

DAS MAGAZIN FÜR WASSERSTOFF- UND
BRENNSTOFFZELLEN

HZwei

→ WIRTSCHAFTLICHER EINSATZ VON WASSERSTOFF IN DER STAHLINDUSTRIE

→ BIPOLARPLATTEN: KERNELEMENTE MODERNER BRENNSTOFFZELLEN-STACKS



9 771862 393005

07018

Stuttgart
18.+19.
September
2018



Marktplatz

Der Messebereich ist Dreh- und Angelpunkt der f-cell - schauen Sie sich unsere Pakete online an!



Konferenz

Impuls- und Ländervorträge im Plenum, ausgewählte Fokusthemen in den Sessions.



Thematische

Diskutieren Sie Ihre speziellen BZ- und H2-Themen.



Tickets

1 Ticket - alles inklusive!
(2 Tage / 1 Person)
980,- €



f-cell ist unser klares Bekenntnis zum Wasserstoff- und BZ-Sektor - mit einem neuen Konzept, welches nach intensiver Industrie- und Marktrecherche entwickelt wurde. Weniger einseitige Vorträge und mehr Unterstützung der Teilnehmer bei der Generierung neuer Kontakte und der Pflege/ Ausweitung bestehender!

f-cell

Das Impulstreffen für Wasserstoff und Brennstoffzellen

Sind sie dabei? Haben Sie noch Fragen oder möchten f-cell als Ihre Leitveranstaltung nutzen?
Silke Frank und Julia Krägeloh wissen alles über f-cell.
Telefon +49 711 656960-55 | silke.frank@messe-sauber.de
Telefon +49 711 656960-56 | julia.kraegeloh@messe-sauber.de

Achtung Übernachtung!

Stuttgart ist aufgrund anderer Messen im September schon ziemlich ausgebucht. Buchen Sie schnell Ihr Hotelzimmer:
hotels@stuttgart-tourist.de | +49 711 2228-100
Online-Link auf f-cell.de | Passwort f-cell2018

Eine Marke von:

**PETER SAUBER
AGENTUR**
Messen und Kongresse GmbH

impulse • together • excellent

f-cell.de

INHALTSVERZEICHNIS

3 Impressum

4 Editorial

5 Meldungen

Tillmetz geht in den Ruhestand
 Neues H-Tec-Tandem
 GreenTec Award ehrt Nico Rosberg
 PtG-Betrieb wieder aufgenommen
 Japanischer Elektrolyseur für h2herten
 Disruption des Energie- und Transportsektors

9 Messen

H₂- und BZ-Branche zeigt sich zuversichtlich
 f-cell schaut nach Norwegen

14 Hausenergie

Sektorenkopplung im Neubaugebiet
 Massive Förderung von BZ-Heizgeräten
 Energieautarke Wohnhäuser

19 Energiespeicherung

Interview: H₂-Speicherung in Ammoniak-Kartuschen
 Erlangen – die LOHC-Hochburg
 H₂ statt CH₄ im Kraftwerk

26 Elektromobilität

Wohin steuert die Automobilindustrie?
 Hat H2 Mobility alles im Griff?
 Elektro-Kleinwagen für 10.000 Euro
 Brennstoffzelle kommt sicherlich nach 2025
 Kosteneffiziente Produktion von BZ-Systemen

34 Entwicklung

Stahlerzeugung mit grünem Wasserstoff
 GrInHy testet RSOC-Anlage in Salzgitter
 Die tragende Funktion von Bipolarplatten

41 Produktmeldungen

42 Aktienanalyse

45 International

BIG HIT auf den Orkney-Inseln eröffnet
 H21 – Leeds probt den Wechsel auf H₂
 Kanada ist die Benchmark für die Industrie
 Erhöhung der Effizienz von H₂-Tankstellen

54 Terminkalender

55 Firmenverzeichnis



Quelle: Umwelt Arena

16 Energieautarkes Mehrfamilienhaus in der Schweiz



Quelle: Aaqius/Dubai South

20 Interview mit Aaqius über deren Stor-H-Speicherkonzept



Quelle: Framatome

24 LOHC etabliert sich – HySA-Anlage, Johannesburg, Südafrika

IMPRESSUM HZwei

HZwei
DAS MAGAZIN FÜR WASSERSTOFF UND
 BRENNSTOFFZELLEN

ISSN: 1862-393X
Jahrgang: 18. (2018) / Heft 3, Juli 2018

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

USTID.: DE 221143829

VisDP: Dipl.-Ing. Sven Geitmann
Tel./Fax: +49 (0)330955 - 21322/20
E-Mail: kontakt@hydrogeit.de
Internet: www.hydrogeit-verlag.de, www.hzwei.info
Redaktion, Mitarbeit: Sven Geitmann, Alexandra Huss, Niels Hendrik Petersen, Sven Jösting, Robert Rose

Design: Dipl.-Des. Andreas Wolter, Weimar
Satz: Dipl.-Des. Robert Müller, Bertin

**Anzeigen-
 Lektorat:** Kirsten Laasner Projektmanagement, Bad Segeberg
 Dione Gutzmer, Berlin

Druck: Printec Offset – medienhaus, Kassel
 PEFC-zertifiziertes Papier

Druckauflage: 4.500 Stück (plus 20.000 Downloads/Jahr)
Erscheinungsweise: 4 x jährlich

Einzelpreis (Inland): 8,00 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 2,00 € Versand)
Jahrespreis (Inland): 30,00 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 7,00 € Versand)
Einzelpreis (Europa): 8,00 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 4,00 € Versand)
Jahrespreis (Europa): 30,00 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 16,00 € Versand)

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

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.

H₂HYDROGEIT
 Verlag
 Alle technischen Angaben in dieser Zeitschrift wurden von den Autoren, der Redaktion und dem Verlag mit größter Sorgfalt erarbeitet und zusammengestellt. Trotzdem sind Fehler nicht vollständig auszuschließen. Der Hydrogeit Verlag weist ausdrücklich darauf hin, dass er keine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen kann.

Titelbild: Hochofen im Stahlwerk (Quelle: Adobe Stock)

WO LIEGT DIE ZUKUNFT?

Liebe Leserinnen und Leser!

In Gesprächen über den aktuellen Stand der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie kamen die Diskussionspartner bislang meistens als Erstes auf den Mobilitätssektor und auf die Fortschritte beziehungsweise Versäumnisse der Automobilindustrie (s. S. 26 u. 31) zu sprechen. Seit mehreren Monaten rücken jedoch zunehmend andere Bereiche in den Fokus.

Nein, nicht die stationären Anwendungen. Die sind – ähnlich wie die Brennstoffzellen-Pkw – immer noch nicht so recht auf dem Markt angekommen, weder die BZ-Heizgeräte (s. S. 14) noch die BZ-Kraftwerke (s. S. 19). Zumal beide vornehmlich Erdgas, also nach wie vor einen fossilen Energieträger, einsetzen.

Deutlich mehr Bewegung ist seit einigen Jahren bei den Elektrolyseuren zu verzeichnen. Seit Wasserstoff branchenübergreifend als geeignetes Medium zur Speicherung von Strom aus erneuerbaren Energien angesehen wird, seit also landauf, landab über Sektorenkopplung und Power-to-Gas diskutiert wird, haben deren Hersteller einen regen Zulauf (s. Bericht zur Hannover Messe S. 9).

Am meisten tut sich derzeit aber im Schienen- und Nutzfahrzeugbereich: Bei den Lkw macht insbesondere Nikola von sich reden, dieses Mal mit handfesten Großaufträgen (s. S. 53). Zudem wird sich Anfang 2019 entscheiden, ob Schleswig-Holstein tatsächlich eine Vorreiterrolle einnehmen und wasserstoffbetriebene Züge quer durchs Land fahren lassen wird. Zum Jahreswechsel läuft die Ausschreibungsfrist für den Betrieb mehrerer Streckenabschnitte aus. Dann wird sich zeigen, ob Brennstoffzellen gegen Diesel-Hybridsysteme und batteriebetriebene Loks auch wirtschaftlich konkurrieren können. Mehr dazu lesen Sie im Oktober-Heft.

Richtig viel los ist momentan auch in zwei eigentlich ganz konservativen Wirtschaftszweigen: in der Stahlindustrie und bei den Raffinerien. Hier geht es zwar erst einmal nur um den Betrieb von Demonstrationsanlagen (s. S. 36), aber parallel zu deren Aufbau laufen seit geraumer Zeit intensive Gespräche zwischen Politik, Wirtschaft und Verbänden. Es werden Studien angefertigt (s. S. 34) und Werke besichtigt (s. S. 7), um Potentiale auszuloten und strikteren Umweltauflagen Genüge zu tun.

Fest steht, dass in diesen Bereichen ungeheuerlich viel Wasserstoff eingesetzt werden könnte. Wenn das dort benötigte H_2 -Gas gänzlich nachhaltig produziert würde, brächte dies nicht nur wesentlich die Energiewende voran, es wäre auch ein großer Schritt in Richtung einer emissionsarmen Energiewirtschaft.

Zunächst muss aber geklärt werden, was technisch praktikabel und politisch gewollt ist. Es muss ausgeschlossen werden, dass der Einsatz von Wasserstoff nur dem Greenwashing dient, dass also einerseits nur prestigeträchtige Projekte gefördert werden, während andererseits riesige Energiemengen verpulvert werden.

Die Potentiale sind da. Jetzt gilt es, sie auszuschöpfen.

Herzlichst



Sven Geitmann
HZwei-Herausgeber



Aktionstag Elektromobilität 19. August 2018

Marktplatz & Karlsplatz
Stuttgart | 11:00 - 18:00 Uhr



Kommen Sie nach Stuttgart, stellen Sie Ihre Produkte im Bereich Elektromobilität aus und suchen Sie das Gespräch mit einem interessierten Publikum.



Präsentieren Sie sich als zukunftsorientiertes Unternehmen und setzen Sie mit uns Impulse!



Informieren, beraten und vernetzen – nutzen Sie den AtEm 2018 und stehen Sie als Experte von heute Ihren Kunden von morgen zur Seite.



**PETER SAUBER
AGENTUR**
Messen und Kongresse GmbH

Julia.kraegeloh@messe-sauber.de
Tel: +49 711 656960-56

Partner

STUTTGART



TILLMETZ GEHT IN DEN RUHESTAND



Prof. Werner Tillmetz

Im Herbst 2018 wird sich Prof. Werner Tillmetz von seinen Aktivitäten als Vorstandsmitglied und Leiter des Geschäftsbereichs Elektrochemische Energietechnologien am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) aus Altersgründen zurückziehen. Gegenüber *HZwei* erklärte er: „Ich werde im September 63 Jahre alt und darf dann in den Ruhestand gehen.“ Weiter sagte er:

„In der H₂- und BZ-Szene läuft es aus meiner Sicht inzwischen ganz gut (NIP 2.0, H2 Mobility etc.), und es gibt viele junge und gute Mitstreiter. Auch die internationalen Aktivitäten (China, Japan) werden dafür sorgen, dass unser Thema weiter an Fahrt aufnehmen wird.“ Angaben zu seinem Nachfolger waren bis Redaktionsschluss von der Berufungskommission noch nicht zu bekommen. ||

LINDE BEENDET BEEZERO



Das Gaseunternehmen Linde hatte Mitte 2016 einen bis dahin unüblichen Weg eingeschlagen und Brennstoffzellen-Pkw im Rahmen eines Carsharing-Projekts in München angeboten. Über die eigens gegründete Tochtergesellschaft Linde Hydrogen Concepts schaffte *BeeZero* 50 Hyundai *ix35 Fuel Cell* an und offerierte diese potentiellen Interessenten nach dem Free-Floating-Konzept (keine feste Station, sondern Anmietung auf öffentlichen Stellplätzen per App). Ziel war, aus dem Flottenbetrieb Erkenntnisse für die Weiterentwicklung der Wasserstofftechnologien zu gewinnen. Nach genau zwei Jahren wird dieses Vorhaben nun am 30. Juni beendet.

Die Verantwortlichen sowohl von Linde als auch von Hyundai zogen eine positive Bilanz. Ein Linde-Sprecher erklärte: „Wir haben *BeeZero* als Projekt aufgesetzt, um Visibilität für Wasserstoffmobilität zu erzeugen und Erfahrungen hinsichtlich Alltagstauglichkeit und Kundenakzeptanz zu sammeln. Alle unsere Ziele wurden erreicht, wir haben hohe Sichtbarkeit für H₂-Mobilität erzielt, die Brennstoffzelle zurück in die Diskussion über zukünftige Antriebstechnologien gebracht und die Alltagstauglichkeit der Fahrzeuge bewiesen.“ Was mit den Fahrzeugen passiert, ist noch ungewiss. Sie sollen aber weiter genutzt werden. ||

GREENTEC AWARDS EHREN NICO ROSBERG



Quelle: GreenTec Awards

Nico Rosberg mit VDA-Präsident Mattes (li.) und Bundesverkehrsminister Scheuer (re.)

Mitte Mai sind in München die diesjährigen *GreenTec Awards* verliehen worden. Zum elften Mal wurden Projekte ausgezeichnet, in denen sich verschiedene Institutionen für Umwelt- und Ressourcenschutz engagieren und einen nachhaltigen Lebensstil alltagstauglich machen. Mehr als 1.000 Gäste aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Show Business nahmen an der Gala teil, die den Auftakt zur *IFAT*, der Weltleitmesse für Wasser-, Abwasser-, Abfall- und Rohstoffwirtschaft, bildete.

Unter den elf von der 75-köpfigen Jury ausgezeichneten Preisträgern ist auch Alstom mit dem CO₂-freien Wasserstoffzug *Coradia iLint*. Nico Rosberg, Formel-1-Weltmeister von 2016, wurde als „Entrepreneur of the Year“ ausgezeichnet, da er sich als Investor und Anteilseigner der FIA-Rennserie *Formula E* in besonderem Maße für nachhaltiges Engagement und innovative grüne Technologien einsetzt. Es hieß, Rosberg stehe wie kaum ein anderer für einen echten Turnaround in der Mobilitätsbranche. Vor Ort wurde das Thema nachhaltige Mobilität mit dem Shuttle-Betrieb von *CleverShuttle* mit einem wasserstoffbetriebenen *Toyota Mirai* unterstrichen. ||

PTG-BETRIEB WIEDER AUFGENOMMEN

Die Power-to-Gas-Anlage in Falkenhagen ist um eine Methanisierungsstufe erweitert worden. Dieser Schritt ist Bestandteil des europäischen Forschungsprojekts *STORE&GO*, das damit in seine nächste zweijährige Phase tritt: Statt reinen Wasserstoffs soll in der Prignitz zukünftig direkt neben der bereits bestehenden Anlage „grünes“ Methan (bis zu 57m³/h = 600 kWh/h) erzeugt und ins Erdgasnetz eingespeist werden. Laut einer Pressemitteilung der Projektpartner hat damit „die Sektorenkopplung für erneuerbaren Strom durch Umwandlung in synthetisches Methan begonnen“.

Dr. Christian Ehler, Europaabgeordneter für Brandenburg, sagte: „Durch die Anbindung an das Erdgasnetz der Region eignet sich das Power-to-Gas-Projekt >>



Quelle: Uniper
Die in der Methanisierungsanlage entstehende Wärme wird in der benachbarten Furnierfabrik genutzt.

ausgezeichnet, um die technischen und regulatorischen Herausforderungen beim Bau und Betrieb von Speicheranlagen auszuloten. [...] CO₂-neutrales Gas kann einen entscheidenden Beitrag zu den europäischen Dekarbonisierungs- und Energiezielen leisten.“ Michael Riechel, Präsident des DVGW, ergänzte: „Damit Power-to-Gas sein Potenzial als grüne Batterie der Energiewende voll entfalten kann, müssen regulatorische Hürden fallen und die Anlagen einen gleichberechtigten Zugang zum Markt erhalten.“

Der Standort war 2013 einer der ersten, bei dem diese Art der Energiespeicherung in Form von Wasserstoff erprobt worden war. Das Projekt *STORE&GO* hatte 2016 mit 27 beteiligten Partnern begonnen und wird mit insgesamt 18 Mio. Euro von der EU gefördert. Ganz anders sieht es für die PtG-Anlage in Hamburg-Reitbrook aus, die ebenfalls von Uniper mitbetreut wird, deren Weiternutzung nach dem Projektende 2016 aber völlig offen ist. Seitens Uniper hieß es dazu, die Anlage sei „betriebsbereit, aber zurzeit ruhend“. ||

BUNDESNETZAGENTUR IST GEGEN POWER-TO-GAS

Aus Anlass der Inbetriebnahme forderte Uniper-Geschäftsführer Dr. Axel Wietfeld entsprechende Änderungen der gesetzlichen Vorgaben. Dies wies Jochen Homann, Präsident der Bundesnetzagentur, jedoch laut *Schweriner Volkszeitung* zurück. Danach sagte er: „Wir wollen mit dem Gasleitungsnetz nicht weitere Herausforderungen schaffen wie im Bereich der Elektrizität oder der Telekom.“

JAPANISCHER ELEKTROLYSEUR FÜR H2HERTEN

Die Asahi Kasei Europe GmbH hat Ende April 2018 den Betrieb eines Elektrolyseurs im Wasserstoff-Kompetenz-Zentrum h2herten zur Erzeugung grünen Wasserstoffs gestartet (s. Foto). Die erst kürzlich in Deutschland gegründete Gesellschaft ist Teil der Asahi Kasei Group, eines japanischen Chemiekonzerns mit rund 30.000 Mitarbeitern, der über umfangreiches Know-how im Bereich der Chloralkali-Elektrolyse verfügt. Dessen jetzt in Herten installierter alkalischer Elektrolyseur ist insbesondere für den fluktuierenden



Betrieb aus regenerativen Energiequellen konzipiert und soll zunächst ein Jahr lang im Rahmen eines Demonstrationsvorhabens, das von der Landeswirtschaftsförderung NRW, INVEST sowie NRW Japan K.K. finanziell unterstützt und von der EnergieAgentur.NRW betreut wird, erprobt werden.

Hideki Tsutsumi, Managing Director von Asahi Kasei Europe, erklärte: „Die Energiewirtschaft in Europa ändert sich dramatisch, und sowohl neue Speichertechnologien als auch Produktionstechnologien für grüne Energie sind stark nachgefragt.“ Dementsprechend engagiert sich Asahi Kasei nicht nur in Nordrhein-Westfalen, sondern beispielsweise auch in dem auf drei Jahre angelegten europäischen Verbundprojekt *ALIGN-CCUS*. ||

NEUES H-TEC-TANDEM



Quelle: GP Joule
F. Zimmermann und J. Herrmann

H-Tec Systems erhält eine neue Geschäftsführung: Ove Petersen und Heiner Gärtner bleiben als Geschäftsführer des Mutterunternehmens GP Joule zwar auch zukünftig federführend aktiv, von den alltäglichen Aufgaben der Tochterfirma, die sie bislang ebenfalls geleitet haben, wollen sie sich aber allmählich zurückziehen. Diese werden fortan von Frank Zimmermann (CFO) und Dr. Joachim Herrmann übernommen, die im Mai zu Geschäftsführern bestellt wurden.

Zudem erweitert H-Tec Systems derzeit seinen Aktionsbereich und zog im April 2018 mit einem Teil der ehemals in Lübeck angesiedelten Mitarbeiter in neue Räume (Produktionshalle inkl. Büros) im Gewerbegebiet Braak-Stapelfeld im Kreis Stormarn nordöstlich von Hamburg. Wie Zimmermann gegenüber *HZwei* mitteilte, wird dort ab sofort die Stack-Entwicklung des Unternehmens vorangetrieben werden. ||

DWV: NEUER VORSTAND IST DER ALTE

Mitgliederversammlung in Salzgitter

Auf der diesjährigen Mitgliederversammlung des Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verbands e.V. bestätigten die Teilnehmer den bisherigen Vorstand und verlängerten seine Amtszeit um weitere zwei Jahre. Rückblickend auf die vergangenen 24 Monate zog der Vorstandsvorsitzende Werner Diwald bei dem Treffen am 30. Mai 2018 eine positive Bilanz und erklärte, dass sowohl auf deutscher als auch auf europäischer Ebene viel erreicht worden sei. Für die Zukunft stellte er in Aussicht, möglichst bald konkrete Schritte in Richtung einer Professionalisierung der Verbandstätigkeit vorweisen zu können.

Dass Wasserstoff und Brennstoffzellen an sieben Stellen im Koalitionsvertrag der amtierenden Bundesregierung Erwähnung finden und inzwischen auch in Brüssel gebührend Berücksichtigung erfahren, führte Diwald im Wesentlichen auf die erfolgreiche Lobbyarbeit des DWV zurück. Um diese politische Arbeit jedoch weiterhin mit der erforderlichen Vehemenz durchführen zu können, sei eine Umstrukturierung der Vorstandstätigkeit zwingend notwendig, so der Vorsitzende.

Deswegen arbeite die Führungsriege des mittlerweile auf 100 konstitutionelle und 227 natürliche Personen angewachsenen Verbands weiter an der Einrichtung einer gemeinsamen Geschäftsstelle mit potentiellen Partnerverbänden. In Frage kommen nach wie vor sowohl der Bundesverband Energiespeicherung (BVES) als auch der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW).

Das Vertrauen der Mitglieder darin, dass der bisherige Vorstand dieser Aufgabe gewachsen ist, scheint gegeben, zumindest wurde die gesamte Führung anstandslos bestätigt. Eine Verjüngung scheint somit frühestens in zwei Jahren auf der Agenda zu stehen.

AUSZEICHNUNG VON NACHWUCHSFORSCHERN Der diesjährige DWV-Innovationspreis für die beste Dissertation ging an Dr. Matthias Breitwieser. Der frischgebackene Doktor hatte am Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK) ein neues Verfahren zur Fertigung von Membran-Elektroden-Einheiten (MEA) entwickelt. 2015 hatte er bereits gemeinsam mit seinem Kollegen Matthias Klingele den f-cell award (s. HZwei-Heft Jan. 2016) für die Entwicklung einer Ionomermembran erhalten, die in flüssiger Form per Inkjet- oder Sprühverfahren aufgetragen werden kann. Aufbauend darauf optimierte er die Prozesse, so dass mit der neuen Mehrkomponenten-Kompositmembran die Platinbeladung weiter reduziert und die Festigkeit erhöht werden konnte (Details im Okt.-Heft).

Marius Holst wurde für die Anfertigung der besten Masterarbeit ausgezeichnet. Er hatte das Abwärmenutzungspotenzial von Power-to-Gas-Anlagen untersucht. Er betrachtete unterschiedliche Konzepte zur externen Auskopplung in Wärmenetze zur Beheizung von Wohngebäuden, um so eine Koppelung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr realisieren zu können. (mehr dazu im Okt.-Heft).

Karsten Maybee erhielt eine Auszeichnung für seine Bachelorarbeit über industrielle Membranbeschichtung. Prof. Birgit Scheppat, DWV-Vizevorsitzende, stellte hierbei besonders heraus, dass der Jungwissenschaftler die Prüfung im Rahmen eines berufs begleitenden Studiums, also parallel zu seiner regulären Arbeit, absolviert hatte.

Gastgeber der Mitgliederversammlung war die Salzgitter Flachstahl GmbH, die nach der offiziellen Tagung zu einer Werksbesichtigung einlud, ähnlich wie die ebenfalls in Salzgitter ansässige Alstom, die eine Testfahrt im neuen Brennstoffzellenzug Coradia iLint anbot. ||

7



Abb. 1: Die Preisträger Maybee, Breitwieser und Holst (v. l.) mit Prof. Scheppat und Diwald

SAUBERE REVOLUTION

Disruption des Energie- und Transportsektors

Zur Jahrtausendwende hatte Jeremy Rifkin einen großen Anteil an dem damaligen Hype rund um Wasserstoff und Brennstoffzellen. Der Visionär und Querdenker brachte im Jahr 2002 sein Buch *The Hydrogen Economy: The Creation of the Worldwide Energy Web and the Redistribution of Power on Earth* heraus und präsentierte damals weltweit in Vorträgen seine revolutionäre Idee von der Einrichtung einer Wasserstoffwirtschaft. Heute ist es ruhig um ihn geworden, aber an seine Stelle ist nun Tony Seba getreten, ebenfalls ein US-Amerikaner, der – ähnlich wie Rifkin – ein bemerkenswertes Buch über eine Zeitenwende geschrieben hat.

Tony Seba veröffentlichte sein Buch unter dem Titel *Clean Disruption of Energy and Transportation* schon im Mai 2014. In den USA sorgte es umgehend für viel Wirbel, kündigt es doch nicht weniger als das Ende der konventionellen Energieversorgung und des Autos mit Verbrennungsmotor an. Seitdem ist der Autor als Ideengeber rund um die Welt unterwegs und berichtet auf Konferenzen oder in Talkshows über eine mögliche Neuordnung der Energiewirtschaft.

Bevor sein farbig bebildertes Werk den Weg nach Europa fand, vergingen allerdings drei Jahre, bis der Verein MetropolSolar Rhein-Neckar e. V. das 290 Seiten umfassende englischsprachige Buch 2017 übersetzte. Seitdem wirbt MetropolSolar-Geschäftsführer Daniel Bannasch voll Inbrunst für das Buch, denn dessen Inhalte sind – wie der deutsche Titel verspricht – tatsächlich revolutionär.

Der preisgekrönte Vordenker beschreibt auf verständliche Art, wie große Energieversorgungsunternehmen bis heute viel Geld mit ihren Geschäftspraktiken rund um fossile Energien und zentralisierte Strukturen verdienen. Und

er erklärt, wie und warum sich das schnell ändern kann – oder wird. Kurz gesagt geht es dabei nicht nur um die Einführung innovativer Technologien, sondern auch um gänzlich andere Geschäftsmodelle, die den Altunternehmen keine Überlebenschance lassen, es sei denn, sie satteln rechtzeitig radikal um.

