dünne Elektroden mit dem Konzept der ultradünnen und epitaktisch verspannten Elektrolytmembranen, die besonders gut Protonen leiten, kompatibel sind. ||

Diese Forschung und Entwicklung wird unterstützt vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaften.



Autor:

Dr. Artur Braun  
Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa), Dübendorf, Schweiz  
→ Artur.Braun@empa.ch



Projektpartner:



Ministerium für Wirtschaft, Energie,  
Bauen, Wohnen und Verkehr  
des Landes Nordrhein-Westfalen



[www.hycologne.de](http://www.hycologne.de)



Wasserstoff-Kompetenz-Zentrum



## ANWENDERZENTRUM H2HERTEN

- Erstes Technologiezentrum für Firmen der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik
- Büroräume und Technika
- Integrierte Wasserstoffversorgung (Windstromelektrolyse)
- H<sub>2</sub>-basiertes Energiekomplementärsystem
- Meetingräume inkl. Präsentationstechnik

Ansprechpartner:

Dieter Kwapis | Frank Nosczyk | [info@h2herten.de](mailto:info@h2herten.de) | [www.wasserstoffstadt.de](http://www.wasserstoffstadt.de)

# INNOVATIVES SPANNSYSTEM FÜR STACKS

## Verbindung von Umform- und Brennstoffzellentechnik

Die Sicherstellung einer serienfertigungstauglichen, wirtschaftlichen und leistungsfähigen Stapelung ist eine der Herausforderungen der Brennstoffzellenentwicklung, um letztendlich zu kostengünstigen, massenfertigbaren Produkten zu gelangen. Die in Buchen ansässige und in Umform- und Montagetechnik spezialisierte Scheuermann + Heilig GmbH hat mit Unterstützung des Zentrums für Brennstoffzellentechnik (ZBT) und des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) ein innovatives, universell einsetzbares Verspannsystem für Brennstoffzellenstapel entwickelt. Dieses hat sich hinsichtlich der serientauglichen Optimierung des Stapelprozesses, einer Reduzierung des Stack-Gewichts, einer Vergleichmäßigung der zellinternen Anpressdrücke und letztendlich der Langzeitstabilität auch unter temperaturzyklischer Belastung bewährt.

Zu den Hauptfunktionen des Verspannsystems gehören die Bereitstellung und gleichmäßige Verteilung der Anpresskraft innerhalb des Brennstoff-

zellen-Stacks, die sichere Abdichtung und Kontaktierung der einzelnen Zellen und die mechanische Stabilisierung des BZ-Stacks. Darüber hinaus müssen alle Fertigungstoleranzen der Stack-Komponenten ausgeglichen, die Funktion in allen Betriebszuständen und unter allen Bedingungen sichergestellt werden und vor allem die Stack-Montage automatisierbar und kostengünstig sein. Damit wird die Markteinführung der PEM-Brennstoffzelle durch die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit gefördert. Um dies realisieren zu können, umfasst der entwickelte Lösungsansatz nicht nur die Verspannfunktionalität selbst, sondern gleichzeitig auch ein optimal industriell automatisierbares Montagekonzept.

Das innovative Verspannsystem ist modular aus einem Grundmodul, einem Zugankersatz und einem Deckmodul aufgebaut (s. Abb. 1). Die Grund- und Deckmodule bestehen jeweils aus beanspruchungsgerecht versickten, laserverschweißten und thermisch isolierend wirkenden Edelstahlblechhohlprofilen, einem applikationsspezifischen Federnsatz mit degressiver, flacher Kennlinie und einer flüssigkeitsgefüllten Druckverteilerplatte mit stackseitiger, mediendicht laserverschweißter Druckmembrane aus Edelstahlfolie. Im Anlieferungszustand ist die Druckverteilerplatte in die Endplatte eingerastet, liegt an Anschlängen an und spannt das Federpaket vor. Dies reduziert die Anzahl der zu disponierenden Komponenten, erhöht die Prozesssicherheit und senkt die Montagekosten. Im Betriebszustand ist die Federvorspannung höher als im Anlieferungszustand, und die Druckverteilerplatte liegt nicht mehr an den Rastanschlängen auf. Die Vorspannung der Federn kann über integrierte Indikatorfenster jederzeit überprüft oder optional auch kontinuierlich überwacht werden.

Beim Stack-Montageweg werden die Zuganker simultan mit einem einzigen Pressenhub stufenlos bis zum Erreichen der Soll-Vorspannkraft in die Endplatte gedrückt (s. Abb. 2). Die Krafteinleitung erfolgt hierbei über ein Pendelager. Durch das bereits in der Endplatte integrierte stufenlose, selbstsichernde Klemmsystem werden in Kombination mit der Krafteinleitung über ein Pendelager alle fertigungsbedingten Dickentoleranzen und Parallelitätsabweichungen selbständig kompensiert. Zu Entwicklungs- und Erprobungszwecken kann das System aber optional auch konventionell über Gewindestangen und Muttern gesichert und damit beliebig oft zerstörungsfrei demontiert werden.

Um dieses Konzept an realen Brennstoffzellenstapeln einsetzen und demonstrieren zu können, wurde das Entwicklungsprojekt wissenschaftlich vom ZBT sowohl mittels modellbasierter Methoden als auch umfangreicher Praxistests begleitet. Zunächst wurde dafür das mechanische Konzept iterativ mit Hilfe einer thermomechanischen Simulation in COMSOL Multiphysics® untersucht. Die Tempera-



Abb. 1: Modulares Systemkonzept

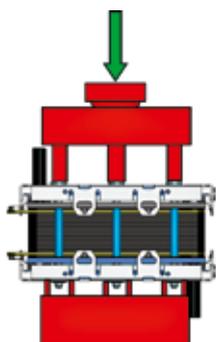


Abb. 2a: Montagekonzept, schematisch



Abb. 2b: Montagewerkzeug

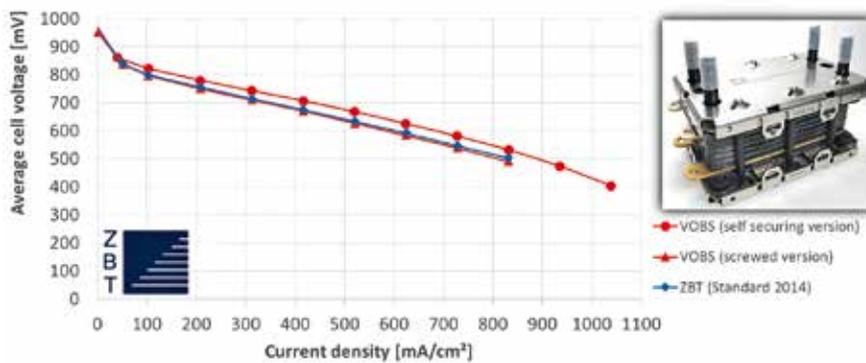


Abb. 3: Validierung am 5-Zeller

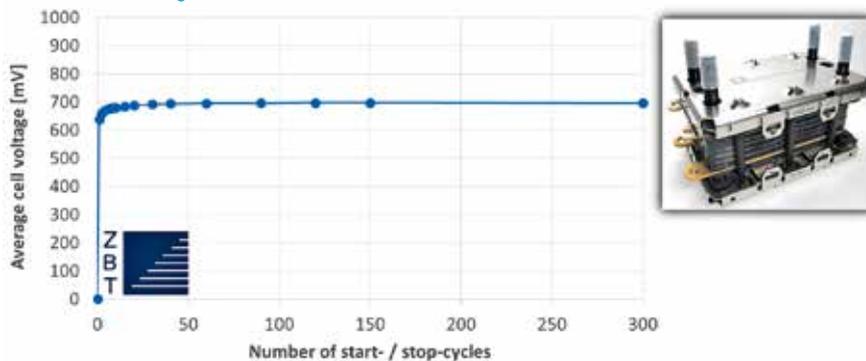


Abb. 4: Der Zyklentest bewies die Stabilität der Lösung [Quellen: ZBT]

turverteilung im Brennstoffzellenstack wurde durch eine thermische Modellierung ermittelt und damit die temperaturabhängige Ausdehnung der einzelnen Zellkomponenten in unterschiedlichen Betriebszuständen betrachtet. Die zu berechnende Kombination aus Zellstapel (Bipolarplatten, Dichtungen, MEA) und Verspannsystem, das aus Blechen, Federelementen und Druckkissen besteht, war hierbei im Vergleich zu klassischen Verspannsystemen die besondere Herausforderung.

Mit Hilfe der durchgeführten Berechnungen ist es gelungen, das neu entwickelte innovative Verspannkonzept bereits vorab, das heißt noch ohne den Bau eines teuren Prototypenwerkzeugs und mechanische Versuche, zu überprüfen und zu optimieren. Die Verformung und potenziell kritische Stellen der Bauteile wurden vor der Fertigungsphase identifiziert und konnten somit vermieden werden. Im Hinblick auf die Anforderungen zum Beispiel an die Anpressdruckverteilung und die Stabilität des Brennstoffzellen-Stacks wurde das Verspannsystem unter umform-fertigungstechnischen Gesichtspunkten optimiert.

Das anschließend durch Scheuermann + Heilig prototypisch realisierte Verspannkonzept wurde in einem Teststack des ZBT (50 cm<sup>2</sup> aktive Fläche) erprobt. Hierfür wurden zunächst Versuche mit Druckmessfolien zur Verifizierung der homogenen Anpressung und dann erste Stackversuche mit verschraubten Verspannsystemen durchgeführt. Die im Verspannsystem integrierten Druckkissen führten dabei zu einer homogenen flächigen Verteilung der Anpresskraft. Das Handling der bereits vormontierten Verspannsysteme erwies sich gegenüber der bisherigen Standardvariante, die über einzeln zu kombinierende Elemente und Federpakete aufzubauen ist, als deutlich verbessert. Die Montagezeit und gleichzeitig die Montagerisiken konnten daher verringert werden. Indem letztendlich die verschraubten Gewindestangen ersetzt wurden durch Spannscheiben, konnte die Automatisierbarkeit der Verstackelung des Brennstoffzellen-Stacks deutlich erhöht werden. Dadurch konnte das Aufstackeln des Brennstoffzellenstacks mit Hilfe einer Presse sogar werkzeuglos durchgeführt werden.

Die im ZBT mit dem entwickelten Verspannsystem aufgebauten Brennstoffzellen-Stacks wurden zunächst stationär und anschließend automatisiert zyklisiert im Teststand betrieben. Nicht nur die Einsetzbarkeit des Konzeptes, sondern auch die langfristige Stabilität des Brennstoffzellenstapels wurde mit Hilfe der Zyklusversuche bei sehr guter Verteilung der Anpresskraft innerhalb der Brennstoffzellen und bei guten Leistungswerten auch für lange Nutzungsdauern nachgewiesen. Dabei erwies sich das Konzept als ausgesprochen stabil, da durch das optimierte Anpressdruckverhalten des Verspannsystems auch im Zyklusbetrieb eine sehr gute, homogene Anpressung der inneren Zellkomponenten erreicht wird. Unter Verwendung der Spannscheibentechnik, also der gleichmäßigen Komprimierung

des Stacks in einer mechanischen Presse und Längen-Fixierung über Stangen, konnte die Leistungsdichte sogar geringfügig gegenüber der klassischen Spanntechnik über einzelne Gewindestangen verbessert werden.

