Hydrogeit Verlag / www.hzwei.info / 9. Jahrgang / Januar 2009 / 7 €

HZwei

DAS MAGAZIN FÜR WASSERSTOFF UND BRENNSTOFFZELLEN

→ NEUE KATALYSATOREN REVOLUTIONIEREN BZ-TECHNIK

→ EINBLICKE INS INNERE VON BRENNSTOFFZELLEN

Fahrzeuge mit Brennstoffzelle und/oder Batterie
Alle reden von der Elektromobilität

INHALTSVERZEICHNIS

2 Impressum

3 Editorial

4 Messe
H2Expo in Hamburg
enertec in Leipzig
Industriemesse in Hannover

7 Titel
Katalyse – Probleme mit der Chemie
Dealloying – 80 % weniger Platin
Platinfreie Reaktionsbeschleuniger
Frustrierte Säure-Base-Paare

16 Projekte
EU-Projekt DECODE
Hy.muve in der Schweiz

20 Entwicklung
Ein Schritt in Richtung Serienfertigung
Ein Blick in die Brennstoffzelle

24 Fertigung
Einweihung des Anbaus am ZSW

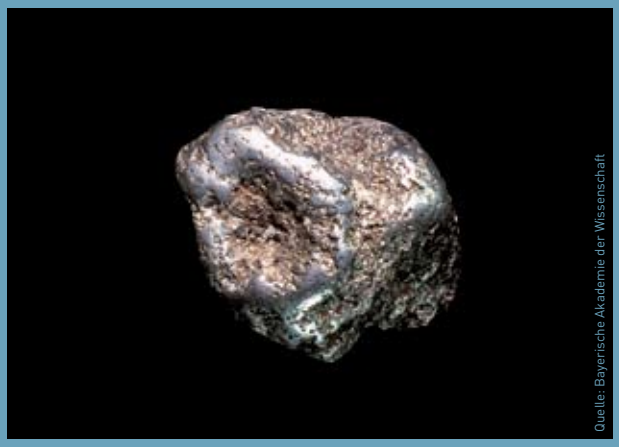
26 Autos
Leitmarkt für Elektromobilität
10 HydroGen4 für Berlin
Neue H_2-Station in Berlin
Flaute auf der Auto-Show in L.A.
E-Antrieb zum Nachrüsten
Neu: B-Klasse & HydroSmart
Mazda in Norwegen

29 Meldungen & Rätsel
Mobiles BZ-Ladegerät
Opfer der Finanzkrise
Neue BZ-Lehrmittel
Neue LBST-Führung
Parlamentarischer DWV-Abend
H2 Hotel in Berlin

34 Terminkalender

35 Firmenverzeichnis

4 *Presseinteresse bei der H2Expo 2008*



7 *Titel: Katalyse – weniger Platin ist mehr*

28 *Opel will mit HydroGen4 raus der Krise*

IMPRESSUM HZwei

ISSN: 1862-393X
Jahrgang: 9. (2009)

Verlag: Hydrogeit Verlag e. K.
Gartenweg 5
D - 16727 Oberkrämer

Sitz: Oberkrämer
USt-ID.: DE 221143829
Handelsregister: HRA 1504 OPR, Neuruppin

Redaktion & ViSdP: Dipl.-Ing. Sven Geitmann
Tel./Fax: +49 (0)33055 – 21322/20
E-Mail: kontakt@hydrogeit.de
www.hydrogeit-verlag.de, www.hzwei.info

Design: Dipl.-Des. Andreas Wolter, Weimar
Satz: Henrike Hiersig, Weimar

Anzeigen: Kirsten Laasner Projektmanagement, Kirchheim
Lektorat: Dione Gutzmer, Berlin
Druck: Möller Druck und Verlag GmbH, Ahrensfelde

Druckauflage: 5.000 Stück
Erscheinungsweise: 4 x jährlich

Einzelpreis (Inland): 7 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 1,50 € Versand)
Jahrespreis (Inland): 24 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 6,00 € Versand)
Einzelpreis (Europa): 7 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 4,50 € Versand)
Jahrespreis (Europa): 24 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 18,00 € Versand)

Studenten: 50 % Ermäßigung
Kündigung: 6 Wochen vor nächster Ausgabe

Bank: Mittelbrandenburgische Sparkasse
Konto-Nr.: 3705002189
Bankleitzahl: 16050000
IBAN: DE37160500003705002189
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_2YDROGEIT 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: PtCu3-Partikel eines Platinkatalysators
[Quelle: P. Strasser, TU Berlin]

TOLLE AUSSICHTEN

Liebe Leserinnen und Leser!

Finanzkrise, Automobilkrise, Ölpreiskrise – Das alte Jahr hat nicht gerade optimale Bedingungen für 2009 geschaffen. Was können wir also unter diesen Voraussetzungen vom neuen Jahr erwarten?

Große Hoffnungen werden weltweit auf den neuen, den 44. US-Präsidenten Barack Obama gesetzt. Er soll die globale Bankenkrise bewältigen und damit auch die Weltwirtschaft wieder in Schwung bringen. Das ist aber längst noch nicht alles. In der Energiewirtschaft wird von ihm ein deutlicher Richtungswechsel erwartet. Während des Wahlkampfes hatte sich der Demokrat klar zu einer nachhaltigen Politik bekannt und in Aussicht gestellt, innerhalb von zehn Jahren 150 Mrd. US-$ für den Ausbau erneuerbarer Energien aufwenden zu wollen. Ein Zeichen des Wandels ist auch seine Wahl des Energieministers: Der Physik-Nobelpreisträger Steven Chu, Sohn chinesischer Einwanderer, gilt als Vorkämpfer bei der Erforschung erneuerbarer Energien.

In Deutschland wird ebenfalls weiter an erneuerbaren Energien gearbeitet, zumindest bei den Grünen. Diese fassten auf ihrem Bundesparteitag im November 2008 mit großer Mehrheit einen weit reichenden Beschluss: Die Umweltpartei strebt an, im Jahr 2040 100 % des Gesamtenergiebedarfs erneuerbar bereitstellen zu können. Die Stromversorgung soll bereits bis 2030 komplett erneuerbar erfolgen. Dieser Beschluss ist allerdings auch intern nicht unumstritten und wurde bereits aus den eigenen Reihen als „ziemlich absurd“ bezeichnet, obwohl die bisherigen Steigerungsraten in der Wind- und Solarbranche sehr viel höher lagen, als noch vor wenigen Jahren für möglich gehalten wurde.

Erste Erfolg versprechende Schritte in diese Richtung sind bereits in Brandenburg, Baden-Württemberg und Schleswig-Holstein zu verzeichnen. Sie zählen gemäß einer Vergleichsstudie des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung zu den führenden Bundesländern in Sachen Erneuerbare Energien. Der brandenburgische Ministerpräsident Matthias Platzeck erklärte, bis 2020 ein Fünftel des Primärenergieverbrauchs Brandenburgs durch Wind- und Solarenergie, Biomasse, Wasserkraft und Geothermie abdecken zu wollen. Gleichzeitig setzt Platzeck jedoch auch auf die Nutzung der Braunkohle, obwohl dafür ganze Dörfer umgesiedelt werden müssten.

Auch die Internationale Energie Agentur favorisiert immer noch die fossilen Primärenergieträger. Die IEA warnt in ihrem World Energy Outlook 2008 zwar einerseits vor Engpässen bei der Ölförderung, geht aber andererseits von einer weiteren Steigerung der täglichen Förderrate von heute 85 Mio. auf 106 Mio. Barrel im Jahr 2030 aus. Sie räumte in der im November 2008 vorgestellten Studie immerhin erstmals öffentlich ein, dass Öl nicht mehr unendlich lange wirtschaftlich förderbar sein wird. Eine angemessene Berücksichtigung erneuerbarer Energien taucht aber auch dieses Mal nicht auf.

Nicht ohne Grund wirft die Energy Watch Group der IEA vor, die Agentur sei mit ihren Fehlprognosen verantwortlich für weltweite Fehlinvestitionen in Milliardenhöhe – in der Vergangenheit und auch der Gegenwart. Die EWG-Wissenschaftlergruppe rief daher die Regierungen, Unternehmen und Verbraucher auf, zukünftig die Berichte der IEA genau zu hinterfragen, anstatt sie zur Grundlage für politische oder ökonomische Entscheidungen zu machen.

Dies gilt auch für die Automobilindustrie, die sich nach vielen fetten Jahren, in denen spritfressende Geländewagen entwickelt und gebaut wurden, mit Hilfsgesuchen an die Regierungen hüben wie drüben gewandt hatte. Die amerikanischen Autokonzerne erhalten das erbetene Geld jetzt nicht vom US-Senat – ein Glück, denn es sollte aus dem Finanzmitteltopf für die Entwicklung spritsparender Modelle entnommen werden – sondern direkt aus dem Weißen Haus vom Ex-Präsidenten Bush. Die mit der Kreditbewilligung verbundenen Auflagen sind zwar hoch, Experten bezweifeln jedoch, ob GM und Chrysler mit diesen Geldern dauerhaft gerettet werden können. Die fehlerhafte Grundausrichtung der vergangenen Jahre lasse sich nicht so schnell korrigieren, heißt es. Und der Elektro-Volt sowie der HydroGen4 sind noch längst nicht marktreif.

Ob so der erhoffte Wandel aussieht, ist mehr als fraglich. Fest steht somit nur eines: Auch 2009 wird aufregend. ||

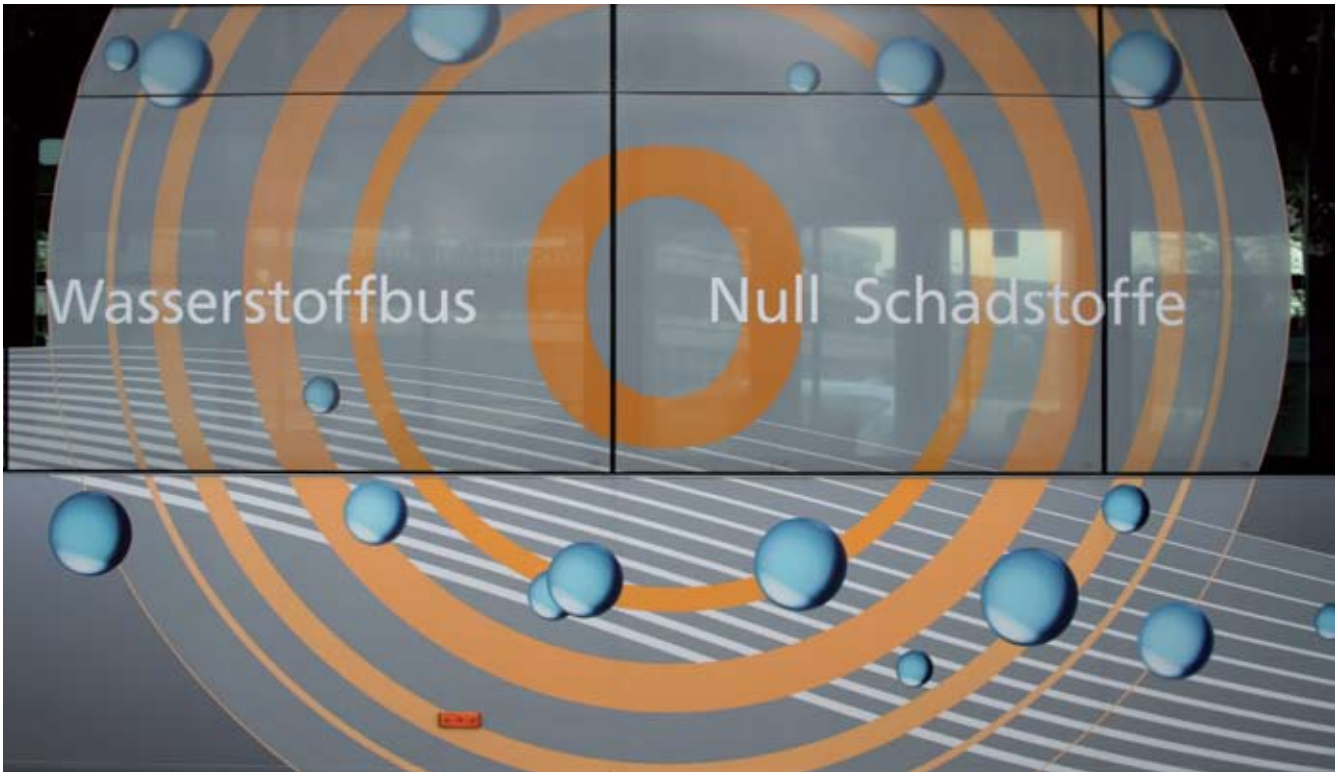
Herzlichst

Sven Geitmann
HZwei Herausgeber

Thema: Messe | **Autor:** Sven Geitmann |

KLEIN, ABER FEIN

Umweltministerin Anja Hajduk eröffnete „H_2OExpo“



„Sie ist klein, sie ist fein.“ – Auf der 7. H2Expo, die am 22. und 23. September 2008 in Hamburg stattfand, hat sich dieser Ausspruch Bernd Aufderheides, des Vorsitzenden der Geschäftsleitung der Hamburg Messe und Congress GmbH, schnell zum geflügelten Wort entwickelt. Auch die parlamentarische Staatsekretärin des Verkehrsministers, Karin Roth, griff diese durchaus passende Bezeichnung sogleich in ihrer Eröffnungsrede auf. Für Irritation sorgte demgegenüber die Wortwahl der Hamburger Senatorin für Umwelt und Stadtentwicklung, Anja Hajduk, die die Veranstaltung wiederholt als „H_2OExpo“ bezeichnete.

Aufderheide leitete die internationale Konferenz und Handelsmesse für Wasserstoff und Brennstoffzellentechnik mit einer kleinen Anekdote ein: „Ab und zu fragt mich der Aufsichtsratsvorsitzende über die H2Expo: ‚Wie lange wollt Ihr das denn noch machen? Messen müssen doch groß sein.‘ Darauf antworte ich dann: ‚Noch lange, denn diese Messe ist wichtig.‘“ Zur Bekräftigung fügte er sogleich noch hinzu: „Wir werden auf jeden Fall weitermachen.“

Diese Beteuerung war durchaus angebracht, denn der erhoffte große Wurf mit vielen neuen Entwicklungen blieb nach der selbstverordneten zweijährigen Pause aus. Die konferenzbegleitende Ausstellung war überschaubar, bot durchaus viele gute Ansätze für interessante Gespräche, kam aber bei weitem nicht an die Größe heran, die in den ersten zwei Jahren ihres Bestehens eine ganze Messehalle gefüllt hatte. Die Veranstaltung knüpfte vielmehr da an, wo sie 2006 aufgehört hatte: Auf einem überschaubaren Niveau.

Auch während der Pressekonferenz wiederholte Aufderheide seine Durchhalteparole, bevor der erste Journalist diesbezüglich unliebsame Fragen stellen konnte. Die parlamentarische Staatssekretärin Karin Roth hob passend dazu die große Bedeutung dieser Veranstaltung für die Wasserstoffmetropole Hamburg hervor, als wolle sie jeglichen Zweifel daran ausräumen, dass es in zwei Jahren wieder eine H2Expo in der Hansestadt geben wird. Dennoch bleibt offen, wie lange sich der Aufsichtsrat solch eine kleine – wenn auch feine – Veranstaltung noch mit anschauen wird.

Abb. 1: Karin Roth bei ihrer Eröffnungsrede

FRAU H2O-HAJDUK Dem Fauxpas von Hajduk muss keine allzu tiefe Bedeutung beigemessen werden, auch wenn er unterschiedliche Gefühle bei den Anwesenden hervorlockte: Amüsement bei Konferenzteilnehmern, Peinlichkeit beim Veranstalter und Irritation bei den Förderern. Diese Verwechslung von „H_2“ und „H_2O“ hat jedenfalls nicht dazu beigetragen, dass die noch nicht sonderlich lange im Amt befindliche Umweltsenatorin von der Wasserstoff- und Brennstoffzellenbranche mit offenen Armen aufgenommen wurde. Obwohl Hajduk positive Nachrichten zu verkünden hatte. Quasi als Folgeprojekt zu *ZemShips* soll Anfang 2009 *e4Ships* starten. Dabei handelt es sich um ein, wie sie es nannte, Projekt „für die Versorgung der Nebenaggregate von großen Seeschiffen, um Emissionen in Häfen zu reduzieren.“ Die Umweltsenatorin zeigte sich erfreut, dass „mit Blohm und Voss, der Meyer Werft und der Beluga Reederei wieder namhafte norddeutsche Partner dabei sind.“

AUSSTELLUNG MIT 26 STÄNDEN Messeseitig waren 47 ausstellende Institutionen präsent (2006: 44), wobei sich allein 19 auf dem Gemeinschaftsstand der Landesinitiative Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie Hamburg günstig eingemietet hatten. Zu den Untermietern zählte neben großen Firmen wie Airbus, E.ON Hanse, Hamburger Hochbahn, ThyssenKrupp und Vattenfall Europe auch der Hauptsponsor Germanischer Lloyd. Lediglich der TÜV Nord hatte als einziges größeres Hamburger Unternehmen die Courage, einen eigenen Stand zu besetzen.

Hervorhebenswert ist außerdem das Engagement von Alexander Sommerkamp-Homann. Der 18-jährige Schüler war in diesem Jahr zum mittlerweile vierten Mal mit einem eigenen Stand vertreten und präsentierte seine selbst gebauten, brennstoffzellenbetriebenen Schiffsmodelle. Der „Jugend-forscht“-Preisträger und Bundessieger des vom Bundesumweltministerium veranstalteten Wettbewerbs „Jugend mit unendlicher Energie“ zeigte unter anderem einen Nachbau des BZ-Fahrgastschiffes „Alsterwasser.“

Erfreulich war auch die Anwesenheit mehrerer wasserstoffbetriebener Fahrzeuge in Halle H, so dass technikinteressierte Otto-Normalverbraucher ausgiebig über Vor- und Nachteile fachsimpeln konnten. Auf dem Vorplatz des Congress Centers Hamburg (CCH) zeigte die Linde AG zudem erstmals die Weiterentwicklung ihres mobilen Tanklastzuges: den trailH_2 Gas. Bei diesem Fahrzeug, dessen Vorgänger schon 2006 in Hamburg zu sehen war, handelt es sich um eine 14 Meter lange und 35 Tonnen schwere mobile Tankstelle, die seit Neustem auch für die Befüllung mit 700 bar geeignet ist.

Abb. 2: Symbolische Betankung durch den neuen trailH_2 Gas

PROTON-MOTOR-SHOW Gleich mehrfach stieß man an den zwei Veranstaltungstagen auf die Proton Motor Fuel Cell GmbH, denn das süddeutsche Unternehmen spielte nicht nur während der ZemShips-Konferenz eine bedeutende Rolle. Auch während der H2Expo-Konferenz kam man nicht an Proton Motor vorbei, schließlich stammen die zwei in der *Alsterwasser* verwendeten Brennstoffzellenmodule aus deren Haus. Darüber hinaus präsentierte der BZ-Systemhersteller im Ausstellungsraum den gemeinsam mit der Wilhelm Karmann GmbH entwickelten EcoCarrier HY3. Der ehemalige Geschäftsführer des Unternehmens, Felix Heidelberg, war allerdings nicht zugegen. Der Aufsichtsrat der Proton Power Systems plc., der seit Oktober 2006 an der Londoner Börse notierten Muttergesellschaft der Proton Motor Fuel Cell GmbH, trennte sich im Oktober von dem Sohn des Proton-Motor-Gründers Götz Heidelberg, nachdem er bereits am 30. Juli 2008 vom CEO zum CTO (Chief Technology Officer) herabgestuft worden war. Bis dahin hatte Heidelberg junior das Unternehmen allein geführt. Sein Nachfolger ist der 49-jährige Thomas Melczer.

NIVEAU GEHALTEN Für die Organisatoren fiel die Gesamtbilanz der H2Expo positiv aus, da das vorrangige Ziel, die Besucherzahl von 2006 konstant zu halten, erreicht wurde. Bernd Aufderheide schoss jedoch bei seinem Fazit etwas übers Ziel hinaus, als er zu Protokoll gab: „Wir sind sehr zufrieden mit gestiegenen Aussteller- und Besucherzahlen.“ ||

→ *www.h2expo.de*

NORDDEUTSCHES H_2-BÜNDNIS

Bereits am Vortag der H2Expo veranstaltete die Wasserstoff-Gesellschaft Hamburg ebenfalls eine themenbezogene Konferenz mit dem Titel: *Die Wasserstoff-Technologie in der Anwendung*. Inhalt dieses Symposiums in der Handelskammer Hamburg war die Vorstellung eines Gutachtens vom Hamburgischen WeltWirtschafts-Institut (HWWI). In dieser Studie bescheinigt das HWWI der Hansestadt, dass sie bereits über die notwendigen Strukturen und Anfangsinvestitionen verfüge, die für eine weitere Umsetzung von Pilotprojekten standortpolitisch und wirtschaftlich sinnvoll erscheinen.
Nikolaus W. Schües, Vorsitzender der Wasserstoff-Gesellschaft, erklärte dazu, dass das HWWI damit die Anstrengungen von Senat und Wirtschaft zur Förderung der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie in Hamburg bestärke. Das Gutachten sei darüber hinaus ein Beleg dafür, dass Hamburg zu Recht als *Wasserstoff-Hochburg* bezeichnet werden könne, so Schües weiter.
Werner Marnette, der schleswig-holsteinische Minister für Wissenschaft, Wirtschaft und Verkehr, kündigte darüber hinaus eine engere Zusammenarbeit der norddeutschen Bundesländer bei der weiteren Förderung der Wasserstoff-Technologie im Rahmen eines gemeinsamen Energiekonzeptes an.

ENERTEC PUSHT DEZENTRALE SYSTEME

Die internationale Fachmesse für Energie, die enertec, möchte zur führenden Plattform für den Bereich der dezentralen Ver- und Entsorgung werden. Bisher haben rund 240 Aussteller ihre Teilnahme auf dem Leipziger Messegelände vom 27. bis 29. Januar 2009 zugesagt. Einen – wenn auch kleinen – Brennstoffzellengemeinschaftsstand wird es wie bereits in den Vorjahren ebenfalls wieder geben.

„Gerade die Nachfrage nach dezentralen Energielösungen und erneuerbaren Energien hat der enertec einen kräftigen Schub verliehen“, sagte die enertec-Projektdirektorin Claudia Anders und fügte noch hinzu: „Wir erwarten daher einen Flächenzuwachs um zehn Prozent.“

Einblick in die Entwicklung von Brennstoffzellensystemen gibt die Brennstoffzelleninitiative Sachsen mit Unternehmen und Institutionen aus Sachsen und Thüringen. Auf einem von der BZ-Initative organisierten Gemeinschaftsstand stellen aus: BTI Technologieagentur Dresden GmbH, DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Flexiva Automation & Robotik GmbH, Riesaer Brennstoffzellentechnik GmbH, Westsächsische Hochschule Zwickau sowie das Hermsdorfer Institut für Technische Keramik e.V. ||

RIDE & DRIVE IN HANNOVER

Die Hannover Messe 2009 wirft lange Schatten voraus. Die Deutsche Messe AG erwartet allein auf der Fachmesse *Energy* weit über 1.000 Aussteller, die auf über 40.000 m² ihre neusten Produkte präsentieren werden. Oliver Frese, verantwortlich für die Energiethemen, freut sich: „Die Hannover Messe ist mittlerweile zur größten Energiemesse der Welt geworden.“

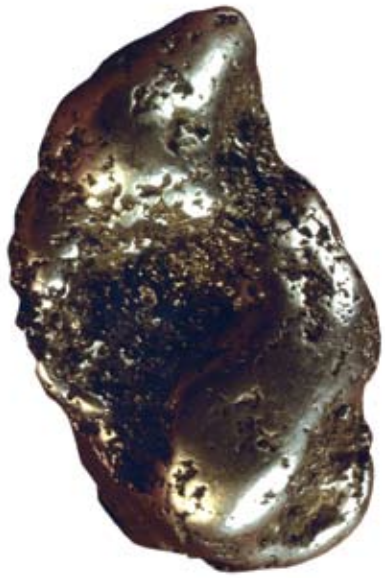
Insbesondere auf dem Gemeinschaftsstand Wasserstoff und Brennstoffzellen, zu dem sich bis Dezember 2008 bereits 120 Aussteller angemeldet hatten, wird es einige Neuerungen geben, denn Organisator Tobias Renz feiert mit seinem Team in diesem Jahr das 15. Jubiläum. Neben einem zusätzlichen Forumsbereich haben sich Renz & Co. für 2009 ein Ride-&-Drive-Angebot als Highlight ausgedacht. Den Besuchern soll auf einem Freigelände außerhalb von Halle 13 (400 m²) die Möglichkeit zu Probefahrten gegeben werden. Unter anderem werden dort Elektrofahrzeuge von Smart Fuel Cell bereitstehen, die bereits kommerziell erhältliche Produkte anbieten wollen.

