Hydrogeit Verlag / www.hzwei.info / 14. Jahrgang / Oktober 2014 / 8 €

HZwei

DAS MAGAZIN FÜR WASSERSTOFF UND BRENNSTOFFZELLEN

→ SERIENPRODUKTION VON H_2-TANKSTELLEN & BZ-AUTOS GESTARTET

→ e-mobil BW & LBST PRÄSENTIEREN METASTUDIE ÜBER WASSERSTOFF

10014
9 771862 393005

INHALTSVERZEICHNIS

2 Impressum

3 Editorial

4 Meldungen
Neubesetzungen bei Ballard, dena, SFC
Topsoe Fuel Cell wird geschlossen
ElringKlinger übernimmt New Enerday

7 Messen
3. World of Energy Solutions in Stuttgart
6. eCarTec in München

9 Energiespeicherung
Deutsch-französische Suche nach dem Business Case
Meta-Studie von e-mobil BW & LBST
Photoelektroden für solaren Wasserstoff

16 Entwicklung
Neutronen machen unterkühltes Wasser sichtbar
SchIBZ: BZ-Strom für Hochseeschiffe
Wie viel Wasserstoff ist im Tank?

26 Förderung
EEG 2014 beschlossen und genehmigt
Forschungsförderung über das Jahr 2016 hinaus

29 Markt
Start der Serienproduktion in Wien
Interview mit Prof. Aldo Belloni, Linde AG
Forschungsförderung oder Nachhaltigkeitssteuer?
Energiewende trifft Umweltpsychologie
„Geiz ist geil“ zieht nicht immer
Mit Brennstoffzellen Geld verdienen

38 International
USA investieren in H_2-Infrastruktur

40 Elektromobilität
Diskurs: Sind Brennstoffzellenautos klimafeindlich?
Der Toyota *FCV* kommt im April 2015
Quant e erhält Straßenzulassung
Serie: Elektromobilität in Bayern-Sachsen
500 Leasing-E-Autos in Berlin
Formel E in China gestartet

52 Terminkalender

53 Firmenverzeichnis

Quelle: Reederei Röd Braaren

18 Die MS Forester – das SchIBZ-Versuchsschiff

Quelle: Wolfgang Voglhuber – VOGUS

30 Interview mit Prof. Aldo Belloni, Linde AG

Quelle: nanoFLOWCELL AG

44 Viel Wirbel um nanoFLOWCELL und Nunzio La Vecchia

IMPRESSUM HZwei

ISSN: 1862-393X
Jahrgang: 14. (2014) / Heft 4, Oktober 2014

Verlag: Hydrogeit Verlag
Inh. Sven Geitmann, Gartenweg 5
D - 16727 Oberkrämer

Sitz: Oberkrämer
USt-ID.: DE 221143829

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

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

Anzeigen: Kirsten Laasner Projektmanagement, Kirchheim
Lektorat: Dione Gutzmer, Berlin
Druck: Printec Offset – medienhaus, Kassel
PEFC-zertifiziertes Papier

Druckauflage: 4.500 Stück (plus 10.000 Downloads/Jahr)
Erscheinungsweise: 4 x jährlich

Einzelpreis (Inland): 8 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 2,00 € Versand)
Jahrespreis (Inland): 30,00 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 6,50 € Versand)
Einzelpreis (Europa): 8 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 3,50 € Versand)
Jahrespreis (Europa): 30,00 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 12,50 € Versand)

Studenten: 50 % Ermäßigung
Kündigung: jederzeit möglich, 6 Wochen vor nächster Ausgabe

Bank: Mittelbrandenburgische Sparkasse
IBAN: 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.

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:
Start der Serienfertigung bei Linde in Wien
(Foto: Wolfgang Voglhuber – VOGUS)

SCHLAGLICHTER

Liebe Leserinnen und Leser!

Bundesverkehrsminister Alexander Dobrindt hat es momentan nicht leicht. Nicht nur mit dem von ihm vorgeschlagenen Konzept zur Einführung einer Pkw-Maut gibt es Probleme, auch sein Elektromobilitätsgesetz kommt nicht sonderlich gut an. Da der Koalitionsvertrag der Bundesregierung keine Kaufprämien vorsieht, sollen lediglich „nutzerorientierte Anreize“ dem E-Auto auf die Sprünge helfen.

Der Gesetzesentwurf, den Dobrindt gemeinsam mit Bundesumweltministerin Barbara Hendricks ersonnen hat, sieht dafür eine Änderung der Straßenverkehrsordnung (StVO) vor: Die Kommunen sollen demnach die Möglichkeit erhalten, „Privilegien“ für Elektromobilisten einzuräumen. Dies können reservierte Parkplätze für Batterieautos an Ladesäulen sein oder aber die vielzitierten Freigaben der Busspuren.

Kaum jemand – außer anscheinend in den Bundesministerien – glaubt jedoch daran, dass derlei Zugeständnisse tatsächlich kaufentscheidende Argumente für oder gegen Elektroautos sein werden. Hier überhaupt von „Privilegien“ zu sprechen erscheint – gelinde ausgedrückt –stark übertrieben. Wenn es tatsächlich ein „Privileg“ ist, mit einem Batterieauto an öffentlichen Ladesäulen parken zu dürfen, dann frage ich mich, wo Nicht-Privilegierte ihr Benzin herbekommen, wenn nicht von der Mineralöltankstelle.

Kein Wunder also, dass einige Bürgermeister verlautbaren ließen, dass die Busspuren (z. B. in Hamburg, München) bereits überlastet sind und somit diese „Privilegien“ keine Anwendung finden werden (s. S. 50). Ein richtiges „Elektromobilitätsgesetz“, das echte Impulse setzt, um doch noch die 1-Mio.-Elektroauto-Marke bis 2020 erreichen zu können, sieht definitiv anders aus.

Deutlich positiver entwickelt es sich an der Förderfront: Gemäß den neusten Meldungen aus dem Bundeswirtschaftsministerium („Schlaglichter der Wirtschaftspolitik“, Aug. 2014) stehen die Chancen gut, dass das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) tatsächlich weitergeführt wird; vielleicht unter einem anderen Namen, wahrscheinlich mit einem anderen Etat, aber ziemlich sicher wieder geführt von der NOW GmbH.

Ein Jahr nach der Bundestagswahl scheint zudem klar zu sein, welches Ministerium sich um welchen Bereich kümmert (s. S. 27). Auch die Themenfelder, auf die sich die angepeilte Förderung konzentrieren wird, dürften mittlerweile klar sein. Sie orientieren sich an den Vorschlägen des NOW-Beirats (s. HZwei-Heft Okt. 2013).

Offen ist indes, inwieweit konkrete Maßnahmen zur Unterstützung des Markteintritts gefördert werden oder ob der Fokus weiter im Forschungsbereich liegen gelassen wird (damit dann andere die Kommerzialisierung übernehmen können, wie sonst auch).

Im Veranstaltungssektor zeichnet sich währenddessen ab, dass die *H2Expo* von der *WindEnergy Hamburg* geschluckt wird. Für eine konkrete Analyse ist es zwar noch zu früh, aber schon jetzt lässt sich feststellen, dass die *H2Expo* als eigenständige Veranstaltung, so wie sie 2001 begonnen hat, Geschichte ist. Damals, vor 13 Jahren, riefen Freesen & Partner diese *Internationale Fachmesse für Wasserstoff und Brennstoffzellen* ins Leben und füllten in den ersten Jahren eine ganze Messehalle. Heute sind rund 20 Stände übrig geblieben, die sich am Rand der *WindEnergy* verlieren (s. S. 7).

Es lässt sich somit feststellen, dass es der Hamburg Messe nicht gelungen ist, das damalige Format über die Zeit zu retten. Auf dem Weg zum Markt sind ihr immer mehr Unternehmen abhandengekommen, so dass sie – gezwungenermaßen – zunächst den Veranstaltungsturnus heraufsetzte (die letzte *H2Expo* war 2011). Jetzt nutzten die Veranstalter die Gunst der Stunde, da alle über Wind-Wasserstoff reden, und führte die Wasserstoff- mit ihrer Windmesse zusammen. Allerdings gibt es dadurch für die H_2- und BZ-Szene keinen eigenen Raum mehr, keinen eigenen Kongress und bald auch keine eigene Homepage mehr.

Hamburg wird jedoch die allmähliche Auflösung der *H2Expo* verkraften. Die Hansestadt hat sich so gut als H_2-Metropole etabliert, dass sie auch unabhängig von dieser Veranstaltung den Status einer europäischen H_2-Hochburg beibehalten wird, solange auf der Anwenderseite genügend passiert. Ein Beleg dafür ist das emsige Wirken der Wasserstoff-Gesellschaft Hamburg, die gerade ihr 25. Jubiläum feierte (s. S. 5) und somit schon sehr viel länger in Hamburg aktiv ist, als es die *H2Expo* war. ||

Herzlichst

Sven Geitmann
HZwei Herausgeber

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

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

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

DWV
Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband

DWV fordert: Grüner Wasserstoff als nachhaltiger Kraftstoff ins Gesetz! ...
Baden-Württemberg sieht wichtige Rolle für Wasserstoff in Energiewende ...
Kommen Sie auch nach Stuttgart zur f-cell? ...

NEUBESETZUNG IM DENA-AUFSICHTSRAT

Jochen Flasbarth

Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) hat seit Juli 2014 drei neue Mitglieder im Aufsichtsrat. Nach einigen Umbesetzungen in verschiedenen Behörden nach der Bundestagswahl kam es zu folgenden Änderungen: Iris Gleicke, Parlamentarische Staatssekretärin beim Bundesminister für Wirtschaft und Energie, löst Stefan Kapferer ab. Jochen Flasbarth, Staatssekretär im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, ersetzt Jürgen Becker. Und auf Dr. Axel Nawrath folgt Dr. Katrin Leonhardt, Direktorin der KfW Bankengruppe. Die dena fungiert als Kompetenzzentrum für Energieeffizienz, erneuerbare Energien und intelligente Energiesysteme. Gesellschafter sind zu je 50 Prozent die Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch verschiedene Ministerien, sowie die KfW Bankengruppe (26 %) und zu gleichen Teilen die Allianz SE, die Deutsche Bank AG und die DZ BANK AG. ||

MACEWEN NEUER BALLARD-CHEF

Randy MacEwen
[Quelle: Ballard]

John Sheridan hat im Herbst 2014 seinen Posten als Geschäftsführer und Präsident bei Ballard Power Systems abgegeben. Neuer Chef des kanadischen Brennstoffzellenherstellers ist seit dem 6. Oktober 2014 Randall (Randy) MacEwen. Sheridan führte Ballard seit 2006, als er die Firmenleitung von Unternehmensgründer Geoffrey Ballard übernahm. Ian Bourne, Vorsitzender des Aufsichtsrates, erklärte, Ballard habe seitdem „extrem von der starken Führung durch Sheridan profitiert und sich zum führenden Unternehmen im Bereich sauberer Energien und Brennstoffzellen entwickelt“. MacEwen kommt aus dem Bereich der regenerativen Energiewirtschaft und verfügt über viel Führungserfahrung, auch im Wasserstoff- und Brennstoffzellensektor: Unter anderem war er Vize-Präsident bei Stuart Energy Systems und leitete die 155-Mio.-US-Dollar-Übernahme von Hydrogenics. Er gründete und leitete 2010 NextCleanTech LLC, nachdem er mehrere Jahre als Geschäftsführer bei Solar Integrated Technologies tätig gewesen war. Bis Ende des Jahres wird ihm Sheridan noch beratend zur Seite stehen, bevor dieser in den Ruhestand überwechselt. ||

NEUER CFO BEI SFC ENERGY

Steffen Schneider
[Quelle: SFC Energy]

Die SFC Energy AG hat seit dem 1. September 2014 einen neuen Finanzvorstand. Steffen Schneider (42) wurde zum neuen CFO des bayerischen Brennstoffzellenherstellers bestellt. Der Diplom-Betriebswirt (MBA) Schneider gilt als Experte im internationalen Finanz- und Kapitalmarkt und wird die Bereiche Finance, Controlling, Investor Relations, Einkauf und IT verantworten. Er war bislang bei Fox Corporate Finance aktiv und betreute unter anderem die Akquisitionsprojekte für SFC. Zuvor arbeitete er in London und Frankfurt für die Citigroup und leitete unter anderem 2007 den Börsengang von SFC. ||

NEUES KOMPETENZZENTRUM FÜR BATTERIEN

Prof. Johanna Wanka, Bundesministerin für Bildung und Forschung, hat in diesem Sommer ein neues Forschungsinstitut in Münster eingeweiht. Am 10. Juni 2014 eröffnete sie das *Helmholtz-Institut Münster (HI MS)*, an dem fortan intensiv an neuer Batterietechnik geforscht werden soll. Zudem soll es die Kompetenzen des Forschungszentrums Jülich, der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen und der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster insbesondere im Bereich von Elektrolytmaterialien bündeln. Es wird als Außenstelle des Forschungszentrums Jülich betrieben und erhält – vornehmlich vom Bund – jährlich rund 5,5 Mio. Euro plus Investitionen in Höhe von 11 Mio. Euro bis 2018 vonseiten des Landes Nordrhein-Westfalen. Gemäß der eingesetzten Gutachterkommission ist dies gut angelegtes Geld; das Konzept wurde mit „wissenschaftlich exzellent“ bewertet. Prof. Harald Bolt, Vorstandsmitglied des Forschungszentrums Jülich, sagte: „Ich bin mir sicher, dass das HI MS eine hervorragende Plattform für Kooperationen mit der deutschen Industrie bietet, von den Materialien über Komponenten bis hin zur Anwendung.“ ||

TOPSOE FUEL CELL WIRD GESCHLOSSEN

Haldor Topsoe A/S hat Mitte August 2014 verkündet, dass Topsoe Fuel Cell A/S geschlossen wird. Topsoe Fuel Cell ist ein zur Topsoe-Gruppe gehörendes Tochterunternehmen, das bis dato auf die Entwicklung und Kommerzialisierung von Komponenten und Technik für Festoxidbrennstoffzellen (SOFC) spezialisiert war. Haldor Topsoe gab weiterhin bekannt, dass mit sofortiger Wirkung alle Entwicklungsarbeiten im Brennstoffzellensektor gestoppt werden. Lediglich die Arbeiten an ausgewählten Anwendungen mit Festoxid-

elektrolysezellen werden weitergeführt. Dieser spezielle Sektor wird innerhalb des zweiten Halbjahres von 2014 an Haldor Topsoe überführt, um auf diese Weise Kosten einzusparen. Der Entwicklungsstopp im Brennstoffzellenbereich betrifft rund 90 der 117 Mitarbeiter des dänischen Unternehmens. Bjerne S. Clausen, Geschäftsführer von Haldor Topsoe, erklärte: „Wir glauben, dass die Fokussierung auf SOEC und die Vermischung dieser Aktivitäten mit den ausgeprägten Kompetenzen des Mutterunternehmens der richtige Weg vorwärts mit Aussicht auf Kommerzialisierung konkreter Produkte innerhalb eines relativ kurzen Zeitrahmens ist. […] Über die Jahre haben wir annähernd 1,5 Mrd. DKK (200 Mio. Euro) in die Kommerzialisierung unserer Technik investiert, aber der Weg zum Markt hat sich als sehr viel herausfordernder und zeitraubender als erwartet erwiesen. Als alleiniger Eigentümer von Topsoe Fuel Cell können wir die Investitionen und Risiken, die notwendig sind, um das Unternehmen voranzubringen, nicht länger rechtfertigen. SOFC bleiben eine herausfordernde Technologie, in die signifikante zusätzliche Investitionen erforderlich sind.“ ||

25. JUBILÄUM IN HAMBURG

Die Wasserstoff-Gesellschaft Hamburg e.V. hat am 15. September 2014 ihren 25. Geburtstag gefeiert. In der Handelskammer der Hansestadt trafen sich aus diesem Anlass zahlreiche prominente Gäste und Wegbegleiter, um dieses denkwürdige Jubiläum zu begehen. Gemeinsam erinnerten sie sich an den 14. September 1989, als zwölf Pioniere aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik der Freien und Hansestadt Hamburg die „Gesellschaft zur Einführung des Wasserstoffs in die Energie-Wirtschaft e.V.“ gründeten. Heute ist die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie aus der Reihe der Lösungswege für eine zukunftsfähige Energieversorgung nicht mehr wegzudenken. Aus damaliger Sicht war diese Entwicklung jedoch noch nicht abzusehen, sie ist jedoch nicht zuletzt auch der Wasserstoff-Gesellschaft Hamburg zu verdanken, die mit unermüdlichem Engagement zahlreiche Gedankenanstöße und Initiativen auf den Weg gebracht hat.

Als Zusammenfassung des aktuellen Entwicklungsstandes im Bereich Wasserstoff und Brennstoffzellen präsentierte der Verein anlässlich seiner Geburtstagsfeier ein hochwertiges Buch, das anhand von qualifizierten Fachbeiträgen anerkannter Branchenexperten aus Hamburg und Deutschland detaillierte Einblicke in die Technologie und einen umfassenden Überblick über das aktuelle Geschehen vermittelt. Das 200 Seiten umfassende Kompendium zum 25-jährigen Jubiläum der Wasserstoff-Gesellschaft Hamburg e.V. verfügt über Grußworte von Alexander Dobrindt, Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur, sowie Olaf Scholz, Erster Bürgermeister der Freien und Hansestadt Hamburg. Das gemeinsam mit dem Hydrogeit Verlag herausgegebene Buch trägt den Titel *Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie* für eine nachhaltige Zukunft und wurde während der Feier an zahlreiche Anwesende als Dank für deren unermüdliche Arbeit übergeben. ||

Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie für eine nachhaltige Zukunft
ISBN 978-3-937863-44-3, Wasserstoff-Gesellschaft Hamburg (Hrsg.), Hydrogeit Verlag, Oberkrämer, Sept. 2014, Hardcover, komplett in Farbe, Preis: 34,50 Euro

AIR LIQUIDE

Umweltfreundlich, sauber, emissionsfrei

- Jahrzehntelanges Know-how in der gesamten H_2-Energiekette
- CO_2-neutrale Erzeugung
- Distribution und Hochdruckspeicherung
- Tankstellen für Pkw und Busse
- Brennstoffzellen für Flurförderzeuge

Zukunftstechnologien made by Air Liquide

AIR LIQUIDE Deutschland GmbH
Hans-Günther-Sohl-Straße 5 | 40235 Düsseldorf | wasserstoff@airliquide.de | www.airliquide.de

HESSEN FÖRDERT BZ-HEIZGERÄTE

Die Markteinführung hat begonnen. [Quelle: Callux]

Seit dem 21. Juli 2014 fördert nun auch Hessen den Einbau von Brennstoffzellenheizgeräten. Nach Nordrhein-Westfalen, Sachsen und zuletzt auch Baden-Württemberg (s. HZwei-Heft Juli 2014) bewilligte nun auch die Landesregierung in Wiesbaden ein Förderprogramm für Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Brennstoffzellen. Insgesamt sollen nach Angaben von Mathias Samson, Staatssekretär im Hessischen Wirtschafts- und Energieministerium, bis zu 60 Anlagen mit Zuschüssen von jeweils 50 Prozent der Investitionskosten (max. 17.550 Euro) finanziell unterstützt werden. Samson sagte: „Wir wollen mit unserem neuen Förderprogramm die Rahmenbedingungen dafür schaffen, dass die Potenziale, die diese effizienten Anlagen bieten, ausgeschöpft werden.“ Prof. Dr. Birgit Scheppat, Vorstandsvorsitzende der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Initiative Hessen, erklärte: „Wir begrüßen die Unterstützung des Landes zur Marktvorbereitung der Brennstoffzellenheizanlagen. Wir verbinden mit dem Förderprogramm die Hoffnung, dass es die Nachfrage nach Brennstoffzellenprodukten ankurbelt und die Attraktivität des Einstiegsmarkts steigert. Es sind jedoch weitere Anstrengungen auch auf Bundesebene notwendig, um die Brennstoffzellentechnologie marktfähig zu machen.“ ||

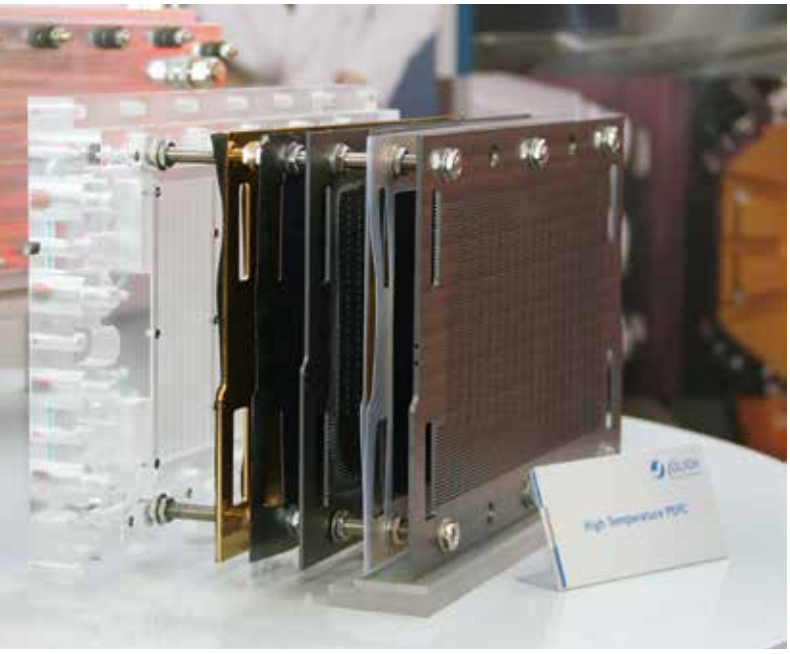
ELRINGKLINGER ÜBERNIMMT NEW ENERDAY

Die ElringKlinger AG, Automobilzulieferer aus Dettingen, hat Anfang Juli 2014 die Mehrheit beim Neubrandenburger Brennstoffzellenhersteller New Enerday GmbH übernommen. New Enerday arbeitet seit mehreren Jahren an flüssiggasbetriebenen Hochtemperaturbrennstoffzellen (SOFC) im Leistungsbereich bis 1.000 Watt. Nach Firmenangaben sollen verkaufsfähige Produkte vorliegen. ElringKlinger erhält mit der Übernahme der Anteilsmehrheit vom Altgesellschafterkonsortium wichtige Schutzrechte und ergänzt sein eigenes Produktportfolio im SOFC-Sektor (bis 3,5 kW) um die Bereiche Elektronik, Reformertechnologie sowie Systemintegration. Die Übernahme der zwölf Mitarbeiter beschäftigenden Firma soll im Laufe des dritten Quartals 2014 abgeschlossen werden. 25 Prozent der Anteile verbleiben beim Unternehmensgründer Dr. Matthias Boltze, der einen niedrigen einstelligen Millionenbetrag als Kaufpreis verbuchen konnte. ||

Thema: Messen | **Autor:** Sven Geitmann

3. WORLD OF ENERGY SOLUTIONS IN STUTTGART

Kanada als Partnerland



Zum dritten Mal wird in diesem Jahr die *World of Energy Solutions* in Stuttgart stattfinden. Vom 6. bis 8. Oktober 2014 erwarten die Veranstalter noch mehr Teilnehmer aus noch mehr Ländern als in den Vorjahren. Im vergangenen Jahr kamen insgesamt 3.000 Personen aus 30 Ländern auf das Stuttgarter Messegelände, um die *WES* als Kommunikations- und Informationsplattformen für neue Energie und neue Mobilität zu nutzen. Dieses Jahr könnten es noch mehr werden. Allein zu den Kongressen werden über 600 Teilnehmer erwartet, auf der Messe etwa 200 Aussteller. Damit die Veranstaltung weiter an Bedeutung gewinnt – auch international –, kürte die organisierende Peter Sauber Agentur Messen und Kongresse GmbH dieses Mal erstmalig Kanada zum Partnerland.

Organisator Peter Sauber ist sich sicher: „Kanada und Deutschland können viel voneinander lernen.“ Deswegen initiierte er extra ein abendliches Beisammensein *(Canadian reception)*, bei dem am 7. Oktober ab 17:45 Uhr auch die kanadische Botschafterin Marie Gervais-Vidricaire im International Congress Center (ICS) erscheinen wird. Über diese

bilaterale Zusammenarbeit sagte Dr. Christopher Hebling, Bereichsleiter am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE: „Durch die globale Spitzenposition zahlreicher kanadischer Universitäten sowie von Firmen wie z. B. AFCC, Ballard, Greenlight Innovation oder Hydrogenics ergeben sich für deutsche Forschungseinrichtungen sowie Industrieunternehmen eine Vielzahl von Anknüpfungspunkten für enge Kooperationen.“ Bob Stasko von Energy Storage Ontario ergänzte: „Unternehmen aus Kanada und Deutschland sind technologische Vorreiter der Energiezukunft und erarbeiten sich damit weltweit Marktchancen.“ Auf der Messe wird unter anderem Hydrogenics kanadische Produkte vorstellen und seine neue Generation von PEM-Elektrolyseuren vorstellen, die derzeit für die Power-to-Gas-Anlage in Hamburg aufgebaut wird (1 MW, Installation: Ende 2014, Regelbetrieb bei E.ON Hanse: 2015).

Außerdem wird auch das europäische Ausland in Stuttgart vertreten sein. So präsentieren sich zahlreiche Regionen aus Frankreich, den Niederlanden oder Spanien mit ihren Partnern und Projekten. Das französische Department Rhône-Alpes stellt sich beispielsweise mit dem *Automotive Cluster* als innovative Zuliefererregion der Automobilindustrie vor. Ebenso zeigen Vertreter aus Nord-Brabant (Niederlande) und Katalonien (Spanien) ihre Elektromobilitätsvorhaben. Darüber hinaus werden Referenten des nationalen Kompetenzzentrums AutomotiveNL und der TU Eindhoven ihre Erfahrungen mit neuen Mobilitätsangeboten in den Niederlanden präsentieren.

Im Konferenzteil der Veranstaltung werden zudem mehrere aktuelle Studien aus Deutschland vorgestellt. Dazu zählen beispielsweise die VDMA-Studie „Roadmap battery production equipment 2030“ sowie die e-mobil-BW-Studie über „Die Rolle von Wasserstoff in der Energiewende“ (s. S. 10). Parallel dazu sind mehrere Bundesländer und auch alle vier *Schaufenster Elektromobilität* mit eigenen Ständen auf der Messe vertreten.

Der *f-cell award* wird in diesem Jahr am Abend des 6. Oktober wieder in den Wagenhallen Stuttgart verliehen, allerdings nur in den Kategorien „Classic“ und „Science“. Die Kategorie „Start-up“ wurde gestrichen. ||

WES 2014
Seit 2012 finden unter dem Dach der *World of Energy Solutions* die Teilveranstaltungen *Battery+Storage*, die e-mobil BW conference sowie die *f-cell* statt. Sie ist ein Gemeinschaftsprojekt der *e-mobil BW GmbH*, der Landesmesse Stuttgart GmbH, der Peter Sauber Agentur Messen und Kongresse GmbH und der Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH

H2EXPO IN WINDENERGY EINGEBETTET

Die *H2Expo*, die Fachmesse für Speichertechnologie und Elektromobilität, hat vom 23. bis zum 26. September 2014 zeitgleich mit der *WindEnergy Hamburg* in der Hansestadt stattgefunden. Erstmals nutzten die Veranstalter die internationale Leitmesse für die On- und Offshore-Windbranche, um von thematischen Schnittmengen insbesondere im Bereich der Energiespeicherung profitieren zu können. Insgesamt stellten auf dem Hamburger Messegelände mehr als 1.000 Unternehmen aus rund 30 Ländern auf etwa 65.000 Quadratmetern aus. Alleinauf der *H2Expo* waren es rund 30 Aussteller, die in einem Teilbereich von Halle B6 an etwa 20 Ständen ihre Produkte und Dienstleistungen präsentierten. Die *H2Expo* war nicht abgegrenzt von der *WindEnergy*, sondern in das gesamte Umfeld eingebunden. Dies betraf auch etwa zehn weitere Aussteller, die zwar auch unter dem Schlagwort *Storage Tour* zum Thema „Energiespeicherung“ ausstellten, deren Stände sich jedoch in anderen Hallen befanden. Wie eine Sprecherin der Hamburg Messe gegenüber *HZwei* bestätigte, wird die *H2Expo* zukünftig als *Storage Tour* in der *WindEnergy* aufgehen.

Der diesjährigen Veranstaltung war ein langer Streit um den Austragungsort vorausgegangen, in dem sich sowohl Hamburg mit der *WindEnergy Hamburg* als auch Husum mit der *Husum Wind* als Messestandorte für die Windbranche durchsetzen wollten. Der inzwischen von den Messegesellschaften ausgehandelte Kompromiss sieht jetzt vor, dass die Veranstaltungsorte im zweijährigen Turnus wechseln: In diesem Jahr ist Hamburg der Ort, wo sich die internationale Windkraftszene trifft. Im nächsten Jahr wird sich der nationale Markt vom 15. bis 18. September 2015 in Husum einfinden. ||

Die *H2Expo* und die *WindEnergy* fanden nach dem Redaktionsschluss für diese *HZwei*-Ausgabe statt. Eine ausführliche Berichterstattung von dieser Veranstaltung erfolgt daher erst im Januar-Heft 2015.

PTG HÖHER ANSIEDELN

Während der *Power-to-Gas-Konferenz* der Deutschen Energie-Agentur (dena), die am 2. Juli 2014 in Berlin stattfand, drehte sich alles um die Zukunftsaussichten von PtG-Anlagen und deren Wirtschaftlichkeit. Die Veranstaltung stand ganz im Zeichen der Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG), deren konkrete Ausgestaltung zu diesem Zeitpunkt noch viele Fragezeichen in der Energiebranche hinterlassen hatte. Grundsätzlich bescheinigten die verschiedenen Redner der Power-to-Gas-Technologie zwar gute Zukunftschancen. Gleichzeitig hieß es jedoch immer wieder, dass kaum ein Business Case darstellbar ist, wenn die Letztverbraucherabgabe für diese Anlagen weiter aufrechterhalten wird. So erklärte Jens Schumann, Geschäftsführer von Gasunie Deutschland, den etwa 120 Zuhörern: „Power-to-Gas ist eine Technologie, die es verdient, auf der politischen Agenda höher angesiedelt zu werden.“ Auch Prof. Dr. Michael Sterner und Dr. Michael Specht, quasi die „Gründungsväter“ der PtG-Technik, stellten in einem Zwillingsvortrag die immensen Potentiale dieser Technologie heraus und drängten darauf, dass die politischen Rahmenbedingungen für die Energiespeicherung von nachhaltig erzeugtem Strom in Form von Wasserstoff deutlich verbessert werden müssten. ||

6. ECARTEC IN MÜNCHEN

Die *eCarTec Munich 2014* kann sich über fehlende politische Unterstützung nicht beklagen. Insgesamt vier Bundesminister beziehungsweise -ministerinnen sind mittlerweile Schirmherren beziehungsweise -herrinnen der 6. Internationalen Leitmesse für Elektromobilität und Hybrid: Nach Bildungsministerin Prof. Dr. Johanna Wanka, Wirtschaftsminister Sigmar Gabriel und Verkehrsminister Alexander Dobrindt engagiert sich seit Juli auch Umweltministerin Dr. Barbara Hendricks für die E-Mobility-Leitmesse.

Unter den Ausstellern werden vom 21. bis 23. Oktober 2014 auf dem Münchener Messegelände auch die Walther-Werke sein, die neben einer neu gestalteten modularen Ladesäule und Wallboxen den jüngst fertig gestellten *Charge Controller CC7* sowie neue Ladeschränke für Pedelecs auf ihrem Stand zeigen werden. Kai Kalthoff, der seit Juli 2014 als Geschäftsführer agiert, erklärte: „Unser Messeauftritt sendet zwei zentrale Botschaften: Autofahrern und Autoherstellern zeigen wir, dass E-Mobility nicht nur vernünftig ist, sondern auch Eleganz und Coolness ausstrahlen kann – und damit endgültig aus dem Schatten der Benziner heraustreten kann. Infrastrukturanbietern, Flottenbetreibern, Stromversorgern und anderen Unternehmen geben wir Lösungen, um mit E-Mobility Geld zu verdienen. Damit schaffen wir einen unverzichtbaren Anreiz zur flächendeckenden Durchsetzung der neuen Mobilität.“ ||

Wallbox in modernem, schlanken Design [Quelle: Walther-Werke]

FREIER EINTRITT

Die *HZwei* verschickt wieder kostenlose Eintrittskarten für die *eCarTec:* Alle Leserinnen und Leser, die gerne in München mit dabei sein möchten, können auf Wunsch Freikarten bekommen. Diese Gratistickets ermöglichen einen freien Zugang zur Messe *eCarTec Munich* und auch zu den parallel stattfindenden Veranstaltungen *sMove360°* und *Materialica*. Über einen Eintrittscode können sich alle Interessenten kostenlos unter www.ecartec.de anmelden und anschließend ihre Gratis-Eintrittskarte ausdrucken. Wahlweise stehen auch Print-Gasttickets zur Verfügung. Bei Interesse wenden Sie sich bitte einfach an den Hydrogeit Verlag.

Thema: Energiespeicherung | **Autor:** Sven Geitmann

DAS WIRD FOLGEN HABEN

Deutsch-französische Suche nach einem Geschäftsmodell

Abb. 1: Dr. Menzen übte harsche Kritik an deutschen Firmen.

Eine derzeit viel diskutierte Frage in der Energiebranche ist, ob und – wenn ja – wie Wasserstoff als Energiespeicher einen Beitrag zur Energiewende leisten kann. Dieses Thema bewegt nicht nur in Deutschland die Gemüter, auch die Franzosen denken über ein derartiges Industriemodell nach. Und genau vor diesem Hintergrund diskutierten am 24. Juni 2014 etwa 180 Wirtschaftsvertreter mit Politikern in der Französischen Botschaft in Berlin über „Wunsch und Wirklichkeit". Dabei ging es insbesondere um die Frage, ob es ein Geschäftsmodell für Wasserstoffspeicherung im Zuge der Energiewende gibt.

Obwohl Deutschland europaweit vielfach als Vorreiter in Sachen Wasserstoff angesehen wird, sind andere Nationen nicht gänzlich untätig. In Frankreich werden ebenfalls zahlreiche Projekte zur Erprobung dieser Technologie durchgeführt, wie Luc Bodineau von der französischen Agentur für Umwelt und Energie (ADEME) gleich zu Beginn der Veranstaltung, die vom Deutsch-französischen Büro für erneuerbare Energien (DFBEE) sowie der Französischen Botschaft organisiert worden war, ausführlich darlegte. Der Referent für Wasserstoff und Brennstoffzellen berichtete unter anderem über das *NavHybus*-Projekt, bei dem eine Fähre mit einem Batterie-Brennstoffzellen-Hybridsystem ausgestattet wird und ab Januar 2015 getestet werden soll. Weiter verwies er auf *Grhyd* (s. HZwei-Heft Jan. 2013), auf *Hytrac,* in dessen Rahmen Baustellenfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb (> 100 kW) ausgestattet werden, sowie auf das *Epilog-Project,* bei dem grenzüberschreitend stationäre BZ-Heizgeräte von Viessmann auch in Frankreich erprobt und ab 2015/16 auch kommerzialisiert werden sollen.

ES SIND FEHLER GEMACHT WORDEN Demgegenüber berichtete Dr. Georg Menzen vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) über hiesige Aktivitäten und betonte: „Wir müssen europaweit eine H_2-Infrastruktur installieren. Wenn das alles ausschließlich eine deutsche Maßnahme sein sollte, ist es schon heute zum Scheitern verurteilt."

Angesprochen auf die deutsche Förderpolitik im Erneuerbare-Energien-Sektor räumte er ein: „Bei der Photovoltaik sind jede Menge Fehler gemacht worden." Gleichzeitig stimmte er zu, dass derartige Fehler nicht wiederholt werden dürften und übte „Kritik an den deutschen Unternehmen", die derzeit ihr mit hiesigen Fördermitteln erlangtes Know-how an asiatische Unternehmen weitergeben. Menzen sagte: „Wir sehen das mit großer Kritik, was da im Brennstoffzellensektor passiert. Das wird Folgen haben für die Technologieförderung in Deutschland." Konkret beanstandete er, dass einige dieser Firmen mit Unternehmen aus Asien oder den USA kooperieren und nicht mit solchen aus Europa.