Insgesamt erwies sich das System als kostengünstig umformtechnisch herstell- und prozesssicher montierbar. Eine durch das Konzept verursachte Degradation war innerhalb von 300 Start-Stopp-Zyklen nicht nachweisbar. In den Prüfstandsversuchen zeigte sich das neu entwickelte Verspannsystem als dem bereits hochentwickelten Standard-Verspannsystem des ZBT ebenbürtig beziehungsweise in der selbstsichernden Variante sogar leicht überlegen.

Für 2015/2016 ist die Ableitung von zwei Produktvarianten, die gezielt auf die spezifischen Anforderungen von Marktsegmenten sind sowie von kundenspezifischen Ausführungen ausgerichtet sind, geplant. ||

Die Arbeiten wurden im Rahmen des Brennstoffzellen-Kleingeräteprogramms vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie unterstützt. Für das entwickelte Lösungskonzept wurden Schutzrechte angemeldet.

→ ZBT in Hannover: Halle 27, Stand E40

#### Literatur

- [1] W. Bundschuh, S. Volk, P. Beckhaus, E. Firat, u.a., Development of a cost- and functional optimized industrial stack compression system, f-cell conference presentation, 6.-8.10.2014, Stuttgart
- [2] J. Scholta, W. Bundschuh, S. Volk, Development and testing of cost efficient end plates, 6<sup>th</sup> International Conference on Fundamentals and Development of Fuel Cells, 3.-5.02.2015, Toulouse, France

#### Autoren:

Dr. Wieland Bundschuh

→ [Wieland.Bundschuh@sh-gmbh.de](mailto:Wieland.Bundschuh@sh-gmbh.de)

Simon Volk

beide Scheuermann + Heilig GmbH, Buchen

Dr. Peter Beckhaus

→ [p.beckhaus@zbt-duisburg.de](mailto:p.beckhaus@zbt-duisburg.de)



Evren Firat (Foto)

beide ZBT GmbH – Zentrum für BrennstoffzellenTechnik, Duisburg

# OPTISCHE H<sub>2</sub>-DETEKTOREN

## JLU Gießen arbeitet zweigleisig an H<sub>2</sub>-Sensoren

An der Justus-Liebig-Universität Gießen wird gleich in mehrfacher Hinsicht die Entwicklung von Wasserstoffsensoren vorangetrieben: So hat Prof. Dr. Meyer von der JLU Gießen auf Basis von schnellschaltenden Spiegeln einen Gassensor zur Detektion von Wasserstoff ersonnen und im Rahmen eines geförderten Validierungsprojektes gemeinsam mit Dr. Angelika Polity sowie Marc K. Dietrich weiterentwickelt. Außerdem arbeitet an der JLU Gießen Prof. Dr. Eickhoff an optischer Sensorik, allerdings nicht mit funktionalen Dünnschichten, sondern im Bereich der Nanotechnologie.

Optische Sensoren zur Detektion von Wasserstoff können neue Anwendungen erschließen. Um die gesamte Bandbreite dieser neuen Einsatzmöglichkeiten abdecken zu können, verfolgen die Mitarbeiter am I. Physikalischen Institut der Justus-Liebig-Universität Gießen zwei verschiedene Ansätze: Sie arbeiten sowohl an maßgeschneiderten Materialien aus Multischichtsystemen, die auf Magnesiumeisenlegierungen basieren, als auch an Nanostrukturen, die in unterschiedlichen Umgebungsatmosphären ihre Emissionscharakteristik ändern.

**SCHALTBARE SPIEGEL ZUR H<sub>2</sub>-DETEKTION** Einer der Forschungsschwerpunkte am I. Physikalischen Institut der Justus-Liebig-Universität Gießen ist die Untersuchung von chromogenen Systemen. Hierzu zählt auch die Entwicklung von gasochromen Schichtsystemen auf der Basis von Magnesiummetalllegierungen, die als Wasserstoffsensoren eingesetzt werden sollen. Dieser neuartige Wasserstoffsensor ist handelsüblichen H<sub>2</sub>-Sensoren überlegen und wird vor allem für neue Anwendungsbereiche (z. B. im Automobil) optimiert. Dieser Sensor ist in der Lage, Wasserstoffgas in niedriger Konzentration in der Luft zu detektieren. Gegenüber anderen H<sub>2</sub>-Gassensoren zeichnet er sich besonders durch seine schnelle Ansprechzeit von unter einer Sekunde aus. Der Sensor ist vor allem zur Warnung vor explosiven Gasgemischen mit über 3 Vol.-% H<sub>2</sub> vorgesehen.

Diese Art der Gassensoren verfügt über eine hochreflektierende Schicht aus einer Magnesiummetalllegierung, die von einer sehr dünnen Schicht aus Palladium bedeckt ist. Diese „schaltet“ bei der Exposition mit H<sub>2</sub>-Gas, wodurch sie in einen transparenten Zustand überführt wird. Dieser Vorgang wird als gasochromer Effekt bezeichnet. Die Magnesiummetalllegierung (z. B. Mg<sub>2</sub>Fe) wird hierbei in ein Hydrid (Mg<sub>2</sub>FeH<sub>6</sub>) umgewandelt. Palladium dient dabei als Katalysator zur Hydrierung und Dehydrierung, wodurch H-Atome in die Legierungsschicht eindringen (Beladung) oder diese auch wieder verlassen können (Entladung).

Der Übergang der Legierungsschicht vom metallischen zum isolierenden Charakter, der sich beim Be- und Entladevorgang mit Wasserstoff vollzieht, ist mit einer Änderung der optischen und elektrischen Eigenschaften verbunden. Diese Änderung kann durch eine einfache Messelektronik aufgezeichnet und zur H<sub>2</sub>-Detektion herangezogen werden. Beispielsweise ändern sich die Reflektivität und der elek-

trische Widerstand der Legierungsschicht in Abhängigkeit vom H<sub>2</sub>-Umgebungsdruck. Die reflektierte Strahlung einer GaAs-IR-Photodiode wird dabei von einem Phototransistor ausgelesen (optischer Sensor). Der Phototransistor misst dann eine Spannung, die linear mit der Anzahl der einfallenden Photonen korreliert. Der elektrische Sensor misst die Spannung, die bei einem vorgegebenen Strom zwischen zwei Kontakten an der Oberfläche der Sensorschicht abfällt. Der ohmsche Widerstand der Magnesiumeisenlegierung ist geringer als der des entsprechenden Hydrids.

Die Sensorschichten werden mit der Methode der Hochfrequenz-Kathodenzerstäubung auf Glassubstraten abgeschieden. Die Schichten aus der Magnesiumlegierung und Palladium sind nur wenige Nanometer dick und werden, um die Stabilität des Schichtsystems zu verbessern, mit einer etwa 0,2 µm dicken Teflonschicht eingekapselt. Das H<sub>2</sub>-Gas kann die Teflonschicht passieren, während andere Gase von den eigentlichen Sensorschichten (Palladium und MgFe) ferngehalten werden [1].

Magnesium und die Legierungen von Magnesium mit den Metallen Ni, Fe, Al, Zn, Ti, V, etc. sind gasochrom [2]. Im Zuge der Untersuchungen der letzten Jahre konnte festgestellt werden, dass reines Magnesium für die Anwendung als H<sub>2</sub>-Sensor ungeeignet ist. Zwar fand eine Beladung mit Wasserstoff und eine Phasenumwandlung zu dem Hydrid MgH<sub>2</sub> statt, aber die vollständige Umwandlung zurück zum reinen Magnesium beziehungsweise die vollständige Entladung des Wasserstoffs war nicht mehr möglich.

Die Magnesiumlegierungen mit Ni, Ti und Fe hingegen waren aufgrund der Reversibilität der Phasenumwandlung sehr gut für die Sensoranwendung geeignet, wobei MgFe die besten Schalteigenschaften und eine hohe Sensitivität aufwies (s. Abb. 1) [3]. Vor allem niedrige Konzentrationen von H<sub>2</sub>-Gas konnten von dem optischen Sensorsystem mit einer aktiven Schicht aus MgFe sehr gut detektiert werden (bis zu 100 ppm H<sub>2</sub>).

**HALBLEITERNANOSTRUKTUREN ALS H<sub>2</sub>-SENSOREN** Im Bereich der Gassensorik verspricht der Übergang zu nanoskaligen Transducer-Strukturen aufgrund einer Vergrößerung der aktiven Oberfläche einen deutlichen Sensitivitätsgewinn sowie niedrigere Ansprechschwellen. Um jedoch das Potenzial von Nanostrukturen für Sensoranwendungen

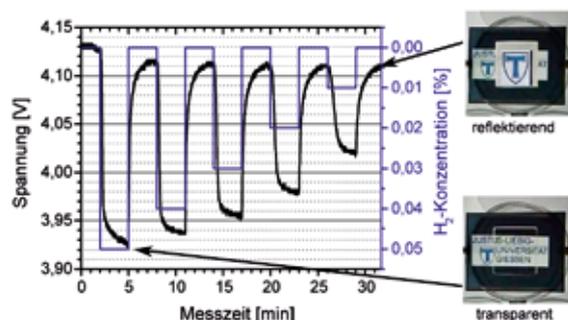


Abb. 1: Sensorsignal des optischen Sensors auf der Basis von MgFe bei unterschiedlichen H<sub>2</sub>-Gaskonzentrationen (in synthetischer Luft) zwischen 0,0 und 0,05 %

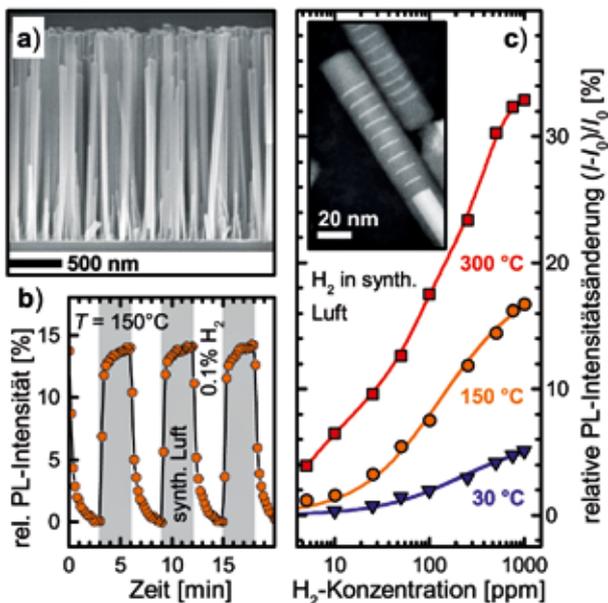


Abb. 2: a) Rasterelektronenmikroskopaufnahme von GaN-Nanodrähten in Seitenansicht b) transiente relative PL-Response auf 0,1 % H<sub>2</sub> in synthetischer Luft c) Konzentrationsabhängigkeit der Response für verschiedene Temperaturen; Bild: Transmissionselektronenmikroskopaufnahme einer Nanodrahtheterostruktur (hell: GaN; dunkel: AlN) [Quellen: JLU]

ausschöpfen zu können, sind geeignete Ausleseansätze erforderlich. Optische Methoden bieten sich hier besonders an, da sie erlauben, eine große Zahl von Nanoobjekten ohne Prozessierungsaufwand gleichzeitig adressieren zu können. Darüber hinaus bieten auf optischen Eigenschaften basierte Ansätze bei bestimmten Anwendungen Vorteile, wie beispielsweise bei der Detektion explosiver Medien, für die sich eine elektrische Messmethode verbietet.