Außerdem wird wieder das Thema *effiziente Mobilität* auf der mittlerweile zum vierten Mal in Hannover stattfindenden *Clean Moves* präsent sein. Das Spektrum dieser Sonderausstellung reicht von Elektro- und Hybridantrieben über Gas- und Biokraftstofffahrzeuge bis hin zu Kohlenfaser-Leichtbauverfahren sowie neuen Bahn- und Logistik-Potentialen. ||

Thema: Katalyse | **Autor:** Sven Geitmann

KATALYSATOREN SIND WIE TANZLEHRER

Die Natur macht es vor



Teurer Katalysator: Gediegen Platin aus Nischne Tagilsk, Russland [Quelle: A. Günther, Friedrich-Schiller-Universität Jena]

Die Katalyse – das ist Lehrstoff im Chemieunterricht der Mittelstufe. Aber was genau verbirgt sich eigentlich dahinter? Welche chemischen Vorgänge laufen bei diesem chemischen Vorgang ab? Und welche Materialien werden dafür benötigt? Eigentlich sollte man meinen, dass die Hintergründe der Katalyse hinlänglich bekannt sind, dass es in diesem Bereich nicht mehr viel zu forschen gibt. Aber weit gefehlt. Zahlreiche Wissenschaftler beschäftigen sich mit diesem spannenden Themengebiet, in dem es noch viele offene Fragen zu beantworten gibt.

Die Initiative *Chemie im Dialog* schaltet seit dem Sommer 2008 im Rahmen einer Imagekampagne regelmäßig ganzseitige redaktionelle Anzeigen in überregionalen Tageszeitungen und Nachrichtenmagazinen, um über neue Forschungsergebnisse aus dem Bereich der Chemie zu informieren. Unter anderem kommt dabei der Leibnizpreisträger Prof. Dr. Matthias Beller zu Wort und erklärt: „Die Spaltung von Wasser könnte unser Energieproblem lösen." Dafür notwendig seien Katalysatoren. Die agieren „wie ein Tanzlehrer, der Paare zusammenbringt."

Katalysatoren ermöglichen oder beschleunigen Reaktionen, die ohne fremde Hilfe gar nicht oder nur sehr zögerlich ablaufen würden. Haben sich die richtigen Reaktionspaare jedoch erst einmal gefunden, fungieren Katalysatoren nur als Vermittler, die selbst nicht verbraucht werden. „Im Idealfall reicht ein Katalysatormolekül aus, um Millionen von gewünschten Produktmolekülen zu erzeugen. Deshalb muss ein Autoabgaskatalysator erst nach über 100.000 Fahrkilometern ersetzt werden", erläutert Beller. Mit Hilfe von Katalysatoren können somit chemische Prozesse schneller und Energie sparender ablaufen, was obendrein auch kostengünstiger ist.

VON DER ELEKTROLYSE BIS ZUR PHOTOLYSE Derartige Beschleuniger werden beispielsweise bei der Wasserstoffherstellung benötigt, sei es bei der Elektrolyse oder der Dampfreformierung, die beide immens wichtig für die Etablierung einer H_2-Wirtschaft sind. Bei der Elektrolyse wird aus Wasser mit Hilfe von Katalysatoren Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt. Auch bei der Reformierung von Erdgas helfen Katalysatoren, den Wasserstoff aus dem Methanmolekül herauszulösen. In beiden Fällen dauert die Suche nach den am besten geeigneten Vermittlern noch an.

Ein interessantes Forschungsgebiet im Bereich der Katalyse ist mittlerweile auch die Photolyse: die direkte Wasserspaltung durch Licht. Wie die Zeitschrift *Angewandte Chemie* berichtete, hat ein australisch-amerikanisches Forscherteam einen Katalysator entwickelt, der eine der notwendigen Teilreaktionen, die Photo-Oxidation von Wasser, effektiv katalysiert. Es handelt sich dabei um einen Mangan-Oxo-Komplex mit einem würfelförmigen Kern aus vier Mangan- und vier Sauerstoffatomen, der von Phosphinatmolekülen eingekapselt wird. Mit dessen Hilfe könnte es gelingen, eine photoelektrochemische Zelle zu entwickeln, die reinen Wasserstoff und Sauerstoff aus Wasser und Sonnenlicht herstellt.

FEST, FLÜSSIG ODER GASFÖRMIG Es gibt drei Arten der Katalyse:

- die heterogene
- die homogene
- die Biokatalyse

Die *heterogene* Katalyse ist wohl die bekannteste. Bei ihr liegen die Reaktionsausgangsstoffe und der Katalysator in unterschiedlichen Aggregatzuständen vor. Im Autokatalysator beispielsweise umströmen die gasförmigen Schadstoffe den festen Katalysator (z. B. Platin). Bei der *homogenen* Katalyse sind die Aggregatzustände demgegenüber identisch. Die Einflussmöglichkeiten auf den Reaktionsablauf sind hierbei weitaus größer als bei verschiedenartigen Reaktionspartnern, weswegen dieser Variante das höhere Zukunftspotential bescheinigt wird. Am besten macht es uns allerdings die Natur vor, die die Enzyme, so genannte *Biokatalysatoren*, erschaffen hat, die noch weitaus effizienter und selektiver arbeiten können als heterogene oder homogene Katalysatoren.

Im Bereich der Brennstoffzellentechnik nimmt die Erforschung der heterogenen Katalyse eine überaus wichtige Rolle ein, da Katalysatoren sowohl an der Anode (Oxidation von Wasserstoff) als auch an der Kathode (Reduktion von Sauerstoff) für die elektrochemischen Prozesse verantwortlich sind. Bei diesen Forschungsarbeiten geht es vorrangig um die Reduzierung des benötigten Katalysatormaterials und um die Suche nach geeigneten Alternativen. Die deutschen Wissenschaftler (z. B. an der TU Berlin, am Helmholtz-Zentrum Berlin sowie an der TU Braunschweig, s. S. 8, 12 u. 14) liegen hierbei im weltweiten Vergleich auf Spitzenpositionen. ||

Thema: Katalyse | **Autor:** Peter Strasser

80 % WENIGER PLATIN

Nanostrukturierte Kern-Schale-Katalysatoren für PEM-Brennstoffzellen

Die Erforschung der katalytischen Sauerstoffreduktion, die Umkehrreaktion der Wasserelektrolyse, gehört im PEM- und DMFC-Sektor momentan zu den größten Herausforderungen. Reines Platin (Pt), der am häufigsten für die Sauerstoffreduktion verwendete Kathodenkatalysator, ist teuer, nicht ausreichend aktiv und zudem nicht stabil. Ein neues Katalysatorkonzept basierend auf einem platinarmen nanostrukturierten Kern-Schale-Prinzip bietet Aussicht auf Abhilfe. Dabei wird eine platinreiche Schale auf einem nichtedelmetallreichen Kern von definierbarer Dicke gebildet, indem unedle Metallatome aus der Oberfläche entfernt werden *(Dealloying)*. Durch die selektive partielle elektrochemische Entfernung dieser unedlen Metallatome lassen sich die Schalendicke und damit die katalytische Aktivität gezielt steuern. Auf diese Weise ist eine Reduzierung der Platinmenge in der Zellkathode um mehr als 80 % möglich.

Bisher wird für beide Elektroden (Anode & Kathode) reines Platin als Katalysator in Form von winzigen Nanopartikeln gewählt, die auf leitendem Kohlenstoff oder Graphit aufgebracht werden. Gesamtplatinbeladungen von bis zu einem Gramm Platin pro Kilowatt sind dabei keine Seltenheit, was für die Konstruktion eines 100-kW-Brennstoffzellensystems Rohstoffkosten von momentan etwa 2.000 Euro entspricht. Dafür ist heute ein kompletter Verbrennungsmotor vergleichbarer Leistung zu erhalten.

Während die Wasserstoffoxidation an der Anode sehr schnell und reversibel auf katalytischen Platinoberflächen verläuft, geht die Sauerstoffreduktion an der Kathode nur sehr langsam vonstatten; einhundert Milliarden mal langsamer als die H_2-Oxidation. Damit die Kathodenseite überhaupt mit der Anodenseite mithalten kann, wird an der Kathode ein hoher Zellspannungsverlust von bis zu 50 % der theoretischen Zellspannung in Kauf genommen. Der Grund der gehemmten O_2-Reduktion sind Sauerstoffatome und sauerstoffhaltige Molekülfragmente, die sich während der Umwandlung von molekularem Sauerstoff zu Wasser auf der Platinoberfläche bilden.

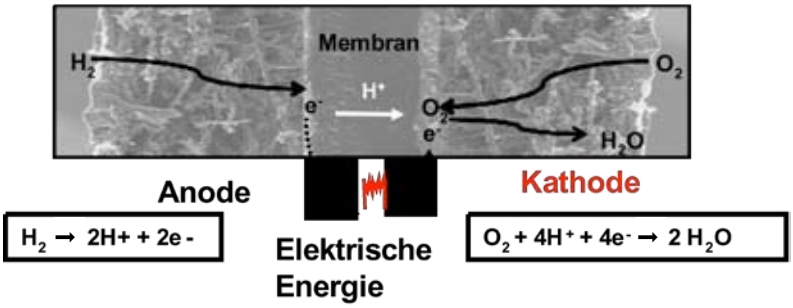


Abb. 1: Querschnitt durch die Membran-Elektroden-Anordnung (MEA)

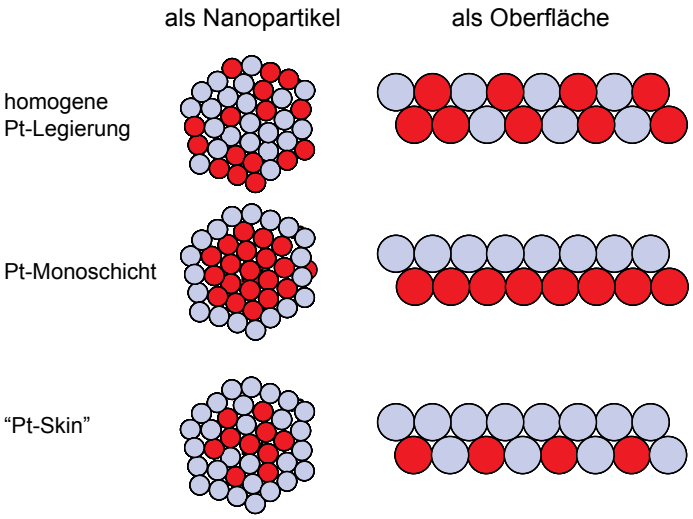


Abb. 2: verschiedene Strukturen von Legierungskatalysatoren für die Sauerstoffreduktion als nanoskaliges Partikel, rechts als ausgedehnte glatte Oberfläche.

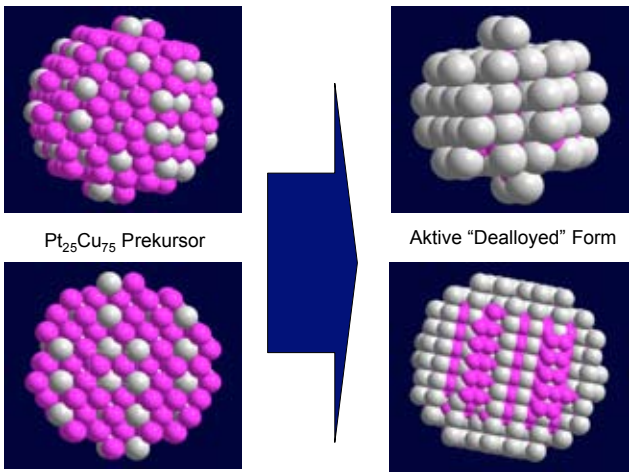


Abb. 3: Nichtedelmetallreiche Präkursoren (links) und aktive entlegierte Kern-Schale-Katalysatoren (r.) Oben: Vollpartikelbild, unten: Querschnitt durch Partikel

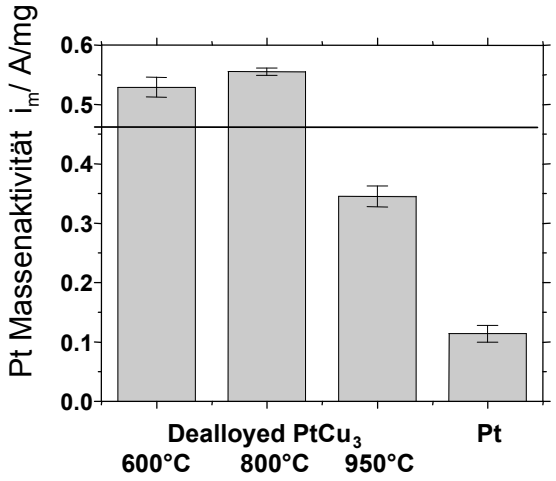


Abb. 4: Pt-Massenaktivität von dealloyed nanopartikulären Katalysatoren im Vergleich zu reiner Pt. Präkursorenpräparierung bei drei verschiedenen Temperaturen.

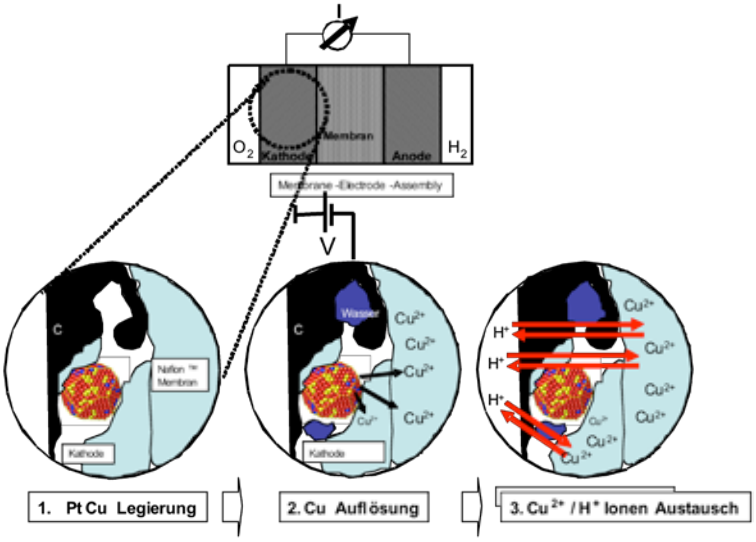


Abb. 5: Entlegierungsprozesse (Katalysatoraktivierung) für MEAs einzelner Brennstoffzellen

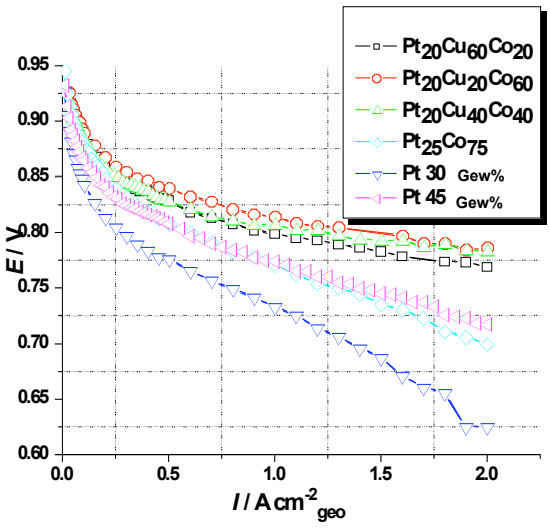


Abb. 6: Zellpolarisationskurven von dealloyed kupfer- und kobaltreichen Präkursoren

BISHERIGE HERANGEHENSWEISE Eine Anzahl verschiedener Strategien wurden in den letzten Jahren verfolgt, um reines Platin gezielt so zu verändern, dass es die Sauerstoffreduktion besser katalysiert (s. Abb. 2). Das älteste Konzept besteht aus der homogenen platinreichen Legierung mit weniger edlen und weniger teuren Metallen (z. B. Nickel, Kobalt, Eisen) in einem Verhältnis von 9:1 bis 3:1. Dies führte zu einer Verbesserung der Pt-Massenaktivität der Katalysatoren in etwa um den Faktor 2. Neuere Konzepte umfassen das *Pt-Monolayerkonzept*, bei dem eine singuläre Monoschicht Pt-Atome auf die glatte oder Partikeloberfläche von Nichtplatinmetallen aufgebracht wird. Das funktioniert sehr gut mit bestimmten noch relativ edlen Metallen wie Ruthenium oder Palladium, allerdings nur schlecht mit den meisten anderen Metallen. Die Platinmenge ist beim Monoschichtkonzept allerdings relativ gering, so dass sich hohe Pt-Massenaktivitäten (Faktor 10) erzielen lassen. Unter Berücksichtigung der kombinierten Masse des eingesetzten Platins und Palladiums schrumpft diese Verbesserung jedoch erheblich etwa auf einen Faktor 2 bis 3 verglichen zu reinem Platin. Auch die oberflächenspezifische Aktivität dieser Katalysatoren bleibt unter den für eine Kommerzialisierung geforderten Werten.

Ein weiteres Elektrokatalysatorkonzept für die Sauerstoffreduktion sind die *Pt-Skin-Katalysatoren*. Hierbei handelt es sich wieder um eine Monoschicht reinen Platins, die aufgrund von thermischer Behandlung spontan aus einer platinreichen homogenen Legierung an die Oberfläche segregiert. Für glatte Oberflächen sowie für Partikel wurden Verbesserungen um den Faktor 2 bis 3 gemessen. Eine bestimmte wohlpräparierte Einkristalloberfläche mit ganz spezieller Orientierung ($Pt_{75}Ni_{25}$(111)-Fläche) bildet eine Ausnahme: Sie zeichnet sich durch eine enorm verbesserte spezifische Aktivität um einen Faktor 9 aus. Diese $Pt_{75}Ni_{25}$(111)-Fläche ist jedoch unpraktisch für einen realen Kathodenkatalysator und konnte bislang noch nicht für eine praktische Kathode nutzbar gemacht werden.

KERN-SCHALE-KONZEPT Ein neues strukturelles sowie präparatives Konzept für Kern-Schale-Katalysatoren von Brennstoffzellen wurde in den letzten Jahren an der TU Berlin entwickelt und sehr intensiv untersucht. Die englischsprachige Literatur hat dafür den Ausdruck *Dealloyed Core-Shell Catalysts* geprägt.

Der Ausgangspunkt zur Präparation der aktiven Phase des Katalysators ist eine Präkursorlegierung bestehend aus Platin und einem Nichtedelmetall, wobei die Legierung reich in der Nichtplatinkomponente sein muss. Idealerweise sollten die Metalle eine stabile völlige Durchmischung zeigen, wie das bei Platin und Kupfer der Fall ist. Beide Metalle kristallisieren in der so genannten kubisch flächenzentrierten Struktur, was sie miteinander mischbar macht. Wichtig zu wissen ist, dass kupferreiche Platinlegierungen (z. B. $Pt_{25}Cu_{75}$) eine Kontraktion des Kristallgitters zeigen, da die Cu-Atome wesentlich kleiner als die Pt-Atome sind. Der Abstand zweier benachbarter Atome in diesem Legierungsgitter ist wesentlich kleiner als bei reinem Platin.

Zur Präparation der katalytisch aktiven Phase werden nun Kupferatome selektiv elektrochemisch aus der Oberfläche der kupferreichen Präkursorlegierung entfernt (engl.: Dealloying). Dazu werden die Präkursoren einigen hundert Potentialzyklen ausgesetzt. Die angelegten Elektrodenpotentiale werden dabei so gewählt, dass sich nur Cu-Atome auflösen, aber keine Pt-Atome. Cu-Atome verlassen also das Metallgitter, während Pt-Atome sich nun durch die entstehenden Lücken reorganisieren müssen. Die Auflösungsgeschwindigkeit wird so hoch gewählt, dass Cu-Atome aus dem Innern der Legierung die entstehenden Lücken an der Oberfläche nur schwerlich füllen können. Die Oberfläche verarmt dadurch schnell an Kupfer. Zwischen Oberfläche und Innerem stellt sich somit ein Cu-Gradient ein. Je nach Dauer und Bedingungen des Dealloyings, ist dieser Gradient sowie die Dicke der platinangereicherten Schicht einstellbar.

Der Bereich der Partikeloberfläche ist nun stark mit Platin angereichert, während das Innere des Partikels noch immer signifikante Kupfermengen enthält. Es hat sich also eine nanoskalige Kern-Schale-Struktur gebildet *(Dealloyed Core-Shell Catalyst)*. Je nach Cu-Auflösungsbedingung kann die Dicke der Pt-Schale verändert werden. Darüber hinaus stellen die Wahl des Nichtplatinmetalls im Ausgangsmaterial sowie die atomare Zusammensetzung des Präkursors weitere Parameter dar, um den Gradienten nach Dealloying zu beeinflussen.

Infolge des Dealloyings konnte der Platinanteil im Oberflächenbereich des Präkursors (3 nm entsprechen etwa den ersten fünf bis zehn Atomlagen) von etwa 25 Atom-% Pt auf über 90 Atom-% erhöht werden. Der Gesamtplatingehalt im Katalysator hat sich dabei von 25 Atom-% auf etwa 80 Atom-% erhöht. Die $Pt_{25}Cu_{75}$-Legierung wurde somit in eine $Pt_{80}Cu_{20}$-Zusammensetzung umgewandelt, ohne sich aber wie eine homogene $Pt_{80}Cu_{20}$-Legierung zu verhalten.

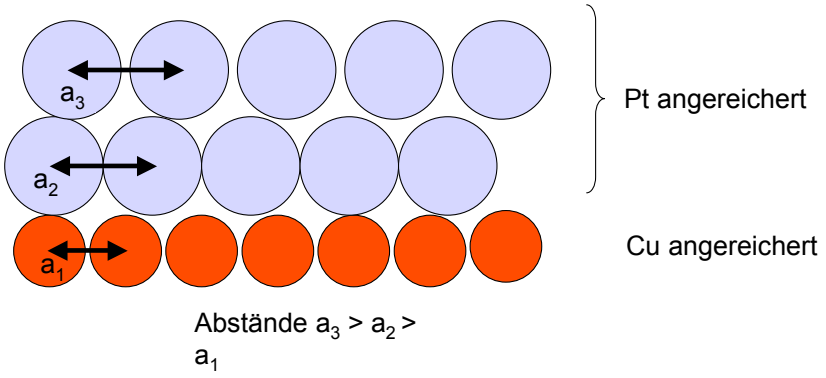


Abb. 7: Gitterverspannte Pt-Schalen zeigen eine verkleinerte Sauerstoffbindung und eine beschleunigte Reduktionsreaktion von Sauerstoff.