Seba belegt seine Prognosen mit zahlreichen leicht nachvollziehbaren Fakten sowie Infografiken

und macht anschaulich deutlich, wie weit der Wandel bereits fortgeschritten ist. Dabei schlägt er einen Bogen von der Solarenergie über Elektromobilität bis hin zum autonomen Fahren und erläutert, wie diese Technologien aufeinander aufbauen und voneinander profitieren. Unter anderem nennt er neun Gründe, warum Elektroautos disruptiv sind, also das bisherige Mobilitätskonzept „zerstören“ werden. Auch wenn sich einzelne Passagen beziehungsweise Aussagen wiederholen, ist das Buch auf jeden Fall absolut lesenswert.

Seba greift bei seinen Ausführungen auf seine Erfahrungen aus über zwanzig Jahren seiner Beratungstätigkeit für Silicon-Valley-Unternehmen zurück. Zudem ist er an der Stanford University, Kalifornien, als Dozent tätig. Er war frühzeitig für das US-Unternehmen Cisco Systems tätig und unter anderem Geschäftsführer verschiedener High-Tech-Firmen. ||



„Tony Seba ist ohne Zweifel einer der wichtigsten Vordenker zum Thema Energie und Mobilität weltweit. Die Botschaft seines Buches ist: Disruptive Veränderungen vollziehen sich immer rascher, als selbst Experten voraussagen. Wer sein Buch liest, begreift das Muster hinter den rasanten Veränderungen, die in kurzer Zeit zu circa 100 % erneuerbaren Energien führen werden, und kann sich eher darauf einstellen. Wer die Entwicklung der Photovoltaik wie auch der Speichertechnologie und der Elektromobilität bisher unterschätzt hat, bekommt hier seine zweite Chance.“

Prof. Eicke Weber, ehem. Leiter Fraunhofer ISE

„Seba beschreibt eine unvermeidliche, exponentiell ablaufende technisch-wirtschaftliche Entwicklung, die – sozusagen nebenbei – auch eine gesellschaftliche und ökologische Revolution ist. Sie kann von Regierungen und Konzernen, die sich auf atomare und fossile Energien stützen, nur noch kurzzeitig verzögert, aber nicht mehr grundsätzlich verhindert werden.“

MetropolSolar-Geschäftsführer Daniel Bannasch

□ Tony Seba, *Clean Disruption of Energy and Transportation*, Englisch, ISBN 9780692210536

□ *Saubere Revolution 2030*, Deutsch, ISBN 9783000579646, 255 S., Preis: 25 Euro zzgl. Versand, Bestellung über info@metropolsolar.de

AsahiKASEI

WWW.ASAHI-KASEI.EU

H₂- UND BZ-BRANCHE ZEIGT SICH ZUVERSICHTLICH

Hannover Messe 2018



Abb. 1: Lies, Fuhrmann, Chatzimarkakis und Diwald auf dem Podium

Die Stimmung auf dem diesjährigen Gemeinschaftsstand Wasserstoff+Brennstoffzellen+Batterien war so gut wie lange schon nicht mehr. Fast alle Akteure aus der H₂- und BZ-Branche zeigten sich während der Hannover Messe vom 23. bis 27. April 2018 äußerst zuversichtlich und berichteten gut gelaunt über neue interessante Projekte sowie über konkrete Aufträge. Damit stemmte sich die H₂- und BZ-Branche quasi allein gegen den allgemein leicht negativen Trend während der Industrieschau: Denn zur Hannover Messe erschienen insgesamt wieder 210.000 Besucher, genauso viele wie schon 2016, wobei damals keine CeMAT stattgefunden hatte. Das bedeutet, dass die Besucherzahlen gegenüber dem Vergleichsjahr stagnierten, obwohl zehn Prozent mehr Aussteller teilnahmen.

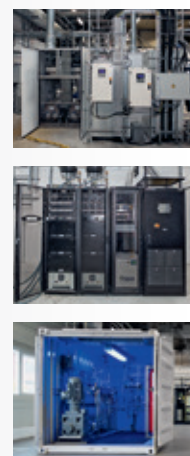
Tobias Renz, der Organisator des H₂- und BZ-Gemeinschaftsstandes in Halle 27, hatte sich bereits im Vorfeld gegenüber HZwei begeistert darüber geäußert, dass dieses Mal nochmals mehr Elektrolyseurhersteller als in den vergangenen Jahren bei ihm ausstellen würden. Es waren dann so viele, dass der Elevator-Pitch, der seit Jahren im Technical Forum durchgeführt wird, dieses Mal zweigeteilt werden musste.

Bemerkenswert war, dass beispielsweise McPhy mit der erstmals in Hannover vorgestellten Plattform *Augmented McLyzer* mittlerweile auch großskalige Lösungen im Bereich von 20 bis 100 Megawatt anbietet. Zudem sei die Leistungsdichte inzwischen auf einen Wert gestiegen, „mit dem bei alkalinen Elektrolyseuren keiner mehr gerechnet hatte“, so ein Sprecher. Da der H₂-Output bei gleicher Effizienz und Fläche verdoppelt worden sei, liege das Leistungsniveau jetzt auf PEM-Level, worüber die mittlerweile auf 85 Mitarbeiter angewachsene Firma äußerst stolz sei. Dieser Entwicklungssprung sei unter anderem ein Resultat der Kooperation mit De Nora.

GROSSES MARKTPOTENTIAL Obwohl mittlerweile sehr viele Akteure in Richtung nachhaltige H₂-Erzeugung streben, herrscht bislang noch ein ruhiges Miteinander unter den Mitbewerbern. Das dürfte auch daher rühren, dass der in Aussicht stehende Markt groß genug ist. Werner Diwald, Vorsitzender des DWV, sprach in Hannover von einem 2.000-MW-Markt für Elektrolyseure in Deutschland,

der realisierbar wäre, wenn grüner Wasserstoff mit Biosprit gleichgestellt würde. Zudem seien die CO₂-Vermeidungskosten mit Wasserstoff niedriger als bei Biosprit. Erste Schritte in diese Richtung wurden bis Ende Mai 2018 im Rahmen der Diskussion über die RED 2 (Renewable Energy Directive) in Brüssel verhandelt. Ergebnisse standen allerdings zum Redaktionsschluss noch nicht fest. >>

9



ANWENDERZENTRUM H2HERTEN

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

Kontakt:
info@h2herten.de
www.h2herten.de

Auf die Frage, wo denn der per Elektrolyse erzeugte Wasserstoff eingesetzt werden soll, folgt immer häufiger die Antwort: In der Stahlindustrie (s. S. 7 u. 34) und in Raffinerien. Dies belegte auch eine Podiumsdiskussion über grünen Wasserstoff in der Stahlindustrie, während der Jorgo Chatzimarkakis, Generalsekretär beim Verband Hydrogen Europe, feststellte: „Wir sind als Europäer global Nummer eins in der Elektrolyse. Und das Großprojekt in Salzgitter hat den Charakter, die Wasserstoffwirtschaft wie bei einer Initialzündung zu starten.“ Weiter merkte er an, dass ein mit grünem Stahl hergestelltes Auto lediglich 150 Euro mehr kosten würde. Um das aber realisieren zu können, müsse es für derartige Projekte eine einheitliche politische Unterstützung geben, die belege, dass „wir Europäer zu diesen Projekten stehen und dann auch diese Produkte kaufen“.

Aber auch die Erdgasreformierung ist längst noch nicht abgeschlossen. Das österreichische Unternehmen Rouge H2 Engineering (RGH2) präsentierte eine Reformereinheit, die gemeinsam mit drei weiteren in einem 40-Fuß-Container in Ternitz, Niederösterreich, installiert werden soll. Dort soll dieser Prototyp zunächst über drei Monate erprobt und dann bei potentiellen Kunden im Feldtest eingesetzt werden. RGH2-Geschäftsführer Florian von Hofen erklärte gegenüber *HZwei*, mit dieser Technik sei ein Preis von 3 Euro pro Kilogramm Wasserstoff realisierbar.

ALLMÄHLICHER STIMMUNGSUMSCHWUNG Auch hinsichtlich der politischen Rahmenbedingungen scheint die Überzeugung bereits weitverbreitet zu sein, dass sich noch während der aktuellen Legislaturperiode der Bundesregierung tatsächlich etwas tun wird, damit Elektrolyseure künftig wirtschaftlich betrieben werden können. NOW-Geschäftsführer Dr. Klaus Bonhoff sagte dazu: „Der Koalitionsvertrag liest sich sehr positiv.“ Immerhin würden Wasserstoff und Brennstoffzellen in dem Papier explizit an sieben Stellen erwähnt, und zwar durchaus mit konkreten Zusagen. Thomas Bareiß, Parlamentarischer Staatssekretär beim Bundeswirtschaftsminister, forderte sogar öffentlich: „Wir müssen jetzt in die Umsetzungsphase kommen.“ Angesichts dieses allmählichen Stimmungsumschwungs in der Bundesregierung bestätigte auch Jorgo Chatzimarkakis: „Das scheint sich jetzt zu drehen. Das ist eine sehr gute Nachricht.“

Im Hinblick auf den internationalen Wettbewerb bestätigte Staatssekretär Bareiß, dass „die Chinesen jetzt enorm viel in eine Tankstelleninfrastruktur für Wasserstoff investieren, was wir auch noch verstärkt ausbauen müssen“. Er ver-



Abb. 2: Der „Revolver“-Kompressor von Maximator

JÖRG WEIGL

Alle Jahre wieder lässt sich auch Dr. Jörg Dieter Weigl auf dem Gemeinschaftsstand blicken, stets mit einer neuen Entwicklung im Gepäck. Dieses Mal zeigte er ein handliches Energiespeicherkonzept, das eigentlich mit Akkumulatoren funktioniert und sowohl für stationäre als auch für mobile Anwendungen konzipiert wurde (*EnergyTube* von Unicorn Engineering). Weigl installierte einen Metallhydridspeicher sowie einen Brennstoffzellen-Stack aus Singapur im gleichen Bauraum und präsentierte in Hannover einen 55-Watt-Prototyp, der noch bis auf 100 Watt erweitert werden soll.



Abb. 3: Ließ eine LED-Leiste mit seinem BZ-Prototyp leuchten

wies aber gleichzeitig darauf, dass in Deutschland durchaus ausreichend Finanzmittel für Investitionen in diesen Bereich bereitstehen, da im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms NIP 2 laut Regierungsprogramm 1,4 Mrd. Euro für H₂- und BZ-Technologie bis 2026 bereitgestellt werden, zu denen die Industrie nochmals 2 Mrd. Euro hinzugibt. Bareiß erklärte: „Wir haben viel, viel Geld, ein Commitment der Politik und der Wirtschaft für die Technologie und auch Planungssicherheit. Damit ist die Grundlage geschaffen. Die Technologie ist gut. Die Reise geht weiter.“

ZULIEFERER SETZEN AUF H₂- UND BZ-TECHNIK Äußerst wohlwollend nahm die Community zur Kenntnis, dass mittlerweile auch große Automobilzulieferer die Potentiale im BZ-Sektor erkannt zu haben scheinen. Plastic Omnium machte mit seinem Auftritt unzweifelhaft deutlich, dass Brennstoffzellen bei dem französischen Kunststoffverarbeiter, der auch Mitglied des Hydrogen Councils ist, zukünftig eine Schlüsselrolle einnehmen werden. Der weltweit agierende Großbetrieb hatte in den letzten Monaten neben dem schweizerischen BZ-Hersteller Swiss Hydrogen auch den belgischen Tankproduzenten Optimum CPV sowie das israelische Entwicklungsinstitut PO-CellTech übernommen. Das Start-up PO-CellTech war erst Ende 2016 gemeinsam mit dem Elektronikkonzern ELBIT Systems gegründet worden. Nach Aussage des Tier-1-Zulieferers kümmern sich derzeit 130 Mitarbeiter darum, die gesamte Energieumwandlungskette im Fahrzeug vom Tank bis zur Brennstoffzelle inklusive Druckreduzierung und Ventiltechnik sowie Systemmanagement darzustellen.

Auch Faurecia orientiert sich neu: Im Mai 2017 hatte die französische Firma eine Kooperation mit Stelia Aerospace Composites gestartet, nachdem zuvor bereits eine Kooperation mit dem Ventilhersteller Ad-Venta eingegangen worden war. Dazu sagte Christophe Schmitt, Executive Vice-President von Faurecia Clean Mobility: „Gemeinsam wollen wir ein Hochdruck-H₂-Speichersystem für eine große Flotte von leichten Nutzfahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb entwickeln.“ Eine weitere Kooperation startete im September 2017 im Bereich der BZ-Entwicklung mit dem CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives). Schmitt erklärte: „Unser Ziel ist es, mit einem effizienten, an die Bedürfnisse des Automobils angepassten Brennstoffzellensystem eine führende Rolle für diesen alternativen Antriebsstrang zu spielen.“ Für Ende 2018 kündigte Faurecia die Präsentation eines eigenen Testfahrzeugs an.

10

HOCHDRUCK AN DEN H₂-STATIONEN Zur konkreten Verbesserung der Situation an den Wasserstofftankstellen präsentierte Maximator einen neu entwickelten Hochleistungskompressor, der 100 Kilogramm Wasserstoff pro Stunde fördert, weitaus mehr als bislang üblich. Zudem installierte das Nordhausener Unternehmen eine „Revolverlösung“ an dem Gerät, mit dem ein einfacher Wechsel von Hochdruckdichtungen im Prozess ermöglicht werden soll. Wie die Praxis bewies, zählen die stark belasteten Dichtungen zu den Schwachstellen von H₂-Tankstellen, weshalb es häufig zu Betriebsunterbrechungen aufgrund von Wartungsarbeiten kommt. Der neue Kolbenverdichter von Maximator, der innerhalb von nur sechs Monaten aufgebaut wurde, verfügt deswegen über bis zu acht Reservedichtungen, die zwischen den Tankvorgängen automatisch ausgewechselt werden können. Somit sei der „Kompressor in sich redundant“, wie es ein Mitarbeiter erläuterte. Zudem sei er günstiger als beispielsweise ein ionischer Verdichter.

Auf ihrem Messestand zeigte die Firma aus dem Harz zwar ein Mock-up (s. Abb. 2), aber in Kürze soll ein fertiges Aggregat angeboten werden. Dafür rief das zur Schmidt Kranz Gruppe gehörende Unternehmen extra ein H₂-Kompetenzteam, dem auch ehemalige Linde-Mitarbeiter aus Wien angehören, ins Leben. Zudem gründete die familiengeführte Holding gemeinsam mit TesTneT Engineering eine neue Firma, die sich insbesondere um das Berstverhalten von Druckbehältern kümmert. Hierbei geht es um den Aufbau einer Testeinrichtung, die ein Bersten von H₂-Druckbehältern während des Zyklirens zulässt, so dass das Ausloten der Belastungsgrenzen hinsichtlich Temperatur, Feuchte, Fast Fill, Schnellentleerung, Vorschädigung usw. unter Realbedingungen möglich ist. Diese Anlage soll nach Auskunft von TesTneT-Geschäftsführer Dr. Marius Herr Mitte 2019 in Betrieb gehen.

Abseits des orangefarbenen Teppichs des Gemeinschaftsstandes gab es in Halle 27 dieses Mal nur sehr vereinzelt Stände mit interessanter H₂- und BZ-Technik. Bemerkenswert war allerdings, was WätaS Wärmetauscher Sachsen zu berichten hatte. Das mittelständische Unternehmen aus dem Erzgebirge, das 2017 den *Sächsischen Integrationspreis* für die feste und unbefristete Einstellung von 28 Flüchtlingen erhielt, präsentierte während der Hannover Messe gleich vorne am Eingang zur *Energy*-Halle die nach eigener Aussage „erste in Sachsen entwickelte und produzierte PEM-Brennstoffzelle mit 1 kW elektrischer Leistung“, für die es die Bipolarplatten selber produziert (s. S. 38).

BLICK NACH JAPAN UND AUSTRALIEN Auch beim deutsch-japanischen Wirtschaftsforum ging es um eine nachhaltige Energieversorgung, und zwar unter der Fragestellung: Zukunft in Deutschland und Japan – Wasserstoff als Lösung? Unter anderem informierte dort Roland Käppner von ThyssenKrupp über bereits marktreife Elektrolyseanlagen im Leistungsbereich von über 100 MW. Noch interessanter war allerdings, was aus Asien berichtet wurde: Und zwar laufen dort derzeit zwei internationale Projekte für eine großskalige H₂-Belieferung von Japan.

Australien beabsichtigt, Wasserstoff aus Braunkohle in einer Vergasungsanlage in Latrobe Valley zu erzeugen und das entstehende Kohlendioxid per CCS-Verfahren zu „entsorgen“. Der australische Finanzminister Scott Morrison erklärte anlässlich des Projektstarts Mitte April 2018: „Wir haben für die nächsten vier Jahre 100 Mio. Dollar für dieses Projekt bereitgestellt, wir investieren in Arbeitsplätze im Latrobe Valley.“ Der verflüssigte Wasserstoff soll im Rahmen des HySTRA-Projekts per Tankschiff – das allerdings mit Mineralöl fährt – befördert

werden und insbesondere während der Olympischen Spiele in Tokio eine nachhaltige Energieversorgung gewährleisten. Seit Mai 2018 wird mit Unterstützung durch die New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) in Kobe die Importseite aufgebaut. Der stationäre LH₂-Tank soll einen Durchmesser von 19 Metern haben und ein Volumen von 2.500 m³ aufweisen. Der Wasserstoff soll dann in einer von Kawasaki Heavy Industries installierten 1,1-MW-Gasturbine umgesetzt werden.

Die Chiyoda Corporation, ein japanischer Industrieanlagenbauer, favorisiert demgegenüber einen anderen Weg und setzt auf Toluol als Wasserstoffspeicher. Bei der Reaktion dieser beiden Stoffe entsteht Methylcyclohexan (MCH), das von dem AHEAD-Firmenkonsortium SPERA Hydrogen® (von lat. spes: Hoffnung) genannt wird und ab 2020 in flüssiger Form von Brunei nach Japan transportiert werden soll (s. HZwei-Heft Okt. 2017 und S. 24). Chiyoda errichtete 2013 eine erste Demonstrationsanlage in Yokohama. Dortige Tests ergaben laut Hersteller, dass die Ausbeute bei der Hydrierung von Toluol zu MCH über 99 Prozent und bei der Dehydrierung aus MCH mehr als 98 Prozent betrage. Der Industriekonzern, der weltweit über eine Vielzahl von H₂-Produktionsstätten verfügt, startete daraufhin 2015 ein von NEDO gefördertes Projekt, im Rahmen dessen eine internationale H₂-Versorgungskette mit einer Hydrieranlage im indonesischen Sultanat Brunei und einer Dehydrierungsanlage in Kawasaki aufgebaut wird. Die H₂-Erzeugung und -Hydrierung soll 2020 in Brunei beginnen. Der SPERA-Wasserstoff wird mit konventionellen Tankwagen nach Japan transportiert.

Cornelius von der Heydt von Hydrogenious sagte dazu: „Chiyoda setzt aufgrund des niedrigeren Preises auf >>

11



Hydrogen+Fuel Cells NORTH AMERICA

24.–27. September 2018
Anaheim • CA • USA

Auf der Solar Power (SPI), Nordamerikas größter Solarmesse und parallel zur Energy Storage (ESI), Nordamerikas größter Energiespeicher-Messe.

h2fc-fair.com/usa

Hydrogen+Fuel Cells + Batteries

1.–5. April 2019
Hannover • Germany

Europas größte Wasserstoff-, Brennstoffzellen- und Batterien-Plattform mit 150 Ausstellern aus 25 Ländern auf 5.000 m².

h2fc-fair.com



Deutsche Messe

Energy





Abb. 4: Demonstrationsanlage in Yokohama

Toluol. Prof. Hansong Cheng von Hynertech Co. Ltd. auf einen uns nicht genau bekannten Stoff, der aber wohl aus der gleichen Stofffamilie kommt wie N-Ethylcarbazol.“

SYNERGIENZWISCHENAUTOMOTIVEUNDH₂-PRODUKTION

Besonderes Interesse zog auch die IAV GmbH auf sich, die als Unteraussteller auf dem niedersächsischen Gemeinschaftsstand zu finden war und ein kleines Modell einer Elektrolyseanlage präsentierte. Die Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr führt eigentlich Entwicklungsarbeiten für Audi und

Volkswagen durch, beschäftigt sich jedoch mitunter auch mit anderen Energietechnologien. In diesem Fall sucht Ralf Wascheck nach Überschneidungen zwischen Brennstoffzellen- und Elektrolyseurtechnik. Hintergrund ist, dass untersucht werden soll, ob Skaleneffekte genutzt werden können, wenn beide Technologien gleichzeitig aufgebaut werden.

Deswegen baut die IAV derzeit im Rahmen eines vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Vorhabens an ihrem Standort in Gifhorn einen alkalischen Elektrolyseur (150 kW_{el}) auf und hofft dabei auf Synergieeffekte. Seitens des Berliner Ingenieurbüros heißt es dazu: „Die Verwendung von Komponenten und Herstellungsverfahren aus dem Automotive-Bereich führt zu erheblich sinkenden Kosten. Virtual Engineering reduziert Entwicklungszeit und -aufwand, der Einsatz des zum Beispiel bewährten Spritzgussverfahrens senkt die Produktionskosten, und die Verwendung von Bauteilen aus der Großserie (Abgaskühler) machen den Elektrolyseur noch wettbewerbsfähiger.“ Wesentlich dabei ist, dass diese Logik auch andersherum gilt, so dass der Automotive-Bereich natürlich auch vom Aufbau einer wachsenden Elektrolyse sparte profitiert. Wie ein IAV-Mitarbeiter erfreut mitteilte, war die Resonanz während der Messe enorm. Selbst der Chef des benachbarten Enercon-Standes habe Interesse signalisiert.

Die nächste Hannover Messe wird vom 1. bis 5. April 2019 ausgerichtet, dann mit Schweden als Partnerland, aber ohne CeMAT. ||

12

F-CELL AWARD MIT FOKUS AUF NORWEGEN



So wie früher wird die *f-cell* in diesem Jahr wieder im *Haus der Wirtschaft* mitten in Stuttgart stattfinden, und zwar vom 18. bis zum 19. September. Und wie bereits seit Jahren wird auch wieder ein *f-cell award* verliehen. Ebenso wie bei dem Symposium gibt es aber auch bei der Preisverleihung einige Veränderungen: Für 2018

sind zwei Preisgelder in Höhe von 10.000 Euro vom Landesministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft ausgelobt, allerdings wurde hierfür dieses Mal ein Motto ausgegeben: „Innovative Kooperationsprojekte und Konzeptideen zwischen Baden-Württemberg und Norwegen“. Teilnahmevoraussetzung ist, dass mindestens eine Institution des Vorhabens aus dem süddeutschen Bundesland sowie dem nordeuropäischen Land kommen muss. Anträge können bis zum 27. Juli eingereicht werden. Die Preisverleihung wird während der Abendveranstaltung am Ende des ersten Kongresstages erfolgen.

Ansonsten steht bei der aus mehreren Bauteilen bestehenden Impulsveranstaltung neben den Fachvorträgen insbesondere die Kontaktaufnahme der Akteure untereinander im Mittelpunkt. Dafür wurde extra eine *f-cell*-App entwickelt, die erstmals Anwendung finden soll. Silke Frank von der organisierenden Peter Sauber Agentur Messen und Kongresse erklärte: „Wir wollen den Austausch fördern und gehen da ganz neue Wege.“ Zudem wird es wieder zwei Säle für interessierte Aussteller geben. ||

EMOVE360° MACHT AUCH IN BRENNSTOFFZELLEN

Die *eMove360° Europe*, die in diesem Jahr vom 16. bis 18. Oktober stattfindet, öffnet sich dem Thema Brennstoffzelle und veranstaltet 2018 zum ersten Mal eine *Fuel Cell Conference*. Seitens des Organisers, der MunichExpo Veranstaltungs GmbH, hieß es dazu: „Wir haben in der letzten Zeit festgestellt, dass insbesondere für die Langstrecke die Brennstoffzelle derzeit die beste Alternative zum Verbrenner ist – und ganz allgemein eine Form der Elektromobilität ist – und nicht im Gegensatz zu batterieelektrischen Fahrzeugen steht.“

Die Münchener kooperieren unter anderem mit dem Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband (DWV). Zu der am ersten Messetag der *eMove360°* stattfindenden Konferenz haben bislang beispielsweise Alstom, Daimler und Toyota zugesagt. ||

SOLARBRANCHE SUCHT ANSCHLUSS

Immer mehr Solarfans suchen derzeit geeignete Energiespeicher, während H₂- und BZ-Unternehmen gleichzeitig nach passenden Anwendungen schauen, in denen sie ihre Technologie zum Einsatz bringen können. Für beide Seiten möchte die *Intersolar Europe*, die gemeinsam mit der *electrical energy storage Europe (ees)* vom 19. bis 22. Juni stattfindet, eine Plattform bieten. Bis zum Redaktionsschluss hatten die Bemühungen, einen Gemeinschaftsstand Wasserstoff, Power-to-Gas und Brennstoffzellen in Halle B1 zu etablieren, bei rund zehn Ausstellern gefruchtet – darunter auch Aradex, GP Joule, HPS, Hydrogenics, Proton Motor, Siqens und Wystrach. ||

FUEL CELL STACKS

LIGHTWEIGHT
DESIGN

e-xperience

MOBILITY

BATTERY SYSTEMS

VISIONEN HABEN VIELE.

wir haben sie bereits umgesetzt.