Dieses Konzept wird an der JLU verfolgt, um im Rahmen eines neuartigen Ansatzes hochsensitive chemische Sensoren zu entwickeln. Hierfür werden Gruppe-III-Nitrid-Nanodrähte mit einem Durchmesser von 30 bis 50 nm und einer Länge von bis zu 2 µm mittels Molekularstrahl-epitaxie in einem selbstassemblierten Prozess hergestellt (s. Abb. 2a). Die optischen Eigenschaften dieser Nanodrähte, genauer die Photolumineszenzintensität, hängt empfindlich von der umgebenden Gasatmosphäre ab. Im Falle von Wasserstoff steigt die Intensität bei platinbeschichteten Nanodrähten deutlich an (s. Abb. 2b). Bei der Untersuchung weiterer Gasspezies zeigten sich grundsätzliche Unterschiede im Verhalten bezüglich reduzierender (H<sub>2</sub>, Kohlenwasserstoffe) und oxidierender Gase (O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>), die auf eine adsorbatinduzierte Unterdrückung beziehungsweise Verstärkung nichtstrahlender Rekombinationsprozesse zurückgeführt wurden [4].

Das Materialsystem der Gruppe-III-Nitride bietet in diesem Zusammenhang zahlreiche Möglichkeiten zur Struktur-optimierung, wie zum Beispiel eine Anpassung der Emissionswellenlänge oder die Möglichkeit, Heterostrukturen (Regionen unterschiedlicher Materialzusammensetzung) in den Nanodrähten zu realisieren. Im Bild in Abb. 2c ist dies am Beispiel von GaN-Quantenscheiben, die zwischen AlN-Barrieren in einen Nanodraht eingebettet sind, gezeigt. Diese Quantenscheiben bewirken einen Ladungsträger-einschluss für photogenerierte Elektronen und Löcher, was sich vorteilhaft auf die Temperaturstabilität der Photolumineszenz auswirkt und eine Einstellung der Emissionswellenlänge ermöglicht.

Mit Hilfe von GaN/AlGaN-Nanodrahtheterostrukturen konnten Detektionsschwellen von wenigen ppm H<sub>2</sub> in synthetischer Luft demonstriert werden (s. Abb. 2c), was das Potenzial dieser Nanostrukturen für die H<sub>2</sub>-Detektion eindrucksvoll verdeutlicht. Besonders hervorzuheben ist, dass diese Ergebnisse bei – im Vergleich zu typischen Betriebstemperaturen konventioneller, Metalloxid-basierter Sensorensysteme – sehr niedrigen Temperaturen von 30 bis 300 °C erzielt wurden.

In einer Zusammenarbeit der JLU Gießen mit dem Fraunhofer Institut für Angewandte Festkörperphysik sowie der Technischen Universität Ilmenau wurde unter Verwendung von Indium-Galliumnitrid Nanodrähten ein vollständig integriertes Demonstratorsystem entwickelt [5]. Hierbei wurden die Nanodrahtstrukturen zusammen mit einer Halbleiterlaserdiole (Emissionswellenlänge von 405 nm) zur Anregung der Nanodraht-Photolumineszenz sowie einer Photodiode mit Filteroptiken zur Signaldetektion auf einem Freiformkörper aus PMMA, der sowohl als Träger als auch als optische Komponente zur Strahlführung fungiert, befestigt.

Die Möglichkeit der Modulation des Anregungslichtes sowie der Integration von Nanodrahtstrukturen mit unterschiedlicher Emissionswellenlänge auf einem Sensorchip sind nur zwei der zusätzlichen Freiheitsgrade dieser Technologie, mit der auch komplexere Funktionalitäten erschlossen werden können. ||

#### Literatur

- [1] B. K. Meyer, M. K. Dietrich, A. Polity, A. Laufer, Gas Sensor for Detection of Hydrogen Gas, Nov 2011, EP Patent 2594937
- [2] X. Q. Zeng, L. F. Cheng, u.a., Influence of 3d transition metals on the stability and electronic structure of MgH<sub>2</sub>, Journal of Applied Physics, 111(9):093720, 2012
- [3] M. K. Dietrich, A. Polity, B. K. Meyer, u.a., Hydrogen sorption and desorption kinetics and hydrogenation stability of Mg-metal-hydride thin films, Sensors and Actuators A: Physical, 206:127–131, 2014
- [4] J. Teubert, M. Eickhoff, u.a., Detection of oxidising gases using an optochemical sensor system based on GaN/InGaN nanowires Sensor, Actuat. B-Chem. 197, 87 (2014)
- [5] R. Kleindienst, P. Becker, u.a., Integration of an opto-chemical detector based on group III-nitride nanowire heterostructures, Appl. Opt. 54, 839 (2015)



Autoren:

Dr. Jörg Teubert → [Joerg.Teubert@exp1.physik.uni-giessen.de](mailto:Joerg.Teubert@exp1.physik.uni-giessen.de)

Marc K. Dietrich



Prof. Dr. Martin Eickhoff → [eickhoff@physik.uni-giessen.de](mailto:eickhoff@physik.uni-giessen.de)

Dr. Angelika Polity → [Angelika.Polity@exp1.physik.uni-giessen.de](mailto:Angelika.Polity@exp1.physik.uni-giessen.de)

alle vom I. Physikalisches Institut Justus-Liebig-Universität Giessen

## UND WAS IST MIT KLEINSYSTEMEN?

*Aufruf, kleinere BZ- und H<sub>2</sub>-Systeme nicht zu vernachlässigen*



Abb. 1: Der H<sub>2</sub>-Nachschub für solche BZ-Systeme ist immer noch nicht zufriedenstellend gelöst. [Quelle: balticFuelCells]

In den vergangenen Jahren konnten sowohl die Entwicklungsarbeiten an Brennstoffzellensystemen als auch der Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur erhebliche Fortschritte verzeichnen. Seit geraumer Zeit sind öffentliche Tankstellen der Clean Energy Partnership (CEP) in Betrieb und weitere sind in Planung – Ende dieses Jahres sollen es insgesamt 47 Tankstellen werden. Auch Befüllstationen für Flottenfahrzeuge, beispielsweise Niederflurfahrzeuge, finden in verschiedenen Projekten Anwendung. Jüngst hat die Linde AG gar die Serienproduktion von Wasserstofftankstellen angekündigt. Alles in allem sind das sehr gute Nachrichten für die gesamte Branche. Doch wie sieht die Realität hinter diesen Meldungen aus? Für wen sind diese Tankstellen nutzbar?

Wasserstoff wird seit langer Zeit als technisches Gas genutzt. Seit den 1970er-Jahren tritt auch die Verwendung des Gases als Energieträger mehr und mehr in den Fokus der Öffentlichkeit. Wie für technische Gase üblich wird Wasserstoff durch Gaslieferanten an die jeweiligen Abnehmer geliefert. Es gibt diverse Gebindegrößen und unterschiedliche Druckniveaus, so dass diese Vertriebsstruktur neben den bestehenden Wasserstoffanwendungen auch für stationäre Brennstoffzellensysteme kleiner und mittlerer Leistung genutzt werden kann.

Auch für Anwendungen im Transportbereich stehen ausgiebig erprobte Komponenten zum Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur bereit. Die CEP verfolgt neben anderen Initiativen konsequent das Ziel, eine flächendeckende Versorgung für die ersten Serienmodelle von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen zu errichten und so den Markt für diese Technologie vorzubereiten. Ebenso können heute Sonderlösungen im Transportbereich, wie zum Beispiel der Flottenbetrieb von Niederflurfahrzeugen, auf bewährte Technik zum Auffüllen der Wasserstoffspeicher zurückgreifen.

**EINSEITIGER FOKUS** In den beschriebenen Märkten und Anwendungen ist also eine Versorgung mit Wasserstoff derzeit sichergestellt. Doch Brennstoffzellen haben bekanntlich ein sehr breites Anwendungsspektrum und es gibt durchaus weitere technisch und ökonomisch sinnvolle Anwendungsmöglichkeiten für was-

serstoffbetriebene Brennstoffzellensysteme. Diese übrigen Anwendungen werden in den Überlegungen zum Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur nur sehr unzureichend berücksichtigt. Natürlich bieten kleinere Anwendungen nicht die finanziellen Anreize wie zum Beispiel der Aufbau einer flächendeckenden Versorgung entlang unserer Verkehrswege. Die Versorgung von Brennstoffzellensystemen kleinerer und mittlerer Leistung sollte jedoch bei allen Fortschritten in anderen Bereichen keine unüberwindbare Hürde darstellen.

Die Betrachtung der Märkte für Brennstoffzellen unterhalb von einem Kilowatt elektrischer Leistung zeigt, dass es hier unter anderem im Freizeitbereich (Caravans und Yachten), bei entlegenen Richtfunkstationen und im besonderen Maße bei der leichten Elektromobilität erhebliches Marktpotential für wasserstoffbetriebene Brennstoffzellensysteme gibt. Diese Märkte eint neben der benötigten elektrischen Leistung auch die derzeit unpassende Infrastruktur. An entlegene Orte kann nur sehr schwer Wasserstoff in Stahlflaschen geliefert werden. Ebenso ist es nicht vorstellbar, dass diese Speicherart auf Yachten Anwendung findet. Und auch der Einsatz beispielsweise an einem Pedelec ist nicht erfolversprechend. Für Wasserstoffanwendungen kleiner und mittlerer Leistung sind die derzeit verfügbaren Möglichkeiten der Versorgung mit Wasserstoff nicht nutzbar.

### PRODUKTE IN DEN STARTLÖCHERN

Technische Komponenten zur Entwicklung marktfähiger Produkte sind hingegen verfügbar. Als potentieller Anwender der Wasserstofftechnologie kann man heute auf eine Vielzahl an Produkten zurückgreifen und entsprechend den jeweiligen Bedürfnissen auswählen.

Die Entwicklungen der vergangenen Jahre haben die Brennstoffzelle und die Speichertechnologien aus den Laboren zu kommerziellen, marktfähigen Produkten reifen lassen. Brennstoffzellen lassen sich ohne spezielles Fachwissen einsetzen. Die Produkte wurden von Firmen wie FutureE GmbH (inzw. zu Heliocentris gehörig),

Proton Motor GmbH oder balticFuelCells GmbH weiterentwickelt, so dass sich der Nutzen der Brennstoffzellentechnologie gegenüber konkurrierenden Technologien ohne lange Entwicklungsphasen deutlich zeigt.