Resümierend stellten die Veranstalter fest, dass die technologischen Voraussetzungen gegeben seien, damit Wasserstoff einen Beitrag zur Versorgungssicherheit beitragen kann, auch wenn in Kürze kein technologischer Durchbruch zu erwarten ist. Es müsse vielmehr die Tatsache akzeptiert werden, dass zunächst ein Ausbau der Infrastruktur erforderlich sei, der sich jedoch zu Beginn nicht rentieren werde. Ein wichtiges Signal sei allerdings, dass Deutschland den anderen Mitgliedsstaaten der EU seine Hilfe beim Ausbau der Wasserstoffenergie angeboten hat, damit Wasserstoff zur Dezentralisierung der Energiesysteme beitragen kann. Um allerdings dem Wasserstoff zum Durchbruch zu verhelfen, bedarf es staatlicher Förderung sowie der Einführung eines Steuersystems zugunsten der zwingend erforderlichen Energiespeicherung. ||

ENTWICKLUNGSPLAN FÜR FRANKREICH

In einer von der französischen Regierung unterstützten Initiative zahlreicher Industrieunternehmen war im vergangenen Jahr eine Studie angefertigt worden, in der es um den Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur in Frankreich ging. Das Konsortium *Mobility Hydrogen France*, dem auf Initiative des französischen Wasserstoffverbands (L'Association Française pour l'Hydrogène et les Piles à Combustible AFHyPaC) insgesamt 20 Gründungsmitglieder beitraten, fertigte dafür einen Entwicklungsplan an, um in den Jahren von 2015 bis 2030 eine Betankungsinfrastruktur zu installieren. Die Initiative orientiert sich am Beispiel der deutschen *H2Mobility* sowie der britischen *UKH2Mobility*. In Frankreich zählen beispielsweise Unternehmen wie Air Liquide, CETH2, Michelin, McPhy sowie PHyRENEES dazu. Gemeinsam präsentierten sie im Dezember 2013 ihren Entwicklungsplan, der seit Mai 2014 in einer deutschen Übersetzung vorliegt, die während der Konferenz in der Französischen Botschaft verteilt wurde.

Thema: Energiespeicherung | **Autoren:** Ulrich Bünger, Reinhold Wurster

DIE ROLLE VON WASSERSTOFF IN DER ENERGIEWENDE

Metastudie der e-mobil Baden-Württemberg

Wasserstoff hat sich innerhalb der vergangenen Monate und Jahre immer mehr zum Kernbestandteil aller Power-to-Gas-Konzepte entwickelt. Als Folge daraus ergaben sich zahlreiche neue Analyse- und Entwicklungsaktivitäten unterschiedlichster Ausprägung. Demgegenüber hat sich die Nutzung von Wasserstoff als Kraftstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge in den letzten Jahren eher eindimensional entwickelt. Um bei all diesen Veränderungen einen bestmöglichen Überblick gewährleisten zu können und zum besseren Verständnis möglicher wechselseitiger Implikationen gab die Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg (e-mobil BW GmbH) eine Metastudie bei der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik in Auftrag.

Das deutsche Energiesystem befindet sich im Umbruch. In einem Satz zusammengefasst hat sich Deutschland vorgenommen, (a) aus der Kernenergie bis 2022 auszusteigen, dabei (b) gleichzeitig die Abhängigkeit von fossilen Energieimporten bis 2050 weitgehend zu reduzieren und (c) die Vorgaben der Europäischen Kommission zu Energieeinsparung/Energieeffizienz, Treibhausgasemissionsreduktion und Einführung erneuerbarer Energien bis 2020 und weiter bis 2050 zu erfüllen.

Die Umsetzungsziele der Energiewende befassen sich zunächst hauptsächlich mit dem massiven Ausbau der erneuerbaren Energien (s. Abb. 1) mit einem Fokus auf den Stromsektor. Bei der Stromversorgung erfordert die Einführung hoher Anteile fluktuierenden erneuerbaren Stroms ein immer besser koordiniertes Zusammenspiel zwischen Erzeugung, Übertragung, Verteilung, Speicherung und Verbrauch. Eine wichtige Lösung besteht in der Entwicklung eines chemischen Energieträgers, der sich besser als Strom direkt speichern lässt. Kurzfristig kann dieses auch Methangas sein, das jedoch sukzessive durch Wasserstoff abgelöst werden wird, aus Gründen besserer Kompatibilität mit Strom, höherer Gesamteffizienz und damit wirkungsvollerer Ressourcennutzung.

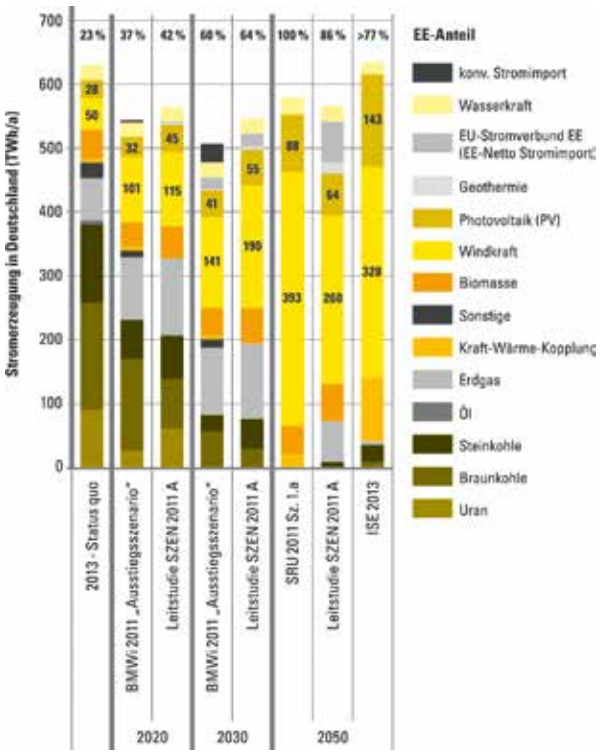


Abb. 1: Szenarien der Stromerzeugung in Deutschland bis 2050 [Grafik: LBST]

Wasserstoff wird dabei mittel- und langfristig die Rolle eines universellen Energieträgers und Speichermediums zur Unterstützung erneuerbaren Stroms zukommen. Aus kurzfristig mangelnder Wirtschaftlichkeit wird aber auch eine intelligente Verknüpfung von Strom und Gas (Wasserstoff, Methan), Wärme und Mobilität erforderlich werden, die bisher in Industrie und Politik nur teilweise erkannt wurde und sich daher noch nicht in der Umsetzung befindet. Eine Folge der Universalität von Wasserstoff ist auch, dass die „Energiewende" durch eine „Verkehrswende" gestützt wird. Energie- und Verkehrswende erfordern die höchstmögliche Transparenz aller Aktivitäten, um die öffentliche Akzeptanz und Unterstützung für die Umbaumaßnahmen im Energiesystem rechtzeitig zu gewährleisten.

SPEICHERBEDARF UND -KAPAZITÄTEN Eine wichtige Erkenntnis unterschiedlicher Studien ist die Einsicht, dass neben anderen Flexibilitätsmaßnahmen wie Demand-Side-Management oder Stromnetzausbau auch die Großspeicherung von Strom über Tage und Wochen eine notwendige Komponente des zukünftigen Energiesystems sein wird. Die Bandbreiten vorliegender Studien zur Notwendigkeit des Speicherausbaus in Deutschland bis 2050 reichen von null bis zu großen zweistelligen TWh-Angaben pro Jahr. Dabei verändern sich die wirtschaftlichsten Einsatzfelder der chemischen Großspeicherung von der Überschussstromnutzung (Verfügbarkeit kostengünstigen Stroms im Überfluss) zur Bedienung von Stromlücken (bedarfsgetrieben durch Erzeugungsknappheit – also zeitgerecht fehlenden Regenerativstrom).

Alle Analysen eint, dass ein massiver Ausbau von großen Energiespeichern nicht vor 2020 zu erwarten ist, eher sogar nach 2030. Wegen der langen Vorlaufzeiten für Systementwicklung und -integration raten einige Analysen dazu, zeitnah Maßnahmen für die Markteinführung von Wasserstoff als Großenergiespeicher zu initiieren. Ein Schlüsselelement zur Umsetzung der Energiewende ist dabei sektorübergreifend der Beitrag von Power-to-Gas, und zwar sowohl als Power-to-Hydrogen (PtH_2) als auch als Power-to-Methane ($PtCH_4$).

Während PtH_2 bereits seit 2004 im Industriekonsens fester Bestandteil der aktuellen Regierungsstrategie zu alternativen Kraftstoffen ist, wurde der Begriff $PtCH_4$ als Synonym für PtG erst in den letzten Jahren eingeführt. Wasserstoff ist das zentrale Element beider Konzepte (s. Abb. 2), wobei für den Verkehrssektor die hohe Gesamteffizienz im Zusammenhang mit Brennstoffzellenfahrzeugen im Vordergrund steht. Für den stationären Nutzen wird eher das bereits existierende Erdgasnetz für die direkte Zumischung geschätzt. In Verbindung mit der Produktion von Wasserstoff sowie der Nachfrage nach Wasserstoff (aber in der Che-

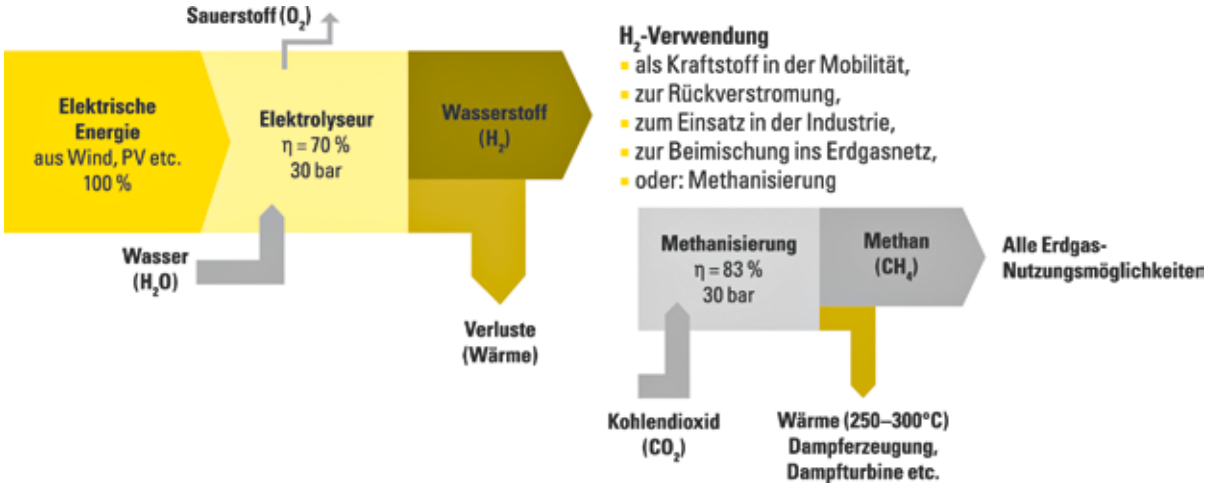


Abb. 2: Schematische Darstellung der Energieflüsse von Power-to-Gas [Grafik: LBST]

mieindustrie auch nach Methangas) ergeben sich hier weitere Andockmöglichkeiten.

Im Hinblick auf die Speicherung großer Energiemengen zeichnen sich Wasserstoff- und Methanspeicher durch höhere Energiedichten aus, die um ein bis zwei Zehnerpotenzen höher liegen als die von Druckluft- und-Pumpspeicherwerken. Außerdem verfügt Deutschland über genügende Potenziale für die unterirdische Speicherung in Salzkavernen, die allerdings regional begrenzt ist. Daher wird bei Wasserstoff mittel- bis langfristig von einer regionalen Diversifizierung der Speicherkonzepte ausgegangen. Als Speicherkonzepte stehen für Nord- und Mitteldeutschland Salzkavernen und in Süddeutschland oberirdische Tanks oder Röhrenspeicher zur Disposition.

Die Metastudie empfiehlt, in einem nächsten Schritt zunächst einmal genauere (regionale) Bedarfsanalysen anzustellen, wie Großspeicher dazu beitragen können, auf den künftigen Stromnetzausbau von Fall zu Fall verzichten zu können. Ebenso wichtig sind weitere detaillierte Untersuchungen zu wirtschaftlichen und intersektoralen Synergien bei der gemeinsamen Nutzung der neuen Infrastrukturen und deren Erprobung in dezentralen und vermutlich zunehmend eher regional dezentralen Demoprojekten. Auch sollten weitere Großspeicheroptionen für Wasserstoff neben der in Salzkavernen untersucht werden; insbesondere bieten sich Aquifere und alte Gaslagerstätten an, die bisher betriebliche Nachteile bei der Wasserstoffspeicherung vermuten lassen (mangelnde Einlagerungs- und Entnahmedynamik, Wasserstoffverschmutzung). Auch die kostengünstige oberirdische Wasserstoffspeichertechnologie auf Basis bekannter Technologien sollte im Hinblick auf Kostensenkungspotenziale in realen Projekten im täglichen Einsatz analysiert werden.

WASSERSTOFFERZEUGUNG MITTELS ELEKTROLYSE Von allen beteiligten Prozessen entlang der Prozesskette „Erneuerbarer-Strom-zum-Endnutzer“ ist die Elektrolyse der wichtigste. Sie ist Kernbestandteil aller Power-to-Gas-Ketten. Für den Power-to-H_2-Einsatz, also die Erzeugung von Wasserstoff aus fluktuierendem erneuerbaren Strom, wird von der Elektrolyse die Erfüllung eines Technologieprofils gefordert. Neben der Kostenreduktion von heute > 1.000 €/kW_{el} auf langfristig ≤ 500 €/kW_{el} sollte sie auch über unterschiedliche Leistungsklassen skalierbar sein. Der Einsatz in großen und zentralen Elektrolyseparks zum Beispiel an Salzkavernenstandorten (mehrere 100 MW_{el}) oder für den dezentralen Einsatz (kleine H_2-Tankstellen mit Onsite-Erzeugung < 1 MW_{el}). Gefordert sind dabei sowohl ein dynamisches Betriebs- beziehungsweise An- und Abfahrverhalten im Hinblick auf stark fluktuierende Windenergie- oder PV-Lastgänge als auch niedrige Stand-by-Verluste in Zeiten von geringem (erneuerbaren) Stromaufkommen. Außerdem ist ein hohes H_2-Druckniveau von 35 bis 50 bar erforderlich, weil sich dadurch die Kosten für die erforderliche mechanische Kompression für eine nachfolgende Distribution beziehungsweise lokale Weiterverwendung reduzieren lassen.

Für die Elektrolyse stehen die alkalische, die PEM- und die Hochtemperaturelektrolyse als Technologieoptionen zur Verfügung. Sie unterscheiden sich durch besonders günstiges dynamisches Verhalten beziehungsweise niedrigen Flächenbedarf (PEM-Elektrolyse), hohe Betriebseffizienz (Hochtemperaturelektrolyse) sowie Robustheit und langjährige Betriebserfahrungen (alkalische Elektrolyse). Die Handlungsempfehlungen für die Elektrolysetechnik lassen sich entsprechend ihrem gerade in Deutschland hohen Entwicklungsstand einfach zusammenfassen. Neben weiteren Entwicklungsbemühungen bei der Materialentwicklung bei PEM- und Hochtemperaturelektrolyse für elektrochemische Komponenten und für vereinfachte Strukturmaterialien (für die alkalische Elektrolyse auch im Hinblick auf die Hochdruckanwendung) ist das künftige Hauptaugenmerk vor allen Dingen auf die Serienfertigung zu richten. Alle genannten Maßnahmen sollten zum Ziel haben, die für die Gesamtwirtschaftlichkeit der Wasserstoffenergieketten wichtigen spezifischen Investitionskosten zu senken.

Insbesondere die hohe betriebliche Dynamik sowie die systemische Einbindung der Elektrolyse in Power-to-Gas-Anlagen stehen im Fokus des künftigen Entwicklungsengagements. Weitere Demonstrationsprojekte sowohl im kW- als auch im Multi-MW-Maßstab sollten insbesondere die Erzielung möglicher Geschäftsmodelle in der Praxis erproben helfen, am besten zum simultanen Einsatz in Power-to-Gas-Anlagen für verschiedene Energiedienstleistungen (Strom, Wärme, Regeldienst, Verkehr, Industrie). Um das Ziel eines Elektrolysemarktes für Power-to-Gas-Konzepte in industriell relevanter Größenordnung (z. B. 1.500 MW_{el} bis 2020) zu erreichen, bedarf es zur beschleunigten Markteinführung sowohl der Projektförderung durch die öffentliche Hand als auch der Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen. So wäre beispielsweise die Einführung eines funktionierenden Konzeptes zur regulatorischen Begünstigung auch der Großenergiespeicherung sinnvoll.

WASSERSTOFFDISTRIBUTION UND -INFRASTRUKTUR Neben der Nutzung der bereits in der Industrie existie-

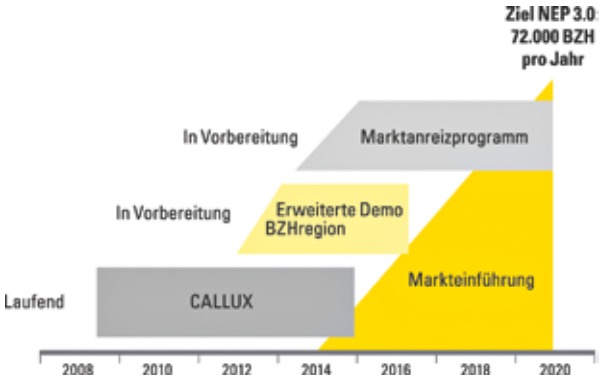


Abb. 3: Vorbereitung der Markteinführung von Brennstoffzellenheizgeräten in Deutschland [Quelle: NEP 3.0 / IBZ-Info]

renden H_2-Verteilinfrastrukturen (z. B. bestehendes Rohrleitungsnetz in Deutschland und Europa) sowie der Distribution von Handelswasserstoff via Trailertransport (künftig kostengünstig durch Hochdrucktechnik bei 500 bar), gilt es auch die erforderliche Tankstelleninfrastruktur für die Versorgung des Verkehrssektors zu entwickeln. Dafür wurde im September 2009 in Deutschland die *H_2Mobility*-Initiative als Public-Private-Partnership (PPP) gegründet und im ersten Halbjahr 2014 mit sieben Industrieunternehmen formalisiert. Ihre Aufgabe besteht darin, eine kommerzielle Tankstelleninfrastruktur zu errichten. *H_2Mobility Deutschland* kann bereits heute für sich reklamieren, die Entstehung weiterer europäischer Netzwerke mit initiiert zu haben (z.B. in Frankreich und Großbritannien). Das öffentliche Engagement in dieser Initiative dient der finanziellen Risikominimierung.

Die erst seit etwa 2010 breit entwickelte Diskussion um Power-to-Gas mit der Forderung nach einer Speicherung von Wasserstoff im großen Stil hat auch Konsequenzen für den Infrastrukturaufbau. So wurden im *ChemCoast*-Projekt die wirtschaftlichen Synergien einer Rohrleitungsinfrastruktur im Raum Unterelbe im Hinblick auf einen wachsenden Wasserstoffbedarf in Industrie und Verkehr analysiert. Auch aus dem Erdgasnetz könnten sich Teilnetze zur Verteilung von 100 % Wasserstoff abtrennen lassen, um künftig Erdgas- durch Wasserstoffnetze sukzessive zu substituieren. Eine wichtige Forderung ist die nach einer schnellen Umsetzung des durch *H_2Mobility* angekündigten Wasserstofftankstellenaufbaus, um fristgerecht und mit zeitlichem Vorlauf die Betankungsmöglichkeiten für einen frühen Brennstoffzellenfahrzeugmarkt zu schaffen. Im Fokus sollte dabei neben hoher Zuverlässigkeit und Nutzerfreundlichkeit (z. B. durch Standardisierung) auch der wirtschaftliche Betrieb der Einrichtungen stehen.

Gleichzeitig sollte bereits frühzeitig ein ambitionierter, aber wirtschaftlich umsetzbarer erneuerbarer Wasserstoffanteil mit ausreichenden erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten gefordert werden. Das Regelwerk für die Genehmigung zur Errichtung, zur Zulassung und zum Betrieb sollte handhabbar gestaltet werden. Dazu gehören auch die Vorgaben und die Instrumente zur Einhaltung des festgesetzten erneuerbaren Wasserstoffanteils (wie in Kalifornien bereits vorgeschrieben). Die weitreichenden Maßnahmen könnten dazu in einer eigenen Roadmap „Vom fossilen zum regenerativen Wasserstoff“ dokumentiert werden.

MOBILE BRENNSTOFFZELLENANWENDUNGEN Die Umstellung der Straßenfahrzeugantriebe von Verbrennungsmotoren auf doppelt effiziente Brennstoffzellenelektroantriebe mit Wasserstoff, insbesondere für Pkw und Stadtbusse, hat sich inzwischen herumgesprochen. Als wichtigste Argumente für die grundlegende Umstellung gelten mittel- bis langfristig

- die Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Kraftstoffen (insbesondere vom Öl),
- die Notwendigkeit der Erfüllung der EU-Emissionsreduktionsziele jeweils für die Fahrzeugflotten jedes einzelnen Automobilherstellers: Anpassung des heute gebräuchlichen Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) an einen realitätsnäheren Weltzyklus *(WLTP – Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures)*
- die Einhaltung der gegebenenfalls sich daraus ergebenden noch zu verschärfenden Flottenemissionsgrenze von < 95 g_{CO2}/100 km bis 2021
- die Einführung erneuerbarer Energien in den Verkehrssektor.

Die Vorteile wasserstoffbetriebener Brennstoffzellen bestehen in der hohen Systemeffizienz, den nutzerfreundlichen und witterungsunabhängigen Fahrzeugreichweiten pro Tankfüllung, der schnellen Betankbarkeit, der hohen Betriebsdynamik (Kaltstart, Beschleunigungsvermögen), dem geräuscharmen Betrieb, der Integrierbarkeit der Antriebe in heute gebräuchliche Fahrzeuge und insgesamt der Universalität als Hauptmerkmal gegenüber batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV). Die Analysen der internationalen Industrieaktivitäten zeigen ein breites Interesse der Automobilindustrie an der Kommerzialisierung von Brennstoffzellenfahrzeugen mit Markteintrittsankündigungen, die von 2014 (Hyundai) über 2015 (Toyota, Honda), 2017 (Daimler, Nissan, Ford) und 2020 (BMW, GM) bis zum Zeitraum 2020 bis 2025 (Volkswagen, s. Abb. 3 & s. Tab. 2) reichen. Die nächsten Entwicklungsziele richten sich vor allen Dingen auf die Kostenreduktion beim Materialeinsatz sowie auf Einsparmöglichkeiten durch Serienfertigung.

Ein neuer Aspekt, der sich mit der Einsicht der Energieindustrie zum großskaligen Stromspeicherbedarf aus Synergien mit der Stromwirtschaft ableitet, ist die gemeinsame Entwicklung und Nutzung einer Wasserstoffinfrastruktur. Der Nutzen der Brennstoffzellenantriebe auch für andere straßengebundene Fahrzeuge zeichnet sich sowohl kurzfristig (Stadtbusse und Flurförderzeuge) als auch langfristig (mittlere und schwere Nutzfahrzeuge sowie Landmaschinen) ab, sobald die Serienfertigung für den Brennstoffzelleneinsatz im Pkw angelaufen ist. Die Brennstoffzellentechnik ermöglicht in diesen Anwendungen sogar die Erreichung technischer Ziele, die sich heute verbrennungsmotorisch nur mit vergleichsweise höherem Aufwand realisieren lassen.

Während die Industrie die Material-, Verfahrens-, Komponenten- und Systemtechnikentwicklung vorantreibt, soll die Politik die nun nahezu marktreife Technologie in Forschung und Markteinführung fortlaufend und vor allen Dingen kontinuierlich unterstützen. Die Markteinführungspläne von Fahrzeugherstellern und Infrastrukturentwicklern sind eng aufeinander abzustimmen, da zur Markteinführung der Brennstoffzellenfahrzeuge bereits eine nahezu flächendeckende Wasserstoffbetankungsinfrastruktur vorhanden sein sollte.

Zur Überführung der Brennstofftechnologie in andere Fahrzeugsegmente bedarf es neben der reinen Kostenreduktion der Brennstoffzellensysteme auch weiterer sektorspezifischer Anstrengungen. Für eine breite Einführung

privater oder kommunaler städtischer Fahrzeugflotten (z. B. Taxis) ist die Einführung entsprechender Schadstoff- und Lärmemissionsminderungsvorgaben nach kommunalen, nationalen oder EU-Vorschriften zielführend. Die Berücksichtigung weiterer Stromnetzdienstleistungen (z. B. durch die Speicherung relevanter Energie-, also Wasserstoffmengen an den Betriebshöfen) könnte die Einführung von Brennstoffzellenbussen begünstigen beziehungsweise beschleunigen.

STATIONÄRE BRENNSTOFFZELLENANWENDUNGEN

Beim Einsatz von Brennstoffzellen für die stationäre Energieversorgung mit Kraft-Wärme-Kopplung für die Hausenergieversorgung konzentriert sich das Know-how zur Kommerzialisierung auf Basis der PEM-Technologie auf Japan, von wo die deutschen Hersteller inzwischen ihre BZ-Stacks beziehen (Viessmann, Bosch/Buderus/Junkers, Baxi). Ein wettbewerbliches Know-how besitzt Deutschland aber in der Hochtemperaturbrennstoffzellentechnologie (SOFC). Zur breiten Markteinführung werden in Deutschland *(Callux)* und Europa *(ene.field)* zwei Feldtests für eine breite Markteinführung nach japanischem Vorbild mit PEM-BZ durchgeführt, allerdings mit etwa zehn Jahren Zeitverzug zu Japan. Obwohl die Lebensdauerziele bereits weitgehend erreicht wurden, bedarf es jetzt noch einer weiteren Kostenreduktion auf etwa 5.000 € pro Beistellgerät.

Auch beim Einsatz der USV/Notstromversorgung für Telekommunikationsanwendungen haben deutsche Unternehmen Nachholbedarf, insbesondere, was die technologische Weiterentwicklung bis zur Marktreife und Erprobung beziehungsweise Kostenreduktion für attraktive, international wachsende Märkte für PEMBZ angeht, gerade auch beim erforderlichen Zugang in Schwellenländern.

In der industriellen Stromversorgung zählen neben der Kraft-Wärme-Kopplung auch die Kälteversorgung und sogar der Brandschutz als potenzielle Einsatzfelder. Allerdings gilt auch hier, dass ein beherztes Markteinführungsprogramm, so wie in Süd-Korea und den USA, die Kommerzialisierung beschleunigen und damit die Position der deutschen Brennstoffzellenunternehmen stark verbessern könnte.

AUSBLICK UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es in Deutschland nach einem guten industriellen Entwicklungsstart bei der Wasserstofftechnologie und den Brennstoffzellen im internationalen Wettbewerb an einer kontinuierlichen Unterstützung der Industrialisierung durch umfangreiche Markteinführungsprogramme mangelt. Es wird daher empfohlen, erfolgreiche Programme wie das *Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie* (NIP) zu verlängern und die Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) weiter mit der Durchführung zu beauftragen – mit einem klaren Fokus auf Markteinführung, wie auch im Koalitionsvertrag der Regierungskoalition gefordert. Auch das „Innovationsprogramm Infrastruktur" in Baden-Württemberg zeigt in die richtige Richtung einer Unterstützung der Industrie bei der Markteinführung, und zwar im Schulterschluss öffentlicher und privater Akteure.

Weitere Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sind erforderlich im Bereich des H_2-Infrastrukturaufbaus,

- zur Erschließung möglicher Synergiepotenziale einer sektorübergreifenden Wasserstoffnutzung,
- zum besseren Verständnis über die Nutzung von Wasserstoff für Stromnetzdienstleistungen,
- zur Technologieweiterentwicklung, insbesondere im Hinblick auf eine Kostensenkung der Elektrolysetechnologien,
- zur Demonstration dezentraler, multifunktionaler Versorgungsoptionen auf Basis von Wasserstoff („Energiestation"), ein gutes Beispiel ist das Demonstrationsprojekt am Flughafen Schönefeld;
- zur Weiterentwicklung praxistauglicher regulatorischer Rahmenbedingungen und zum Weitertreiben der Standardisierung und
- zur Intensivierung der politischen Zusammenarbeit verbunden mit regionaler, nationaler und europäischer Abstimmung.

Weiterhin sollten befristete, degressive und an Zielen orientierte Markteinführungsinstrumente entwickelt werden, um die Elektromobilität in ihrer Gesamtheit zu fördern. Dazu zählt insbesondere auch die Aufhebung von Verordnungsschranken, die den intersektoralen Einsatz von Wasserstoff in der Energiewirtschaft blockieren (z.B. eine flexible Umsetzung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie, die nicht nur Biokraftstoff zulässt). ||

Diese Arbeit wurde gefördert durch Mittel des Umweltministeriums Baden Württemberg.

→ www.e-mobilbw.de

Autoren:

Dr.-Ing. Ulrich Bünger, M.Sc.
→ Ulrich.Buenger@lbst.de

Reinhold Wurster
→ Reinhold.Wurster@lbst.de

beide Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Ottobrunn

Thema: Energiespeicherung | **Autoren:** Artur Braun, Florent Boudoire

PHOTOELEKTRODEN FÜR SOLAREN WASSERSTOFF

Tricks und Kniffe von der Natur abgeschaut

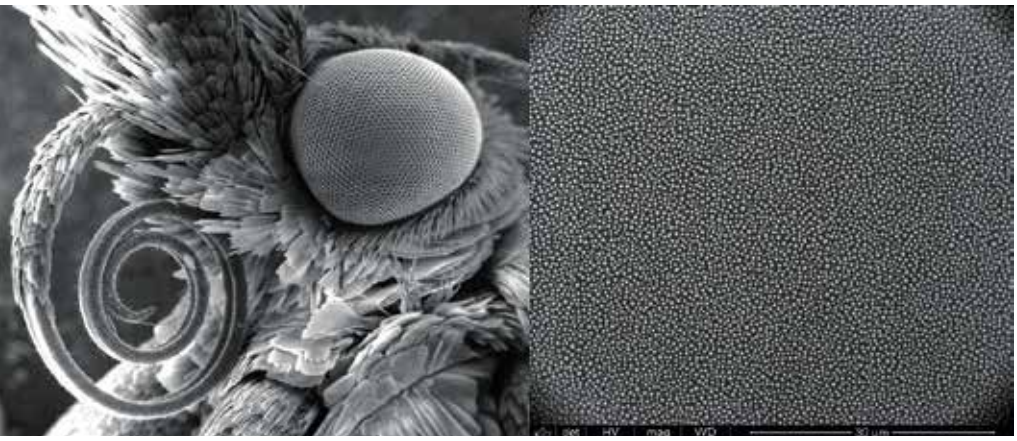


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopaufnahmen einer Motte mit deren Auge aus globularen Zellen (l.), daneben eine Rasterelektronenmikroskopaufnahme einer Metalloxid-Photoelektrode mit ähnlicher Zellenstruktur (r)
[Quelle: Louisa Howard und Dartmouth College, Creative Commons Lizenz (l.), Empa (r.)]

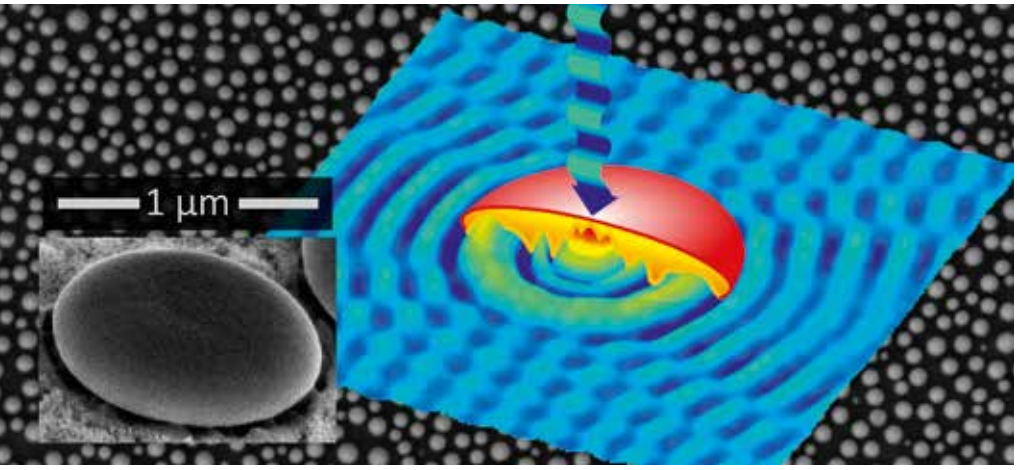


Abb. 2: Rasterelektronenmikroskopieaufnahme der Photoelektrodenoberfläche mit linsenförmigen Wolframoxid-Partikeln mit Eisenoxid-Beschichtung (l.) und Computersimulation der Intensitätsverteilung des optischen Feldes in einem solchen Partikel (r. Wolframoxid gelb, Eisenoxid rot).

Die Photovoltaik ist eine gut geeignete Technik, um Sonnenenergie in Elektrizität umzuwandeln. Sie ist derart erfolgreich, dass sie mittlerweile einigen anderen etablierten Energiesektoren Konkurrenz macht oder bestehende Infrastrukturen, wie etwa die Stromnetze, erkennbar herausfordert. Allerdings wird noch nicht einmal 20 % der von der Menschheit weltweit verbrauchten Energie in Form von elektrischem Strom benötigt. Die restlichen 80 % stammen aus allen möglichen Arten von Brennstoffen. Wäre man in der Lage, diese 80 % in Form von „solaren Brennstoffen“ zu bedienen, wäre dies ein gewaltiger Fortschritt und ein ultimativer Schritt in Richtung einer nachhaltigen Energiewirtschaft und -gesellschaft. Die Verwendung von Photovoltaikanlagen mit Elektrolysegeräten reicht technisch betrachtet aus, um den einfachsten synthetischen solaren Brennstoff, den Wasserstoff, aus Sonnenenergie und Wasser (ggfls. aus Abwasser) herzustellen. Photoelektrochemische Zellen stellen die integrale Kombination von Solarzellen und Elektrolyseelektroden her – gewissermaßen in monolithischer Form. Und es gibt Berechnungen, die zeigen, dass Reaktoren aus solchen photoelektrochemischen Zellen wirtschaftlicher sind als die Nutzung fossiler Brennstoffe.

Über die Möglichkeit, elektrische Energie in chemische Energie durch Wind-Wasserstoff-Technologie umzuwandeln und so zu speichern, wurde bereits ausführlich in der *HZwei* berichtet. Die nächste Aufgabe, die es mit Sonnenenergie zu bewältigen gilt, ist die Gewinnung von möglichst CO_2-neutralem Brennstoff, wie zum Beispiel als Wasserstoff für Mobilitätsanwendungen. Im Prinzip kann man auch PV-Strom für direkte Wasserelektrolyse benutzen. Mit der herkömmlichen Silizium-PV-Technologie muss man vier Photovoltaikzellen in Reihe schalten, um die für die Wasserspaltung notwendige elektrische Spannung zu erreichen. Bei Bewölkung fällt allerdings die Spannung ab und die Elektrolyse setzt aus. Zuverlässiger wäre es daher, wenn der Elektrolyseur und die PV-Anlage systemisch zusammengefasst werden könnten.

MÖGLICHST VIEL LICHT EINFANGEN

Die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom erfolgt über Photoelektroden. Hierbei handelt es sich um Halbleiter, die Licht absorbieren. Dadurch werden Elektronen freigesetzt und Elektronenlöcher erzeugt, die typischerweise eine technisch nutzbare elektrische Spannung erzeugen. Mit dem Anschluss eines elektrischen Verbrauchers fließt dann Strom, der elektrische Arbeit verrichten kann – wie zum Beispiel eine Wasserelektrolyse.

Das Sonnenlicht trifft mit einem charakteristischen Spektrum auf unsere Erde. Dieses Spektrum erstreckt sich über einen weiten Wellenlängenbereich. Der für unsere Augen sichtbare Bereich befindet sich zwischen der infraroten Wärmestrahlung und der unsere Haut bräunenden und ab einer gewissen Grenze schädlichen Ultraviolettstrahlung. Das vollständige Sonnenspektrum geht natürlich beidseitig noch sehr viel weiter über diese Grenzen hinaus. Die Organismen der Natur, die ihr Leben mittels Photosynthese aus der Sonnenenergie schöpfen, benutzen ausschließlich den sichtbaren Wellenlängenbereich. Hier hat die Sonne ihr Intensitätsmaximum. Daher es ist verständlich, dass sich die Photosynthese wie auch das Sehvermögen der Augen in gerade diesem vorteilhaften Wellenlängenbereich entwickelt haben.