Die Anforderungen an Mobilität und Nachhaltigkeit steigen, die Automobilindustrie steht vor einer neuen Ära. In Zeiten des Wandels tut es gut, Zuverlässigkeit und Innovationen aus einer Hand zu erleben. Als international führender Technologiekonzern und Automobilzulieferer bieten wir Zukunftslösungen für sämtliche Antriebskonzepte. Neben gewachsenem Leichtbau-Know-how, das unabhängig vom Antriebssystem Anwendung findet, bieten wir Komponenten für Lithium-

Ionen-Batterien und PEM-Brennstoffzellen sowie komplette Module und Stacks. Durch die strategische Beteiligung an der hofer AG verfügen wir zudem über die Kompetenz einen vollständigen, elektrifizierten Antriebsstrang abzubilden – und gestalten so die Mobilität von morgen maßgeblich.

www.elringklinger.de

elringklinger

SEKTORENKOPPLUNG IM NEUBAUGEBIET

Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg



Abb. 1: Reallabor Fliegerhorst

Die Neugestaltung des Fliegerhorsts der Stadt Oldenburg bietet die einmalige Gelegenheit, ein Smart-City-Konzept für vergleichbare Kommunen beziehungsweise Städte in Deutschland sowie in Europa zu entwickeln. Dafür soll ein Teilbereich des Fliegerhorsts – ein 3,9 Hektar großes, vormals militärisch genutztes Areal – explizit als „lebendes“ Labor für die Erprobung neuer Energie- und Mobilitätstechnologien ausgewiesen und mit zukunftsfähiger Infrastruktur versehen werden. Im Rahmen eines ersten Forschungsprojektes entsteht bereits ein weitestgehend klimaneutrales Wohnquartier, ein „Energetisches Nachbarschaftsquartier“, in dem Wasserstoff eine wesentliche Rolle zur Realisierung der Sektorenkopplung spielt.

Das ENaQ-Projekt (Energetisches Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg) stellt das erste Forschungsvorhaben aus dem Bereich Quartiersentwicklung, Energie und Sektorkopplung dar, in dem die Anwohner ihren Energiebedarf überwiegend aus lokal erzeugter Energie decken werden. Hierbei geht es um die Einrichtung von etwa 110 Wohneinheiten und die Integration der Energieformen Strom, Gas und Wärme/Kälte in ein lokales multimodales Energiesystem. Neben Neubauten werden ehemalige Offizierskasernen saniert und ins Konzept integriert, um eine Übertragbarkeit auf Bestandsquartiere zu gewährleisten. Das daraus entstehende Quartierskonzept stellt einen Verbund aus Erzeugern und Verbrauchern dar, die sich in räumlicher Nähe zueinander befinden und ihre überschüssige Energie in andere Energieformen umwandeln und speichern oder direkt bereitstellen, so dass benachbarte Verbraucher diese nutzen können.

Dieses Konzept verfolgt unter dem Stichwort „Energetische Nachbarschaften“ den Gedanken, die Energieeffizienz zu steigern, indem „Abfallenergie“ vermieden und eine Maximierung des lokalen Verbrauchs von „nachbarschaftlich“ erzeugter Energie angestrebt wird. Neben der Sektorenkopplung soll eine offene, sichere und datenschutzkonforme digitale Plattform entwickelt werden, die es den Bürgern erlaubt, den lokalen Energietausch zu automatisieren.

Neben diesen beiden technischen Voraussetzungen sollen auch soziale und betriebswirtschaftliche Zusammenhänge der Akteure erforscht werden. Denn letztendlich werden Bürgerakzeptanz und bürgernahe Kooperations- und Geschäftsmodelle für den langfristigen Erfolg klimaneutraler Energieversorgung aus Eigenerzeugungsanlagen auf Quartiers- und Stadtteilebene ausschlaggebend sein. Zudem sollen Services und Mehrwerte für die Bewohner und Anlagenbetreiber im Quartier entwickelt und evaluiert werden.

H₂ ALS EIN ZENTRALER ENERGIETRÄGER Ein wesentlicher Baustein des gesamten Konstrukts ist Wasserstoff. Und zwar wird ein spezielles Energiesystem auf

Basis von Wasserstoff entwickelt, das sowohl Power-to-Gas (Umwandlung von Strom in Wasserstoff per Elektrolyse) als auch Back-to-Power (Umwandlung von gespeichertem Wasserstoff in Strom per Brennstoffzelle) ermöglicht.

Eine zentrale Funktion nimmt dabei der Hochdruck-Wasserstoffspeicher ein, denn nur ein flexibel nutzbarer Speicher kann im Rahmen des Energetischen Nachbarschaftsquartiers die erforderliche Vielfalt an Nutzungsmöglichkeiten entfalten. Die mobile Speichereinheit kann Wasserstoff mit bis zu 700 bar aufnehmen und für verschiedene Anwendungen bereithalten: von stationären Brennstoffzellen, die zur Notstrom- oder Hausenergieversorgung dienen, bis hin zu einer großen Vielfalt an Fahrzeugen mit Brennstoffzellen. In einem Nachbarschaftsquartier werden dies voraussichtlich Fahr-

ENaQ

Das Vorhaben ENaQ – Energetisches Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg wird gemeinsam von den Bundesministerien für Bildung und Forschung (BMBWF) sowie für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms als Teil der Förderinitiative Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt gefördert. Unter dem Förderkennzeichen 03SBE111 fließen etwa 18,1 Mio. Euro Fördergelder. Mit etwa 8 Mio. Euro beteiligen sich die Industriepartner an diesem Vorhaben. Das interdisziplinäre und aus allen relevanten Branchen zusammengesetzte Projektkonsortium mit kommunaler Beteiligung umfasst einen Energieversorger, einen Netzbetreiber, IKT-Unternehmen, FuE-Institute und Universitäten, Komponenten- und Anlagenhersteller, Ausstatter für erneuerbare Energien sowie eine Wohnbaugesellschaft und ein Innovationsnetzwerk. Das Vorhaben hat Anfang 2018 begonnen und läuft bis Ende 2022.

www.enaq-fliegerhorst.de

räder, Pkw und Kleintransporter sein, es können aber auch Spezialfahrzeuge wie Aufsitzrasenmäher, Kehrmaschinen oder dergleichen sein.

Die unterschiedlichen Einsatzorte der oben genannten Brennstoffzellenapplikationen bedingen ein flexibles und mobiles H₂-Befüllsystem. Dies bedeutet, dass nicht die Applikation zur Befülleinrichtung (z. B. das Auto zur Tankstelle), sondern die Befülleinrichtung zur Applikation kommt.

Die auf dem ehemaligen Fliegerhorst-Gelände bereits vorhandene Photovoltaikanlage kann als elektrische Energiequelle zur Erzeugung des benötigten Wasserstoffes dienen. Das H₂-Gas wird dann nicht „flüchtig“ gespeichert, sondern dient als Langzeitenergiespeicher. Im Vergleich dazu kann ein Batteriesystem nur als Kurzzeitenergiespeicher dienen, da sich Batterien entladen können.

Die bei der Energieversorgung zur Anwendung kommenden Demonstratoren sollen in den Feldversuch integriert werden, was eine große Herausforderung in Sachen Zertifizierung, Zulassung und Betriebsgenehmigung bedeutet. Explizit soll daher ein vereinfachtes Verfahren zur öffentlichen Genehmigung entwickelt werden.

Des Weiteren bietet ENaQ eine ideale Plattform zur digitalen Einbindung der auf Wasserstoff basierenden Applikationen. Zudem sollen während der geplanten Erprobungsphase benutzungsorientierte Muster, die ihrerseits dazu dienen, zukünftige Einsatzmöglichkeiten weiter zu optimieren und den Einsatz von BZ-Applikationen zu vereinfachen, analysiert werden. Auf diese Weise soll es ermöglicht werden, sowohl die Anwendungen als auch das Konzept für andere Quartiere, aber natürlich auch für eine Vielzahl von denkbaren Einsatzfällen kopierbar zu machen. ENaQ stellt somit einen weiteren wichtigen Baustein auf dem Weg der Einführung einer wasserstoffbasierten Umwelt dar. ||

AUTOREN



Dr. Sven Rosinger
Energy-efficient
Smart Cities,
OFFIS e.V., Oldenburg
sven.rosinger@
offis.de



Siegfried Suchanek
Anleg GmbH, Wesel
suchanek@
anleg-gmbh.de

BEDBURG BAUT BRENNSTOFFZELLEN

Massive Förderung von BZ-Heizgeräten



Im Rheinischen Revier in Bedburg bei Köln entsteht derzeit eine Neubausiedlung, in der klimafreundliches Bauen mithilfe von Brennstoffzellenheizgeräten praktiziert wird. Im Rahmen eines Gemeinschaftsprojekts der Stadt Bedburg, des Energiekonzerns RWE Power AG und des Heizungsbauers Viessmann werden acht Wohneinheiten im Stadtteil Königshoven mit neuester Haustechnik ausgestattet. Nach Aussage von KlimaExpo.NRW, einer Initiative der nordrhein-westfälischen Landesregierung, ist diese Einfamilienhaussiedlung unweit des Braunkohletagebaus Garzweiler „die erste in Deutschland, in der ausschließlich neueste Brennstoffzellengeräte für die Strom- und Wärmeversorgung genutzt werden“.

Insgesamt profitieren die acht Neueigentümer, die selbst entscheiden, welche Brennstoffzelle eingebaut werden soll, von mehreren Fördermaßnahmen: Neben dem KfW-Anreizprogramm *Energieeffizienz* führt RWE Power eine Energie- und Förderberatung durch und vergibt einen Bauherrenzuschuss. Auch Viessmann schießt Geld dazu, so dass die Fördersumme unter dem Strich bis zu 14.250 Euro beträgt. Hinzu kommt, dass die Betreiber überschüssige Leistung über den Stromanschluss abgeben oder Minderleistung ausgleichen können. Und bedienerfreundlich sind die BZ-Geräte auch: Sie lassen sich einfach per Smartphone oder Tablet bedienen.

Michael Schiffer, seit November 2017 einer der neuen Hausbesitzer, erklärte: „Uns gefällt der Gedanke, besonders effizient zu heizen und quasi nebenbei auch Strom erzeugen zu können.“ Mithilfe der Brennstoffzelle vollführt er quasi seine private Energiewende. Durch den hohen Gesamtwirkungsgrad der Anlage spart seine Familie im Vergleich zu einem konventionellen Energieversorgungssystem sowohl Heiz- als auch Stromkosten. Auch die spezifischen CO₂-Emissionen sind um mindestens fünf Tonnen pro Jahr niedriger. Schiffer räumt zwar ein, dies sei zunächst „natürlich nur ein kleiner Beitrag“. Er sagt aber auch: „Es kommt für den Klimaschutz darauf an, dass sich diese innovative Technologie weiterverbreitet.“ Würde zusätzlich noch ein Akkumulator als Stromspeicher installiert, ließe sich der CO₂-Fußabdruck der häuslichen Wärme und Stromerzeugung um weitere 50 Prozent reduzieren. ||

„Das Projekt zeigt vorbildlich, welches Potenzial in der Entwicklung von zukunftsweisenden Heizungstechnologien besteht. Dank der Förderung wird hier langfristig ein positiver ökologischer und ökonomischer Fußabdruck hinterlassen.“

Dr. Heinrich Dornbusch, Vorsitzender Geschäftsführer der KlimaExpo.NRW

ENERGIEAUTARKE WOHNHÄUSER

Umwelt Arena zeigt den Weg in die Energiezukunft

Komplett autarke Energieversorgung – für einige Verbraucher ist diese Vorstellung eine Vision, die bislang nicht gerade einfach zu realisieren ist. Dies könnte sich jetzt ändern: In Brütten bei Zürich steht das weltweit erste energieautarke Mehrfamilienhaus. Bereits seit 2016 leben die Mieter dort komplett unabhängig vom Gas- und Stromnetz. Sogar ihre Autos können sie selbst mit Energie versorgen. Möglich wurde dies durch die Kombination einer Photovoltaikanlage mit einer Wärmepumpe sowie einem Elektrolyseur zur Speicherung des benötigten Stroms plus Brennstoffzelle. Und Anfang 2018 präsentierte Umwelt Arena bereits ein Nachfolgeprojekt – „zur Replikation für jedermann“.

Der Bau dieses energieautarken Mehrfamilienhauses war ein Projekt der schweizerischen Umwelt Arena Spreitenbach. Das Ziel des Bauherren Walter Schmid, Mitinhaber der W. Schmid AG, war, für mehrere Mitparteien ein Wohnhaus zu planen und zu bauen, das weder auf Elektrizität noch auf Gas aus den öffentlichen Versorgungsnetzen angewiesen ist (s. Abb. 1).

Um dies zu erreichen, setzte Schmid, der auch Präsident des Verwaltungsrats der Umwelt Arena Spreitenbach ist, primär auf Photovoltaik. Er verwendete sowohl eine großflächige Dachsolaranlage, bestehend aus monokristallinen Zellen, als auch Fassadenmodule aus Dünnschichtzellen. Da jedoch in der Schweiz die Winter eher sonnenarm sind, gleichzeitig aber vergleichsweise viel Heizwärme benötigt wird, war eine gute Energiespeicherung und eine Vernetzung verschiedener Speichersysteme erforderlich.

Deswegen wurde zunächst ein großer Wärmespeicher im Erdreich versenkt. Für die Erzeugung thermischer Energie wurde im Keller eine Wärmepumpe installiert, die als Energiequellen sowohl die Außenluft als auch zwei Erdsonden sowie den Elektrolyseur nutzt und die Fußboden- sowie Wandheizung versorgt. Zusätzlich wurde ein Brennstoffzellensystem von Proton Motor eingebaut.

Auf der Stromschiene wird die Solarenergie entweder direkt genutzt oder über einen PEM-Elektrolyseur der Firma Diamond Lite in Wasserstoff umgewandelt und somit spei-

cherbar gemacht. Bei Bedarf, also an sonnenarmen Tagen, wird das H_2 -Gas in der Brennstoffzelle umgesetzt. Deren Abwärme dient Heizzwecken oder wird in dem thermischen Speicher eingelagert. Da jedoch das Spannungsniveau beim Austritt aus der Brennstoffzelle merklichen Schwankungen unterliegen kann, wird es über einen DC/DC-Wandler der Firma Aradex von 50 bis 100 Volt auf 700 Volt angehoben, damit der Strom anschließend problemlos in das Energieversorgungssystem eingespeist werden kann. Zusätzlich ist an diesen Wandler auch der Akkumulator, der für die Stromreserve über zwei bis drei Tage verantwortlich ist, angeschlossen, wodurch eine effektive Kombination von Lang- und Kurzzeitspeicher ermöglicht wird. Als Verbraucher steht neben den jeweiligen Haushaltsgeräten auch eine Ladestation für E-Autos zur Verfügung.

KAPPUNG DER STROMLEITUNG Die Einweihung der gesamten Anlage, bei der die Stromleitung gekappt wurde, fand am 6. Juni 2016 in Anwesenheit von Bundesrätin Doris Leuthard statt. Nach dem ersten Winter ließ Umwelt Arena wissen, dass die Mieter, die in einem Casting ausgewählt worden waren, immer Licht und Strom hatten und nie frieren mussten – „trotz des kältesten Januars seit dreißig und dem sonnenärmsten seit zwanzig Jahren“. Ihr Energieverbrauch lag mit 2.200 kWh pro Wohnung und Jahr nur halb so hoch wie ansonsten in der Schweiz üblich. Die Betreiber räumten allerdings ein, dass sich „die Zuverlässigkeit der Brennstoffzelle zu Beginn der kalten Jahreszeit als ungenügend erwies“, was allerdings mithilfe entsprechender Anpassungen und eines Software-Updates behoben werden konnte.

Nach Auskunft des Architekten René Schmid, Sohn des Bauherren, wird der Langzeitspeicher, zwei mehrere Meter lange, unter dem Haus eingebuddelte H_2 -Druckbehälter, nur selten benötigt. Lediglich an 25 Tagen im Jahr greift das Energieversorgungssystem auf diese Reserve zurück. Für den täglichen Betrieb reichen Wärmepumpe und Akkumulator.

Damit die Bewohner jederzeit über ihren aktuellen Energieverbrauch auf dem Laufenden bleiben, hängt in je-

16



Quelle: Umweltarena Spreitenbach



Quelle: Diamond Lite

Abb. 2: Der H₂m-Elektrolyseur erzeugt 2 Nm³/h bei 30 bar

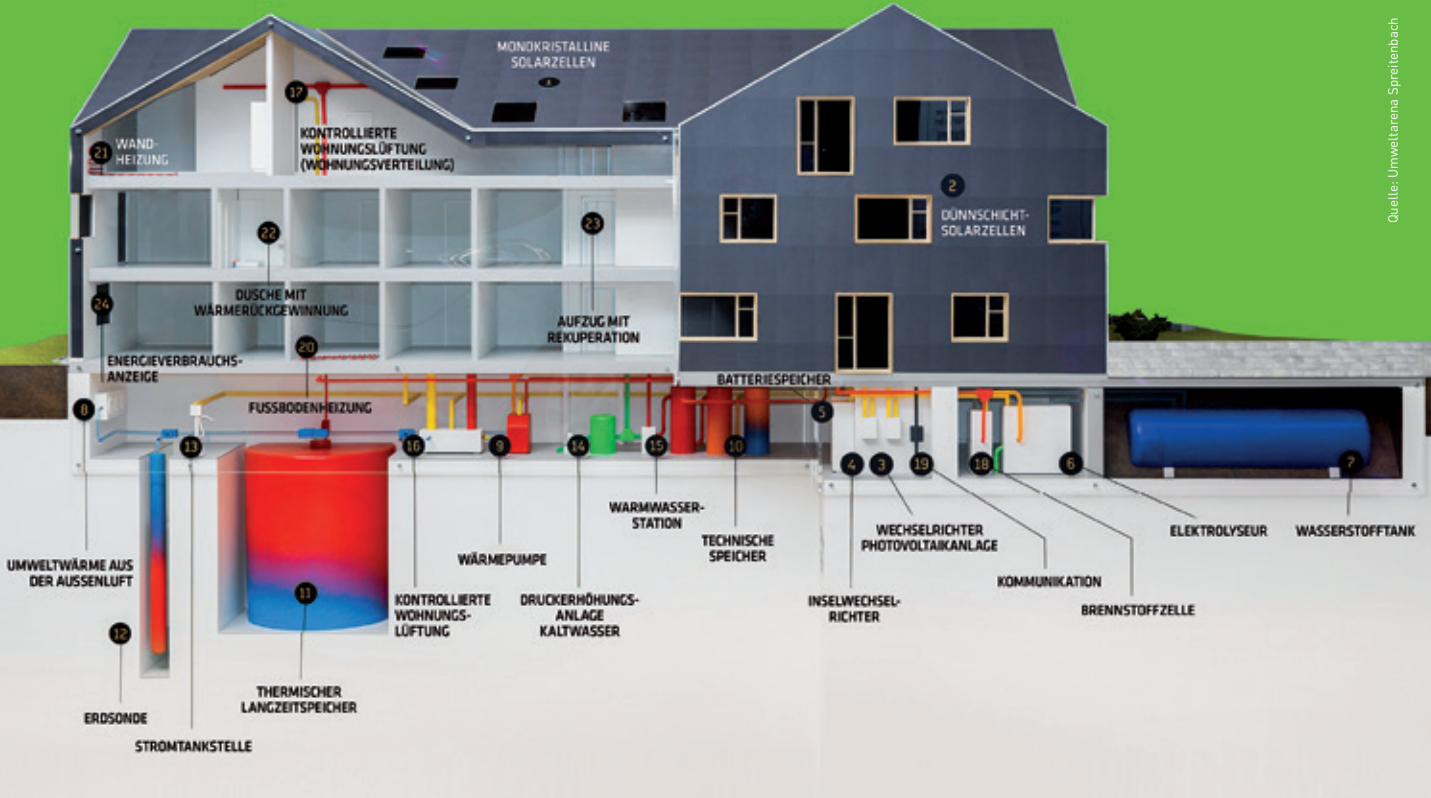


Abb. 3: Modernes Haus mit viel Technik

„Wir achten zwar, seit wir hier wohnen, stärker auf den Stromverbrauch, aber einschränken müssen wir uns keineswegs.“

„Der Lift funktioniert mit Energierückspeisung. Nehmen Sie nach unten ruhig den Lift, das speist ein wenig Strom ins System.“

„Im Haus sind nur Topgeräte installiert, die zu den obersten Energieklassen gehören.“

„Wir können die Fenster nicht kippen. Man kann nur stoßlüften, was viel effizienter ist, als stundenlang ein Fenster ein wenig offen zu lassen.“

Mieterstimmen



Abb. 4: Zwei große Druckbehälter zur H₂-Speicherung

der Wohnung ein Tablet an der Wand, mit dem die gesamte Energieversorgung überwacht werden kann.

Walter Schmid, der auch als Vermieter agiert, stellt den Bewohnern seines Hauses zusätzlich zwei Fahrzeuge zur Verfügung. Das Elektroauto wird mit Solarstrom vom Dach beziehungsweise mit gespeicherter Sonnenenergie aus der Brennstoffzelle versorgt. Demgegenüber muss das CNG-Auto unterwegs an regulären Erdgasstationen betankt werden. Um aber zumindest bilanziell auch hier autark sein zu können, werden die im Haus gesammelten Garten- und Küchenabfälle in eine Biogasanlage gebracht, in der daraus Treibstoff für 10.000 Kilometer pro Jahr erzeugt wird.

Zur Finanzierung sagte Schmid, dass die Baukosten um rund zehn Prozent über den Kosten für vergleichbare konventionelle Häuser lagen. Da die Bewohner aber weder Strom- noch Gasrechnungen zu begleichen haben, fallen die Mieten für die insgesamt neun Wohnungen nicht höher aus als anderswo. Hierzu merkte Monika Sigg von der Umwelt Arena AG an: >>

UMWELT ARENA

Bei der Umwelt Arena handelt es sich sowohl um ein Gebäude als auch um eine Gesellschaft. Die von Walter Schmid spektakulär gestaltete Arena in Spreitenbach wurde im August 2012 eröffnet und ist Hauptsitz der Gesellschaft, Veranstaltungsort für Konzerte und Events sowie Ausstellungsplattform für Nachhaltigkeit, erneuerbare Energien und moderne Mobilität. Die Aktiengesellschaft steht unter dem Patronat des Kantons Aargau, der sich als „Energiekanton der Schweiz“ für eine sichere Energieversorgung und nachhaltige Energieproduktion einsetzt. Initiator und Investor Schmid erklärte: „Es ist wichtig, dass die oft hochkomplexen, abstrakten Informationen zum Thema Nachhaltigkeit und Energieeffizienz vereinfacht dargestellt werden. Jeder Einzelne soll unter dem Strich einen Vorteil für sich selbst erkennen.“



Quelle: WeberHaus

Abb. 6: Außen am WeberHaus installierte Picea-Anlage

„Die Kosten für Elektrolyseur, Wasserstoffspeicher und Brennstoffzelle, also für die Langzeitspeicherung, sind nicht amortisierbar. Das sind Forschungs- und Entwicklungskosten. Für ein Einfamilienhaus ist die Langzeitspeicherung noch kaum finanziell interessant.“

NACHFOLGEPROJEKT IN ZÜRICH Als Anschlussvorhaben realisierte die Umwelt Arena mittlerweile das „Mehrfamilienhaus mit Energiezukunft“ (s. S. 3). Grundlegender Unterschied zu dem Brüttener Haus ist der Anschluss an das Erdgasnetz und die Nutzung von Biogas als Energieträger. Das Elffamilienhaus in Zürich-Leimbach, das im Januar 2018 als „Weiterentwicklung dieses Leuchtturmprojekts“ präsentiert wurde,

verwendet neben der Power-to-Gas-Technik auch das Methanisierungsverfahren. Nach Herstellerangaben wird dabei „überschüssiger Sommerstrom in E-Gas umgewandelt und ins Schweizer Erdgasnetz eingespeist und dort gespeichert, von wo es CO₂-neutral im Winter bezogen und dank revolutionärer Hybridbox im Haus wieder genutzt werden kann“. Sigg erklärte: „Das Haus kann sogar im Winter Strom ins Netz abgeben – bis jetzt undenkbar für ein Photovoltaikhaus. Hier entstehen keine nicht amortisierbaren Mehrkosten.“ Weiter hieß es, dieses Projekt sei nicht nur zukunftsweisend, sondern habe definitiv Potenzial zur Replikation für jedermann.

HPS KOOPERIERT MIT WEBERHAUS Währenddessen meldete die ebenfalls in diesem Bereich tätige Home Power Solutions GmbH (HPS), dass sie zukünftig enger mit der WeberHaus GmbH und Co. KG zusammenarbeiten werde. Mitte März 2018 informierte der im badischen Rheinau-Linx ansässige Fertighaushersteller über das gemeinsame Pilotprojekt im Sauerland, wo erstmals eine Picea-Anlage in einem Neubau installiert wurde. HPS-Geschäftsführer Zeyad Abul-Ella erklärte: „Wir garantieren unseren Kunden, dass ihre Energie zu hundert Prozent aus der eigenen Anlage stammt und sie ihren Bedarf an sauberer elektrischer Energie im Einfamilienhaus aus Selbstversorgung vollständig decken können.“ Seit Februar 2018 kann eine begrenzte Anzahl an Picea-Geräten kommerziell erworben werden (Preis: 54.000 Euro; s. HZwei-Heft April 2018). ||

→ www.umweltarena.ch



HYBRIDBOX

Die Hybridbox ist eine kompakte und patentierte Energiezentrale, die alle energetischen Disziplinen in einem Gebäude vereint. Die Anlage reagiert dabei flexibel auf Stromangebot und -nachfrage, behält aber stets den Fokus auf der bedarfsgerechten Wärmeversorgung des Gebäudes.

Thema: Hausenergie | Autor: Sven Geitmann |

VISSMANN BIETET NACHRÜSTLÖSUNG AN



Vitovalor PT2 in Hannover

Seit April 2018 ist eine neue Generation des Brennstoffzellenheizgeräts Vitovalor erhältlich. Viessmann bietet zwei Installationsversionen an: Die PT2 ist die neue Energieversorgungseinheit von Ein- und Zweifamilienhäusern mit integrierter PEM-Brennstoffzelle und 220-l-Warmwasserspeicher. Beide Module haben jetzt die gleiche Bauhöhe von 1,8 Meter. Der Gasbrennwertkessel leistet je nach Bedarf 11,4 bis 30,8 kW. Das gesamte BZ-Kompaktgerät ist jetzt für mindestens 80.000 Betriebsstunden ausgelegt und muss nur noch alle fünf Jahre gewartet werden.