Auch im Bereich der Wasserstoffspeicherung drängen mehr und mehr Firmen in den Markt. Sie bieten ebenfalls marktaugliche Komponenten an. Die Produktpalette für kleine Anwendungen reicht derzeit von Typ-IV-Behältern mit 700 bar Fülldruck und zwei Litern geometrischem Volumen bis hin zu Metallhydridspeichern mit einer Kapazität von etwa 80 Gramm Wasserstoff. Mit der Entwicklung der

Wasserstoffspeicher beschäftigen sich neben deutschen Firmen wie ANLEG auch Firmen aus dem europäischen Ausland (z. B. MaHyTec).

Natürlich gibt es für die genannten Speicherlösungen auch Abfülleinrichtungen, um den verbrauchten Wasserstoff wieder aufzufüllen. Jedoch erscheint der Einsatz einer solchen Anlage vom technischen und vom finanziellen Standpunkt aus gesehen bei den wenigsten Anwendungen Vorteile zu bieten. Um eine solche Abfülleinrichtung wirtschaftlich einsetzen zu können, ist es unabdingbar, eine hohe Auslastung zu erreichen. Diese ist derzeit jedoch in den wenigsten Anwendungen zu erwarten. Daher spielen solche Überlegungen für eine eigene Abfülleinrichtung meist (noch) keine Rolle.

KOMMENTARE:



„Zunächst sah es für uns so aus, als sollten Projekte in diesem Bereich schnell umgesetzt werden können. Alle Schlüsselkomponenten sind am Markt verfügbar. Bei der Umsetzung unseres ersten Projektes im Bereich der Wasserstoffbrennstoffzelle mussten wir jedoch feststellen, dass es noch diverse Hürden bei der Versorgung mit Wasserstoff gibt.“

*Oliver Zysk, Geschäftsführer von QualityPark Aviation-Center GmbH*



„Als Produzent von Wasserstofftanksystemen mit adäquater Ventiltechnik haben wir bereits unterschiedlichste Erfahrungen mit den verschiedenen Formen der Wasserstoffinfrastruktur gemacht. In letzter Zeit häufen sich Anfragen für Brennstoffzellensysteme mit kleiner bis mittlerer Leistung. Unsere Technologie ist für diese Anwendungen prädestiniert, jedoch stehen Anwender vor der Herausforderung, die Wasserstofftanks wieder zu befüllen. Natürlich gibt es für jeden Anwender die Möglichkeit, eine eigene Befüllstation zu errichten. Dieses Vorgehen ist aber aus ökonomischer Sicht nicht tragbar. Mit der bestehenden Infrastruktur ist Wasserstoff schon gut verfügbar. Hier sollte man die Nutzung für andere Anwendungen ermöglichen. So würde man auch im erheblichen Maße die öffentliche Wahrnehmung des Energieträgers Wasserstoff beeinflussen.“

*Jan Andreas, Geschäftsführer von ANLEG GmbH*



„Wir haben in knapp zehn Jahren sehr viel in die Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie investiert. In vielen Märkten konnte sie schon ihre Vorteile demonstrieren. Wir sehen dennoch großes, bisher nicht ausgeschöpftes Potential, gerade im mittleren Leistungsbereich für Anwendungen zwischen 100 und 1.000 Watt. Dieser Leistungsbereich kann durch Brennstoffzellen besser bedient werden als durch herkömmliche Technologien wie Akkumulatoren und Stromaggregate auf Basis eines Verbrennungsmotors. Das Einzige, was hier noch fehlt, ist eine angemessene Versorgung mit dem besten Energieträger für Brennstoffzellen: Wasserstoff. Ich stelle mir eine ähnlich unkomplizierte Handhabe wie mit einem Benzinanker vor ...“

*Stephan Möller, Marketing-Leiter von balticFuelCells GmbH*

**KEINE VERLÄSSLICHE LÖSUNG** Die vorhandenen Möglichkeiten der Wasserstoffversorgung stellen viele potentielle Kunden/Anwender nicht zufrieden. Im besonderen Maße trifft dies auf die leichte Elektromobilität zu. Auch der Einsatz von eigenen Abfülleinrichtungen, also de facto die Errichtung einer eigenen Infrastruktur, schreckt viele Interessenten ab. Es sollten demnach weitere Möglichkeiten gefunden werden, um die beschriebenen Lücken in der Wasserstoffinfrastruktur zu schließen. Es gab immer wieder Ansätze seitens der Gasversorger, die Auswahl an Flaschentypen zu erweitern. Jedoch konnte sich hier noch keine Lösung am Markt erfolgreich etablieren, und somit ist derzeit eine verlässliche, dauerhaft verfügbare Lösung nicht in Sicht.

Diese Überlegungen zeigen, dass es sinnvoll wäre, wenn sich diese bisher nicht berücksichtigten Wasserstoff- und Brennstoffzellenlösungen an die ohnehin im Aufbau befindliche Infrastruktur für Fahrzeuge anschließen würden. Dies ist jedoch aufgrund von geltenden Regeln und Vorschriften für die Betankung höchst problematisch. Aktuell ist lediglich eine Betankung von fest in Fahrzeugen installierten Wasserstoffspeichern vorgesehen. Für jede andere Betankung muss der Betreiber im Einzelfall entscheiden und gegebenenfalls eine Sondergenehmigung ausstellen. Außerdem können Speicher nur ab einer bestimmten geometrischen Größe betankt werden, da sie sich sonst zu stark erwärmen.

Diese technischen und bürokratischen Herausforderungen können mit Sicherheit gemeistert werden. Dies würde für Brennstoffzellensysteme entscheidende Märkte öffnen und so die Akzeptanz von und das Interesse für Wasserstoff als Energieträger erheblich steigern. ||

→ [balticFuelCells auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand C53](#)

Autoren:

Arne Berend

→ [berend@balticfuelcells.de](mailto:berend@balticfuelcells.de)

Matthias Mischke

Dr. Bastian Ruffmann

alle von der [balticFuelCells GmbH](#), Schwerin



# BZ-FAHRZEUGE IN DER BERUFLICHEN AUSBILDUNG

## 2. ETUDE-Teil: HyDrive-Elektromobilitätstrainer



Abb. 1: Der HyDrive-Elektromobilitätstrainer bestehend aus Hardware (Versuchsauto mit „H<sub>2</sub>-Tankstelle, v. r.) und Software (install. auf dem Laptop)

**ETUDE** ist das zentrale Aus- und Weiterbildungsprojekt im Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) der Bundesregierung, gefördert durch das BMVI und koordiniert durch die Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW). Insgesamt drei Lernprodukte zur praxisorientierten Nachwuchsförderung sowie zur Aus- und Weiterbildung werden seit Januar 2012 von den beteiligten Partnerunternehmen Heliocentris Academia, H-Tec Education, Spilett und ModernLearning entwickelt: Eine Lern- und Informationssoftware (s. 1. Teil HZwei-Heft Jan. 2015), ein Experimentiersystem für die berufliche Bildung sowie ein Antriebsstrangmodell für die akademische Hochschulbildung und -forschung.

Die Verbrennung fossiler Brennstoffe führt zu gravierenden Umwelt- und Gesundheitsproblemen und ist nicht zuletzt mitverantwortlich für den globalen Klimawandel. Aufgrund zunehmender Mobilität verursacht der Straßenverkehr inzwischen über 15 % der globalen Kohlendioxid-Emissionen. Um den ansteigenden CO<sub>2</sub>-Emissionen entgegenzuwirken, vermarkten die großen Automobilhersteller zunehmend Elektrofahrzeuge, die sich in naher Zukunft auch der Brennstoffzellentechnologie bedienen. Damit ausreichende Personalkapazitäten für den Innovations- und späteren Wachstumsprozess zur Verfügung stehen, muss frühzeitig auch eine entsprechende Qualifizierung der Fachkräfte erfolgen.

Der im Rahmen des ETUDE-Projekts entwickelte Elektromobilitätstrainer HyDrive wendet sich an Berufsschulen, überbetriebliche Ausbildungsstätten, Automobilunternehmen sowie Hoch- und Sekundarschulen. Er ist ein innovatives Trainingsprodukt für Berufsschüler und Studenten, um die theoretischen und praktischen Aspekte (z. B. bezogen auf die Konstruktion oder Funktionalität) von wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellenfahrzeugen zu untersuchen. Lehrern und Ausbildern dient das System zur anschaulichen Vermittlung der wissenschaftlichen Prinzipien dieser Zukunftstechnologie.

Das System unterstützt die Ausbildung unter anderem in den Bereichen der Kfz-Mechatronik, der Nutzfahrzeugtechnik, der Elektrischen Antriebstechnik, der Regenerativen Energietechnik und ist für den physikalisch-chemischen Grundlagenunterricht geeignet. Ferner kann das Produkt für einführende Service-Techniker-Schulungen bei Automobilunternehmen eingesetzt werden.

Das Experimentiersystem wurde erstmalig im Oktober 2014 auf der Bildungsmesse *WORLDDIDAC* in der Schweiz vorgestellt und in Deutschland auf der größten europäischen Bildungsmesse *DIDACTA* in Hannover sowie auf Fachkonferenzen wie der *Nationalen Bildungskonferenz Elektromobilität* in Berlin mit großer Resonanz präsentiert. Führende Unternehmen der Automobilbranche haben bereits Interesse an einer Zusammenarbeit angemeldet.

**AUFBAU UND HARDWARE** Der Elektromobilitätstrainer besteht aus einem modular gestalteten Fahrzeug, welches einen Gleichstrommotor, eine Brennstoffzelle, eine Energiemanagementeinheit mit Bluetooth-Schnittstelle sowie einen Superkondensator enthält. Im Lieferumfang enthalten sind weiterhin ein Bluetooth-Dongle zur kabellosen Verbindung mit einem Laptop/Computer oder einem Tablet sowie eine stationäre Testplattform zur Simulation verschiedener Fahrweisen.

### Fahrzeug:

Das Fahrzeugblech ist aus robustem, eloxiertem Aluminium. Alle Komponenten können magnetisch durch spezielle ferromagnetische Flächen modular schnell und einfach auf dem Fahrzeug befestigt werden. Die variablen Seitenteile sind durch Rändelschrauben fixiert. Ein kleiner Hall-Sensor am Getriebe dient zur Messung der Geschwindigkeit des Antriebsrades.

### Wasserstofftankstelle mit Speicher:

Die H<sub>2</sub>-Tankstelle besteht aus einem Elektrolyseur-Stack, in dem durch die Zufuhr von Strom destilliertes Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt wird. Der hergestellte Wasserstoff kann in dem angeschlossenen Speicher (80 cm<sup>3</sup>) zwischengespeichert oder direkt zur Befüllung der im Fahrzeug untergebrachten Wasserstoffspeicher verwendet werden.