WIRKPOTENTIAL Werden diese *Dealloyed Core Shell Catalysts* in so genannten Halbzellenanordnungen mit Flüssigelektrolyten getestet, zeigen sie eine erstaunliche Massenaktivität von über 0,5 Ampere pro Milligramm Platin und bis zu 800 Mikro-Ampere pro Quadratzentimeter oberflächenspezifischer Aktivität. Das entspricht einer Verbesserung der katalytischen Aktivität um einen Faktor 5 bis 6 verglichen mit einem Standard-Pt-Kathodenelektrokatalysator. Diese Werte übersteigen ebenfalls die von den Automobilherstellern und dem amerikanischen Department of Energy (DOE) formulierte Zielaktivität eines Katalysators für PEM-Brennstoffzellenkathoden und könnten die Kosten auf dem Weg zu einer späteren Kommerzialisierung entscheidend reduzieren.

Die Aktivität der entlegierten Katalysatoren, also der aktiven Phase, hängt wesentlich von der Herstellungstemperatur der Präkursorlegierung ab (s. Abb. 4). Weitere Untersuchungen haben zudem ergeben, dass die Sauerstoffreduktionsaktivität der entlegierten Katalysatoren außerdem mit der Komposition der Präkursorlegierung zusammenhängt. Je platinreicher der Präkursor, desto weniger aktiv ist die Phase.

Zunächst wurde vermutet, dass eventuell die Oberfläche der Katalysatoren durch die Entfernung des Kupfers stark zunimmt und dadurch Aktivitätsverbesserungen erzielt werden. Dies würde allerdings bedeuten, dass der Katalysator intrinsisch nicht besser als Platin wäre. Dies hat sich aber als nicht richtig erwiesen, da die Oberfläche der entlegierten Katalysatoren ganz im Gegenteil typischerweise sogar kleiner ist als die der Standard-Pt-Elektrokatalysatoren.

EINBAU Nach der Feststellung der grundsätzlichen Eignung stellte sich die Frage, wie ein derartiger Katalysator in eine Brennstoffzelle integriert werden könnte und ob er dann noch dieselbe Aktivität zeigen würde. Zu diesem Zweck wurde eine In-situ-Entlegierungsmethode *(in situ dealloying)* entwickelt, die die Aktivierungsverhältnisse in Flüssigelektrolyten reproduzieren sollte.

Dafür wurden die Präkursoren zunächst in individuelle Brennstoffzellen eingebaut (s. Abb. 5). Dann wurde das Kupfer elektrochemisch aus der Legierung entfernt und danach die Membran von den entstandenen Kupferionen wieder gereinigt. Auf diese Weise wurde die aktive, entlegierte Core-Shell-Phase des Katalysators in-situ in der MEA präpariert. Die daraufhin gemessene Zellaktivität war der eines reinen Pt-Kathodenkatalysators deutlich überlegen. Der dealloyed Katalysator erreichte tatsächlich eine bislang unerreichte Aktivität von über 0,44 A/mg Pt in einer realen Zelle. Zum Vergleich wurde auch ein $Pt_{80}Cu_{20}$-Katalysator vermessen, der kein Dealloying durchlief. Dieser ist zwar besser als reines Platin, aber lediglich um den bereits erwähnten Faktor 2.

Die Methode der Aktivierung durch elektrochemisches Dealloying wurde nun auch auf andere, komplexere Systeme übertragen. Die Spannungs-Strom-Polarisationskurven von entlegierten ternären kupfer- und kobaltreichen Pt-Legierungspartikeln demonstrieren eindrucksvoll den Aktivitätsvorteil dieser Katalysatoren gegenüber reinem Platin (s. Abb. 6).

BEGRÜNDUNG Aber wie kommt es zu solch einer hohen Sauerstoffreduktionsaktivität? Neueste experimentelle Untersuchungen mit Synchrotron-Röngtenstreuung lieferten Hinweise, dass die spezielle geometrische Anordnung der Pt-Atome in der obersten Lage der entlegierten Materialien für die Aktivierung verantwortlich ist. Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass kupferreiche Pt-Legierungen aufgrund ihrer atomaren Zusammensetzung einen stark verkürzten Atomabstand ihrer kubischen Elementarzelle aufweisen. Man sagt auch, dass die Präkursorlegierung eine verkürzte Gitterkonstante besitzt. Diese Tatsache hat Konsequenzen für die etwa drei bis zehn stark platinangereicherten Oberflächenschichten (Pt-Schale) der entlegierten Kern-Schale-Partikel. Da deren Kern immer noch eine kupferreiche Legierung ist, sitzen die Atome der praktisch reinen Pt-Partikelschale auf einer Unterlage mit stark verkürzten Atomabständen verglichen zum Pt-Pt-Atomabstand von reinem Platin. Dies beeinflusst ebenfalls den Atomabstand der Atome in der Schale und führt zu einer unnatürlichen Verkürzung der reinen Pt-Atome in der Partikelschale. Eine solche Verkürzung wird im Fachjargon auch *Gitterkompressionsverspannung* (compressive lattice strain) genannt. Je dicker die Pt-Schale ist, desto mehr schwächt sich die kompressive Verspannung in Richtung Oberfläche ab.

Um den Zusammenhang von Verspannung und Sauerstoffreduktionsaktivität herzustellen, wurden theoretische Dichtefunktionalrechnungen herangezogen. Tatsächlich konnten diese bestätigen, dass verkürzte Gitterverspannungen in der Pt-Oberfläche die Bindungsenergie zwischen Platin und Sauerstoff herabsetzen und so die Reaktionsgeschwindigkeit der Reduktion (Wasserbildung) beschleunigen. Die makroskopisch gemessene Reaktionsrate der Sauerstoffreduktion auf verspannten Pt-Oberflächenschichten sollte also größer sein als auf reinem Platin, genau so wie es im Experiment die entlegierten Kern-Schale-Partikeln tatsächlich zeigen. Eine alternative Hypothese, dass Kupferatome in der Oberfläche die Katalyse direkt beeinflussen, ist aufgrund ihrer geringen Konzentration sowie ihrer Instabilität bei den typischen Elektrodenpotentialen sehr unwahrscheinlich. Auch die spontane Ausbildung einer aktiveren Pt-Oberfläche allein aufgrund der angelegten Spannungszyklen ist unwahrscheinlich. Werden nämlich reine Pt-Partikel denselben Zyklen unterworfen, verbessert sich ihre Aktivität nicht, im Gegenteil, die Partikel wachsen, bieten weniger Oberfläche und zeigen geringere Massenaktivität.

ERGEBNIS Es bleibt festzuhalten, dass das kürzlich entwickelte Konzept der entlegierten Kern-Schale-Elektrokatalysatoren eine deutliche Verringerung der eingesetzten Pt-Menge in Wasserstoff/Luft-Brennstoffzellen in Aussicht stellt. Die Katalysatoren haben zum momentanen Zeitpunkt das Potential, die platinmassenbasierte Zellaktivitäten um einen Faktor von 6 zu steigern, was bei gegebener Zellleistung einer Verringerung der eingesetzten Platinmenge um mehr als 80 % entspricht. Weitere Leistungssteigerungen aufgrund der Optimierung der Nanostruktur, der Zusammensetzung des Präkursors sowie der Entlegierungsbedingungen sind sehr wahrscheinlich, werden aber im Moment noch untersucht. In zwei ganz entscheidenden Dingen unterscheidet sich dieses Dealloyed-Konzept von anderen Kern-Schale-Katalysatoren: Zum einen lässt sich die katalytische Aktivität durch die Dicke der Schale und die Präkursorzusammensetzung stufenlos einstellen, da die Verspannung von Dicke und Gitterkonstante des Kerns abhängen. Und zum Zweiten sind diese Katalysatoren praktisch in individuelle Brennstoffzellen einsetzbar und behalten ihre hohe Aktivität unter realistischen Bedingungen bei. ||

Literatur:

- *Koh, S.; Strasser, P., J. Am. Chem. Soc., 129, 12624 (2007)*
- *Strasser, P., Dealloyed Pt bimetallic nanoparticle cathode electrocatalysts, Handbook of Fuel Cells, John Wiley and Sons, Chichester/UK; Vol. 5; pp in press (2009)*
- *Srivastava, R.; Mani, P.; Hahn, N.; Strasser, P., Angew. Chem. Int. Ed, 46, 8988 (2007)*
- *Mani, P.; Srivastava, S.; Strasser, P., J. Phys. Chem. C, 112, 2770 (2008)*

Autor:
Prof. Dr. Peter Strasser
Technische Universität Berlin
Institut für Chemie, Berlin
→ pstrasser@tu-berlin.de

f-cell

Die Brennstoffzelle | 9. Forum für Produzenten und Anwender

28.-29.9.2009
Stuttgart

Haus der Wirtschaft

Das internationale Forum für die Branche

Schwerpunkt 2009: mobil

Fachvorträge
Messe
f-cellAward

www.f-cell.de

DAIMLER · Baden-Württemberg · PETER SAUBER AGENTUR

Thema: Katalyse | **Autor:** Peter Bogdanoff

VISION EINER PLATINFREIEN BRENNSTOFFZELLE

Forschungserfolg am Helmholtz-Zentrum Berlin

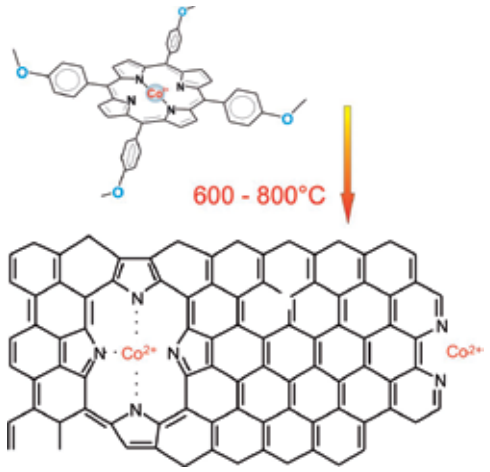


Abb. 1: Umwandlung eines Precursors in eine Kohlenstoffstruktur mit eingebetteten katalytischen Zentren durch Pyrolyse

Um in Brennstoffzellen ausreichend hohe Stromdichten und Spannungen erreichen zu können, müssen die Vorgänge an den Elektroden möglichst schnell und effizient ablaufen. Dies wird erreicht, indem hochaktive Elektrokatalysatoren auf die Elektroden aufgebracht werden. In der PEM-Brennstoffzelle haben sich für diese Aufgabe metallisches Platin und seine Legierungen am besten bewährt. Da Platin aber ein teures und seltenes Edelmetall ist, wird international nach preiswerten Alternativen gesucht. In den letzten Jahren wurde am Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) eine innovative Präparationsmethode entwickelt, die zu einem hochporösen und für die Sauerstoffreduktion aktiven Material führt, das ausschließlich aus pyrolysierten Kobalt- beziehungsweise Eisen-Porphyrinen besteht.

Der Materialaufwand für Platin liegt trotz intensiver internationaler Entwicklungsarbeiten immer noch bei 0,1 bis 1 mg/Watt erreichter Brennstoffzellenleistung. Damit tragen die Kosten für den Katalysator wesentlich zu den noch zu hohen Produktionskosten für die PEM-BZ bei. Betrachtet man zusätzlich den drastischen Anstieg des Marktpreises für Platin in den letzten Jahren (2000: 400 $/oz., 2006: 1.200 $/oz.) ist eher eine Verschärfung der Kostensituation als eine Entspannung zu erwarten.

PROBLEME MIT PLATIN Obwohl Platin nach wie vor zu den aktivsten Katalysatoren gehört, weist es neben dem ökonomischen Nachteil auch aus elektrochemischer Sicht Probleme auf, die man gerne gelöst sehen möchte. So wird die katalytische Aktivität von Platin leicht durch viele in der Umwelt vorkommende gasförmige Substanzen (H_2S, CO, NO_X, NH_3, SO_X) vergiftet. Weiterhin neigen die nanoskalierten Platinpartikel unter den Betriebsbedingungen in der Brennstoffzelle zur Aggregation (Anhäufung), was zu einer Verringerung der effektiven Oberfläche im Langzeitbetrieb führt. Weitere Probleme wie die katalytische Oxidation des Kohlenstoffs sowie die Auflösung von Platin auf der Kathode und seine Wiederabscheidung in der Elektrolytmembran seien hier nur am Rande bemerkt.

Derartige Probleme erklären den Wunsch nach alternativen, kostengünstigen Katalysatoren für die PEM-Technologie. Ein besonderes Augenmerk der zahlreichen internationalen Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet liegt auf der Entwicklung von geeigneten Katalysatoren für die Kathodenreaktion. Gegenüber der Wasserstoffoxidation an der Anode ist die Katalyse der direkten Reduktion von Sauerstoff zu Wasser an der Kathode mechanistisch deutlich anspruchsvoller, da hierbei vier Elektronen sowie Protonen auf das Sauerstoffmolekül übertragen werden müssen. Diese Komplexität führt dazu, dass selbst beim Platinkatalysator erhebliche Spannungsverluste (300-400 mV) gegenüber dem thermodynamisch erreichbaren Wert (1,23 V) in Kauf genommen werden müssen, um ausreichend hohe Stromdichten zu erhalten. Als edelmetallfreie Alternative zum Kathodenkatalysator Platin werden insbesondere Übergangsmetallchalkogenide, -carbide, -nitride und deren Mischphasen untersucht. Bislang zeigen diese Materialien allerdings eine noch zu geringe Aktivität und Stabilität für eine technische Anwendung in PEM-Brennstoffzellen.

EISEN UND KOBALT STATT PLATIN Das Helmholtz-Zentrum Berlin beschäftigt sich seit etwa 15 Jahren mit der Entwicklung neuartiger Kathodenkatalysatoren für die Brennstoffzelle und hat im Rahmen dieser Arbeiten ein innovatives Konzept aufgegriffen, das seine Wurzeln in den 1960er Jahren hat und aus der Natur adaptiert wurde. Der Energiehaushalt aerober Lebewesen beruht ebenfalls auf dem Prinzip, Elektronen von einem energiereichen Brennstoff (hier Kohlenhydrate) auf Sauerstoff zu übertragen und die dabei freigesetzte Energie zu nutzen. In der Natur wird dieser Prozess in hochkomplexen miteinander gekoppelten Teilschritten in der so genannten Atmungskette der Mitochondrien realisiert. Als katalytische Zentren für die Elektronentransferprozesse nutzt die Natur dabei häufig Übergangsmetall-Chelat-Verbindungen (z. B. Porphyrine), die hochspezifisch orientiert in Proteinstrukturen eingebettet sind. So findet die Reduktion des Sauerstoffs in der Atmungskette an einem Eisen-Porphyrin-Zentrum innerhalb des Cytochrom-c-Oxidase-Komplexes statt.

Vor rund fünfzig Jahren begann man daher, systematisch zahlreiche Übergangsmetall-Chelat-Verbindungen (Porphyrine, Phthalocyanine) auf ihre Aktivität gegenüber der Sauerstoffreduktion zu testen. Dazu wurden die Verbindungen auf Kohlenstoffträgern adsorbiert und in elektrochemischen Laborversuchen untersucht. Diese metallorganischen Komplexe wiesen jedoch nur eine geringe Aktivität bezüglich der Sauerstoffreduktion und eine schnelle irreversible Zersetzung ihrer Chelatzentren auf. Das liegt daran, dass ein einziges isoliertes Chelatmolekül, das nicht an geeignete Elektronendonatoren gekoppelt ist, nicht genügend Elektronen bereitstellen kann, um Sauerstoff vollständig zu Wasser zu reduzieren. So beobachtet man an diesen Zentren vorwiegend nur eine Reduktion zum Wasserstoffperoxid, einem unerwünschten und chemisch aggressiven Nebenprodukt bei der Sauerstoffreduktion.

ÜBER PYROLYSE ZUM KATALYSATOR Einen bedeutenden Fortschritt erreichte man allerdings, indem man diese Übergangsmetallchelate einer Hitzebehandlung bei Temperaturen zwischen 600 °C und 800 °C unterzog. Ähnlich wie

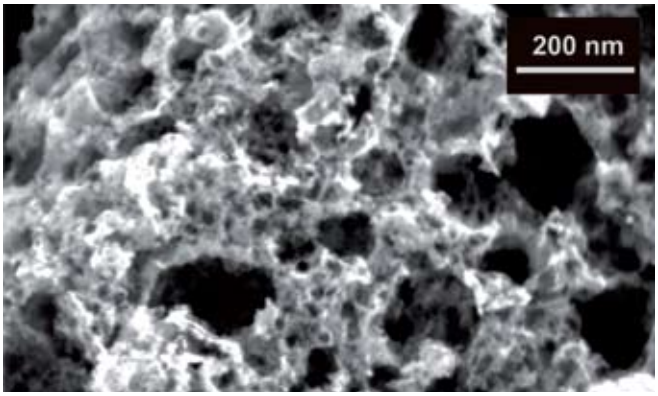


Abb. 2: Rasterelektronenmikroskopaufnahme der hochporösen Kohlenstoffstruktur

das Brot, das bei zu hohen Temperaturen im Ofen zu Kohle wird, wandeln sich auch die metallorganischen Precursoren (Vorläufersubstanzen) bei hohen Temperaturen in einen schwarzen leitfähigen Kohlenstoff um (Pyrolyse). Erstaunlicherweise zeigen diese Kohlenstoffe nun eine gute elektrochemische Aktivität und Stabilität bezüglich der direkten Reduktion von Sauerstoff zu Wasser, obwohl große Teile der molekularen Struktur des Precursors zerstört wurden.

Seit dieser Endeckung beschäftigen sich zahlreiche Arbeitsgruppen weltweit mit der Aufklärung der katalytisch aktiven Struktur im Kohlenstoff und der Optimierung der Pyrolyseprozesse, um die Stromdichten in einem Bereich für die technische Anwendung zu heben. Da die Pyrolyse der reinen Übergangsmetallchelate zu einem glasartigen unporösen Material mit geringer spezifischer Oberfläche führt, wurden verschiedene Techniken entwickelt, um die Oberfläche zu vergrößern. Eine etablierte Methode ist das Imprägnieren von hochporösen Kohlenstoffträgern mit geeigneten Eisen- oder Kobalt-Chelat-Precursoren und das anschließende Pyrolysieren in einem Inertgas bei hohen Temperaturen (700 – 900 °C). Über diese Technik werden dünne, katalytisch aktive Schichten auf der Oberfläche des Kohlenstoffträgers erzeugt. Obwohl dadurch eine deutliche Verbesserung der Leistungskennlinien erreicht werden konnte, weisen auch diese Materialien sowohl in elektrochemischen Experimenten als auch in Brennstoffzellentests noch nicht ausreichend hohe Stromdichten auf. Das Problem liegt in der noch zu geringen Konzentration katalytischer Zentren im Material. Auch eine Erhöhung des Anteils an metallorganischem Precursor bei der Imprägnierung der Kohlenstoffträger führt wiederum zur Versinterung und damit zu einer Verringerung der benötigten hohen spezifischen Oberfläche. Ein weiterer Nachteil dieser Methode liegt darin, dass die strukturelle Untersuchung der katalytisch aktiven Schicht durch Interferenzen mit dem darunter liegenden Kohlenstoffträger erschwert wird.

KOHLENSTOFFSCHAUM SORGT FÜR HOHE AKTIVITÄT

Hilfe könnte nun in Form einer neuen, innovativen Präparationsmethode kommen, die am Helmholtz-Zentrum enwickelt wurde und pyrolysiertes Kobalt- beziehungsweise Eisenporphyrin verwendet. Dabei wird das Porphyrin mit Eisenoxalat vermischt und in einer Temperaturrampe zwischen 400 °C und 800 °C pyrolysiert. Das Oxalat zerfällt ab 450 °C unter Abgabe von gasförmigen Kohlenoxiden zu nanoskalierten Eisen- und Eisenoxidpartikeln. Im gleichen Temperaturbereich schmilzt das Porphyrin und beginnt auf den Nanopartikeln zu karbonisieren. Durch die Gasfreisetzung beim Zerfall des Oxalats wird das Gemenge - ähnlich einem Teig mit Backpulver – ständig in Bewegung gehalten und aufgeschäumt. Nach der abgeschlossenen Pyrolyse (ca. 800 °C) wird der Ansatz abgekühlt. Die anorganischen Reaktionsprodukte des Oxalats werden über eine Säureätzung entfernt. Als Endprodukt erhält man dadurch einen hochporösen Kohlenstoff, der ausschließlich aus pyrolysiertem Porphyrin besteht und spezifische Oberflächen von bis zu 800 m^2/g aufweist (Abb. 2). Damit ist es gelungen, die aus der Natur bekannten molekular aufgebauten katalytischen Strukturen für Elektronentransferprozesse in eine technisch handhabbare und stabile Matrix zu überführen.

Nach der Optimierung der Prozessparameter gelang es, Katalysatoren herzustellen, die in elektrochemischen Experimenten Stromdichten in der Sauerstoffreduktion erreichen, die ähnlich hoch wie bei einem kommerziellen Platinkatalysator (10 wt-%, E-TEK) sind. Dazu werden nur einige Gewichtsprozente Kobalt oder Eisen im Katalysator benötigt. Dies verdeutlicht die hohe Aktivität der katalytischen Zentren für die Sauerstoffreduktion.

Neben dem Vorteil der hohen Aktivität bietet dieses Material zudem die Möglichkeit, grundlegende Untersuchungen zur Struktur und deren Einfluss auf die katalytische Aktivität durchzuführen, da kein extern zugesetzter Kohlenstoffträger stört. Physikalisch-chemische Analysen des HZB zeigten, dass das Metallchelatzentrum des Porphyrins (MeN_4) nach der Pyrolyse noch ganz oder teilweise vorhanden ist und in die Graphenebenen des Kohlenstoffs eingebaut wurde (s. Abb. 1). Durch Korrelation mit der elektrochemischen Aktivität konnten diese Zentren als katalytisch aktive Strukturen identifiziert werden. Die hohe Aktivität bezüglich der direkten Reduktion zu Wasser belegt, dass die Graphenebenen des Kohlenstoffs einen geeigneten Elektronendonator für das darin integrierte katalytische Zentrum darstellen. Strukturelle Parameter des umgebenden Kohlenstoffs (graphitische Anteile, Graphenebenenausdehnung und Dotierung mit Heteroatomen) beeinflussen dabei entscheidend die Aktivität in der Sauerstoffreduktion.

WEITERE FORSCHUNGEN Erste Tests zeigten allerdings, dass noch weitere Entwicklungsarbeit geleistet werden muss, um die hohe Aktivität vom Labor in die Brennstoffzelle übertragen zu können. Ein wesentlicher Punkt wird dabei sein, die Aggregatgrößen des porösen Kohlenstoffs deutlich zu reduzieren, damit geeignete Gasdiffusionselektroden hergestellt werden können. Dies soll durch den Einsatz moderner Techniken wie die mikrowellengestützte Pyrolyse und Niedertemparturplasmen erreicht werden.

Die hohe Aktivität dieser Katalysatoren wurde mittlerweile in einem internationalen Ringversuch bestätigt und das Verfahren patentiert (DE 10132490, erteilt am 12.4.2007). ||

Autor:
Dr. Peter Bogdanoff (vorne links)
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Berlin
→ Bogdanoff@helmholtz-Berlin.de

Thema: Katalyse | **Autor:** Matthias Tamm, Dirk Holschumacher |

WASSERSTOFFSPALTUNG DURCH FRUSTRATION

Effiziente metallfreie H_2-Aktivierung

Mithilfe von Katalysatoren können Chemiker Wasserstoff aktivieren, so dass dieser für verschiedenste chemische Reaktionen genutzt werden kann. Neben dem Einsatz in Brennstoffzellen ist Wasserstoff für viele Prozesse in der chemischen Industrie essentiell. Dabei kommen in der Regel teure Edelmetalle zum Einsatz. Eine Möglichkeit, die konventionellen Katalysatoren durch metallfreie Systeme zu ersetzen, besteht in der Kombination aus geeigneten Lewis-Säuren und Lewis-Basen, so genannten „frustrierten Lewis-Paaren".