Aus genau diesem Grund werden Solarzellen beziehungsweise Photoelektroden materialtechnisch darauf abgestimmt, dass sie von dem Licht-

Abb. 3: Einfacher Demo-Reaktor für die solare Wasserstoffgewinnung mit 100 cm² großen Metalloxid-Photoelektroden (Quelle: Empa)

spektrum am meisten absorbieren, wovon auch am meisten von der Sonne für uns auf der Erde zur Verfügung steht – dem sichtbaren Bereich.

EINE KOSTENFRAGE Die hierfür relevante Materialkenngröße ist die optische Energiebandlücke, welche für herkömmliche Solarzellen idealerweise 1 bis 1,4 Elektronenvolt beträgt. Das klassische Silizium, aber auch modernere Halbleiterverbindungen wir Galliumarsenid oder Kupfer-Indium-Germanium-Selenid absorbieren sehr effizient in diesem Bereich. Will man diese Materialien aber als Elektrode in Wasser tauchen und damit Wasserspaltung betreiben, stellen sich nicht nur Fragen der Korrosionsstabilität, sondern auch Kostenfragen. Einige der hocheffizienten Materialien sind geradezu astronomisch teuer, während andere zu kurzlebig sind.

Weit kostengünstigere und auch korrosionsbeständigere Absorbermaterialien sind Metalloxide. Eisenoxid absorbiert im roten Wellenlängenbereich und hat eine vergleichsweise hohe Effizienz. Das etwas teurere Wolframoxid absorbiert im blauen Wellenlängenbereich, welcher aber im Sonnenspektrum keinen großen Anteil aufweist. Das sehr robuste und günstige Hochleistungsmaterial Titanoxid absorbiert wegen seiner großen Bandlücke leider nur im UV-Bereich, in dem die Sonne ihre niedrigste Intensität aufweist.

Eisenoxid wird wegen seiner guten optischen und chemischen Eigenschaften in der Tat von einigen Forschergruppen als Photoanode für die solare Wasserstofferzeugung favorisiert. Seine elektrischen Eigenschaften lassen jedoch zu wünschen übrig. Eine Photoelektrode muss per Definition eine gute elektrische Leitfähigkeit haben. Beim Eisenoxid ist das ausschließlich dann der Fall, wenn die Elektrode nur wenige Nanometer dünn ist. Solche ultradünnen Elektroden lassen sich zwar herstellen, dann wird aber nicht mehr genügend Licht absorbiert. Nur die 100-mal dickere Elektrode absorbiert optimal, leitet aber dann nicht mehr ausreichend Strom. Es liegt also ein Zielkonflikt des ansonsten so guten Eisenoxids vor, dem zunächst nicht beizukommen ist.

Wie sich herausstellt, wartet aber die Natur mit einer Lösung auf.

Florent Boudoire, Doktorand an der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) sowie der Universität Basel, untersuchte Prozesse der physikalischen Chemie, die zu selbstorganisierten Strukturen auf Elektroden führen. Frustriert von dem mühsamen Eisenoxid griff er zum Wolframoxid. Boudoires Forschungsgebiet ist die sogenannte „solution based Synthese". Er mischte Ammoniumtungstat in eine Polymerlösung, woraufhin sich mikroskopisch kleine Bläschen bildeten, die das Tungstat umhüllten. Diese Bläschenlösung verteilte er mittels spin coating auf Glaselektroden, wobei sich die Form der Bläschen von kugelrund auf linsenförmig änderte. Pyrolysebehandlung im Ofen verbrannte die organischen Bestandteile und wandelte das Wolframtungstat in das optisch wirksame Wolframoxid um.

Gleich darauf gab Boudoire eine Eisennitratlösung auf die linsenartige Elektrodenstruktur aus Wolframoxid und verteilte sie wiederum per spin coating, bevor er mit einer zweiten Pyrolyse den Herstellungsprozess abschloss. Bei seinen anschließenden Analysen stellte sich heraus, dass die Wolframlinsen eine Größe im Mikrometerbereich hatten und von einem nur wenige Nanometer dünnen Eisenoxidfilm überzogen waren. Interessanterweise hat solch eine neue Elektrodenstruktur neben dem eigentlichen Lichtabsorptionsmaximum, das hauptsächlich vom Wolframoxid herrührt, noch ein weiteres Absorptionsmaximum, das von der Größe der Struktur herrührt. Die spektrale Lage dieses Absorptionsmaximums lässt sich über die Geschwindigkeit des spin coaters so einstellen, dass die Elektrode dem Sonnenspektrum optimal angepasst ist. Eine ideale Situation.

DIE MOTTE HAT ES VORGEMACHT Hier liegt ein sehr wichtiges Beispiel dafür vor, dass alleiniges Mischen von chemischen Elementen, um bestimmte Materialphasen zu erhalten, nicht unbedingt zum Erfolg führt. Im vorliegenden Fall haben wir eine linsenartige Grundstruktur aus Wolframoxid, die mit einem dünnen Eisenoxidfilm überzogen ist, mithin eine heterogene Materialstruktur, aus deren Form eine neue Funktion erwächst – nämlich die der totalen Lichtabsorption bei Beibehaltung der erforderlichen Leitfähigkeit.

Diese Elektrodenstruktur lässt sich eins zu eins mit den Maxwellschen Gleichungen am Computer simulieren und führt exakt zu den gleichen Resultaten wie im Laborexperiment. Der durch die neue Struktur produzierte Photostrom ist wesentlich höher als bei vergleichbaren Elektroden ohne diese Mikrostruktur.

Es ist keine Überraschung, dass wir beim Design einer solchen Struktur nicht die ersten sind. Das Mottenauge ist nach einem ähnlichen Prinzip aufgebaut, bei dem eingefangenes Licht hin und her gestreut wird, nicht aber wieder nach außen gelangt. Damit ist gewährleistet, dass Feinde die Motten nicht anhand reflektierten Augenlichts entdecken können. Die Natur hat es somit schon vorgemacht.

Die vorliegende Elektrodenstruktur beruht auf selbstorganisiertem Wachstum, für das es lediglich kostengünstiger Ausgangsstoffe und chemischer Prozesse bedarf. Wichtig ist, dass man das physikalische Funktionsprinzip versteht sowie den Zusammenhang mit den Material- und Prozessparametern. ||

Diese Forschung und Entwicklung wird unterstützt vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaften, von der VELUX-Stiftung, von der Marie-Heim-Vögtlin Stiftung und vom Europäischen Forschungsrat (ERC LiLO).

Autoren:

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

Thema: Entwicklung | **Autoren:** Thomas J. Schmidt, Eberhard Lehmann, Pierre Boillat, Johannes Biesdorf

EIS IN BRENNSTOFFZELLEN

Neutronen machen unterkühltes Wasser sichtbar

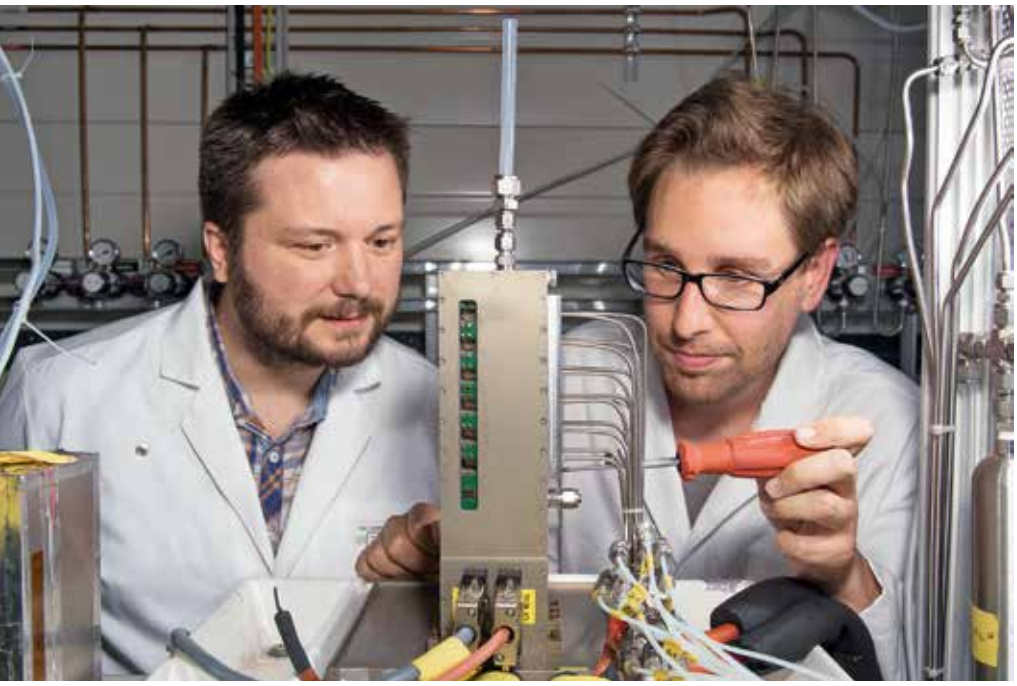


Abb. 1: Pierre Boillat und Johannes Biesdorf beim Experimentieren [Quelle: Paul Scherrer Institut]

Brennstoffzellenfahrzeuge haben das Potenzial, eine wesentliche Rolle in einer zukünftigen Energielandschaft zu spielen, die vermehrt auf intermittierend verfügbaren erneuerbaren Energien basiert. Ein Weg, um die Überschüsse von elektrischer Energie zu verwerten, ist, diese Energie mittels Elektrolyse in Wasserstoff zu verwandeln. Der gespeicherte Wasserstoff kann danach unter anderem in der Mobilität in Brennstoffzellenfahrzeugen benutzt werden. Die hierfür verwendete Brennstoffzellentechnologie – die Polymerelektrolytbrennstoffzelle – basiert auf einer protonenleitenden Membran, deren Leitfähigkeit bei Raumtemperatur und sogar bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes ausreichend hoch ist. Das heißt, dass ein Brennstoffzellenfahrzeug grundsätzlich fähig ist, bei Temperaturen unter 0 °C ohne Vorheizung zu starten. Am Paul Scherrer Institut wurde jetzt nachgewiesen, dass Wasser in Brennstoffzellen mitunter noch bei -7,5 °C flüssig ist.

Die elektrochemische Reaktion in einer Brennstoffzelle besteht aus der Kombination von Wasserstoff und Sauerstoff, wobei neben elektrischer Energie auch Wasser und Wärme als Produkte entstehen. Bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes besteht die Gefahr, dass dieses Wasser gefriert, was grundsätzlich zwei verschiedene Probleme verursachen kann: Erstens kann das gebildete Eis die Porenstruktur der Elektroden blockieren, so dass der Brennstoffzellenstart fehlschlägt. Dies geschieht vor allem dann, wenn die Eisbildung schneller stattfindet als der aus dem Betrieb resultierende eigene Aufheizprozess der Brennstoffzelle. Und zweitens können bei Fahrzeugen, die bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes geparkt wurden und deren Brennstoffzelle bereits viel Wasser enthält, auch mechanische Schäden innerhalb des Brennstoffzellensystems entstehen.

Die Dynamik des Gefrierens von Wasser in Brennstoffzellen ist äußerst kompliziert, nicht zuletzt weil sich Wasser auch bei Temperaturen unterhalb von 0 °C in flüssigem Zustand befinden kann, so dass dann sogenanntes „unterkühltes Wasser“ vorliegt. In diesem Kontext sind Methoden, die die direkte Visualisierung von Wasser und Eis in Brennstoffzellen erlauben, äußerst nützlich. Derartige Methoden wurden im Paul Scherrer Institut (PSI) in der Schweiz in einer Zusammenarbeit mit dem Labor für Elektrochemie (LEC) und der Gruppe „Neutronen Imaging und Aktivierung“ (NIAG) erforscht.

PROBEN FÜR MOLEKULARE BEWEGUNGEN Neutronenradiographie ist eine Methode, die der Röntgenradiographie (z. B. in medizinischen Anwendungen) ähnelt, bei der statt eines Röntgenstrahls ein Strahl aus Neutronen durch die Probe gesandt wird. Die Wechselwirkung von Neutronen mit Festkörpern erlaubt Messungen, die mit Röntgenradiographie nicht möglich sind: Bei Röntgenmessungen ist in erster Linie das „Gewicht“ von Atomen maßgebend: Leichte Atome wie Wasserstoff können kaum detek-

tiert werden, während schwerere Atome, wie zum Beispiel Metalle, die etwa für Brennstoffzellengehäuse verwendet werden, den Strahl blockieren beziehungsweise absorbieren.

Neutronen werden von dem leichten Element Wasserstoff (welches in Wasser enthalten ist) sehr stark abgelenkt, während strukturelle Materialien der Brennstoffzellen wie Aluminium oder Stahl annähernd transparent sind. Dies ist sehr wichtig, um die Wasserverteilung in der Brennstoffzelle während ihres Betriebes zu visualisieren.

Ein weiterer Unterschied zwischen Röntgenstrahlen und Neutronen ist für die Abbildung von Wasser und Eis äußerst wichtig: Wegen der sogenannten unelastische Streuung ist die Ablenkung von Neutronen durch Wasserstoffatome in Wasser nicht nur von der Dichte der Wassermoleküle abhängig, sondern auch von deren Bewegungen. Da die molekularen Bewegungen in Eis und in flüssigem Wasser unterschiedlich stark sind, kann dieser Effekt genutzt werden, um zwischen diesen Substanzen zu unterscheiden: Speziell bei der Nutzung sehr niedrigenergetischer Neutronen werden die Neutronen von Eis weniger als die von Wasser gestreut, so dass beide Aggregatzustände des Wassers voneinander unterschieden werden können.

MESSUNG MIT ZWEIERLEI MASS Auch wenn die Wechselwirkung der Neutronen mit flüssigem und gefrorenem Wasser unterschiedlich ist, lassen sich die Aggregatzustände nur dann unterscheiden, wenn die Menge des Wassers in der Brennstoffzelle bekannt ist. Dafür wird ein zweiter Messpunkt benötigt, der die Dichte der Wasserstoffatome unabhängig von deren Aggregatszustand misst. Darauf basiert die am Paul Scherrer Institut entwickelte Methode aus zwei Messungen, die immer wieder nacheinander durchgeführt werden: Für die erste Messung wird der Neutronenstrahl mit Hilfe eines Blocks aus Beryllium gefiltert, und nur die Neutronen mit Energien kleiner als 5,25 meV (etwa 30 % der Neutronen bei der ICON-Strahllinie) werden transmittiert .Bei diesen Energien ist der Unterschied zwischen Eis und flüssigem Wasser sichtbar. Die zweite Messung erfolgt mit dem ungefilterten Strahl, der auch Neutronen mit höherer Energie beinhaltet, die jedoch kaum molekulare Bewegungen erfassen. Der Vergleich dieser beiden Messungen, genannt „Dual Spectrum Imaging“, ermöglicht dann die ortsaufgelöste Detektion, ob das Wasser sich nun im flüssigen oder gefrorenen Zustand befindet.

NACHWEIS VON UNTERKÜHLTEM WASSER Dass unterkühltes Wasser physikalisch existiert, ist eine anerkannte Tatsache. Ob es auch in Brennstoffzellen vorkommen kann und welche Rolle es in der Optimierung der Lösungen zur Eisbildungsproblematik in Brennstoffzellen spielt, ist noch umstritten. Einige Forscher haben unterkühltes Wasser in Brennstoffzellen vermutet, während andere annehmen, Wasser kann hier bei Temperaturen unterhalb von 0 °C nur in gefrorenem Zustand vorkommen. Nun wurde mit der hier erwähnten Methode zum ersten Mal direkt nachgewiesen, dass sich in einer Brennstoffzelle produziertes Wasser bei -7,5 °C noch in flüssigem Zustand befindet.

Im durchgeführten Experiment blieb das produzierte Wasser bei dieser Temperatur während des Zeitraums von einer Stunde flüssig. Erst bei weiterer Abkühlung der Zelle bis zu -15 °C bildete sich daraus Eis. Dieser Übergang des Aggregatzustandes wurde mittels *Dual Spektrum Imaging* eindeutig sichtbar gemacht. Die entwickelte Methode und die damit erzielten Ergebnisse lassen eine Optimierung der Lösungen zur Eisbildungsproblematik erhoffen.

Den in der Fachzeitschrift *Physical Review Letters* publizierten ersten Ergebnissen werden nun noch detaillierte Messungen folgen, um einen Beitrag zur Integration der Brennstoffzellen in die Elektromobilität und eine neue Energielandschaft zu leisten. ||

Referenz der Originalpublikation der Ergebnisse:

J. Biesdorf, P. Oberholzer, F. Bernauer, A. Kaestner, P. Vontobel, E.H. Lehmann, T.J. Schmidt, P. Boillat, „Dual Spectrum Neutron Radiography: Identification of Phase Transitions between Frozen and Liquid Water“, Phys. Rev. Lett. 112, 248301 (2014). DOI: 10.1103/*PhysRevLett*.112.248301

Autoren:

Prof. Dr. Thomas J. Schmidt
→ thomasjustus.schmidt@psi.ch

Dr. Eberhard Lehmann (l.)

Dr. Pierre Boillat
Johannes Biesdorf

alle vom Paul Scherrer Institut, Villingen, Schweiz

h2herten
Wasserstoff-Kompetenz-Zentrum

ANWENDERZENTRUM H2HERTEN

- Erstes Technologiezentrum für Firmen der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik
- Büroräume und Technika
- Integrierte Wasserstoffversorgung (Windstromelektrolyse)
- H2-basiertes Energiekomplementärsystem
- Meetingräume inkl. Präsentationstechnik

Ansprechpartner:
Dieter Kwapis | Frank Nosczyk | info@h2herten.de | www.wasserstoffstadt.de

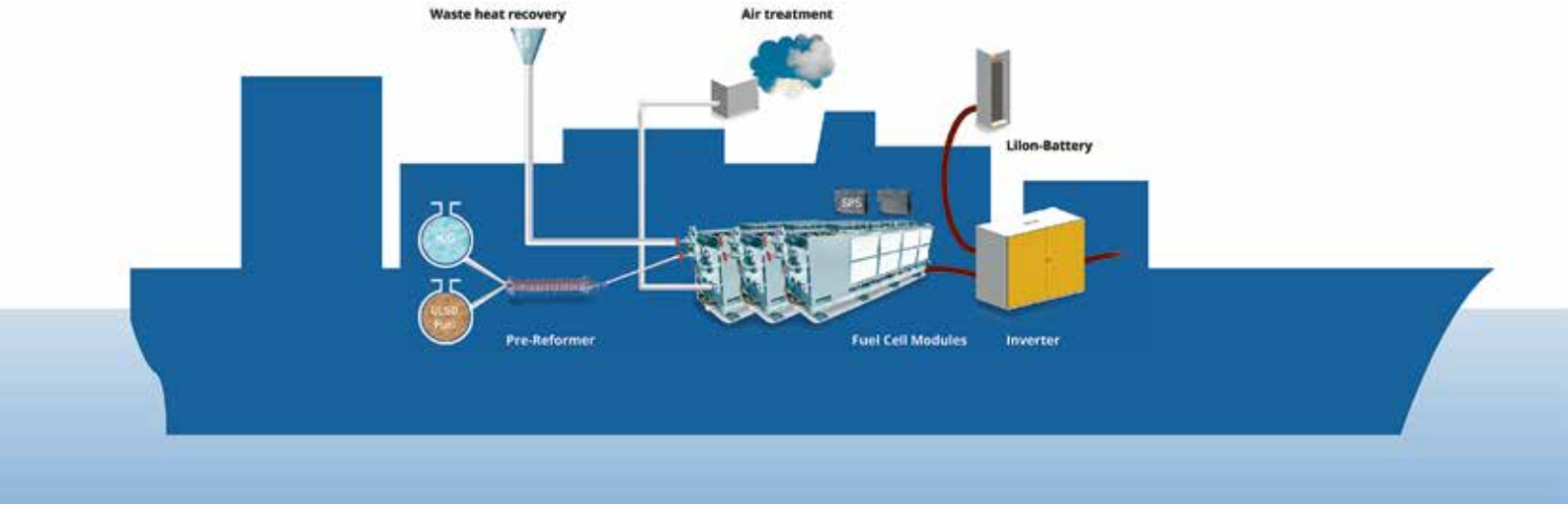


Abb. 1: Wesentliche technische Komponenten des in Entwicklung befindlichen BZ-Systems [Quelle: ThyssenKrupp Marine Systems]

Thema: Entwicklung | **Autoren:** Jörg vom Schloß, Keno Leites

BRENNSTOFFZELLENSTROM FÜR HOCHSEESCHIFFE

SchIBZ erprobt Reformierung von Dieselkraftstoff

Der Energiebedarf von Megajachten, Container- und Kreuzfahrtschiffen kann den Verbrauch einer Kleinstadt erreichen. Der damit verbundene Schadstoffausstoß bedeutet vor allem in Häfen und Küstenbereichen eine hohe Belastung für Mensch und Umwelt. Im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) entwickeln Industrie- und Forschungspartner ein umweltschonendes, hochseetaugliches Stromaggregat auf der Basis von SOFC-Brennstoffzellen, das den sogenannten „Hotelbetrieb" an Bord gewährleisten kann. Als Energieträger kommt hierfür Dieselkraftstoff zum Einsatz, der durch Reformierung in ein SOFC-adäquates Brenngas überführt wird.

Auch in der Schifffahrt ist die Reduzierung von Schadstoffemissionen ein wichtiges Thema. Schiffe werden auf hoher See in der Regel mit Schweröl als Kraftstoff betrieben, bei dessen Verbrennung besonders viele Schadstoffe entstehen. In vielen Küstenbereichen und geschlossenen Seeregionen, wie zum Beispiel an der Nord- und Ostsee, bestehen daher bereits reduzierte Emissionsgrenzwerte der International Maritime Organisation (IMO), und weitere kommen jährlich hinzu. In Häfen in Skandinavien werden schon Gebühren für Stickoxidemissionen erhoben. Auch die CO_2-Emissionen werden künftig reglementiert.

Um mit Schiffsdiesel betriebene Generatoren zur Stromversorgung an Bord langfristig durch umweltschonendere Brennstoffzellenanlagen zu ersetzen, wird von einem Konsortium um die ThyssenKrupp Marine Systems GmbH zusammen mit der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) das Demonstrationsprojekt *SchIBZ – SchiffsIntegration BrennstoffZelle* durchgeführt. Es ist ein NIP-Teilprojekt, das vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur unterstützt wird. In *SchIBZ* entwickeln, fertigen und erproben fünf Unternehmen und Institutionen in interdisziplinärer Zusammenarbeit ein hochseetaugliches Stromaggregat auf der Basis von Festoxidbrennstoffzellen (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC), die von der sunfire GmbH, Dresden, zugeliefert werden.

Das Aggregat soll geeignet sein, den sogenannten Hotelbetrieb an Bord allein, oder gegebenenfalls im Verbund mit konventionellen Dieselaggregaten, zu gewährleisten. Dabei ist sowohl das Aggregat in sich modular veränderbar als auch die Anzahl der Aggregate pro Schiff, so dass eine Skalierung der elektrischen Leistung bis in den Megawatt-Bereich möglich wird. Technisch machbar ist auch die Integration mehrerer Brennstoffzellenaggregate an unterschiedlichen Stellen an Bord, um eine hohe Sicherheit der Stromversorgung zu gewährleisten. Eine weiteres Anwendungsfeld sind stationäre, dezentrale Blockheizkraftwerke. Hier können aus containerisierten Aggregaten transportable Systeme auch im Megawatt-Bereich erstellt werden.

BRENNSTOFFZELLE ERZEUGT BORDSTROM Die Arbeit an dem BZ-Gesamtsystem umfasst alle Aspekte – vom Entwurf und der Auslegung des Systemdesigns über die Reformierung bis hin zur Brennstoffzelle und der Abgasnachbehandlung. Dazu zählt auch die Entwicklung und Auslegung von Balance-of-Plant-Komponenten wie die Medienversorgung, die Wärmetauschereinheiten und die Raumbelüftungskonzepte. Ergänzend kommt ein Energiepuffer hinzu, der die Dynamikunterschiede zwischen Verbrauchernetz und Brennstoffzelle ausgleicht. Hierzu wird eine Batterielösung mit Lithium-Ionen-Zellen erarbeitet, die nach den Gegebenheiten des Verbrauchernetzes ausgelegt wird. Weitere Arbeitsfelder sind die Entwicklung der Systemsteuerung und Betriebsstrategie sowie der Aufbau des Demonstrators. Die Arbeitsschritte werden durch numerische Simulationen und experimentelle Untersuchungen gestützt.

Die Besonderheit des Systems liegt darin, Pkw-üblichen Dieselkraftstoff mit einem Schwefelgehalt von 15 ppm als Energieträger für den Betrieb der Hochtemperatur-BZ zu verwenden. Das Nachbrennersystem arbeitet bei Temperaturen um 750 °C, bei denen noch keine thermische Stickstoffoxidbildung (NO_X) auftritt, so dass das Aggregat trotz der Verwendung von Diesel kaum NO_X emittiert. Die Emission von Schwefeloxiden (SO_X) wird durch den geringen Schwefelanteil im Kraftstoff sowie spezielle Filtereigenschaften im Prozess komplett unterbunden. Auch der CO_2-Ausstoß wird durch den hohen erwarteten elektrischen Wirkungsgrad von 50 % um 25 % gegenüber einem modernen, üblicherweise eingesetzten Dieselaggregat reduziert. Nicht eingerechnet sind weitere CO_2-Reduzierungen durch die Nutzung der

Abwärme der BZ-Anlage in den Schiffssystemen. Um alle Teilprozesse, die im Vorfeld einzeln erprobt wurden, im Systemzusammenhang zu prüfen, wird ein Demonstrator mit einer Nettoleistung von zunächst 100 kW elektrisch an Land aufgebaut und getestet. Dieser wird als containerisierte Anlage ausgeführt, die auf Schiffen oder in permanenten stationären Anwendungen verwendet werden kann. Parallel wird ein Konzept zur Skalierung der Systemleistung auf bis zu 500 kW_{el} erarbeitet. Durch die Verknüpfung der Brennstoffzellen in Modulen werden Leistungen ab 50 kW in 25- oder 50-kW-Schritten möglich sein. In containerisierten Anlagen werden bis 160 kW in 20"- bzw. über 300 kW in 40"-Containern möglich sein (s. Abb. 2).

Die Entscheidung zugunsten von Diesel erfolgte, weil dieser in gewohnter Weise gehandhabt werden kann und die Verteilung im Schiff zu den einzelnen Verbrauchern durch bereits bestehende Infrastruktur und technische Systeme an Bord sehr einfach ist. Zudem benötigt Diesel im Vergleich zu Gasen nur ein Drittel bis ein Viertel des Bunkerplatzes. Wasserstoff wird bisher nicht als Energieträger auf Schiffen eingesetzt, da die Speicherung technisch sehr anspruchsvoll ist. Gleichzeitig ist das System offen für den teilweisen oder vollständigen Einsatz von alternativen Brenn- und Kraftstoffen, so dass Diesel auch durch BtL-Kraftstoffe wie Biodiesel (FAME) oder hydriertes Pflanzenöl (HVO) sowie GtL-Kraftstoffe ersetzt werden könnte. Auch Erdgas (NG oder in verflüssigter Form LNG) kann eine Option für den Betrieb des Systems sein.

AUS DIESEL WIRD WASSERSTOFF Die Reformierung von Kohlenwasserstoffen kann mit verschiedenen Verfahren durchgeführt werden, deren Auswahl und Auslegung sich an den Anforderungen des jeweils eingesetzten Brennstoffzellentyps an das zu erzeugende Synthesegas orientieren. Für die in *SchIBZ* eingesetzten SOFC-Brennstoffzellen, die sowohl Wasserstoff als auch Kohlenmonoxid und Methan im Reformat zur Stromerzeugung nutzen können, wurde die Dampfreformierung gewählt. Der Projektpartner OWI Oel-Waerme-Institut in Aachen entwickelt für die Demonstrationsanlage einen für dieses Verfahren geeigneten Reaktor mit einer Leistung von bis zu 200 kW thermisch.

Für die Reformierung wird der flüssige Kraftstoff in einen gasförmigen Zustand überführt und zwar in einem der eigentlichen Synthesegasbildung vorgelagerten Prozess. Gleichzeitig wird er mit Wasserdampf homogen vermischt. Der eigentliche Vorgang der Reformierung verläuft anschließend an einer katalytisch aktiven Oberfläche im Reaktor. Der erforderliche Wasserdampf wird mittels des Brennstoffzellenabgases und eines Restgasbrenners bereitgestellt, so dass Wirkungsgradverluste reduziert werden. Die Nachverbrennung des Brennstoffzellenabgases erfolgt katalytisch, so dass weder

SCHIBZ – SCHIFFSINTEGRATION BRENNSTOFFZELLE
Der Projektstart erfolgte am 1. Juli 2009 in Rostock-Warnemünde (s. HZwei-Heft Okt. 2009). *SchIBZ* war damals eines von insgesamt vier Teilvorhaben *(PaXell, HyFerry, Toplaterne)*, die im Rahmen des dritten Leuchtturmprojektes *e4ships* im NIP initiiert wurden. Da sich jedoch MTU Onsite Energy aus all diesen Projekten zurückgezogen hat, gab es erhebliche Verzögerungen bei der Suche nach neuen geeigneten Partnern, so dass erst jetzt konkrete Zwischenergebnisse vorliegen. (sg)

Europas größte Wasserstoff, Brennstoffzellen und Batterien Plattform

H2FC-FAIR.com

- 150 Aussteller aus 25 Ländern
- 5.000 m² Ausstellungsfläche
- 15.000 m² Ride+Drive Außenfläche
- 150 Interviews und Präsentationen

HANNOVER MESSE

HANNOVER MESSE 2015
April 13 – 17, Hall 27, B66

hannovermesse.de

GROUPEXHIBIT
HYDROGEN
FUEL CELLS
BATTERIES

Abb. 2: Seriennahes 25-kW-SOFC-Modul von sunfire

Stickoxid- noch nennenswerte Kohlenmonoxid-Emissionen entstehen. Zur Integration der Systemkomponenten wird ein geeignetes Verschaltungskonzept der einzelnen Module (Reformer, Verdampfer, Gemischbildner, etc.) zur System- und Wärmeintegration entwickelt, das in späteren Schiffsbauprojekten im Einzelfall angepasst werden kann.

Generell hat die Auswahl des Reformierungsverfahrens auch einen erheblichen Einfluss auf den erreichbaren elektrischen Wirkungsgrad eines BZ-Systems. So wird zum Beispiel bei der katalytisch partiellen Oxidation (CPOx) ein Teil des Kraftstoffes durch die notwendige Zugabe von Luft vollständig oxidiert und steht daher der Brennstoffzelle nicht mehr zur Verfügung, während bei der für *SchIBZ* gewählten Dampfreformierung der Kraftstoff vollständig zu Wasserstoff umgesetzt werden kann und der Energiegehalt des Reformats sogar ansteigt.

Das Reformierungsverfahren kann auch auf andere Kohlenwasserstoffverbindungen angewandt werden. So ist die Adaptierung des Verfahrens an Erdgas für Anwendungen mit Gasversorgung sowohl an Land als auch auf Schiffen vorgesehen.

Abb. 3: Der Dampfreformer für die Dieselreformierung am Prüfstand im OWI-Labor [Foto: Oel-Waerme-Institut]

LABORVERSUCHE VERLAUFEN ERFOLGREICH

2013 wurde bereits in einem Langzeitversuch am OWI der Reformer erfolgreich getestet. Dieser erzeugte über rund 3.200 Stunden aus Dieselkraftstoff und Wasserdampf ein Brenngas mit den Bestandteilen Wasserstoff (ca. 40 %), Methan (ca. 15 %), Kohlenmonoxid (ca. 5 %) und Kohlendioxid (ca. 40 %; trockene Konzentrationen). Bei den Messungen konnten außer Methan keine anderen Kohlenwasserstoffe nachgewiesen werden. Somit ist das erzeugte Brenngas optimal nutzbar für den Betrieb der SOFC-Brennstoffzelle. Weitere durchgeführte Labortests ergaben wichtige Daten zur Bestimmung der günstigsten Betriebsparameter und Betriebsweisen des Reformers.

Von sunfire wurde nach den Anforderungen von ThyssenKrupp Marine Systems ein SOFC-Modul entwickelt, das die Basiseinheit für die Stromaggregate bilden wird. Vier dieser Module sollen für den Demonstrator im *SchIBZ*-Projekt verwendet werden. Das Modul hat Abmessungen, die eine gute Raumnutzung innerhalb von Schiffen ermöglichen und daraus resultierend eine Nettoleistung von 25 kW. In der nächsten Generation sollen 40 kW erzielt werden. Das erste Modul hat bis Ende Juni 2014 einen 1000-h-Test absolviert, in dem die erwarteten Leistungsdaten bestätigt wurden und die Degradation sehr gute Werte zeigte. Die Fertigung der weiteren Module wurde daraufhin aufgenommen. Um die Schiffstauglichkeit der Brennstoffzellen nachzuweisen, wurden zwei weitere Tests nach den Regeln der Klassifikationsgesellschaften durchgeführt. Dies war zum einen ein Test unter 22,5 ° Neigung, wie es auf offener See vorkommt, und zum anderen ein Test mit einem definierten Schwingungsspektrum, welches die Belastungen durch Maschinenvibrationen und Seegang nachbildet. In beiden Versuchen wurden bei den SOFC unter Betriebsbedingungen keine Ausfallerscheinungen festgestellt, jedoch Nachbesserungsbedarf bei der Isolierung, die den Belastungen zum Teil nicht standhielt.

Bis Juli 2014 wurde am OWI eine Pilotanlage als Vorentwicklungsstufe kleinerer Leistung (8 kW elektrisch) aufgebaut, die aus den Hauptkomponenten Vormischsystem und Reformer (bis zu 20 kW thermischer) und der Brennstoffzelle besteht. In einem Dauerlauftest über 1.000 Stunden sollen Erfahrungen für den systemnahen Betrieb einer solchen Anlage gesammelt werden, um damit die Entwicklung der Demonstratoranlage mit deutlich höherer Leistung vorzubereiten. Bei Redaktionsschluss hatte die Pilotanlage bereits rund 400 Stunden des Dauerlauftests erfolgreich absolviert. Der Restgasbrenner und der Wärmeübertrager zur Nutzung des Brennstoffzellenabgases beziehungsweise der Abwärme werden erst mit dem Aufbau des Demonstrators in das System integriert und getestet.