### Brennstoffzellen-Stack:

Der fünfzellige Brennstoffzellen-Stack ist das Herzstück des Systems und dient zur Erzeugung von elektrischer Energie aus Wasserstoff. Der dafür benötigte Sauerstoff wird durch Luftschlitze aus der Umgebungsluft zur Verfügung gestellt. Über einen kleinen regelbaren Lüfter, der vorne auf dem Fahrzeug installiert ist, kann die Luftzirkulation erhöht werden. Der Lüfter kann auch dazu genutzt werden, um den „Fahrtwind“ auf dem Teststand zu simulieren. Jede einzelne Zelle des Brennstoffzellen-Stacks ist mit Buchsen ausgestattet, an denen die Einzelspannungen gemessen werden können. Alternativ kann der Stack für die Durchführung einzelner Experimente mit wenigen Handgriffen zerlegt und so auch in seiner Zellenanzahl variiert werden (1 bis 5 Zellen).

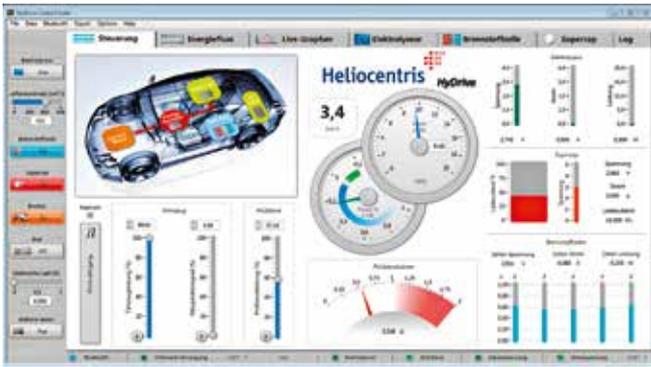


Abb. 2: Screenshot der ETUDE-Software zum HyDrive  
[Quellen: ETUDE]

#### Superkondensator:

Diese Baugruppe dient zur Simulation der Batteriekomponente in einem Hybridfahrzeug. Der Superkondensator kann über die Brennstoffzelle geladen werden oder aber durch Rekuperation. Somit können die klassische Situation des Batteriefahrzeugs und die Funktion der Brennstoffzellenkomponente als „Range Extender“ demonstriert werden.

#### Steuerplatine:

Die Energiemanagementeinheit mit integrierter Bluetooth-Schnittstelle ermöglicht eine kabellose Steuerung des Brennstoffzellenfahrzeugs sowie die Aufnahme und Auswertung einer Vielzahl von Messdaten inklusive der Einzelspannungsmessung des Brennstoffzellen-Stacks. Die Reichweite zur Steuerung des Modells im freien Fahrbetrieb, unabhängig vom Teststand, beträgt etwa zehn Meter.

#### Teststand:

Die Teststation dient zur Simulation des Rollwiderstands der Straße. Durch den Einsatz der Plattform können in Verbindung mit der elektrischen Last diverse Fahrzyklen und Lastprofile (z. B. Bergauf- und Bergabfahren, Stopp & Go) nachgestellt werden. Dank der Teststation kann der Elektromobilitätstrainer auf dem Arbeitstisch platzsparend eingesetzt werden und unterstützt somit die Gruppenarbeit.

**DIDAKTISCHE SOFTWARE UND LEHRMATERIAL** Die auf LabVIEW 2014 basierende Software dient der Systemsteuerung (z. B. Beschleunigung im Vorwärts- und Rückwärts-gang, Betrieb des Elektrolyseurs und der E-Last, Einstellung des Rekuperationsgrades und der Prüfstandgeschwindigkeit etc.), der Datenerfassung (z. B. Einzelzell-Spannung des Brennstoffzellen-Stacks, Ladezustand des Superkondensators, Menge der rekuperierten Energie etc.) und graphischen Darstellung der erhobenen Daten in Echtzeit. Letztere können auch in Excel zur selbstständigen Analyse exportiert werden.

Darüber hinaus können mit Hilfe der Software beliebige Lastprofile (z. B. zur Simulation einer veränderten Fahrphysik) sowie Fahrscenarien (z. B. Stopp & Go im städtischen Verkehr oder Ausrollen und Rekuperation von Bremsenergie) erzeugt werden, um beispielsweise eine Reichweitenanalyse oder einen Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor durchzuführen.

Ferner wird der Elektromobilitätstrainer mit zwei experimentellen Modulen ausgeliefert. In dem ersten sollen theoretische Grundlagenexperimente behandelt werden. Dies können zum Beispiel die Lade- und Entladecharakteristik eines Superkondensators und die Kondensatoreffizienz sein oder charakteristische Kurven von Brennstoffzelle und Elek-

trolyseur, Energie- und Faraday-Effizienz, E-Motor und Bewegungsgleichung etc.

Das zweite Modul folgt dem Konzept des „Handlungsorientierten Lernens“ und soll Schüler und Studenten durch Untersuchung praxisrelevanter Fragestellungen zum selbstständigen Lernen und zur Problemlösung befähigen. Im Rahmen dieses Moduls können Themengebiete wie Aufbau und Test eines Hybridsystems, Simulation und Auswertung von Fahrzyklen, Fahrzeug- und Verbrauchoptimierung zur Vergrößerung der Reichweite sowie Fehlersimulation, -analyse und -behebung (z. B. Sauerstoffverarmung oder Brennstoffzellen-Leckage) behandelt werden. ||

Autoren:



Ake Johnsen  
H-Tec Education GmbH, Lübeck  
→ a.johnsen@h-tec.com



Christo Petkov  
Heliocentris Academia GmbH, Berlin  
→ christo.petkov@heliocentris.com

49

## UNTERRICHTSMATERIAL über Batterien und Brennstoffzellen



AUF DER HANNOVER MESSE:  
NOW, Halle 27, Stand B56

LEHRMAPPE  
mit 20-seitigem Lehrerheft  
plus 30 Schülerblätter + CD-Rom

JAHGANGSSTUFEN- UND FÄCHERÜBER-  
GREIFENDES LEHRMATERIAL  
Ausführliche Informationen zu Batterien  
und elektrischen Antrieben sowie  
Wasserstoff und Brennstoffzellen

Jetzt für nur  
**5,00 EURO**  
Unkostenpauschale  
bestellen

NOW  
Nationale Organisation Wasserstoff-  
und Brennstoffzellentechnologie

H<sub>2</sub>YDROGEIT  
Verlag

www.hydrogeit-verlag.de/shop

## TECHNIK IM FOKUS UNTERWEGS MIT WASSERSTOFF



Nachdem Prof. Jochen Lehmann gemeinsam mit Dr. Johannes Töpler Ende 2013 ein wissenschaftliches Buch über „Technologien und Marktperspektiven“ von Wasserstoff und Brennstoffzellen veröffentlichte, hat Lehmann Ende 2014 im selben Verlag ein weiteres Buch über diesen Themenbereich herausgebracht. Dieses zweite Buch trägt den Untertitel „Unterwegs mit dem saubersten Kraftstoff“ und ist deutlich kompakter als das erste: Auf 148 Seiten

erläutert der Stralsunder Hochschulprofessor gemeinsam mit seinem Kollegen Prof. Thomas Luschtinetz die Funktionsweise der wichtigsten Komponenten in der Wandlungskette vom regenerativen Strom zum Fahrzeugantrieb. Das Buch ist zwar nicht hochwissenschaftlich, geht aber doch auf chemische sowie physikalische Hintergründe ein und liefert auch konkrete Energie- und Leistungswerte verschiedener Anwendungen. Teils komplizierte Sachverhalte auf atomarer Ebene werden ebenso verständlich erläutert wie etwas schwierigere Begrifflichkeiten (z. B. Kondensationswärme). Selbst die Themen Elektromobilität und Hybridtechnik kommen nicht zu kurz. Das handliche Buch im Taschenformat, das in der Reihe „Technik im Fokus – Daten Fakten Hintergründe“ erschien, ist somit bestens für Studierende der Energiewissenschaften geeignet, aber auch für alle Interessierten, die sich rasch einen guten Überblick über die Thematik verschaffen und nicht viel ausgeben möchten. ||

▢ Lehmann, J., Luschtinetz, T., *Wasserstoff und Brennstoffzellen*, Springer Vieweg Verlag, Berlin, 2014, ISBN 978-3-642-34667-5, Preis: 14,99 Euro

## ENERGIEWENDE ZU ENDE GEDACHT



Dr. Ulf Bossel ist in der Brennstoffzellenbranche hinlänglich bekannt, hat er doch 1994 das *European Fuel Cell Forum (EFCF)* gegründet und jahrelang in Luzern organisiert. Darüber hinaus hat sich der gelernte Maschinenbau-Ingenieur nach eigenem Bekunden „seit 1972 mit der langfristigen Sicherung der Energieversorgung befasst“ und dabei mitunter heftig über Sinnhaftigkeit und Wirkungsgrad einer

Wasserstoffwirtschaft diskutiert. Die gesammelten Erkenntnisse aus dieser Zeit hat der in der Schweiz im Ruhestand lebende Autor in einem Buch zusammengefasst, das er im Oktober 2014 in Eigenarbeit ohne Buchverlag herausbrachte. In dem 172 Seiten umfassenden Taschenbuch (überarb. Version) schreibt er nicht über Wasserstoff und Brennstoffzellen, sondern über die Energiewende, „die keine ideologisch begründete Wunschvorstellung, sondern aus physikalischen Gründen eine bittere Notwendigkeit ist, [...] die wir alle miteinander möglichst schnell ‚erledigen‘ müssen“. Auf verständliche Weise erläutert Bossel ganz im Sinne des bereits verstorbenen Solarpioniers Hermann Scheer, dem dieses Buch gewidmet ist, warum die Natur unter dem Gebrauch der irdischen Energievorräte leidet und wie erneuerbare Energien zusammen mit einer Effizienzsteigerung eine nachhaltige Energieversorgung sichern können. ||

▢ Bossel, U., *Energiewende zu Ende gedacht – Was denn sonst?*, Oberrohrdorf, 2014, ISBN 978-3-033-04773-0, Preis: 25,00 Euro

### FIRMEN-EINTRAG

**Eintrag ins HZwei-Firmenverzeichnis.** Unser Eintrag (ca. 150 Zeichen) soll in den 4 jährlichen Print-Ausgaben und online unter [www.hzwei.info/firmen.phtml](http://www.hzwei.info/firmen.phtml) erscheinen. Die Kosten von 120 Euro (zzgl. MwSt.) pro Rubrik beinhalten als Beleg ein HZwei-Abonnement. Ein Premium-Eintrag mit Logo kostet zusätzlich 100 € pro Ausgabe.