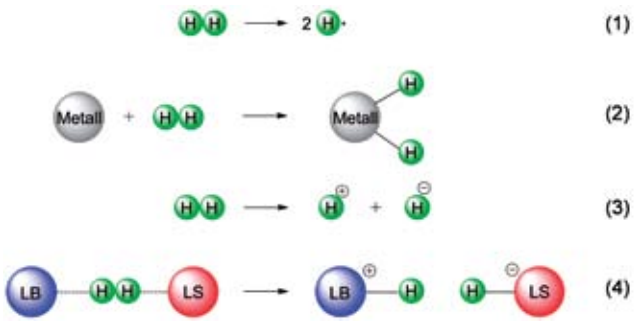
Die Verwendung von Wasserstoff für chemische Reaktionen und industrielle Prozesse wie Hydrierungen, Oxidationen, Reduktionen oder Polymerisationen erfordert dessen Aktivierung. Die Spaltung des Diwasserstoff-Moleküls (H_2) erfolgt dabei in der Regel *homolytisch* unter Bildung von zwei H-Atomen (s. Gleichung 1), welche an ein Metall beziehungsweise an eine Metalloberfläche gebunden werden (s. Gleichung 2). Alternativ kann das H_2-Molekül *heterolytisch* in ein positiv geladenes Proton (H^+) und ein negativ geladenes Hydridion (H^-) gespalten werden (s. Gleichung 3).

Prinzipiell arbeitet auch die Natur nach diesem Prinzip. Allerdings treten dort bei Reaktionen, die zum Beispiel durch Hydrogenasen katalysiert werden, keine freien Hydridionen, sondern nur deren Oxidationsprodukte (Protonen) zusammen mit Elektronen, auf.

FRUSTRIERTES LEWIS-PAAR Eine neue Methode der Wasserstoffaktivierung beruht auf dem Wechselspiel zwischen so genannten Lewis-Säuren (LS) und Lewis-Basen (LB). Diese üben aufeinander eine starke Anziehungskraft aus. Lewis-Basen verfügen dabei über freie Elektronenpaare, mit denen normalerweise eine Anlagerung an Lewis-Säuren unter Bildung sehr stabiler Verbindungen erfolgt (s. Abb. 1, links). Für manche Säure-Base-Paare ist allerdings eine solche *Schlüssel-Schloss-Kombination* aufgrund ihrer Größe und Bauweise unmöglich. Die Paare können dann nicht aneinander andocken (s. Abb. 1, rechts). Ein solches System nennt man „frustriertes" Lewis-Paar (FLP). Ein H_2-Molekül, das in diese spannungsgeladene Umgebung eingebracht wird, kann nun *heterolytisch* gespalten werden, wobei ein Proton (H^+) auf die Lewis-Base und ein Hydridion (H^-) auf die Lewis-Säure übertragen werden (s. Gleichung 4).

Als Pionier auf diesem Arbeitsgebiet gilt Douglas W. Stephan von der University of Toronto (Kanada). Er konnte im Jahr 2006 zeigen, dass die Kombination von sterisch anspruchsvollen (großen) Phosphanen und Boranen zu FLP-Systemen führt, mit denen die Wasserstoffspaltung bei Raumtemperatur und Normaldruck gelingt (s. Abb. 2, oben). Die Triebkraft für diese Reaktion ist der Drang zur Bildung von stabilen Phosphoniumborat-Salzen, da hierdurch der Zustand der Frustration aufgehoben wird.

Neben Phosphanen können auch andere Lewis-Basen wie zum Beispiel Amine verwendet werden. Als noch reaktivere Phosphanalternative gelten die vor einigen Jahren entdeckten stabilen, nukleophilen *Arduengo*-Carbene, die über ein sehr basisches Kohlenstoffatom mit einem freien Elektronenpaar verfügen. Wählt man nun sehr große Carbene



Gleichungen

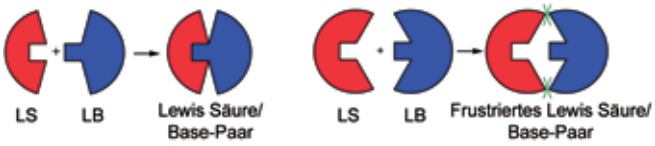


Abb. 1: Schematische Darstellung von Lewis-Säure/Base-Paaren

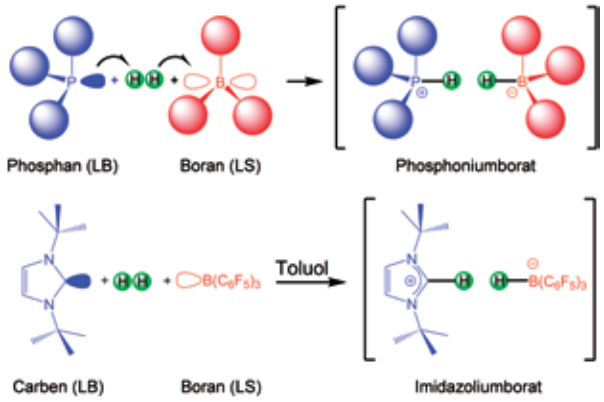


Abb.2: Wasserstoffaktivierung durch frustrierte Lewis-Paare

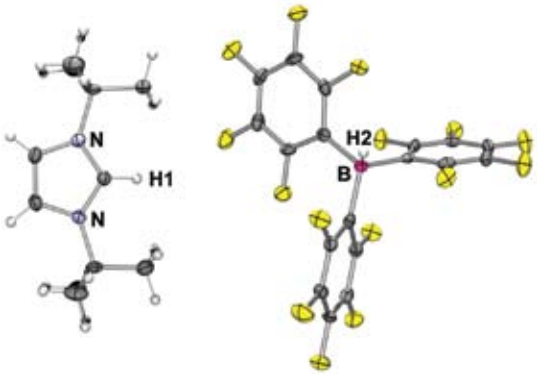


Abb.3. Kristallstruktur eines Imidazoliumborats (C grau, H weiß, Fluor gelb, Bor rot); H1 und H2 entstammen einem gespaltenen H_2-Molekül

aus, wie beispielsweise das abgebildete 1,3-Di-*tert*-butylimidazolin-2-yliden, sowie ein großes Boran, wie beispielsweise Tris(pentafluorphenyl)boran, $B(C_6F_5)_3$, so kann sich kein stabiles Lewis-Säure/Base-Paar ausbilden. Die Aktivierung und Spaltung von Diwasserstoff kann somit in Toluol-Lösung bereits bei sehr niedrigen Temperaturen unter Bildung eines Imidazoliumborats erfolgen (s. Abb. 2, unten).

Abbildung 3 zeigt die experimentell bestimmten Molekülstrukturen der gebildeten Imidazolium- und Borat-Ionen, die nach der H_2-Spaltung in luftstabiler, kristalliner Form vorliegen.

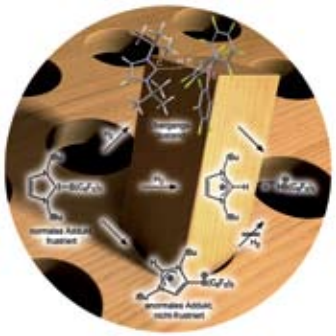


Abb. 4. Cover-Graphik der Zeitschrift Angewandte Chemie, Okt. 2008

EINE NUR KURZFRISTIGE LÖSUNG Im Oktober 2008 wurden diese Ergebnisse in der renommierten Fachzeitschrift *Angewandte Chemie* publiziert und durch Würdigung auf dem Titelbild besonders herausgestellt. Die Cover-Graphik (s. Abb. 4) dokumentiert die durchgeführte Reaktion und zeigt den Übergangszustand bei der Aktivierung eines H_2-Moleküls. Allerdings wird zusätzlich auch eine Problematik des verwendeten FLP-Systems beleuchtet: Unter dem Motto „was nicht passt, wird passend gemacht" illustriert die Graphik, dass die Lösung des frustrierten Lewis-Säure/Base-Paars in Abwesenheit von Wasserstoff nur für etwa zwei Stunden bei Raumtemperatur stabil bleibt. Unter Bildung eines anormalen Adduktes wird dabei die Frustration allmählich abgebaut und die Passungenauigkeit in der Bauweise ausgeglichen. Wasserstoff, der dann in die Lösung eingebracht wird, bleibt unbeeinflusst. Die Aktivität des Carben-Boran-Paares ist so hoch, dass in Abwesenheit einer spaltbaren H-H-Bindung eine Umlagerung unter C-H-Bindungsbruch erfolgt. Diese eigentlich unerwünschte Nebenreaktion weist auf die Möglichkeit hin, zukünftig mit derartigen Lewis-Paaren noch stabilere Bindungen spalten und beispielsweise auch die metallfreie C-H-Aktivierung und Funktionalisierung von Kohlenwasserstoffen erreichen zu können.

Aktuelle Arbeiten auf diesem Gebiet konzentrieren sich auf die Verwendung von Carbenen, bei denen die Bildung eines anormalen Adduktes unterbunden wird. Darüber hinaus muss für künftige katalytische Anwendungen die Umkehrung (Reversibilität) der H_2-Spaltung gewährleistet werden, um etwa die Übertragung von Wasserstoff auf organische Substrate und damit deren Hydrierung und Reduktion zu ermöglichen. Dabei erfolgt der H_2-Transfer in Analogie zur heterolytischen Aktivierung unter sukzessiver Bereitstellung von Protonen und Hydridionen.

Generell könnte die Entwicklung derartiger Verfahren unter Einsatz von frustrierten Lewis-Paaren helfen, zukünftig viele chemische Produkte kostengünstiger und nachhaltiger herzustellen, da auf den Einsatz teurer und toxischer Metallkatalysatoren verzichtet werden kann. ||

Literatur:

- *D. Holschumacher, T. Bannenberg, C. G. Hrib, P. G. Jones, M. Tamm, „Heterolytic H_2 Activation by a Frustrated Carbene-Borane Lewis Pair", Angew. Chem. 2008, 120, 7538-7542*
- *P. A. Chase, D. W. Stephan, „Hydrogen and Amine Activation by a Frustrated Lewis Pair of a bulky N-Heterocyclic Carbene and $B(C_6F_5)_3$", Angew. Chem. 2008, 120, 7543-7548*
- *D. W. Stephan, „Frustrated Lewis pairs: a concept for new reactivity and catalysis", Org. Biomol. Chem., 2008, 6, 1535-1539*
- *A. L. Kenward, W. E. Piers, „Heterolytische H_2-Aktivierung durch Nichtmetalle", Angew. Chem. 2008, 120, 38-42*
- *Angewandte Chemie, Jahrgang 2008, Heft 120 (39); Motto: „Was nicht passt, wird passend gemacht" (englisch: „Forcing a square peg into a round hole")*

Autoren:
Prof. Dr. Matthias Tamm (li.) und Dipl.-Chem. Dirk Holschumacher (re.) bei der Beobachtung einer FLP-basierten H_2-Aktivierung
Institut für Anorganische und Analytische Chemie
Technische Universität Braunschweig
→ m.tamm@tu-bs.de

Brennstoffzellen-Prüflabor

MAGNUM
Automatisierungstechnik GmbH

Bunsenstrasse 22, D - 64293 Darmstadt
Tel. 06151-802-500, Fax -600

Ihr Partner

für Messdienstleistungen
und
Lieferant von kompletten
Brennstoffzellen-Testständen

Kontakt: Dr. Z. Lemes

http:\\ www.magnum.de

Thema: Projekte | **Autor:** K. Andreas Friedrich, Mathias Schulze, Andrea Haug

DAUERHALTBARKEIT VON POLYMERBRENNSTOFFZELLEN

Das EU-geförderte Verbundprojekt DECODE

Brennstoffzellen sind für eine Vielzahl von technischen Anwendungen von großem Interesse, ihr Problem ist jedoch ihre noch unzureichende Lebensdauer. Für Fahrzeuganwendungen wird eine Betriebsdauer von 5.000 Stunden innerhalb von zehn Jahren mit hohen dynamischen Anforderungen benötigt, für Hausenergiesysteme im gleichen Zeitraum sogar eine Betriebsdauer von 40.000 bis 80.000 Stunden. Die Lebensdauer ist eines der Schlüsselthemen für die kommerzielle Einführung von Brennstoffzellensystemen. In dem von der EU geförderten Projekt DECODE (Understanding of Degradation Mechanisms to Improve Components and Design of PEFC) wird diese Problematik speziell für den Automobilsektor systematisch bearbeitet.

Nach dem heutigen Stand der Forschung sind viele verschiedene chemische Prozesse bekannt, die in Polymer-Brennstoffzellen zu einer Verringerung der Lebensdauer führen (s. Ursachen). Die einzelnen Degradationsprozesse werden durch die Betriebsbedingungen in der Brennstoffzelle bestimmt, wobei die tatsächlichen funktionalen und kausalen Zusammenhänge meist unbekannt sind. Die endgültige Lebensdauer der Brennstoffzelle ergibt sich aus dem Zusammenspiel der einzelnen Degradationsprozesse. Bekannt ist jedoch, dass das Wassermanagement innerhalb der Zelle eine wesentliche Rolle bei der Degradation spielt, die Degradation selbst aber auch deren Wasserhaushalt beeinflusst. Ein Beispiel hierfür ist die Degradation des Polytetrafluorethylens (PTFE), das für die hydrophoben (wasserabweisenden) Eigenschaften der Elektroden verantwortlich ist. Aus wissenschaftlicher Sicht sind hier noch sehr viele Fragen offen.

URSACHEN FÜR DEGRADATION:

- Agglomeration der Katalysatoren
- Veränderung der Zusammensetzung der Katalysatoren
- Zersetzung des Kohlenstoffträgers der Katalysatoren
- Veränderung der hydrophoben Eigenschaften der Brennstoffzellenkomponenten
- Zersetzung der Elektrolytmaterialien
- Vergiftung des Elektrolyten
- Korrosion der Bipolarplatten
- weitere strukturelle Veränderungen

PROJEKTZIELE Bei DECODE sollen die Auswirkungen der verschiedenen Degradationsprozesse inklusive ihrer Wechselwirkung mit der flüssigen Wasserphase in der Brennstoffzelle abgeschätzt werden. Ebenso soll auch der Einfluss der Betriebsbedingungen bestimmt und verstanden werden. Hierzu wird auch der Einfluss der Alterungsprozesse auf die Leistungsfähigkeit der Zellen und ihr Betriebsverhalten insbesondere auf den Wasserhaushalt untersucht. Ein weiteres Ziel ist die Entwicklung von Zeitraffertests für die verschiedenen Degradationsprozesse. Auf diese Weise sollen einzelne Komponenten einer beschleunigten Alterung unterzogen werden, um Materialalternativen, die im Rahmen des Projektes getestet werden sollen, näher analysieren zu können.

Die Erkenntnisse über die einzelnen Prozesse und deren Wechselwirkungen untereinander sollen in ein Modell zur Lebensdauervorhersage einfließen, das sowohl die einzelnen Degradationsprozesse als auch die Betriebsbedingungen berücksichtigt. Mit diesen Informationen sollen dann verbesserte Betriebsstrategien entwickelt werden, die eine höhere Lebensdauer und Zuverlässigkeit ermöglichen. Dafür sollen sowohl die optimierten Materialien als auch die verbesserten Betriebsstrategien unter Berücksichtigung der speziellen Erfordernisse bei automobilen Anwendungen experimentell überprüft und verifiziert werden.

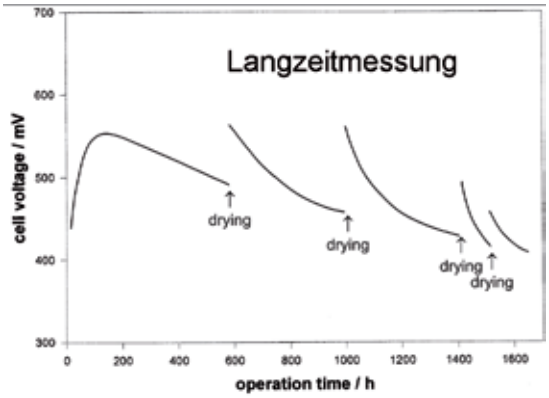


Abb. 1: Spannungsverluste über 2.000 Betriebsstunden

GLIEDERUNG DECODE gliedert sich in insgesamt drei Phasen und sieben Arbeitspakete (s. Abb. 2):

1. Definitionsphase
2. analytische Phase
3. Verbesserungsphase

In der ersten Phase – der Spezifikations- und Definitionsphase – werden Materialien und Betriebsbedingungen festgelegt. Die Schwierigkeiten hierbei sind die Auswahl der für die automobilen Anwendungen relevanten Betriebsbedingungen sowie die Auswahl von Materialien und Proben, die den Stand der Technik repräsentieren. Die zweite Phase des Projekts – die analytische Phase – stellt den Schwerpunkt des Projekts dar. In ihr werden die einzelnen Degradationsprozesse, deren Auswirkungen und Wechselwirkungen als Grundlage für die dritte Phase untersucht.

Die dritte und letzte Phase ist die Verbesserungsphase. In dieser Projektstufe werden die gewonnenen Erkenntnisse verwendet, um technologische Prozesse zu generieren. Dieses technologische Wissen basiert auf dem Verständnis der individuellen Degradationsmechanismen und deren Wechselwirkungen. Weiterhin wird in dieser Phase mit der Lebensdauerprognose von Brennstoffzellen eine neue Methode entwickelt, welche eine Erhöhung der Stabilität von Brennstoffzellen in Bezug auf verbesserte beziehungsweise neu entwickelte Materialien verspricht.

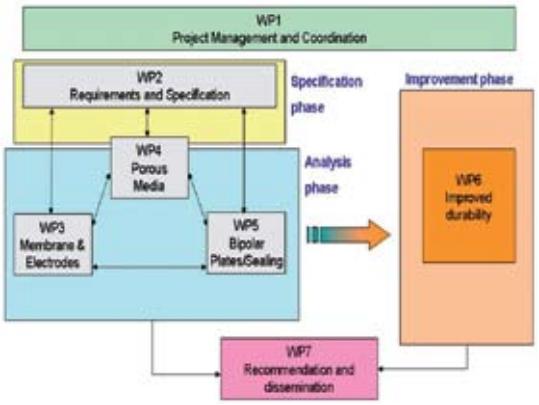


Abb. 2: Struktur des DECODE-Projekts

Die Arbeitspakete sind in die jeweiligen Phasen integriert und bilden einzelne Organisationseinheiten. Das erste Arbeitspaket umfasst das Projektmanagement und die Koordination von DECODE. Die Teilnehmer in diesem administrativen Teil sind für die Leitung des Projekts zuständig und koordinieren den zeitlichen Ablauf, die Kosten, die Treffen der Partner, die Kommunikation mit der EU-Kommission, Austausch der Daten usw.

Das zweite Arbeitspaket deckt die Definitionsphase ab. Die Arbeiten in der analytische Phase sind in drei Arbeitspaketen organisiert, die sich mit Degradationsprozessen der verschiedenen Komponenten der Brennstoffzelle, der mit dem Katalysator beschichteten Membran (CCM = catalyst coated membrane) inklusive deren Einzelkomponenten, der Gasdiffusionslage (GDL) mit der mikroporösen Schicht (MPL) und den Stackkomponenten (Bipolarplatten und Dichtungen) befassen. Die Arbeiten zur dritten Phase, der Verbesserungsphase, werden im Arbeitspaket 6 organisiert. Das siebte Arbeitspaket hat die Veröffentlichung der Ergebnisse des Projektes zur Aufgabe.

ANALYSEN UND MODELLIERUNG Zur Erreichung der Projektziele werden im Projekt verschiedene Methoden und Vorgehensweise eingesetzt. Mit Hilfe von Ex-situ-Untersuchungen sollen die verschiedenen Degradationsprozesse und -mechanismen untersucht und aufgeklärt werden. Dabei ist geplant, die Brennstoffzellen und deren Komponenten vor und nach der Alterung in den Brennstoffzellen mit zahlreichen Methoden bezüglich der chemischen Zusammensetzung und der Struktur zu charakterisieren und die einzelnen durch die Degradation hervorgerufenen Veränderungen zu bestimmen. Zusätzlich werden auch einzelne Brennstoffzellenkomponenten außerhalb der Brennstoffzelle belastet, um dabei ausgewählte Degradationsprozesse gezielt zu beschleunigen. Die Ex-situ-Untersuchungen erlauben zwar eine sehr detaillierte Analyse der Degradationsprozesse, aber häufig keine quantifizierbare Aussage über deren Einfluss im Brennstoffzellenbetrieb.

Daher sind auch In-situ-Untersuchungen an Einzelzellen und an Shortstacks notwendig. Mit den verschiedenen In-situ-Methoden wie zum Beispiel der Messung von Strom-Spannungs-Kennlinien und Stromdichteverteilungen werden die Brennstoffzellen bezüglich der Leistungsfähigkeit und des Verhaltens charakterisiert und die Veränderung bestimmt. Dadurch können die Effekte der Degradationsprozesse bezüglich der Leistungsfähigkeit quantifiziert werden.

Als dritte Methode wird die Simulation und Modellierung der Vorgänge in der Brennstoffzelle eingesetzt. Ein Schwerpunkt ist die Simulation und Modellierung der Degradationsprozesse und der Prozesse, die die verschiedenen Degradationsprozesse verursachen. Ein weiterer Schwerpunkt ist das Verständnis der Transportvorgänge, insbesondere in der Gasdiffusionsschicht und der mikroporösen Schicht, die mit verschiedenen Modellansätzen beschrieben werden sollen. Als Eingangsgrößen für die Modellierung werden die experimentellen Daten der In-situ- und Ex-situ-Charakterisierung der Brennstoffzellenkomponenten und der Degradationsprozesse genutzt. Die Simulation der Prozesse in den Brennstoffzellen hilft, sowohl die Degradationsprozesse als auch den Einfluss der Mikrostruktur in der GDL und MPL auf den Wasserhaushalt und auf die Degradation besser zu verstehen. Die Modellierung der Degradation ist natürlich auch wesentlich für die Lebensdauervorhersage.

Die verschiedenen Methoden und Vorgehensweisen – In-situ-, Ex-situ-Charakterisierung und Modellierung – ergänzen sich und ermöglichen erst in der Kombination die Erreichung der Projektziele. ||

EU-FÖRDERPROGRAMM

Die EU fördert das Verbundprojekt DECODE mit dem Ziel, die Lebensdauer der Brennstoffzellen insbesondere bei automobilen Anwendungen zu erhöhen. Elf Partner aus Deutschland, Frankreich, Schweden, Italien und Belgien sind an diesem auf 39 Monate ausgelegten Vorhaben beteiligt. Das Gesamtbudget dieses vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) koordinierten Projekts beträgt rund 5,7 Mio. Euro, wovon 3,7 Mio. aus EU-Fördermitteln stammen.