Parallel laufen in Zusammenarbeit aller Partner weitere Vorbereitungen zum Aufbau dieser Anlage. Im Anschluss an die derzeit laufenden Labortests wird der Demonstrator bis Mitte 2015 aufgebaut und bis Ende 2015 an Land getestet. Anschließend wird er auf dem Frachtschiff *MS Forester* für zirka ein halbes Jahr einen wesentlichen Teil der Bordstromversorgung übernehmen. ||

Autoren:

Jörg vom Schloß
OWI Oel-Waerme-Institut GmbH, Herzogenrath
→ J.vomSchloss@owi-aachen.de

Keno Leites
ThyssenKrupp Marine Systems GmbH, Hamburg
→ Keno.Leites@thyssenkrupp.com

Thema: Entwicklung | **Autor:** Tino Freiheit

NEUE PLATTEN AUS NEUEM MATERIAL

HIAT startet NeoHyGen-Projekt

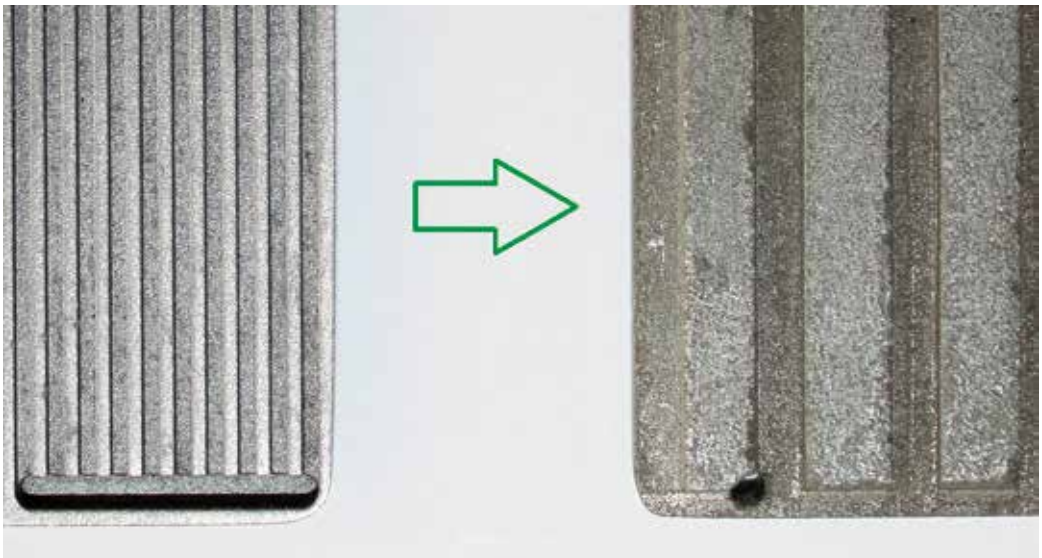


Abb. 1: Zwei monopolare Flussfelder (Monopolarplatten) mit paralleler Flowfield-Struktur: Monopolarplatte aus Volltitan (Grade 1, l.), bisheriger Entwicklungsstand; Monopolarplatte aus binärem Compoundmaterial (erste Projektstufe: Plattenherstellung mittels Druckpressverfahren, Füllstoff + Binder, r.) [Quelle: H.I.A.T. gGmbH]

Die Wasserstoffherstellung mittels Elektrolyse ist aufgrund ihrer hohen Flexibilität, Dynamik und leichten Skalierbarkeit sehr gut an fluktuierende Wind- und Solarenergie zu koppeln. Sowohl die alkalische Wasserelektrolyse als auch die PEM-Elektrolyse erfüllen die Anforderungen an einen intermittierenden Betrieb. Die Produktion von Wasserstoff in Elektrolyseuren ist allerdings im Vergleich zur Herstellung per Dampfreformierung aus Erdgas ein teures Verfahren. Größter Nachteil der Wasserelektrolyse sind die hohen Kosten. Im Mai 2014 startete nun am Schweriner Forschungsinstitut H.I.A.T. gGmbH ein neues Forschungsprojekt zur Entwicklung neuartiger Mono- und Bipolarplatten, mit deren Hilfe eine deutliche Reduzierung der Herstellungs- und Bearbeitungskosten erzielt werden könnte.

Die PEM-Elektrolyse ist sehr effizient und verfügt über ein großes Potential bezüglich einer weiteren Effizienzsteigerung. Demgegenüber ist die alkalische Wasserelektrolyse sehr robust und seit vielen Jahren erprobt. Die heutigen Bemühungen bei der PEM-Wasserelektrolyse sollen insbesondere erreichen, dass die Performance weiter steigt und die Materialkosten weiter sinken. Ein wesentlicher Nachteil der PEM-Elektrolyse im Vergleich zur alkalischen besteht allerdings darin, dass nur eine begrenzte Auswahl geeigneter Materialien zur Verfügung steht, woraus sich die bislang hohen Kosten für die PEM-Stacks ableiten.

Nach dem heutigen Stand der Technik werden 47 % der Kosten für einen PEM-Elektrolysestack durch den Einsatz massiver Mono- und Bipolarplatten aus Volltitan verursacht. Eine mögliche Überführung des Herstellprozesses in eine Massenproduktion stellt jedoch eine sehr große Hürde dar, da lediglich eine begrenzte Anzahl an Mono- und Bipolarplatten pro Verfahrensschritt im Spanverfahren (meist CNC-Fräsen) hergestellt werden kann.

Dem Hydrogen and Informatics Institut of Applied Technology gGmbH (HIAT) ist es jedoch kürzlich gelungen, ein Material zu evaluieren, das die momentan eingesetzten massiven Mono- und Bipolarplatten ersetzen kann. Es liegt in Pulverform vor. Zusammen mit der Eisenhuth GmbH & Co. KG soll jetzt im Rahmen des *NeoHyGen*-Projektes (Novel Composite Bipolar Plates for Use in Hydrogen Generating) eine Plattenherstellung im Spritzguss und/oder Druckpressverfahen erprobt werden. Hierfür soll eine neuartige Compound-Mono- und Bipolarplatte entwickelt werden, die mit ressourcen- und kosteneffizienten Materialien in einem innovativen Herstellungsprozess hergestellt werden kann.

Zudem beschäftigt sich das HIAT im Rahmen zweier weiterer, ebenfalls durch das Bundeswirtschaftsministerium geförderter Projekte mit dem Thema PEM-Elektrolyse. Hierbei stehen insbesondere die Entwicklung der CCM (Catalyst Coated Membrane) und die Optimierung der Stromverteiler im Vordergrund. Darüber hinaus werden preiswerte Alternativen zu Platin und Iridium getestet sowie spezielle Verfahren zur Rückgewinnung der Edelmetalle aus ausgedienten CCMs und deren Wiedereinsatz in Elektrolysezellen.

Während bislang die Reduzierung der hohen Kosten eines PEM-Elektrolysestacks auf Kernkomponentenebene im Mittelpunkt der Bemühungen des HIAT stand, erweitert das neue Kooperationsforschungsprojekt *NeoHyGen* nun das Spektrum der Materialentwicklungen, um die PEM-Elektrolyse gegenüber der alkalischen Elektrolyse weiter aufzuwerten. Mit den neuartigen Compound-Bipolarplatten sollen die Kosten auf ein Fünftel pro Bipolarplatte gesenkt werden. ||

Autor:
Tino Freiheit
H.I.A.T. gGmbH, Schwerin
→ freiheit@hiat.de

Thema: Entwicklung | **Autoren:** Ingo Franke, Hans-Dieter Bauer, Birgit Scheppat

WIE VIEL WASSERSTOFF IST IM TANK?

Ausgezeichnet mit dem DWV-Innovationspreis

Werden Feststofftanks schnell mit Wasserstoff betankt, ist die Abfuhr der während der H_2-Einlagerung frei werdenden Reaktionswärme entscheidend dafür, ob der Tank seine volle Speicherkapazität erreicht oder nicht. Die Messung von Druck und Temperatur an einer Stelle im Tank reicht nicht aus, um eine genaue Aussage über den Füllstand des Gesamttanksystems treffen zu können. Es sollte zudem auch eine Messung während des Tankbetriebs möglich sein.

Im Rahmen des *HYDEMON*-Projektes (HYdrogenDEMONstrator) wurde der im Feststoffspeichermaterial Natriumaluminiumhydrid eingelagerte Wasserstoff optisch gemessen. Als Messmethode wurde die abgeschwächte Totalreflexion (ATR) von Infrarotstrahlung genutzt. Parallel dazu wurde der vom Feststoffspeichermaterial freigesetzte Wasserstoff für die Kalibrierung des optischen Signals gravimetrisch gemessen. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wird in weiteren Projekten ein miniaturisierter optischer Füllstandsensor für die Integration in Feststofftanks entwickelt werden.

WASSERSTOFFSPEICHERTECHNOLOGIEN Für stationäre und mobile Anwendungen müssen bestehende Tanksysteme optimiert bzw. neu entwickelt werden, um eine ausreichende, effiziente und sichere Speicherung von Wasserstoff zu ermöglichen. Für die Anwendung von Wasserstofftanksystemen im mobilen Bereich wurden Zielvorgaben vom US-amerikanischen Department of Energy (DOE, s. Tab. 1) formuliert. Diese ergeben sich aus den Anforderungen, die konventionell eingesetzte Energiespeicher in Kraftfahrzeugen bis heute zu erfüllen haben. Demnach sollten die Tanks ein geringes Eigengewicht und kleines Bauraumvolumen besitzen. Hinzu kommt, dass die Kosten für die Fertigung niedrig zu halten sind. Zudem spielen Betriebsparameter wie die Betankungszeit und die Zyklenstabilität eine wichtige Rolle.

Im mobilen Bereich setzt man aufgrund der einfachen Handhabe und des geringen peripheren Aufwands für den Betrieb auf die Hochdruckspeichertechnologie. So will der Automobilhersteller Hyundai bereits im Jahr 2015 Brennstoffzellenfahrzeuge in Serie produzieren, die mit 700-bar-Hochdruckspeichern ausgerüstet sind. Die Tanksysteme ermöglichen die Mitnahme von 5,64 kg Wasserstoff, womit Reichweiten von 594 km abgedeckt werden können.

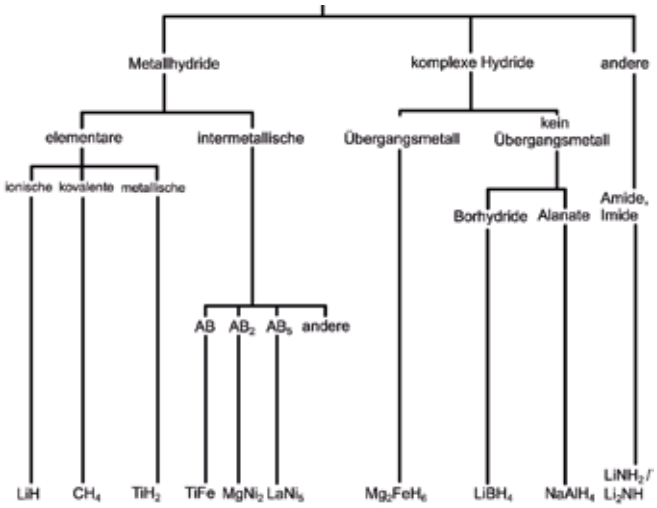


Abb. 1: Klassifizierung von Metallhydriden

Um die Speicherdichte weiter zu erhöhen, kann der Wasserstoff entweder verflüssigt oder an/in Feststoffen gebunden werden. Bei der Feststoffspeicherung wird zwischen der Bindung von Wasserstoff auf der Oberfläche (Physisorption) oder der Einlagerung (Chemisorption) unterschieden: Wird der Wasserstoff an der Oberfläche des Feststoffes gebunden, verwendet man meist Materialien aus Zeolith, Kohlenstoff, organischen Polymeren oder Metal-Organic-Frameworks (MOFs) [1]. Durch die Abkühlung der Materialien auf Temperaturen < 77 K werden Wasserstoffmoleküle durch schwache Van-der-Waals-Kräfte auf der Materialoberfläche gebunden. Je poröser der Feststoffspeicher ist, desto mehr Oberfläche bietet er dem Wasserstoff, um sich daran zu binden. Bei spezifischen Oberflächen > 5.000 m^2/g werden somit in Abhängigkeit des Wasserstoffdruckes gravimetrische Speicherdichten von 7,5 Gew.-% erreicht [2].

Wird der Wasserstoff im Feststoff gebunden, bilden sich Hydride. Je nach Elektronegativitätswert des Bindungspartners bilden sich ionische, kovalente oder metallische Hydride. Durch die Kombination von Nebengruppenelementen mit Alkali-, Erdalkali- oder Seltenerdelementen entstehen intermetallische Phasen als Feststoffspeichermaterial, die die Eigenschaften gängiger Metallhydride (z. B. Lanthan-Nickel, $LaNi_5$, s. Abb. 1) besitzen.

Tab. 1: Zielvereinbarungen des DOE für mobile H_2-Speicher; (BZ = Brennstoffzelle; VM = Verbrennungsmotor)

	Einheit	2010	2017	endgültig
gravimetrische Speicherdichte	kg_{H2}/kg	0,045	0,055	0,075
volumetrische Speicherdichte	kg_{H2}/m^3	28	40	70
min-/maximale Betriebstemperatur	K	233-358	233-358	233-358
Zyklenstabilität		1.000	1.500	1.500
kleinster Lieferdruck	bar	5 (BZ) 35 (VM)	5 (BZ) 35 (VM)	5 (BZ) 35 (VM)
Betankungsgeschwindigkeit für 5 kg_{H2}	kg_{H2}/min	1,2	1,5	2,0
Wasserstoffreinheit	% H_2	99,97	99,97	99,97

Werden diese Legierungen Wasserstoff ausgesetzt, ab- oder desorbieren sie ihn in Abhängigkeit von Druck und Temperatur. Ab einer Grenzkonzentration im Material bildet sich die Metallhydridphase aus, bei der Wasserstoff kompakt auf Zwischengitterplätzen eingelagert wird. Bei der Absorption von Wasserstoff wird nach Gleichung (1) die Reaktionswärme *Q* frei, die bei der Wasserstoffdesorption wieder zugeführt werden muss.

$$MeH_y + Q \text{ <--> } Me + y/2\ H_2 \qquad (1)$$

Das sich einstellende Gleichgewicht zwischen Metall- (Me) und Metallhydridphase (MeH_y) verschiebt sich gemäß dem Prinzip von Le Chatelier in Gleichung (1) bei einer Temperaturerhöhung auf die rechte Seite. Wird der H_2-Druck erhöht, verschiebt sich das Gleichgewicht auf die linke Seite. Zur Festlegung der für jede Legierung charakteristischen H_2-Absorptions-/Desorptionstemperaturen in Abhängigkeit des Gleichgewichtsdruckes werden Van't-Hoff-Geraden genutzt. Somit lassen sich die für Wasserstoff geeigneten Feststoffspeichermaterialien in Nieder-, Mittel- und Hochtemperaturhydride einteilen.

Aufgrund des hohen Gewichtes der klassischen Metallhydride werden bevorzugt Materialien aus leichten Legierungen verwendet. Eines der gängigsten Materialien ist hierbei das Natriumaluminiumhydrid ($NaAlH_4$) oder auch Natriumalanat. Der Wasserstoff wird hier nicht auf Zwischengitterplätzen, sondern kovalent an Aluminium gebunden. Der sich ausbildende $[AlH_4]$-Komplex ist wiederum ionisch an Natrium gebunden. Daher gehört das Natriumalanat zur Gruppe der komplexen Hydride.

Die H_2-Desorption unterteilt sich in eine dreistufige Zersetzungsreaktion, innerhalb der sich einzelne Desorptionsphasen ausbilden [4]. Theoretisch enthält $NaAlH_4$ 7,4 Gew.-% Wasserstoff. Um ausreichend schnelle Wasserstoffdesorptions- und -absorptionskinetiken zu erreichen, werden die Materialien mit Katalysatoren vermahlen. Vorzugsweise werden Titan(III)chlorid ($TiCl_3$), Cer(III)chlorid ($CeCl_3$) oder Titannanocluster als Katalysatormaterialien eingesetzt [5].

Die H_2-Desorption der $NaAlH_4$- und Na_3AlH_6-Phase beginnt theoretisch bei Temperaturen über 30 °C und 100 °C (s. Abb. 2), allerdings ist die Reaktionskinetik bei diesen Temperaturen stark gehemmt. Demnach werden höhere Temperaturen von über 70 °C und 140 °C benötigt, um aus beiden Phasen den Wasserstoff in 20 min. zu desorbieren. Pfeifer *et al.* konnten zeigen, dass durch die Kopplung eines Natriumalanat-Speichers mit einer HT-PEM die Abwärme der Brennstoffzelle ausreichend für die H_2-Desorption dieser Phasen ist [6].

AUFGABENSTELLUNG UND METHODIK Für die Messung des gebundenen Wasserstoffs werden im Labor meist gravimetrische oder volumetrische Messverfahren eingesetzt. Im Rahmen des BMBF-Forschungsprojektes *HYDEMON* wurde als optische Messmethode die abgeschwächte Totalreflexion von Infrarotstrahlung genutzt. Damit wurde ein optischer Sensoreffekt für die Messung des in Natriumalanat gebunden Wasserstoffs nachgewiesen. Bis zu diesem Zeitpunkt waren Sensorkonzepte, die die Änderung der elektrischen Leitfähigkeit oder der optischen Durchlässigkeit von $NaAlH_4$ während der H_2-Desorption als Füllstandsignal nutzten, bekannt. Andere Konzepte sahen vor, die Volumenänderung einer Metallhydridprobe während der Dehydrierung zur Detektion des Hydridfüllstands zu nutzen.

Abbildung 3 zeigt das Prinzip der Totalreflexion einer elektromagnetischen Welle an einer Grenzfläche. Wird der Einfallswinkel φ so gewählt, dass er über dem Grenzwinkel für Totalreflexion liegt, wird 100 % der Strahlung reflektiert,

GREENPEACE ENERGY
Energie-Genossenschaft aus Überzeugung

Die Energiegenossenschaft Greenpeace Energy eG fördert gemeinsam mit ihren Kunden des Gas-Tarifes *pro*Windgas den Ausbau der innovativen Windgas-Technologie. Mit Windgas bringen wir die Energiewende voran und unterstützen die Speicherbarkeit erneuerbarer Energien.

Wir sind an der Zusammenarbeit mit Unternehmen interessiert, die Windgas-Projekte planen oder bereits durchführen.

Ihr Projekt:
- Sie wandeln Strom aus überschüssiger, fluktuierender erneuerbarer Energie (Wind oder auch PV) mittels Elektrolyse in Wasserstoff um und speisen diesen ins Erdgasnetz ein oder planen ein entsprechendes Projekt in einem fortgeschrittenen Planungsstadium.
- Der Einsatz von „Graustrom" aus Atom- und Kohlestrom sowie Zertifikaten ist ausgeschlossen.
- Das Angebot von Regelenergie ist in der Planung bzw. im Betrieb Ihres Projekts mit einbezogen.
- In Ihrem Projekt ist eine Direktleitung zwischen Elektrolyseur und Kraftwerk (i. d. R. Windpark) vorhanden; Windpark und Elektrolyseur befinden sich in räumlicher Nähe zueinander.
- Das Gasnetz in der unmittelbaren Nähe Ihres Projekts hat die erforderlichen Aufnahmekapazitäten für den Wasserstoff.
- Sie sind ein Unternehmen, das nicht mit der Atom- bzw. Kohleindustrie in Verbindung steht und sich mit den Werten von Greenpeace Energy eG und Greenpeace e. V. identifizieren kann.
- Sie können ein Geschäftsmodell mit dargebotsabhängigen Betriebsszenarien darstellen. Ihr Konsortium ist in der Lage, mindestens einen Großteil des Investitionsvolumens aus eigener Kraft zu bestreiten.

Wir bieten:
- die bilanzielle Abnahme von eingespeisten Wasserstoffmengen im Rahmen von mehrjährigen Abnahmeverträgen
- die Beimischung des Wasserstoffes in unseren Endkundentarif
- ein Geschäftsmodell für Ihre Wasserstoffproduktion
- gegebenenfalls eine Beteiligung an den Investitionskosten Ihres Projektes
- Erfahrung in der Planung von Windgas-Projekten
- Zusammenarbeit in einer vertrauensvollen Partnerschaft

Wenn Sie an einer Zusammenarbeit mit uns interessiert sind, freuen wir uns über einen telefonischen Austausch zu Ihrem Vorhaben und/oder die Übersendung eines kurzen Exposés.
Vielen Dank!

Kontakt: Kerstin Weimann
E-Mail: windgas@greenpeace-energy.de
Tel.: 040/808110-628

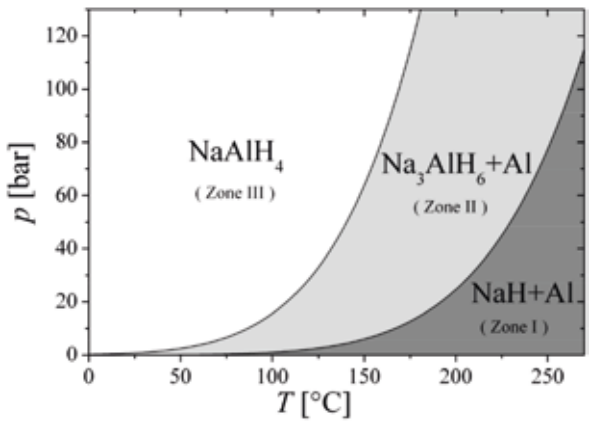


Abb. 2: p-T-Phasendiagramm von $NaAlH_4$ vermahlen mit Titan(III)-chlorid als Katalysator [Quelle: [7]]

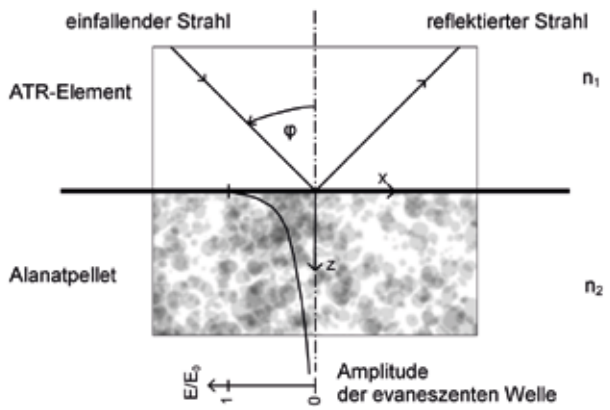


Abb. 3: Schematische Darstellung der ATR-Spektroskopie

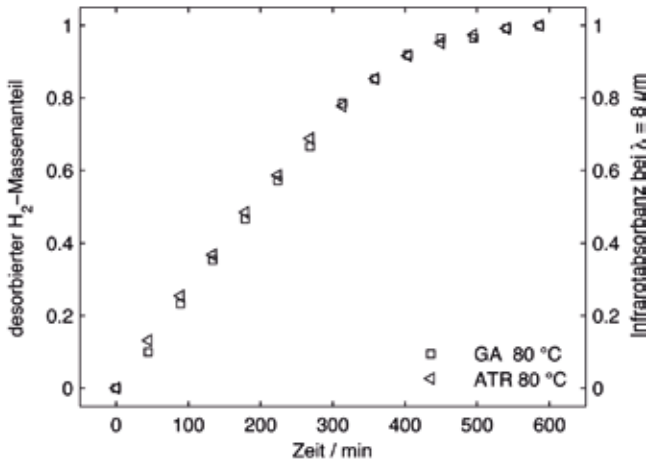


Abb. 4: Parallel gemessene desorbierte Wasserstoffmasse (GA) und Infrarotabsorption (ATR) bei einer Wellenlänge von 8 µm. Normiert auf einen Wasserstoffmassenanteil von 3,4 Gew.-%.

wenn die Probe im untersuchten Wellenlängenbereich keine Absorption aufweist. Absorbiert die Probe-Strahlung – wie bei der Vermessung von Natriumalanat durch die Anregung von Molekülschwingungen –, wird die reflektierte Welle abgeschwächt. Analysiert man einen bestimmten Wellenlängenbereich mit einem Spektrometer, erhält man das Reflexionsspektrum der Probe, das sich in Abhängigkeit des „Natriumalanatfüllstandes" ändert.

Die in x-Richtung entlang der Grenzfläche laufende Oberflächenwelle tritt mit exponentiellem Abfall der Amplitude *E* in die Probe ein. Daher wird die Oberflächenwelle auch als quergedämpfte oder evaneszente Welle bezeichnet. Ein wichtiger Parameter der Messmethode ist die Eindringtiefe der evaneszenten Welle in die zu untersuchende Probe, die bei der Untersuchung von Natriumalanatproben Werte von 1,4 µm bis 32 µm erreicht.

Bei der Vermessung von pulverförmigen Proben ist darauf zu achten, dass die Probe einen ausreichenden Kontakt zum ATR-Element besitzt. Für die Untersuchung loser Natriumalanatpulver werden diese zunächst zu Pellets kompaktiert und mit einer Kraft von bis zu 500 N an das ATR-Element angepresst. Dadurch werden gute optische Signalintensitäten erreicht.

Für die parallele optische und gravimetrische Desorptionsmessung werden die Pellets auf Temperaturen von 70 bis 150 °C aufgeheizt. Damit das untersuchte Pellet nicht bereits während des Aufheizvorgangs Wasserstoff desorbiert, wird der Druck so eingestellt, dass er sich oberhalb des Gleichgewichtsdruckes der jeweiligen Phase befindet. Nachdem die gewählte Temperatur erreicht ist, wird der Überdruck auf den gewünschten Desorptionsdruck reduziert, woraufhin in festen Zeitintervallen ein ATR-Spektrum und das Gewicht der Probe gemessen werden (s. Abb. 4).

Theoretisch sollte die $NaAlH_4$-Phase eine gravimetrische Speicherdichte von 3,7 Gew.-% Wasserstoff aufweisen. Jedoch wurde die Natriumalanatprobe zur Verbesserung der Wasserstoffdesorptionskinetik vor der Kompaktierung mit $CeCl_3$-Katalysator vermahlen, wodurch die gravimetrische Speicherdichte nur 3,3 Gew.-% beträgt. Der theoretische und der gemessene Wert von 3,4 ± 0,1 Gew.-% stimmen somit innerhalb der Fehlergrenzen überein.

Die parallel durchgeführte optische Messung der Infrarotabsorption bei einer Wellenlänge von 8 µm (ATR) zeigte im Rahmen der Messgenauigkeit einen identischen Verlauf.

ZUSAMMENFASSUNG Auf diese Weise konnte gezeigt werden, dass die Änderung der Infrarotabsorption eines Natriumalanatpellets bei H_2-Desorption für die Messung des Füllstandes genutzt werden kann. Als optische Messmethode wurde die abgeschwächte Totalreflexion genutzt, die so modifiziert wurde, dass eine gravimetrische Messung des desorbierten Wasserstoffs parallel dazu durchgeführt werden konnte. Die Kombination des optischen Messverfahrens mit einem gravimetrischen ermöglicht die Kalibrierung des optischen Messsignals auf den noch im Natriumalanat gebundenen Wasserstoff.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen soll in weiteren Projekten ein miniaturisierter optischer Füllstandsensor entwickelt werden. Begleitend dazu sollten – um das Anwendungsspektrum für solch einen Sensor zu erweitern – mit dem bestehenden Messaufbau Kalibrierkurven weiterer Feststoffspeichermaterialien aufgenommen werden.

Solch ein Alanatsensor könnte nach dem „Optrodenkonzept" aufgebaut werden (s. Abb. 5). Für seinen Aufbau würden insgesamt fünf Wellenlängen als optisches Inputsignal

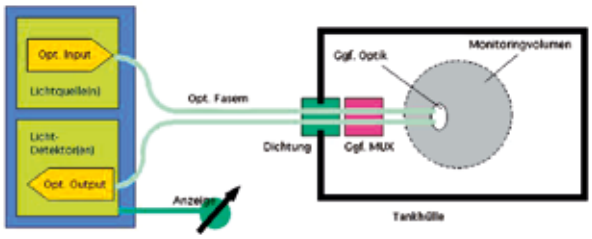


Abb. 5: „Optrodenkonzept" für einen Füllstandsensor

benötigt: Zwei Wellenlängen detektieren die Na_3AlH_6- und NaH-Phase, die sich bei der H_2-Desorption nacheinander ausbilden. Zwei weitere Wellenlängen detektieren sogenannte isosbestische Punkte, die Ihre Infrarotabsorption während der zweistufigen Wasserstoffdesorption nicht ändern. Eine weitere Wellenlänge dient als Referenz, um den Untergrund vom Signal zu trennen. Die qualitativ vorliegenden optischen Signale könnten mit Hilfe von Kalibrierkurven auf den noch im Alanatpellet gebundenen Wasserstoff geeicht werden.

Das Monitoringvolumen würde einem ATR-Element beliebiger Form entsprechen. Um einen ausreichenden Kontakt zwischen ATR-Element und Alanat zu erreichen, könnte entweder die Sensorfläche direkt beschichtet oder mit einer konstanten Kraft in die Probe gepresst werden. Weitere Untersuchungen wären durchzuführen, um Aussagen zur Zyklenstabilität der optischen Messmethode machen zu können.

Des Weiteren kann der Messaufbau für die Untersuchung der H_2-Desorptionskinetik pelletierter Feststoffspeichermaterialien genutzt werden. Ein interessanter Aspekt ist hier die Änderung der Desorptionskinetik durch mehrmaliges Be- und Entladen (Zyklieren) eines Pellets mit Wasserstoff. Durch die Zyklierung ändert sich die Porosität des Pellets, wodurch sich seine Kinetik verbessert. ||

Das HYDEMON-Projekt wurde im Zeitraum 2009 bis 2012 durch das BMBF im Rahmen der Förderlinie FH-profUnt (Förderkennzeichen 177X09) finanziert. Bedanken möchten wir uns auch bei der Arbeitsgruppe Prof. Hess der TU Darmstadt, Herrn Scholdei vom MPIP Mainz und der Arbeitsgruppe von Prof. Fichtner am KIT Karlsruhe.

Literatur

[1] Léon, A. (Hrsg.): Hydrogen Technology - Mobile and Portable Applications. Berlin : Springer-Verlag, 2008

[2] Wong-Foy, A.G.; Matzger, A.J.; Yaghi, O.M.: Exceptional H_2 Saturation Uptake in Microporous Metal-Organic Frameworks. In: J. Am. Chem. Soc. 128 (2006), S. 3494-3495

[3] BogdanoviĐ, B.; Brand, R.A.; MarajanoviĐ, A.; Schwickardi, M.; Tölle, J.: Metal-doped sodium aluminum hydrides as potential new hydrogen storage material. In: J. Alloys Compd., 302 (2000), S.26-58

[4] Gross, K.J.; Thomas, G.G.; Jensen, C.M.: Catalyzed alanates for hydrogen storage. In: J. Alloys. Compd. 330-332 (2002), S. 683-690

[5] Fichtner, M.; Engel, J.; Fuhr, O.; Kircher, O.; Rubner, O.: Nano crystalline aluminum hydrides for hydrogen storage. In: Mater. Sc. Eng., B 108 (2004), S. 42-47

[6] Pfeifer, P.; Walla, C.; Jensen, O.; Hahn, H.; Fichtner, M.: Thermal coupling of a high temperature PEM fuel cell with a complex hydride tank. In: Int. J. Hydrogen Energy 34 (2009), S. 3457-3466

[7] Lozano, G.A.: Development of Hydrogen Storage Systems using Sodium Alanate. PhD Thesis, TU Hamburg-Harburg, 2010

Autoren:

Ingo Franke
→ ingo.franke@hs-rm.de

Prof. Hans-Dieter Bauer
→ h.d.bauer60@t-online.de

Prof. Birgit Scheppat
→ bas2407@aol.com

alle Hochschule RheinMain, Rüsselsheim

DWV-INNOVATIONSPREIS

Ingo Franke studierte Angewandte Physik an der Hochschule RheinMain Wiesbaden und stellte 2013 seine Masterarbeit zu diesem Thema fertig. Für seine herausragende Arbeit wurde er im März 2014 vom Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband (DWV) mit dem Innovationspreis ausgezeichnet. (sg)

Thema: Förderung | **Autor:** Sven Geitmann

EEG 2014 BESCHLOSSEN UND GENEHMIGT

Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes

Selten hat die Novellierung eines Förderprogrammes für so viel Wirbel gesorgt – und das zudem noch über einen solch langen Zeitraum. Die Neuauflage des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG), die nun endgültig am 11. Juli 2014 vom Bundesrat beschlossen und am 23. Juli von der EU-Kommission genehmigt worden ist, lieferte gleich in mehrfacher Hinsicht Zündstoff für zahlreiche Diskussionen: Zunächst ging es um die Reformierung der Förderung für die Solarbranche, die seit geraumer Zeit einen erheblichen Imageverlust zu verzeichnen hat. Außerdem wurde um die Vergünstigungen für stromintensive Unternehmen gestritten sowie um die Höhe der EEG-Umlage, um nur einige Punkte zu nennen. Während viele Deutsche im Sommerurlaub weilten, schuf die Regierungskoalition nun aber Fakten.

Sigmar Gabriel eröffnete die Plenarsitzung Ende Juni mit den Worten: „Ich glaube, dass wir mit der Verabschiedung des vorliegenden EEGs den ersten Baustein setzen, um die Energiewende in Deutschland wieder auf ein festes Fundament zu stellen.“ Dieses Erneuerbare-Energien-Gesetz ist in seiner neuen Auflage nun am 1. August 2014 in Kraft getreten. Seitdem gelten veränderte Rahmenbedingungen sowohl für Hausbesitzer als auch für Investoren.

Kaum betroffen von dieser Reform sind private Häuslebauer, die bereits kleine Photovoltaikanlagen auf dem Dach oder KWK-Anlagen im Keller haben. Beim Bau größerer Neuanlagen ist jedoch ab sofort eine Eigenverbrauchsabgabe zu entrichten. Die Eigentümer müssen künftig für jede Kilowattstunde, die sie selber verbrauchen, 30 Prozent der EEG-Umlage zahlen. Dies sind derzeit 6,24 Cent. Ab 2016 steigt der Anteil auf 35 %, ab 2017 sind es 40 %.

Abb. 1: Sigmar Gabriel [Quelle: © Bundesregierung/Bergmann]

Die bereits bestehenden fast 1,5 Mio. Anlagen in Deutschland, die vor dem 1. August 2014 in Betrieb gegangen sind, fallen unter den Bestandsschutz. Eine Befreiung von der Eigenverbrauchsabgabe gilt zudem bei Modernisierungsmaßnahmen und Ersatzinvestitionen, solange die Anlagenleistung nicht um mehr als 30 Prozent steigt.

EEG 2014 – EINE FEHLENTSCHEIDUNG? In dem Regierungsentwurf, der am 8. Mai 2014 in erster Lesung im Deutschen Bundestag behandelt wurde, war noch eine EEG-Umlage von 50 % für selbst genutzten Strom aus KWK-Anlagen und Anlagen, die mit erneuerbaren Energien (Photovoltaik, Wasserkraft, Windkraft) betrieben werden, vorgesehen. Stromerzeugungsanlagen unter 10 kW elektrischer Leistung sollten – wenn weniger als 10.000 kWh Strom selbst genutzt werden – von der EEG-Umlage befreit bleiben. Trotz der nun reduzierten Umlage nennt Hans-Josef Fell, ehemaliger Grünen-Abgeordneter und Mitautor des *EEG 2000*, die Belastung des Eigenverbrauchs eine Fehlentscheidung.

Die Vergütung für in das Netz eingespeisten Strom aus kleineren Neuanlagen auf Wohnhäusern bis 10 kW_p ist im August auf 12,75 Cent pro kWh gesunken und liegt damit etwas niedriger als bisher. Anlagen bis 500 kW_p erhalten 11,09 Cent pro kWh. Die Einspeisevergütung für Strom von Freiflächenanlagen oder Dachanlagen auf Nichtwohngebäuden im Außenbereich bis 500 kW_p reduziert sich ebenfalls geringfügig, während für Anlagen, die vor August in Betrieb genommen wurden, Bestandsschutz gilt.

Kritiker bemängeln, dass sich der Photovoltaikmarkt in Deutschland mit diesen EEG-Änderungen weiter verkleinern wird und dass dadurch die aktuellen Ausbauziele nicht erreicht würden. Carsten Tschamber vom Solar Cluster hält hingegen an seiner Technologie fest: „Die Investition in eine neue Solaranlage lohnt sich finanziell immer noch, besonders, wenn der lukrative Eigenverbrauch maximiert wird. Auch ökologisch ist der Nutzen groß. Solarstrom hilft, klimaschädliches Kohlendioxid zu vermeiden und bringt die Energiewende in Deutschland weiter voran. Das sollte bei der ganzen Diskussion um Umlagen und Vergütungen nicht zu sehr in der Hintergrund rücken.“

Der Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung befürchtet demgegenüber, dass beim Ausbau der KWK nach Inkrafttreten des *EEG 2014* negative Wirkungen in größerem Ausmaß auftreten werden, insbesondere im Hinblick auf das Ausbauziel (25 % KWK-Anteil im Jahr 2020). Zudem stellte Prof. Dr. Maslaton, Vize-Präsident des B.KWK, fest: „Die Einbeziehung der Eigenerzeugung in die EEG-Umlagepflicht ist verfassungsrechtlich nicht vereinbar, zudem verstößt die jetzige Bagatellgrenze gegen den Gleichheitsgrundsatz aus dem Grundgesetz.“

BEHAUPTUNG AUF DEM FREIEN MARKT Ein wesentlicher Aspekt der EEG-Novellierung ist für die Regierungsparteien, dass sich die erneuerbaren Energien zukünftig stärker als bisher selber auf dem freien Markt behaupten sollen. Gleich-

zeitig sollen aber die Industrieunternehmen nicht durch den Wegfall ihrer Vergünstigungen belastet werden. Ganz in diesem Sinne hatte der Präsident des CDU-Wirtschaftsrates, Kurt J. Lauk, die Reform daher bereits im Vorfeld als positiv beurteilt: „Mit der verpflichtenden Direktvermarktung für erneuerbare Energien wird der längst überfällige Weg in Richtung Markt geebnet. Zudem ist es ein Erfolg, dass die Industrie beim Thema Eigenverbrauch nicht zusätzlich belastet werden soll."