-----  
Firma

-----  
Adresse

-----  
Tel., Fax, Internet

**Rubrik:**

- |  |   |  |   |
|--|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> <b>Beratung</b>         | <input type="checkbox"/> <b>Forschung &amp; Entwicklung</b> | <input type="checkbox"/> <b>Technologiezentren</b>     | <input type="checkbox"/> <b>Weiterbildung</b> |
| <input type="checkbox"/> <b>Brennstoffzellen</b> | <input type="checkbox"/> <b>Organisation</b>                | <input type="checkbox"/> <b>Veranstalter</b>           | <input type="checkbox"/> <b>Zulieferer</b>    |
| <input type="checkbox"/> <b>Elektrolyseure</b>   | <input type="checkbox"/> <b>Speichertechnik</b>             | <input type="checkbox"/> <b>Vereine &amp; Verbände</b> | <input type="checkbox"/> -----                |

Bitte per Post oder Fax senden an: Hydrogeit Verlag | Gartenweg 5 | 16727 Oberkrämer | Fax: 033055-21320

## MOBILITÄT IM UMBRUCH



Oliver Schwedes, Hochschulprofessor an der TU Berlin, gilt als Verkehrsexperte. Gemeinsam mit Marcus Keichel hat er das Buch „Mobilität im Umbruch“ geschrieben. Dies erscheint insofern zunächst verwunderlich, da Keichel Industriedesigner ist. Da hier jedoch weder Technik noch Firmenpolitik, sondern kulturelle und gesellschaftliche sowie historische und auch ästhetische Aspekte im Mittelpunkt der Betrachtungen

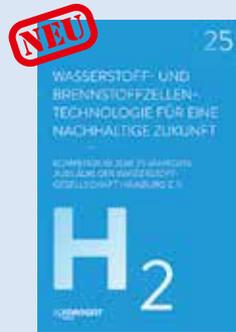
stehen, passt das von ihm verfasste Kapitel, das sich insbesondere dem Design des BMW *i3* und *i8* widmet, durchaus ins thematische Umfeld. Gegenüber *HZwei* erläuterte Keichel dementsprechend, er und sein Mitherausgeber hätten das gemeinsame Ziel verfolgt, „einen interdisziplinären Zugriff auf das Thema Elektroauto zu versuchen“. Dadurch erkläre sich auch die Versammlung von Autoren aus sehr unterschiedlichen Fachrichtungen. Grundtenor dieses Buches ist, dass Elektroautos nur dann Erfolg haben werden, wenn sich das Mobilitätsumfeld ändert. So ist es nach Meinung der Autoren unwahrscheinlich, dass das Mobilitätsverhalten der Bürger beibehalten werden kann und einfach nur der Verbrennungsmotor gegen einen Elektromotor ausgetauscht wird. Gleich im ersten Kapitel machen Keichel und Schwedes klar, dass „die Initiative zum Elektroverkehr nur dann erfolgreich sein kann, wenn sie von einem Prozess politischer und kultureller Reformen begleitet wird“. Gemeint ist damit, dass die Nutzung regenerativer Energien und Veränderungen im Mobilitätsverhalten notwendige Kriterien sind. Gemäß der Tradition der Springer-Reihe *ATZ/MTZ-Fachbuch* wendet sich das Buch insbesondere an Ingenieure, Studierende und Hochschulmitarbeiter, wobei jedoch der stolze Preis von knapp 40 Euro für diese überschaubaren 168 Seiten vergleichsweise hoch anmutet. ||

□ Keichel, M., Schwedes, O., *Das Elektroauto*, Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2013, ISBN 978-3-658-00795-9, Preis: 39,99 Euro

## BZ-UNTERRICHTSMATERIAL

Die Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie (NOW) GmbH wird während der Hannover Messe die Unterrichtsmaterialien, die gemeinsam mit dem Hydrogeit Verlag herausgegeben wurden, an interessierte Besucher verteilen. In der Lehrmappe sind ein 20-seitiges Lehrerheft mit ausführlichen Informationen sowie ein kompletter Klassensatz mit Arbeitsblättern enthalten, so dass sich die Schülerinnen und Schüler über Batterien, Brennstoffzellen, Wasserstoff und Elektromobilität informieren können. Ergänzend befinden sich auf einer CD eine Powerpoint-Präsentation, Bildmaterial, Literaturverweise, Linkliste usw. ||

→ NOW auf der Hannover Messe: Halle 27, Stand B56  
□ Unterrichtsmaterial über Batterien und Brennstoffzellen  
ISBN 978-3-937863-40-5, Hydrogeit Verlag, Oberkrämer



**Wasserstoff- & Brennstoffzellen-Technologie**  
Für eine nachhaltige Zukunft  
Wasserstoff-Gesellschaft Hamburg (Hrsg.)

→ Die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie ist heute aus der Reihe der Lösungswege für eine zukunftsfähige Energieversorgung nicht mehr wegzudenken. Dieses Kompendium, das aus Anlass des 25-jährigen Bestehens der Wasserstoff-Gesellschaft Hamburg e.V. veröffentlicht wurde, gibt anhand von qualifizierten Fachbeiträgen anerkannter Branchenexperten einen umfassenden Überblick über die gesamte Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie.

Mit Vorworten von Alexander Dobrindt und Olaf Scholz  
Wasserstoff-Gesellschaft Hamburg (Hrsg.)  
200 farbige S., Hardcover  
ISBN 978-3-937863-44-3, Sept. 2014  
Preis: 34,50 Euro



**Erneuerbare Energien**  
Mit neuer Energie in die Zukunft  
von Sven Geitmann

→ Noch nie wurde so viel Strom mit Hilfe erneuerbarer Energien erzeugt wie heute. Diese rasante Entwicklung in der Solar-, Wind- und Bioenergie hat Sven Geitmann dazu veranlasst, sein Buch über diese aktuelle und hoch interessante Thematik zu überarbeiten. Es liefert jetzt noch mehr technische Details leicht verständlich aufbereitet.

Sonnenzeitung: „Ein Muss für Technikinteressierte!“  
Vorwort: Prof. Ernst Ulrich v. Weizsäcker  
212 S., 63 Abb., 22 Tab.  
ISBN 978-3-937863-41-2, Juli 2014  
Preis: 19,90 Euro

**H<sub>2</sub>HYDROGEIT** Verlag  
Gartenweg 5 | Tel.: 033055 – 213-22 | kontakt@hydrogeit.de  
16727 Oberkrämer | Fax: 033055 – 213-20 | www.hydrogeit-verlag.de

EUROMOLD Produktspektrum

- Additive Manufacturing & 3D Printing
- Werkzeug- und Formenbau & Produktion
- Design & Engineering

**euromold.**  
Weltmesse für Werkzeug-, Modell- und Formenbau, Design, Additive Fertigung und Produktentwicklung.

Von der Idee bis zur Serie

**Werden Sie Aussteller!**

22. – 25. September 2015  
Düsseldorf, Messegelände

Eine Messe der DEMAT GmbH

---



---

**TERMINKALENDER**
**APRIL****09.-12.04. auto motor und sport i-Mobility**

Messe, Stuttgart, Landesmesse Stuttgart GmbH,  
Tel. 0711-18560-2656, Fax -701,  
[www.i-mobility.mobi](http://www.i-mobility.mobi)

**13.-17.04. Hannover Messe**

Messe, Hannover, Deutsche Messe,  
Tel. 0511 89-0, Fax -32626,  
[www.hannovermesse.de](http://www.hannovermesse.de)

**16.04. Stationäre Brennstoffzellen-systeme**

Seminar, Ulm, WBZU,  
Tel. 0731-17589-21, Fax -10,  
[www.wbzu.de](http://www.wbzu.de)

**25.-26.04. Fahrzeugschau Elektromobilität**

Messe, Bad Neustadt a.d. Saale, Stadt Bad Neustadt, Tel. 09771-9106103,  
[www.m-e-nes.de](http://www.m-e-nes.de)

**27.-28.04. Hydrogen + Fuel Cell Summit**

Konferenz, Vancouver/Kanada, CHFCA, Tel. 001-604-283104-0, Fax -3,  
[www.hfc2015.com](http://www.hfc2015.com)

**27.-29.04. Berliner Energietage**

Messe & Konferenz, Berlin, Berliner ImpulsE,  
Tel. 030-2014308-04, Fax -10,  
[www.berliner-energietage.de](http://www.berliner-energietage.de)

**27.-30.04. Energy Storage World Forum**

Konferenz, Rom, Dufresne,  
Tel. +65-624-30050, Fax -57232,  
[www.energystorageforum.com](http://www.energystorageforum.com)

**27.04. Batterietag**

Konferenz, Aachen, Haus der Technik,  
Tel. 0201-1803-211, Fax -280,  
[www.battery-power.eu](http://www.battery-power.eu)

**28.-29.04. Kraftwerk Batterie**

Konferenz, Aachen, Haus der Technik,  
Tel. 0201-1803-211, Fax -280,  
[www.kraftwerk-batterie.de](http://www.kraftwerk-batterie.de)

**MAI****03.-06.05. 28. Electric Vehicle Symposium**

Konferenz, Goyang/Korea, EVS28 Secretariat,  
[www.evs28.org](http://www.evs28.org)

**03.-06.05. Hydrogen Production**

Konferenz, Oshawa/Kanada, UOIT,  
[www.ich2p.org](http://www.ich2p.org)

**04.-05.05. eMobility Summit**  
Kongress, Berlin, Tagesspiegel,  
Fax 030-29021-29224,  
[www.emobility-summit.de](http://www.emobility-summit.de)

**06.05. Mikro- und Mini-BHKW**

Seminar, Ulm, WBZU,  
Tel. 0731-17589-21, Fax -10,  
[www.wbzu.de](http://www.wbzu.de)

**08.-17.05. eTourEurope**

Rundfahrt, München, ePROJEKT,  
Tel. 08143-99-7979, Fax -9607,  
[www.etoureurope.eu](http://www.etoureurope.eu)

**11.-13.05. Lithium-Ionen-Batterie-technologie**

Seminar, Ulm, WBZU,  
Tel. 0731-17589-21, Fax -10,  
[www.wbzu.de](http://www.wbzu.de)

**19.05. Niedersächsisches Forum Energiespeicher & -systeme**

Konferenz, Hannover, Landesinitiative Energiespeicher Niedersachsen,  
Tel. 0551-900499-0, Fax -49,  
[www.energiespeicher-nds.de](http://www.energiespeicher-nds.de)

**20.-22.05. EST – Energy Science Technology**

Messe & Konferenz, Karlsruhe, Karlsruher Messe- und Kongress,  
Tel. 0721-3720-5141, Fax -995141,  
[www.est-conference.com](http://www.est-conference.com)

**26.-28.05. Carbon Expo**

Messe & Konferenz, Barcelona/Spainien, Firabarcelona,  
Tel. +34-93-2332-000, Fax -198,  
[www.carbonexpo.com](http://www.carbonexpo.com)

**29.05. GreenTec Awards**

Gala, Berlin, Voigt Krüger & Partner,  
Tel. 030-24087821-0, Fax -2,  
[www.greentec-awards.com](http://www.greentec-awards.com)

**JUNI****01.-02.06. NIP-Vollversammlung**

Versammlung, Berlin, NOW,  
Tel. 0211-8664223,  
[www.now-gmbh.de](http://www.now-gmbh.de)

**06.06. Essen ist e-Mobil**

Konferenz, Essen, Haus der Technik,  
Tel. 0201-180326-2, Fax -3,  
[www.essen-ist-emobil.de](http://www.essen-ist-emobil.de)