→ *http://decode-project.eu/*

Autoren:

Prof. Dr. K. Andreas Friedrich
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Technische Thermodynamik, Stuttgart
→ *Andreas.Friedrich@dlr.de*
[Foto: Tobias Renz FAIR-PR]

Dr. Mathias Schulze
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Technische Thermodynamik, Stuttgart

Andrea Haug
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Technische Thermodynamik, Stuttgart

Thema: Projekte | **Autor:** Christian Bach, Peter Schlienger

HY.MUVE – DIE SCHWEIZ BEWEGT

Wasserstoffbetriebenes Kehrfahrzeug

Wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen werden seit längerer Zeit als mögliche Antriebsquelle für die zukünftige Mobilität diskutiert. Die Kombination von nachhaltig – also kohlenstofffrei oder zumindest kohlenstoffarm und ohne Verbrauch endlicher Ressourcen – erzeugtem Wasserstoff und einem elektrischen Fahrzeugantrieb mit hohem Wirkungsgrad ist verlockend, technisch jedoch anspruchsvoll und vom Betrieb her mit einigen Umstellungen (z. B. Sicherheitsvorkehrungen, Betankung) verbunden. Daher spielen bei der Markteinführung von Wasserstoffantrieben geeignete Nischenanwendungen eine wichtige Rolle. Im Projekt *hy.muve* (hydrogen-driven municipal vehicle) entwickeln die Projektpartner ein Kompaktkehrfahrzeug mit Wasserstoffantrieb. Das Fahrzeug soll ab März 2009 mehrere Monate zunächst in Basel im Rahmen des Projektes *Erlebnisraum Mobilität* als Teil der Aktivitäten der 2000-Watt-Pilotregion Basel erprobt werden und anschließend in St. Gallen sowie in zwei weiteren Schweizer Pilotregionen zum Einsatz kommen.

Die Automobilkonzerne und die Zulieferindustrie arbeiten mit enormem Mitteleinsatz an der Entwicklung von Wasserstoffantrieben. Die Branche rechnet heute mit einem Serienstart (d.h. 200 bis 500 Einheiten pro Jahr) in den Jahren 2012 bis 2015. Prognosen zu konkreten Antriebskosten sind jedoch nach wie vor mit großen Unsicherheiten behaftet. Sie werden im kommenden Jahrzehnt sicherlich noch über denen von Verbrennungsmotoren liegen. Auch die Bereitstellung und Verteilung von Wasserstoff wird in den nächsten Jahren erst in wenigen Fällen konkurrenzfähig sein.

VOM LABOR AUF DIE STRASSE Wasserstoffbetriebene Kommunalfahrzeuge haben den Vorteil, dass sie bereits mit einer einzigen H_2-Tankstelle sinnvoll eingesetzt werden können. Zudem eignen sich Brennstoffzellen aus energetischer Sicht wegen des hohen Niedriglastanteils sehr gut für derartige Anwendungen.

Neben der Entwicklung und Realisierung des Kehrfahrzeuges ist aber auch dessen Zulassung für die entsprechenden Behörden wie auch für das Projektteam eine Herausforderung, da Zulassungsbestimmungen in der Schweiz fehlen. In enger Zusammenarbeit mit der Vereinigung der schweizerischen Straßenverkehrsämter (asa) konnte jedoch ein Zulassungskonzept erarbeitet werden, das die Sicherheit des Fahrzeugbetriebs gewährleistet und zudem eine Wissensaneignung im Bereich der Zulassung von Wasserstofffahrzeugen hervorbrachte. Schließlich waren auch die Betankung und das Abstellen des Fahrzeuges in einem beheizten Raum zu klären. Auch hier arbeitet das Projektteam eng mit den lokalen Baubehörden, SUVA, Feuerwehr und Feuerpolizei, dem Sicherheitsinstitut Basel, den Betreibern und dem Wasserstofftankstellenhersteller und Wasserstofflieferanten Messer Schweiz AG zusammen. Dabei soll ein Sicherheitskonzept umgesetzt werden, wie es auch für eine spätere definitive Lösung realisiert werden könnte.

Der insgesamt rund 1,5-jährige Einsatz des Fahrzeuges in drei bis vier verschiedenen schweizerischen Städten hat zum Ziel, Erfahrungen mit dem Fahrzeug im ganz normalen Betrieb zu sammeln. Dieser Einsatz wird durch eine sozioökonomische Begleitforschung des Paul-Scherrer-Instituts und der Universität Bern begleitet. Diese Studien sollen aufzeigen, wie nicht-technische Hürden bei der Einführung von Wasserstofffahrzeugen gemeistert werden können.

BZ IM KEHRBETRIEB Kehrfahrzeuge sind in der Regel mit einem Dieselmotor ausgerüstet, der die Antriebskraft über einen ausgeklügelten Hydraulikantrieb an den Fahrantrieb und die Nebenantriebe für Bürsten, Sauger und Lenkung verteilt.

In einem ersten Schritt im Rahmen von hy.muve wurde daher der Wirkungsgrad der einzelnen Komponenten des dieselbetriebenen Fahrzeuges analysiert. Dabei hat sich gezeigt, dass sich eine signifikante Verbesserung des Wirkungsgrads durch den Ersatz eines Teils des hydraulischen Antriebs durch elektrische Antriebe realisieren lässt. Zusammen mit dem Ersatz des Dieselmotors durch ein wasserstoffbetriebenes Brennstoffzellensystem konnte der Energieverbrauch des Fahrzeuges trotz Mehrgewichts um fast 50 Prozent reduziert werden.

Kommunalfahrzeuge für die Straßenreinigung weisen zwei unterschiedliche Betriebsarten auf, die sich grundlegend unterscheiden: die hochlastige Dislokationsfahrt (z. B. vom Depot zum Einsatzgebiet) und die niedriglastige, langsame Reinigungsfahrt. Diese Einsatzprofile wurden mit Hilfe eines so genannten Längsdynamikmodells am Computer simuliert, um verschiedene Antriebskonzepte miteinander vergleichen und die einzelnen Komponenten optimieren zu können. Das für die Umsetzung gewählte Antriebskonzept bestand schließlich aus dem Ersatz des Dieselmotors durch ein Brennstoffzellen-Batteriesystem und dem Ersatz eines Teils des hydraulischen Antriebs durch elektrische Antriebe. Dank der deutlich niedrigeren Verluste des gewählten wasserstoffbasierten Antriebs und der Hybridisierung durch ein Batteriesystem konnte die Nennleistung der Brennstoffzelle

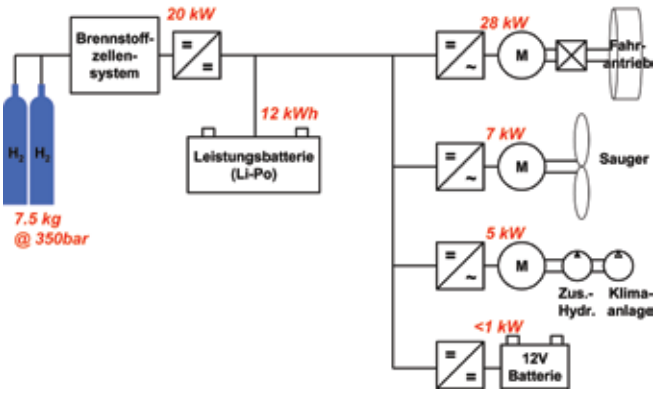


Abb. 1: Antriebskonzept des Projektfahrzeugs

Abb. 2: Hinterwagen mit BZ-System (Rot), Kühlung (Blau) und Luftansaugung (Grün)

gegenüber dem Dieselmotor reduziert werden, ohne dass sich die Fahrleistungen verminderte. Die Wasserstoffspeicherung in Druckgasflaschen wurde so ausgelegt, dass das Kehrfahrzeug mit einer Betankung für mindestens sechs Stunden ohne Nachtanken betrieben werden kann.

Das Fahrzeug verfügt über ein elektrisches Traktionsbordnetz, gestützt mit einer 300-V-Lithium-Polymer-Leistungsbatterie, das in Kombination mit dem Fahrzeugsteuergerät für einen zuverlässigen und sicheren Betrieb aller Aggregate auf dem Fahrzeug und einen optimalen Energienachschub aus der Brennstoffzelle sorgt. Für die Realisierung des Projektfahrzeuges mussten vom Projektpartner Bucher Schörling in Zusammenarbeit mit der Empa und Proton Motor umfangreiche Packagingstudien und -optimierungen durchgeführt werden, um alle Komponenten im Fahrzeug unterbringen zu können (Abb. 2). Neben den rein betrieblichen Überlegungen musste auch ein Konzept entwickelt werden, das die Sicherheit bei Störungen oder Fehlmanipulationen bis hin zu Unfällen gewährleistet.

VERNETZTES PROJEKT Nebst seiner eigentlichen Aufgabe, der Straßenreinigung, dient das Fahrzeug während der 18-monatigen Praxiserprobung für verschiedene Gruppen auch als Forschungsobjekt. Erstens wird die Technologie sowie die aus dem realen Betrieb resultierende Bauteilalterung untersucht und das Längsdynamikmodell validiert, zweitens bearbeitet eine Arbeitsgruppe nicht-technische Fragestellungen zum Einsatz des Fahrzeuges im Rahmen sozio-ökonomischer Untersuchungen. Dabei geht es um Fragen zur Akzeptanz von Wasserstoff als Treibstoff oder um marktwirtschaftliche Fragen. Das Projekt soll diese neue Technologie in der Praxis im wahrsten Sinne des Wortes „erfahrbar" machen und die Planung und Realisierung von lokalen Wasserstofftankstellen für weitere mobile Anwendungen anregen.

Am vom Kompetenzzentrum für Energie und Mobilität des ETH-Bereichs (CCEM) und den Projektpartnern finanzierten hy.muve-Projekt sind zahlreiche Institutionen beteiligt, unter anderem Forschungsgruppen der Empa, des PSI und der Universität Bern, der Kommunalfahrzeughersteller Bucher Schörling, der Brennstoffzellensystemanbieter Proton Motor Fuel Cell GmbH, der Elektroantriebshersteller BRUSA Elektronik AG und der Wasserstofftankstellenhersteller und Wasserstoffanbieter Messer Schweiz AG sowie Energie- und Umweltfachstellen des Kantons Basel-Stadt und der Stadt St. Gallen sowie Novatlantis, die Nachhaltigkeitsinitiative im ETH-Bereich. ||

Autoren:

Christian Bach
EMPA Materials Science and Technology,
Dübendorf/Schweiz
→ Christian.Bach@empa.ch

Peter Schlienger
EMPA Materials Science and Technology,
Dübendorf/Schweiz
→ Peter.Schlienger@empa.ch

Thema: Entwicklung | **Autor:** Sven Bornbaum, Stefan Geiß |

INTEGRIERTE BAUWEISE

Firmenkonsortium entwickelt „echte" Bipolarplatte

Abb. 1: Fertige „echte" Bipolarplatte mit integrierter Dichtung [Quelle: Schunk]

Die Montage von PEM-Brennstoffzellen-Stacks ist mit dem bisherigen Stand der Technik ein mühsames Unterfangen. Insbesondere bei BZ-Systemen mit Flüssigkeitskühlung gibt es Probleme bei der herkömmlichen Sandwichbauweise. Bei jeder Einzelzelle müssen mit Hilfe von zwei separaten Platten insgesamt drei Medien gegeneinander abgedichtet werden: Brennstoff, Luft und Kühlflüssigkeit. Dies führt mitunter zu erheblichen Dichtigkeitsproblemen. Im Rahmen einer Entwicklungskooperation haben sich daher die beiden Komponentenhersteller Freudenberg FCCT KG und Schunk Kohlenstofftechnik zusammengetan, um ein so genanntes *Kühlmodul* zu konzipieren.

Beim Zusammenbau von Einzelzellen für wassergekühlte PEM-Brennstoffzellen werden die zwei Bipolarplatten mit den aktiven Flow Fields (Fließfeldern) für Wasserstoff und Luft so aufeinander gelegt, dass sich zwischen ihnen ein weiteres Fließfeld für die Kühlflüssigkeit befindet. Zur Abdichtung der verschiedenen Medien werden heute üblicherweise immer noch lose Dichtungen verwendet. Für jede Einzelzelle fallen dabei bis zu 20 Einzeldichtungen an. Wird ein Brennstoffzellenstapel aus 50 oder mehr Einzelzellen montiert, summiert sich diese Anzahl zu einer unüberschaubaren Menge. Durch die Vielzahl der Einzelkomponenten bei einem solchen Aufbau leidet jedoch neben der Reproduzierbarkeit auch die Dichtigkeit. Häufig müssen die manuell fertig montierten Stacks nach einer negativ ausgefallenen Dichtheitsprüfung wieder zerlegt werden, da sich eine der vielen losen Komponenten verschoben hat oder Bauteiltoleranzen von Nut, Gasdiffusionslage (GDL) und Dichtring ungünstig aufsummieren. Eine Massenfertigung ist unter diesen Rahmenbedingungen nicht möglich, was einen wesentlichen Hemmschuh bei der Kostensenkung von Brennstoffzellen darstellt.

NEUER KOMPONENTENVERBUND Der Dichtungshersteller Freudenberg und der Hersteller von Bipolarplatten aus Graphitformpressmassen Schunk haben bereits zuvor vielfach konstruktiv zusammengearbeitet. So wurde schon im Jahr 2001 eine profilierte Dichtlippe per Spritzgussverfahren auf einer gepressten Bipolarplatte aus Graphit-Composite verliersicher integriert. Seit 2004 ist diese Entwicklung in den Feldtestanlagen von Hausenergieversorgungssystemen der Baxi-Innotech GmbH in der Anwendung und arbeitet dort zuverlässig. Diese bisherige erfolgreiche Zusammenarbeit wurde jetzt auf eine weitere Technologieplattform ausgeweitet. Die neue Aufgabenstellung lautete: Herstellung einer Komponente, die als Verbund von zwei fertig gepressten Bipolarplatten mit allen notwendigen Dichtungen für eine wesentliche Verbesserung der Montagefreundlichkeit und Fertigungssicherheit beim Aufbau von PEM-Stacks sorgt.

Das jetzt neu konzipierte Kühlmodul besteht zunächst aus zwei voll strukturiert formgepressten Bipolarplatten, die Schunk aus einer im Hause entwickelten Pressmasse herstellt. Diese beiden Halbplatten werden bei Freudenberg in ein Spritzgusswerkzeug eingelegt und so gegeneinander verpresst, dass sich dazwi-

schen das Flowfield für das Kühlmittel und außen die beiden aktiven Flächen befinden. Anschließend wird in die eingeprägten Nuten ein Elastomer gespritzt. Durch diesen Vorgang werden die beiden Halbplatten zu einer „echten" Bipolarplatte mit internem Kühlfließfeld zusammengefügt und sämtliche Dichtungen, die für die spätere Stackmontage benötigt werden, in einem einzigen Arbeitsschritt integriert. Dabei werden nicht nur die Dichtungen für die Reaktionsräume, sondern zeitgleich auch die für alle Medienzuführungen der Prozessgase und für alle Kühlmittel führenden Bereiche des Stacks hergestellt. Die profilierten Dichtlippen gewährleisten ein zuverlässiges Abdichten auch bei sehr großen Toleranzen der übrigen Stackbauteile, ohne dass es zu mechanischer Überlast oder Plattenbruch kommen kann.

Abb. 2: Schnittkante der verpressten Bipolarplatte [Quelle: Schunk]

VIELE VORTEILE Die Fertigungstechnik für die Platten und auch für die Dichtung sind wegen der plastischen Formgebung massenfertigungstaugliche Verfahren, was insbesondere bei größeren Produktionsmengen zu einem deutlichen Kostensenkungspotential führt. Als Ergebnis steht dem Stack-Monteur ein Bauteil zur Verfügung, das bereits auf Dichtheit geprüft wurde und problemlos abwechselnd mit einer entsprechend konditionierten Membran-Elektroden-Einheit (MEA) gestapelt werden kann. Dies stellt eine wesentliche Vereinfachung bei der Stackmontage dar.

Die Kombination von fertig gepressten Bipolarplatten mit profilierten Dichtungen ergänzt sich besonders gut, da der Übergang von gefrästen auf gepresste Platten in aller Regel mit einem leichten Anstieg der Bauteiltoleranzen einhergeht. Diese Maßschwankungen können von einer konturierten Lippe wirkungsvoll abgefangen werden, so dass eine zuverlässige Abdichtung besonders für seriell hergestellte Komponenten erreicht wird. Insbesondere die Integration der Dichtung auf der Platte stellt für den Zusammenbau des Stacks eine weitere wesentliche Vereinfachung dar, da kein biegeschlaffes, filigranes Bauteil aus einer Nut verrutschen kann. Da das Kühlmodul die Anzahl der zu handhabenden Bauteile nochmals drastisch reduziert, ermöglicht es eine effiziente, reproduzierbare und fertigungssichere Montage von Zellstapeln und ebnet einer potenziellen Massenfertigung den Weg. Die Erhöhung der Fertigungssicherheit und die Reduktion der Komponentenanzahl beim Zusammenbau von Stacks sind wichtige Schritte zur Kommerzialisierung von Brennstoffzellensystemen.

KOOPERATION MIT VIESSMANN Im Rahmen des öffentlich geförderten Projektes „Erdgasbetriebene PEM-Brennstoffzellen-Hausenergieversorgungsanlage HEVA III" wurde die Technologie des Kühlmodules am Beispiel des Bipolarplattendesigns der Viessmann Werke GmbH & Co. entwickelt (BMWI: Förderkennzeichen: 0327751). Nach der Verifikation der Basistechnologie mit sehr positiven Ergebnissen hinsichtlich Herstellsicherheit der Module, Montagefreundlichkeit der Stacks und Performance auf dem Prüfstand werden sich die Projektpartner nun als Abschluss des Projektes einem Dauertest widmen. Gemeinsam mit SolviCore werden die Partner Freudenberg, Schunk und Viessmann einen Stack aus Kühlmodulen aufbauen und auf einem Dauerprüfstand in Betrieb nehmen. ||

F-CELL AWARD

Für diese Entwicklung erhielt das Konsortium aus Freudenberg, Schunk und Viessmann im Herbst 2008 den *f-cell Award* in Gold (s. HZwei Okt. 2008). In der Begründung der Jury wurde die Innovationshöhe des Kühlmoduls herausgestellt. Die integrierte Baugruppe ermögliche es durch kostengünstige sowie qualitätsgesicherte Herstellbarkeit, die Lebensdauer und Funktionssicherheit der Brennstoffzelle wesentlich zu erhöhen. Nach Meinung der Jury könne dies zu signifikanten Kosteneinsparungen führen und somit den Aufbau einer Wertschöpfungskette in Deutschland wesentlich beschleunigen.

Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) Sven Bornbaum
Schunk Kohlenstofftechnik GmbH, Heuchelheim
→ sven.bornbaum@schunk-group.com

Dr. Stefan Geiß
Freudenberg FFCCT KG, Weinheim
→ stefan.geiss@freudenberg.de

Forum
Nachhaltig Wirtschaften

Lösungen jetzt
statt Utopien morgen!

Seien auch Sie dabei:
redaktion@forum-csr.net
089 / 74 66 11 - 22

Das Entscheider-Magazin für nachhaltiges Wirtschaften und Corporate Social Responsibility

Die unabhängige Plattform vernetzt TOP-Entscheider aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Non-Profit.

www.forum-csr.net

Thema: Entwicklung | **Autor:** Nadine van der Schoot

EINBLICKE IN BRENNSTOFFZELLEN WÄHREND DES BETRIEBS

Experimentelle Strömungsuntersuchungen

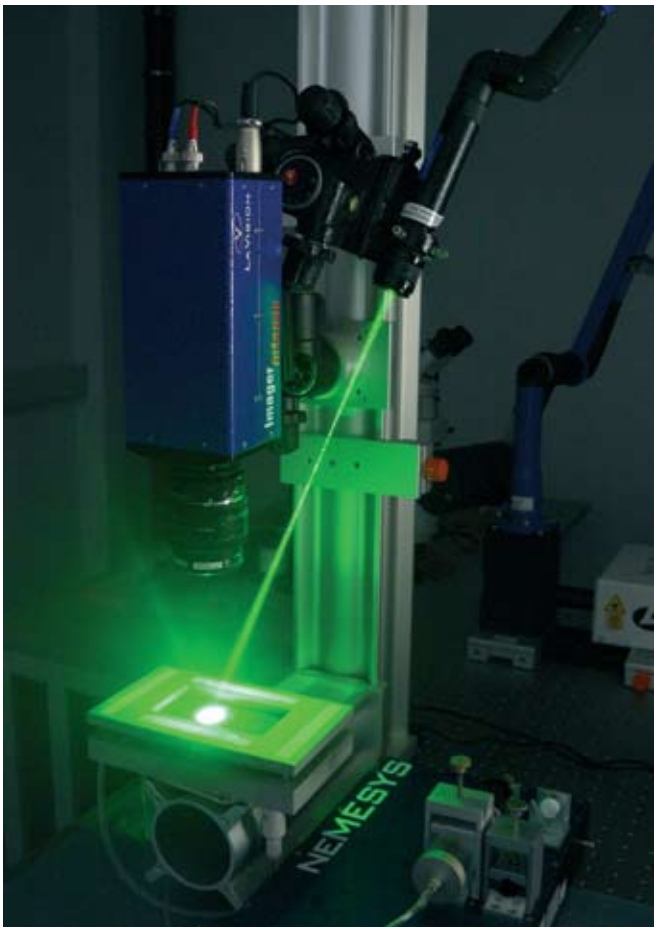


Abb. 1: Particle Image Velocimetry Versuchsaufbau

Um die Leistungsfähigkeit von Brennstoffzellen stetig zu verbessern und ihnen als Energiewandler zur Marktreife zu verhelfen, werden heutzutage verschiedenste Untersuchungsmethoden herangezogen. Dazu gehören beispielsweise Impedanzspektroskopie, UI-Kennlinien und 3D-Simulationsrechnungen. Mit deren Hilfe und theoretischen Überlegungen wird das Design der Brennstoffzelle ausgelegt. Allerdings können mit den verfügbaren experimentellen Werkzeugen noch nicht alle Parameterannahmen validiert werden. Außerdem lassen sich wegen der komplexen Modelle jeweils nur einzelne Zellen berechnen, trotz der heute verfügbaren Hochleistungsrechner. Experimentelle Strömungsuntersuchungen in Brennstoffzellen sind bisher noch wenig bekannt, obwohl die Brennstoffzellenleistung maßgeblich von einem homogenen Fluss über die Elektrodenfläche abhängt. Derartige experimentelle Untersuchungen können unter anderem die direkte Überprüfung der Homogenität des Strömungsverlaufes im Flowfield einer Bipolarplatte ermöglichen. Somit ließe sich die Verweilzeiten der Reaktanden auf der aktiven Elektrodenoberfläche bestimmen und damit die Flowfieldstruktur optimieren. Eine experimentelle, optische Messtechnik, um diese Strömungen zu charakterisieren, ist die *Particle Image Velocimetry (PIV).*

Die Particle Image Velocimetry ist eine berührungslose, laseroptische Messmethode, um Gas- oder Flüssigkeitsströmungen zu visualisieren und zu quantifizieren. Sie wird schon seit Jahren in der Automobiltechnik sowie im Flugzeug- und Schiffsbau eingesetzt. Gegenüber anderen Strömungsmessmethoden eignet sie sich dazu, quantitative Aussagen zu gewinnen. Es können sowohl zwei- als auch dreidimensionale Strömungsbilder mit hoher örtlicher Auflösung erstellt werden.

PIV-TECHNIK Dazu wird das zu untersuchende Medium mit Tracerpartikeln geimpft, die mit dem Fluid mitfließen. In kurzen Zeitintervallen wird der Messbereich mit einem aufgeweiteten Laserstrahl flächig beleuchtet und digital fotografiert (s. Abb. 1). Durch Vergleich zweier aufeinander folgender Bilder kann anhand des zurückgelegten Weges der Tracer und des zeitlichen Abstands der Laserpulse die Geschwindigkeit der Partikel ermittelt und daraus ein Strömungsfeld berechnet werden.