Hans-Joachim Reck, Hauptgeschäftsführer des Verbands kommunaler Unternehmen (VKU), der über 1.400 kommunalwirtschaftliche Unternehmen vertritt, erklärte passend dazu: „Die EEG-Reform ist der richtige Schritt hin zu einer marktlichen Ausgestaltung der Energiewende. Nur so kann sie funktionieren. Insbesondere die Direktvermarktungspflicht, die Einführung einer Mengensteuerung sowie die Anlage eines Ausschreibungsmodells führen die erneuerbaren Energien näher an den Energiemarkt heran. Damit kann der bislang unkoordinierte Erneuerbare-Energien-Ausbau insgesamt besser geplant und gesteuert werden." Weiter sagte er: „Nur durch einen Kapazitätsmarkt kann mittelfristig eine sichere, nachhaltige und bezahlbare Energieversorgung gewährleistet werden."

Demgegenüber erklärte die Energiebloggerin Kathrin Hoffmann: „Die EEG-Novelle hat in den letzten Monaten sehr viel Kritik geerntet. Zu Recht, denn wirtschaftliche Interessen werden über das Wohl der Gesellschaft gestellt. Das würde die Regierung aber so nie zugeben. Stattdessen versucht sie die Reform mit einer Imagekampagne schönzureden." ||

Thema: Förderung | **Autor:** Sven Geitmann

BMWi PLANT NIP-WEITERFÜHRUNG

Forschungsförderung über das Jahr 2016 hinaus

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) plant offenbar eine Verlängerung des Förderprogramms für Brennstoffzellen. Im Monatsbericht von „Schlaglichter der Wirtschaftspolitik" vom August 2014, in dem das Ministerium über die aktuelle wirtschaftliche Lage berichtet, ist unter der Überschrift „Wasserstoff auf die Mühlen der Energiewende" zu lesen, dass die Forschungsarbeiten an Brennstoffzellen auch nach 2016 weiter gefördert werden sollen.

Gleich am Anfang des Monatsberichts ist auf insgesamt fünf Seiten ausführlich dargelegt, was bereits alles unternommen wurde, um die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie zu fördern, und wie der aktuelle Stand ist. Außerdem wird endlich die derzeit geltende Aufgabenteilung innerhalb der Bundesregierung klargestellt: „Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) übernimmt die Förderung von Forschung und Entwicklung, während das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) Demonstrationsprojekte und Feldtests unterstützt."

Von besonderem Interesse dürfte zudem das eindeutige Bekenntnis des Ministeriums zu dieser Technologie sein: „Brennstoffzellen gelten als ein wichtiges Teilstück im Rahmen des Umbaus des deutschen Energiesystems. […] Im Vordergrund der Förderung durch das BMWi stehen zwei Technologielinien: die PEM-Brennstoffzelle (PEM: proton exchange membrane) und die Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC: solid oxide fuel cell). […] Um das Potenzial dieser Technologie vollständig heben zu können, besteht weiter Bedarf nach Unterstützung von Entwicklungsvorhaben. Die heutige Förderung zielt dabei nicht mehr auf den Nachweis, dass sich Brennstoffzellen für eine Reihe von Anwendungsfeldern eignen. Dieser ist in vielen Fällen bereits erbracht."

ZIELGERICHTETE UND EFFEKTIVE FÖRDERUNG Weiter heißt es: „Es gilt den Anschluss an den internationalen Wettbewerb nicht zu verlieren. Weltweit schreitet die Weiterentwicklung der Brennstoffzellentechnologie und der Anwendungsszenarien intensiv voran, und neben dem Automobilsektor stehen auch in den Segmenten Heizkessel und unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen einige Hersteller kurz vor dem Markteintritt."

Und außerdem: „Somit plant die Bundesregierung auch über das Auslaufen des NIP im Jahr 2016 hinaus eine zielgerichtete und effektive Forschungsförderung auf dem Gebiet Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, um die gerade in diesem Technologiebereich notwendige Kontinuität zu gewährleisten und aufgebautes Know-how bestmöglich für die Weiterentwicklung der Technologie zu nutzen. Deutschland hat sich nicht zuletzt dank umfangreicher Fördermaßnahmen auf vielen Gebieten neuer Energiewandlungs- und Energieerzeugungssysteme eine besondere Rolle im Hinblick auf die Verbindung von ökonomischem Wachstum mit nachhaltigem Handeln erarbeitet. Nun gilt es, diesen Wissensvorsprung in eine gesteigerte Wettbewerbsfähigkeit und lokale Wertschöpfung umzuwandeln." ||

→ www.bmwi.de/DE/Mediathek/monatsbericht.html

JAPAN GEHT VORAN

Der Japanische Wirtschaftsminister Toshimitsu Motegi (r.) fuhr den *FCV* Mitte Juli 2014 Probe; links: Toyota-Präsident Akio Toyoda. (Quelle: Toyota)

Während in Deutschland der Kaufprämie für Elektro- oder Brennstoffzellenautos von der Regierungskoalition immer noch eine Absage erteilt wird, beabsichtigt die japanische Regierung gemäß einer Meldung von *Nikkei Asian Review* vom 19. Juli 2014, Käufern von H_2-Autos etwa 14.500 Euro (2 Mio. Yen) zu erstatten. Diese Maßnahme würde insbesondere auf die angekündigte Vermarktung des Toyota *FCV* abzielen, der ab April 2015 in Japan verkauft werden soll (s. S. 42). Sein ursprünglicher Nettopreis in Höhe von 51.000 Euro würde sich dadurch deutlich reduzieren und käme damit in bezahlbare Sphären. Außerdem ließ Shinzo Abe, der japanische Premierminister, verkünden, dass bis März 2016 über 100 Wasserstofftankstellen in der Präfektur Fukuoka installiert werden sollen.

Hintergrund dieser Maßnahmen ist, dass die Tokioter Regierung Wasserstofffahrzeuge in die Liste geeigneter Maßnahmen zur Steigerung des Wirtschaftswachstums aufgenommen hat. Thanh Ha Pham, Analyst der Jefferies Group LLC in Tokio, erläuterte: „Brennstoffzellen sind eine der wenigen Technologien, bei denen Japan weltweit die Marktführung übernehmen kann.“ Außerdem finden die Olympischen Sommerspiele im Jahr 2020 in Tokio statt. Den Besuchern soll dann allem Anschein nach die neue Antriebstechnologie auf den japanischen Straßen vorgeführt werden. Chihiro Tobe vom japanischen Wirtschaftsministerium erklärte: „Wir setzen große Erwartungen in diese Technologie, und die Regierung ist bereit, diese Entwicklung zu unterstützen.“

Die New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) hat der japanischen Regierung dafür ein erstes Wasserstoff-Weißbuch geschrieben. Demzufolge könnte Wasserstoff rund zehn Prozent des japanischen Energiebedarfs decken. Die NEDO schlägt allerdings vor, dass bisher nicht genutzte Kohle für die Wasserstoffproduktion herangezogen werden soll. Erneuerbare Energien kommen in dem Weißbuch nicht vor. Realistischerweise rechnet das Ministerium allerdings nicht damit, dass Brennstoffzellenautos preislich vor dem Jahr 2025 mit Hybridautos mithalten können. Mit der Etablierung einer globalen Wasserstoffproduktion wird nicht vor 2030 gerechnet.

China unternimmt währenddessen weitere Schritte zur Förderung der Elektromobilität: Im Kampf gegen den dortigen Smog beschloss die chinesische Regierung, bei Elektroautos, die in China produziert wurden, künftig auf die Erhebung der Mehrwertsteuer zu verzichten. Wie *Reuters* berichtete, gab das Kabinett von Ministerpräsident Li Keqiang bekannt, dass die Steuerbefreiung ab dem 1. September 2014 für Elektroautos mit Batterie und Brennstoffzelle sowie Hybridfahrzeuge gilt und bis Ende 2017 läuft. Die Regierung in Peking beabsichtigt, bis 2020 fünf Millionen strombetriebene Autos auf die Straßen zu bringen. Im ersten Quartal 2014 wurden in China jedoch gerade einmal 7.000 E-Autos zugelassen. In Deutschland sind E-Autos zehn Jahre von der Kfz-Steuer befreit. ||

BESTELL-FORMULAR

[ ] **Hiermit bestelle ich *HZwei* – das Magazin für Wasserstoff und Brennstoffzellen. Ich erhalte das Buch „Alternative Kraftstoffe“ kostenlos dazu.**

Das Abonnement gilt für 1 Jahr und kostet 30,00 Euro inkl. MwSt. zzgl. 6,50 Euro Versand innerhalb Deutschlands.

Firma/Name Vorname

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

Thema: Markt | **Autor:** Sven Geitmann

LINDE STARTET SERIENPRODUKTION

Eröffnung der Produktionsstätte in Wien

Abb. 1: Dr. Büchele (Mitte) eröffnet den neuen Produktionsstandort.

Passend zur Ankündigung von Toyota, im Herbst 2014 die Produktion für sein Brennstoffzellenfahrzeug *FCV* starten zu wollen, hat in diesem Sommer The Linde Group einen entscheidenden Schritt getan, um rechtzeitig eine angemessene Wasserstoffinfrastruktur zur Verfügung stellen zu können: Am 14. Juni 2014 eröffnete der Gasespezialist in Wien im Beisein der österreichischen Bundesministerin für Verkehr, Innovation und Technologie, Doris Bures, eine Fertigungsanlage für den Bau von H_2-Tankstellen.

In seiner Begrüßungsrede sagte Aldo Belloni, Mitglied des Vorstands der Linde AG: „Eine ausreichende Verbreitung von Wasserstofftankstellen ist eine Grundvoraussetzung für den Markterfolg von Brennstoffzellenfahrzeugen." Weiter erklärte er, der Aufbau einer Kleinserienfertigung sei hierfür ein entscheidender Schritt (s. auch Interview mit Aldo Belloni auf S. 30).

Andreas Opfermann, Head of Clean Energy and Innovation Management bei Linde, erklärte anlässlich der Eröffnung: „Das Unternehmen hat vor rund 25 Jahren das Potenzial von Wasserstoff als umweltfreundlicher Kraftstoff erkannt und sich der Weiterentwicklung der entsprechenden Technologien gewidmet." Besondere Bedeutung maß er dabei den Verdichtertechnologien zu. Nach Aussage von Opfermann hat insbesondere der ionische Kompressor, der im Anwendungstechnischen Zentrum in Wien entwickelt und konstruiert wurde, den Betankungsprozess mit Wasserstoff wesentlich verbessert.

IONISCHER VERDICHTER Aufbauend auf dieser Technologie hat Linde die Fertigungsanlagen in Wien in den vergangenen Monaten und Jahren erneuert und für die Herstellung von Kleinserien erweitert. Im Mittelpunkt steht dabei der ionische Kompressor vom Typ *IC 90*. Als wesentlicher Vorteil dieser Verdichtertechnologie gilt, dass sie eine zügige Betankung innerhalb von drei Minuten ermöglicht. Dies gestattet die Betankung von bis zu sechs Fahrzeugen pro Stunde. Darüber hinaus gelten ionische Verdichter als sehr viel platzsparender im Vergleich zu konventionellen Kolbenverdichtern und auch als effizienter.

Anders als herkömmliche Kompressoren arbeiten ionische Verdichter mit einer speziellen Flüssigkeit – einem flüssigen Salz. Dieses Salz besitzt die besondere Eigenschaft, sich nicht mit gasförmigem Wasserstoff zu vermischen. Somit kann es das Gas hydraulisch auf Drücke von bis zu 1.000 bar zusammendrücken, ohne dass ein mechanisches Element (z. B. ein Kolben) benötigt wird. Da die Flüssigkeit zudem den Zylinderinnerraum spaltlos abdichtet, treten keinerlei Leckageverluste oder Abdichtungsprobleme auf. Hinzu kommt, dass jeglicher mechanische Verschleiß entfällt, so dass das Aggregat geräuschärmer läuft als mechanische Kompressoren.

Die gesamte benötigte Technik wird in Wien in gängige 14-Fuß-Container montiert (s. Abb. 2), wodurch sie einfach zu transportieren ist und in bereits existierende Tanktechnik integriert werden kann. Sie kann zudem per Ferndiagnose überwacht werden.

KOSTENREDUKTION ÜBER SERIENFERTIGUNG Ausgelegt ist die österreichische Fertigungsstätte für den Bau von zunächst 50 Tankstellen pro Jahr. Mit der Produktion wurde bereits begonnen, da ein erster Auftrag über insgesamt 28 Wasserstofftankstellen mit ionischen Verdichtern schon vorliegt: Der japanische Technologiekonzern Iwatani Corp. gab anlässlich der Eröffnungsfeier bekannt, diese auf der Pazifikinsel installieren zu wollen. Die erste Anlage wurde gleich am 18. Juli in der Nähe von Osaka eröffnet. Hierbei handelte es sich um die erste öffentliche kommerzielle H_2-Tankstelle in Japan. Akiji Makino, Vorstandsvorsitzender der Iwatani Corp., erklärte: „Iwatani möchte mithilfe der fortschrittlichen Linde-Verdichtertechnologie zur Entwicklung einer wasserstoffbasierten Energieinfrastruktur beitragen."

Das bayerische Gaseunternehmen erhofft sich durch die Serienfertigung, die Kosten für den Bau von H_2-Tankstellen fortan reduzieren zu können. Mussten bis vor wenigen Jahren noch mindestens 1,5 Mio. Euro investiert werden, sind zukünftig nur noch rund 1 Mio. Euro erforderlich.

Die österreichische Bundesverkehrsministerin Doris Bures sagte in Wien: „Die Produktionseröffnung ist für mich in mehrfacher Hinsicht besonders bemerkenswert: Nicht nur, weil diese Kleinserienproduktion die weltweit erste ihrer Art und damit einzigartig ist. Wir sehen hier ein Musterbeispiel, wie Forschung und technologische Entwicklung direkt in die Produktion und die Schaffung von neuen Arbeitsplätzen münden." ||

Abb. 2: Opfermann erklärt die fertig montierte Verdichtereinheit. [Fotos: Wolfgang Voglhuber – VOGUS]

Thema: Infrastruktur | **Interviewpartner:** Aldo Belloni

COMMITMENT FÜR DIE H_2-TECHNOLOGIE

Interview mit Prof. Dr. Aldo Belloni, Linde AG

Prof. Dr. Aldo Belloni
[Foto: Wolfgang Voglhuber – VOGUS]

Über elf Jahre lang hat Prof. Dr. Wolfgang Reitzle die Geschicke der Linde AG, Deutschlands größten Gaseunternehmens, geleitet. Am 20. Mai 2014 übergab er auf der Hauptversammlung in München das Amt des Vorstandsvorsitzenden an Dr. Wolfgang Büchele. Reitzle galt stets als Unterstützer der Wasserstofftechnik. Ob es nun mit dem neuen Vorsitzenden, einem, wie es heißt, „bodenständigen Schwaben", Veränderungen geben wird, darüber sprach *HZwei* mit Prof. Dr. Aldo Belloni, der seit dem Jahr 2000 Mitglied des Linde-Vorstandes ist. Sein Verantwortungsbereich umfasst neben der Engineering Division das Gasegeschäft in der Region EMEA (Europa, Mittlerer Osten, Afrika) sowie das weltweite On-site-Geschäft des Konzerns. Zudem ist Belloni, der 1950 in Mailand geboren wurde, verantwortlich für die Engineering Division, weshalb er auch gleich Stellung beziehen konnte zu der „ersten Kleinserienfertigung für Wasserstofftankstellen", die Linde kürzlich in Wien errichtete und die Belloni selbst im Juli 2014 einweihte (s. S. 29).

HZwei: Dr. Belloni, könnten Sie bitte kurz darlegen, wie bei Ihnen im Hause das Gasegeschäft aufgeteilt ist? Es gibt ja den Industriegasebereich, in dem Linde bereits seit vielen Jahrzehnten mit Wasserstoff handelt. Außerdem kümmern Sie sich auch um H_2-Tankstellen sowie um Wasserstoff als Speicher für erneuerbare Energien. Ist das so weit richtig?

Belloni: Bereits seit mehr als einhundert Jahren stellen wir Wasserstoff in großtechnischem Maßstab für unsere Industriekunden her. Dies ist nach wie vor ein wichtiger Baustein unseres Gasegeschäfts. Zudem ist die Errichtung von Wasserstoffanlagen unterschiedlicher Größenordnungen eine von vier Produktlinien unserer Engineering Division. Darüber hinaus war Linde eines der ersten Unternehmen, das vor rund 25 Jahren das Potenzial von Wasserstoff als umweltfreundlicher Kraftstoff erkannt und sich der Weiterentwicklung der entsprechenden Technologien gewidmet hat. Zusammen mit weiteren „sauberen Technologien" haben wird diese Aktivitäten seit 2010 in unserer *Clean Energy Group* gebündelt.

HZwei: Im Industriebereich haben Sie jetzt gerade Mitte Juli in Österreich eine Fertigungsanlage für H_2-Tankstellen eingeweiht. Bitte erklären Sie kurz, was Sie dort an Ihrem Wiener Standort genau aufgebaut haben. Ist es richtig, dass Sie dort jetzt auch Ihre ionischen Verdichter in Serie produzieren, so dass sie zukünftig günstiger werden?

Belloni: Im Anwendungstechnischen Zentrum Wien sind in den vergangenen Jahren viele bedeutende Innovationen in der H_2-Betankungstechnik entstanden, darunter der energieeffizente und platzsparende ionische Kompressor *IC 90*. Um der steigenden Nachfrage gerecht werden zu können – und natürlich auch, um die im Vergleich zu einer konventionellen Tankstelle höheren Herstellkosten zu reduzieren –, haben wir viele Bauteile standardisiert und die Fertigung in Wien modernisiert und erweitert. In der neuen Werkhalle verfügen wir nun über eine Produktionskapazität von 50 Tankstellen pro Jahr im Einschichtbetrieb und sehen ein Kostensenkungspotenzial von bis zu 30 Prozent im Vergleich zur Einzelfertigung.

HZwei: Was erhoffen Sie sich denn konkret von der Serienfertigung hier in Wien? Rechnen Sie jetzt gleich zu Anfang schon mit einem wirtschaftlichen Betrieb?

Belloni: Da die Kundenbasis noch sehr schmal ist, erfordert der Betrieb von Wasserstofftankstellen ein größeres Durchhaltevermögen als deren Fertigung. Hier haben wir uns mit dem ionischen Kompressor ein Alleinstellungsmerkmal erarbeitet, das vom Markt auch angenommen wird. Was die mangelnde Auslastung der bestehenden H_2-Tankstellen betrifft, sitzen wir aber zunächst alle im gleichen Boot: Bis zwischen 2015 und 2017 größere Stückzahlen von Brennstoffzellenfahrzeugen auf den Markt kommen, ist eine befriedigende Auslastung und damit ein wirtschaftlicher Betrieb solcher Tankstellen noch nicht möglich. Dennoch ist es wichtig, Schritt für Schritt eine flächendeckende Infrastruktur für Wasserstofftankstellen aufzubauen. Daran arbeiten wir gemeinsam mit unseren Partnern und werden dieser umweltfreundlichen Technologie zum Durchbruch verhelfen.

HZwei: Kann dieser Schritt auch als Signal an die Gasebranche verstanden werden, dass sich Linde zukünftig stärker beim Thema Wasserstoff engagieren wird?

Belloni: Unsere Investitionen in das Anwendungstechnische Zentrum kann man sicherlich als Commitment sowohl zu dem Forschungs- und Produktionsstandort Wien als auch zur Wasserstofftechnologie werten. Diese Überzeugung ist aber für uns keine neue Erkenntnis. Wir engagieren uns seit vielen Jahren für die Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet und sind Gründungsmitglieder wichtiger Initiativen zur Förderung der Wasserstoffmobilität und zum Aufbau einer H_2-Infrastruktur, wie der *Clean Energy Partnership*, *H2Mobility* und *HyFIVE*.

HZwei: Sie erhoffen sich also davon, dass Linde gleich doppelt profitieren kann: Vom Wasserstoffgeschäft und auch vom Tankstellengeschäft?

Belloni: Ja, denn in beiden Bereichen verfügen wir über umfassende Kompetenzen und eine führende Marktposition. Wir sind das einzige Gaseunternehmen, das die gesamte Wertschöpfungskette von der Herstellung über die Verflüssigung und Distribution bis zur Betankung abdeckt.

HZwei: Bedauern Sie es dann vielleicht ein bisschen, dass Linde das Gabelstaplergeschäft an Kion abgegeben hat? Momentan wird ja darüber spekuliert, dass auch Europa im Bereich der Nieder-

flurzeuge ähnliche Zustände bekommen könnte wie in den USA, wo bereits mehrere Tausend Brennstoffzellengabelstapler im Einsatz sind. Hätten Sie Linde Material Handling behalten, hätten Sie hier ein weiteres Geschäftsfeld gehabt, das mit Wasserstoff zu tun hat.

Belloni: Die Entscheidung, die Gabelstaplersparte 2006 abzugeben, hing mit der Akquisition von BOC und der langfristigen Neuausrichtung des Konzerns zusammen. Das dahinter steckende unternehmensstrategische Kalkül hat sich als richtig und sehr erfolgreich erwiesen. Wenn es heute um wasserstoffbetriebene Flurförderzeuge geht, arbeiten wir nach wie vor eng mit KION zusammen – in manchen Regionen, wie Nordamerika, wo KION weniger präsent ist, aber auch mit anderen Herstellern.

HZwei: Dr. Reitzle hat sich ja schon vor Jahren für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft eingesetzt und durchaus auch maßgebliche Impulse geliefert. Erinnern wir uns zum Beispiel an seine Präsentation eines deutschen Hydrogen-Highways in Berlin im Jahr 2005. Seine Vision soll jetzt mit dem 50-Stationen-Programm des Bundesverkehrsministeriums in die Realität umgesetzt werden ...

Belloni: … wir haben eben die Notwendigkeit und die Möglichkeit einer nachhaltigen, sauberen Mobilität frühzeitig erkannt. Als Technologieunternehmen waren wir von Anfang an von dem Potenzial des Energieträgers Wasserstoff überzeugt.

HZwei: Damals hieß es, für 40 Zapfsäulen müsste man mit Investitionen in Höhe von rund 30 Milo. Euro rechnen. Bei welchen Kosten liegen wir heute?

Belloni: Für den europäischen Markt kann man derzeit mit rund 1 Mio. Euro pro Wasserstofftankstelle rechnen. Die Kosten variieren natürlich stark mit der Kapazität sowie aufgrund unterschiedlicher nationaler Auflagen und Bestimmungen. In Japan zum Beispiel liegen die Kosten bei einem Mehrfachen des Niveaus hierzulande.

HZwei: Welche Bedeutung werden umweltfreundliche Technologien für Linde zukünftig haben?

Belloni: Eine hohe. Clean Technologies sind für uns ein Wachstumsmarkt, und dazu zähle ich auch das Thema Wasserstoff.

HZwei: Gibt es bereits konkrete Vorhaben, die in diesem Themenbereich – neben der bereits angesprochenen neuen Fertigungsanlage – noch geplant sind?

Belloni: Wir sind dabei, gemeinsam mit unseren Partnern die Wasserstoffinfrastruktur weiter auszubauen. Schwerpunktregionen sind derzeit neben Deutschland vor allem Kalifornien und Japan, wo wir – passend zur Eröffnung der neuen Fertigung – einen Großauftrag über 28 H_2-Tankstellen für Japan erhalten haben. Außerdem arbeiten wir derzeit an interessanten Power-to-Gas-Projekten, bei denen der Wasserstoff per Elektrolyse aus erneuerbaren Energien, zum Beispiel Windenergie, gewonnen wird. Die Speicherbarkeit von Wasserstoff macht ihn nicht nur als sauberen Kraftstoff, sondern ganz generell als Bindeglied für die effiziente Nutzung erneuerbarer Energien so interessant. Was die Nachfrageseite betrifft, erwarten wir in den kommenden Jahren die ersten brennstoffzellenbetriebenen Serienfahrzeuge auf unseren Straßen.

HZwei: Wovon gehen Sie denn aus: Wann werden wir eine maßgebliche Zahl an Brennstoffzellenfahrzeugen auf deutschen Straßen und auch ein lückenloses H_2-Tankstellennetz haben?

Belloni: Führende Hersteller wie Hyundai, Toyota, Honda und Daimler werden zwischen 2014 und 2017 mit der Serienfertigung starten. Die genauen Stückzahlen hängen letztlich natürlich davon ab, wie diese Technologie vom Markt angenommen wird. Experten rechnen aber für das Jahr 2018 mit mehreren zehntausend Brennstoffzellenfahrzeugen auf den europäischen Straßen. Gemäß den Plänen der H2Mobility-Initiative, an der wir beteiligt sind, wird es zu dem Zeitpunkt rund 100 H_2-Tankstellen in Deutschland geben, womit wir im europäischen Vergleich führend sein dürften. Eine Grundversorgung und die Möglichkeit zu Langstreckenfahrten – wenn auch noch nicht in alle Winkel Europas – wären damit sichergestellt.

HZwei: Dr. Belloni, ich danke Ihnen sehr herzlich für dieses Gespräch.

Weiterführende Fragen von *HZwei*, wie beispielsweise die Haltung des neuen Linde-Vorsitzenden zum Thema Wasserstoff ist und ob sich dieser schon einmal detailliert darüber geäußert hat, wurden von Dr. Belloni nicht beantwortet, mit der Begründung, dass ein Vorstandsmitglied keine Mutmaßungen über über die Meinung eines anderen Vorstandsmitglieds anstellen könne.

Erneuerbare Energien
Mit neuer Energie in die Zukunft
von Sven Geitmann

→ Der Erneuerbare-Energien-Sektor boomt. Noch nie wurde so viel nachhaltig erwirtschafteter Strom erzeugt wie heute. Die rasante Entwicklung in der Solar-, Wind- und Bioenergie hat Dipl.-Ing. Sven Geitmann veranlasst, ein Buch über diese aktuelle und hoch interessante Thematik zu verfassen, das technische Details leicht verständlich erläutert und einen umfassenden Marktüberblick liefert.

Sonnenzeitung: „Ein Muss für Technikinteressierte!"

Vorwort: Prof. Dr. Ernst Ulrich v. Weizsäcker
212 S., 63 Abb., 22 Tab., 4. Auflage
Hydrogeit Verlag, Oberkrämer, Juli 2014
ISBN 978-3-937863-41-2, Preis: 19,90 Euro

Energiewende 3.0
Mit Wasserstoff und Brennstoffzellen
von Sven Geitmann

→ Die Die Energiewende 2.0 kommt in Deutschland nur schleppend voran. Die Ablösung der Atomenergie durch erneuerbare Energien gestaltet sich schwieriger als erwartet, weil Solar- und Windstrom bisher noch nicht effizient gespeichert werden können. Deswegen muss genau an dieser Schnittstelle, bei der Energiespeicherung von „grünem Strom", angesetzt werden. Und dieses Buch zeigt, wie dies gehen könnte: Mit Wasserstoff und Brennstoffzellen kann die Umorientierung von der gestrigen zu einer zukunftsfähigen Energieversorgung gelingen. Das Buch widmet sich deswegen insbesondere der Thematik rund um Wasserstoff und Brennstoffzellen, denn gemeinsam können sie beide – der Wasserstoff als Energiespeicher und die Brennstoffzelle als Energiewandler – die in den nächsten Jahren anstehende Energiewende 3.0 ermöglichen.

HyWeb: „leicht lesbar und gut strukturiert"

Vorwort von Dr. Klaus Bonhoff, NOW GmbH
236 S., 54 Abb., 10 Tab., 3. Auflage, Okt. 2012
Hydrogeit Verlag, Oberkrämer
ISBN 978-3-937863-16-0, Preis: 19,90 Euro

H2YDROGEIT Verlag

Gartenweg 5
16727 Oberkrämer

Tel.: 033055 – 213-22
Fax: 033055 – 213-20

kontakt@hydrogeit.de
www.hydrogeit-verlag.de

Thema: Markt | **Autorin:** Angela Imdahl

AUS DEM MOTORRAUM INS EINFAMILIENHAUS

Forschungsförderung oder Nachhaltigkeitssteuer?

Abb. 1: Den Nachhaltigkeitsgedanken zu ignorieren lohnt sich nicht. [Quelle: © Romolo Tavani – Fotolia.com]

Brennstoffzellen gelten als eine der innovativsten Technologien für die Energieversorgung der Zukunft und stehen vor dem Sprung in den Massenmarkt. Doch sogenannte „disruptive technologies" (umwälzende Technologieansätze) müssen häufig lange Durststrecken durchstehen, bis sie zur Marktreife gelangen: Die ersten Anwendungen von Brennstoffzellen ergaben sich in Bereichen wie Militär und Raumfahrt, in denen ihre Kosten eine sehr geringe Rolle spielten. Heute könnten Brennstoffzellen als Antrieb für Autos oder zur Strom- und Wärmeversorgung für Häuser eingesetzt werden. Doch der Weg von der „Invention", also von der Erfindungsphase, zur Innovation gestaltet sich schwierig: Obwohl die kleinen Kraftwerke gerade im stationären Einsatz energiesparend und klimaschonend Wärme und Strom liefern und nach Ansicht von Experten den Schalter für die Energiewende umlegen könnten, schafft es die Erfindung nicht auf den Massenmarkt. Was benötigt eine breite Markteinführung? Wo liegen die Probleme, wo die Chancen?

Als Daimler im Jahr 1994 anfing, mit Brennstoffzellen zu experimentieren, war schnell klar, dass solch eine Brennstoffzelle auch für Heizsysteme nutzbar sein könnte. Seitdem beschäftigen sich immer mehr Unternehmen mit diesem Thema. In dem europäischen Förderprojekt *ene.field* erproben derzeit neun europäische Hersteller von Brennstoffzellenheizgeräten alle bestehenden Technologien in einem Praxistest. In zwölf EU-Mitgliedstaaten sollen rund 1.000 Anlagen in Wohngebäuden installiert werden. Ziel ist es, Einblick zu bekommen in Installation und Wartung, in die marktrelevanten Rahmenbedingungen und CO_2-Einsparungen, aber auch in die Gründe, die einem flächendeckenden Einsatz von Brennstoffzellen-Mikro-KWKs entgegenstehen könnten.

Denn nach Einschätzung von Experten liegt die aktuelle Herausforderung bei der flächendeckenden Einführung der Brennstoffzellentechnik weniger in der Technologie, sondern vielmehr bei den Zielkosten. Alexander Dauensteiner, Innovationsmanager bei Vaillant, sagte: „Die Technologie funktioniert technisch, aber die Frage ist: Wie kommt die Technik in den Massenmarkt? Vor dieser Herausforderung steht die gesamte Branche." Bei näherem Hinsehen offenbart sich hier eine Art Henne-Ei-Problem: Die Politik hat Forschung und Entwicklung der aussichtsreichen Technologie massiv gefördert. Um aber massenmarkttauglich zu werden, müsste die Industrie die Kosten drastisch senken. Dauensteiner erklärte weiter: „An dieser Stelle sind schon viele Innovationen in Deutschland gescheitert. Die Deutschen sind zwar hervorragende Entwickler, aber bei der Industrialisierung der neuen Technologien hapert es."

ERFOLGSMODELL PHOTOVOLTAIK In Japan geht man andere Wege. Hier ermöglicht eine Allianz aus Politik und Industrie die Markteinführung von *disruptive technologies.* Denn die Japaner wissen: Bis ein technologisch überlegenes Produkt so billig ist, dass die Masse es abnimmt, sind Stückzahlen nötig. Um die aber herstellen zu können, braucht es Investitionen. In Japan unterstützt die Politik in dieser ersten und kritischen Phase die Endkunden dabei, die naturgemäß noch sehr teuren Produkte zu kaufen. Man finanziert also die Einführung einer neuen Technologie bis zu dem Punkt, an dem sie für die Masse erschwinglich ist.

Das Erfolgsmodell Photovoltaik zeigt, dass auch die Politik hierzulande diesen Weg schon erfolgreich beschritten hat. 1965 begannen die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich der Solarstromerzeugung, zehn Jahre später gab es von der Bundesregierung erste Fördermittel für Solarenergie. Richtig los ging es dann 1990 mit dem Start des 1.000-Dächer-Programms, bei dem 2.550 Dächer mit Photovoltaikanlagen ausgestattet wurden. Ein Jahr später trat dann das Stromeinspeisungsgesetz in Kraft, bei dem Energieversorger den Strom aus Sonnen- und Windenergie vergüten mussten. Den echten Durchbruch aber brachte im Jahr 2000 das Erneuerbare-Energien-Gesetz. Das EEG sorgte nicht nur dafür, dass jede solar erzeugte Kilowattstunde Strom mit rund 50 Cent vergütet wurde,

Abb. 2: Alexander Dauensteiner [Foto: Vaillant]

sondern löste einen regelrechten Solarboom aus und hat Deutschland zum weltgrößten Photovoltaikmarkt und die Förderpolitik der Bundesrepublik Deutschland zum weltweiten Vorbild gemacht. Damals hatte niemand mit einem so großen Boom der Photovoltaik gerechnet.

Zwar wird es ein solches „durch die Decke brechen" bei der Brennstoffzelle nach Auffassung von Experten nicht geben. Dennoch ist die Politik gefordert, die Rahmenbedingungen für die Einführung der Brennstoffzelle zukunftsweisender zu gestalten. Dauensteiner sagte: „Der Vorschlag für ein Technologie-Einführungsprogramm in Deutschland schlägt eine degressive und zeitlich befristete Förderung vor. Damit wird es zumindest im Ansatz möglich, die Stückkosten zu senken". Ob diese Maßnahme aber ausreicht, eine für die Energiewende aussichtsreichste Invention zur Innovation reifen zu lassen, darf bezweifelt werden.

BEZAHLUNG DER NACHHALTIGKEITSKOSTEN Eine bessere Möglichkeit, den neuen Technologien schneller in den Markt zu helfen, sehen Experten wie Dauensteiner darin, Nachhaltigkeitskosten auf die Nutzung umweltschädlicher Technologien in Rechnung zu stellen. Er erklärte: „Ich glaube, dass die Rechnung, die unsere Volkswirtschaft den umweltschädlichen, also den nicht nachhaltigen Lösungen zugrunde legt, einfach falsch ist. Jeder darf veraltete und schädliche Technologien nutzen und damit Folgeschäden verursachen, ohne dafür finanziell aufkommen zu müssen. Nehmen wir einmal an, die Regierung würde ‚Nachhaltigkeitskosten' erheben. Dann würde auf einmal die Anwendung nicht-nachhaltiger Technologien erheblich teurer und mit diesem Geld ließe sich leicht die Industrialisierung wirklich nachhaltiger Technologien fördern."

Ein Blick auf die stockende Energiewende zeigt, dass zurzeit offenbar noch der Glaube daran fehlt, dass sich Investitionen in Nachhaltigkeit tatsächlich rechnen. Für viele Unternehmen ist Nachhaltigkeit vorwiegend ein Imagefaktor, daneben hält man an den alten Technologien fest. Doch Dauensteiner bleibt Optimist: „Ich persönlich glaube, dass es sich kein Unternehmer mehr leisten kann, das Thema Nachhaltigkeit zu ignorieren, und plädiere deshalb für mehr Mut zum Wandel. Sowohl in der Politik wie auch in der Wirtschaft und letztlich auch beim Verbraucher." ||

Autorin:

Angela Imdahl
imdahl-institut, Rottweil
→ info@imdahl-institut.de

Thema: Markt | **Autor:** Peter Sauber

ENERGIEWENDE TRIFFT UMWELTPSYCHOLOGIE

green2market: Kommentar von Peter Sauber

Peter Sauber, Inhaber der Peter Sauber Agentur Messen und Kongresse GmbH und seit elf Jahren Organisator der f-cell in Stuttgart, über die Schwierigkeit, grüne Produkte zu vermarkten und zu vermitteln, sowie seine Motive, die *green2market* zu veranstalten:

Als Messe- und Kongressveranstalter widmen wir uns seit über 30 Jahren den Themen Nachhaltigkeit, Ökologie und Energie. Im Endverbraucherbereich erfahren wie seit Jahren, wie schwierig es für die Unternehmen ist, den Verbraucher für Energiesparlösungen zu begeistern. Bei den Fachveranstaltungen beobachten wir, dass es immer aufwändiger wird, neue Technologien am Markt zu etablieren.