In der Vitovalor PT2 wurde erstmals die Heiz- mit der Brennstoffzellentechnik vereint. Während beim Vorgängermodell 300-P salopp ausgedrückt die deutsche Heiztechnik an die japanische BZ-Technik von Panasonic „angeflanscht“ worden war, wurden beim PT2 beide Bereiche speziell auf den deutschen Markt abgestimmt und miteinander auch intern verheiratet.

Darüber hinaus offeriert das nordhessische Familienunternehmen nun auch das PA2-Modul als Nachrüstlösung an. Bei Anlagen, die bereits über einen modernen Gas-Brennwertkessel verfügen, können PEM-Brennstoffzelle, Gasaufbereitung und Regelung mit dieser 1,6 m hohen Einheit zugebaut werden. Rene Eickhoff von der Viessmann Deutschland GmbH erklärte: „Die Brennstoffzelle findet in Wohn- und Gewerbebereichen ihren Einsatz, spart konkret Kosten ein und reduziert den CO₂-Ausstoß.“ Das Allendorfer Unternehmen wirbt insbesondere mit einer staatlichen Förderung in Höhe von bis zu 11.100 Euro sowie einer zehnjährigen Herstellergarantie. ||

Over 70 years experience
in hydrogen technology

H₂ STATT CH₄ IM KRAFTWERK



Magnum-Kraftwerk in Eemshaven

In den Niederlanden soll ein Erdgaskraftwerk auf Wasserstoffbetrieb umgerüstet werden. Wie Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd. (MHPS) Mitte März 2018 bekanntgab, soll eines der drei 440-MW-GuD-Kraftwerke in Eemshaven in der Region Groningen bis 2023 für den Einsatz von H₂-Gas umgestellt werden. Dieser Brennstoffwechsel ist Teil des *Carbon-Free-Gas-Power*-Projekts, das an der Nuon

Magnum Plant durchgeführt wird. Die Betreiber dieser Anlage, Nuon/Vattenfall, Statoil und Gasunie, beauftragten MHPS damit, die Möglichkeit der H₂-Nutzung zur Stromerzeugung in diesem Kraftwerk im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zu untersuchen. MHPS ist ein seit 2014 in Yokohama ansässiges Joint Venture von Mitsubishi Heavy Industries Ltd. und Hitachi Ltd. Alexander van Ofwegen von Vattenfall Netherlands sagte: „Um die in der Pariser Vereinbarung festgelegten Ziele zu erreichen, müssen die CO₂-Emissionen der Strombranche in den Niederlanden im Jahr 2030 um 55 % bis 75 % geringer sein als im Jahr 1990. Die Verwendung von Wasserstoff anstelle von Erdgas könnte einen wichtigen Beitrag leisten, um dieses Ziel zu erreichen.“

Demgegenüber wird das Steinkohlekraftwerk in Lünen, bei dem MHPS 2015 eine Anlage installiert hatte, nach und nach heruntergefahren. Im März 2019 soll bei der Steag GmbH Schluss sein. MHPS hatte hier im Rahmen eines zu 80 Prozent geförderten EU-Forschungsvorhabens (Fördersumme: 11 Mio. Euro) eine Power-to-Gas-Anlage installiert, in der Kohlendioxid aus der Rauchgaswäsche des Kohlekraftwerks und elektrolytisch erzeugter Wasserstoff in Methanol umgewandelt wurden. ||

IN WYHLEN WIRD GEBAUT



Bauarbeiten an der PtG-Anlage

Trotz erheblicher Proteste gehen die Baumaßnahmen an der Power-to-Gas-Anlage in Grenzach-Wyhlen voran. Obwohl sich eine Bürgerinitiative gegen die Nutzung dieses Standorts eingesetzt hatte, genehmigte das Regierungspräsidium Freiburg Mitte März 2018 den Bau der Wasserstoffanlage nach Bundesimmissionschutzgesetz (BImSchG, s. HZwei-Heft Jan. 2017). Allerdings wurde gefordert, dass die

Einhaltung der Grenzwerte für Lärmemissionen nach Inbetriebnahme messtechnisch überprüft wird.

Irene Knauber, Technische Leiterin von Energiedienst Deutschland, erklärte: „Wir glauben an den Wasserstoff in der Energiewende und vor allem an dieses Projekt hier in Wyhlen. Daher haben wir auch ein Genehmigungsverfahren akzeptiert, das für eine Anlage dieser Größenordnung normalerweise nicht vorgesehen ist.“ Weiter sagte sie: „Fast täglich erreichen uns im Moment zudem Anfragen von Privatleuten, die sich für Brennstoffzellenfahrzeuge interessieren. Das zeigt, dass das Thema Wasserstoff in den Köpfen der Menschen ankommt. [...] Wir wollen im vierten Quartal in Betrieb gehen und den ersten Wasserstoff produzieren.“ ||



HYDROGEN FUELING



HYDROGEN FUEL CELL MOBILITY



HYDROGEN POWER TO GAS



HYDROGEN CRITICAL POWER



We're Ready.

www.hydrogenics.com

solutions@hydrogenics.com

H₂-SPEICHERUNG IN AMMONIAK-KARTUSCHEN

Interview mit dem Vorsitzenden von Aaqius, Stéphane Aver

Die Idee eines Speichersystems basierend auf Wasserstoffkartuschen ist nicht neu, aber bislang ist niemandem die Realisierung gelungen. Dies könnte sich nun ändern: Das schweizerische Technologieunternehmen Aaqius befindet sich auf einem guten Weg, sein Stor-H-Konzept in verschiedenen Ländern in die Praxis umzusetzen. Deren handlichen H₂-Kartuschen sollen nicht nur Fahrzeuge in Frankreich, Marokko und in den Vereinigten Arabischen Emiraten antreiben, sondern bald auch in China. HZwei sprach mit dem Vorsitzenden von Aaqius, Stéphane Aver, über die Stor-H-Technik, die geplanten Kartuschenautomaten und die ehrgeizigen Produktionspläne der Schweizer.

HZwei: Sehr geehrter Herr Aver, erläutern Sie doch bitte zunächst einmal kurz, was genau Ihre Grundidee ist.

Aver: Stor-H ist der weltweit erste Energiestandard für die vernetzte, digitale, nachhaltige Wirtschaft des 21. Jahrhunderts. Das 20. Jahrhundert endete vor achtzehn Jahren. Seitdem hat sich vieles in unserem Leben verändert, aber wir haben immer noch nicht die Art und Weise, wie wir Energie produzieren, verteilen und nutzen, revolutioniert. Sehen Sie sich an, wie Google, Amazon, Alibaba, Uber, Airbnb die Art und Weise verändert haben, wie wir Informationen konsumieren, Waren einkaufen, Mobilität nutzen und reisen. Und in der Hardware-Welt, sehen Sie sich dort an, wie Tesla die Denkweisen in der Automobilindustrie revolutioniert hat. Im grünen Energiesektor spiegelt der derzeitige 700-bar-Wasserstoffspeicherstandard, der Infrastrukturinvestitionen von mehreren Millionen Euro pro Tankstelle erfordert, den Ansatz des 20. Jahrhunderts für das Problem wider. Stor-H, durch seine stabile Speicherung von grünem Wasserstoff in sicheren, einfach zu bedienenden angeschlossenen Kartuschen, die in modernen Automaten angeboten werden und über eine Smartphone-App zugänglich sind, verändert dies alles radikal.

Wie haben Sie sich diesem Konzept angenähert?

Aver: Aaqius ist auf die Entwicklung, Industrialisierung und Markteinführung von innovativen und disruptiven „kohlenstoffarmen“ Technologiestandards für den Energie- und Mobilitätssektor weltweit spezialisiert. Unser Fokus auf Technologiestandards und auf integrierte lokale Wirtschaftssysteme ist unsere Art, unser Investitionsrisiko zu minimieren und eine breite Marktdurchdringung sicherzustellen.

Mit unseren Stor-H-Kartuschen, Verkaufsautomaten, der IT-Plattform sowie der Smartphone-App verwandeln wir den traditionellen Energieverbrauch in einen vernetzten digitalen Service, der insbesondere für die urbane Mobilität geeignet ist. Geschützt durch über 150 Patente, ermöglicht die Stor-H-Technologie die sichere Lagerung von Wasserstoff bei sehr niedrigen Drücken in sicheren, einfach zu verwendenden Kartuschen, die in Vertriebsautomaten vertrieben werden können, wodurch die Notwendigkeit einer teuren und aufwändigen Infrastruktur entfällt.



Stéphane Aver

Seit wann arbeitet Aaqius an dieser Idee?

Aver: Seit 2006 hat Aaqius erfolgreich drei „CO₂-arme“ Technologielösungen im Bereich der Abgasüberwachung (lokale Schadstoffe, Partikel, NO_x-Nachbehandlung) hervorgebracht. Jede Lösung ist in der Automobilindustrie bereits zu einem globalen Standard geworden. Im Jahr 2009 haben wir unsere interne Entwicklung eines disruptiven Wasserstoffspeichers gestartet, um den Einsatz von „CO₂-freier“ Mobilität zu beschleunigen. Und wieder liegt unser Fokus darauf, weltweit einen Technologiestandard zu schaffen.

Im November 2017 unterzeichnete Michael Levy, Ihr Vizepräsident für Forschung und Innovation, während der Dubai Airshow mit Dubai South ein Memorandum of Understanding zur Anfertigung einer Machbarkeitsstudie. Was genau soll hierbei untersucht werden?

Aver: Dubai will ein logistisches Zentrum für das 21. Jahrhundert schaffen: nachhaltig, ökologisch, CO₂-frei, wo die neuesten Innovationen unseres Jahrhunderts angeboten werden. Aus diesem Grund haben sie Stor-H für den Einsatz in Dubai South ausgewählt. Dubai South ist eine aufstrebende, 145 Quadratkilometer große Smart City, die das Flaggschiff-Projekt des Emirats darstellt. Es wurde initiiert, um die Versorgung einer Millionenbevölkerung sicherzustellen, und wurde entworfen, um jede denkbare Art von Geschäft und Industrie zu unterstützen. Hier befindet sich der größte derzeit im Bau befindliche Flughafen der Welt – der Al Maktoum International Airport – und es werden bedeutende Veranstaltungen wie die *World Expo 2020* und die *Dubai Airshow* organisiert. Darüber hinaus soll Dubai South eine nachhaltige Stadt mit einem minimalen CO₂-Fußabdruck sein.

Die Erfahrung hat uns gelehrt, die technische und wirtschaftliche Machbarkeit sorgfältig zu prüfen, bevor wir unsere Innovationen in einem bestimmten Markt einführen. Die Studie soll zeigen, wie die Stor-H-Lösung an die spezifischen Nutzungs- und Umweltaforderungen angepasst werden muss, die für Dubai South einzigartig sind.

Kurz zuvor hatten Sie auch eine Kooperation mit der Stadt Marrakesch, der dortigen Hochschule sowie dem Research Institute for Solar Energy and New Energies IRESEN gestartet. Die Rede ist davon, dass 50.000 zwei-, drei- und vierrädrige Fahrzeuge bis 2021 auf Wasserstoff umgerüstet werden sollen, davon allein 20.000 Zweiräder. Wie wollen Sie das schaffen?

Aver: In Marokko wie auch in jedem anderen geografischen Gebiet, in dem wir Stor-H einsetzen, führen wir immer die



Abb. 2: Khalifa Suhail Al Zaffin von Dubai Aviation City Corp. im Gespräch mit Jean-Pierre Potel sowie Adil Gaoui (beide Aaqius) und Ismail Al Marzouqi (ebenfalls Dubai Aviation; von links)

gleichen Maßnahmen durch, die uns in der Vergangenheit geholfen haben: Durchführung einer technischen und wirtschaftlichen Machbarkeitsstudie des lokalen Wirtschaftssystems und Einführung der erforderlichen Beziehungen zu Industriepartnern und nationalen / regionalen / lokalen Behörden. Das Wachstum von Aaqius basiert auf einem einzigartigen „R&D“-Modell (Forschung und Entwicklung), das starke technische Expertise, disruptive Innovationen und die Fähigkeit, diese Innovationen durch die Schaffung von Technologiestandards zu profitablen Unternehmen zu entwickeln, kombiniert. Der Einsatz dieser Lösungen erfordert, dass Aaqius langfristige Partnerschaften mit allen wichtigen Akteuren der Wertschöpfungskette, Universitäten, privaten / öffentlichen Forschungseinrichtungen, Industrieunternehmen, Investoren und politischen Akteuren organisiert und strukturiert.

Im April 2018 gründeten wir eine Tochtergesellschaft, Stor-H Morocco, um unsere Partnerschaften mit Maghreb Oxygène (Akwa Group) für die Produktion von grünem Wasserstoff, PEPS / Imperium Holding und Ménara Holding für die Produktion unserer zwei- und dreirädrigen Wasserstoffmotorräder. Und übrigens werden wir Motorräder nicht aufrüsten oder nachrüsten. Wir werden neue H₂-Motorräder bauen.

Und wie geht die Kooperation mit Censtar Science & Technology Corp. in China voran? Es hieß, Sie wollten Ihre Technologie bis Ende 2018 so weit entwickeln, dass Sie innerhalb von zwei Jahren rund 100.000 Elektrofahrzeuge (Fahrräder, Lieferdreiräder, Roller, Golfbuggys, Gabelstapler) in der Wirtschaftsregion Jiangbei mit Stor-H-Kartuschen ausstatten können, bevor Sie dann auf die nationale Ebene gehen. Sind Sie hier im Zeitplan?

Aver: Der Einsatz von Stor-H in China ist im Zeitplan. Unser Fokus liegt jetzt darauf, zu prüfen, wie wir unseren Fortschritt beschleunigen können, um den Zeitplan zu übertreffen. Die

Marktchance in China ist riesig, und wir müssen uns beeilen. Die chinesische Regierung will die Art und Weise der Energieversorgung revolutionieren. Sie sieht Stor-H als einen Beschleuniger für den Wechsel in diesem Sektor. Mit über 40.000 Verkaufspunkten (Service-Standorten) für Strom, Benzin, Diesel und Erdgas ist Censtar ein wichtiger Akteur bei der Energieverteilung in China. Ihr Vertriebsnetz bietet uns natürlich einen idealen Zugang für die Verbreitung von Stor-H.

Wir sind dabei, Industriepartner für die Produktion unserer Kartuschen und unserer 2-, 3- sowie 4-rädrigen Wasserstofffahrzeuge zu qualifizieren. Und wir planen, vor Ende des zweiten Quartals 2018 eine lokale Tochtergesellschaft, Stor-H China, zu gründen, um die Geschäftsbeziehungen voranzutreiben.

Sie haben während der ICC 2017 in Beijing für Stor-H den ‚Green-tech Award‘ vom Wirtschaftsminister der Volksrepublik China überreicht bekommen. Sind die Chinesen offener für H₂-Anwendungen als die Europäer?

Aver: Es ist absolut klar, dass die Volksrepublik China offener ist als Europa, Wasserstofftechnologien und insbesondere Stor-H einzuführen. Sie haben bereits verstanden, dass Wasserstoff ein wesentlicher Bestandteil des Energiemixes für die Mobilität von morgen ist. Im vergangenen November trafen wir mit Hilfe des ehemaligen französischen Premierministers Jean-Pierre Raffarin auf Nur Bekri, Minister der NEA (Nationale Energiebehörde) und Vizedirektor der NDRC (Nationale Entwicklungs- und Reformkommission) in China. Herr Bekri weiß, wie wichtig es für China ist, den Stor-H-Standard einzuführen, und hat seine Unterstützung für den Einsatz bekundet. Er erneuerte im April auf der letzten BOAO-Konferenz uns gegenüber nochmals seine Befürwortung.

Anschließend unterzeichnete Aaqius Vereinbarungen mit zwei Agenturen der NDRC, der Investment Association of China (IAC) und dem Energy Research Institute (ERI), um den Einsatz des Stor-H in China zu organisieren und zu beschleunigen. Diese weithin sichtbare Unterstützung auf nationaler Ebene hilft uns wesentlich dabei, die erforderlichen FuE- und Industriepartner zu identifizieren und Kooperationsabkommen zu initiieren.

Am 15. Januar 2018 präsentierte Ihr Unternehmen einen Vertriebsautomaten für H₂-Kartuschen beim World Future Energy Summit (WFES) in Abu Dhabi. Wie funktioniert dieses Gerät?

Aver: Mit Stor-H nutzen wir aktuelle Innovationen in den Bereichen Logistik, Point-of-Sale-Vertrieb und cloud-basierter E-Commerce, um unseren Nutzern beim Energieverbrauch behilflich zu sein und Mobilität zu vereinfachen. Der Stor-H-Automat ist ein integraler Bestandteil des vernetzten digitalen Vertriebssystems, mit dem Benutzer ihre leeren Kartuschen gegen volle austauschen können. Er basiert auf einem standardisierten Design eines Verkaufsautomaten, der für die Lokalisierung durch unsere Stor-H-Benutzer durch die Stor-H-App optimiert wurde. Die kontaktlosen Bezahltechnologien (NFC) wurden integriert, um Benutzern den schnellen Zugriff auf volle Kartuschen zu erleichtern. >>

„Die Qualität der Luft in Marrakesch ist dabei, sich drastisch zu verschlechtern. Wir müssen etwas im Mobilitätsbereich unternehmen. Heute gehen wir mit Aaqius die größte Herausforderung an: die Zweiräder.“

Ahmed Akhchichine,
Präsident der Region Marrakesch Safi



Abb. 3: Der Automat bietet 300 Wasserstoffkartuschen pro Tag an

Unsere IT-Plattform verfolgt Benutzer und Kartuschen (jede ist mit der Cloud verbunden und hat eine eindeutige Identifikationsnummer). Dies ermöglicht es Benutzern, ihre leeren Kartuschen schnell und einfach abzugeben und volle zu entnehmen. Der Stor-H-Automat ist zudem mit einer Lieferketten-Datenbank verbunden, die es unserem Logistikpartner ermöglicht, die Anzahl der vollen und leeren Kartuschen in jedem Automaten in Echtzeit zu verfolgen, um die Disposition der Lieferfahrzeuge zu optimieren, die ebenfalls mit Stor-H-Kartuschen betankt werden. Die leeren Kartuschen werden dann zum Nachfüllen zu den entsprechenden Standorten transportiert.

Wie und wo werden die Kartuschen befüllt? Gibt es bereits einen Service, so dass leere Behälter automatisch abgeholt, wieder aufgefüllt und zurück zur Verkaufsstelle gebracht werden?

Aver: Für das Nachfüllen unserer Kartuschen haben wir mehrere Möglichkeiten: In Bereichen, in denen Wasserstofftankstellen bereits vorhanden sind (350 bar, 700 bar), können wir vor Ort Abfüllanlagen integrieren, um die bestehende Infrastruktur mit zu nutzen. Dies zeigt auch, dass unser neuer Energiestandard für Niederdruck-Stor-H-Kartuschen in der Tat mit dem Hochdruckstandard für Fahrzeuge (z. B. Toyota *Mirai*) kompatibel ist. In den Teilen der Welt, wo die 700-bar-Infrastruktur noch nicht vorhanden ist, arbeiten wir mit Industrieunternehmen (wie Censtar in China) zusammen, um zentrale Anlagen zu bauen. Die Logistik, die benötigt wird, um die Kartuschen von den Abfüllanlagen zu den Verkaufsautomaten (und wieder zurück) zu bringen, ist bereits vorhanden. Noch mal: Wenn möglich, integrieren wir unser spezifisches Stor-H-System in bestehende Dienste und Infrastrukturen. Das müssen wir tun, um die Entwicklung zu beschleunigen und die Kosten zu reduzieren.

Und die Bedienung kann allein über die Stor-H-App mittels Smartphone erfolgen, ist das richtig?

Aver: In der Tat! Mit den Stor-H-Kartuschen, Verkaufsautomaten und der App wird Energie zu einem digital vernetzten Service, der in einem breiten Anwendungskatalog leicht zugänglich und konsumierbar ist. Unsere proprietäre IT-Plattform und die Smartphone-App ermöglichen sowohl Unternehmen (BtB) als auch Verbrauchern (BtC) den Zugang zum Stor-H-System, wo sie ihre Mobilität und / oder

ihren Energiebedarf verwalten können. IT-Plattform und App machen es möglich, das Geschäftsmodell von Stor-H bei der weltweiten Einführung des Stor-H-Systems problemlos zu reproduzieren und zu skalieren. Darüber hinaus werden modernste IT-Technologien implementiert, um für BtB- und BtC-Verbrauchern eine optimale Benutzerfreundlichkeit gewährleisten zu können.

Sie geben an, Ihre Kartuschen arbeiten komplett druckfrei. Auf welcher Technologie basiert Ihr Speicherkonzept? Sie teilen lediglich mit, es sei ein komplexes, mehrere Materialien beinhaltendes und ultra-absorbierendes Speichermedium. Mir fallen dazu Stichworte wie Metallhydrid und Natriumborhydrid ein. Können Sie eines dieser beiden Verfahren ausschließen?

Aver: Zuallererst ist es wichtig zu beachten, dass wir unser Kartuschen-Know-how mit einer frühen Entwicklung konzipiert, validiert und industrialisiert haben: einem Feststoffspeicher aus Ammoniak, ursprünglich konzipiert für Abgassysteme von Kraftfahrzeugen. Die Lizenz dafür wurde 2013 an einen großen Tier-1-Automobilzulieferer übertragen. Unser grundlegendes Know-how ist somit auf viele verschiedene Arten von Speichermaterialien und -anwendungen anwendbar. Es basiert auf innovativen Möglichkeiten, Speichermaterialien in einfach zu verwendenden, digital angeschlossenen Kartuschen zu integrieren. Wir sind in der Tat unwissend hinsichtlich des spezifischen Speichermaterials, das in unseren Patronen verwendet wird.

Wir können allerdings bestätigen, dass inerter Wasserstoff in einem komplexen, aus mehreren Materialien bestehenden und ultra-absorbierenden Medium gespeichert ist. Im Rahmen unserer Technologie-Entwicklungs-Roadmap haben wir FuE-Programme mit verschiedenen Partnern in Frankreich, Großbritannien und Deutschland für verschiedene Arten von Speichermaterialien. Und da wir ein privates Unternehmen sind, das alle seine FuE-Arbeiten selbst finanziert, sind unsere Hauptkriterien wie immer die Time-to-Market (Markteinführungszeit) und die Time-to-Cash.

Können Sie denn sagen, wie groß und wie schwer diese Kartuschen sind?

Aver: Der Stor-H-Energiestandard verfügt über zwei grundlegende Patronengrößen für unsere BtC-Anwendungen (2-, 3-, 4-rädrige Fahrzeuge, einfacher stationärer Einsatz) und eine Kartuschen-Packungskonfiguration für unsere BtB-Anwendungen (Ground Support, Material Handling, stationärer Hochleistungsbereich).

Ich habe gelesen, dass bereits hundert Scooter mit dieser Technologie in Paris und Asien ausgestattet und erfolgreich erprobt worden seien. Bedeutet dies, dass Aaqius bereits Fertigungsanlagen sowohl für die Speicher als auch für entsprechende Scooter aufgebaut hat? Wo stehen Ihre Produktionsstätten und wie ist deren Kapazität, also wie viele Kartuschen beziehungsweise Fahrzeuge können dort pro Jahr hergestellt werden?

Aver: In der Vergangenheit haben wir uns auf Prototyping-Partner mit begrenzten Scale-Up-Möglichkeiten verlassen. Jetzt, wo wir in Marokko, Dubai und China hoch-

Der Siedepunkt von Ammoniak (NH_3) liegt bei $-33\text{ }^\circ\text{C}$. Die bei Umgebungsbedingungen gasförmig vorliegende Substanz lässt sich aber auch gebunden als Feststoff speichern (z.B. als Ammoniumcarbamat, Ammoniumcarbonat, Ammoniumhydrogencarbonat).

skalieren müssen, müssen wir Partner mit industriellen Fähigkeiten finden. Für jedes der wichtigsten physischen Elemente im Stor-H-System (Kartuschen, Brennstoffzellen, Verkaufsautomaten, Fahrzeuge, IT-Server) haben wir lokale / globale Entscheidungen getroffen, um Investitionen und Betriebskosten zu optimieren.

Wo kommt der Wasserstoff her, den Sie bislang einsetzen?

Aver: Stor-H konzentriert sich auf grünen Wasserstoff. Es ergibt einfach keinen Sinn, weiterhin Wasserstoff zu fördern, dessen Produktion einen signifikanten Fußabdruck hat. In jeder der drei Regionen, in denen wir derzeit tätig sind, sind wir Partnerschaften eingegangen, bei denen Wasserstoff durch Elektrolyse mit erneuerbarer Elektrizität (Sonne, Wind) erzeugt wird. In Marokko, Dubai und China haben sich die nationalen Behörden zum Einsatz erneuerbarer Energien bekannt. Dies ist eines der Kriterien für unsere Anlageentscheidungen.

Ist es denn zudem so, dass Sie grundsätzlich weg vom Individualverkehr wollen und stattdessen mehr auf Sharing setzen?

Aver: Ehrlich gesagt, ist dies kein zentrales Thema für uns. Es wird immer einen privaten Transport, öffentliche Verkehrsmittel und Carsharing geben. Und heute ist es nicht klar, dass die Carsharing-Modelle wirtschaftlich wirklich nachhaltig sind. Aus diesem Grund haben wir uns frühzeitig entschieden, unser Stor-H-Geschäftsmodell nicht auf eine bestimmte Transportart zu stützen. Wir folgen dem Kundenverhalten und deshalb ist Stor-H multimodal.

Sie erklärten unlängst, Sie möchten nach der bisherigen Abhängigkeit von Öl zukünftig nicht von Batterien abhängig sein. Warum ist für Sie Wasserstoff ein besserer Energiespeicher als ein Akku?