In den Anfängen dieser Methode wurden die Bilder analog auf Film aufgezeichnet. Die damaligen Kameras waren zu langsam, weshalb mehrere Belichtungen in einem Bild abgebildet werden mussten, um den Weg der Tracerpartikel verfolgen zu können. Heute wird fast ausschließlich mit der Double-Frame-/ Single-Pulse-Technik, also einem Paar jeweils einfachbelichteter Bilder, gearbeitet, wobei jeder Frame von einem einzelnen Laserpuls auf einer CCD-Kamera belichtet wird. Die Digitalisierung dieser Technik wurde 1993 erstmals von J. Westerweel[1] beschrieben und hat sich anschließend als praxistaugliches Instrument etabliert.

Besonders in der Mikro-PIV, also in Kanälen kleiner 1 mm, arbeitet man bevorzugt mit Partikeln, die mit einem Fluoreszenzfarbstoff beschichtet sind. So wird die Sichtbarkeit der Partikel, die für die zu untersuchenden Mikrokanäle üblicherweise einen Durchmesser von einigen Nanometern bis wenigen Mikrometern haben, erhöht. Bei diesem Prinzip regt Laserstrahlung im sichtbaren grünen Bereich den Farbstoff an, der infolge dessen rotes Fluoreszenzlicht emittiert. Die durch einen Fluoreszenzfilter aufgenommenen Bilder werden nur mit dem Fluoreszenzlicht belichtet. Das reflektierte grüne Licht wird von dem Filter subtrahiert. Durch diese Markierung heben sich die Partikel deutlich vom Hintergrund ab.

PROBLEME UND MÖGLICHKEITEN Mit PIV können zurzeit nur Mikroströmungen mit Wasser als Modellsubstanz analysiert werden. Dies lässt zunächst einen Vergleich zwischen verschiedenen Bipolarplattendesigns hinsichtlich der Geschwindigkeitsverteilung flüssiger Reaktanden über die Elektrodenoberfläche zu. Umrechnungen über die Reynoldszahl liefern auch die entsprechenden Strömungsgeschwindigkeiten für Gase. Nach einer erforderlichen Weiterentwicklung des PIV-Messverfahrens sollen auch Strömungsmessungen in der Gasphase und

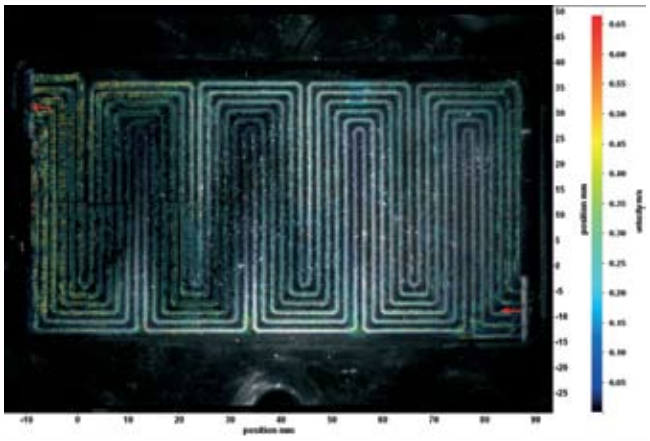


Abb. 2: Strömungsprofil einer spritzgegossenen Bipolarhalbplatte

an Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen während des Betriebs durchgeführt werden, um auch den Einfluss der elektrochemischen Reaktion auf die Strömung berücksichtigen und die lokalen Änderungen analysieren zu können.

Die Schwierigkeit besteht einerseits darin, in der in Betrieb befindlichen Zelle einen optischen Zugang zu finden, der die chemischen und elektrischen Abläufe der Zelle nicht beeinflusst. Andererseits müssen für eine PIV-Messung in Gas geeignete Tracerpartikel gefunden werden, die dem Strömungsverlauf folgen und die Brennstoffzellenfunktion nicht stören. Das Problem der Zugänglichkeit kann im einfachsten Fall durch die Präparierung einer lokalen Öffnung gelöst werden, die mit einem Glasdeckel verschlossen wird. Um die Bedingungen in der Brennstoffzelle so wenig wie möglich zu verändern, besteht die Möglichkeit, das Deckglas mit einem oxidischen, elektrisch leitfähigen und durchsichtigen Material zu beschichten. So können die Ladungsträger, die innerhalb der Zelle erzeugt werden, auch am eigentlichen Ort der Messung abfließen. Nur so ist es möglich, Effekte, die innerhalb der Zelle ablaufen und sich auf die Verteilung und die Geschwindigkeit des Gasflusses auswirken, zu erfassen.

Die speziell für Mikro-PIV in Gassystemen ausgewählten Partikel sollten der Strömung folgen und nicht an Kanalwänden haften bleiben. Außerdem müssen die Tracer in das zu messende System eingekoppelt werden. Inzwischen gibt es einige Gruppen und Forschungsinstitute, die Gasphase-PIV-Messungen an Glasmodellen in Millimeter-Kanälen realisiert haben.[2], [3], [4] Zur Markierung der Gasströmung wurden fluoreszierende Ölpartikel (0,5 bis 2 µm) beziehungsweise Rauchpartikel (< 1 µm) verwendet. Diese Partikel kommen für die Verwendung in einer Brennstoffzelle, die sich in Betrieb befindet, nicht in Betracht. Sie würden die chemischen Abläufe beeinflussen und zur Degradation der Zelle führen. Deshalb soll die Particle Image Velocimetry am Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) unter Verwendung fluoreszierender Feststoffpartikel weiterentwickelt werden.

FORSCHUNG AM ZBT Als erster Schritt wurden bei einer spritzgegossenen Standard-Bipolarhalbplatte mit Kanalgrößen im Millimeterbereich die Kanäle geöffnet, mit Hilfe eines Glasdeckels wieder verschlossen und ein Zu- beziehungsweise Abfluss geschaffen. So sind die Kanalstrukturen der Brennstoffzelle freigelegt und der Fluss optisch einsehbar. Diese ersten Versuche erfolgten mit einer mit fluoreszierenden Partikeln angereicherten Flüssigkeit. Das aus sechs Einzelmessungen zusammengesetzte Strömungsprofil dieses Flowfields ist in Abbildung 2 zu sehen. Die verschiedenfarbigen Vektorpfeile zeigen verschiedene Geschwindigkeiten an. Dadurch, dass die Glasplatte nur auf die Bipolarhalbplatte aufgelegt und nicht mit dieser verklebt ist, gibt es Bypassströmungen zwischen den Kanälen, das heißt die Stege werden überströmt. In einer realen Brennstoffzelle findet ebenfalls eine Überströmung der Stege statt, da sich zwischen Membran-Elektroden-Einheit und Bipolarhalbplatte eine poröse Gasdiffusionslage (GDL) befindet. So ist es möglich, dass die Strömung zum Teil den kürzeren Weg über die Stege wählt und einige anderen Bereiche unterversorgt werden. Dies erkennt man an den höheren Geschwindigkeiten am Rand des Flowfields und den niedrigeren in der Mitte. In den inneren Kanälen mit dem kleinsten Krümmungsradius wurde ebenfalls eine niedrigere Geschwindigkeit gemessen als in den äußeren Kanälen. Im Hintergrund ist ein Fluoreszenzfoto der Bipolarplatte zu sehen. In den mit Wasser gefüllten Kanal strömen fluoreszierende Partikel. Die Platte ist zum Zeitpunkt der Bildaufnahme noch nicht vollständig befüllt, so dass die inhomogene Verteilung durch die Überströmung der Kanäle zu sehen ist.

Zudem wurden am ZBT bereits Versuche mit Direktmethanolbrennstoffzellen (DMFC) durchgeführt. Feststoff-Tracer folgen einer Flüssigkeitsströmung idealer als einer Gasströmung, deshalb ist eine PIV-Messung im flüssigen Medium wesentlich einfacher. So konnte die Methanolflussgeschwindigkeit im Anodenkanal mit hoher örtlicher Auflösung gemessen werden[5]. Sie verhält sich aufgrund der hohen Volumenänderung durch die Gasentwicklung (CO_2 durch die Oxidation des Methanols) instationär. Die Entstehung der Kohlendioxidblasen auf der Elektrode kann direkt beobachtet werden.

Die Anwendung von PIV-Messungen auf in Betrieb befindliche PEM-Brennstoffzellen erfordert in Zukunft weitere Forschung und Entwicklung. Das Zentrum für BrennstoffzellenTechnik wird auf diesem Weg vom Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. Duisburg und von Prof. Jerry Westerweel der Technischen Universität Delft unterstützt. ||

Literatur:

- *[1] Westerweel, J., Dissertation, Delft University Press, Delft (1993)*
- *[2] Yoon, S. Y., Ross, J. W., Mench, M. M., Sharp, K. V., Journal of Power Sources 160 (2006) 1017-1025*
- *[3] Sugii, Y., Okamoto, K., Proceedings of ICNMM2006 96216 (2006)*
- *[4] Grega, L., Mc Garry, M., Journal of Fuel Cell Science and Technology, Vol. 4 (2007) 272-279*
- *[5] van der Schoot, N., Lindken, R., Westerweel, J., GALA Fachtagung „Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik“, Karlsruhe (2008)*

Autorin:

Dipl.-Phys. Nadine van der Schoot
Zentrum für BrennstoffzellenTechnik gGmbH, Duisburg
→ n.vanderschoot@zbt-duisburg.de

Thema: Interview | **Interviewpartner:** Werner Tillmetz

NEUES TECHNOLOGIEZENTRUM IN ULM

Interview mit Werner Tillmetz, ZSW

Prof. Dr. Werner Tillmetz

Erst vor wenigen Wochen, im September 2008, hat in Duisburg am Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) die Einweihung eines Fertigungstechnikums stattgefunden. Gerade mal 43 Tage später lud auch das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg (ZSW) zur Inbetriebnahme ihres neuen *Technologiezentrums für Hochleistungsbatterien und Brennstoffzellen* ein. Braucht Deutschland tatsächlich zwei - wie es zunächst aussieht - ähnlich ausgerichtete BZ-Fertigungshäuser? Und was genau wurde dort in Ulm aufgebaut? Diese Fragen beantwortet uns Prof. Dr. Werner Tillmetz, Vorstandsmitglied des ZSW.

HZwei: Sehr geehrter Herr Prof. Tillmetz, als Leiter des Geschäftsbereiches Elektrochemische Energietechnologien am ZSW können Sie uns sicherlich kurz erläutern, worum es sich bei diesem neuen am 28. Oktober 2008 eingeweihten Gebäude eigentlich handelt.

Tillmetz: Mit diesem Gebäude konnten wir unsere bestehende Infrastruktur rund um die Themen Batterie- und Brennstoffzellenforschung deutlich ausweiten. Wir haben dort beispielsweise Anlagen zur Entwicklung der Herstelltechnologie von Lithium-Ionen-Batterien aufgebaut und auch unser Testfeld für Brennstoffzellen ausgeweitet und modernisiert.

HZwei: Warum ist denn dieser Neubau notwendig geworden? Hatten Sie im ZSW einfach keinen Platz mehr oder ging es auch um die Erweiterung Ihres Tätigkeitsbereiches?

Tillmetz: Die Themen Li-Ionen-Batterie und Brennstoffzelle haben in den letzten Jahren in der Industrie und auch in der Politik enorm an Bedeutung gewonnen. Mit unserer 20-jährigen Erfahrung und Expertise sind wir ein gefragter Partner bei der Entwicklung und Erprobung neuer Technologien – von der Materialforschung über Komponentenoptimierung bis zur Systemtechnik und zur Durchführung von Sicherheitstests. Und für all diese Aufgaben haben die bestehenden Gebäude einfach nicht mehr ausgereicht.

HZwei: Was für Geräte, Maschinen oder Forschungsinstrumente wurden jetzt dort installiert?

Tillmetz: Einerseits haben wir unser Prüffeld für Brennstoffzellen ausgebaut, um den Kundenwünschen nach Lebensdaueruntersuchungen und Optimierung von Betriebsbedingungen noch besser nachkommen zu können. Andererseits sind wir dabei, unsere Kompetenz rund um das Thema Zelltechnologie und Herstellverfahren für Li-Ionen-Batterien auszubauen. Wir haben die dafür notwendigen Maschinen und Apparaturen aufgebaut und werden in Kürze Prototypen von Li-Ionen-Batterien mit fortschrittlicher Zellchemie herstellen können.

HZwei: Können Sie uns das vielleicht noch anhand von Zahlen untermalen? Wie groß ist Ihr Anbau und wie viele Techniker werden dort arbeiten?

Tillmetz: Das neue Gebäude bietet uns mehr als 1.000 m^2 neue Technikums- und Laborflächen und wird von mehr als 20 Mitarbeitern der unterschiedlichsten Qualifikationen benutzt.

HZwei: Und – wenn man fragen darf – wie viel hat der ganze Spaß gekostet?

Tillmetz: In der Summe hat das deutlich mehr als eine Millionen Euro gekostet und wurde zum größten Teil von uns selbst finanziert.

HZwei: Nach dem, was Sie bereits bis jetzt über das neue Test-, Applikations- und Assemblierungszentrum (TAZ) in Duisburg erfahren haben, erklären Sie uns doch bitte, wodurch sich die beiden Einrichtungen voneinander unterscheiden.

Tillmetz: Im TAZ gibt es einige Themen, die wir derzeit nicht bearbeiten – wie zum Beispiel flexible Montagelinien. Andere Themen wie In-situ-Analytik oder beschleunigte Lebensdaueruntersuchungen spielen beim ZSW schon lange eine wichtige Rolle. Diese Themen sind aber so wichtig, dass sich hier durchaus mehrere Forschungsinstitute damit befassen sollten.

HZwei: Wussten Sie denn zu Beginn der Bauvorhaben überhaupt, dass zeitgleich in Duisburg ein ganz ähnliches Bauvorhaben läuft?

Tillmetz: Nein – die Planung für unser Gebäude begann vor etwa drei Jahren. Das hätte aber auch keinerlei Einfluss auf unsere Planung gehabt. Es besteht keine Konkurrenzsituation.

HZwei: Wann haben Sie denn zum ersten Mal vom TAZ gehört?

Tillmetz: Die konkreten Details habe ich mit der Einladung zur Einweihung erfahren.

HZwei: Was war da Ihr erster Gedanke?

Tillmetz: Das ist ein toller Erfolg für unsere Kollegen und Freunde in Duisburg. Ich begrüße ausdrücklich den Ausbau der Brennstoffzellenaktivitäten am ZBT. Wir brauchen in Deutschland einen Aufbau der Brennstoffzellenexpertise, um den Herausforderungen der Zukunft begegnen zu können. Hier agiert die Landesregierung in NRW sehr weitsichtig.

Das neue Technologiezentrum in Ulm [Quelle: ZSW]

HZwei: Haben Sie sich denn inzwischen darüber schon mal mit Frau Prof. Heinzel vom ZBT unterhalten? Besteht die Möglichkeit, die thematischen Schwerpunkte so zu setzen, dass die Überschneidung so gering wie möglich gehalten wird?

Tillmetz: Wir unterhalten uns regelmäßig, und es gibt auch einige Projekte, in denen ZSW und ZBT zusammenarbeiten. Die Aufgaben rund um das Thema Brennstoffzelle sind enorm umfangreich und vielfältig. Daher ist eine Arbeitsteilung häufig sinnvoll und zielführend. Wir am ZSW haben beispielsweise über viele Jahre sehr erfolgreich Brennstoffzellen für die Hausenergieversorgung optimiert. Aktuell kommen viele Themen aus der Automobilanwendung dazu. Beim ZBT stehen Brennstoffzellen für die Bordstromversorgung (APU) und die dazugehörende Reformertechnologie im Vordergrund.

HZwei: Was mich ehrlich gesagt erstaunt hat, war, dass die Einweihung dieses nicht gerade kleinen Anbaus von Ihrer Seite nicht sonderlich groß publiziert wurde. Sie haben Ende Oktober 2008 zu einem – wie es in den ZSW-Meldungen stand – „Minisymposium" eingeladen und bei der Ankündigung nur am Rande erwähnt, dass zeitgleich die Inbetriebnahme eines nagelneuen, millionenschweren Gebäudetraktes vorgenommen wird. Warum diese Tiefstapelei?

Tillmetz: Das liegt nun mal in der Natur der Schwaben: Wir haben keine Zeit zum reden und feiern – wir kümmern uns lieber um technische Lösungen für unsere Kunden und Partner. Hierzu vielleicht ein kleine Analogie aus der Historie: Das Ulmer Münster ist deutlich höher als der Kölner Dom – nur alle vermuten das Gegenteil. Aber beide genießen weltweites Ansehen.

HZwei: In Ordnung. Zum Schluss würde mich noch interessieren, wie Sie als Fachmann sowohl für Batterien als auch für Brennstoffzellen den gemeinsamen Markt einschätzen. Gibt es hier eine Konkurrenzsituation oder profitieren diese beiden Techniken vielleicht sogar jeweils vom Vorhandensein der anderen Technik?

Tillmetz: Beide Technologien ergänzen sich sehr gut. Brennstoffzellen sind Energiewandler, die von der hohen Energiedichte des Brennstoffes (Wasserstoff, Methanol, Flüssiggas etc) profitieren. Batterien sind Energiespeicher, die kurzfristig sehr hohe Leistungen zur Verfügung stellen. Das richtige Hybridisierungskonzept entscheidet über den Erfolg.

HZwei: Herr Tillmetz, herzlichen Dank für dieses Gespräch.

→ *www.zsw-bw.de*

- **Wasserstoff**
- **Infrastruktur**
- **Brennstoffzellen**

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

Kontakt: www.dwv-info.de / (0700) 49376-835

DWV
Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband

Opel zeigt seine Brennstoffzellenautos in Berlin ... DWV: Elektromobilität ist die Zukunft des PKW ... Parlamentarischer Abend des DWV zeigt politische Rückendeckung für Wasserstoff und Brennstoffzellen

Thema: Autos | **Autor:** Sven Geitmann

LEITMARKT FÜR ELEKTROMOBILITÄT

BMW stellt Mini-E-Testwagenflotte vor

Mini E [Quelle: BMW Group]

Die drei großen deutschen Automobilkonzerne BMW, Daimler und Volkswagen haben jetzt endgültig ihre lang erwartete Aufholjagd auf die asiatischen Mitbewerber gestartet. Am 25. November 2008 präsentierten sie in Berlin gemeinsam mit Bundesverkehrsminister Wolfgang Tiefensee und Bundesumweltminister Sigmar Gabriel während der *Nationalen Strategiekonferenz Elektromobilität* ihre Pläne für eine sauberere, strombetriebene Zukunft. Das gemeinsame Ziel lautet: 1 Mio. Elektroautos auf deutschen Straßen bis 2020. BMW und Vattenfall Europe stellten bei dieser Gelegenheit ihr neues E-Modell vor, den *Mini E*, der gerade erst während der Auto-Show in Los Angeles Weltpremiere gefeiert hatte und von dem ab 2009 rund 50 Exemplare in der Bundeshauptstadt in einem Alltagsversuch erprobt werden sollen.

Nach Wochen der Negativschlagzeilen ist wieder etwas Leben in die deutsche Automobilindustrie gekommen. Mit dem *Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität* prescht sie jetzt rechts an den Brennstoffzellenfahrzeugen vorbei, die nun schon seit Jahren nicht so recht von der Stelle kommen. Unterstützung finden die Autobauer gleich bei vier verschiedenen Bundesministerien, die zusammen den jetzt in Berlin erstmals vorgestellten Entwicklungsplan konzipierten, der noch Ende des Jahres dem Bundeskabinett vorgelegt werden sollte. Damit soll eine Bündelung der Kräfte von Wirtschaft, Wissenschaft und Politik erreicht werden, um Deutschland in den kommenden zehn Jahren zum Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln.

BMW STARTET ›MINI E BERLIN‹ Ein erster Schritt ist das Projekt *Mini E Berlin – powered by Vattenfall*, das Norbert Reithofer, Vorstandschef von BMW, gemeinsam mit Tuomo Hatakka, dem Vorstandsvorsitzenden der Vattenfall Europe AG, und Umweltminister Sigmar Gabriel vorstellte. Ziel dieses Feldversuchs ist, weitere Erkenntnisse im Bereich der Elektromobilität zu sammeln, wobei Praxistauglichkeit und Nutzerakzeptanz im Mittelpunkt stehen.

Bei dem Versuchsträger handelt es sich um einen umgebauten Mini Cooper, der mit einer Lithium-Ionen-Batterie sowie einem 150 kW starken Elektromotor bestückt wurde. Die kurzzeitig erreichbare Spitzengeschwindigkeit liegt bei 152 Stundenkilometern. Die Reichweite beträgt bei sparsamer Fahrweise 250 Kilometer, bevor dann die insgesamt 5.000 Einzelakkus, die anstelle der Rückbank eingebaut wurden, zweieinhalb Stunden lang wieder aufgeladen werden müssen. Im Frühjahr soll die konkrete Umsetzung dieses Vorhabens beginnen. Reithofer sagte zu seinen Beweggründen: „Wir wollen nun wissen, wie normale Kunden ein Elektrofahrzeug im Alltag einsetzen."

Lokal verursacht der Elektro-Mini keinerlei Schadstoffemissionen, und auch die Betankung soll sauber sein. Die Energielieferung erfolgt mit Ökostrom, der von Vattenfall Europe an rund 50 zentral gelegenen Stromsäulen bereitgestellt wird. Aber auch die Akkuaufladung an der heimischen Steckdose sei möglich, heißt es. Hatakka erklärte: „Jeder, der ein Elektrofahrzeug nutzt, kann an diesen Ladesäulen jederzeit sein Fahrzeug aufladen. Wir unterstützen damit ausdrücklich die bereits angekündigten Projekte anderer Unternehmen."

NUTZUNG VON WINDENERGIE Bestandteil des Flottenversuches ist auch die Analyse, wie der Ladvorgang von Elektrofahrzeugen die Volatilität der Windenergie ausgleichen kann. Vattenfall Europe will dafür ein intelligentes Netzmanagementsystem entwickeln, um Ladevorgänge an die Schwankungen im Energieangebot anpassen zu können. Das gesamte Projekt wird von der TU Chemnitz, der TU Berlin und der TU Ilmenau wissenschaftlich begleitet. Darüber hinaus plant BMW, 50 weitere Fahrzeuge im Großraum London und 500 in den USA einzusetzen. Erster praktischer Einsatzort war im Dezember 2008 der UN-Klimagipfel in Poznan, Polen, wo BMW zwei Mini E zu Präsentationszwecken und 21 Hydrogen 7 im Shuttle-Betrieb verwendete.

Verkehrsminister Tiefensee sagte in Berlin: „Autos, die ausschließlich mit fossilen Energiequellen fahren, sind langfristig Auslaufmodelle. Elektrofahrzeugen mit Batterie und Brennstoffzelle gehört die Zukunft." Umweltminister Gabriel erklärte: „Nur mit Ökostrom wird ein Elektroauto zum echten Nullemissionsfahrzeug. Beide Zukunftstechnologien gehören zusammen, zumal die Batterien geparkter Elektrofahrzeuge perspektivisch in das Stromnetz eingebunden werden können und so als Pufferspeicher für die schwankenden Energieeinträge aus Windkraftanlagen und Solarkraftwerken dienen."

UNZUFRIEDENE AUTOLOBBY Im Rahmen des Entwicklungsplans geht es sowohl um die gezielte Förderung der Batterieforschung als auch um die Schaffung von Anreizen für eine frühzeitige Markteinführung. Auf dem Gebiet der Lithium-Ionen-Batterie hat sich bereits ein Industriekonsortium verpflichtet, in Zukunft 360 Mio. Euro für die weitere Forschung und Entwicklung zu investieren. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) wird in den nächsten vier Jahren für diese Technologie 60 Mio. Euro zur Verfügung stellen. Dies reicht den Autolobbyisten allerdings nicht aus. Matthias Wissmann, Vorsitzender des Verbands der Automobilindustrie (VDA) und ehemaliger Bundesverkehrsminister, erklärte: „Der Staat muss mehr tun" und verwies darauf, dass die von der Bundesregierung angebotenen Forschungsmittel wie in Japan deutlich größer sein müssten.