**09.-10.06. E-Motive**

Konferenz, München, Forschungsvereinigung Antriebstechnik,  
Tel. 069-6603-1820, Fax -2820,  
[www.e-motive.net](http://www.e-motive.net)

**09.-12.06. ees – electrical energy storage**

Konferenz & Messe, München, Intersolar,  
Tel. 07231-58598-0, Fax -28,  
[www.ees-europe.com](http://www.ees-europe.com)

**12.06. DWV Mitgliederversammlung**

Versammlung, Hamburg, DWV,  
Tel. 0700-49376-835, Fax -329,  
[www.dwv-info.de](http://www.dwv-info.de)

**13.-15.06. E-Mobil Rallye**

Wettfahrt, Haderslev-Flensburg, Eco-Mobility, Tel. 0431-24746372,  
[www.emobil-rallye.com](http://www.emobil-rallye.com)

**21.-24.06. International Hydrail Conference**

Konferenz, Charlotte/USA, Energy Center,  
Tel. +1-828-262-7514, Fax -6553,  
[www.hydrail.org](http://www.hydrail.org)

**22.-24.06. EMEA2015**

Konferenz, Bad Zwischenahn, Next Energy,  
Tel. 0441 99906-322, Fax -109,  
[www.next-energy.de](http://www.next-energy.de)

**22.-26.06. European Technical School on Hydrogen & Fuel Cells**

Weiterbildung, Heraklion/Griechenland, HySAFER,  
Tel. 0721-6082-5274, Fax -4777,  
<http://h2fc.eu/technicalschool>

**23.06. Symposium Elektrofahrzeuge**

Konferenz, Ostfildern, TAE,  
Tel. 0711-34008-29, Fax -30,  
[www.tae.de](http://www.tae.de)

**23.-25.06. BDEW Kongress**

Kongress, Berlin, EW Medien & Kongresse, Tel. 030-2602412-1, Fax -2,  
[www.bdew.de/kongress](http://www.bdew.de/kongress)

**30.06.-03.07. European PEFC & H<sub>2</sub> Forum**

Konferenz & Messe, Luzern/Schweiz, European Fuel Cell Forum,  
Tel. +41-4-45865644, Fax -135080622,  
[www.efcf.com](http://www.efcf.com)

**JULI****02.-03.07. Thermische Energiespeicher**

Konferenz, Neumarkt, OTTI,  
Tel. 0941-29688-37, Fax -17,  
[www.otti.de](http://www.otti.de)

**AUGUST****31.08. Biogene Gase – Brennstoffzellen**

Workshop, FEE e.V.,  
Tel. 030-6576270-6, Fax -8,  
[www.fee-ev.de](http://www.fee-ev.de)

## FIRMENVERZEICHNIS

### BERATUNG & PLANUNG

**H2Gate,**  
Katharinenstr. 30a, 20457 Hamburg,  
Tel. 040-43218899, [www.h2gate.de](http://www.h2gate.de)

**PLANET GbR,** Ingenieurbüro für Energie- und Versorgungstechnik, Donnerschweer Str. 89/91, 26123 Oldenburg,  
Tel. 0441-85051, [info@planet-energie.de](mailto:info@planet-energie.de)

### BETANKUNGSTECHNIK

**WEH GmbH Gas Technology,** Josef-Henle-Str. 1,  
89257 Illertissen, Tel. 07303-95190-0, Fax -9999,  
[h2sales@weh.com](mailto:h2sales@weh.com), [www.weh.com](http://www.weh.com)



**WENGER**  
Engineering GmbH

**Wenger Engineering GmbH,** Ingenieurbüro für Thermodynamik, CFD-Simulation & H<sub>2</sub>-Technik, Einsteinstr. 55,  
89077 Ulm, Tel. 0731-15937-500, Fax -501,  
[mail@wenger-engineering.de](mailto:mail@wenger-engineering.de), [www.wenger-engineering.com](http://www.wenger-engineering.com)

### BRENNSTOFF- UND LUFTVERSORGUNG



**Gardner Denver Thomas,**  
OEM Pumpen zur Förderung von Brennstoff und Luft, speziell entwickelte Linearkompressoren,

Flüssigkeitspumpen und Motormembranpumpen,  
[www.gd-thomas.com](http://www.gd-thomas.com)

### BRENNSTOFFZELLEN

**ECG GmbH ElektroChemischeGeneratoren,**  
Benzstr. 23-25, 51381 Leverkusen, Tel. 0221-6777-3530,  
[kontakt@ecg-online.com](mailto:kontakt@ecg-online.com), [www.ecg-online.com](http://www.ecg-online.com)

**Heliocentris Industry GmbH,**  
Tel. 030-340601-500, Fax -599,  
[sales@heliocentris.com](mailto:sales@heliocentris.com), [www.heliocentris.com](http://www.heliocentris.com)



**Hydrogenics GmbH,**  
Am Wiesenbusch 2, 45966 Gladbeck, Tel. 02043-944 141, Fax -6,  
[powersales@hydrogenics.com](mailto:powersales@hydrogenics.com), [www.hydrogenics.com](http://www.hydrogenics.com)



**Proton Motor Fuel Cell GmbH,** Benzstrasse 7, 82178 Puchheim,  
Tel. 089-1276265-0, Fax -99, [www.proton-motor.de](http://www.proton-motor.de)

**Siqens GmbH,**  
Landsberger Str. 318d, 80687 München,  
Tel. 089 4524463-0,  
[info@siqens.de](mailto:info@siqens.de), [www.siqens.de](http://www.siqens.de)

**udomi GmbH - competence in fuel cell systems,** Hochfeldstr. 8,  
74632 Neuenstein, Tel. 07942-942089-1, Fax -8, [www.udomi.de](http://www.udomi.de)

### ELEKTROLYSEURE

**AREVA H<sub>2</sub>Gen**

**AREVA H<sub>2</sub>Gen,** ZI de la Prairie, 10 rue de la Prairie, F-91140  
Villebon sur Yvette, Tel. 02233-406140, [www.arevah2gen.com](http://www.arevah2gen.com)

**Diamond Lite S.A.,**  
Rheineckerstr. 12, PF 9, CH – 9425 Thal,  
Tel. +41-(0)71-880020-0, Fax -1,  
[diamondlite@diamonddlite.com](mailto:diamondlite@diamonddlite.com), [www.diamonddlite.com](http://www.diamonddlite.com)

**Heliocentris Industry GmbH,**  
Tel. 030-340601-500, Fax -599,  
[sales@heliocentris.com](mailto:sales@heliocentris.com), [www.heliocentris.com](http://www.heliocentris.com)

**H-Tec Systems GmbH,**  
PEM-Elektrolyseure für industrielle Anwendungen,  
Maria-Goeppert-Str. 9a, 23562 Lübeck,  
Tel. 0451-39941-0, Fax -799,  
[info@h-tec-systems.com](mailto:info@h-tec-systems.com), [www.h-tec.com](http://www.h-tec.com)



**Hydrogenics GmbH,**  
Am Wiesenbusch 2, 45966 Gladbeck, Tel. 02043-944 141, Fax -6,  
[hydrogensales@hydrogenics.com](mailto:hydrogensales@hydrogenics.com), [www.hydrogenics.com](http://www.hydrogenics.com)

**ITM Power GmbH, Energy Storage – Clean Fuel,**  
Hegewiese 4C, 61389 Schmittent,  
Tel. 06084-950012,  
[www.itm-power.com](http://www.itm-power.com)

**McPhy Energy Deutschland GmbH,**  
Oberer Mainkai 1, 97070 Würzburg,  
Tel. 0931-35987-244,  
[www.mcphy.com](http://www.mcphy.com)

### ENERGIESPEICHERUNG



**BeBa H<sub>2</sub> Speichersysteme GmbH & Co. KG,**  
Werner-von-Siemens-Str. 6, 25770 Hemmingstedt,  
Tel. 0481-82866-0, Fax -109, [www.beba-energie.de](http://www.beba-energie.de)

**MicrobEnergy GmbH,**  
Spezialist für biologische Methanisierung,  
Bayernwerk 8, 92421 Schwandorf,  
Tel. 09431-751-400, Fax -5400,  
[info@microbenergy.com](mailto:info@microbenergy.com), [www.microbenergy.com](http://www.microbenergy.com)

### FORSCHUNG & ENTWICKLUNG

**DLR Institut für Technische Thermodynamik,**  
Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart,  
Tel. 0711-6862-346, Fax -747,  
[www.dlr.de/tt](http://www.dlr.de/tt)

**Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE**,  
Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg/Br.,  
Tel. 0761-4588-5208, Fax -9000,  
[www.h2-ise.de](http://www.h2-ise.de)

**Fraunhofer-Institut Zuverlässigkeit und  
Mikrointegration (IZM)**,  
Gustav-Meyer-Allee 25, 13355 Berlin,  
Tel. 030-3147283-3, Fax -5,  
[www.izm.fraunhofer.de](http://www.izm.fraunhofer.de)

**Fraunhofer ICT-IMM**,  
Reformer und Wärmetauscher,  
Carl-Zeiss-Str. 18-20, 55129 Mainz,  
Tel. 06131-9900,  
[info@imm.fraunhofer.de](mailto:info@imm.fraunhofer.de), [www.imm.fraunhofer.de](http://www.imm.fraunhofer.de)

**Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für  
Material- und Küstenforschung GmbH**,  
Max-Planck-Str. 1, 21502 Geesthacht,  
Tel. 04152-87-2541, Fax -2636,  
[www.hzg.de](http://www.hzg.de)

**ODB-Tec GmbH & Co.KG**,  
Entwicklungs- & Servicegesellschaft Nanotechnologie,  
Bussardweg 12, 41468 Neuss,  
Tel. 02131-133240-6, Fax -5,  
[www.odb-tec.de](http://www.odb-tec.de)

**Zentrum für BrennstoffzellenTechnik ZBT gGmbH**,  
Carl-Benz-Str. 201, 47057 Duisburg,  
Tel. 0203-7598-0, Fax -2222,  
[info@zbt-duisburg.de](mailto:info@zbt-duisburg.de), [www.zbt-duisburg.de](http://www.zbt-duisburg.de)

**Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung  
Baden-Württemberg (ZSW)**,  
Helmholtzstr. 8, 89081 Ulm, Tel. 0731-9530-0, Fax -666,  
[info@zsw-bw.de](mailto:info@zsw-bw.de), [www.zsw-bw.de](http://www.zsw-bw.de)

#### MESSDATENMANAGEMENT UND MONITORING



**SMART Testsolutions GmbH**,  
Rötestraße 17, 70197 Stuttgart,  
Tel. 0711-25521-10, Fax -12,  
[www.smart-testsolutions.de](http://www.smart-testsolutions.de),  
[sales@smart-ts.de](mailto:sales@smart-ts.de)

#### MESS- UND REGELUNGSTECHNIK

**Labom Mess- und Regeltechnik GmbH**,  
Im Gewerbepark 13, 27798 Hude, Tel. 04408-804-0, Fax -100,  
[info@labom.com](mailto:info@labom.com), [www.labom.com](http://www.labom.com) *organisation*