Aver: Ich denke, Ihre Leser sind bereits mit den vielen Vorteilen vertraut. Interessant ist für uns, dass jeder unserer H₂-Fahrzeugpartner bereits über eine Lithium-Akku-Produktlinie verfügt. Sie kamen dann aber zu uns, damit wir ihnen helfen, Probleme zu lösen, die für uns neu waren. Zum Beispiel verbieten viele Flughäfen aus Sicherheitsgründen die Verwendung von Lithium-Akkus in Bodenwartungsgeräten. Ein weiteres Beispiel: Die derzeitigen Beschränkungen für den Versand von Lithium-Akkus verursachen logistische Probleme für Fahrzeughersteller. Auch sie treibt die Anwendung zu Wasserstoff und insbesondere zu unseren Stor-H-Kartuschen.

Ihre Herangehensweise bringt ja auch ein komplett neues Geschäftsmodell in den Energiebereich. Sie sagten selbst einmal,

dieses Vertriebsmodell revolutioniere den Zugang zu sowie den Verbrauch von Energie. Halten Sie Stor-H für eine disruptive Technik, die geeignet ist, bisherige Anwendungen vom Markt zu verdrängen?

Aver: Der Stor-H-Energiestandard ist ein disruptiver Ansatz, der ein innovatives Vertriebssystem ermöglicht, das Energie und Mobilität als vernetzte, digitale Dienstleistung bereitstellen kann. Darum geht es im 21. Jahrhundert. So viel ist sicher. Wird Stor-H andere Technologien überflüssig machen? Wir wissen es nicht, und das ist nicht unser Hauptaugenmerk. Wir nutzen aktuelle Innovationen (einschließlich unserer), um die Art und Weise zu verändern, wie Personen Energie und Mobilität konsumieren. Unsere Aufgabe besteht darin, Stor-H so schnell wie möglich in ausgewählten geografischen Gebieten zu erweitern, um von Skaleneffekten zu profitieren und den für eine massive Marktdurchdringung notwendigen positiven Kreislauf zu initiieren.

Erlauben Sie mir bitte noch eine weitere Frage: Sie sind seit einem Jahr auch Präsident von Aalps Capital, einem Pariser Investimentunternehmen. Was hat diese Firma mit Aaqius zu tun?

Aver: Technologische Innovationen des 21. Jahrhunderts erfordern Finanzierungslösungen für das 21. Jahrhundert. Dies ist die Botschaft, die wir von prominenten Investoren in Europa, Asien und den USA erhalten haben. Aalps Capital wurde speziell geschaffen, um den von Stor-H geschaffenen Finanzierungsbedarf zu decken. Der Einsatz des digitalen, vernetzten Energie- und Mobilitätssystems Stor-H erfordert regelmäßige und nachhaltige Kapitalinvestitionen in eine Vielzahl von Eigenkapitalstrukturen (neue Unternehmen, Zweckgesellschaften, Start-ups). Um die weltweite Einführung des Stor-H-Standards für umweltfreundliche Energienutzung zu beschleunigen, wurde Aalps Capital im Jahr 2017 ins Leben gerufen, damit Investoren renditestarke Investitionsmöglichkeiten in der kohlenstoffarmen Wirtschaft finden. Es handelt sich um eine Vermögensverwaltungsgesellschaft, die von der französischen Finanzmarktaufsicht Nr. GP 17000012 (gemäß der AIFM-Richtlinie CS 101957) als eine der ersten innovativen Vermögensverwaltungsgesellschaften in Frankreich zugelassen wurde. Aalps Capital beteiligt sich aktiv an der Energiewende hin zu einer CO₂-freien Wirtschaft und erfüllt damit die Anforderungen des Pariser Klimaabkommens. Dank seiner besonderen Beziehung zu Aaqius gewährt Aalps Capital Investoren von öffentlichen, unternehmerischen und institutionellen Einrichtungen, die den CO₂-Fußabdruck verringern möchten und bereit sind, sich an der Umsetzung der Standards von morgen zu beteiligen, Zugang zu privilegierten Geschäften. ||

Anwendungsbereite Speicherlösungen: mit Wasserstoff, mit LOHC, mit Batterietechnik

Wir liefern maßgeschneiderte Lösungen für Mobilität, Industrie und Stromversorgung. Unsere innovative Technologie hat sich in Demonstrationsprojekten bewährt. Dabei bieten wir als erfahrener Systemintegrator den Aufbau kompletter Infrastrukturen.

www.aveva.de

Unser Portfolio:

- Elektrolyseure
- Batterielösungen
- Wasserstofftankstellen
- LOHC-Speicher



We store Your Energy



ERLANGEN – DIE LOHC-HOCHBURG

Dibenzyltoluol als H_2 -Speicher der Zukunft

Erlangen gilt seit geraumer Zeit als Nukleus der LOHC-Forschung. Hier in Franken richtete Prof. Wolfgang Arlt 2011 den Fokus zunächst auf Carbazol beziehungsweise auf flüssige, organische Wasserstoffträger – und hier sitzen auch die Firmen Hydrogenious und Framatome, die derzeit aktiv versuchen, diese Technologie in den Markt zu bringen. Daher überrascht es nicht, dass in Erlangen ein neues Institut aufgebaut wird, das die Etablierung einer klimaneutralen und nachhaltigen Energieversorgung zu akzeptablen Kosten vorantreiben soll – insbesondere mit Hilfe der LOHC-Technik.

Seit Juli 2017 wird an dem neuen Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für erneuerbare Energien (HI ERN) auf dem Gelände der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) gebaut. Der neue Standort soll im Dezember 2019 fertig werden und dann als Außenstelle des Forschungszentrums Jülich in Kooperation mit der FAU und dem Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) betrieben werden. Die Partner wollen dort ihre Expertise bündeln und Materialien sowie Prozesse erforschen und optimieren, die für innovative Wasserstofftechnologien relevant sind. Konkret sind damit effizientere Elektrokatalysatoren und flüssige, organische Wasserstoffträger (Liquid Organic Hydrogen Carrier) gemeint. Das Institutsgebäude wird rund 3.200 Quadratmeter umfassen, auf denen sich etwa 110 Mitarbeiter tummeln werden.

Die beim Spatenstich amtierende Staatsministerin für Wirtschaft Ilse Aigner, heutige Staatsministerin für Wohnen, Bau und Verkehr, erklärte damals: „Die Bayerische Staatsregierung stellt 32 Mio. Euro Landesmittel für den Neubau des

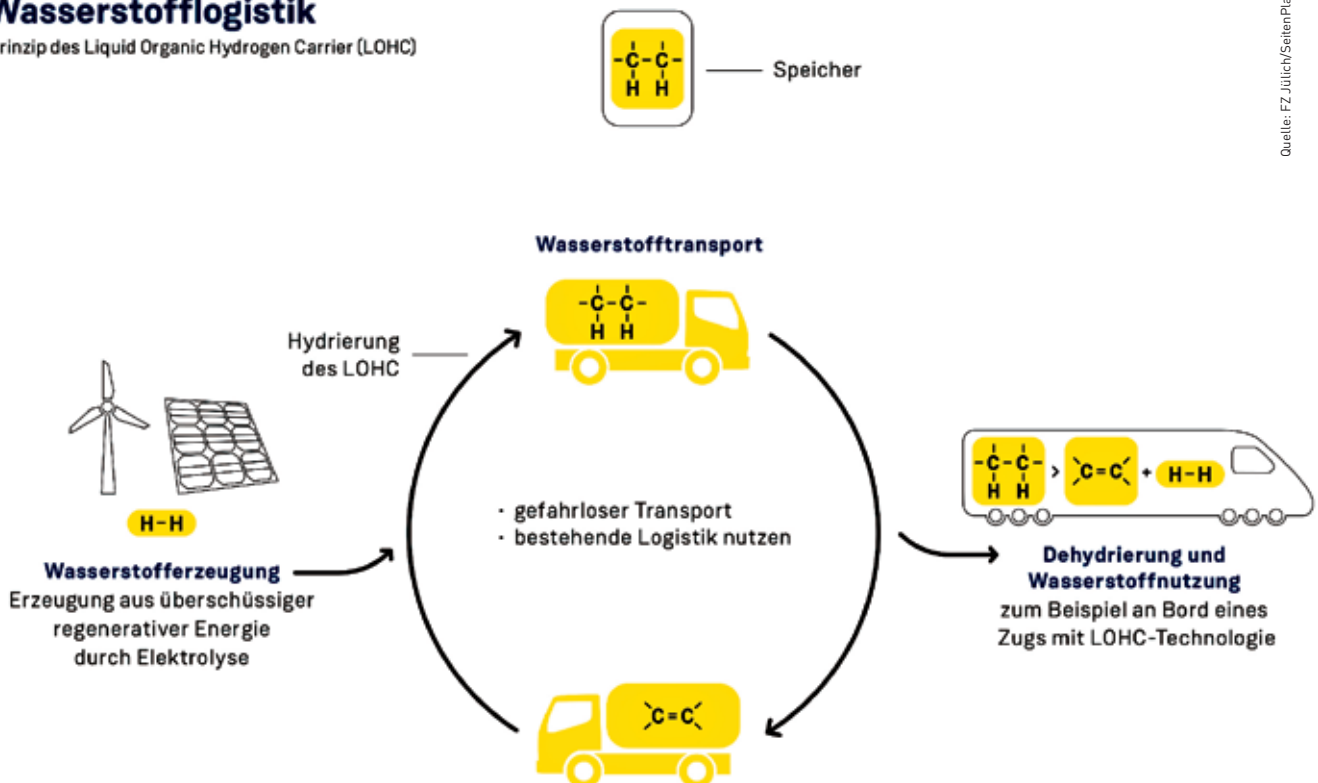
AUSZEICHNUNG

Peter Wasserscheid, Professor für chemische Reaktionstechnik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, FAU, erhielt zum zweiten Mal vom Europäischen Forschungsrat (European Research Council, ERC) den *Advanced Investigator Grant*. Diese mit 2,5 Mio. Euro dotierte Auszeichnung will der Wissenschaftler zur weiteren Erforschung von LOHC-Katalysatoren einsetzen.

HI ERN zur Verfügung. Damit erhält Franken nicht nur den ersten Forschungsneubau eines Helmholtz-Instituts. Mit der Investition bauen wir auch Bayerns Spitzenstellung, unter anderem im Bereich der Erforschung von Wasserstoff als Speichermedium, aus.“

Wasserstofflogistik

Prinzip des Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC)



Quelle: FZ Jülich/SeitenPlan

Abb. 1: LOHC-Prinzip – auch für die Schiene geeignet

	Dibenzyltoluol	N-Ethylcarbazol	Toluol
Summenformel	C ₂₁ H ₂₀	C ₁₄ H ₁₃ N	C ₇ H ₈
Energiedichte volumetr.	1,9 MWh/Nm ³	1,9 MWh/Nm ³	1,6 MWh/Nm ³
Energiedichte gravimetr.	6,2 %	5,8 %	6,2 %
Speicherdruck Ent- / Beladen	1–3 bar / 30–50 bar	1–3 bar / 70 bar	1–3 bar / 10–50 bar
Temp. Ent- / Beladen	300 °C / 150 °C	220 °C / 150 °C	350 °C / 50–100 °C
Toxizität	gesundheitsschädlich	gewässer-gefährdend, reizend oder langfristig toxisch	gesundheitsschädlich, reizend oder langfristig toxisch
Entflammbarkeit	niedrig	niedrig	hoch
Transportbedingungen	keine	Gefährliches Transportgut	Gefährliches Transportgut
Kosten	3–5 Euro/kg	> 40 Euro/kg	< 1 Euro/kg

Quellen: Hydrogenious, u.a.

Prof. Peter Wasserscheid, neben Prof. Karl Mayrhofer Gründungsdirektor des HI ERN und Leiter des Instituts, sagte: „Die Zusammenarbeit von Experten aus unterschiedlichen Fachbereichen unter einem Dach, eingebettet in die hervorragende Innovationslandschaft Erlangen-Nürnberg, ist die Grundlage für die Entwicklung neuer Technologien, insbesondere im Rahmen der Energiewende.“ Prof. Otmar Wiestler, Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft, ergänzte: „Die Erzeugung, Speicherung und Verteilung nachhaltiger Energien ist eine der größten gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit.“

LOHC IM SCHIENENVERKEHR Im April 2018 machten Forscher des HI ERN den Vorschlag, LOHC auch in Wasserstoffzügen einzusetzen. Anlässlich der in Nürnberg stattfindenden Verkehrsministerkonferenz stellte das Forschungszentrum Jülich ein auf drei Jahre angelegtes Projekt, das Anfang 2018 gestartet ist und vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Energie und Technologie mit drei Millionen Euro gefördert wird, vor.

Wasserscheid erklärte dazu: „Für die Betankung der Züge mit Druckwasserstoff oder mit tiefkalt verflüssigtem Wasserstoff müsste an den Versorgungshöfen eine völlig neue Infrastruktur aufgebaut werden. Die LOHC-Technologie ermöglicht es dagegen, die bestehende Infrastruktur weitestgehend beizubehalten.“ Gemäß seinen Ausführungen ist auch die Lagerung und Anlieferung größerer Kraftstoffmengen mit LOHC unbeschränkt möglich, anders als bei elementarem Wasserstoff, da das von Wasserscheid bevorzugte Dibenzyltoluol nicht als Gefahrstoff deklariert ist.

Projektkoordinator Dr. Patrick Preuster erläuterte die Pläne des HI ERN: „Unser Ziel ist es, den wasserstoffbeladenen LOHC-Träger direkt auf den Zug zu vertanken. Der Wasserstoff wird dann anschließend im Fahrbetrieb an Bord des Zuges freigesetzt und in einer Brennstoffzelle verstromt. In unserem Projekt geht es unter anderem darum, die Apparate, die für die Freisetzung des Wasserstoffs benötigt werden, für mobile Anwendungen anzupassen.“ Dafür müssten allerdings zunächst deren Größe und Gewicht verringert und das dynamische Lastwechselverhalten optimiert werden.

Ein nächster Schritt könnte dann eine katalytische Onboard-Dehydrierung sein. Dafür müsste allerdings noch eine entsprechende Direkt-LOHC-Brenn-

LOHC-TANKSTELLE

Ende April 2018 hat H2 Mobility die Standorte von fünf neuen Wasserstofftankstellen bekanntgegeben, darunter auch eine Station in Erlangen, an der die dort in Entwicklung befindliche LOHC-Technologie sowie ein mit Solarstrom betriebener Siemens-Elektrolyseur erprobt werden sollen (s. S. 28). Lorenz Jung von H2 Mobility sagte dazu: „Das Unternehmen Hydrogenious Technologies wird mit einer ‚Release Box‘ die Rückgewinnung und Einspeisung von Wasserstoff aus angeliefertem LOHC demonstrieren.“

EINSATZ IM VERBRENNUNGSMOTOR

Im September 2017 präsentierten die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und der Energie Campus Nürnberg gemeinsam mit der NOW eine Machbarkeitsstudie, die für das Bundesverkehrsministerium (BMVI) erstellt worden war. Diese Studie hatte ergeben, dass Verbrennungsmotoren den Brennstoffzellen ebenbürtig sind, wenn Wasserstoff aus der Träger-substanz LOHC eingesetzt wird. Demnach fallen bei der Verwendung von Wasserstoff als Kraftstoff im Verbrennungsmotor kein Ruß und aromatische Komponenten an, wohl aber Stickoxide. Es zeigte sich zudem, dass diese Stickoxide mit Wasserstoff viel einfacher zu reduzieren sind als mit Harnstoff/Wasser, genannt *AdBlue*. Im Labor seien Werte unterhalb der Nachweisgrenze erreicht worden. Dieser Weg könnte somit dafür geeignet sein, den Schwerlastverkehr CO₂-frei zu gestalten. Inwieweit sich das Konzept auf Busse und kleinere Lkw ausdehnen lasse, hänge jedoch vom Markt ab, so Prof. Wolfgang Artl.

25

stoffzelle für mobile Anwendungen entwickelt werden. Laut Preuster wird ein derartiger Prototyp bereits im HI-ERN-Labor betrieben – mit vielversprechenden Zwischenergebnissen, so dass ab 2019 ein größeres Demonstrationsprojekt zur Entwicklung eines Zugdemonstrators folgen könnte.

WÄRMETRÄGERÖL ALS SPEICHER

Neben diesen wissenschaftlichen Arbeiten treiben auch die 2013 gegründete Hydrogenious Technologies GmbH sowie die Framatome GmbH, die bislang unter dem Namen Areva firmierte, die LOHC-Technologie in Erlangen voran. Beide favorisieren Dibenzyltoluol, aromatische Moleküle mit „offenen Bindungen“, die unter dem Markennamen *Marlotherm* gehandelt werden. Die vornehmlich als industrielles Wärmeträgeröl verwendete Substanz kann 9 Mol Wasserstoff entsprechend 2,3 Kilowattstunden pro Kilogramm speichern. Verglichen mit Diesel entspricht das zwar gravimetrisch und volumetrisch nur einem Viertel der Energiemenge, gegenüber gasförmigem Wasserstoff liegt das Speichervolumen aber um mehrere Größenordnungen niedriger: Auf Korsika, wo Areva seit mehreren Jahren im Rahmen des MYRTE-Projekts eine >>



Abb. 2: Daniel Forberg im Labor der Anorganischen Chemie

Demonstrationsanlage (*Greenergy Box*TM) erprobt, werden beispielsweise 1,5 MWh in einem 0,7 m³ fassenden LOHC-Tank gespeichert, wofür andernfalls ein 14 m³ großer H₂-Druckgasbehälter mit 35 bar nötig wäre.

N-ETHYLCARBAZOL ALS ALTERNATIVE Aber nicht nur in Erlangen wird in dieser Richtung geforscht, auch Bayreuther Wissenschaftler arbeiten an organischen Wasserstoffträgern: Das Team von Prof. Rhett Kempe hatte in der Vergangenheit N-Ethylcarbazol (NEC) als H₂-Speichermedium im Fokus und untersuchte an der Universität Bayreuth, welcher Katalysator am besten geeignet ist, um NEC mit Wasserstoff zu beladen. Der Favorit der bayerischen Wissenschaftler ist derzeit ein Katalysator bestehend aus zwei Metallen, Palladium (Pd) und Ruthenium (Ru), die auf einen Siliziumkohlenstoffnitrid-Träger (SiCN) aufgebracht werden. Dr. Daniel Forberg, Mitglied des Forschungsteams (s. Abb. 2), erklärte: „Bisher ist auf dem Gebiet der Wasserstoffspeicherung kein anderer Katalysator bekannt, der sowohl das Be- als auch das Entladen von NEC-Molekülen mit einer derart hohen Effizienz bewerkstelligt.“

Mithilfe dieses Katalysators gelang es den Wissenschaftlern vom Lehrstuhl für Anorganische Chemie zudem, einen flüssigen, organischen Wasserstoffträger aus einem Abfallprodukt der Holzverarbeitung, das bisher industriell kaum genutzt wurde, zu gewinnen. Kempe erläuterte: „Es freut uns sehr, dass in Verbindung mit unserem neuen Katalysator ein sehr effizientes Speichermedium zur Verfügung steht, das aus einem nachwachsenden Rohstoff stammt, der in großen Mengen verfügbar ist und keine Bedeutung als Nahrungsmittel besitzt.“ Gleichzeitig wies er aber auch darauf hin, dass seine Arbeiten reine Grundlagenforschung sind, sich also noch weit weg von irgendeiner Art der Kommerzialisierung befinden.

LOHC ALS YACHTTREIBSTOFF Darüber hinaus laufen aktuell Bemühungen, LOHC auch im maritimen Sektor zu etablieren. H2-Industries gab im Februar 2018 bekannt, dass eine Kooperation mit der Nobiskrug GmbH, einer Rendsburger Werft speziell für Superyachten, gestartet worden sei, um gemeinsam die Entwicklung und den Bau eines vollelektrischen LOHC-Motorschiffs voranzutreiben. ||

▣ Arlt, W., Kureti, S., *Die Chance auf einen NO_x-freien Verbrennungsmotor*, Chemie, Ingenieur, Technik, WILEY-VCH Verlag, 2018, 90, No. 6

Thema: Elektromobilität | Autor: Sven Geitmann

UNSICHERHEIT ODER PLANLOSIGKEIT?

Wohin steuert die Automobilindustrie?

Experten der Automobilbranche gehen davon aus, dass die Elektromobilität derzeit maßgeblich vom chinesischen Markt getrieben wird. So nahm der Absatz von Elektrofahrzeugen und Plug-in-Hybriden (inkl. Nfz und Busse) im Reich der Mitte von 507.000 im Jahr 2016 auf 777.000 Exemplare (2017) zu. Auf Platz zwei folgen gemäß den Zahlen vom Center of Automotive Management (CAM) die Vereinigten Staaten von Amerika (194.000), dahinter kommt Norwegen (62.000). Deutschland verbesserte sich nach dieser Statistik innerhalb eines Jahres vom sechsten auf den vierten Rang (54.000). Bemerkenswert ist der Anteil der Elektroautos an den Neuzulassungen, der in Norwegen 2017 bei fast 40 Prozent lag (2016: 30 %), während – außer China mit 2,7 % – alle anderen Nationen nur langsam zulegen (< 2 %).

Während in anderen Regionen der Welt bereits die Weichen für eine Reise in eine elektromobile Zukunft gestellt werden, wird hierzulande noch an Nebenschauplätzen diskutiert. Mit Worten haben die Firmenlenker deutscher Unternehmen

„Elektroautos sind gut für die CO₂-Bilanz, aber nicht für die Konzernbilanz – jedenfalls vorübergehend.“
Dieter Zetsche, Daimler-Chef

zwar bereits den Schwenk zur Elektromobilität angekündigt, zu Taten fehlt jedoch anscheinend noch der Mut.

EU GIBT CO₂-GRENZWERTE VOR Ausreichend Anreiz dürfte indessen für alle Automobilhersteller vorhanden sein, da

die Vorgaben der Europäischen Union zur Begrenzung des CO₂-Ausstoßes allmählich Wirkung entfalten. Brüssel sieht vor, dass der Ausstoß der Neuwagenflotte auf durchschnittlich 95 g CO₂ pro Kilometer reduziert wird. Liegen die durchschnittlichen Kohlendioxidemissionen der verschiedenen Hersteller darüber, müssen sie für jedes im Jahr 2020 neu zugelassene Auto Strafe zahlen.

Besonders viel Nachholbedarf haben bislang noch Fiat Chrysler und Hyundai Kia, die beide stark auf Sport Utility Vehicles gesetzt haben, nun aber unter deren hohen Verbräuchen leiden. Auch BMW und General Motors haben noch zu tun, jedoch profitieren die Münchener von den relativ guten Verkaufszahlen ihres i3.

Welche Maßnahmen die Konzerne ergreifen, um die Vorgaben einzuhalten, bleibt ihnen selbst überlassen. Volkswagen baut beispielsweise auf den verstärkten Vertrieb von Erdgasfahrzeugen und startete für Modelle wie beispielsweise den Audi A4 g-tron eine entsprechende Marketingkampagne. So meldete VW, dass Modelle, die bis Ende Mai 2018 bestellt wurden, „bilanziell für drei Jahre mit dem erneuerbaren Kraftstoff Audi e-gas versorgt werden und gegenüber einem vergleichbaren Benziner 80 Prozent CO₂ einsparen“.

Sollte es dennoch eng werden, werden voraussichtlich spätestens zum Ende dieses Jahrzehnts die Preise von Elektrofahrzeugen fallen, um Imageverluste und Strafzahlungen zu vermeiden – auch wenn das, zumindest kurzzeitig, die Unternehmensgewinne schmälern wird.

SIND BOKRAFTSTOFFE PASSÉ? Auch im Kraftstoffsektor droht weiteres Ungemach: Jahrelang baute die Auto-

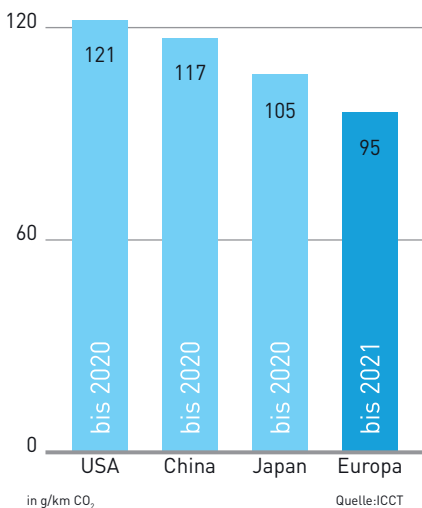


Abb. 1: Zukünftige CO₂-Grenzwerte der Pkw-Neuwagenflotte (Kraftstoffmix)

KAUFPRÄMIE

Bis zum April 2018 wurden insgesamt 60.412 Anträge auf die Zuteilung einer Umweltprämie für den Kauf eines Elektroautos beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) gestellt, davon etwas mehr als die Hälfte für rein batterieelektrische Modelle, rund 25.300 für Plug-in-Hybride und 17 für Brennstoffzellenautos. Das beliebteste E-Auto ist nach wie vor der Renault Zoe mit über 6.500 Anträgen. Jeweils mehr als 10.000 Elektrowagen gingen nach Bayern, Baden-Württemberg sowie Nordrhein-Westfalen.

mobilitätsindustrie auf den moderaten Einsatz von Biokraftstoffen. Deren Anteil am Spritverbrauch lag Anfang 2018 bei 4,8 Prozent. Jetzt befürchtet man innerhalb der Biokraftstoffindustrie jedoch, dass dieser Anteil aufgrund neuer EU-Gesetze auf zwei Prozent fallen könnte. Dies würde die Autobauer zusätzlich unter Druck setzen, denn Biokraftstoffe emittieren während ihres Verbrauchs nur die Menge an Kohlendioxid, die zuvor (beim Wachstum der Pflanze) gebunden wurde, so dass die Umweltbilanz neutral bleibt. Würde nun aber der biogene Anteil im Kraftstoff sinken, müsste stattdessen mehr fossiler Sprit eingesetzt werden, wodurch noch mehr CO₂ abgegeben würde.