Mit dem neuen Kongress *green2market* wollen wir genau dieses Wissen über die Motive derjenigen vermitteln, die nachhaltige Produkte und Lösungen sowohl im B2B- als auch im Endverbraucherbereich annehmen sollen. Denn wir sind davon überzeugt, dass der Erfolg der Energiewende davon abhängt, ob es gelingt, die Menschen wirklich dafür zu motivieren.

Auf der *green2market* stehen also nicht die technischen Aspekte im Rampenlicht, sondern die psychologischen Motive und Treiber, die für das Gelingen der Energiewende ausschlaggebend sind. Die Themenpalette reicht dabei von Großwindprojekten über die Vermarktung nachhaltiger Erfindungen im Eigenheimbereich bis hin zum großen Thema E-Mobilität. So zeigt etwa Prof. Dr. P. Wesley Schultz, einer der renommiertesten nordamerikanischen Umweltpsychologen, wie Anreizprogramme in den USA funktionieren. Prof. Dr. Florian G. Kaiser beleuchtet die Bedeutung intrinsischer Motivation für das Gelingen der Energiewende. Prof. Dr. Christian A. Klöckner überrascht mit Beispielen zur Elektromobilität im norwegischen Alltag und Prof. Dr. Gundula Hübner bringt Licht in die realen Akzeptanzfaktoren für Windenergie – für alle Umsetzer von Großprojekten ein Muss.

Besonders stolz sind wir, dass wir mit Prof. Dr. Lenelis Kruse-Graumann eine der Pionierinnen der deutschen Umweltpsychologie für *green2market* gewinnen konnten. Zusammen mit den teilnehmenden Unternehmen wie Vaillant, BMW oder der wpd-Gruppe, Deutschlands größtem Onshore-Windpark-Betreiber, und unseren Förderern wie dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, B.A.U.M. e.V., e-mobil BW, dem NOW und der Wirtschaftsförderung Region Stuttgart wird die Konferenz darüber hinaus auch ein Social Event sein, ein Ereignis, über das man spricht und bei dem man auch im nächsten Jahr wieder gern dabei ist. ||

Autor:

Peter Sauber
Peter Sauber Agentur Messen und Kongresse GmbH, Stuttgart
→ info@messe-sauber.de

Abb. 1: Markante Werbesprüche können auch kontraproduktiv sein. [Quelle: Saturn]

Thema: Markt | **Autorin:** Angela Imdahl

DIE PSYCHOLOGIE DER ENERGIEWENDE

„Geiz ist geil" zieht nicht immer

Status und Unabhängigkeit sind starke Motive für das Umwelthandeln. Aber reichen diese Treiber für die Vermarktung neuer Verfahren und Produkte wie der Brennstoffzellen-Technologie aus? Die Umweltpsychologie meint: Ohne Imagegewinn für die ersten Käufer und ohne Vertrauen in Haltbarkeit, Leistung und Reparierbarkeit kann eine erfolgreiche Markteinführung nicht gelingen.

Bei jeder neuen Technologie gibt es immer eine Handvoll Menschen, die diese Technologie unbedingt nutzen wollen und denen der Preis egal ist, so genannte *Lead User.* Alle anderen lassen sich nur dadurch überzeugen, dass man ihnen vorrechnet, dass ihnen die Anwendung der neuen Technologie Einsparungen oder Profit bringt. Das zumindest meinen die Hersteller. Aus Sicht der Umweltpsychologie ist das bestenfalls die halbe Wahrheit: Die Erfahrung lehrt, dass rund zehn Prozent der Menschen offen sind für Innovationen. Weitere zehn Prozent lehnen Neuerungen rigoros ab. Bei Veränderungen oder bei der Einführung innovativer Technologien geht es also immer darum, die Menge der Menschen zwischen den beiden Polen zu motivieren. Bei der Einführung von Umwelttechnologien, so die Einsicht der Umweltpsychologen, geht es diesen Menschen aber nicht primär um den Preis und ihren persönlichen Profit. Im Vordergrund stehen ganz andere Motive.

DAS SELBSTBILD IST ENTSCHEIDEND Welche Motive das sind, wird deutlich, wenn man das zugrundeliegende Selbstbild der Menschen erfasst, die bereit sind, in nachhaltige Technologien zu investieren. Dieses Selbstbild lässt sich vereinfachend auf die folgende Formel bringen: „Als guter Mensch werde ich alles mir mögliche tun, um mitzuhelfen, die Welt zu retten."

Adressiert man an diese Menschen nun die Gewinnerzielungsabsicht, rechnet ihnen also vor, was es ihnen bringen könnte, wenn sie diese oder jene Technologie anwenden, wirkt das wie eine Beleidigung oder wie eine Kränkung des Selbstbildes. Man unterstellt niedere Absichten an einer Stelle, an der der andere die Absicht hatte, selbstlos zu handeln.

Wer schon einmal gekränkt wurde, kann sich leicht vorstellen, welche Folgen eine solche Kränkung hat. Im besten Fall wird der so Adressierte das Produkt, das er eben noch attraktiv fand, nicht kaufen. Im schlechtesten Fall wird er zu jener Fraktion überlaufen, die darauf aus ist, Fehler und Mängel an der Technologie aufzudecken, um zu beweisen, dass sie nicht funktionieren kann: zu den Ablehnern. Auch dieses Verhalten ist „psycho-logisch", denn es dient der Untermauerung der soeben getroffenen Entscheidung.

Unternehmen, die bei der Vermarktung ihrer innovativen Technologien keine Abfuhr erhalten wollen, sollten also Werbung und Marketing lieber dazu nutzen, potenziellen Kunden Wertschätzung dafür zu vermitteln, dass sie bereit sind, in nachhaltige Technologien zu investieren, obwohl sie damit zunächst keinen Gewinn erzielen können.

„GEIZ IST GEIL" ZIEHT NICHT BEI UMWELTTECHNOLOGIE Misserfolge bei der Vermarktung umweltschonender Produkte und Technologien rücken einen Denkfehler von Werbeagenturen und Kampagnenmachern ins Licht: Die so gern genutzte „Geiz-ist-geil-Mechanik", die scheinbar auf alle Werbekampagnen zu passen scheint, greift nicht bei der Vermarktung von Umwelttechnologien. Offenbar gibt es Menschen, die weder geizig noch geldgeil sind und von denen sich viele für neue, nachhaltige Technologien interessieren. Wer also nach dem simplen „Geiz-ist-geil-Muster" Umwelttechnologien bewirbt, schadet der neuen Technologie eher, als dass er ihr nutzt. Denn das Profit-Versprechen kann zumindest im Stadium der Markteinführung ohnehin nicht eingelöst werden und zugleich wird ein Welt- und Menschenbild befeuert, an dem die Welt doch eigentlich erst erkrankt ist – und das die neue Technologie zu heilen vorgibt.

Geiz-ist-geil-Werbung beschädigt die Glaubwürdigkeit der Inventoren der neuen Technologien in einem sehr frühen Stadium. Unterm Strich gilt daher: Da sich bekanntlich

Abb. 2: Können moderne Heizgeräte den eigenen Status aufwerten? [Quelle: Vaillant]

Probleme nicht mit den gleichen Denkstrukturen lösen lassen, die zu ihrer Entstehung beigetragen haben, sollte man nachhaltige Technologien auch nicht mit denselben Argumenten vermarkten wie all die anderen Produkte. Doch welche Motive zählen bei der Entscheidung für die Investition in innovative Technologien wirklich? Welche „Vermarktungsmechanik“ greift?

ANREIZE: UNABHÄNGIGKEIT UND STATUS Um mit dem Positiven zu beginnen: Energieunabhängigkeit, Autarkie also, ist ein starkes Motiv bei der Entscheidung für die Investition in erneuerbare Energien. Umfragen zeigen, dass bei vielen Menschen der Wunsch nach unabhängiger Versorgung groß ist – und weiter wächst. Brennstoffzellen sind zwar nicht ganz unabhängig von einer H_2-Versorgung, erlauben aber eine Strom- und Wärmeversorgung gerade in sonnenarmen Stunden oder auch Wintermonaten. Damit sind sie prädestiniert für die kombinierte Nutzung mit Photovoltaikanlagen. Da Brennstoffzellen auch assoziiert werden mit Innovation, Raumfahrt und Zukunft, bieten sie sich als Aufwertung des Hauses – und des Hausbesitzers – an.

Hier kommt das Motiv „Status“ ins Spiel. Doch anders als bei einer Solaranlage ist die Brennstoffzellentechnik im Keller versteckt und selbst bei einer Besichtigung nur schwer von anderen Heiztechnologien zu unterscheiden. Im Zusammenhang mit dem starken Motiv der Statusaufwertung ist das ein echter Nachteil. Denn seinen Status signalisiert man am besten mit leicht Erkennbarem. Plaketten, Siegel oder andere Signale, die auf die Brennstofftechnologie aufmerksam und sie für andere „sichtbar“ machen, können hier Abhilfe schaffen.

VERTRAUEN IN HALTBARKEIT UND LEISTUNG Als neue und aufregende Technologie wirkt die Brennstoffzelle auf manche Menschen besonders anziehend. Tüftler oder Ingenieure zeigen hier eher Interesse als der Durchschnittsverbraucher. Für diesen liegt in der Neuheit vor allem ein Grund zur Vorsicht. Insbesondere in Anbetracht des hohen Preises sieht er im Falle eines Ausfalls Wohnkomfort und Bankkonto gleichermaßen gefährdet. Bei seiner Entscheidung für oder gegen eine solche Innovation wird er daher besonders sorgfältig das wahrgenommene Risiko und den erwarteten Aufwand abwägen; schließlich will er nicht als Versuchskaninchen herhalten.

Bei der Vermarktung muss deshalb besonders der Kontext, in dem Entscheidungen gefällt werden, beachtet werden. Ein Eigenheimbesitzer entscheidet zunächst ja nicht für oder gegen die Brennstoffzelle, sondern er entscheidet erst, ob überhaupt ein Ersatz für die alte Heizung notwendig ist. Im zweiten Schritt konkurriert die Brennstoffzelle dann mit BHKW und der mittlerweile sehr effizienten und verbreiteten Brennwerttherme. Erst bei dieser Betrachtung wägt er ab, ob die Entscheidung für die Brennstoffzelle bei aktuellen Strom- und Gaspreisen wirklich wirtschaftlich ist. Da sie es (noch) nicht ist, muss die Entscheidung über andere Vorzüge motiviert werden.

Was Brennstoffzellen für eine Massenvermarktung in jedem Fall brauchen, ist das Vertrauen in Haltbarkeit, Leistung und Reparierbarkeit. Ein unbekannter Hersteller wird es dabei in einem konservativen Markt gegen die großen Namen sicher schwer haben. Aus diesem Grunde sollten sich fallweise große Unternehmen zusammenschließen, wenn es darum geht, neue Technologien in die Gesellschaft zu tragen. ||

Autorin:

Angela Imdahl
imdahl-institut, Rottweil
→ info@imdahl-institut.de

Thema: Markt | **Autor:** Sven Jösting

MIT BRENNSTOFFZELLEN GELD VERDIENEN

Aktienanalyse von Sven Jösting

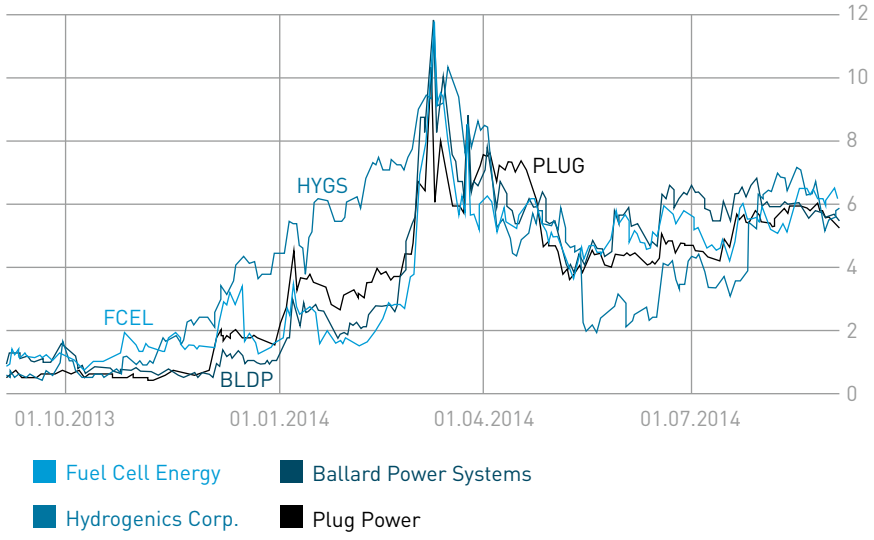


Abb. 1: Kurvenverlauf der Aktienkurse [Quelle: www.wallstreet-online.de]

Die Börse kann durchaus als Antizipationsmechanismus verstanden werden. Dort, auf den Finanzparketts dieser Welt, lassen sich derzeit sehr gute Entwicklungen im Bereich der börsennotierten Brennstoffzellenunternehmen erahnen: So erlebten die Aktien der US-amerikanischen Firmen *Plug Power* und *Fuelcell Energy* sowie der kanadischen Unternehmen *Ballard Power Technologies* und *Hydrogenics* innerhalb der vergangenen zwei Jahre und auch seit Beginn dieses Jahres zum Teil dramatische Höhenflüge, die auch für die Zukunft einiges erwarten lassen.

Plug Power zog von ehemals etwa US-$ 0,50 bis auf über US-$ 11 an, *Ballard* von US-$ 1 bis auf über US-$ 8. Dass es da vorübergehend zu Abkühlungen – sogenannten Phasen der Gewinnmitnahme – kommen musste, liegt auf der Hand. Man spricht auch von sogenannten 50 %-Reaktionen nach einem sehr starken kurzfristigen Anstieg. Exakt dort stehen wir heute. Dies könnte die Basis für einen neuen, und zwar langfristigen Aufwärtstrend bedeuten – vieles spricht dafür.

Parallel zu diesen Kurssprüngen gab es viele technologische Durchbrüche und auch eine Vielzahl von Produktentwicklungen in einer Reihe von Brennstoffzellenmärkten, die weltweit als sehr wachstumsstark angesehen werden können, derzeit aber gerade erst am Anfang stehen. Außerdem verbesserte sich zuletzt das Stimmungsbild zum Einsatz von Wasserstoff in der Öffentlichkeit.

WO STEHEN WIR HEUTE? Anfang der Jahrtausendwende war es zu einer regelrechten Boomphase bei Unternehmen, die mit der Entwicklung der Brennstoffzelle zu tun hatten, gekommen. Vorneweg ging *Ballard Power,* die zeitweise einen Börsenwert von über US-$ 11 Mrd. aufwiesen, als der Aktienkurs auf über US-$ 120 explodierte. Dann aber kamen viele Jahre der Ernüchterung, Re- beziehungsweise Neu-Fokussierung und auch Enttäuschung, weil viele Entwicklungen nicht so zügig wie erwartet voranschritten.

Der damalige Hype ist durchaus zu vergleichen mit den heutigen Elektromobilitätsunternehmen (nur Batterie) wie zum Beispiel *Tesla* (US-$ 278/Aktie). Deren Börsenbewertung liegt derzeit bei US-$ 35 Mrd. Jetzt stehen allerdings Brennstoffzellen-Hybrid-Fahrzeuge u.a. von *Toyota* vor der Markteinführung, die Konkurrenz machen könnten. Ergeht es *Tesla* vielleicht wie *Ballard* vor zwölf Jahren?

Ballard trennte sich in mehreren Etappen von seiner automobilen Brennstoffzellensparte, die zusammen mit *Daimler* und *Ford* in dem Venture *Auto AFCC* (www.afcc-auto.com) gebündelt war, indem man sich auszahlen ließ, wohl aber Nutzungsrechte an bestimmten Entwicklungen behielt und als Subunternehmer weiter mitarbeitet. *Daimler* ist jetzt somit quasi auch Untermieter von *Ballard* im kanadischen Vancouver.

BALLARD POWER (BLDP, US-$ 3,42)

Als Schlüsselinvestment empfiehlt sich *Ballard Power.* Das Unternehmen besitzt das größte Patentportfolio in der Branche, eigene Produktionskapazitäten, diverse strategische Allianzen, Forschungsaufträge wie mit *VW* (bis zu CAD 100 Mio.) und eine Reihe vielversprechender Anwendungen, beispielsweise Backup-Power-Systeme für die Telekommunikation (China, Indien, Südafrika u.a.) und BZ-Hybridbusse. Von *United Technologies* wurde unlängst ein sehr umfassendes Patentportfolio (wie auch ergänzende Auswertungen u.v.a.) für US-$ 20 Mio. erworben (Kaufpreis: 5 Mio. Aktien und ca. US-$ 2 Mio. Bargeld). Dieses Portfolio soll über US-$ 1 Mrd. an F&E-Aufwendungen zur Grundlage haben. Zudem verfügt das Unternehmen über US-$ 40 Mio. an liquiden Mitteln (null Bankschulden!). Es werden weitere OEM-Abkommen erwartet, also Partnerschaften, bei denen *Ballard* Know-how gegen Lizenzgebühren eintauscht und gemeinsame Forschungsarbeit leistet. Zudem wurde kürzlich ein neuer CEO benannt, der sicherlich zukunftsweisende Impulse in das Unternehmen einbringen wird. Mit dem Partner *Azure* soll der chinesische Markt unter anderem für BZ-Busse geöffnet werden.

Der Kurs der Aktie besitzt sehr hohes Potential, wenn auch nur einige der geplanten Kooperationen in Aufträge münden. Und: *Plug Power* (s. u.) bezieht seine BZ-Stacks für Gabelstapler von *Ballard*. Zwar gibt es wohl Bestrebungen seitens *Plug Power,* unabhängiger zu werden, doch ist dies mehr Wunsch als Wirklichkeit, da beide Unternehmen sehr er-

folgreich zusammenarbeiten und *Ballard* wichtige Patente hält. Zudem wird *Ballard* auch andere Partner unter anderem in Europa als Kunden gewinnen können. *Ballard* plant, dieses Jahr das erste Mal in der Firmengeschichte cash-flow-positiv zu arbeiten – und 2015 mit Gewinn. Das Wachstum wird auf 30 % p.a. geschätzt. Und: Auch Übernahmefantasien angesichts des größten – nach eigener Aussage – PEM-Patent-Portfolios sind nicht auszuschließen.

→ www.ballard.com

PLUG POWER (PLUG, US-$ 5,30) *Plug Power* ist der Shootingstar, was die Börsenentwicklung angeht: Von Kursen um US-$ 0,50 kam es in den vergangenen zwei Jahren zu einem Anstieg bis auf über US-$ 11. Das Unternehmen hat sich auf die Umrüstung von Gabelstaplern via Brennstoffzelle konzentriert. Die BZ-Stacks kommen von *Ballard Power.* Diverse Großaufträge (von *WalMart, P & G*) liegen vor. *Plug* verdient zudem auch am Wasserstoffverbrauch über ein Venture mit einer Unternehmenstochter von *Air Liquide,* die auch bei *Plug Power* beteiligt sind. Es sollen Aufträge im Wert von über US-$ 150 Mio. allein in diesem Jahr generiert werden. Mittels zweier Kapitalerhöhungen konnten liquide Mittel zufließen, die mit über US-$ 160 Mio. auf der Bank liegen. Unternehmen wie *WalMart* haben es wahrscheinlich zur Bedingung gemacht, dass *Plug* finanziell „auf sicheren Füßen steht", um größere Aufträge zu erhalten. Indes kann es auch zu besonderen Kursschwankungen kommen, da bei *Plug* fast 38 Mio. Aktien leerverkauft worden sind und bei guten Nachrichten daraus „Eindeckungsdruck" (Short Squeeze), also der Rückkauf, erforderlich werden könnte. Mit über US-$ 900 Mio. Börsenbewertung ist das Unternehmen schon „sportlich" bewertet, wird aber bei guten News wie auch Eindeckungskäufen weiter laufen.

Plug arbeitet an eigener Stack-Entwicklung, könnte also irgendwann von *Ballard* unabhängig werden. Es gibt aber Kommentare seitens *Ballard,* dass man noch dieses Jahr an einem weiteren Zuliefervertrag (exklusiv?) arbeitet und „getrennte Wege" daher eher unwahrscheinlich und auch unnötig sind. Von Seiten *Plug Power ist es* verständlich, dass man nicht von einem Zulieferer abhängig sein möchte. *Ballard* selbst könnte aber auch geneigt sein, mit anderen Partnern unter anderem in Europa den Markt der Gabelstapler in Sachen Brennstoffzellen zu entwickeln.

→ www.plugpower.com

FUELCELL ENERGY (FCEL, US-$ 2,42) Das Unternehmen verfügt bereits über hohe Auftragsbestände (circa US-$ 350 Mio.) und setzt über US-$ 190 Mio. mit hohem Wachstum um. Ab 2015 will man profitabel sein. Kürzlich hat ein Unternehmenspartner, *NRG Energy,* neue Aktien für US-$ 35 Mio. gezeichnet, wobei der Ausgabekurs dem aktuellen Börsenkurs entsprach, also ohne Abschlag, was sehr positiv zu bewerten ist. Zudem stellt *NRG Energy* eine Kreditlinie in Höhe von US-$ 40 Mio. zur Verfügung, was ein weiterer Vertrauensbeweis ist. Die neue Kapitalbasis könnte als Grundlage dafür verstanden werden, einen Großauftrag annehmen zu können. Gerüchteweise soll der US-Energieversorger *Long Island Lighting* an BZ-Projekten arbeiten, die Aufträge im Wert von über US-$ 300 Mio. ausmachen können. *Fuelcell Energy* liefert BZ-Komplettsysteme (Kraft-Wärmekoppelung) unter anderem für Großanwendungen (Krankenhäuser u.v.a.).

→ www.fuelcellenergy.com

HYDROGENICS (HYGS, US-$ 20,00) *Hydrogenics* arbeitet am Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur, H_2-Tankstellen wie auch Elektrolyseuren. Wasserstofftankstellen stellen noch eine Hürde da, werden aber allmählich eingeführt. Schätzungen für Deutschland besagen, dass circa 500 H_2-Tankstellen bis 2020/23 bestehen und langfristig circa 4.000 von insgesamt 14.000 Tankstellen auch H_2 anbieten werden. Das Unternehmen will dieses Jahr zum ersten Mal in der Firmengeschichte profitabel arbeiten.

→ www.hydrogenics.com

RISIKOSTREUUNG SINNVOLL Wer sich mittel- bis langfristig im BZ/H_2-Bereich börsentechnisch engagieren will, sollte sich einen Mix an Aktien der Branche zulegen. Aufgrund der Marktkapitalisierung bevorzuge ich ausschließlich nordamerikanische Werte. Diese können bequem an deutschen Börsen erworben werden. Dazu gehören die vier oben benannten Unternehmen.

Diesen Unternehmen ist gemein, dass sie unterschiedliche BZ-Märkte, Produkte, geographische Zonen und Anwendungen abdecken, also Risiken aufteilen. In einem Portfolio würde ich die Asset-Allocation wie folgt wählen:

45 % Ballard Power Technologies
35 % Fuelcell Energy
10 % Hydrogenics
10 % Plug Power

Das Investment sollte mittel- bis langfristig gesehen werden, da auch bei negativen Börsenphasen bis hin zu einem Crash Aktien dieses Sektors selbst bei zu erwartenden guten Nachrichten sich der Allgemeintendenz nicht werden entziehen können, indes der Markt der BZ wie auch der Produktion von Wasserstoff in den Anfängen steckt und unzählige neue Massenmärkte (Energie, Mobilität u.v.a.) in der Entstehung sind. Die First-Mover dieser Branche werden meines Erachtens die größten Bewertungszuwächse erfahren. ||

TIPP: Es empfiehlt sich, das Buch „Die H_2-Revolution" von Jeremy Rifkin zu lesen (kam 2002 heraus, ist aber tagesaktuell).

Sven Jösting (53) ist seit vielen Jahren Mitglied der Wasserstoff-Gesellschaft Hamburg e.V.. Er befasst sich schon lange beruflich mit dem Thema Brennstoffzelle, d. h. er hat Unternehmen der Branche zusammengeführt, strategische Partnerschaften initiiert und ist auch besonders mit dem Thema Börse verbunden. Jösting war beruflich über 15 Jahre als Broker bekannter US-Investmentbanken tätig. Sein Fokus liegt auf Unternehmen, die sich u. a. mit regenerativen Energien, der Brennstoffzelle und Umwelttechnologien befassen. Zudem ist er seit circa 27 Jahren Mitglied in und assoziiert mit B.A.U.M. e.V., der dieses Jahr im September sein 30-jähriges Jubiläum feiert.

Autor:

Sven Jösting
→ s.joesting@c4visions.de

Thema: International | **Autor:** Sven Geitmann

USA INVESTIEREN IN H_2-INFRASTRUKTUR

19 neue H_2-Stationen bis Herbst 2015

Abb. 1: Wasserstofftankstelle in Fountain Valley, Kalifornien [Quelle: Air Products – Mike Danese]

Die *California Energy Commission* hat am 1. Mai 2014 ihre Entscheidung verkündet, dass FirstElement Fuel mit 27,6 Mio. US-Dollar ausgestattet wird, um in ganz Kalifornien 19 Wasserstofftankstellen für private Verbraucher zu installieren. Insgesamt will der US-Bundesstaat fast 50 Mio. US-Dollar investieren, um zusammen mit weiteren Industriepartnern 28 Betankungsstationen und eine mobile Befüllvorrichtung aufzubauen.

FirstElement Fuel Inc. ist nach eigenen Angaben eine Firma, die extra zu dem Zweck gegründet wurde, ein Netzwerk von Betankungsstationen für Brennstoffzellenautos aufzubauen. Joel Ewanick, Geschäftsführer von FirstElement Fuel, erklärte: „Unser Ziel ist eine übergangslose Wechselmöglichkeit für den Verbraucher: Wenn dieser den Startknopf seines Brennstoffzellenautos drückt, soll er wo auch immer hinfahren können – wann auch immer – so, als wäre es ein Benzinauto. Keine Kompromisse."

Kalifornien ist seit jeher ein beispielloser Vorreiter in Bezug auf die Regulierung des Schadstoffausstoßes sowie auf Null-Emissionen-Fahrzeuge (= Zero-Emission-Vehicles, ZEV) und Infrastrukturförderinitiativen. Erst kürzlich brachte der Gouverneur Jerry Brown neuen Schwung in das Thema, indem er eine Vollzugsanordnung unterzeichnete, gemäß der 1,5 Mio. ZEVs bis 2025 auf Kaliforniens Straßen unterwegs sein sollen.

„Wir beabsichtigen, ein Geschäftsmodell zu realisieren, das auch auf andere US-Märkte sowie auf die ganze Welt übertragbar ist, schließlich wächst der Brennstoffzellenmarkt", sagte Ewanick. Die ersten 19 Stationen sollen im Herbst 2015 fertiggestellt sein, noch bevor Toyota mit seinen BZ-Fahrzeugen auf den US-Markt kommt. Damit dieses Ziel erreicht wird, beteiligen sich auch die Japaner finanziell am Aufbau der geplanten Infrastruktur. Weitere 21 Tankstellen von FirstElement Fuel sollen kurz darauf folgen.

Der benötigte Wasserstoff soll per Truck zu den verschiedenen Standorten transportiert werden. Zwei komplett nachhaltige Anlagen werden in Los Angeles entstehen. Jeweils eine wird beispielsweise in Campbell, Long Beach, San Diego, San Jose, Santa Barbara, Saratoga und South San Francisco liegen. Anfang August 2014 traf FirstElement Fuel für die Fertigstellung dieser Betankungsstationen eine Vereinbarung mit Black & Veatch, ihrem Ingenieur- und Konstruktionsdienstleister. Laut Ewanick ist Black & Veatch bestens für diese Aufgabe qualifiziert, da das Unternehmen gerade ein nationales Ladenetzwerk für Elektrofahrzeuge erfolgreich aufgebaut hat.

Weitere Gelder (insg. 46,6 Mio. US-$) wurden von der California Energy Commission unter anderem für HyGen Industries bewilligt (5,3 Mio. US-$). Das Unternehmen aus Eureka wird je eine Tankstelle in Orange, Pacific Palisades und Rohnert Park aufbauen, wobei alle drei ihren Wasserstoff zu 100 Prozent aus erneuerbaren Energien erzeugen werden. Auch der US-amerikanische Ableger von Linde erhielt den Zuschlag für zwei Stationen (4,2 Mio. US-$, San Ramon und Oakland). 2,1 Mio. US-$ wurden dem britischen Unternehmen ITM Power für einen Standort in Riverside und ebenso Air Liquide Industrial US für einen in Palo Alto zugesprochen. Weiterhin bewilligte die Kommission 2,8 Mio. US-$ für 175 Ladestationen für Elektroautos. ||

LEIPZIGER MESSE

new mobility
Mobilität neu denken
27. bis 29.10.2014

Internationales Fachforum
„Elektromobilität im Kontext der Regionen"
27.10.14 | 12:00 – 16:45 Uhr

„Stadt der Zukunft! Mobilität der Zukunft"
28.10.14 | 10:00 – 12:15 Uhr

Zukunftsmarkt „Big Mobility Data"
& Verkehrsinfrastruktur 2.0
29.10.14 | 10:00 – 17:00 Uhr

Intermodalität & Vernetzung
29.10.14 | 10:00 – 17:00 Uhr

Das ausführliche Programm finden Sie unter:
new-mobility-leipzig.de/veranstaltungen

Parallel findet statt:
euregia
Kommunal- und Regionalentwicklung in Europa
27. bis 29.10.2014

STECKSYSTEM FÜR DEN CHEMIEUNTERRICHT

Abb. 1: Robuste Steckplatte zum Herumexperimentieren

Während sich Unternehmen wie Heliocentris und H-Tec, die ihr erstes Geld im Wasserstoff- und Brennstoffzellenbereich ursprünglich mit Unterrichtsmaterialien verdient haben, immer stärker dem Industriesektor zuwenden, versuchen sich derzeit neue Firmen im Aus- und Weiterbildungssektor zu positionieren. Einer dieser neuen Akteure ist die Dreibein GmbH. Das in Hamburg von Ralph Schanz gegründete Unternehmen bietet spezielle, mit verschiedenen Partnern entwickelte Lernsysteme an, die helfen sollen, ingenieurtechnisches Wissen auf anschauliche Art zu vermitteln. Als ehemaliger Vertriebsleiter von Heliocentris arbeitet Schanz nach wie vor eng mit dem Berliner Unternehmen zusammen und vertreibt unter anderem auch dessen Lernsysteme und -modelle. Außerdem entwickelte der Diplomingenieur mit der leXsolar GmbH aus Dresden eine Lernplattform für Grundlagenversuche moderner Energiespeichertechnologien. Gemeinsam konzipierten sie eine *4E-Serie* für die technische Ausbildung, die Auszubildenden und Studierenden sowohl Wind- und Solarenergie als auch Speichertechniken (Batterie, Brennstoffzelle, Kondensator) näherbringt. Schanz erklärte gegenüber *HZwei:* „Das *4E-Energiespeicherbox*-Konzept ist didaktisch für die weiterführende Ausbildung an Berufsschulen und Hochschulen optimiert.“ Besonders angetan waren die Lehrer im *HZwei*-Praxisversuch von der *4E*-Grundplatte, auf der einfach und übersichtlich verschiedene Versuchsaufbauten aufgesteckt werden können (s. Abb. 1). Seit neustem bietet *leXsolar* in seinem Baukasten leXsolar-H2 Large 2.0 auch SOFC-Module zum Experimentieren an, die gut für Schulzwecke einsetzbar sind. ||

Abb. 2: Modellauto mit BZ-Antrieb

4E Energiespeicherbox, Dreibein GmbH, Preis: 835,00 Euro
leXsolar-H2 Large 2.0, leXsolar GmbH, Preis: 712,80 Euro

WORLD OF ENERGY SOLUTIONS

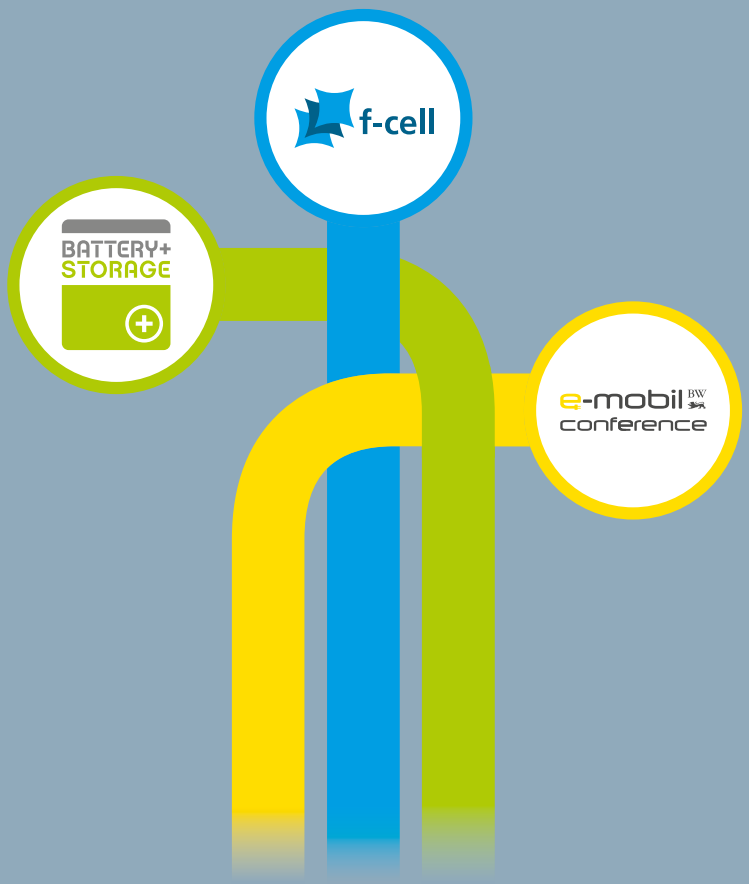
6.–8. Oktober 2014
Messe Stuttgart

Sie sind im Bereich der Batterie- oder Brennstoffzellen-Fertigung tätig und suchen nach Lösungen, wie Sie kostengünstiger und in großer Stückzahl produzieren können? Sie suchen nach neuen Möglichkeiten der mobilen und stationären Energiespeicherung oder interessieren sich für die Mobilität von morgen?

Die **WORLD OF ENERGY SOLUTIONS** ist als internationale Messe, Konferenz und Networking-Event das Verbindungsglied der Innovationsfelder Energieversorgung, -speicherung und Mobilität mit ihren vielfältigen Dienstleistungen und Angeboten.

Besuchen Sie die **WORLD OF ENERGY SOLUTIONS 2014** und treffen Sie die „Macher“ der Energie- und Mobilitätszukunft.

Konferenz mit über 140 internationalen Referenten – jetzt anmelden!



www.world-of-energy-solutions.de

Thema: Elektromobilität | **Autor:** Volker Blandow

SIND BRENNSTOFFZELLENAUTOS KLIMAFEINDLICH?

Diskussion über das Für und Wider von H_2-Mobilität

Anfang Juli 2014 veröffentliche Gregor Honsel auf der Internetplattform von *Technology Review* einen Kommentar, der sowohl bei etlichen Usern als auch in der Wasserstoffbranche für reichlich Diskussionsstoff sorgte. Unter der Überschrift „Eines der klimafeindlichsten Autos überhaupt" wetterte der Heise-Redakteur gegen Brennstoffzellenautos, in diesem Fall den Toyota FCV (s. S. 42) und bezeichnete die Entwicklung als „Sackgasse". Die vorherrschende Meinung unter den Antworten auf diesen Kommentar war hingegen anderer Natur, ebenso wie der offene Brief, den Volker Blandow, Leiter Elektromobilität bei der TÜV Süd AG, kommunizierte. Lesen Sie hier einige Auszüge aus dieser Diskussion.

KONTRA

Toyota bringt nun ein Serienauto mit Brennstoffzelle auf den Markt, und alle finden es toll. Keine leeren Akkus mehr! Nur noch Wasserdampf aus dem Auspuff! Toyota zeigt's der Branche mal wieder! Endlich mal ein Konzern, der sich was traut! Nur das nötige Tankstellennetz, wird da noch geflissentlich eingeflochten, das müsse man halt noch aufbauen.