Mutmaßungen über ein deutschlandweites Batterieprogramm ähnlich dem Nationalen Innovationsprogramm (NIP) hatte es bereits in den vergangenen Wochen gegeben. Erste konkrete Anregungen dazu hatte der Parlamentarische Staatssekretär Ulrich Kasparick Mitte September 2008 gege-

ben, als er über Steuerbefreiungen für Elektrofahrzeuge sprach und erklärte: „Wir leben in einer Zeitwende: Das Öl geht zu Ende. Wir müssen Mobilität völlig neu denken: Ohne Öl.“ Er verkündete weiterhin, dass es einen Gesetzentwurf gäbe, nach dem E-Autos ab dem Tag der erstmaligen Zulassung über mehrere Jahre von der Steuer befreit sein würden.

Dr. Norbert Reithofer, Vorstandsvorsitzender der BMW AG, und Sigmar Gabriel, Bundesumweltminister (v.l.) [Quelle: BMW Group]

DAIMLER PLANT E-MOBILITY BERLIN Der Mitbewerber Daimler betreibt bereits ein ähnliches Projekt in London. Seit Juli 2007 fahren in der britischen Hauptstadt 100 *smart fortwo electric drive* im Fuhrpark ausgewählter Kunden. Da diese batterieelektrisch betriebenen Modelle emissionsfrei durch die Innenstadt fahren, entfällt bei ihnen die ansonsten übliche *Congestion Charge* von acht britischen Pfund pro Tag. Darüber hinaus planen die Stuttgarter gemeinsam mit dem Energieversorger RWE für Ende 2009 das Projekt *e-mobility Berlin*, bei dem mehr als 100 Elektrofahrzeuge der Marken smart und Mercedes-Benz eingesetzt werden sollen. RWE plant dafür die Aufstellung von rund 500 eigenen Ladestationen im Stadtgebiet Berlins. Wissenschaftliche Unterstützung bekommt Daimler dabei von dem Karlsruher Institut für Technologie, mit dem Forschungskooperation *Projekthaus e-drive* betrieben wird, um verloren gegangenes Terrain gegenüber den asiatischen Mitbewerbern schnellstmöglich wieder wettzumachen. Auch Volkswagen will sich zusammen mit E.ON an dem Flottenversuch in Berlin beteiligen und präsentierte seinen *Golf TwinDrive*, ein Plug-In-Hybridantrieb der nächsten Generation, der ab 2010 in Berlin unterwegs sein soll. Wulf H. Bernotat, der E.ON-Vorstandsvorsitzende, erklärte: „Ob wir eines Tages elektrisch betriebene Autos fahren werden, ist längst nicht mehr die Frage – sondern nur noch wann.“ General Motors beabsichtigt alles erst einmal in der Theorie durchzuspielen und verkündete Mitte Dezember, gemeinsam mit Iberdrola eine Machbarkeitsstudie über die Errichtung einer Infrastruktur mit Aufladestationen für Plug-In-Elektrofahrzeuge anfertigen zu wollen.

LOB UND KRITIK Die Umweltschutzorganisation Greenpeace argumentierte hingegen: „Wer ernsthaft Klimaschutz betreiben will, kann nicht mit Energiekonzernen wie Vattenfall und RWE kooperieren, die sich dem Klimaschutz konsequent verweigern und weiterhin klimaschädliche Kohlekraftwerke bauen." Greenpeace rechnete vor, dass der Elektro-Mini rund 15 Kilowattstunden auf 100 Kilometer verbrauche, woraus sich bei dem derzeitigen durchschnittlichen CO_2-Ausstoß pro Kilowattstunde von Vattenfall Emissionen von 133,5 Gramm CO_2 pro Kilometer ergeben. Dietmar Schütz, Präsident des Bundesverbandes Erneuerbare Energie (BEE), lobte hingegen die hohe Effizienz von Elektromotoren und erklärte: „Je mehr Strom wir mit erneuerbaren Energien produzieren, desto klimafreundlicher wird das Elektrofahrzeug. Je mehr Elektrofahrzeuge am Netz sind, desto besser lassen sich erneuerbare Energien in die Stromversorgung integrieren.“

Der Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik (VDE) teilte kurz vor Weihnachten in Berlin mit, als Antriebstechnik sei auf lange Sicht eine Kombination aus Batterien und Brennstoffzellen mit Wasserstoff zu favorisieren. ||

BETTER PLACE

Die beiden großen Probleme von Elektrofahrzeugen sind die geringe Reichweite und die lange Aufladedauer. Mit Hilfe von Batteriewechselstationen will Shai Agassi, ehemaliges SAP-Vorstandsmitglied, den Ladevorgang auf unter drei Minuten verkürzen und dadurch die Reichweite erhöhen. Außerdem sollen Fahrten mit E-Mobilen durch ein neues Abrechnungsverfahren deutlich günstiger werden. Robert F. Kennedy jun. forderte, nicht die großen amerikanischen Automobilkonzerne sondern stattdessen die *Better-Place*-Initiative von Agassi zu unterstützen, da hierdurch Arbeitsplätze geschaffen, Emissionen reduziert und Ölressourcen geschont werden könnten. Nach dem Beitritt Kaliforniens zu dieser Initiative im November 2008 verkündete Agassi in San Francisco, in der Bay-Region solle eine Infrastruktur für E-Mobile innerhalb der nächsten Jahre aufgebaut werden. Ginge es nach ihm, könnten ab 2012 erste Better-Place-Fahrzeuge in Australien, Amerika, Dänemark und Israel emissionsfrei durch die Städte fahren.

SGL GROUP ist einer der weltweit führenden Hersteller von Produkten aus Kohlenstoff

Zwei Komponenten für Brennstoffzellen
Fuel Cell Components der SGL Group fertigt SIGRACET® Gasdiffusionsschichten (GDL) in drei unterschiedlichen Stärken als Standardrollenware bis 450 mm Breite (hydrophobiert, mit Mikrolayer-Beschichtung) für alle bekannten PEM- und DMFC-Brennstoffzellen.

Bei Fragen kontaktieren Sie bitte Herrn Nico Haak.

FC EXPO 2009, 5th International Hydrogen & Fuel Cell Expo
February 25 - 27, 2009 West Halls, Tokyo Big Sight, Japan,
Booth number FC4-40

SGL GROUP
THE CARBON COMPANY
Fuel Cell Components
SGL TECHNOLOGIES GmbH
Werner-von-Siemens-Straße 18
86405 Meitingen
Telefon +49 8271 83-3360
Telefax +49 8271 83-1427
fuelcellcomponents@sglcarbon.de

Broad Base.
Best Solutions.

Thema: Autos | **Autor:** Sven Geitmann

„SO WIRD DIE ZUKUNFT AUSSEHEN“

Opel präsentiert CEP-Testwagenflotte

Wolfgang Tiefensee, Bundesverkehrsminister, und Carl-Peter Forster, Präsident von GM Europe (v.l.)

Einen Tag nach der Nationalen Strategiekonferenz Elektromobilität hat Opel zehn HydroGen4-Modelle vorgestellt, die ab 2009 in Berlin bei neun Unternehmen im Alltagsbetrieb erprobt werden sollen. Mit einem großen Medienaufgebot und viel politischer Prominenz läutete der Automobilkonzern in seiner Hauptfiliale in der Friedrichstraße damit die zweite Projektphase der Clean Energy Partnership (CEP) ein. Als erster Testfahrer startete Wolfgang Tiefensee, der Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwickelung, zu einer Proberunde.

Insgesamt 100 Exemplare des HydroGen4 sollen im Rahmen des *Projects Driveway* in den USA, Japan, Korea, China und Deutschland zum Einsatz kommen (s. HZwei Jan. 2007). In Berlin werden Mitarbeiter von neun großen ausgesuchten Firmen, die als Partner je ein Auto mit passender Lackierung ausgehändigt bekamen, als Testfahrer fungieren (ADAC, Allianz, Axel Springer, Coca Cola, Hilton, Linde, Schindler, Total und Veolia). In Amerika bekamen bereits 30 Familien die Gelegenheit, das Fahrzeug für zwei bis drei Monate im Alltag zu testen. Insgesamt wurde mit der HydroGen4-Testwagenflotte schon eine Strecke von 700.000 km zurückgelegt. Und selbst der Weihnachtsmann wurde Ende 2008 in einem solchen Gefährt gesehen.

„Aus mittlerer und langer Sicht kommt der Strom aus der Brennstoffzelle. Wir glauben daran.“ Diese Worte von Dipl.-Ing. Carl-Peter Forster, dem Präsidenten von GM Europe, verdeutlichten, dass General Motors und Opel zwar an der Brennstoffzellentechnik festhalten wollen, dass deren Entwicklung bis zur Marktreife aber noch einige Zeit dauern wird. Dazu hatte Karl Mauer, Kommunikationsdirektor für den Opel-Technologiebereich, bereits im Vorwege erklärt: „Niemand hat den Anspruch erhoben, kurzfristig den Wasserstoffantrieb marktgängig zu machen.“ Deswegen arbeite Opel auch parallel noch an Erdgas-, Bioethanol- und reinen Elektrofahrzeugen. Der batteriebetriebene Chevrolet Volt soll ab 2011 erhältlich sein.

Unterstützung für dieses Konzept erhielt Opel von Verkehrsminister Tiefensee, der ausdrücklich betonte, dass die Elektromobilität auf insgesamt drei Beinen stehe: der Plug-in-, der Hybrid- und der Brennstoffzellentechnik. Gleich mehrfach hob er in seiner Rede die große Bedeutung eines „engen Schulterschlusses zwischen der Bundesregierung und Opel“ hervor.

Bei dem HydroGen4 handelt es sich um ein US-amerikanisches Basisfahrzeug des Mutterkonzerns General Motors, das neben dem Brennstoffzellensystem zusätzlich mit einer 1,8 kWh fassenden Nickel-Metallhydrid-Batterie ausgestattet wurde, um elektrische Lastspitzen abdecken und die aus dem regenerativen Bremssystem gewonnene Energie speichern zu können. Das Vorgängermodell, der HydroGen3, war ein deutsches Modell, ein Opel Zafira. Da als Energieträger seit 2007 gasförmiger Wasserstoff favorisiert wird, sei die Modellauswahl bei der vierten Generation aufgrund des größeren Platzbedarfs für die drei Hochdrucktanks jedoch auf den voluminöseren Chevrolet Equinox gefallen. Forster betonte ausdrücklich, dass sich Opel dafür einsetzen werde, als nächsten Versuchsträger wieder ein aus deutschen Landen stammendes Fahrzeug zu wählen.

Für 2009 ist darüber hinaus geplant, zwei neue Tankstellen in Berlin zu eröffnen: An der Total-Station in der Holzmarktstraße wird StatoilHydro den benötigten Druckwasserstoff zur Verfügung stellen. Außerdem soll eine H_2-Betankung zukünftig auch an der Shell-Station am Sachsendamm möglich sein. ||

DRITTE H_2-TANKSTELLE IN BERLIN

In Berlin ist eine weitere Wasserstofftankstelle in Betrieb genommen worden. Damit verfügt die Bundeshauptstadt mittlerweile über drei Stationen, so viele wie keine andere deutsche Stadt. Allerdings handelt es sich hierbei nur um eine kurzfristige Lösung, bis im Laufe des Jahres 2009 im Stadtgebiet der Bau weiterer Wasserstofftankstellen abgeschlossen sein wird, voraussichtlich bis Ende Februar 2009.

Die mobile Betankungsanlage von Air Liquide steht im Bezirk Prenzlauer Berg an der Total-Station in der Margarete-Sommer-Straße direkt am Volkspark Friedrichshain und ist damit auch vom Regierungsviertel aus (Entfernung: 4 km) schnell erreichbar. „Diese Anlage ermöglicht erstmals eine zentrumsnahe Betankung mit Wasserstoff von Fahrzeugen der Clean Energy Partnership“, erläutert Patrick Schnell, Sprecher des Steuerkreises CEP.

In dem standardisierten 20’’-Container befindet sich die Kompressor- sowie die Betankungstechnik und mehrere Speicherbündel, in denen gasförmiger Wasserstoff bei 200 bar gelagert wird. Nach der Verdichtung kann sowohl mit 350 bar als auch mit 700 bar befüllt werden. Hierfür wird der Wasserstoff vor der Betankung mit Hilfe von tiefkaltem flüssigem Stickstoff auf -30 °C abgekühlt. Die Bedienung wird über eine externe Zapfsäule gesteuert. ||

Thema: Autos | **Autor:** Sven Geitmann |

KIA-WELTPREMIERE IN L.A.

Asiaten glänzen – Amerikaner schwächeln

Weltpremiere des Kia Borrego FCEV [Quelle: Kia]

Konzeptfahrzeug Honda Sport FC [Quelle: Honda, Susan Goldman]

Die internationale Auto Show, die alljährlich im Herbst in Los Angeles stattfindet, hat auch Ende 2008 wieder jede Menge Neuerungen hervorgebracht, auch im Brennstoffzellensegment. Die krisengeschüttelten amerikanischen Autobauer General Motors und Chrysler verzichteten allerdings auf Neuwagenpräsentationen, wegen fehlenden Publikumsinteresses, wie es offiziell hieß. Einen nicht unerheblichen Einfluss dürften bei dieser Entscheidung allerdings auch die gravierenden hausinternen Einsparmaßnahmen gehabt haben. Dafür machten in L.A. aber die „Kleinen" von sich reden.

Bisher noch nicht sonderlich in Erscheinung getreten war Kia, die in Kalifornien weltweit erstmalig den Borrego FCEV präsentierte. Im Gegensatz zum Vorgängermodell, dem Sportage FCEV, hat das Sport Utility Vehicle nun kein Reichweitenproblem mehr. Dank dreier 700-bar-Drucktanks, die ein Volumen von 202 Litern fassen, fährt der Borrego mit Wasserstoff jetzt doppelt so weit (685 km). Darüber hinaus installierten die Koreaner zusätzlich zur Brennstoffzelle eine 450-Volt-Kondensatorbank, die neben besseren Kaltstarteigenschaften auch einen Leistungsgewinn von 47 % bringt und die Höchstgeschwindigkeit um elf auf 161 Stundenkilometer anhebt.

Das Mutterunternehmen Hyundai war ebenfalls vertreten, und zwar mit seinem Tucson Fuel Cell Electric Vehicle, der im Rahmen der weltweiten Nachhaltigkeitsstrategie namens *Hyundai Blue Drive* vorgestellt wurde und ab 2012 in Kleinserie gebaut werden soll.

Als weiterer Vertreter asiatischer Automobiltechnik war Honda vor Ort und zeigte, wie zukünftige Sportwagen aussehen könnten. Das Konzeptfahrzeug FC Sport verfügt über die gleiche V-Flow-Fuel-Cell-Technik, die auch im FCX Clarity zum Einsatz kam, jetzt allerdings in leichterer Ausführung und so ins Fahrzeug integriert, dass der Schwerpunkt möglichst niedrig liegt. Dan Bonawitz, Vize-Präsident von American Honda Motor Co. Inc., erklärte: „Der Honda FC Sport erforscht, wie Automobilliebhaber in einer Welt ohne Benzin befriedigt werden können." Bei dem Dreisitzer befindet sich der Brennstoffzellen-Stack zwischen den beiden Rücksitzen hinter dem mittig angeordneten Fahrersitz. Das Batteriepaket ist im Fahrzeugunterboden eingebaut, und die zwei Wasserstofftanks liegen über der Hinterachse.

Aus Deutschland war unter anderem Volkswagen angereist. Die Premiere des neuen Roadsters war zwar abgeblasen worden, aber dafür zeigten die Wolfsburger gleich drei Modelle in Brennstoffzellenausführung: den Tiguan, den Touran sowie den VW Passat Lingyu, der seine Premiere im November 2007 beim 9. Michelin Challenge Bibendum in Shanghai gefeiert hatte (s. HZwei Jan. 2008). Der Lingyu ist eine chinesische Gemeinschaftsentwicklung von Volkswagen Shanghai, der Volkswagen Konzernforschung und der Tongji-Universität, die ursprünglich im Jahr 1907 von Deutschen als „Medizinschule" gegründet worden war und heute zu den renommiertesten Universitäten Asiens gehört. In dem BZ-Passat befindet sich die mittlerweile vierte Entwicklungsstufe, die durch eine Lithium-Ionen-Batterie ergänzt wird. Das gesamte System ist im Wagenboden unterhalb der Rücksitzbank eingebaut. Als Energiespeicher dienen 3,2 Kilogramm gasförmiger Wasserstoff, die in einem kohlefaserverstärkten Drucktank lagern. ||

NACHRÜSTUNG BEI ELEKTROMOBILEN

Über Elektrofahrzeuge wird derzeit viel spekuliert und geschrieben. Tatsächlich alltagstaugliche Modelle gibt es allerdings bisher nur wenige. Eine praktikable und kommerziell verfügbare Lösung auch für größere Reichweiten gibt es jedoch jetzt auf Brennstoffzellenbasis von der Smart Fuel Cell AG. Während der ecomove vom 15. bis 17. Oktober 2008 in Berlin stellte das Unternehmen aus Bayern ein Autarkiepaket für vierrädrige Elektromobile zum Nachrüsten vor.

Exemplarisch demonstrierten Techniker vor Ort während der Messe die Installation dieses Autarkiepakets in ein Start-Lab Open-Elektromobil. Gemäß Herstellerangaben kann dieses System in verschiedene gängige Elektromobile integriert werden. Bei dem Nachrüstsatz handelt es sich um zwei EFOY-Pro-1600-Brennstoffzellen, die über ein Ladekabel mit der fahrzeugeigenen Batterie verbunden werden, sowie zwei passende Tankpatronen, wobei aus einer der 8,4 kg leichten Tankpatrone 11,1 kWh erzeugt werden können. Die Reichweite eines mit 22 kWh ausgestatteten Elektromobils wird mit bis zu 400 km angegeben, ohne dass zwischendurch an einer Steckdose wieder aufgeladen werden müsste. Die Brennstoffzelle lädt direkt an Bord die Batterien vollautomatisch immer wieder auf, sowohl im Sta wnd als auch während der Fahrt. ||

DAIMLER BAUT AUF BlueZERO

BlueZERO [Quelle: Daimler]

Einen Ausblick in die Zukunft hat Daimler gewagt, indem bereits Ende 2008 das seriennahe Concept BlueZERO vorgestellt wurde, das erst einen Monat später während der North American International Auto Show in Detroit live präsentiert wurde. Vom 11. bis 25. Januar zeigten die Stuttgarter mit dieser B-Klassen-Studie, wie ihrer Meinung nach der Weg aus der Krise führt: über umweltverträgliche Elektromobilität. Das neue Konzept des schwäbischen Unternehmens verfügt über drei Standbeine: den BlueZERO E-CELL mit batterie-elektrischem Antrieb (Reichweite elektrisch: 200 km), den BlueZERO F-CELL mit Brennstoffzelle (Reichweite elektr.: 400 km) und den BlueZERO E-CELL PLUS in Hybridausführung mit Elektroantrieb plus Verbrennungsmotor als Range Extender (Reichweite elektr.: 100 km, Gesamtreichweite: 600 km).

Das 4,22 m lange Basismodell verfügt über fünf vollwertige Sitzplätze, 450 kg Zuladung und 500 l Gepäckraum und ist damit – anders als bei vielen anderen Elektrofahrzeugen – nach Angaben der Stuttgarter ein „voll alltagstaugliches Automobil." Alle wesentlichen Antriebskomponenten sind im Fahrzeugboden installiert, wie beispielsweise die flüssigkeitsgekühlten Lithium-Ionen-Akkus mit bis zu 35 kWh Speicherkapazität sowie der kompakte, maximal 100 kW starke Elektromotor (Dauerleistung: 70 kW, Drehmoment: 320 Nm). Die Elektrovarianten sollen bei einer Ladeleistung von 15 kW innerhalb von 30 Minuten ausreichend Energie für 50 km speichern können. Rein elektrische Reichweiten von 100 Kilometer beziehungsweise 200 Kilometer erfordern hingegen Ladezeiten von einer beziehungsweise zwei Stunden. In der Regel steht allerdings nur eine Ladeleistung von 7 kW zur Verfügung, wodurch sich die Ladezeiten verdoppeln. ||

JAPANER IN NORWEGEN

Erstmals kommen wasserstoffbetriebene Testfahrzeuge von Mazda außerhalb von Japan auf öffentlichen Straßen zum Einsatz. In Norwegen begann Ende 2008 der Praxistest mit dem Mazda RX-8 Hydrogen RE. Akihiro Kashiwagi, Programmmanager bei Mazda, übergab in Oslo ein erstes mit einem H2-Wankelmotor betriebenes Modell an Johan Thoresen, den HyNor-Chairman. Insgesamt sollen ab 2009 noch 30 Fahrzeuge an HyNor (Hydrogen Road of Norway) verleast und auf dem in Planung befindlichen 580 km langen Hydrogen Highway betrieben werden (s. HZwei Jan. 2008). Kashiwagi erklärte bei der Übergabezeremonie: „Bisher war der praktische Einsatz von Mazdas Wasserstofffahrzeugen auf Japan beschränkt. Die Teilnahme am HyNor-Projekt markiert unser Fortschreiten zur nächsten Entwicklungsstufe." ||

MOBION, DAS MOBILE BZ-LADEGERÄT

[Quelle: MIT Micro]

Der Einstieg in die Brennstoffzellentechnik läuft zunächst über Methanol, jedenfalls im Bereich der mobilen Elektrogeräte und auf dem US-amerikanischen Markt. Mitte Dezember präsentierte dort MTI Micro Fuel Cells den Prototypen eines handlichen Brennstoffzellensystems, mit dem leere Akkus für Mobiltelefone, MP3-Player, Digitalkameras und dergleichen wieder aufgeladen werden können. Mobion® ist ein etwa zehn Zentimeter langes kabelloses Gerät, das nach Herstellerangaben mit jeder Methanolkartusche (25 Wh) umgerechnet zehn Handy-Aufladungen oder 6.000 Digitalfotos ermöglichen soll. Im Labor erreichte das Gerät eine Ausbeute von 62 Milliwatt pro Kubikzentimeter beziehungsweise 1.800 Wattstunden pro Kilogramm Methanol. Das innovative Ladegerät kann über einen USB-Port mit allen handelsüblichen Kleingeräten problemlos verbunden werden und soll nach Angaben von MIT Micro Ende 2009 auf den Markt kommen.

Auch Toshiba hatte für 2009 ein mobiles Brennstoffzellengerät auf Methanolbasis angekündigt. Ob das System für Mobiltelefone allerdings tatsächlich wie vielfach geschrieben bis März dieses Jahres erhältlich sein wird, ist fraglich. ||

SUDOKU

Schwierigkeitsstufe: Mittel

Füllen Sie die leeren Felder so aus, dass in jeder Zeile, in jeder Spalte und in jedem Unterquadrat die Ziffern von 1 bis 9 jeweils nur einmal vorkommen.

→Auflösung: s. S. 32

	4	3	2					9
2								
		7	6	4		8	5	
	7	2	1	3		5		
1				5				8
		6		7	2	3	9	
	2	4		9	8	6		
								5
3					4	9	8	

© Oliver Knauff

OPFER DER FINANZKRISE

Die weltweite Finanzkrise hat auch in der Brennstoffzellensparte ihre ersten Opfer gefordert. Die HydroGen Corporation musste Ende Oktober 2008 Bankrott anmelden, nachdem sie keinen Käufer für das Unternehmen und auch keine frischen Geldmittel akquirieren konnte. Der Handel mit Aktien des US-amerikanischen Herstellers von phosphorsauren Brennstoffzellen wurde daraufhin am Nasdaq Stock Market eingestellt. Die Papiere sind jetzt nur noch im ungeregelten Freiverkehr handelbar.