Anstatt aber den Benzinanteil hochzuschrauben, sollen gemäß den Vorschlägen der EU-Kommission verstärkt Biokraftstoffe der zweiten Generation verwendet werden – voraussichtlich bis zu zehn Prozent, plus den besagten zwei Prozent von Biokraftstoffen der ersten Generation. Während es sich bei den letztgenannten insbesondere um Biodiesel aus Rapsöl (Dieselmotor) und Bioethanol aus Getreide (Ottomotor) handelt, wird die zweite Kraftstoffgeneration aus Biomasse unterschiedlichster Quellen synthetisch erzeugt.

Leidtragende dieser Regelung wären insbesondere die deutsche Biodiesel- und Bioethanolindustrie, die dazu beigetragen haben, dass in keinem anderen Land Europas absolut und relativ so viel Biokraftstoff verbraucht wird wie in der Bundesrepublik. Dementsprechend kritisierte Dietrich Klein, Geschäftsführer des Bundesverbands der deutschen Bioethanolwirtschaft (BDBE) die fünffache Anrechnung von Strom als Kraftstoff als Betrug, weil nicht immer gewährleistet sei, dass tatsächlich CO₂ eingespart würde.

Mitte April 2018 gab zudem der Biodieselproduzent Natural Energy West (NEW) aus Marl bekannt, seine Produktion für unbestimmte Zeit auf die Hälfte zurückzufahren. Gründe dafür seien Dumping-Biodieselimporte aus Argentinien und Indonesien, die seit dem Winter den europäischen Markt überfluten. Also auch in diesem Sektor ist derzeit viel in Bewegung. Entsprechend hoch ist die Unsicherheit in der Branche.

FESTHALTEN AM VERBRENNER Umso lauter werden die Stimmen, die angesichts dieser Veränderungen gerne an „Altbewährtem“ festhalten würden. Dementsprechend gibt es immer wieder vollmundige Bekenntnisse zum Verbrenner. Prof. Gennadi Zikoridse von der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTW) erklärte unlängst auf dem Kongress Kraftstoffe der Zukunft: „Verbrennungsmotoren bleiben Träger der Mobilität. E-Motoren können das maximal ergänzen.“ Auch Rainer Bomba, damaliger Staatssekretär im Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) bekräftigte dort, dass flüssige Kraftstoffe die besten Energiespeicher seien. Im März 2018 gab Bomba jedoch sein Amt ab, da der neue Bundesverkehrsminister Andreas Scheuer mit eigenen Leuten von München nach Berlin wechselte. Bombas Nachfolger ist Gerhard Schulz.

Während hierzulande also noch debattiert wird, scheint anderswo bereits konkret an der Zukunft gearbeitet zu werden. So berichtete Craig Knight, einer der Gründer von Horizon Fuel Cell Technologies, der in Australien ansässig ist und viele Geschäfte mit China macht, dort herrsche gerade eine „Goldrauschmentalität“ in Sachen Wasserstoff und Brennstoffzellen. Er erklärte während der Hannover Messe: „Da ist seit zwei, drei Jahren ein riesiger Schwung rund um Automotive-Anwendungen mit Brennstoffzellen. Die chinesische Regierung steht 100 Prozent dahinter. Wasserstoff ist ein akzeptierter Teil im Transportsektor und wird ernsthaft durch die Regierung gefördert.“ Er machte unzweifelhaft deutlich, dass in China fast alle Automobilunternehmen an Brennstoffzellen arbeiten und gerade massiv Personal einstellen. Vor diesem Hintergrund könne er überhaupt nicht verstehen, dass in Deutschland die Entwicklung genau andersherum verlaufe. ||

HAT H2 MOBILITY ALLES IM GRIFF?

Über den Aufbau der H₂-Infrastruktur

Während der Ausbau der H₂-Infrastruktur allmählich voranschreitet, ergeben sich neben technischen und logistischen Herausforderungen auch konzeptionelle Fragen. So wurde während der Hannover Messe über die „Zuständigkeiten“ diskutiert. Wer „organisiert“ in Deutschland die Standortvergabe und auch die Vergabe der Finanzmittel? Und wer ist für welche Stationen zuständig?

Nach einhelliger Meinung ist seit ihrer Gründung H2 Mobility für den deutschlandweiten Aufbau von Wasserstofftankstellen verantwortlich – was aber so nicht ganz korrekt ist. H2 Mobility ist eine Gesellschaft, und deren Geschäftsführer Nikolas Iwan hat von den Shareholdern ein klares Mandat erhalten: Er soll – zeitlich befristet – die Interessen der Shareholder beim Infrastrukturausbau vertreten und die von ihnen bereitgestellten Finanzmittel sinnvoll verwalten.

Da es sich bei H2 Mobility um ein Konsortium mehrerer marktrelevanter Konzerne handelt und es zudem um die Etablierung einer neuen Technologie geht, gab das Kartellamt der Gesellschaft bei ihrer Gründung einige Auflagen mit auf den Weg. Um zu verhindern, dass H2 Mobility beziehungsweise die daran beteiligten Unternehmen eine marktbeherrschende Stellung einnehmen, darf das Konsortium maximal 400 H₂-Stationen aufbauen. Danach ist Schluss. Deshalb können die Mitarbeiter auch keine aussagekräftigen Antworten auf die Frage geben, wie denn das Konzept zur Aufstockung bis auf 1.000 Tankstellen aussieht.

Festzuhalten ist zum jetzigen Zeitpunkt, dass anfangs etwa 1 Mio. Euro Fördergelder pro Standort investiert wurden, aufgrund von Skaleneffekten aber bereits heute eine Kostenreduktion eingetreten ist, so dass die zu erwartenden Ausgaben weiter sinken dürften. In der Regel werden die H₂-Säulen an bereits bestehenden OMV-, Shell- oder Total-Tankstellen installiert. Teilweise werden auch eigenständige Betankungsanlagen aufgebaut, die dann meist von Air Liquide oder Linde betrieben werden. Damit sich die Investitionen in all diese Standorte rentieren und die Fördergelder nachhaltig Wirksamkeit entfalten können, werden die Shareholder ihre Stationen auch nach dem Ende von H2 Mobility weiterbetreiben, so zumindest ihre Zusage.

ES GEHT AUCH OHNE H2 MOBILITY Neben den Aktivitäten von H2 Mobility besteht auch für andere Unternehmen die Möglichkeit, H₂-Stationen aufzubauen, was allerdings bislang kaum geschehen ist. Aktuell plant beispielsweise GP Joule zwei Tankstellen in Husum und Niebüll, um die dort ebenfalls geplanten BZ-Busse mit Wasserstoff aus den fünf anvisierten Elektrolyseuren versorgen zu können – und auch die eventuell kommenden BZ-Züge. Gerüchteweise ist auch ein norddeutscher Energieversorger mit sera ComPress im Gespräch über die Errichtung einer Betriebstankstelle für Oldenburg in Niedersachsen.

Darüber hinaus soll auch – etwas weiter in der Zukunft – eine Station in Heide aufgebaut werden, und zwar im Rahmen des Vorhabens „Tankstelle der Zukunft“, das im Februar 2018 gestartet ist. Bei diesem vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) koordinierten Projekt sollen Strom, Wasserstoff und Methan

CLEAN ENERGY PARTNERSHIP

Die Zukunft der CEP war nach der Gründung von H2 Mobility lange Zeit ungewiss. Nach Beendigung der offiziellen Projektlaufzeit von CEP Ende 2016 entschieden sich jedoch 13 Partnerunternehmen, den Firmenzusammenschluss am Leben zu belassen (s. HZwei-Heft Juli 2017) und in einer vierten Auflage als unabhängiges Konsortium bis 2023 weiterzubetreiben – ohne Fördermittel. Von den ursprünglich 20 Unternehmen entschieden sich allerdings z. B. EnBW, Ford, General Motors, Siemens und Volkswagen auszusteigen. Dafür stieß Audi neu hinzu. Das Ziel der Industriepartnerschaft ist nun die sektorenübergreifende Etablierung von H₂- und BZ-Technologie am Markt und in der Gesellschaft.

aus regenerativen Quellen möglichst effizient, kostengünstig und bedarfsgerecht an einer Multienergiezapfsäule bereitgestellt werden. Für dieses Teilprojekt von *QUARREE100* werden über fünf Jahre rund 1,3 Mio. Euro vom Bundeswirtschaftsministerium bereitgestellt (s. HZwei-Heft Okt. 2017).

Wesentliches Ziel hierbei ist, jeweils die Variante mit den geringsten Energieverlusten zu wählen: Die Stufe 1 – Verwendung des regenerativen Stroms in Elektromotoren mit zehn Prozent Batteriespeicherverlusten – wird erst verlassen, wenn ihr Potenzial ausgereizt ist. Es folgt dann die Speicherung elektrischer Energie in Form von Wasserstoff mithilfe des alkalischen Druckelektrolyseurs und dann die Methanisierung (Wirkungsgrade 75 % bzw. 60 %). Dr. Ulrich Zuberbühler vom ZSW erklärte: „Mit unserem Vorhaben bleibt die Kopplung des Stromnetzes mit der Mobilität nicht auf Elektroautos beschränkt. Auch die anderen alternativen Antriebe profitieren davon.“ Der Demonstrationsbetrieb könnte ab dem Jahr 2020 starten.

H2.LIVE SOLL SICH ETABLIEREN Auf die Frage seitens *HZwei*, ob denn all diese Standorte auf den Übersichtskarten von H2 Mobility und NOW aufgelistet würden, antwortete eine Sprecherin des Firmenkonsortiums, dies sei sogar gewollt, um so eine gute Bedienerfreundlichkeit gewährleisten zu können. Sie betonte vor diesem Hintergrund zudem, dass auch das *H2.Live*-Logo verwendet werden könne und solle, da hierfür seitens H2 Mobility kein Copyright geltend gemacht würde (s. Interview). Die Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie nutzte demgegenüber bislang die die CEP-Landkarte, auf der die H₂-Standorte aufgelistet sind, die im Rahmen von NIP 1 oder 2 gefördert wurden. Hier soll es aber im Laufe dieses Jahres eine Veränderung geben, da die CEP seit diesem Frühjahr eigenständig arbeitet. ||

QUARREE100 ist ein mit 24 Mio. Euro gefördertes Leuchtturmprojekt zur vollständigen Energieversorgung eines Stadtteils von Heide mit grünem Strom.

FÜNF FRAGEN AN H2 MOBILITY

Ist es gewollt, dass Unternehmen oder Initiativen auch unabhängig von H2 Mobility Wasserstofftankstellen in Deutschland aufbauen?

H2M: Das ist gewollt und unbedingt notwendig. Zugespitzt formuliert: H2 Mobility hat als Unternehmen, das plant, baut und betreibt, seine Mission genau dann erfüllt, wenn es sich überflüssig gemacht hat, wenn also andere Unternehmen den Aufbau weiter vorantreiben und entsprechende Skaleneffekte dazu geführt haben, dass die Infrastrukturkosten deutlich reduziert werden konnten. H2 Mobility schafft in den nächsten Jahren eine erste Grundversorgung, geht in Vorleistung, bündelt Kompetenz und generiert Skaleneffekte, die selbst eine größere Zahl an Einzelakteuren in dieser frühen Phase nicht schaffen könnte. Deshalb wünschen wir uns eine enge Kooperation mit anderen Akteuren.

Falls jemand gewillt ist, eine eigene H₂-Station zu errichten, sollte er den Kontakt zu Ihnen suchen? Falls ja, welche Art der Unterstützung würden Sie anbieten?

H2M: Wir wünschen uns, dass man Kontakt aufnimmt, denn zum einen wollen wir in der H2.LIVE-App alle öffentlichen H₂-Tankstellen für Pkw abbilden, zum anderen können wir alle voneinander lernen. Natürlich können keine Betriebsgeheimnisse geteilt werden, aber zum Beispiel Erfahrungen bei der Antragsstellung. Außerdem ist nicht ausgeschlossen, dass man in Teilaspekten kooperiert und beispielsweise eine gemeinsame Logistik nutzt.

Würde solch ein Standort auf der Landkarte der H2.LIVE-App aufgelistet?

H2M: Wir wünschen uns im Sinne aller H₂-Pioniere eine Abbildung aller öffentlichen H₂-Stationen – im besten Fall in ganz Europa – auf der Karte der H2.LIVE-App. Die stellen wir übrigens inklusive aller zukünftigen Updates jedem kostenlos zur Einbindung auf Webseiten zur Verfügung.

Wollen Sie eine Landkarte anbieten, auf der wirklich alle H₂-Standorte verzeichnet sind?

H2M: Das Kriterium für uns ist, dass Tankstellen öffentlich zugänglich sind und eine 700-bar-Betankungsmöglichkeit anbieten.

Wer hat eigentlich das H2.LIVE-Logo entworfen und wofür soll beziehungsweise darf es genutzt werden?

H2M: Die Rechte am Logo hält die H2 Mobility. Es ist aber in unserem Interesse, dass „Wasserstoff-Tanken“ wiedererkannt werden kann. Gerne stellen wir unser Signet zur Verfügung. Um Missbrauch zu verhindern, bitten wir aber um eine Rückmeldung, wo es zur Anwendung kommt. ||



iSEnEC 2018
Integration of Sustainable Energy
EXPO & CONFERENCE

DIE WELT VERNETZT SICH. SIND SIE DABEI?

Die Integration of Sustainable Energy Expo & Conference bringt Industrie, Forschung und Politik zusammen: Hier treffen sich Fachleute, Referenten und Aussteller aus allen Bereichen der Energiebranche.

**Zum interdisziplinären Austausch.
Für nachhaltige Energiekonzepte.
Und eine Zukunft mit System.**

**ENTDECKEN SIE EIN TREFFEN
VOLLER ENERGIE:**

www.isenec.org/teilnehmen

17 – 18 July 2018
Exhibition Centre Nuremberg, Germany



Dr. Yves Bock

General Counsel Energy Management/
Legal and Compliance, Siemens AG, Erlangen



Foto: Stefan Kaminski

Dr. Toni Hofreiter

Fraktionsvorsitzender Bündnis 90/
DIE GRÜNEN im Dt. Bundestag

Prof. Dr. Robert Schlögl

Direktor Fritz Haber Institute of the Max Planck
Society, Department of Inorganic Chemistry, Berlin



... und
viele mehr
auf der iSEnEC
2018!



Foto: Ethikrat/R. Zensen

Prof. Dr. Peter Dabrock

Lehrstuhlinhaber für systematische Theologie II,
FAU Erlangen-Nürnberg, Erlangen

Gefördert durch



Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft und Medien, Energie
und Technologie

PROFESSOR SCHUHS E.GO

Elektro-Kleinwagen für 10.000 Euro

Eine Liste für Vorbestellungen zu eröffnen ist bei Pionieren der Elektromobilität beliebt – siehe Elon Musk bei Tesla. Und so macht es auch Prof. Günther Schuh. Er ist Produktionsexperte und baute zuerst einen elektrischen Transporter für die Post. Jetzt geht sein Stadtauto in die Serienfertigung. Bereits 2.900 Kaufwünsche für den Flitzer e.GO Life stehen auf Schuhs Liste.

Professor Schuh hat den Lehrstuhl für Produktionssystematik an der RWTH in Aachen inne und ist zudem Gründer und Geschäftsführer der Firma e.GO Mobile AG. Nun muss er liefern: Seit Mai 2018 laufen im Werk 1 in Aachen die ersten Straßenflitzer *e.GO Life* vom Band. Die gesamte Fabrik soll Mitte Juli eröffnen. Ende des Jahres sollen dann die ersten Kunden ihren Wagen fahren dürfen.

1.000 Autos sollen in diesem Jahr verkauft werden. Etliche Käufer werden also etwas länger auf ihren *e.GO* warten müssen. Wie Tesla plant auch Prof. Schuh einen schnellen Hochlauf der Produktionskapazitäten. Ab 2019 ist eine Produktion von 10.000 Fahrzeugen geplant. Ab dem dritten Quartal soll dann auf einen Zweischichtbetrieb umgestellt werden, erklärt er. „Dann rollt alle zehn Minuten ein *e.GO* vom Band“, verspricht der promovierte Ingenieur.

Elektrische Autos brauchen laut dem Autoprofessor nicht die gleiche Reichweite wie Autos mit Verbrennungsmotor. Deshalb hat sich das Start-up aus Aachen auf ein Fahrzeug konzentriert, das vor allem für kürzere Strecken und Pendler interessant ist. Es verfügt über vier Sitze und eine Reichweite von 130 bis 200 Kilometern – je nach Anzahl der eingebauten Lithium-Akkus. Im realen Stadtbetrieb sind allerdings rund 20 Prozent der Kilometer abzuziehen.

Für die Kaufinteressenten ist – neben aller Liebe und Leidenschaft – insbesondere der Preis ein schlagendes Argument: Das Modell mit 14,9 kWh für 136 Kilometer wird 15.900 Euro kosten, verkündete Schuh. Zieht man die Kauf-

prämie für Elektroautos von 4.000 Euro sowie die Mehrwertsteuer ab, bleiben etwa 10.000 Euro. Je nach Größe der Batterie erhöht sich der Gesamtpreis: Das zweite Modell mit einer 17,9-kWh-Batterie kostet 17.400 Euro, und das Modell mit der größten Batterie von 23,9 kWh ist für 19.900 Euro zu haben.

Mit der Preisvorgabe von 10.000 Euro im Hinterkopf hatte Günther Schuh seinerzeit den *Streetscooter* für die Post entwickelt. Die Post hat die Firma in Aachen später gekauft und fertigt nun 35 Transporter pro Tag. „Diese Erfahrungen flossen in den *e.GO Life*, ein Modell für private Fahrer und gewerbliche Fuhrparks sowie Pflegedienste“, erklärt er. Der Elektromotor, der als Startermotor von vielen Autokonzernen genutzt wird, kommt von Bosch und wird mit 48 Volt betrieben. Vorteil: Die Werkstätten und Servicestationen von Bosch können auch eventuelle Reparaturen am *e.GO* übernehmen. „Allerdings ist der Servicebedarf bei Elektromotoren viel geringer als beim Verbrennungsmotor“, weiß der Streetscooter-Mitbegründer. Denn im Elektroauto gibt es kaum noch bewegte oder heiße Teile.

Zum Vergleich veranschaulicht Schuh: „Ein BMW 5 hat rund 150 bewegte Teile, der *e.GO Life* kaum ein Dutzend.“ Auch die Bremscheiben werden weniger beansprucht und halten somit viel länger, weil der Elektromotor Bewegungsenergie beim Bremsen durch Rekuperation zurückgewinnt, indem er als Generator läuft und so die Batterie lädt.

ALS NÄCHSTES EIN KLEINBUS Aber nicht nur an einem Pkw, sondern auch an einem Elektrokleinbus für die Stadt arbeitet das Start-up. Der heißt *e.GO Mover*, soll ab Mitte 2019 produziert werden und kann bis zu 15 Personen transportieren. In diesem Jahr fahren bereits Prototypen in verschiedenen Pilotprojekten.

Elektrische Transporter oder Busse am Markt zu kaufen, kann sich durchaus als schwierig erweisen, erst recht wenn viele Exemplare benötigt werden. Das mussten auch die Berliner Verkehrsbetriebe im Rahmen einer Ausschreibung für 45 Busse erfahren, als sie nur ein einziges Angebot erhielten und die Frist verlängern mussten. Die BVG hat sich nun in China die Busse des Autoherstellers BYD zeigen lassen.

Auch deshalb baut die Post seit vier Jahren selbst einen Transporter. Insgesamt 5.500 *Streetscooter* fahren heute durch deutsche Innenstädte. Das mehrheitlich private Logistikunternehmen ist damit zu einem der führenden Hersteller für Elektrotransporter aufgestiegen. Nun will die Post auch ein Modell mit Brennstoffzellen auf die Straße bringen. „Wir planen, bis Ende 2019 eine Flotte von einigen Hundert Fahrzeugen zu Erprobungszwecken in die Konzernflotte von Deutsche Post DHL Group einzuführen“, so Achim Jüchter, Leiter des Bereichs Range-Extender-Systeme bei Streetscooter, gegenüber *HZwei*. Mehr will er noch nicht verraten. Vorbestellungen sind sicher schon möglich. ||



Prof. Günther Schuh

Quelle: e.GO Mobile

30



Quelle: e.GO Mobile

BRENNSTOFFZELLE KOMMT SICHERLICH NACH 2025

Daimler und Ford beenden AFCC

Auf der Hannover Messe zeigte sich im Elektromobilitätssektor bei den Automobilherstellern das bereits bekannte Bild: Während Hyundai und Toyota mit ihren BZ-Modellen auf den Markt drängen, halten sich die deutschen Konzerne mit Neuerungen nach wie vor zurück. So durfte die Daimler-Mitarbeiterin am Stand von H2 Mobility so gut wie nichts Konkretes zur weiteren E-Mobility-Strategie sagen. Stattdessen hatte Prof. Christian Mohrdieck, Leiter des Bereichs Antriebsentwicklung Brennstoffzellensystem bei Daimler und Geschäftsführer der NuCellSys GmbH, bereits kurz vor der Messe Folgendes zu Protokoll gegeben: „Wir sind erst am Anfang. Ich denke, Mitte der nächsten Dekade – aber sicherlich nach 2025 – wird die Relevanz der Brennstoffzelle generell und für den Transportsektor signifikant steigen. Ich meine damit keine plötzliche Explosion. Es wird wahrscheinlich immer noch ein einstelliger Prozentsatz des globalen Marktes sein. [...] Damit eine Technologie den Durchbruch schafft, muss sie für beide Seiten – den Kunden und den Hersteller – attraktiv sein.“

Die Schwaben zeigten zwar ein Modell ihres *GLC F-Cell* auf dem *Gemeinschaftsstand Wasserstoff+Brennstoffzellen+Batterien*, bezeichnen dieses aber nach wie vor als Vorserienmodell und nannten bislang weder einen Preis noch Produktionszahlen. Feststehen dürfte indes, dass man die ersten Exemplare, die voraussichtlich noch in diesem Jahr hergestellt werden, weder verkaufen noch verleasen, sondern vermieten wird. Ob sie allerdings noch 2018 ausgeliefert werden, bleibt offen. Von Mohrdiecks Seite hieß es dazu: „Daimler bereitet sich momentan konsequent auf die Produktion des Mercedes-Benz *GLC F-Cell* vor. Der SUV wird im Mercedes-Benz-Werk Bremen gefertigt.“ Mutmaßungen hinsichtlich der zu erwartenden Stückzahlen reichten in Hannover von zehn bis 1.000, dürften tatsächlich aber wohl im niedrigen dreistelligen Bereich liegen.

Zahlreiche Gerüchte kursierten während der Gespräche in Halle 27 auch über die Bedeutung der Aufkündigung der Zusammenarbeit mit Ford in Kanada: Der

BZ-Stack von Daimler war in der Vergangenheit im Joint-Venture mit Ford bei der Automotive Fuel Cell Cooperation (AFCC) in British Columbia entwickelt worden. Der aus etwa 400 Einzelzellen bestehende Stack wurde bislang im benachbarten Unternehmen Mercedes-Benz Fuel Cell (MBFC) gefertigt, während anschließend das gesamte BZ-System im Daimler-Stammwerk in Untertürkheim zusammengebaut wurde. Nun lief aber die Zusammenarbeit mit Ford fristgerecht aus. Einige ehemalige AFCC-Mitarbeiter gehen anscheinend zu dem österreichischen Unternehmen AVL, das bekanntgab, im Mai 2018 ein neues Forschungs- und Entwicklungszentrum für Brennstoffzellentechnologie in Vancouver eröffnen zu wollen. Jürgen Rechberger von AVL erklärte dazu, dort solle jetzt die Wertschöpfungstiefe in Richtung Stack erhöht werden.

Aus Stuttgart kam dazu die Rückmeldung: „Die Daimler AG und die Ford Motor Company haben ihre gemeinsamen Entwicklungsziele im Bereich der Brennstoffzellen-Stack-Entwicklung erreicht. Ab Sommer 2018 werden die beiden Unternehmen die Entwicklungsaktivitäten unabhängig voneinander an ihren eigenen Standorten weiterführen. Die BZ-Technologie wird weiterhin eine wichtige Rolle innerhalb der Antriebsstrategien von Daimler und Ford spielen. Die Unternehmen prüfen die Möglichkeiten einer weiteren Zusammenarbeit im Bereich der künftigen Brennstoffzellen-Stack-Entwicklung.“

Weiter hieß es, die Schwaben wollten nun zur Vereinfachung der Abläufe sowohl die Fertigung als auch den Zusammenbau von BZ-Modulen im Stuttgarter Raum bündeln. Diese Arbeiten könnten somit zukünftig in Kirchheim-Nabern erfolgen, wo die NuCellSys GmbH sitzt, eine 100-prozentige Tochter der Daimler AG, die das BZ-Aggregat und das H₂-Speichersystem des *GLC F-Cell* entwickelt und die auch die ersten BZ-Prototypen aufgebaut hat. Von Ford hört man indes wenig, außer dass angeblich stärker an Brennstoffzellen gearbeitet wird, als es nach außen hin den Anschein hat. ||



Abb. 1: Daimler GLC F-Cell auf der Hannover Messe 2018

KOSTENEFFIZIENTE PRODUKTION VON BZ-SYSTEMEN

INN-BALANCE – Entwicklung neuer Balance-of-Plant-Komponenten

Im Rahmen des Vorhabens INN-BALANCE arbeitet ein Projektteam aus neun europäischen Institutionen an der Entwicklung einer neuen Generation von hocheffizienten Brennstoffzellensystemen, die sich durch ein an die industrielle Herstellung angepasstes Design der Balance-of-Plant- (BoP) sowie der BZ-Systemkomponenten auszeichnen sollen. Damit sollen die Kosten im Vergleich zu bestehenden Marktprodukten signifikant gesenkt werden. Der Startschuss für das durch die EU geförderte Projekt fiel im Januar 2017.

Die Gesamtarchitektur des neuen Brennstoffzellensystems basiert auf dem S3-Stack des Projektpartners PowerCell, der im Rahmen des Vorläuferprojekts *Autostack CORE* (von 2013 bis 2017 von FCH JU gefördert; s. S. 39, Abb. 3) als erste einheitliche europäische Automobil-Stack-Plattform entwickelt wurde.