Nein. Muss man nicht. Das Brennstoffzellenauto ist eine Sackgasse, die man nicht erst zu Ende gehen muss, um sie als solche zu erkennen. Die zentrale Frage ist so trivial, dass ich sie kaum mehr aufschreiben mag: Woher soll der Wasserstoff kommen? Derzeit wird er meist aus fossilem Erdgas hergestellt, was natürlich vollkommen gaga ist, denn das könnte man auch direkt tanken. Und die Elektrolyse ist auch nicht viel besser: Bei der Umwandlung von Strom zu Wasserstoff zu Strom geht die Hälfte bis zwei Drittel der Energie verloren. Der Toyota *FCV* soll laut Hersteller mit 6 kg Wasserstoff 500 km weit kommen. Das entspricht etwa 67 m^3. Für die Herstellung eines Kubikmeters per Elektrolyse müssen laut *Wikipedia* 4,3 bis 4,9 kWh Strom aufgebracht werden. Macht rund 60 kWh pro 100 km, zuzüglich etwa 12 % zum Komprimieren, insgesamt also ungefähr 67 kWh/100 km. Mit dem durchschnittlichen deutschen Strommix (2012: 576 g CO_2/kWh) entspricht das knapp 400 g CO_2/km. Mit anderen Worten: Toyota ist es gelungen, eines der klimafeindlichsten Autos überhaupt zu bauen.

Selbst wenn der Wasserstoffantrieb durch technische Fortschritte irgendwann effizienter werden sollte: An den Wirkungsgrad eines batterie-elektrischen Wagens wird er nie heranreichen, denn dort landet der Strom praktisch eins zu eins am Motor […]. Ein vergleichbares Akkuauto kommt mit 15 bis 20 kWh/100 km aus, also weniger als einem Drittel.

Macht nichts, beschwichtigen die Fuelcell-Cheerleader, wir nehmen natürlich Ökostrom. Doch selbst dann muss man sich fragen: Wären diese Kilowattstunden Strom nicht anderswo besser angelegt – beispielsweise, um Kohlekraftwerke vom Netz zu nehmen? Dass Strom CO_2-frei erzeugt wurde, entschuldigt nicht seine Verschwendung.

Alles kein Problem, kontert die Wasserstofffraktion, es müssen ja ohnehin regelmäßig Windräder abgeschaltet werden, weil ihr Strom keine Abnehmer findet. Bei diesem geschenkten Ökostrom sei es immer noch besser, ihn mit schlechtem Wirkungsgrad zu nutzen als gar nicht. Mag ja sein. Doch um wie viel handelt es sich dabei? Laut Bundesregierung mussten 2013 rund 385 GWh Ökostrom verworfen werden. Klingt erst mal viel, sind aber nur 0,33 % der gesamten Stromproduktion der Erneuerbaren.

Rechnen wir mal nach: Mit 385 GWh, dem gesamten Stromüberschuss von 2013, ließe sich Wasserstoff für rund 575 Mio. km herstellen. Das reicht – bei einer jährlichen Fahrleistung von 15.000 km – für gerade einmal 38.000 Autos. Zum Vergleich: In Deutschland sind derzeit mehr als 50 Mio. Kraftfahrzeuge zugelassen.

Nun argumentieren die Hydrogenfreunde gerne, dass der Stromüberschuss künftig deutlich größer sein wird. Doch der ist Folge eines schlechten Strommarktdesigns und keineswegs gottgegeben. Statt den Überschuss zu verprassen, könnte man ihn auch vermeiden – etwa durch Netzausbau, flexible Gaskraftwerke, Warmwassererzeugung oder intelligentes Lastmanagement. Klar, das kostet Geld und Mühe, aber bestimmt nicht mehr als der Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur.

Überhaupt, diese ominöse Wasserstoffinfrastruktur. 1999 ging in Deutschland die erste öffentlich zugängliche Wasserstofftankstelle in Betrieb. Wie viel, glauben Sie, gibt es heute, anderthalb Jahrzehnte später? Gerade einmal 14. Woher nehmen die Wasserstofffreunde eigentlich die Hoffnung, bei solchen Zuwachsraten irgendwann mal auf ein flächendeckendes Netz zu kommen? Wenn ich mir anschaue, wie schwer sich die Branche schon mit Elektroladestationen tut – dabei sind die noch deutlich einfacher und preiswerter zu errichten als Wasserstofftankstellen. Selbst die Zahl der Erdgastanken stagniert seit Jahren bei etwa 900.

Und wozu das Ganze? Um ein angebliches Reichweitenproblem zu lösen. Dabei hat die Elektromobilität gar kein Problem mit der Reichweite. Ich kann elektrisch in unter sechs Stunden die mehr als 700 Kilometer von Hamburg nach München zurücklegen. Nennt sich Eisenbahn. Versuchen Sie das mal mit einem Auto, egal welchen Antriebs.

Das ganze Bohei um die Brennstoffzelle hat seine Ursache in dem Irrglauben, Elektroautos müssten die fossilen „Rennreiselimousinen" möglichst eins zu eins ersetzen. Dabei sind Züge oder Fernbusse auf der Langstrecke heute schon kaum zu schlagen, und Batterieautos haben ihre Domäne in der Stadt und beim Berufspendeln. Und bei allen anderen Fällen sollen die Menschen halt weiterhin Verbrenner fahren. Weniger effizient als Brennstoffzellen sind die auch nicht.

Gregor Honsel
Über den Autor steht auf der Homepage folgendes: „Gregor Honsel ist seit 2006 TR-Redakteur. Er glaubt, dass viele komplexe Probleme einfache, leichtverständliche, aber falsche Lösungen haben."

PRO

Sehr geehrter Herr Honsel,
mit großem Interesse habe ich Ihren Artikel zum Serienstart des Toyota-Brennstoffzellenfahrzeugs gelesen. […] Mit bewundernswerter Selbstsicherheit urteilen Sie in wenigen Zeilen über eine Technologie und deren Auswirkungen, mit der sich zahllose Ingenieure, Forschungseinrichtungen und

große Unternehmen seit vielen Jahren intensiv beschäftigen. Nun ist dies alleine natürlich kein Beweis für die Richtigkeit eines Technologieansatzes und schon gar nicht für dessen Sinnhaftigkeit, trotzdem unterstellen Sie damit natürlich gleichzeitig einer großen Gruppe von Menschen eine gewisse Kurzsichtigkeit. […] Das induziert folglich Fragen darüber, in welchem Kontext Sie diese Aussagen treffen. Es stellt sich mir vor allem die Frage nach dem Beweggrund für diesen Artikel und worum es Ihnen eigentlich geht. […]

In der Sache muss es uns allen doch darum gehen, den gesamten Verkehrsbereich langfristig klimaneutral zu gestalten, zumindest wenn es um die Frage der Antriebsenergie im Fahrzeug selbst geht. […]

Die von Ihnen vollzogene Berechnung ist in einigen Einzelannahmen nicht ganz korrekt, in der Tendenz lässt sich ein Effizienznachteil des Wasserstoffs aber natürlich nicht bestreiten. Im schlechtesten Fall benötigt man im System „Brennstoffzelle“ die doppelte Energiemenge (Well-to-Wheel) für den gleichen Vortrieb wie im Batteriefahrzeug, aber eben auch nur die Hälfte der Energie eines modernen Verbrennungsmotors. Ich glaube, da wird Ihnen kein Protagonist der Wasserstofftechnik widersprechen. Das markiert allerdings eine ideale Verwendung des batterieelektrischen Fahrzeugs; wenn wir Themen wie Schnellladung oder induktives Laden in die Betrachtung einbeziehen, verändern sich die Effizienzwerte des Systems „Batteriefahrzeug“ teils deutlich. […]

Wirklich zur Diskussion stellen möchte ich zudem Ihre These, dass der Aufbau einer flächendeckenden Infrastruktur für Elektrofahrzeuge volkswirtschaftlich günstiger ist als ein Netz von Wasserstofftankstellen. Mit 1.000 Tankstellen lässt sich Deutschland recht gut versorgen. Da diese unabhängig vom Erdgasnetz errichtet werden können, lassen sie sich intelligenter positionieren als heutige pipelinegebundene Erdgastankstellen. Vielleicht sind es einmal 2.000 bis 3.000 Tankstellen, auch das wäre relativ klar überschaubar. Ladepunkte für Elektrofahrzeuge hingegen sind definitiv eine flächendeckende Angelegenheit, da ein Ladepunkt pro Fahrzeug obligatorisch ist und eine Steckdose keinen Ladepunkt darstellt. Hinzu kommt eine noch strittige Anzahl von öffentlichen/halböffentlichen Lademöglichkeiten und Schnellladestationen. Von Laternenparkern gar nicht zu sprechen. […] Eine Wasserstofftankstelle kann erhebliche Mengen Energie preiswert bevorraten und der Betankungsvorgang dauert drei Minuten, dies ist überschaubar und analog zu heutigen Strukturen. Während der Woche oder in der Nacht wird der Wasserstoff abhängig vom Energieangebot erzeugt.

Bezogen auf Ihre Aussage „klimaschädlichstes Fahrzeug überhaupt“ möchte ich gerne entgegenhalten, dass man mit dieser Rechnung natürlich auch ein Batteriefahrzeug schlechtrechnen kann. Ihrem Ansatz folgend ist ein Brennstoffzellenfahrzeug dann im Negativfall doppelt so schlecht.

Nur: Ist dieser Ansatz sinnvoll? Beide Technologien haben das Potenzial, vollständig auf Basis erneuerbarer Energie zu funktionieren und nur dann machen sie langfristig wirklich Sinn. Im Gegensatz zum Verbrennungsmotor haben aber beide Technologien das Potenzial (auch bei Fahrzeugen, die bereits auf der Straße sind), sukzessive die Emissionen im Verkehrsbereich zu senken, indem man durch Zubau von Erneuerbaren die Primärenergie schrittweise sauberer macht. Darin liegt die wesentliche Stärke gegenüber dem Verbrennungsmotor. Eine schrittweise Integration sauberer Energie basierend auf verschiedenen Erzeugungstechniken ist möglich.

Am Ende des Tages ist vielleicht die finale Effizienz gar nicht mehr das ausschlaggebende Kriterium, denn in der Tat werden wir – in einem fortgeschrittenen Szenario von nahezu 100 % erneuerbarer Energie – immer Zeiten großer Überkapazitäten im Netz erleben. Und da ist Wasserstoff absehbar eine der preiswertesten Speichertechnologien, wenn es um große Energiemengen geht. Wirklich relevant sind schlussendlich nur Gesamtemissionen und Kosten und natürlich die Akzeptanz des Kunden. […]

Eine nicht richtige Darstellung gilt es dann doch zu korrigieren. Ein Brennstoffzellenfahrzeug, betrieben mit „grauem“ Wasserstoff (Wasserstoff aus Erdgas), ist in der Gesamtemissionsbilanz (Well-to-Wheel) immer noch bis zu 30 % besser als alle fossilen Optionen im Verbrennungsmotor, auch im Erdgasbetrieb! Dies liegt am hohen Teillastwirkungsgrad der Brennstoffzelle und des Elektroantriebs gegenüber dem Verbrenner. Dies haben Industrie und Europäische Kommission in zahlreichen Arbeiten theoretisch und mit Messungen sehr transparent belegt.

Aus meiner Sicht ist das Elektrofahrzeug mit Brennstoffzelle definitiv keine Sackgasse, sondern eine immens wichtige Technologieoption. Im Wasserstoff selbst steckt ganz erhebliches Potenzial auch weit jenseits des Fahrzeugantriebs. Wasserstoff ist dazu geeignet, einmal die Bedeutung heutigen Erdöls als sauberer sekundärer Energieträger zu übernehmen. ||

Volker Blandow
Leiter Elektromobilität, TÜV SÜD AG München

→ www.heise.de/tr/blog/artikel/Eines-der-klimafeindlichsten-Autos-ueberhaupt-2249997.html

Thema: Elektromobilität | **Autor:** Sven Geitmann

ANFANGS IST DAMIT KEIN GELD ZU VERDIENEN

Der Toyota FCV kommt im April 2015

Abb. 1: Mitsuhisa Kato (m.) präsentiert den Toyota FCV. [Quelle: Toyota]

Toyota wird ab April 2015 der zweite Automobilhersteller sein, der mit der Serienproduktion von Brennstoffzellenautos für Normalbürger startet. Nach Hyundai, die mit dem Bau von 1.000 *ix35* im Jahr 2013 begonnen hatten, plant der Branchenprimus den Markteintritt des Toyota *FCV* zunächst in Japan. Der Kaufpreis soll dort bei 50.000 Euro (7 Mio. Yen, netto) liegen. In die USA und nach Europa wird der 100 kW leistende Mittelklassewagen frühestens im Sommer kommen.

Mitsuhisa Kato, Vizepräsident von Toyota, präsentierte den *FCV* am 26. Juni 2014 auf einer Pressekonferenz in Tokio (s. Abb. 1). Dort sagte er: „Wir sind überzeugt, dass Wasserstoff eine der wichtigsten Energiequellen der Zukunft sein wird." Dieser Meinung ist auch die japanische Regierung, die mit umfangreichen politischen Maßnahmen die Markteinführung unterstützt (s. S. 28), um Toyota und auch Honda, die ebenfalls 2015 mit einem BZ-Auto loslegen wollen, gute Startchancen zu sichern.

Zunächst visiert Toyota die Produktion von einigen hundert Fahrzeugen an. Innerhalb von zehn Jahren soll dann die Kapazität auf eine Million Exemplare gesteigert werden. Die Entwicklung könnte somit ähnlich verlaufen wie damals bei dem Hybridmodell *Prius,* hofft jedenfalls Toyota. Während einer Presseveranstaltung berichtete Katsuhiko Hirose, der Chefentwickler für Brennstoffzellen (s. auch HZwei-Heft April 2014), es habe zehn Jahre gedauert, bis der *Prius* eine Gesamtstückzahl von einer Million erreicht habe. Weiter sagte er: „Auch bei der Brennstoffzelle wird es zehn, vielleicht auch 15 Jahre dauern, bis sie so hohe Stückzahlen erreicht."

Die Japaner wissen jedoch, dass zunächst nicht der finanzielle Gewinn im Mittelpunkt stehen kann. Laut Hirose hat die Firmenführung einkalkuliert, dass eine längere Anlaufphase notwendig sein wird: „Uns ist bewusst, dass mit Brennstoffzellenfahrzeugen anfangs noch kein Geld zu verdienen ist. Wir denken in sehr langen Amortisationszyklen und haben dafür auch die Rückendeckung unseres Topmanagements." Auch Hyundai verdient derzeit noch kein Geld mit dem Verkauf seiner Brennstoffzellenfahrzeuge, wie Byung Ki Ahn, Leiter der Brennstoffzellen-Abteilung von Hyundai, in einem Interview einräumte.

Die Zusammenarbeit mit Tesla für den rein batteriebetriebenen Toyota *RAV4* beendeten die Japaner. Man wolle sich ganz auf BZ-Autos konzentrieren, hieß es. Die Meldung, dass das japanische Wirtschafts- und Handelsministerium eine Verordnung für die Erhöhung des Einfülldrucks auf 875 bar in die Wege leiten wolle, wurde hingegen von Toyota Deutschland nicht bestätigt. ||

NEUE NACHFÜLLMÖGLICHKEITEN

Anstatt zu tanken können Hamburger zukünftig auf vollgeladene E-Mobile umsteigen. [Quelle: Evolte]

Sowohl für rein batterie- als auch für brennstoffzellenbetriebene Fahrzeuge gibt es in Deutschland seit diesem Sommer zahlreiche neue Lade- und Tankstationen, u. a.:

- 14. Mai 2014: Inbetriebnahme von acht Gleichstrom-Schnellladesäulen entlang der A9 zwischen München und Leipzig: in Schweitenkirchen, Ingolstadt, Lauf, Himmelkron, Selbitz, Hermsdorf, Schkeuditz und Dessau an Rastplätzen beziehungsweise bei Partnern direkt an der Autobahn, Installation erfolgte im Rahmen des Schaufensters Elektromobilität Bayern-Sachsen.
- 23. Mai 2014: Eröffnung des Park&Rent-Vermietkonzepts ERFAHRE Hamburg in der Gertrudenstr., Hamburg, Betreiber ist die Evolte GmbH, ehemals e-collection (s. Abb.).
- 27. Mai 2014: Inbetriebnahme einer Schnellladesäule am Potsdamer Platz in Berlin, Betreiber ist The New Motion Deutschland GmbH.
- 5. Juni 2014: Unterzeichnung einer Absichtserklärung zur Eröffnung einer H_2-Tankstelle in Bozen, Tirol, zusammen mit der Inbetriebnahme von insgesamt zehn Brennstoffzellenautos Hyundai ix35 FCEV im Herbst 2014, Stationsbetreiber ist die OMV AG im Rahmen des HyFIVE-Projekts.
- 1. Juli 2014: Inbetriebnahme einer Schnellladesäule für Wechsel- und Gleichstrom in Schwäbisch Gmünd, Betreiber ist die Total Deutschland GmbH im Rahmen des EMiS-Projekts.
- 14. Juli 2014: Inbetriebnahme je einer Stromladesäule an den Raststätten Brockbachtal in Nord- und Süd-Richtung an der A30 bei Westerkappeln, H_2-Zapfsäule befindet sich in Planung, Betreiber ist die Westfalen AG. ||

SPASS MIT ELEKTRO-MOBILEN

Anfang des Jahres fand in Berlin der *5. Internationale Karikaturwettbewerb* statt. Ein Hauptthema war in diesem Jahr „Elektromobil“. Unter Mitwirkung der Berliner Agentur für Elektromobilität eMO erfolgte am 6. Juni 2014 die Preisverleihung direkt am Kurfürstendamm in Berlin. ||

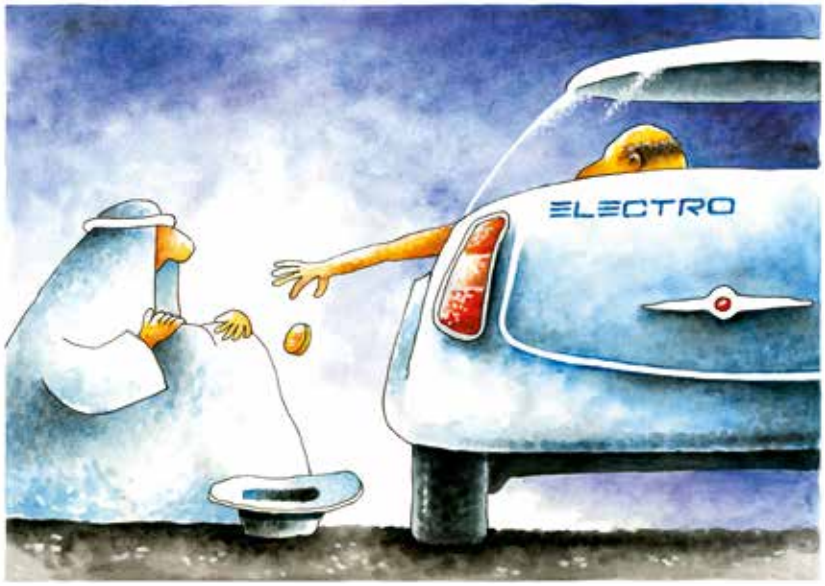


Abb. 1: KURTUKUNST Galerie Preis
[Quelle: Konstantin Kazanchev]

Abb. 2: Publikumspreis
[Quelle: Jasiek Zborucki]

Abb. 3: 3. Preis – die bronzene Ziege
[Quelle: Pawel Kuczynski]

RENEXPO® HYDRO
Die Wasserkraftmesse
für Österreich, Deutschland, die Schweiz und Südtirol

27. - 29. November 2014, Messezentrum Salzburg
Ihr Rabattcode für Kongressanmeldung: SA14HZWEI (Nur gültig für Leser bei Onlineregistrierung)
REECO
www.renexpo-austria.at

Thema: Elektromobilität | **Autor:** Sven Geitmann

REICHLICH WIRBEL UM NANOFLOWCELL

QUANT e erhält Straßenzulassung

Abb. 1: Der QUANT e hat die Straßenzulassung erhalten: Nunzio La Vecchia (r.) mit Prof. Jens-Peter Ellermann, Vorstand des Verwaltungsrates

Die bis dato eher unbekannte Firma *nanoFLOWCELL AG* macht seit Anfang dieses Jahres mit einem neuen Antriebskonzept von sich reden: Das Start-up aus Vaduz, Liechtenstein, präsentierte im März 2014 auf dem Auto-Salon in Genf einen rein elektrisch betriebenen Sportwagen, der den benötigten Strom aus einer Redox-Flow-Batterie bezieht. Der *QUANT e* verfügt über Flügeltüren, ein äußerst sportliches Design und seit dem 22. Juli 2014 auch über eine Straßenzulassung (s. Abb. 1).

Nunzio La Vecchia, Entwicklungschef und technischer Geschäftsführer der nanoFLOWCELL AG, erklärte anlässlich der Aushändigung des Nummernschildes durch den SGS-TÜV Saar: „Die erfolgreiche Straßenzulassung für Deutschland und Europa ist natürlich ein wichtiger Meilenstein für uns." Über seinen Sportwagen sagte La Vecchia, der auch Leiter des eigenen Forschungszentrums *nanoFLOWCELL DigiLab* in Zürich ist: „Es handelt sich bei der neuen *QUANT e*-Sportlimousine weder um ein Show-Car noch um ein Concept-Car, sondern um das erste mit *nanoFLOWCELL®* ausgestattete Automobil, bei dem alle Elemente auf Homologationsanforderungen ausgelegt sind."

WIE FUNKTIONIERT DIE NANOFLOWCELL®? Die in diesem Fahrzeug zum Einsatz kommende neuartige Batterie, die sogenannte *nanoFLOWCELL®*, basiert nach Unternehmensangaben auf der Flusszellentechnologie. Über ihre Funktionsweise ist im Pressematerial allerdings lediglich ein Absatz zu lesen: „Die nanoFLOWCELL® funktioniert wie eine Mischung aus Batterie und Brennstoffzelle mit flüssigem Elektrolyt, welches in zwei Tanks bewahrt und durch die Zelle befördert wird. Im Kern des Systems steht ein Membransystem, das innerhalb der Zelle die zwei verschiedenen Elektrolytflüssigkeiten trennt und durch den kontrollierten Austausch der Ladungen Energie für den Elektroantrieb freisetzt."

Die daran anknüpfende Auflistung der Vorteile dieser Technik umfasst zwei Absätze und nennt Vorzüge wie beispielsweise „hohe Ladungsdichte", „hohe Leistungsdichte", „kalte Verbrennung" sowie „geringes Gewicht", „unkritische Bestandteile" und „ein sehr guter Wirkungsgrad". Die Dauerleistung wird mit 30 kW angegeben. Weiter heißt es: „Im Vergleich zur gegenwärtigen Lithium-Ionen-Technik gilt der Faktor fünf, gleichbedeutend mit fünffach größerer Reichweite […] bis zu 600 Kilometer." Zudem kursieren Angaben in den Medien, denen zufolge insgesamt vier Elektromotoren für eine Spitzenleistung von 680 kW sorgen. Die Befüllung der Tanks mit frischer, energiereicher Flüssigkeit – teilweise ist die Rede von reinem Salzwasser – soll innerhalb weniger Minuten realisierbar sein. Zusätzliche Energie, auch die Bremsenergie, werde in Supercaps gespeichert, heißt es.

Demgegenüber sind die firmeneigenen Ausführungen über Konzeption und Outfit des *QUANT e* deutlich detaillierter und erstrecken sich über fünf Absätze. Sie sind gespickt mit Attributen wie „elegant", „sportlich" und „außergewöhnlich". Eingebunden ist dies alles in einen äußerst modern designten Internetauftritt, bei dem den User ein spektakuläres Video empfängt, das in eindrucksvoller Weise und mit imposanten Bildern die Vorzüge der neuen Fahrzeugtechnik vermitteln soll.

WER IST NUNZIO LA VECCHIA? Im Mittelpunkt dieser Inszenierung steht – neben dem *QUANT e* – Nunzio La Vecchia, „Physiker und Autodidakt" und „führender Kopf" des Unternehmens, der eher wie ein Musikstar und weniger wie ein Wissenschaftler auftritt. Der 1965 in Brugg geborene Schweizer begann mit seinen ersten energietechnischen Arbeiten im Jahr 1991. 1996 gründete er die JUNO Technology Products AG, die später in die nanoFLOWCELL AG überging. Er gilt als Allroundtalent; ist Physiker, Erfinder, Unternehmer, Patentinhaber, Rennfahrer, Kampfjetpilot, Musiker, Songwriter und Träger eines Doktortitels – alles in einem. 2009 präsentierte er auf dem *Auto-Salon* in Genf den *NLV Quant*, ebenfalls ein E-Sportwagen (512 PS, 500 km Reichweite). Die Energie wurde in diesem Fall allerdings durch eine hauchdünne, fast unsichtbare Dünnfilm-Solarzelle gewonnen, die die gesamte Fahrzeugkarosserie überzog. Diese Zelle sollte ausreichend Strom generieren, um das Rennauto in 5,2 Sekunden von 0 auf 100 Stundenkilometer zu katapultieren (Spitzentempo: 275 km/h). Außerdem sollten – neben dem großzü-

gig dimensionierten Kofferraum – vier Erwachsene Platz finden.

La Vecchia vermittelt durch sein Auftreten den Eindruck, dass bei ihm alles ein bisschen mehr, größer, besser ist. Auf die Frage der Basler Zeitung nach seinem Doktortitel im Jahr 2009 soll La Vecchia entgegnet haben: „Ach, Sie wissen ja, dass Titel käuflich sind. Soll sich doch jeder Doktor nennen, der will. Ich hätte es zwar nicht nötig, aber er macht mir Freude." Zu einem früheren Gerichtsverfahren, bei dem er trotz vorliegender Indizien für arglistige Täuschung in zweiter Instanz vom Vorwurf des Betrugs freigesprochen worden war, äußerte er sich hingegen nicht. Brauchte er auch nicht, denn die Urteilsschrift sagte alles. Dort stand: „Wer als geschäftserfahrener Investor [gemeint war die Klägerin, Anmerk. d. Red.] trotz der sich geradezu aufdrängenden Hinweise auf einen fehlenden Gegenwert einen Kauf vornimmt, ohne entsprechende Abklärungen zu tätigen, wird nicht in arglistiger Art und Weise getäuscht."

DAS RAD DREHT SICH WEITER Trotz derartiger Ungereimtheiten verkündete La Vecchia im Januar 2014, dass sein neues Unternehmen eine Kooperation mit der Bosch Engineering GmbH eingegangen ist. Seitdem nutzt der Gitarrist und Medienprofi den guten Namen des neuen Partners und versucht, Seriosität zu vermitteln. Ziel der Zusammenarbeit ist die „individuelle Systementwicklung" der Bordelektronik bei der Sportlimousine. Gemeint sind damit insbesondere das Kommunikationsbordnetz und das Energiemanagement sowie die Steuerung des Energiespeichers. Auf Nachfrage von *HZwei* nach Details über die Batterietechnik erklärte eine Bosch-Pressesprecherin allerdings: „Die Informationen über die Beschaffenheit der *nanoFLOWCELL®*, also des Energiespeichers, können wir weder bestätigen noch dementieren. Ebenso haben wir die *nanoFOWCELL®* nicht selbst untersucht. Dafür sind wir durch unseren Kunden nicht beauftragt. Wir nutzen die Energie des ‚Puffermediums' im Fahrzeug, um diese Energie mit leistungsstarken und speziell für dieses Fahrzeug entwickelten Elektroniksystemen sicher und effizient auf die Straße zu bringen."

Daraufhin erklärte eine Sprecherin von nanoFLOWCELL gegenüber *HZwei:* „Aktuell gilt unsere gesamte Konzentration der Weiterentwicklung der *nanoFLOWCELL®* und der Homologation der *QUANT e*-Sportlimousine,

Abb. 2: Nunzio La Vecchia weiß sich zu vermarkten. [Quellen: nanoFLOWCELL]

welche wir für 2015 anpeilen." Zu den konkreten Leistungsdaten sagte sie: „Die *QUANT e*-Sportlimousine […] ist ein Forschungsfahrzeug, das, wie der Name schon sagt, kontinuierlich und patentrechtlich natürlich erst einmal intern weiterentwickelt wird, sprich Analysen zu Leistungswerten und Messprotokollen liegen intern vor, werden aber geschützt." Auch Dr. Christian Doetsch, Experte für Redox-Flow-Batterien am Fraunhofer UMSICHT, sagte gegenüber *HZwei:* „Wir haben bisher leider keine belastbaren technischen Angaben gefunden. Daher fehlt uns jegliche Basis, um das auch nur ansatzweise fundiert beurteilen zu können." Weiter sagte er, dass seine „Recherche eher werbewirksame, für Redox-Flow-Batterien aber eher untypische Aussagen geliefert hat".

Auch wenn nach wie vor unklar scheint, was genau hinter dieser neuen Batterietechnik beziehungsweise in diesem neuen Elektroauto steckt, läuft die Marketingmaschinerie von Nunzio La Vecchia stetig weiter. Dazu gehörten auch wieder die Messebesuche des *Auto-Salons* in Genf sowie der *Top Marques Monaco,* einer der weltweit größten Messen exklusiver Luxusautos, bei der auch Fürst Albert II. von Monaco für ein Pressefoto am nanoFLOWCELL-Stand vorbeikam.

Sollten allerdings nicht bald konkrete Leistungsdaten von unabhängiger Seite bestätigt werden, dürfte es selbst für den Medienprofi La Vecchia schwer werden, allmählich aufkeimende Vermutungen, dass sich da jemand einen großen teuren Spaß macht und die Automobilindustrie mal so richtig an der Nase herumführt, zu zerstreuen. ||

„REICHLICH TAMTAM"

Trotz vielfach begeisterter Medienberichte gibt es auch kritische Stimmen über nanoFLOWCELL: Gregor Honsel von Heise war einer der Ersten, der zahlreiche Ankündigungen, die in Verbindung mit dieser Technologie gemacht werden, für zweifelhaft hielt und offen darüber schrieb. In seinem Online-Kommentar erklärte er: „Aktuelle Redox-Flow-Zellen erreichen gerade mal eine Energiedichte von rund 50 Wh/kg. […] Die Werte, die nanoFLOWCELL verspricht, sind mithin eine unglaubliche Ansage. Robin Vanhaelst von der Ostfalia-Hochschule in Wolfsburg, der selber an Redox-Flow-Zellen arbeitet, nennt die Daten ‚absolut utopisch'."

Weiter kritisierte Honsel: „Unabhängige Belege für seine Behauptung liefert nanoFLOWCELL nicht. Sowohl für die Bosch Engineering GmbH, welche im Auftrag von nanoFOWCELL die Autoelektronik entwickelt, als auch für den TÜV Saar, der einen Prototypen des Quant als Erprobungsfahrzeug zugelassen hat, ist die Energiequelle bisher nur als Black Box in Erscheinung getreten. ‚Analysen zu Leistungswerten und Messprotokollen liegen intern vor, werden aber geschützt', schreibt mir die von nanoFLOWCELL beauftragte PR-Agentur. Welches Elektrolyt verwendet werde? Betriebsgeheimnis."

Weiterhin schreibt er über „reichlich Tamtam und große Pläne" und kommt zu dem Schluss: „Die Belege für die Existenz einer Wunder-Flowzelle sind kein bisschen überzeugend."

Thema: Elektromobilität | **Autoren:** Maria Kugler, Steffen Thie, Julia Hackl

AUS- UND WEITERBILDUNG IN DER ELEKTROMOBILITÄT

Serie: Elektromobilität im Schaufenster Bayern-Sachsen

Dass die Elektromobilität in Deutschland nur Erfolg haben wird, wenn zukünftige Ingenieure, Entwickler und Fachkräfte ihr Wissen durch attraktive Angebote erweitern können, ist bereits bundesweit Konsens. Das *Schaufenster Bayern-Sachsen ELEKTROMOBILITÄT VERBINDET* hat das Thema Aus- und Weiterbildung deshalb als eines seiner fünf Kernthemen definiert.

Die Bundesregierung will Deutschland als Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität etablieren. Dazu wurden vier Regionen zu *Schaufenstern Elektromobilität* ernannt. In den insgesamt rund 150 Projekten wird unter anderem zu den Themen Nutzerverhalten, Integration von Elektromobilität in das Energiesystem und neue Mobilitätskonzepte geforscht und erprobt. Besonders das *Schaufenster Bayern-Sachsen ELEKTROMOBILITÄT VERBINDET* hat zahlreiche Projekte unter dem Thema Aus- und Weiterbildung von Fach- und Führungskräften versammelt.

In einem dreigliedrigen Ansatz aus schulischer Bildung, der Ausbildung von Fachkräften im Kfz-Gewerbe und dem akademischen Nachwuchs soll die Leitanbieterschaft vorangetrieben und die regionale Wirtschaft mit hoch qualifiziertem und interessiertem Nachwuchs gestärkt werden. Die Aus- und Weiterbildungsprojekte bilden die Klammer um das gesamte Schaufenster, da die im Schaufenster erzielten Ergebnisse langfristig und auch über die Laufzeit des Schaufensters hinaus in den Angeboten der Handwerkskammern, Innungen, Universitäten und Hochschulen verstetigt werden. So bilden die bayerischen und sächsischen Handwerkskammern gemeinsam mit den Innungen Berater für Elektromobilität aus, die in Unternehmen und Kommunen zum Beispiel als Fuhrparkmanager die Einführung von Elektrofahrzeugen vorantreiben sollen.

Um den akademischen Nachwuchs auf die spannenden neuen Berufsfelder der Elektromobilität vorzubereiten, engagieren sich Universitäten und Hochschulen in einer gemeinsamen bayerisch-sächsischen Bildungsinitiative.

Besuchen Sie uns hier:
21. – 23.10.2014 eCarTec München 2014, Messe München
27. – 29.10.2014 new mobility – Konzepte für die Mobilität von morgen, Messe Leipzig

BILDUNGSINITIATIVE BAYERN-SACHSEN Im Verbundprojekt *Bildungsinitiative „Schaufenster Elektromobilität" Bayern/Sachsen* haben sich die vier Universitäten Technische Universität Chemnitz (TUC), Technische Universität Dresden (TUD), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen (FAU) sowie Technische Universität München (TUM) mit der Technischen Hochschule Ingolstadt (THI) und der Westsächsischen Hochschule Zwickau (WHZ) zusammengeschlossen, um in einem gesamtheitlichen und interdisziplinären Ansatz die Ausbildung in der Elektromobilität zu fördern und zu optimieren.

Das interdisziplinäre universitäre Konsortium erarbeitet dabei Lehrinhalte zu den in der Elektromobilität aufgeworfenen neuen Fragen. Es ist geprägt von der Einheit aus

Abb. 1: Im Verbundprojekt mitwirkende Universitäten und Hochschulen

Forschung und Lehre. Dabei wird in allen Gebieten auf die Spitzenkompetenz gesetzt. Die Universitäten gestalten aus diesen Lehrveranstaltungen Vollzeitstudiengänge sowie Summer Universities und Fortbildungsprogramme. Alle Veranstaltungen werden in modularer Form angeboten und können so in entsprechende Studiengänge integriert werden.

Die Hochschulen Ingolstadt und Zwickau entwickeln einen berufsbegleitenden Master-Studiengang *E-Mobilität* sowie einen berufsbegleitenden Bachelor-Studiengang. Durch diese Bündelung von Kompetenzen sowie die ganzheitliche Durchdringung des (Aus-)Bildungssystems werden mehr und passgenau qualifizierte Ingenieure ausgebildet, wodurch die internationale Wettbewerbsfähigkeit erhöht wird.