Ähnlich, wenn auch noch nicht ganz so dramatisch, ist es der britischen Voller Energy Group ergangen, die ihren bisherigen Betrieb im November 2008 einstellte, da keine geeigneten Partner gefunden und ebenfalls keine neuen Finanzmittel akquiriert werden konnten. Die Verluste hatten sich bis Mitte vergangen Jahres auf rund 6 Mio. britische Pfund summiert. In einem Rundschreiben an die Teilhaber hieß es: „Der Aufsichtsrat hat beschlossen, die bisherige Unternehmenstätigkeit der Konstruktion, Entwicklung, Herstellung und Vermarktung portabler Brennstoffzellensysteme einzustellen und den Handel zu beenden.“ Stattdessen soll das Unternehmen komplett neu ausgerichtet werden, indem es zukünftig als Beteiligungsgesellschaft fungieren wird.

Auch in Deutschland sind erste derartige Fälle aufgetreten. Das Elektro-Ausbildungszentrum in Aalen e.V. (EAZ) musste im Oktober 2008 vorläufige Insolvenz anmelden. Der Geschäfts- und Unterrichtsbetrieb konnte jedoch dank der umsichtigen Vorgehensweise aller Beteiligten zunächst fortgeführt werden. Am 11. Dezember wurde dann jedoch das Insolvenzverfahren offiziell eröffnet und der Verein aufgelöst. Bis zum Redaktionsschluss war offen, ob zumindest eine teilweise Rettung noch möglich ist. Die Ursachen für diese Entwicklungen liegen beim EAZ weniger in der Finanzkrise als vielmehr in einem drastischen Rückgang der Auszubildendenzahlen im Elektrohandwerk bei einem gleichzeitigen Rückgang der Zuschüsse. ||

NEUAUFLAGE DES BZ-LEHRBUCHS

Die Förderung der nachwachsenden Generation ist nicht erst seit dem Erscheinen der Pisa-Studie außerordentlich wichtig. Das weiß auch die h-tec GmbH aus Lübeck und hat deswegen zusammen mit dem Hydrogeit Verlag das gemeinsam herausgebrachte Lehrbuch über „Brennstoffzellen im Unterricht“ neu aufgelegt. „Wir wollen die Jugend von heute frühzeitig an diese faszinierende Technik heranführen“, erklärt Uwe Küter, der kaufmännische Geschäftsführer des norddeutschen Unternehmens.

Die Erstauflage dieses Buches erschien bereits im Jahr 2005. Im März 2007 folgte die zweite Auflage mit Unterstützung des Hydrogeit Verlags aus Oberkrämer bei Berlin. Da h-tec jetzt gerade eine neue Produktserie herausgebracht hat, wurde auch eine Überarbeitung des Lehrbuches notwendig, so dass nun die aktualisierte und neu gestaltete dritte Auflage erhältlich ist.

Der Inhalt ist gut übersichtlich in die drei großen Themenblöcke Grundlagen, Experimente und Arbeitsblätter unterteilt. Das für die Experimente notwendige Hintergrundwissen ist leicht verständlich aufbereitet, was den Lesern ein rasches Einarbeiten in die Thematik ermöglicht und sowohl Lehrenden als auch Schülern und Studenten eine gute Einführung in die spannende Materie dieser Zukunftstechnik bietet. ||

Brennstoffzellen im Unterricht – Grundlagen, Experimente, Arbeitsblätter
von Cornelia Voigt, Stefan Höller & Uwe Küter,
Hydrogeit Verlag & h-tec,
Oberkrämer, Dezember 2008,
mit 144 Seiten, 78 Abbildungen & 20 Tabellen,
ISBN: 978-3-937863-13-9,
Preis: 14,90 Euro

BESTELL-FORMULAR

[ ] **Hiermit bestelle ich *HZwei* – das Magazin für Wasserstoff und Brennstoffzellen**

Das Abonnement gilt für 1 Jahr und kostet 24 Euro inkl. MwSt. zzgl. 6 Euro Versand.

Name Vorname

Adresse

Straße, PLZ, Ort

Ort, Datum 1. Unterschrift

Diese Bestellung kann innerhalb von 10 Tagen schriftlich beim Verlag widerrufen werden. Zur Fristwahrung genügt die Rückmeldung innerhalb dieser 10 Tage.
Ich habe von meinem Rücktrittsrecht Kenntnis genommen und bestätige dies mit meiner 2. Unterschrift.

Ort, Datum 2. Unterschrift

Die Bestellung ist nur gültig, wenn beide Unterschriften vorhanden sind.

Bitte per Post oder Fax absenden an:
Hydrogeit Verlag, Gartenweg 5, 16727 Oberkrämer,
Fax: 033055-21320 oder im Internet bestellen unter
www.hzwei.info

NEUER LBST-GESCHÄFTSFÜHRER

Jörg Schindler

Nach vielen erfolgreichen Jahren bei der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST) ist Jörg Schindler, der bisherige Geschäftsführer, zum Jahreswechsel in den Ruhestand gegangen. Der Diplom-Kaufmann war seit 1992 für die Institutsgeschäfte zuständig. Darüber hinaus war er als wissenschaftlicher Berater für die Energy Watch Group aktiv. Als Nachfolger von Schindler ist seit dem 15. November 2008 Dr. Uwe Albrecht im Amt.

Albrecht arbeitete zuvor bei der Siemens AG und bei Mannesmann, wo er in den letzten Jahren in den Bereichen Innovationsmanagement und Technologieberatung tätig war. Francisco Velho vom TÜV SÜD, dem größten Gesellschafter der LBST, erklärte: „Als promovierter Physiker bringt Dr. Albrecht eine ideale Kombination aus technologischem Verständnis und geschäftsstrategischer Erfahrung in seine neue Aufgabe ein. Mit seiner Hilfe wird die LBST als einzigartig kompetenter Berater für Themen in Energie und Umwelt weiter wachsen." ||

ENERGIEVERSORGUNG NEU ERFINDEN

Ulrich Kasparick

Deutliche Worte über das Ende der Erdölära und die Zukunft der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik haben am 11. November 2008 die Teilnehmer des parlamentarischen Abends zu hören bekommen. Rund 120 Vertreter aus Politik und Wirtschaft waren in die Hessische Landesvertretung nach Berlin gekommen, in die der Deutsche Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband sowie die Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Initiative Hessen eingeladen hatten. Besondere Brisanz erhielt die Versammlung, weil sie genau am Vorabend der Verkündung des mit Spannung erwarteten World Energy Outlooks 2008 der Internationalen Energie Agentur stattfand.

Wiederholt wurden während dieser Veranstaltung bisher ungewohnte Stimmen laut, die zwar keine ganz neue, aber doch eine bis heute kaum vollzogene Vorgehensweise bei der Weiterentwicklung der Brennstoffzellentechnik forderten. So erklärte beispielsweise Prof. Birgit Scheppat, die Vorstandsvorsitzende der H_2- & BZ-Initiative Hessen, im voll besetzten Saal: „Die Technik darf nicht einfach in bestehende Systeme eingesetzt werden. Die Technologie muss ihren eigenen Rahmen finden, damit sie aus den Feuilleton- und Wissenschaftsseiten der Zeitungen auf die Wirtschaftsseiten gelangt."

Der parlamentarische Staatssekretär beim Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Ulrich Kasparick, MdB, ging noch etwas weiter und sagte: „Wir müssen eine Mobilität organisieren, die wir völlig neu denken müssen. Es macht keinen Sinn, neue Energie in alte Strukturen einzubauen." Im Hinblick auf diese alten Strukturen stellte er fest: „Wir erleben eine Zeitenwende. Wir erleben, dass die Zeit des Öls zu Ende geht." Kasparick forderte deswegen, die Brennstoffzellentechnik müsse „raus aus der Forschung, auf die Straße." Nach seiner Vorstellung müsse das frühe 21. Jahrhundert in die Geschichte eingehen als die Zeit, in der „die Industriestaaten die Energieversorgung neu erfunden haben."

Jörg Schindler, der langgediente und mittlerweile Ex-Geschäftsführer der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, stellte vorab veröffentlichte Auszüge aus dem World Energy Outlook 2008 vor und legte passend dazu die Ergebnisse der Energy Watch Group dar, die zum Teil in deutlichem Gegensatz zu den Prognosen der Internationalen Energie Agentur stehen. Er kritisierte die darin enthaltenen Widersprüche, da die schriftlichen Ausführungen an mehreren Stellen gegenteilige Aussagekraft zum Zahlenwerk hätten. Zudem belegte Schindler, dass sich die Weltölförderung seit 2005 auf einem Plateau befindet und dass in Zukunft mit keiner Steigerung der Ölförderung, sondern vielmehr mit einer Verminderung zu rechnen sei. Hans-Josef Fell, der Gründer der Energy Watch Group, ergänzte dazu in einer Wortmeldung, dass jegliche Investition in fossile Energietechnik eine Fehlinvestition sei. ||

ERLEBNISFRÜHSTÜCK IM H2 HOTEL

Wer zukünftig in Sachen Wasserstoff in Berlin unterwegs ist, kann passend zum Tätigkeitsbereich im H2 Hotel absteigen. Es gibt allerdings zwei kleine Haken: Erstens öffnet dieses Hotel frühestens im Herbst 2010 seine Türen und zweitens hat diese Adresse kaum etwas mit Wasserstoff zu tun.

Das H2 Hotel „spiegelt das Konzept der neuen und frischen H2-Philosophie wider", heißt es auf der bereits freigeschalteten Homepage. Gegenüber der Allgemeinen Hotel- und Gastronomie-Zeitung sagte Andreas Wiebezieck, Vice President Sales & Marketing des Mutterkonzerns Hospitality Alliance AG (Ramada Hotels): „Wasserstoff ist die Antriebskraft der Zukunft, umweltfreundlich, dynamisch, frisch. Und daran orientiert sich auch die Philosophie unserer innovativen Marke." Mit H2 wolle man ein Zukunftskonzept für eine neue Hotel-Gruppe im Budgetsegment erschaffen: hochwertig und gleichzeitig preiswert.

Man darf also gespannt sein, wie in der dortigen H2-Lounge die Drinks schmecken und wie das so genannte „Erlebnisfrühstück" aussieht. ||

Auflösung des Sudoku-Rätsels von S. 30

6	4	3	2	8	5	1	7	9
2	8	5	9	1	7	4	3	6
9	1	7	6	4	3	8	5	2
8	7	2	1	3	9	5	6	4
1	3	9	4	5	6	7	2	8
4	5	6	8	7	2	3	9	1
5	2	4	7	9	8	6	1	3
7	9	8	3	6	1	2	4	5
3	6	1	5	2	4	9	8	7

POWER-GEN EUROPE

WERDEN SIE AUSSTELLER AUF DER POWER-GEN EUROPE

HERAUSFORDERUNGEN AN DIE ENERGIEWIRTSCHAFT

26. – 28. Mai 2009, Koelnmesse, Köln, Deutschland

Die POWER-GEN Europe Konferenz und Ausstellung findet erneut neben den gleichzeitig stattfindenden Veranstaltungen „Renewable Energy World Europe" und „POWERGRID Europe" in Köln in Deutschland statt, die alle unter der Themenstellung: „Herausforderungen an die Energiewirtschaft" stehen.

Diese gemeinsamen Veranstaltungen repräsentieren konventionelle und erneuerbare Stromerzeugung sowie Stromleitung und –verteilung, die drei wichtigsten Komponenten der Stromindustrie. Durch die gleichzeitige Veranstaltung, dieser sich ergänzenden Ausstellungen und Konferenzen, unter einem Dach, wird sichergestellt, dass eine breite Palette an hochwertigen Teilnehmern mit Entscheidungsbefugnis oder Kaufkraft anwesend ist; was sich bei der Veranstaltung 2008 in Mailand bewahrheitet hat, an der über 12.500 Fachleute aus der Stromindustrie aus über 100 Ländern einschließlich Deutschland teilnahmen.

Ein Ausstellungsplatz auf der POWER-GEN Europe, der größten Veranstaltung ihrer Art, bietet Ihnen einzigartig wertvolle Gelegenheiten, mit den Kunden in Verbindung zu treten, die Ihr Unternehmen vorwärts bringen: die Einflussträger, die Ihre Produkte und Dienstleistungen benötigen und die hochwertigen Entscheidungsträger, die die Kaufkraft besitzen.

Wir freuen uns darauf, Sie 2009 in Köln begrüßen zu können.

Wenn Sie an weiteren Informationen für Aussteller oder Sponsoren auf der POWER-GEN Europe 2009 in Köln interessiert sind, besuchen Sie bitte unsere Website www.powergeneurope.com oder kontaktieren Sie:

Gilbert Weir Jnr.
Tel: +44 1992 656 617
Fax: +44 1992 656 700
E-mail: gilbertw@pennwell.com

In Zusammenarbeit mit:

POWERGRID EUROPE

RENEWABLE ENERGY WORLD CONFERENCE & EXPO EUROPE

Eigentümer und Produzent:

PennWell

Haupt-Medien-Sponsoren:

PEi Power Engineering International

Renewable Energy World Magazine

cospp

www.powergeneurope.com

TERMINKALENDER

JANUAR 2009

27.-29.01.09 enertec
Messe, Leipzig, Leipziger Messe GmbH,
Tel. 0341-678829-3, Fax -2,
www.enertec-leipzig.de

29.-31.01. Clean Energy Power
Messe & Konferenz, Stuttgart,
Reeco GmbH,
Tel. 07121-3016-0, Fax -100,
www.cep-expo.de

FEBRUAR

10.-12.02. E-world energy & water
Messe, Essen,
E-world energy & water GmbH,
Tel. 0201-1022-210, Fax -333,
www.e-world-2009.com

16.02. Wasserstoff und Brennstoffzellen
Seminar, Essen, Haus der Technik,
Tel. 0201-1803-211, Fax -280,
www.hdt-essen.de

25.-27.02. FC Expo
Messe, Tokio/Japan, Reed Exhibitions Japan Ltd.,
Tel. +81-3-334985-76, Fax -35,
www.fcexpo.jp

MÄRZ

02.03. Wasserstoff & Brennstoffzellen im Automobil
Seminar, Essen, Haus der Technik,
Tel. 0201-1803-211, Fax -280,
www.hdt-essen.de

03.-08.03. CeBIT
Messe, Hannover, Deutsche Messe AG,
Tel. 0511 89-0, Fax -32626,
www.cebit.de

09.-13.03. Polymer Electrolyte Fuel Cell Introduction Course
Kursus, Ulm, WBzU,
Tel. 0731-17589-0, Fax -10,
www.wbzu.de

30.03.-3.04. Hydrogen Expo US
Messe, Columbia SC/USA, Freesen & Partner GmbH,
Tel. 02802-948484-0, Fax -3,
www.hydrogenexpo.com

30.03.-3.04. NHA Hydrogen Conference
Konferenz, Columbia SC/USA, NHA,
Tel. +1-202-22355-47, Fax -37,
www.HydrogenConference.org

APRIL

20.-24.04. Gemeinschaftsstand „Wasserstoff und Brennstoffzellen“
Messe, Hannover, Tobias Renz Fair-PR,
Tel. 089-7201-384-0, Fax -20,
www.fair-pr.de

20.-24.04. Clean Moves Expo & Konferenz
Ausstellung & Konferenz, Hannover,
Halo Energy, Tel. +32-28503671,
www.halo-energy.com

22.04. Wind und Wasserstoff
Seminar, Lübeck, Haus der Technik,
Tel. 0201-1803-211, Fax -280,
www.hdt-essen.de

29.04. BZ- & H2, Grundlagen, Einsatzfelder, Marktchancen Basisseminar,
Ulm, WBzU, Tel. 0731-17589-0, Fax -10,
www.wbzu.de

MAI

07.-08.05. Small Fuel Cells
Konferenz, Boston/USA,
The Knowledge Foundation,
Tel. +1-(617) 232-7400, Fax -9171,
www.knowledgefoundation.com

12.05. DWV Mitgliederversammlung
Versammlung, Wolfsburg, DWV,
Tel. 0700-49376-835, Fax -329,
www.dwv-info.de

12.-14.05. genera 09
Messe, Madrid/Spanien, IFEMA,
Tel. +34-91-722-3000, Fax -5788,
www.genera.ifema.es

13.-16.05. Electric Vehicle Symposium 24
Konferenz, Stavanger/Norwegen, Electric Drive Transportation Association,
Tel: +1-703-683-8500, Fax -836-4486,
www.evs24.org

26.-28.05. Power-Gen Europe
Konferenz & Messe, Köln,
PennWell Corp.,
Tel. +44-1992-656-615, Fax -700,
www.powergeneurope.com

31.05.-03.06. Hydrogen and Fuel Cells
Konferenz & Messe, Vancouver/Kanada,
Hydrogen + Fuel Cells 2009,
Tel. +1-604-822-1736, Fax -8106,
www.hfc2009.com

JUNI

10.-11.06. Fuel Cell Summit
Konferenz & Messe, Hartford/USA, Fuel Cell Magazine, Tel. +1-847-8524387-111,
www.fuelcell-magazine.com

19.-21.06. EnergyTech
Messe, Hannover, Profair Consult + Project GmbH,
Tel. 05121-20626-0, Fax -26,
www.messen-profair.de

29.06.-03.07. Lucerne Fuel Cell Forum
Konferenz & Messe, Luzern/Schweiz,
European Fuel Cell Forum,
Tel. +41-56-496-7292, Fax -4412,
www.efcf.com

FIRMEN-EINTRAG

Bitte nehmen Sie uns in das HZwei-Firmenverzeichnis auf. Dieser Auftrag gilt für 4 Ausgaben und kostet 100 Euro zzgl. MwSt. pro Rubrik. *Eintrag bis zu 150 Zeichen:*

Firma

Adresse

Tel., Fax, Internet

Rubrik:
- ☐ **Forschung & Entwicklung**
- ☐ **Hersteller**
- ☐ **Medien**
- ☐ **sonstige Dienstleister**
- ☐ **Veranstalter**
- ☐ **Vereine & Verbände**
- ☐ **Weiterbildung**
- ☐ **Zulieferer**
- ☐ **eigener Vorschlag**

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

FIRMENVERZEICHNIS

BRENNSTOFFZELLEN

ECG GmbH ElektroChemischeGeneratoren,
Widdersdorfer Str. 240, 50825 Köln, Tel. 0221-6777-3530,
kontakt@ecg-online.com, www.ecg-online.com

h-tec, Lindestr. 48 A, 23558 Lübeck,
Tel. 0451-49895-0, Fax -15,
info@h-tec.com, www.h-tec.com

ELEKTROLYSEURE

Diamond Lite S.A., Rheineckerstr. 12, PF 9, CH - 9425 Thal,
Tel. +41-(0)71-880020-0, Fax -1,
diamondlite@diamondlite.com, www.diamondlite.com

FORSCHUNG & ENTWICKLUNG

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

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE,
Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg/Br.,
Tel. 0761-4588-0, Fax -9000, *www.ise.fhg.de*

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

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH,
Max-Planck-Str. 1, 21502 Geesthacht,
Tel. 04152-87-0, Fax -1403,
www.gkss.de

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

HyCentA – Hydrogen Center Austria,
Österr. Forschungszentrum für Wasserstoff an der TU Graz,
Inffeldgasse 15, A-8010 Graz,
Tel. +43(0)316-873950-0, Fax -2, *www.hycenta.at*

IMM Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH,
Carl-Zeiss-Str. 18-20, 55129 Mainz, Tel. 06131-9900,
www.imm-mainz.de, Reformer und Wärmetauscher

Zentrum für BrennstoffzellenTechnik ZBT gGmbH,
Carl-Benz-Str. 201, 47057 Duisburg,
Tel. 0203-7598-0, Fax -2222,
info@zbt-duisburg.de, 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, www.zsw-bw.de

MEDIEN

H2Gate, Rosenhagenstr. 42, 22607 Hamburg,
Tel. 040-8901824-4, Fax -5,
www.h2gate.de

oak Media GmbH, Technologiepark 13, 33100 Paderborn,
Tel. 05251-205194, Fax -95, *www.energieportal24.de*

VERANSTALTER

15. Gemeinschaftsstand Wasserstoff + Brennstoffzellen,
Hannover Messe 2009, 20.-24. April. c/o Tobias Renz
FAIR-PR, Tel. 089-7201384-0, Fax -20,
www.fair-pr.com

E-world energy & water GmbH,
Norbertstr. 5, 45131 Essen, Tel. 0201-1022-210, Fax -333,
www.e-world-2009.com, mail@e-world-essen.com

Hamburg Messe und Congress GmbH, Messeplatz 1,
20357 Hamburg, Tel. 040-3569-0, Fax -2180,
www.hamburg-messe.de

Hydrogen Expo US, c/o Freesen & Partner GmbH
Schwalbennest 7a, 46519 Alpen,
www.hydrogenexpo.com

Peter Sauber Agentur Messen und Kongresse GmbH,
Wankelstr. 1, 70563 Stuttgart,
Tel. 0711 656960-52, Fax -99, *www.f-cell.de*

VEREINE & VERBÄNDE

Deutscher Wasserstoff- & Brennstoffzellen-Verband e.V.,
Unter den Eichen 87, 12205 Berlin, Tel. 0700-49376-835,
Fax -329, *www.dwv-info.de*

Fördergesellschaft Erneuerbare Energien,
Köpenicker Str. 325, 12555 Berlin, Tel. 030-65762706,
www.fee-ev.de

HyCologne, Goldenbergstr. 2, 50354 Hürth,
Tel. 02233-406130, *www.hycologne.de*

WEITERBILDUNG

h-tec, Lindestr. 48A, 23558 Lübeck,
Tel. 0451-49895-0, Fax -15,
info@h-tec.com, www.h-tec.com

Heliocentris, Rudower Chaussee 29, 12489 Berlin,
Tel. 030-639263-25, Fax -29,
info@heliocentris.com, www.heliocentris.com

Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle Ulm e.V.,
Helmholtzstr. 6, 89081 Ulm, Tel. 0731-1 75 89-0, Fax -10,
info@wbzu.de, www.wbzu.de

ZULIEFERER

IMI Norgren Buschjost GmbH + Co. KG,
Detmolder Str. 256, 32545 Bad Oeynhausen,
Tel. 05731-791-0, Fax -179,
www.buschjost.de

GSR Ventiltechnik GmbH & Co. KG, Im Meisenfeld 1,
32602 Vlotho, Tel. 05228- 779-0, Fax -190,
www.ventiltechnik.de

Sharp Electronics (Europe) GmbH, Sonninstraße 3,
20097 Hamburg, Tel. 040-2376-0, Fax -2510, *www.sharp.de*

SMA Solar Technology AG, Sonnenallee 1, 34266 Niestetal,
Tel. 0561-9522-3389, Fax -4896, *www.sma.de*

Hydrogen Energy

18 WHEC 2010

The 18th World Hydrogen Energy Conference,
16 - 21 May 2010, Essen, Germany
www.whec2010.com

Under the auspices of:

The International Association for Hydrogen Energy (IAHE)

Organized by:

EnergieAgentur.NRW

In cooperation with:

DWV Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband

JÜLICH FORSCHUNGSZENTRUM

Fuel Cell and Hydrogen Network NRW.

MESSE ESSEN Place of Events

Supported by:

NOW Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

EHA EUROPEAN HYDROGEN ASSOCIATION

wiba Koordinationsstelle der Wasserstoff-Initiative Bayern

ZSW

IPHE International Partnership for the Hydrogen Economy

ESSEN

wirtschaftsförderung metropoleruhr

EUROPEAN UNION Investing in our Future European Regional Development Fund

First Major Sponsor:

RWE The energy to lead