Im ersten Projektjahr definierten die Partner zunächst die Systemanforderungen und entwickelten ein neues Gehäuse für den Brennstoffzellenstapel sowie entsprechende Betriebsstrategien für verschiedene Module. Die Architektur ist jetzt für einen Leistungsbereich von 80 bis 120 kW ausgelegt. Das Gehäusedesign wurde an die Einbaulage und die zu erfüllende Schutzart angepasst. Eines der Ziele war zudem, alle elektrischen Anschlüsse auf einer Seite zu bündeln.

Als Schnittstelle zwischen dem Brennstoffzellenstapel und den vorderen Teilen der Sub-Module wurde ein spezieller „Pod“ vorgesehen, der als Adapterplatte fungiert. Von dem Anodenmodul sind alle Teile entweder hier integriert oder am Stapel-Pod angegliedert. Nicht so das Kühlungs- sowie das Kathodenmodul, die aufgrund ihrer Größe eine geringere Integration in den Pod aufweisen.

Bei senkrecht positionierter Brennstoffzelle befinden sich am unteren Ende sowohl die Zufuhrventile als auch die Ablässe für Wasserstoff, Luft und Kühlmittel: insgesamt sechs Anschlüsse. Die Öffnungen sind für jede Flüssigkeit unterschiedlich, In- und Outlets haben aber jeweils die gleichen Größen und Formen. Die Kühlmittelzufuhr liegt direkt neben der Luftzufuhr, während die Wasserstoffzufuhr auf der gegenüberliegenden Seite am unteren Ende des Stapels installiert ist. Oben auf dem Stapel, auf derselben Seite wie die Kühlmittelablässe, ist ein Anschluss verbaut, mithilfe dessen eventuell im Kühlungszyklus eingeschlossene Luftblasen abgesaugt werden können. Damit sichergestellt ist, dass keine Luft innerhalb des Stapels eingeschlossen wird, muss ständig ein minimaler Kühlmittelfluss gewährleistet werden.

SYSTEMFUNKTIONALITÄTEN Im Rahmen von *INN-BALANCE* wurden spezielle Betriebsstrategien für das Anoden-, Kathoden- und Kühlungsmodul entwickelt. Die für das Anodenmodul gewählte Strategie sieht vor, eine integrierte Ejektor-/Injektorlösung anzuwenden, die ohne mechanische Rezirkulierungspumpe betrieben werden kann. Diese kompakte Lösung kann zwischen dem Ausfuhr- und dem Zufuhranschluss der Anode verbaut werden. Ein H_2 -Wärmeaustauscher für die Vorwärmung ist im Anodenmodul integriert, um eine Kondensation zu verhindern, wenn kalter, trockener Wasserstoff mit aus dem Stapel-Ausflussventil strömendem warmem, feuchtem Stickstoff und Wasserstoff vermischt wird. Dank dieser Lösung verfügt das Anodenmodul über eine mechanische Schnittstelle mit dem Hochtemperatur-Kühlungskreislauf.

Die Steuerung des Anodendurchlaufs durch den Stapel wird über den Zufuhrdruck des Ejektors/Injektors und die Anpassung der Injektornadel geregelt. Dieser Mechanismus wird durch ein sehr präzises und schnell reagierendes Ventil, das dem Ejektor/Injektor vorgeschaltet ist, und einen Schrittmotor für die Injektornadel gesteuert.

Im Kathodenmodul stellt der High-Speed-Turbokompressor, der von Celerton entwickelt wird, die wichtigste Balance-of-Plant-Komponente dar. An der Zufuhr des Kathodenmoduls zeichnet eine „Wetterstation“ die Umgebungsbedin-



gungen auf. Dieser vorgeschaltet ist ein spezieller BZ-Luftfilter, der direkt in das Fahrzeug montiert und mit der Zufuhr des Kathodenmoduls verbunden ist. Der benötigte Stapel-Zufuhrdruck bei Nennlast liegt oberhalb von 1 bar, was per Definition zu hohen Temperaturen des Kompressor-Luftausstoßes führt. Daher ist eine Luftkühlung notwendig, um den Membranbefeuchter vor thermischen Schäden zu schützen.

Für die Kompressorensteuerung wird ein Anschluss an eine 12-V-DC-Versorgungsspannung benötigt sowie für den Start eine 400-V-DC-Batterie, bevor die Umschaltung zur variablen Brennstoffzellenspannung möglich ist. Der Druck und der Durchfluss werden via CAN-Protokoll durch die Brennstoffzellensteuerung kontrolliert. Das Kathodenmodul verfügt über verschiedene Funktionalitäten, zum Beispiel einen fortlaufenden Befeuchter-Bypass, um die Feuchtigkeit im Stapel zu kontrollieren. Außerdem steuert ein Rückschlagventil Druck und Durchfluss unabhängig voneinander. Um beim Ausschalten Sauerstoff aus der Kathodenkammer pumpen zu können, wird die Kathode mit einer „Shut-off“-Funktion ausgestattet.

Das Kühlungsmodul weist aufgrund der hohen Integrierungsrate mit dem Fahrzeug und den anderen Sub-Systemen die kompliziertesten Schnittstellen auf. Der Niedrigtemperaturkreislauf kühlt den Kompressor, die Kompressorsteuerung und den Zwischenkühler. Der Hochtemperaturkreislauf verfügt über eine Schnittstelle mit dem Stapel, da der Kaltstart-Bypass Kühlmittelflüssigkeit benötigt, um ein schnelles Aufheizen zu ermöglichen.

INN-BALANCE

Das Projekt *INN*ovative Cost Improvements for *BALANCE* of Plant Components of Automotive PEMFC Systems wird durch die spanische Stiftung Fundacion Ayesa koordiniert und in Kooperation mit acht europäischen Partnern umgesetzt: Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG; AVL List GmbH; Volvo Personvagnar AB; PowerCell Sweden AB; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR); Universität Politecnica de Catalunya; Steinbeis 2i GmbH und Celeroton AG. Das Vorhaben wurde durch das Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking im Rahmen der Fördervereinbarung Nr. 735969 finanziert. Das Joint Undertaking wird durch das Rahmenprogramm der Europäischen Union für Forschung und Innovation sowie durch Hydrogen Europe und N.ERGHY unterstützt.

Zudem ist die Stapelkühlung mit dem Heizkreislauf für die Fahrzeugkabine verbunden, um diese zu erwärmen. Die einwandfreie Funktion des Kühlmoduls setzt eine akkurate Steuerung der Geschwindigkeiten aller Kühlpumpen voraus. Darüber hinaus bedürfen die Kühlungsventilatoren ebenso einer Steuerung wie die elektrischen Heizer und die Drei-Wege-Ventile, weshalb verschiedene Temperatursensoren eingebaut werden.

In den nächsten Monaten wird sich die Arbeit des Konsortiums auf die Entwicklung der einzelnen Module und der dazugehörigen Komponenten konzentrieren, darunter das kombinierte H₂-Injektions- und Rezirkulationssystem sowie der Luft-Turbo-Kompressor. Während des gesamten Prozesses wird ein sogenannter „Manufacturing-oriented-design“-Ansatz umgesetzt, um das Ziel kosteneffizienter und für die Kommerzialisierung ausgereifter Komponenten zu erreichen.

MANUFACTURING-ORIENTED DESIGN In die Prototypenentwicklung für die BoP-Komponenten fließen Simulationen der Lieferkette und des Herstellungsprozesses ein. Verschiedene Aspekte wie Produktspezifikationen, alternative

Materialien, Stückzahlen, Toleranz und Formen wurden daher bereits in der Entwurfsphase hinsichtlich der Kostenoptimierung der Komponenten berücksichtigt. Zu diesem Zweck wurde ein Optimierungsrahmen, basierend auf dem Simultanes-Design-Ansatz, aufgesetzt. Während des ersten Jahrs der *INN-BALANCE*-Projektlaufzeit wurde das globale Optimierungsmodul, das die Lieferkette und die Herstellungs- und Leistungsmodule umfasst, definiert. Zudem wurden die wichtigsten Parameter für das Design festgelegt und die Daten für den Herstellungsprozess gesammelt. Die Herausforderung besteht nun darin, die Datensammlung zu erweitern und die Optimierungen in die Entwürfe der Komponenten einzuflechten. ||

AUTOREN:

Dr. Marie-Eve Reinert,
Steinbeis 2i GmbH, Karlsruhe



Dr. Alicia Arce, Fundacion
Ayesa, Sevilla,
Spain (s. Foto)

Dr. Per Ekdunge,
PowerCell Sweden AB

Wystrachli
Worldwide art of precision.

30
1988-2018

30 years high pressure solutions for a sustainable **future.**

www.wystrach.gmbh

STAHLERZEUGUNG MIT GRÜNEM WASSERSTOFF

Wie realistisch ist eine CO₂-freie Stahlindustrie?

Um die sehr ambitionierten Klimaziele der Bundesregierung und der EU bis 2050 zu erreichen, wird eine Umstellung der Stromerzeugung alleine nicht ausreichen. In allen Wirtschaftszweigen bedarf es einschneidender Veränderungen, damit die Transformation in eine CO₂-freie Zukunft gelingen kann. So steht auch die Stahlindustrie, die rund sechs Prozent der CO₂-Emissionen in Deutschland erzeugt, vor großen Herausforderungen, um innerhalb der EU überleben zu können. Eine Option zur Reduktion ihres CO₂-Fußabdrucks könnte die Nutzung von grünem Wasserstoff und Strom aus erneuerbaren Quellen sein, und diese scheint durchaus technisch machbar. Aus heutiger Sicht wäre dies aber mit sehr hohen Kosten verbunden, die ohne Förderung von keinem Stahlwerk getragen werden können.

In Kooperation mit der ArcelorMittal Hamburg GmbH hat die Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg untersucht, wie sich der Prozess der Direktreduktion von Eisenerz auf 100 % Wasserstoff umstellen lässt (s. Abb. 1). Als Energiequelle kann Strom aus erneuerbaren Energien genutzt werden, so dass in diesem Fall von einem CO₂-freien Vorgang ausgegangen werden kann. Über eine Power-to-Gas-Anlage kann Wasserstoff erzeugt werden, der in den Prozess einge-

speist wird. Nach einer Vermischung mit rezykliertem Wasserstoff wird dann eine Aufheizung auf rund 900 °C, die für die chemische Reaktion erforderlich sind, erfolgen.

Im Schachtofen erfolgt dann die Reduktion von Erz zu metallischem Eisen und die anschließende Brikettierung. Zur Kenntlichmachung, dass es sich bei dem Ergebnis um ein neues Produkt handelt, wird der Begriff H2BI (= Hydrogen Hot Briquetted Iron) eingeführt. Bei der Reaktion wird Wasserstoff zu Wasserdampf oxidiert, was aufgrund eines chemischen Gleichgewichts aber nicht vollständig geschieht. Aus dem Schachtofen tritt somit eine Mischung aus Wasserstoff und Wasserdampf aus. Der Wasserdampf kann anschließend über Kondensation abgeschieden werden, so dass der verbleibende Wasserstoff wiederverwendet werden kann. Lediglich ein kleiner Anteil wird zur Vorwärmung des Reduktionsgases verbrannt.

Dieser zunächst hypothetische Gesamtprozess ist stark an einen klassischen Direktreduktionsprozess angelegt, wie er bei ArcelorMittal Hamburg seit 1971 in Betrieb ist. Der Hauptunterschied zum bisherigen Verfahren ist, dass der Dampfreformer durch einen Elektrolyseur ersetzt wird, so dass reiner Wasserstoff verwendet wird. Eine technische Umsetzung erscheint aus heutiger Sicht möglich.

34



Abb. 1: Reduktionsanlage der ArcelorMittal Hamburg GmbH

KONVENTIONELLE STAHLERZEUGUNG

Zur Herstellung hochwertiger Stahlgüter, wie sie zum Beispiel im Automobilsektor benötigt werden, ist eine Produktion auf Basis von Eisenerzen, die einen hohen Anteil an Eisenoxiden aufweisen, erforderlich. Nur so kann die geforderte Reinheit gewährleistet werden, um leichte und gleichzeitig hochfeste Stahlsorten herstellen zu können. Die Reduktion von Erz zu Eisen erfolgt heute zum Großteil in Hochöfen, die Koks als Reduktionsmittel einsetzen. Trotz einer sehr hohen Effizienz ist dieser Vorgang mit Emissionen von mehr als einer Tonne CO_2 pro Tonne Stahl verbunden. Ein alternativer Prozess, der beispielsweise bei der ArcelorMittal Hamburg GmbH genutzt wird, ist die sogenannte Direktreduktion. Hierbei wird Erdgas anstelle von Koks als Reduktionsmittel eingesetzt. Über einen Dampfreformer wird aus dem Erdgas ein Reduktionsgas erzeugt, das zu rund 60 % aus Wasserstoff besteht. Es stehen somit schon heute Prozesse zur Verfügung, die einen hohen Wasserstoffanteil verwenden.

Mit Hilfe von Simulationen wurde berechnet, dass der Wasserstoffbedarf bei rund 635 Nm^3 Wasserstoff pro Tonne H2BI liegt. Für eine Anlage mit einer Jahresproduktion von 1 Mio. Tonnen muss somit eine stündliche Wasserstoffmenge von 80.000 Nm^3 zur Verfügung stehen. Dies bedeutet, dass eine Power-to-Gas-Anlage mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 75 % eine Anschlussleistung von 375 MW benötigt. Im Vergleich zu heutigen Anlagen, die in der Regel in der Größenordnung 1 bis 6 MW liegen, stellt dies noch mal einen Quantensprung dar.

DILEMMA DER STAHLINDUSTRIE Die Stahlindustrie steht aktuell vor dem gleichen Problem wie die Energiebranche vor gut 20 Jahren: Es existieren Ideen und Konzepte, die innovativ und nachhaltig sind und dem Klimaschutz helfen, aber unter den aktuellen wirtschaftlichen Bedingungen bestehen keine Anreize, in eine entsprechende Technologie zu investieren. Dies soll anhand der folgenden Abschätzung gezeigt werden:

Ein wesentlicher Faktor sind die Kosten für den Strom, der die Basis für die Wasserstoffherzeugung darstellt. Als günstigste erneuerbare Energie steht Onshore-Wind zur Verfügung, der aktuell über das EEG mit rund 80 €/MWh vergütet wird. Zusätzlich müssen noch Kosten für die Absicherung eines kontinuierlichen Betriebs berücksichtigt werden, da eine H2BI-Anlage hohe Betriebsstunden pro Jahr aufweisen sollte. Somit erscheint ein Strompreis von 100 €/MWh als sinnvoll. Daraus ergeben sich Betriebskosten in Höhe von rund 37.500 Euro pro Stunde beziehungsweise Energiekosten in Höhe von 300 Euro pro Tonne H2BI. Als Referenzwert sind Umwandlungskosten für die Erzreduktion von rund 40 Euro pro Tonne anzusetzen, also weniger als ein Siebtel. Es ist offensichtlich, dass sich hiermit kein wirtschaftlicher Betrieb darstellen lässt, da die Margen im Bereich der Stahlindustrie aktuell deutlich niedriger liegen, so dass der CO_2 -freie Reduktionsprozess zu Verlusten führen würde.

Neben den reinen Betriebskosten sind zusätzlich auch die Investitionskosten zu berücksichtigen. Eine vergleichbare Direktreduktionsanlage mit einer Jahresproduktion von 1 Mio. Tonnen würde rund 300 Mio. Euro kosten. Betrachtet man für die H2BI-Herstellung zunächst nur die Elektrolyseure, so käme man mit rund 3 Mio. Euro pro installiertem

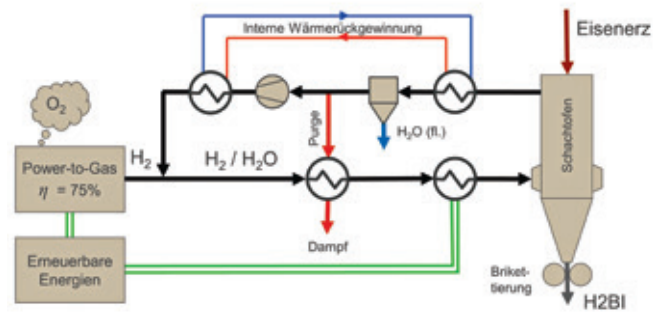


Abb. 2: Konzept für einen wasserstoffbasierten Reduktionsprozess

MW auf einen Investitionsbedarf von 1,12 Mrd. Euro. Auch hier ist zu erkennen, dass die neue Technologie einer betriebswirtschaftlichen Prüfung nicht standhält.

Somit stellt sich die Frage, durch welche Maßnahmen sich eine Investition in eine wasserstoffbasierte Stahlerzeugung lohnen könnte.

Großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben die Stromkosten, die aber nur begrenzt verändert werden können. Selbst eine Absenkung auf das Niveau der Börsenpreise der EEX von rund 35 €/MWh würde nicht ausreichen. Es müssten Preise von rund 13 €/MWh erzielt werden, was nur durch politische Eingriffe möglich wäre. Eine weitere Option wäre die Erhöhung der Kosten für CO_2 -Zertifikate – also die dramatische Verteuerung der konventionellen Stahlerzeugung. Da dieser Mechanismus aber nur auf die EU begrenzt ist, würde dadurch die europäische Stahlindustrie im Vergleich zum Wettbewerb geschwächt werden. In Zeiten von großen Überkapazitäten wäre das nicht der Beginn des Wasserstoffstahls, sondern das Ende der europäischen Stahlindustrie.

Eine weitere Möglichkeit wäre die Einführung von CO_2 -Zöllen auf Stahlprodukte. Hierüber würden sich innerhalb der EU alle Stahlerzeugnisse entsprechend ihrem CO_2 -Fußabdruck verteuern und Wasserstoffstahl könnte sich im Markt behaupten. Vor dem Hintergrund des freien Welthandels und der Globalisierung erscheint dieser Weg aber ebenfalls wenig realistisch.

FAZIT Die Stahlindustrie ist aktiv auf der Suche nach neuen Lösungen für klimafreundlichere Prozesse. Grüner Wasserstoff könnte aus technischer Sicht einen wichtigen Beitrag dazu leisten und in der Stahlindustrie zu einer Reduktion der Emissionen führen. Ein mögliches technisches Verfahren dazu wurde simuliert und bewertet. Der technischen Machbarkeit steht allerdings eine sehr schlechte Wirtschaftlichkeit gegenüber, so dass es aktuell keine Anreize gibt, in eine entsprechende Technologie zu investieren. Eine Änderung der Rahmenbedingungen könnte die Wirtschaftlichkeit verbessern, was aber nur durch gesetzgeberische Mittel erzielt werden könnte. ||

Literatur

□ Hölling, M.; Weng, M.; Gellert, S., Bewertung der Herstellung von Eisenschwamm unter Verwendung von Wasserstoff, Stahl und Eisen 6/2017, S. 47-53.



AUTOR

Prof. Dr.-Ing. Marc Hölling
Hochschule für Angewandte Wissenschaften
(HAW) Hamburg

→ marc.hoelling@haw-hamburg.de

REVERSIBLER ELEKTROLYSEUR IM EINSATZ

GrInHy – Sunfire erprobt RSOC-Anlage in Salzgitter

Auch wenn der Einsatz von nachhaltig erzeugtem Wasserstoff derzeit noch nicht wirtschaftlich ist, laufen momentan – ergänzend zu den Simulationen (s. S. 36) – Demonstrationsvorhaben, anhand derer die generelle Eignung von grünem Wasserstoff in der Stahlindustrie untersucht werden soll. Ein entsprechendes Forschungsprojekt auf europäischer Ebene ist GrInHy, für das sich ein Firmenkonsortium, bestehend aus acht Unternehmen aus Deutschland, Italien, Spanien, Finnland und Tschechien, zusammengefunden hat, um die reversible Elektrolýsetechnologie von Sunfire (RSOC: reversible solid oxide electrolyzer cell) in die Fertigungsprozesse bei der Salzgitter Flachstahl einzubinden.

Für den Elektrolyseprozess wird heißer Wasserdampf als Spaltprodukt in dem 20-Fuß-Container eingesetzt (s. Abb. 1). Für die Dampferzeugung wird Abwärme aus der Stahlproduktion genutzt, wodurch nach Aussage des Dresdner Herstellers ein elektrischer Wirkungsgrad von 80 Prozent erreicht wird. Das erzeugte H₂-Gas (3,7 kWh pro Nm³; 40 Nm³ pro Stunde) wird in das bestehende Wasserstoffnetz des integrierten Hüttenwerks eingespeist. Später kann dieses Gas oder wahlweise Erdgas im Brennstoffzellenbetrieb mit 30 kW elektrischer Ausgangsleistung zur Stromerzeugung herangezogen werden. Die auf diese Weise freigesetzte elektrische Energie kann unter anderem zur Netzstabilisierung oder dem internen Lastma-



Sunfire Electrolysis Module GrInHy 1

Das Vorhaben *Green Industrial Hydrogen via reversible high-temperature electrolysis (GrInHy)* läuft seit August 2016 im Rahmen des *Horizon-2020-EU-Förderprogramms*. Es geht dabei um die praktische Erprobung von Festoxidelektrolysezellen (solid oxide electrolyzer cells – SOEC) zur Herstellung von grünem Wasserstoff in der Stahlproduktion.

In Salzgitter wurde im Juni 2017 ein Hochtemperatur-elektrolyseur der 2010 gegründeten Sunfire GmbH mit einer Eingangsleistung von 150 Kilowatt installiert und im Oktober 2017 in Betrieb genommen. Das Besondere an dieser *SynLink-SL40-Anlage* ist, dass sie reversibel verwendbar ist, also nicht nur als Elektrolyseur, sondern auch in anderer Richtung als Brennstoffzelle eingesetzt werden kann. Somit kann in ein und demselben Aggregat zunächst Wasserstoff erzeugt und anschließend verstromt werden.

nagement dienen. Die ebenfalls erzeugte thermische Energie wird in einem Kraft-Wärme-Kopplungsprozess wieder dem Stahlproduktionsprozess zugeführt.

Der Wasserstoff wird außerdem innerhalb der Stahlproduktion zur Erzeugung einer reduzierenden Schutzgasatmosphäre in Glühöfen verwendet. Der Wasserstoff dient

STAHL- UND CO₂-PRODUKTION

Über 42 Mio. Tonnen Rohstahl wurden 2016 in Deutschland produziert. Pro Tonne Rohstahl werden durchschnittlich 1,34 t CO₂ erzeugt. Damit verursacht die Stahlindustrie rund ein Drittel aller CO₂-Emissionen innerhalb der Industriebranche und etwa zehn Prozent der CO₂-Emissionen in Deutschland.

SALCOS®

Ähnlich wie ArcelorMittal (s. S. 36) arbeitet auch Salzgitter Flachstahl an der Direktreduktion. Das niedersächsische Unternehmen verfolgt das Ziel, mittelfristig Koks durch Erdgas und Wasserstoff zu substituieren und dadurch die CO₂-Emissionen zu reduzieren. Die verschiedenen Maßnahmen, zu denen auch GrInHy zählt, laufen unter dem Slogan SALCOS – SALzgitter Low CO₂ Steelmaking. Erste Ergebnisse des GrInHy-Vorhabens werden während des *European SOFC and SOE Forums*, das vom 3. bis 6. Juli 2018 in Luzern, Schweiz, stattfindet, präsentiert.

dabei dem Ausschluss von Sauerstoff und verhindert somit die Oxidation des Stahls während des Glühprozesses. Bislang wurde hierfür per Erdgasreformierung extern hergestellter Wasserstoff genutzt. Indem nun grüner Wasserstoff eingesetzt wird, verbessert dies die Umweltbilanz des Endproduktes und reduziert gleichzeitig die CO₂-Emissionen (Product Carbon Footprint; s. obiger Kasten).

Vergleichbare RSOC-Anlagen von Sunfire gingen im Februar 2016 in die USA zu Boeing und im September 2017 nach Karlsruhe, um die dortige Total-Tankstelle mit Wasserstoff zu versorgen (s. HZwei-Heft Okt. 2017).

LINZER ANLAGE GEHT ENDE 2018 IN BETRIEB Währenddessen gehen auch die Arbeiten in Österreich voran: Das Firmenkonsortium *H2Future* startete im April 2018 mit den Baumaßnahmen auf dem Gelände der voestalpine AG in Linz (s. HZwei-Heft Juli 2017). Dort soll nach Angaben des österreichischen Industriegüterkonzerns die „weltweit größte Pilotanlage zur Herstellung von grünem Wasserstoff“ in der Stahlproduktion entstehen. Der Vorstandsvorsitzende Wolfgang Eder erklärte: „Das Ziel dabei ist es, echte ‚Breakthrough-Technologien‘ zu erforschen, die in etwa zwei Jahrzehnten im großtechnischen Stil anwendbar sein könnten.“ Ende 2018 soll der von der EU geförderte 6-MW-PEM-Elektrolyseur von Siemens in Betrieb gehen. Im Rahmen des 18 Mio. Euro teuren Vorhabens sollen dann 1.200 Kubikmeter Wasserstoff pro Stunde erzeugt werden. Offizieller Starttermin für das auf zwei Jahre angelegte Versuchsprogramm ist Frühjahr 2019.