Um die Ausbildung im Bereich Elektromobilität universell aufzubauen, wurden folgende wesentliche Schwerpunkte identifiziert:

- Elektrische Maschinen und Antriebe
- Leistungselektronische Systemtechnik im Antriebsstrang
- Halbleiter-Leistungsbauelemente für die Elektromobilität
- Steuerung und Regelung
- Elektromagnetische Verträglichkeit
- Elektrochemie
- Batterie/Bordnetz/Betriebsstrategie
- Brennstoffzelle
- Verkehrsplanung und Verkehrstechnik
- Fahrzeugkonzepte
- Fahrassistenzsysteme
- Sensorik und IT-Systemzuverlässigkeit in der Elektromobilität
- Mess- und Sensortechnik im Elektromobil
- Leichtbau (Karosserie, Material)
- Multifunktionale Leichtbaustrukturen
- Verhaltensforschung Nutzerverhalten und Nutzerbedürfnisse
- Energiewirtschaft

Diese Aspekte wurden zu sechs Themenkomplexen zusammengefasst:

1. Elektrotechnik – Elektrische Maschine, Leistungselektronik, Steuerung und Regelung, Elektromagnetische Verträglichkeit
2. Energiespeicherung
3. Mobilitätskonzepte
4. Kommunikationssysteme
5. Leichtbau
6. Ergänzende interdisziplinäre Themenfelder

20 Lehrstühle und Institute der beteiligten vier Universitäten entwickeln zu diesen Themenfeldern insgesamt 34

verschiedene Lehrveranstaltungen, die im Rahmen von Praktika oder Vorlesungen durchgeführt werden können. Diese Lehrveranstaltungen sind seit spätestens dem Sommersemester 2014 im Lehrangebot der Universitäten enthalten, wo sie auf Basis verschiedener Evaluationen kontinuierlich verbessert und damit sowohl hinsichtlich der tagesaktuellen Forschung als auch der Interessen der Studierenden angepasst werden. Um eine übergreifende Ausbildung zu ermöglichen, spielt hier die Anerkennung von fachlich übereinstimmenden Lehrveranstaltungen untereinander eine wesentliche Rolle, was durch eine intensive Abstimmung gewährleistet werden kann.

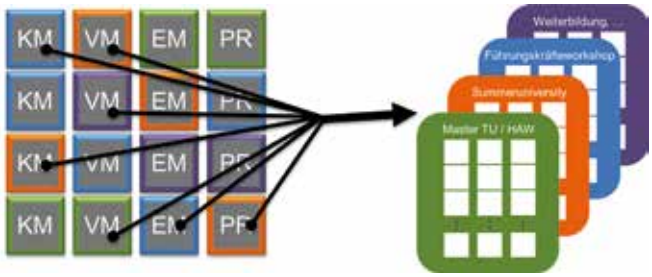


Abb. 2: Kombination von Lehrveranstaltungen – Kernmodule (KM), Vertiefungsmodule (VM), Ergänzungsmodule (EM), Praktika (PR) – zu vielseitigen Lehrangeboten (Quelle: Bildungsinitiative „Schaufenster Elektromobilität" Bayern/Sachsen)

STUDIENGÄNGE FÜR ELEKTROMOBILITÄT Das Institut für Akademische Weiterbildung der THI entwickelt in Kooperation mit der WHZ je einen neuen berufsbegleitenden Bachelor- und einen Master-Studiengang zur Elektromobilität. Die Besonderheit besteht im länderübergreifenden Angebot der Studiengänge an beiden Standorten. Beide Hochschulen können auf umfangreiche Erfahrungen im Automobilbau und der Weiterbildung zurückgreifen. Die ersten Studenten besuchen seit dem Sommersemester 2014 bereits einzelne Module in Form von Zertifikaten. Die Studiengänge befinden sich derzeit im finalen Genehmigungsverfahren.

Der Bachelor-Studiengang richtet sich an beruflich Qualifizierte mit Hochschulzugangsberechtigung aus den Bereichen Fahrzeugelektronik, Kfz-Mechatronik oder verwandten Bereichen. Die Studenten erwerben eine breite Ausbildung in der Elektrotechnik mit Spezialisierung auf elektrifiziert angetriebene Fahrzeuge. Damit leistet das Projekt einen wertvollen Beitrag, um dringend benötigte Fachkräfte für die Herausforderungen der Elektromobilität zu qualifizieren.

Im Master-Studiengang werden Elektrotechnikingenieure angesprochen, die ihre Kenntnisse ausbauen oder vertiefen wollen. Der Studiengang enthält im Vertiefungsteil Wahlmodule, so dass sich die Studenten gemäß ihren individuellen Interessen spezialisieren können. Beide Studiengänge beinhalten außerdem ein Projektmodul, in dem von den Studierenden im Team eine praktische Aufgabenstellung gelöst wird. Durch regelmäßige Evaluationen werden die Studiengänge kontinuierlich verbessert. Darüber hinaus werden im Rahmen des Projekts neue Versuchsstände aufgebaut und praxisnahe Lehrmethoden entwickelt und erprobt. Der nächste Start ist für das Sommersemester 2015 geplant (s. www.thi.de/iaw/bildungsforschung/bildungsinitiative-elektromobilitaet.html).

Um dieses gesamte gesammelte Wissen gezielt einsetzen und kombinieren zu können, ist ein wesentlicher Bestandteil des Verbundprojektes der Aufbau einer Online-Wissensplattform. Auf dieser werden die gesamten erarbeiteten Lehrmodule zunächst den direkt beteiligten, später allen nationalen Bildungseinrichtungen zur Verfügung gestellt. Dies ermöglicht eine Ausweitung der eigenen Lehrangebote um zusätzliche Erkenntnisse aus der nationalen Spitzenforschung, um so den zukünftigen Ingenieuren eine noch breitere Wissensgrundlage sowie Einblicke in weitere Forschungsbereiche zu geben. Diese Plattform bietet damit die Grundlage für ein bundesweit hohes und weiter wachsendes Ausbildungsniveau auf dem Gebiet der Elektromobilität. ||

SCHAUFENSTER BAYERN-SACHSEN

Die Bundesregierung hat im April 2012 vier Regionen in Deutschland als Schaufenster Elektromobilität ausgewählt und fördert hier auf Beschluss des Deutschen Bundestags hin die Forschung und Entwicklung von alternativen Antrieben. Insgesamt stellt der Bund für das Schaufensterprogramm Fördermittel in Höhe von 180 Mio. Đ bereit. In den groß angelegten regionalen Demonstrations- und Pilotvorhaben wird Elektromobilität an der Schnittstelle von Energiesystem, Fahrzeug und Verkehrssystem erprobt.

Im *Schaufenster Bayern-Sachsen* werden unter dem Leitmotto ELEKTROMOBILITÄT VERBINDET rund 40 Projekte mit einem Gesamtvolumen von ca. 130 Mio. Euro und über 100 Partnern realisiert. Die Projekte sind an den Themenkomplexen Elektrofahrzeug, Energiesystem und Verkehrskonzept ausgerichtet und lassen sich in fünf Schwerpunkte unterteilen:

1. Langstreckenmobilität – Schnellladung entlang der Achse A9 München-Leipzig
2. Urbane Mobilität – Mobilitäts- und Ladekonzepte
3. Ländliche Mobilität – Abdeckung der Mobilitätsbedürfnisse in ländlichen Regionen
4. Internationale Verbindungen – Internationale Sichtbarkeit und Langstreckenmobilität in Zusammenarbeit mit Österreich und der Provinz Québec, Kanada
5. Aus- und Weiterbildung – Dreigliedriger Ansatz schulisch, betrieblich und akademisch

Die Bayern Innovativ GmbH und die Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH übernehmen gemeinsam als Projektleitstelle die Koordination des Schaufensters.

→ www.elektromobilitaet-verbindet.de

Autoren:

Maria Kugler
Technische Universität München
→ kugler@ftm.mw.tum.de

Steffen Thie
Schaufenster Bayern-Sachsen
ELEKTROMOBILITÄT VERBINDET
Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH, Dresden
→ steffen.thie@saena.de

Julia Hackl
Technische Hochschule Ingolstadt
→ Julia.Hackl@thi.de

Thema: Elektromobilität | **Autor:** Jörg Welke

HAUPTSTADT UNTER STROM

In Berlin kommt Elektromobilität in Fahrt

Schnell, sauber, leise, effizient. Elektromobilität bietet Lösungen: Umweltpolitisch kann sie helfen, Emissionen zu senken. Für den Verkehr in Großstädten eröffnet sie durch ihre Geräuscharmut neue Perspektiven, und nebenbei macht elektrisch Fahren auch noch Spaß. Damit sich möglichst viele Autofahrer von diesen Vorteilen selber überzeugen können, wurde die *Initiative Berlin-Brandenburg,* bei der 500 E-Fahrzeuge kostengünstig verleast werden sollen, ins Leben gerufen.

In der Hauptstadtregion kümmert sich die *Berliner Agentur für Elektromobilität eMO* um das Thema Elektrofahrzeuge. Die *eMO* ist vom Berliner Senat damit beauftragt, Elektromobilität nach vorn zu bringen. Das macht sie seit 2010 zusammen mit Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft, die sich zu dieser Zukunftstechnologie bekennen, denn Berlin-Brandenburg hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2020 international anerkanntes Vorbild der Elektromobilität zu sein.

Die Region ist in vielen Belangen bereits heute Vorreiter: 1.500 Elektroautos sind hier unterwegs, es gibt mehr als 400 öffentlich zugängliche Ladepunkte und eine enorm hohe Dichte an Forschungseinrichtungen. Schon heute laufen in der Region neben den rund 30 Kernprojekten des *Internationalen Schaufensters Elektromobilität Berlin-Brandenburg* 50 weitere Vorhaben (z. B. Flottenprojekte, Vernetzung mit dem Energiesystem und im Güterverkehr). Viele dieser Projekte sind überaus wichtig für die Weiterentwicklung der Technologie und die Marktvorbereitung, sind allerdings für Bürgerinnen und Bürger nicht immer unmittelbar zu sehen.

LEASING VON 500 E-AUTOS Damit Elektromobilität im Alltag besser sicht- und erlebbar wird, initiierte und koordiniert die eMO das Projekt *InitiativE Berlin-Brandenburg.* Dieses Programm richtet sich an gewerbliche Flotten und soll so

Abb. 1: E-Autos in Fahrzeugflotten können richtig Geld einsparen.

schnell wie möglich bis zu 500 Fahrzeuge auf die Straße bringen. Fast die Hälfte der Mehrkosten (45 Prozent), die für die Anmietung der Elektroautos anfallen, wird vom Bundesumweltministerium über einen Leasinggeber gefördert.

Zusammen mit ihren Partnern richtet sich die eMO mit dieser Initiative an Unternehmen, Institutionen und öffentliche Einrichtungen aus Berlin und Brandenburg, die ihre Flotte elektrifizieren wollen. Aber auch Privatleute können von der Leasing-Förderung profitieren. Deren Vorteil ist, dass Kunden nicht Projektpartner werden müssen, sondern wie üblich die Fahrzeuge leasen können, damit sie automatisch in den Genuss der Förderung kommen.

Wie eine jüngste Umfrage von e.on gezeigt hat, müssen die Kunden nicht erst von den Vorteilen von Elektroautos überzeugt werden: 61 Prozent der Deutschen würden ohnehin gern mit einem Elektroauto zur Arbeit fahren. Ein Pferdefuß sind allerdings häufig noch die hohen Kosten. Mit dem geförderten Leasing verringern sich diese allerdings erheblich, insbesondere beim Einsatz in Flotten, denn je mehr Elektroautos bewegt werden, desto günstiger wirkt sich das bei den Betriebskosten auf den Vergleich mit Verbrennern aus. Wenn dann noch der Imagegewinn für grüne Mobilität einberechnet wird, bleibt am Ende nur noch die Frage: Warum sollte denn beim nächsten Wagen KEIN Elektroauto genommen werden?

Selbst die berühmt-berüchtigte Reichweitenangst kann sich im Flottenbetrieb in Luft auflösen: Unternehmen, die Fahrzeuge im städtischen Bereich einsetzen, können die täglichen Fahrten und die Standzeiten, in denen geladen werden kann, meist sehr gut vorausplanen und so eine optimale Auslastung der Fahrzeuge im Rahmen der entsprechenden Reichweite erzielen. ||

Damit die Umweltauswirkungen für die Region und die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes der Elektrofahrzeuge aus Sicht der teilnehmenden Unternehmen wissenschaftlich festgehalten werden können, untersucht das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) als wissenschaftlicher Projektpartner den Einsatz der Fahrzeuge.

→ www.emo-berlin.de/de/initiative/

Autor:

Jörg Welke
Berliner Agentur für Elektromobilität eMO
→ Joerg.Welke@emo-berlin.de

EMoG STÖSST AUF KRITIK

Quelle: © Wolfgang Weber - Fotolia.com

Die Pläne von Bundesverkehrsminister Alexander Dobrindt zur Förderung der Elektromobilität nehmen allmählich Gestalt an, allerdings sind bei weitem noch nicht alle mit seinen Vorschlägen einverstanden. Gemäß Dobrindts aktuellem Vorschlag für ein Elektromobilitätsgesetz *(EMoG)* soll es zukünftig Kommunen ermöglicht werden, Busspuren für Elektroautos (rein batteriebetriebene sowie Hybrid- und Brennstoffzellenautos) freizugeben. Außerdem sollen Parkplätze an Ladesäulen für Elektroautos reserviert und kostenlose Parkplätze angeboten werden. Der Verkehrsminister verständigte sich im Sommer 2014 mit seiner Kollegin, Bundesumweltministerin Barbara Hendricks, darauf, dass ein entsprechendes Gesetz am 1. Februar 2015 in Kraft tritt. Unter anderem soll dann bei Elektrofahrzeugen ein „E“ im polizeilichen Autokennzeichen ergänzt werden.

Umgehend nach dem Bekanntwerden des Gesetzentwurfes wurden allerdings zahlreiche Stimmen laut, die Nachbesserungsbedarf anmeldeten. Der *Bundesverband eMobilität (BEM)* begrüßt zwar grundsätzlich die formulierten Anreize, bezeichnet sie aber als „insgesamt nicht ausreichend und zu wenig ambitioniert“. Konkret heißt es in einem BEM-Papier: „Die Öffnung der Busspuren für Elektrofahrzeuge lehnen wir ab, da dies zu Lasten des öffentlichen Personennahverkehrs erfolgen würde.“ Auch Vertreter mehrerer großer deutscher Städte gaben zu bedenken, dass Busspuren überlastet würden, weshalb sie von ihrer Freigabe keinen Gebrauch machen werden. Weiter heißt es, die Kriterien für die Inanspruchnahme der Vergünstigungen seien zu lasch, so dass auch Hybridautos mit großem Verbrennungsmotor bevorteilt würden.

Willi Diez, Professor für Automobilwirtschaft an der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt in Nürtingen-Geislingen, erklärte der *Heidenheimer Zeitung:* „Der Gesetzentwurf ist sicher nicht ausreichend. […] Die Regelung mit den Busspuren halte ich für problematisch. Was ist, wenn wir wirklich einmal viele Elektrofahrzeuge auf der Straße haben? Dann blockieren diese die Busspur und man muss die Regelung wieder zurücknehmen.“ Er empfahl stattdessen, den Blick nach Norwegen zu richten: „Dort sind Elektroautos echte Verkaufsschlager. Die Förderung besteht in Norwegen aus einer Kombination von finanziellen Anreizen und Benutzervorteilen. So müssen Elektroautos zum Beispiel keine City Maut bezahlen. Auch für die Anschaffung von Elektroautos gibt es finanzielle Anreize.“ ||

E-world energy & water

MESSE
NETWORKING
KONGRESS
FACHFOREN

EUROPAS FÜHRENDE ENERGIEFACHMESSE

E-WORLD ENERGY & WATER
10. - 12.2.2015
ESSEN, GERMANY

www.e-world-essen.com

MESSE ESSEN Place of Events

con energy

Thema: Elektromobilität | **Autor:** Sven Geitmann

ANBRUCH EINER NEUEN ÄRAL

Formel E in China gestartet

Quelle: Fia Formula E

Am 13. September 2014 ging es endlich los: Die *Formel E,* das vollelektrische internationale Autorennen, feierte seine Premiere in Beijing, China. Innerhalb eines Tages absolvierten die insgesamt 20 Fahrer zwei Trainingssessions, ein vierteiliges Qualifying sowie das 60-minütige Rennen. Die große Bedeutung dieser neuen Rennserie wird spätestens bei der Durchsicht der Starterliste deutlich. Die insgesamt zehn Teams konnten zahlreiche prominente Piloten aus der *Formel 1* verpflichten.

Nicolas Prost, der Sohn des viermaligen F1-Weltmeisters Alain Prost, fährt für *e.dams-Renault,* Nelson Piquet Jr., der Filius des dreimaligen F1-Weltmeisters Nelson Piquet, startet für *China Racing* und Bruno Senna, Neffe des dreimaligen F1-Weltmeisters Ayrton Senna, für *Mahindra Racing.* Weitere Fahrer sind Nick Heidfeld *(Venturi)*, Jarno Trulli *(Trulli)* sowie Lucas di Grassi *(Audi Sport ABT)* – und auch zwei Rennfahrerinnen sind mit dabei. Allerdings waren im Vorfeld nicht alle Fahrer restlos begeistert von den Elektrorennwagen: Nelson Piquet jr. bezeichnete die *Formel 1* als „viel aufregender" und sagte: „Da ich aber keinen vollen Kalender, sondern gerade Zeit dafür habe, habe ich die Einladung angenommen." Demgegenüber erklärte Alain Prost, Miteigner von *e.dams-Renault:* „Die Herausforderung ist riesig, da es sich um eine völlig neue Rennserie handelt, sowohl was die Technik, als auch den Rennablauf betrifft. Das ist äußerst aufregend."

Allen Fahrern stehen bei der *Formel E* jeweils zwei Exemplare des *Spark-Renault SRT_01E* zur Verfügung, so dass immer ein Auto aufgeladen werden kann. Statt Reifenwechsel gibt es Fahrzeugwechsel. Die Antriebstechnik für diese Rennwagen kommt von britischen Formel-1-Profis: McLaren steuert den Motor und Williams den Akku bei. Ziel eines jeden *ePrix* ist, so viele Kilometer wie möglich zurückzulegen. Wer nach einer Stunde die längste Renndistanz gefahren hat, gewinnt. Als Safety Car fungierte ein BMW *i8.* Der Strom für die Akkuaufladung wird nachhaltig aus Algen gewonnen.

Grundlegende Unterschiede zur *Formel 1* sind die Geräuschkulisse (80 anstelle von 130 Dezibel) und die Eintrittsgebühren: Die *Formel-E*-Rennen sind für die Besucher kostenlos. Am 30. Mai 2015 kommen die Elektroboliden auch nach Deutschland. Dann werden sie vor den Augen von schätzungsweise 30.000 Besuchern mit 220 Stundenkilometern über das Tempelhofer Feld sausen. Das zehnte und letzte Rennen der ersten Saison findet am 27. Juni 2015 in London statt. ||

Hier entstehen neue Produkte.

25.–28.11.2014, Frankfurt am Main, Messegelände.
Besuchen Sie uns: **www.euromold.com**

Eine Messe der DEMAT GmbH

Highlights 2014

Additive Fertigung und Werkzeugbau

3D-Druck

Leichtbau-Konstruktionen und Formenbau, Thermoformen, Rotationsformen

Design & Engineering mit CAE-Forum (Simulation und Bauteilberechnung)

euromold.

Weltmesse für Werkzeug- und Formenbau, Design und Produktentwicklung.

Von der Idee bis zur Serie

TERMINKALENDER

OKTOBER

25.09.-02.10. IAA Nfz
Messe, Hannover, Verband der Automobilindustrie,
Tel. 069-97507-0, Fax -261,
www.iaa.de

31.09.-01.10. gat & wat
Tagung, Karlsruhe, DVGW,
Tel. 0228-9188-611, Fax -990,
www.gat-dvgw.de

01.10. Komplexsystem Windenergie-Wasserelektrolyse
Workshop, Falkenhagen, FEE e.V.,
Tel. 030-6576270-6, Fax -8,
www.fee-ev.de

06.-08.10. f-cell & Battery+Storage & e-mobil BW conference
Kongress & Messe, Stuttgart, Peter Sauber Agentur Messe & Kongresse,
Tel. 0711-656960-52, Fax -99,
www.world-of-energy-solutions.de

09.-12.10. RENEXPO
Kongress & Messe, Augsburg, Reeco GmbH, Tel. 07121-3016-0, Fax -100,
www.renexpo.de

21.-23.10. eCarTec
Kongress & Messe, München, Munich-Expo, Tel. 089-3229911-2, Fax -9,
www.ecartec.de

21.-23.10. Elektromobilität
Seminar, Ulm, WBZU,
Tel. 0731-17589-21, Fax -10,
www.wbzu.de

27.-29.10. new mobility
Messe & Kongress, Leipzig, Leipziger Messe GmbH, Tel. 0341-678-0, Fax -8762,
www.new-mobility-leipzig.de

NOVEMBER

05.-07.11. Lithium-Ionen-Batterie-technologie
Seminar, Ulm, WBZU,
Tel. 0731-17589-21, Fax -10,
www.wbzu.de

06.-07.11. Sicherheit von Batterien
Seminar, München, Haus der Technik,
Tel. 0201-1803-211, Fax -280,
www.hdt-essen.de

06.-08.11. Nutzung erneuerbarer Energiequellen & Wasserstofftechnik
Symposium, Stralsund, FH Stralsund,
Tel. 03831-45-6713, Fax -711713,
www.fh-stralsund.de

10.-13.11. Fuel Cell Seminar & Energy Exposition
Konferenz & Messe, Los Angeles/USA, Headquarter, Tel. +1-803-54501-89, Fax -90, *www.fuelcellseminar.com*

11.-12.11. Wasserstoff in speziellen mobilen Einsätzen
Workshop, Ostfildern, TAE,
Tel. 0711-34008-29, Fax -30,
www.tae.de

11.-12.11. Lithium Battery Power
Konferenz, Washington DC/USA,
The Knowledge Foundation,
Tel. +1-617-232-7400, Fax -9171,
www.knowledgefoundation.com

11.-14.11. Challenge Bibendum
Wettfahrt, Chengdu/China,
Challenge Bibendum,
www.challengebibendum.com

12.11. Ecomobil
Messe & Konferenz, Offenburg, Messe Offenburg, Tel. 0781-9226-91, Fax -77,
www.ecomobil-kongress.de

13.11. Speicherkonzepte für elektrische Energie
Seminar, Ulm, WBZU, Tel. 0731-17589-21, Fax -10, *www.wbzu.de*

13.-14.11. Battery Safety
Konferenz, Washington DC/USA,
The Knowledge Foundation,
Tel. +1-617-232-7400, Fax -9171,
www.knowledgefoundation.com

20.11. Jahrestreffen Netzwerk Brennstoffzelle & Wasserstoff NRW
Kongress, Düsseldorf, Energieregion NRW, Tel. 0211-86642-16, Fax -22,
www.brennstoffzelle-nrw.de

25.11. Brennstoffzellen- und Wasserstoff-Technologie
Seminar, Ulm, WBZU,
Tel. 0731-17589-21, Fax -10,
www.wbzu.de

25.-28.11. EuroMold
Messe, Frankfurt/M., Demat,
Tel: 069 / 27 40 03 - 0, Fax -40,
www.euromold.com

27.11. Kompetenztreffen Elektromobilität NRW
Kongress, Essen, Energieregion NRW,
Tel. 0211-86642-16, Fax -22,
www.elektromobilitaet.nrw.de

27.-28.11. Forum Solarpraxis
Konferenz, Berlin, Solarpraxis,
Tel. 030-726296-305, *www.solarpraxis.de*

27.-29.11. Renexpo Austria
Konferenz & Messe, Salzburg/Österreich, Reeco GmbH,
Tel. 07121-3016-0, Fax -100,
www.renexpo-austria.at

DEZEMBER

01.12. Chemische Wasserstoff-speicherung
Workshop, Erlangen, FEE e.V.,
Tel. 030-6576270-6, Fax -8,
www.fee-ev.de

01.12. Lithium-Ionen-Batterien für mobile & stationäre Anwendungen
Workshop, Ostfildern, TAE,
Tel. 0711-34008-23, Fax -43,
www.tae.de

01.-02.12. Reaktionen von Wasserstoff mit Metallen
Seminar, Essen, Haus der Technik,
Tel. 0201-1803-211, Fax -280,
www.hdt-essen.de

02.-05.12. European Electric Vehicles Congress
Konferenz, Brüssel/Belgien,
Electri-city.mobi, Tel. +32-477-3648-16,
www.eevc.eu

04.-06.12. Integration of Renewable Energy Resources
Kongress, Berlin, OTTI,
Tel. 0941-29688-37, Fax -17,
www.otti.de

JANUAR

19.-20.01. Kraftstoffe der Zukunft
Kongress, Berlin, BBE & UFOP,
Tel. 0228-81002-22, Fax -58,
www.kraftstoffe-der-zukunft.com

27.-29.01. enertec & terratec
Messe, Leipzig, Leipziger Messe GmbH, Tel. 0341-678829-3, Fax -2,
www.enertec-leipzig.de

FEBRUAR

04.02. CAR-Symposium
Konferenz, Bochum,
Center Automotive Research,
Tel. 0203-379-1111, Fax -4157,
www.car-symposium.de

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

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

FIRMENVERZEICHNIS

BERATUNG & PLANUNG

www.expertology.de, Ihre Expertendatenbank zu den Themen Wasserstoff- und Brennstoffzellen, Batterietechnologien und Elektromobilität

H2Gate, Katharinenstr. 30a, 20457 Hamburg,
Tel. 040-43218899, *www.h2gate.de*

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

BETANKUNGSTECHNIK

WEH GmbH Gas Technology, Josef-Henle-Str. 1,
89257 Illertissen, Tel. 07303-95190-0, Fax -9999,
h2sales@weh.com, www.weh.com

Wenger Engineering GmbH, Ingenieurbüro für Thermodynamik, CFD-Simulation & H_2-Technik, Einsteinstr. 55,
89077 Ulm, Tel. 0731-15937-500, Fax -501,
mail@wenger-engineering.de, www.wenger-engineering.com

BRENNSTOFF- UND LUFTVERSORGUNG

Gardner Denver Thomas, OEM Pumpen zur Förderung von Brennstoff und Luft, speziell entwickelte Linearkompressoren, Flüssigkeitspumpen und Motormembranpumpen,
www.gd-thomas.com

BRENNSTOFFZELLEN

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

Heliocentris Industry GmbH,
Tel. 030-340601-500, Fax -599,
sales@heliocentris.com, www.heliocentris.com

Hydrogenics GmbH,
Am Wiesenbusch 2, 45966 Gladbeck, Tel. 02043-944 141, Fax -6,
powersales@hydrogenics.com, www.hydrogenics.com

Siqens GmbH,
Landsbergerstraße 322a, 80687 München,
Tel. 089 4524463-0,
info@siqens.de, www.siqens.de

Truma Gerätetechnik GmbH & Co. KG,
Wernher-von-Braun-Straße 12, 85640 Putzbrunn,
Tel: 089-4617-0,
info@truma.com, www.truma.com

udomi GmbH - competence in fuel cell systems, Hochfeldstr. 8,
74632 Neuenstein, Tel. 07942-942089-1, Fax -8, *www.udomi.de*

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

Heliocentris Industry GmbH,
Tel. 030-340601-500, Fax -599,
sales@heliocentris.com, www.heliocentris.com

H-TEC SYSTEMS GmbH,
PEM-Elektrolyseure für industrielle Anwendungen,
Lindenstr. 48 A, 23558 Lübeck,
Tel. 0451-39941-0, Fax -799,
info@h-tec-systems.com, www.h-tec.com

Hydrogenics GmbH,
Am Wiesenbusch 2, 45966 Gladbeck, Tel. 02043-944 141, Fax -6,
hydrogensales@hydrogenics.com, www.hydrogenics.com

McPhy Energy Deutschland GmbH,
Oberer Mainkai 1, 97070 Würzburg,
Tel. 0931-35987-244,
www.mcphy.com

ENERGIESPEICHERUNG

BeBa H_2 Speichersysteme GmbH & Co. KG,
Werner-von-Siemens-Str. 6, 25770 Hemmingstedt,
Tel. 0481-82866-0, Fax -109, *www.beba-energie.de*

MicrobEnergy GmbH,
Spezialist für biologische Methanisierung,
Bayernwerk 8, 92421 Schwandorf,
Tel. 09431-751-400, Fax -5400,
info@microbenergy.com, www.microbenergy.com

FORSCHUNG & ENTWICKLUNG

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

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

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

Fraunhofer ICT-IMM,
Reformer und Wärmetauscher,
Carl-Zeiss-Str. 18-20, 55129 Mainz, Tel. 06131-9900,
info@imm.fraunhofer.de, www.imm.fraunhofer.de

Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH, Max-Planck-Str. 1, 21502 Geesthacht, Tel. 04152-87-2541, Fax -2636, *www.hzg.de*

ODB-Tec GmbH & Co.KG, Entwicklungs- & Servicegesellschaft Nanotechnologie, Bussardweg 12, 41468 Neuss,
Tel. 02131-133240-6, Fax -5, *www.odb-tec.de*

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

MESSDATENMANAGEMENT UND MONITORING

SMART Testsolutions GmbH,
Rötestraße 17, 70197 Stuttgart,
Tel. 0711-25521-10, Fax -12,
www.smart-testsolutions.de,
sales@smart-ts.de

Werum Software & Systems CIS AG,
Wulf-Werum-Straße 3, 21337 Lüneburg,
Tel. 04131-8307-0, Fax -200,
info@werum.de, www.werum.de

MESS- UND REGELUNGSTECHNIK

Labom Mess- und Regeltechnik GmbH,
Im Gewerbepark 13, 27798 Hude, Tel. 04408-804-0, Fax -100,
info@labom.com, www.labom.com organisation

NOW GmbH,
Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, Fasanenstrasse 5,
10623 Berlin, Tel. 030-3116116-43, Fax -77,
www.now-gmbh.de

PRÜFTECHNIK

Maximator GmbH,
Hochdrucktechnik, Lange Straße 6, 99734 Nordhausen,
Tel. 03631-9533-0, Fax -5010, *info@maximator.de*

TesTneT Engineering GmbH,
Schleißheimer Str. 95,
85748 Garching bei München,
Tel. 089-23710939,
infoh2-test.net, www.h2-test.net

SPEICHERTECHNIK

Ballonbau Wörner GmbH, flexible Gasspeicher,
Zirbelstraße 57 c, 86154 Augsburg,
Tel. 0821-4-50406-0, Fax: -19641,
info@ballonbau.de, www.ballonbau.de

McPhy Energy Deutschland GmbH,
Oberer Mainkai 1, 97070 Würzburg,
Tel. 0931-35987-244, *www.mcphy.com*

SYSTEMINTEGRATION

McPhy Energy Deutschland GmbH,
Oberer Mainkai 1, 97070 Würzburg,
Tel. 0931-35987-244, *www.mcphy.com*

TECHNOLOGIEZENTREN

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

H2Herten, Wasserstoff-Kompetenz-Zentrum
Doncaster-Platz 5, 45699 Herten
d.kwapis@herten.de, www.wasserstoffstadt-herten.de

FIRMEN-EINTRAG

Bitte nehmen Sie uns in das HZwei-Firmenverzeichnis auf. Dieser Auftrag gilt für 4 Ausgaben und kostet pro Rubrik 120 € (zzgl. MwSt.) inklusive HZwei-Abo *(max. 150 Zeichen)*. Ein Premium-Eintrag mit Logo kostet zusätzlich 100 € pro Ausgabe.

Firma

Adresse

Tel., Fax, Internet

Rubrik:

- ☐ **Beratung**
- ☐ **Brennstoffzellen**
- ☐ **Elektrolyseure**
- ☐ **Forschung & Entwicklung**
- ☐ **Medien**
- ☐ **Organisation**
- ☐ **Speichertechnik**
- ☐ **Technologiezentren**
- ☐ **Veranstalter**
- ☐ **Vereine & Verbände**
- ☐ **Weiterbildung**
- ☐ **Zulieferer**

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

Partner bei HyCologne,
Zugang zu H_2-Projekten,
H_2-Tankstelle,
H_2-Infrastruktur,
Büros, Gründersupport, Sekretariats- & Konferenzservice,
Tel. 02233-406100, *www.start-huerth.com, h2@start-huerth.com*

VERANSTALTER

European Fuel Cell Forum,
Obgardihalde 2, 6043 Luzern-Adligenswil, Schweiz,
Tel. +41-4-45865644, Fax 35080622,
forum@efcf.com, www.efcf.com

21th Group Exhibit Hydrogen + Fuel Cells + Batteries
HANNOVER MESSE 2015, 13.-17. April, Tobias Renz FAIR
Tobias Renz, *tobias@h2fc-fair.com, www.h2fc-fair.com*

Hamburg Messe und Congress GmbH,
Messeplatz 1,
20357 Hamburg,
Tel. 040-3569-2262,
Fax -692262,
www.hamburg-messe.de

Peter Sauber Agentur Messen und Kongresse GmbH,
Wankelstraße 1, 70563 Stuttgart,
Tel. 0711-656960-50, Fax -99,
www.f-cell.de

VEREINE & VERBÄNDE

Deutscher Wasserstoff- & Brennstoffzellen-Verband e.V.,
Tietzenweg 85/87, 12203 Berlin,
Tel. 030-398209946-0, Fax -9,
www.dwv-info.de

FEE – Fördergesellschaft Erneuerbare Energien e.V.,
Invalidenstr. 91, 10115 Berlin,
Tel. 030-84710697-0, Fax -9,
info@fee-ev.de, www.fee-ev.de

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

H2BZ-Initiative Hessen e.V.,
Konradinerallee 9, 65189 Wiesbaden,
Tel. 0611-95017-8959,
info@h2bz-hessen.de, www.h2bz-hessen.de

h2-netzwerk-ruhr,
Doncaster-Platz 5, 45699 Herten,
info@h2-netzwerk-ruhr.de,
www.h2-netzwerk-ruhr.de

HyCologne – Wasserstoff Region Rheinland e. V.,
Goldenbergstr. 1, 50354 Hürth,
Tel. 02233-406123,
www.hycologne.de

WEITERBILDUNG

H-TEC EDUCATION GmbH,
Demonstration & Ausbildung für Schulen, Universitäten,
Lindenstr. 48 A, 23558 Lübeck, Tel. 0451-39941-0, Fax -799,
info@h-tec-education.com, www.h-tec.com

Handwerkskammer Osnabrück-Emsland-Grafschaft Bentheim, Bramscher Str. 134-136, 49088 Osnabrück,
Tel. 0541-6929762, Fax -4091381,
a.lange@hwk-osnabrueck.de, www.hwk-osnabrueck.de

Heliocentris Academia GmbH,
Tel. 030-340601-600, Fax -599,
didactic@heliocentris.com, www.heliocentris.com

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

ZULIEFERER

Borit NV, Bipolarplatten und Interconnects,
Lammerdries 18d, 2440 Geel, Belgien,
Büro Deutschland: Tel. 08171-3650039,
joachim.kroemer@borit.be, www.borit.be

Bürkert Werke GmbH
Magnetventile,
Mass Flow Controllers,
Fluidtechnische Systemlösungen,
Christian-Bürkert-Str. 13-17, 74653 Ingelfingen,
Tel.: 07940-10-0, Fax: -91204, *www.burkert.com*

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

Eisenhuth GmbH & Co. KG,
Friedrich-Ebert-Str. 203, 37520 Osterode am Harz,
Tel. 05522-9067-14, Fax -44,
www.eisenhuth.de

EPH elektronik Produktions- & Handelsgesellschaft mbH,
Rudolf-Diesel-Str. 18, 74354 Ottmarsheim,
Tel. 07143-8152-0, Fax -50,
www.eph-elektronik.de, www.g-e-o-s.de

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

Heraeus Precious Metals GmbH & Co. KG,
Electronic Materials Division, Business Unit Circuits & Components, Heraeusstr. 12-14, 63450 Hanau, Tel. 06181-35-5466, Fax -7850, *www.heraeus-circuits-components.com*

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

Berlin macht's vor – Machen Sie mit

Die Hauptstadt als Vorbild für Elektromobilität:

- Pendler fahren mit dem eBike nach Berlin zur Arbeit.
- Carsharing boomt – und wird immer mehr elektrisch.
- Ein 40-Tonnen-Elektro-Lkw beliefert flüsterleise Warenhäuser in der Innenstadt.
- Die Zuverlässigkeit von Elektrofahrzeugen wird im Dauereinsatz in sozialen Einrichtungen unter Beweis gestellt.

Sie sind Unternehmer und wollen ein Zeichen für Nachhaltigkeit setzen? Bis zu 500 eFahrzeuge werden vom BMUB für gewerbliche Flotten in Berlin-Brandenburg gefördert. Für weitere Informationen kontaktieren Sie die Berliner Agentur für Elektromobilität eMO.

www.emo-berlin.de

Berlin elektrisiert
Berliner Agentur für Elektromobilität

eMO be Berlin