#### ORGANISATION

**NOW GmbH**, Nationale Organisation Wasserstoff- und  
Brennstoffzellentechnologie, Fasanenstrasse 5,  
10623 Berlin, Tel. 030-3116116-43, Fax -77, [www.now-gmbh.de](http://www.now-gmbh.de)

#### PRÜFTECHNIK



**Greenlight Innovation  
Corp. Canada**,  
Europäische Vertretung:  
Dr. Lutz Consulting GmbH, Kahlenbergstr. 44,  
66849 Landstuhl, Tel. 06371-914914,  
[tlutz@greenlighteurope.com](mailto:tlutz@greenlighteurope.com), [www.greenlightinnovation.com](http://www.greenlightinnovation.com)

**Maximator GmbH**,  
Hochdrucktechnik, Lange Straße 6, 99734 Nordhausen,  
Tel. 03631-9533-0, Fax -5010,  
[info@maximator.de](mailto:info@maximator.de)



**TesTneT Engineering GmbH**,  
Schleißheimer Str. 95,  
85748 Garching bei München,  
Tel. 089-23710939,  
[infoh2-test.net](mailto:infoh2-test.net), [www.h2-test.net](http://www.h2-test.net)

#### SPEICHERTECHNIK

**Ballonbau Wörner GmbH, flexible Gasspeicher**,  
Zirbelstraße 57 c, 86154 Augsburg,  
Tel. 0821-4-50406-0, Fax: -19641,  
[info@ballonbau.de](mailto:info@ballonbau.de), [www.ballonbau.de](http://www.ballonbau.de)

**McPhy Energy Deutschland GmbH**,  
Oberer Mainkai 1, 97070 Würzburg,  
Tel. 0931-35987-244,  
[www.mcphy.com](http://www.mcphy.com)

#### SYSTEMINTEGRATION



**FLEXIVA automation & Robotik GmbH**,  
Leistungselektronik – Kopplung mit reg. Quellen,  
Speicher & Netz, Weißbacher Str. 3, 09439 Amtsberg,  
Tel. 037209-671-0, Fax -30, [www.flexiva.eu](http://www.flexiva.eu)

**McPhy Energy Deutschland GmbH**,  
Oberer Mainkai 1, 97070 Würzburg,  
Tel. 0931-35987-244, [www.mcphy.com](http://www.mcphy.com)

#### TECHNOLOGIEZENTREN

**HIAT gGmbH**,  
Schwerin, CCMs/MEAs für PEFC,  
DMFC & PEM-Elektrolyse, DMFC-Membranentwicklung,  
Prozessentwicklung MEA/CCM-Fertigung,  
Qualitätssicherung,  
[www.hiat.de](http://www.hiat.de)



Wasserstoff-Kompetenz-Zentrum

**H2Herten**, Wasserstoff-Kompetenz-Zentrum  
Doncaster-Platz 5, 45699 Herten  
[d.kwapis@herten.de](mailto:d.kwapis@herten.de), [www.wasserstoffstadt-herten.de](http://www.wasserstoffstadt-herten.de)



**Partner bei HyCologne**,  
Zugang zu H<sub>2</sub>-Projekten,  
H<sub>2</sub>-Tankstelle,  
H<sub>2</sub>-Infrastruktur,  
Büros, Gründersupport, Sekretariats- & Konferenzservice,  
Tel. 02233-406100, [www.start-huerth.com](http://www.start-huerth.com), [h2@start-huerth.com](mailto:h2@start-huerth.com)

#### VERANSTALTER

**European Fuel Cell Forum**,  
Obgardihalde 2, 6043 Luzern-Adligenswil, Schweiz,  
Tel. +41-4-45865644, Fax 35080622,  
[forum@efcf.com](mailto:forum@efcf.com),  
[www.efcf.com](http://www.efcf.com)



**21th Group Exhibit Hydrogen + Fuel Cells + Batteries,**  
Hannover Messe 2015, 13.-17. April, Tobias Renz FAIR,  
Tobias Renz, [tobias@h2fc-fair.com](mailto:tobias@h2fc-fair.com), [www.h2fc-fair.com](http://www.h2fc-fair.com)



**Peter Sauber Agentur Mes-**  
**sen und Kongresse GmbH,**  
World of Energy Solutions,  
Wankelstr. 1, 70563 Stutt-  
gart, Tel. 0711-656960-55,  
Fax -9055, [www.world-of-energy-solutions.de](http://www.world-of-energy-solutions.de)

#### VEREINE & VERBÄNDE

**Deutscher Wasserstoff- & Brennstoffzellen-Verband e.V.,**  
Tietzenweg 85/87, 12203 Berlin,  
Tel. 030-398209946-0, Fax -9,  
[www.dwv-info.de](http://www.dwv-info.de)

**FEE – Fördergesellschaft Erneuerbare Energien e.V.,**  
Invalidenstraße 91, 10115 Berlin,  
Tel. 030-84710697-0, Fax -9,  
[info@fee-ev.de](mailto:info@fee-ev.de), [www.fee-ev.de](http://www.fee-ev.de)

**Forum Elektromobilität e.V.,**  
c/o Fraunhofer Forum Berlin,  
Anna-Louisa-Karsch-Str. 2, 10178 Berlin,  
Tel. 030-2404745-8, Fax -9,  
[www.forum-elektromobilitaet.de](http://www.forum-elektromobilitaet.de)

**H2BZ-Initiative Hessen e.V.,**  
Konradinerallee 9, 65189 Wiesbaden,  
Tel. 0611-95017-8959,  
[info@h2bz-hessen.de](mailto:info@h2bz-hessen.de), [www.h2bz-hessen.de](http://www.h2bz-hessen.de)

**h2-netzwerk-ruhr,**  
Doncaster-Platz 5, 45699 Herten,  
[info@h2-netzwerk-ruhr.de](mailto:info@h2-netzwerk-ruhr.de),  
[www.h2-netzwerk-ruhr.de](http://www.h2-netzwerk-ruhr.de)

**HyCologne – Wasserstoff Region Rheinland e. V.,**  
Goldenbergstr. 1, 50354 Hürth,  
Tel. 02233-406123,  
[www.hycologne.de](http://www.hycologne.de)

#### WEITERBILDUNG

**H-Tec Education GmbH,**  
Demonstration & Ausbildung für Schulen, Universitäten,  
Maria-Goeppert-Str. 9a, 23562 Lübeck,  
Tel. 0451-39941-0, Fax -799,  
[info@h-tec-education.com](mailto:info@h-tec-education.com), [www.h-tec.com](http://www.h-tec.com)

**Handwerkskammer Osnabrück-Emsland-Grafschaft**  
**Bentheim,** Bramscher Str. 134-136, 49088 Osnabrück,  
Tel. 0541-6929762, Fax -4091381,  
[a.lange@hwk-osnabrueck.de](mailto:a.lange@hwk-osnabrueck.de), [www.hwk-osnabrueck.de](http://www.hwk-osnabrueck.de)

**Heliocentris Academia GmbH,** Erneuerbare Energietechnik  
für Schulen, Berufsschulen und Universitäten,  
Rudower Chaussee 29, 12489 Berlin, Tel. 030-340601-500,  
[Academia@Heliocentris.com](mailto:Academia@Heliocentris.com), [www.heliocentris.com](http://www.heliocentris.com)

**Weiterbildungszentrum für innovative Energietechnologien**  
**der Handwerkskammer Ulm (WBZU),**  
Helmholtzstr. 6, 89081 Ulm,  
Tel. 0731-1 75 89-0, Fax -10,  
[info@wbzu.de](mailto:info@wbzu.de), [www.wbzu.de](http://www.wbzu.de)

#### ZULIEFERER

**Borit NV,**  
Bipolarplatten und Interconnects,  
Lammerdries 18d, 2440 Geel, Belgien,  
Büro Deutschland: Tel. 08171-3650039,  
[joachim.kroemer@borit.be](mailto:joachim.kroemer@borit.be), [www.borit.be](http://www.borit.be)



**Bürkert Werke GmbH**  
Magnetventile,  
Mass Flow Controllers,  
Fluidtechnische Sys-  
temlösungen,

Christian-Bürkert-Str. 13-17, 74653 Ingelfingen,  
Tel.: 07940-10-0, Fax: -91204, [www.burkert.com](http://www.burkert.com)

**Buschjost GmbH,**  
Detmolder Str. 256,  
32545 Bad Oeynhausen,  
Tel. 05731-791-0, Fax -179,  
[www.buschjost.de](http://www.buschjost.de)

**Eisenhuth GmbH & Co. KG,**  
Friedrich-Ebert-Str. 203,  
37520 Osterode am Harz,  
Tel. 05522-9067-14, Fax -44,  
[www.eisenhuth.de](http://www.eisenhuth.de)

**EPH elektronik Produktions- &**  
**Handelsgesellschaft mbH,**  
Rudolf-Diesel-Str. 18,  
74354 Ottmarsheim,  
Tel. 07143-8152-0, Fax -50,  
[www.eph-elektronik.de](http://www.eph-elektronik.de), [www.g-e-o-s.de](http://www.g-e-o-s.de)

**FuMA-Tech Gesellschaft für funktionelle Membranen**  
**und Anlagentechnologie mbH,**  
Carl-Benz-Str. 4,  
74321 Bietigheim-Bissingen,  
Tel. 07142-3737-900, Fax -999,  
[www.fumatech.de](http://www.fumatech.de)

**GSR Ventiltechnik GmbH & Co. KG,**  
Im Meisenfeld 1,  
32602 Vlotho,  
Tel. 05228- 779-0, Fax -190,  
[www.ventiltechnik.de](http://www.ventiltechnik.de)



**Heraeus Precious**  
**Metals GmbH &**  
**Co. KG,**

Electronic Materials Division, Business Unit Circuits &  
Components, Heraeusstr. 12-14, 63450 Hanau, Tel. 06181-  
35-5466, Fax -7850, [www.heraeus-circuits-components.com](http://www.heraeus-circuits-components.com)



**WEKA AG,** Schuerlistr. 8, Kryogen-  
Komponenten und Spezialventile,  
CH-8344 Baeretswil, Schweiz,  
Tel. +41 (0)43-833434-3, Fax -9,  
[info@weka-ag.ch](mailto:info@weka-ag.ch), [www.weka-ag.ch](http://www.weka-ag.ch)



# H<sub>2</sub>ANS DAMPF

**🦁 Mit Hochdruck in die Zukunft der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie.** Die Ideen baden-württembergischer Ingenieure in den Bereichen Mobilität und Maschinenbau prägen das Leben auf allen Kontinenten. Im Cluster Brennstoffzelle BW bündeln wir die Kompetenzen und das Know-how der Akteure in Baden-Württemberg zu einem starken Netzwerk. Gemeinsam

tragen wir dazu bei, diese Schlüsseltechnologie in den Markt für erneuerbare Energien einzuführen. Hier in Baden-Württemberg betrachten wir die Energie- und Mobilitätswende nicht als Zukunftsmusik, wir setzen sie einfach um.

[www.e-mobilbw.de](http://www.e-mobilbw.de)