DER WEG ZU FOSSILFREIEM STAHL Ein weiteres internationales Projekt läuft derzeit in Schweden, wo sich LKAB,

„Wenn es die Kohle nicht mehr sein soll, dann muss es eben Wasserstoff sein. [...] Wir machen der Politik ein Angebot in großtechnischem Maßstab, das in der Bilanz was ausrichten kann.“

*Prof. Heinz Jörg Fuhrmann,
Vorstandsvorsitzender Salzgitter AG*

„Neben technologischen Überlegungen entscheiden aber letztendlich politische Rahmenbedingungen und Wirtschaftlichkeitskriterien darüber, ob die CO₂-reduzierte Stahlherstellung [...] ein erfolgsversprechendes Projekt oder eine wünschenswerte Vision ist.“

Salzgitter Flachstahl

„Dieses Projekt ist eine Initialzündung für die politische Debatte in Berlin.“

Olaf Lies, niedersächsischer Umweltminister

SSAB und Vattenfall zusammengetan haben. Im Juni 2017 starteten die drei Unternehmen aus der Bergbau-, Stahl- und Energieindustrie das Joint Venture *HYBRIT – Der Weg zu fossilfreiem Stahl*. Gemeinsam wollen die drei schwedischen Konzerne den Ersatz von Koks und Kohle durch Wasserstoff bei der Stahlherstellung vorantreiben. Jan Moström, Präsident und CEO von LKAB, sagte: „Die Gründung unseres Joint Ventures zur Entwicklung von *HYBRIT* zeigt unsere Überzeugung, dass es möglich ist, eine Kette ohne fossile Brennstoffe vom Bergwerk bis zum Stahlwerk zu entwickeln. Wenn wir erfolgreich sind, wird dies ein technologischer Durchbruch sein, ein globaler Beitrag zur deutlichen Begrenzung des Klimawandels.“

Eines der Ziele ist, dass Schweden bis 2045 fossilfrei wird. Daran soll bis 2035 im Rahmen dieses Forschungsverbundes mit Unterstützung der schwedischen Energieagentur gearbeitet werden. Zunächst wurde eine Vorstudie initiiert, es folgen Forschungs- und Pilotanlagenversuche bis 2024 sowie der Aufbau einer Demonstrationsanlage bis 2035.

WASSERSTOFF FÜR SINTERPROZESSE Auch HyGear orientiert sich verstärkt in Richtung Metallindustrie und schloss Mitte April 2018 einen langfristigen Liefervertrag für die Bereitstellung von Wasserstoff mit einem weltweit führenden metallurgischen Unternehmen ab, das das Gas in seinem großtechnischen Sinterprozess einsetzen möchte. Um die Grundversorgung mit Wasserstoff gewährleisten zu können, wird das niederländische Unternehmen einen *Hy. GEN®*-Elektrolyseur installieren. Kurzzeitige Bedarfsspitzen sollen dann über Trailerlieferungen abgedeckt werden. Vertriebsleiter Niels Lanser erklärte: „Mit der Unterzeichnung dieses Vertrags stärken wir unsere Präsenz in der Metallindustrie, die nach der Flachglas- und Lebensmittelindustrie unser dritter Wachstumsmarkt ist.“

Reiner Wasserstoff gilt für das Hochtemperaturesintern von Metallpulvern während der Verdichtungsphase als effektivste Schutzatmosphäre. Das Gas hilft dabei, die Korrosionsbeständigkeit und wichtige Eigenschaften bei der Dichteregulierung zu maximieren und die Bildung von Oberflächenoxiden beziehungsweise von Verunreinigungen der Legierungen zu reduzieren. ||

37

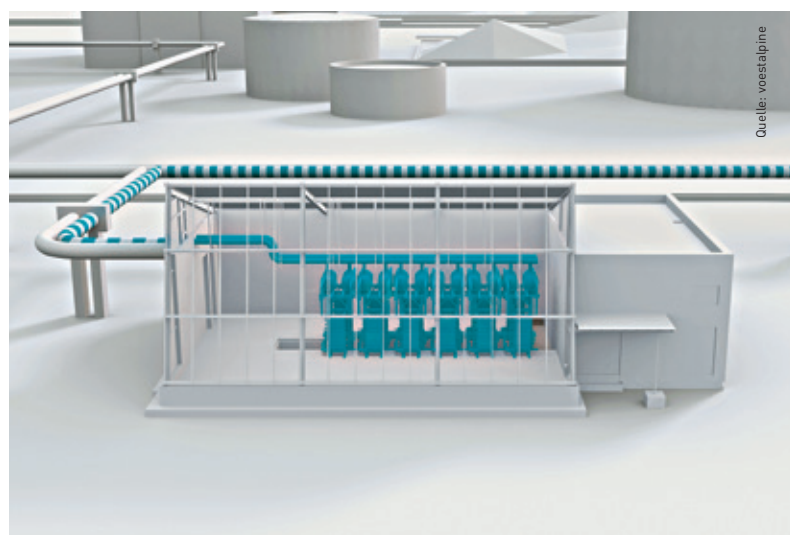


Abb. 2: Einbindung der H₂-Anlage ins Stahlwerk Linz

GRAPHIT KONTRA METALL

Die tragende Funktion von Bipolarplatten



Bipolarplatten sind Kernelemente eines jeden PEM-Brennstoffzellen-Stacks. Über sie wird die Zufuhr von Wasserstoff sowie Luft und auch die Abfuhr von Wasserdampf beziehungsweise Abgabe von thermischer und elektrischer Energie geregelt. Die Gestaltung ihres Flow-Fields hat einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe des Wirkungsgrads des gesamten Aggregats. Dabei können sich Bipolarplatten deutlich voneinander unterscheiden – sowohl hinsichtlich ihrer Größe als auch in Bezug auf ihre Herstellungsweise.

Grundsätzlich lässt sich Folgendes feststellen: Je größer die Platten, desto höher ist die Stromstärke einer Einzelzelle, da mit ihrer Größe auch die wirksame Fläche der Polymer-Elektrolyt-Membranen (PEM) korrespondiert. Und je mehr Wasserstoff pro Zeiteinheit umgesetzt werden kann, desto höher ist der Stromfluss.

Pro Zelle sind zwei Bipolarplatten erforderlich – auf der Anodenseite für die Wasserstoffzufuhr und auf der Kathodenseite für die Luftzufuhr. Wird nun die Anzahl der Zellen gesteigert, erhöht sich – parallel zur Verdoppelung der Plattenanzahl – auch die Spannung, da jede Einzelzelle in der Regel etwa 1 Volt erzeugt.

Neben der Medienzu- und -abfuhr sind Bipolarplatten auch für das Strom- sowie das Wärmemanagement zuständig. Die infolge der chemischen Reaktionen anfallende Wärme muss aus dem Brennstoffzellenstapel abgeführt und so weit wie möglich nutzbar gemacht werden. Und der erzeugte Strom muss mit

möglichst geringen Verlusten abgeleitet werden. Gleichzeitig muss auf der Anodenseite die Membran befeuchtet und auf der Kathodenseite das Reaktionsprodukt Wasser abgeführt werden. Zudem müssen Reaktionsgase sowie Kühlmedien voneinander getrennt und alles gut abgedichtet werden.

Für all diese Aufgaben kommen unterschiedliche Materialien in Frage, die eine gute elektrische und auch thermische Leitfähigkeit besitzen und außerdem eine hohe Haltbarkeit unter den gegebenen Betriebsbedingungen gewährleisten – wahlweise hochkonzentriertes Graphit beziehungsweise Graphit-Kunststoff-Mischungen oder auch Metall.

GRAPHITPLATTEN Kohlenstoff besitzt generell eine gute elektrische Leitfähigkeit. Allerdings ist Graphit, eine Sonderform der C-Atomanordnung, sehr spröde und kann bei unvorsichtiger Handhabung (Erschütterung, ungleichmäßiges Anziehen der Schrauben) leicht zerbrechen. Trotzdem werden in der Brennstoffzellentechnik insbesondere im stationären Bereich, wo der Bauraum kein limitierender Faktor ist, häufig Graphitplatten verwendet. Bei ihnen wird das Flow-Field in der Regel per Extrusion, durch Heißpressen, Fräsen oder Spritzgießen erzeugt.

Unternehmen wie die Centroplast Engineering Plastics GmbH oder die Eisenhuth GmbH & Co. KG, die beide auch in Hannover ausstellen, arbeiten daran, Composite-Materialien aus Graphit und Hochtemperaturkunststoffen einzusetzen, da diese widerstandsfähiger in aggressiven Umgebungen sind. Die Herausforderung liegt insbesondere in ihrer Lebensdauer, da Graphitplatten im stationären Bereich 30.000 bis 50.000 Betriebsstunden überdauern müssen, während im mobilen Sektor meist 5.000 Stunden ausreichen. Die Produktion einer einzelnen Graphitplatte dauert zwar etwas länger als die einer metallischen Platte, kann durch die gleichzeitige Fertigung mehrerer Exemplare in Serie aber durchaus im Minutentakt erfolgen.

METALLISCHE BIPOLARPLATTEN Demgegenüber sind Metallplatten robuster, weshalb sie häufiger beispielsweise im Automobilsektor Anwendung finden. In der Regel werden jeweils zwei Platten miteinander verschweißt, so dass das Kühlmittel dann quer zum Flow-Field hindurchfließen kann.

Ein seit etlichen Jahren gut in der BZ-Branche etablierter Anbieter ist borit NV. Das belgische Unternehmen, das 2010

- Die Anzahl der Zellen innerhalb des Stacks bestimmt die Spannung.
- Die Größe der Membranfläche bestimmt die Stromstärke.
- Die Größe des Brennstoffzellen-Stacks bestimmt die Leistung.
- Die Größe des Brennstoffreservoirs bestimmt die Betriebsdauer.

Ein Viertel bis ein Drittel der Kosten von BZ-Systemen entfallen auf Bipolarplatten. Und ein Viertel bis ein Drittel der Kosten von Bipolarplatten entfallen auf die Beschichtung.

als Spin-off der OCAS NV und der borit Leichtbau-Technik GmbH startete, baut auf ein werkzeugschonendes Hydroformverfahren namens *Hydrogate™*, bei dem eine möglichst gleichmäßige Druckverteilung mit Wasser erzeugt wird. Hierbei werden Bleche mithilfe des Wasserdrucks mit bis zu 1.800 bar gegen ein Werkzeug gedrückt. Auf diese Weise können auch komplexe Geometrien erzeugt werden, selbst in



Abb. 2: Dana lieferte unter anderem die Bipolarplatten für den Autostack



Abb. 3: Dr. Joachim Kroemer von borit präsentiert eine Metallplatte

Kleinserien, ohne dass Metall über Metall kratzt. Üblicherweise kann das Bauteil hierbei in einem Schritt umgeformt werden, während beim Tiefziehen mitunter bis zu sechs Schritte erforderlich sind. Das patentierte *Hydrogate*-Umformverfahren basiert auf einer Erfindung von Dr. Dirk Bohmann von der borit Leichtbau-Technik GmbH.

AUTOSTACK FÜR NIKOLA Auch Dana Inc., ein großer Automobilzulieferer aus den USA, ist in diesem Sektor aktiv, obwohl der Konzern mit seinen über 25.000 Mitarbeitern weltweit hauptsächlich im Bereich der Verbrennungskraftmaschinen agiert. Seit Jahren beschäftigt sich das nordamerikanische Unternehmen aber auch mit der Elektrifizierung der Antriebstechnik – insbesondere über das deutsche Tochterunternehmen Reinz Dichtungs GmbH auch im Bereich der Brennstoffzellentechnik. Dabei fertigt es Bipolarplatten sowohl aus Edelstahl als auch aus Graphitverbundstoff, wobei dem Neu-Ulmer Unternehmen insbesondere das firmeneigene Know-how im Bereich des Laserschweißens zugutekommt.

So entwickelte Dana zunächst für das seit 2010 laufende Projekt *Autostack CORE 1 + 2* eine Bipolarplatte und optimierte diese dann im Rahmen der Folgevorhaben *Autostack Industry*. Ziel dieser Projekte war insbesondere die Senkung der Kosten und die Verbesserung der Qualität von Brennstoffzellen im Automotive-Sektor, um die Möglichkeiten für die Produktion in großem Maßstab zu verbessern. Wie Ende 2017 bekannt wurde, wird die schwedische Firma PowerCell, die als Projektpartner die Lizenz zur Vermarktung bekommen hat, ihren auf dem *Autostack* basierenden S3-Stack unter anderem an den US-amerikanischen H₂-Truck-Hersteller Nikola liefern.

Ebenfalls seit vielen Jahren in diesem Bereich aktiv ist auch Gräbener Maschinenteknik, die sich allerdings als Anlagenbauer vornehmlich um die Produktion der Fertigungsmaschinen kümmert. Aufgrund häufiger Nachfragen hat das Unternehmen aus Netphen-Werthenbach allerdings inzwischen sein Portfolio so weit ausgedehnt, dass es neben den Hydroforming-Anlagen auch die gesamte Produktionskette vom Dichten, Schneiden, Schweißen übers Vermessen und Beschichten bis hin zur Nachbehandlung der Metallplatten anbietet.

GEWICHTSEINSPARUNG DURCH BESCHICHTUNG Einen neuen Ansatz verfolgt Dr. Vitali Weißbecker mit seinem Team: Der Wissenschaftler hatte im März 2016 gemeinsam mit dem Maschinenbauer Andreas Schulze Lohoff und dem Materialwissenschaftler Dr. Klaus Wedlich *Precors* ins Leben gerufen. Kurz darauf gewannen die drei den Aacheener Gründungswettbewerb *AC²* mitsamt 10.000 Euro Startkapital und auch den *f-cell award* (s. HZwei-Heft Jan. 2017). Und zwar war es ihnen gelungen, Gewicht und Volumen von Brennstoffzellen um 80 % beziehungsweise um 60 % zu verringern.

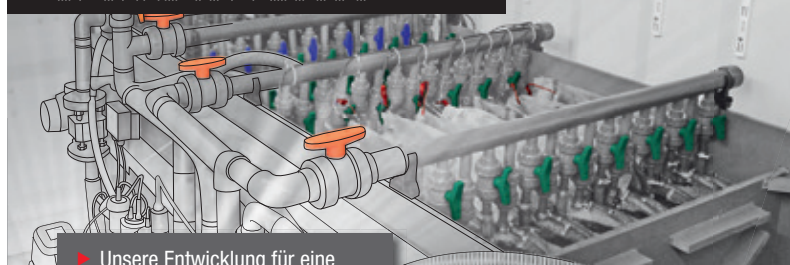
Das Problem, insbesondere von Graphitplatten, ist, dass sie voluminöser und schwerer sind als die Alternative aus Metall. Ein 85-kW-Stack für ein Brennstoffzellenauto, der über rund 350 Bipolarplatten verfügt, wiegt etwa 150 kg. Der Nachteil metallischer Platten ist jedoch, dass sie dazu neigen, in der aggressiven Umgebung im Stack-Inneren zu korrodieren. Die Nachwuchsforscher kamen deswegen auf die Idee, Metallplatten mit einer selbstentwickelten ultradünnen Schutzschicht zu besprühen. Anders als andere Beschichter (z. B. Aperam, Impact Coatings, Sandvik) wählte *Precors* jedoch Kohlenstoff als Schutzschicht.

Ausgangspunkt dieser Erfindung war Weißbeckers Promotionsthema, bei dem es um kohlenstoffbasierte Beschichtungen ging. Der Chemiker untersuchte unterschiedliche Materialien, bevor er quasi durch Zufall eine passende Kohlenstoffverbindung fand, deren Zusammensetzung geheim bleiben soll. Nur so viel gab er preis: Die Beschichtung wird selbst per Synthese im Haus hergestellt und verfügt über eine hohe Leitfähigkeit, die vergleichbar ist mit der von Gold. >>

39

EISENHUTH

Bio-elektrochemische Brennstoffzelle



► Unsere Entwicklung für eine emissionsfreie, nachhaltige und saubere Abwasserreinigung

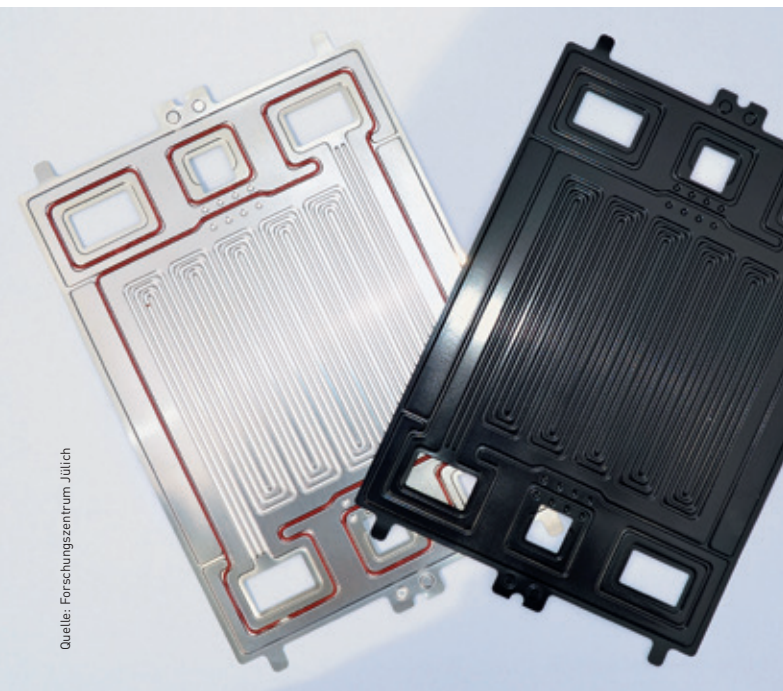
Revolutionäres Projekt zur direkten Stromerzeugung durch Abwasserreinigung von Eisenhuth

Mittels einer speziellen Brennstoffzelle ist es einem Team von Eisenhuth, der TU Clausthal, TU Braunschweig und KIT Karlsruhe gelungen, aus dem Abwasser einer Kläranlage direkt Strom zu gewinnen und dabei das Abwasser gleichzeitig zu reinigen.



Deutscher Nachhaltigkeitspreis 2018

Preisträger Forschung
Ein Preis des BMBF



Quelle: Forschungszentrum Jülich

Abb. 4: Bipolarplatte aus graphitischen Materialien (re.) im Vergleich zu einer noch unbeschichteten metallischen (li.)

Das von den drei Wissenschaftlern gemeinsam initiierte Start-up wurde zunächst für 18 Monate über EXIST-Forschungstransfer, eine Initiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, gefördert. Damit konnte nach der Gründung der Precors GmbH eine Pilotanlage für die Beschichtung von Bipolarplatten im Technologiezentrum Jülich finanziert werden. Im Oktober 2017 erfolgte dann der Umzug in eigene Räumlichkeiten. Auch die Pilotanlage, die über eine Jahreskapazität von 200.000 Platten verfügt, wurde inzwischen transferiert und in den neuen Räumen aufgebaut. Der Mentor des Projekts, Prof. Werner Lehnert, bezeichnete diesen Schritt als „mutig und zum richtigen Zeitpunkt“.

Nun geht es bei dem mittlerweile auf fünf Mitarbeiter angewachsenen Team um eigene Schritte auf dem freien Markt, denn Anfang des Jahres lief die Gründungsförderung aus. Vitali Weißbecker erklärte gegenüber *HZwei*: „Seit März 2018 sind wir vollständig aus dem Institut raus und bearbeiten eigene Aufträge und Projekte. Eine Anschlussfinanzierung haben wir über Risikokapital sowie geförderte Projekte.“

Eines dieser Projekte ist *PRECOIL*, ein vom Bundesverkehrsministerium im Rahmen des Programms NIP 2 mit rund 470.000 Euro gefördertes Vorhaben, das Anfang des Jahres startete und bis Mitte 2020 läuft. Weißbecker erläuterte, es gehe nicht nur um den Aufbau einer Laboranlage, sondern insbesondere „um das Beschichten von Metall-Coils im Roll-to-Roll-Verfahren, die im Folgeprozess umgeformt und zu doppelschaligen Bipolarplatten gefügt werden können“. Weiter sagte er: „Unser einzigartiges Beschichtungsmaterial ist elastisch und hochbeständig, so dass eine nachträgliche Umformbarkeit möglich ist. Entscheidend ist hierbei, dass unsere Expertise sowohl die Materialsynthese als auch den Beschichtungsprozess umfasst und somit die Materialeigenschaften gezielt auf die Anwendung angepasst werden können.“

STARTSCHUSS FÜR „INNOTEAM“ Eine ähnliche Entwicklung hat in den vergangenen Monaten auch das InnoTeam *HZwo:BIP* in Ostdeutschland durchlebt. Dort arbeiteten Wissenschaftler der TU Chemnitz in einem interdisziplinären

Konsortium ebenfalls an großserientauglichen Bipolarplatten, die für eine kostengünstige Produktion von Pkw-Brennstoffzellen geeignet sein sollen. Im Rahmen eines mit 3,6 Mio. Euro geförderten Vorhabens geht es hier vornehmlich um ein fertigungsgerechtes Design, das in eine sicher und einfach herstellbare Bauteil- und Werkzeuggeometrie überführt werden soll.

Seit April 2016 arbeiten Mitarbeiter der Technischen Universität Chemnitz gemeinsam mit fünf sächsischen Unternehmen und dem Steinbeis Innovationszentrum Fügetechnik an dem Projekt *HZwo:BIP – Bipolarplatten aus Sachsen*. Ziel ist, bis März 2019 einen Prototyp präsentieren zu können. Prof. Birgit Awiszus, Leiterin des Lehrstuhls Virtuelle Fertigungstechnik, sagte: „Die Herausforderung liegt darin, ultradünne beschichtete Bleche mit engen Fertigungstoleranzen beschädigungsfrei und mit einer hohen Wirtschaftlichkeit umzuformen.“

Der Projektleiter Prof. Thomas von Unwerth von der TU Chemnitz erklärte: „Wir müssen bereits heute die einzelnen Komponenten für den Serieneinsatz vorbereiten. Die Projektfamilie *HZwo* kann, beginnend bei den Bipolarplatten, den Aufbau einer Wertschöpfungskette in Sachsen auch für weitere Serienkomponenten von Fahrzeugbrennstoffzellensystemen initiieren. Mit diesem Leuchtturmprojekt legen wir einen Grundstein für die langfristige Entwicklung eines automotiven Brennstoffzellen-Clusters in Sachsen.“

Einer der *HZwo:BIP*-Partner ist die WätaS Wärmetauscher Sachsen GmbH, die zukünftig Bipolarplatten hochautomatisiert aus Edelstahl und Titan in den marktbestimmenden Materialstärken von 0,07 bis 0,1 mm herstellen möchte. Gegenüber *HZwei* berichtete Geschäftsführer Torsten Enders: „Wir haben ernsthaft investiert und prüfen alles auf Massenfertigung.“ Ziel des Olbernhauer Unternehmens ist, das bestehende Know-how aus der Serienproduktion von Wärmetauschern auf die Herstellung von Bipolarplatten zu übertragen, damit die Platten zukünftig im Sekundentakt für 20 Euro pro Stück gefertigt werden können (s. auch S. 11). ||



Abb. 5: Firmen-Chef Enders (mi.) im Kundengespräch während der Hannover Messe

BESCHICHTUNG BESSER ALS GOLD



Impact Coatings hat während der Hannover Messe eine neue Beschichtungsanlage für Bipolarplatten (s. S. 38) vorgestellt. Das schwedische Beschichtungsunternehmen informierte auf der Industrieschau über die neuste Generation ihres *Inlinecoater™ FC*, der für die Massenproduktion von über

1 Mio. Edelstahlplatten pro Jahr konzipiert ist. Die Skandinavier setzen dabei auf den Einsatz einer elektrisch leitenden und korrosionsbeständigen Schicht, um Effizienz und Lebensdauer der PEM-Brennstoffzellen zu erhöhen. Die kurzen Zykluszeiten ermöglichen nach Herstellerangaben eine Integration in der automatisierten Produktion. Der CEO und Gründer Dr. Henrik Ljungcrantz erklärte, Impact könne eine Fertigung „in hoher Stückzahl zu niedrigeren Kosten gewährleisten“, so dass die technischen und qualitativen Anforderungen von Automobilkunden weltweit erfüllt würden.

Wesentliche Neuerungen dieser Anlage sind eine schnellere Evakuierung der Vakuumkammer, eine schnellere Kammerrotation sowie eine schnellere Nanomaterialbeschichtung. Als Beschichtungsmaterial setzt Impact auf *Ceramic MaxPhase™*, ein kostengünstiges Material, das frei von Edelmetallen ist, aber in vielerlei Hinsicht Gold übertrifft. Zudem kann eine Qualitätskontrolle jeder produzierten Platte vorgenommen werden. ||

INNOTEAM

InnoTeam ist ein sächsisches Förderprogramm, innerhalb dessen Kooperationen von Unternehmen und Hochschulen beziehungsweise Forschungseinrichtungen bei der Netzwerkbildung unterstützt werden, um neue Produkte oder technologische Verfahren entwickeln beziehungsweise vorbereiten zu können. Gefördert werden *InnoTeams* mit drei bis zwölf Mitgliedern, die jeweils über einen wirtschafts-, natur- oder ingenieurwissenschaftlichen Studienabschluss verfügen.

HZWO: ANTRIEB FÜR SACHSEN

HZwo ist ein Netzwerk, das sich seit 2015 um die Ansiedlung innovativer Unternehmen aus dem Bereich PEM-Brennstoffzellen im Freistaat Sachsen bemüht. Unter anderem werden Forschungsprojekte zu serientauglichen Komponenten sowie Entwicklungsarbeiten am gesamten elektrischen Antriebsstrang initiiert. Unter der Leitung der TU Chemnitz arbeiten verschiedene Industrie- und Forschungspartner gefördert vom Land Sachsen zusammen. *HZwo* ist eine Initiative der sächsischen Wirtschaft sowie des regionalen Mittelstandes. Ende 2017 gründete sich zudem der Verein *HZwo e. V.* Die konstituierende Sitzung für das Innovationscluster *HZwo: Antrieb* für Sachsen fand am 30. Mai 2018 in Chemnitz statt.

NEUES H₂-HOCHDRUCKMAGNET-VENTIL IN ENTWICKLUNG



Die schweizerische Eugen Seitz AG fertigt seit 1958 Ventile für ausgewählte Industriezweige an seinem Hauptsitz in Wetzikon. Unter dem Logo *seitz valve* engagiert

sich das Familienunternehmen auch im Bereich alternative Kraftstoffe – insbesondere für Erdgas und Wasserstoff. So sind die Ventile der Serien *ProValve* für komprimiertes Erdgas (CNG) und *HyValve* für Wasserstoff speziell für die Zu- und Ableitungen von Kompressoren, Speichern und Zapfsäulen an Tankstellen konzipiert. Zudem bietet Seitz Sonderanfertigungen an, die alle der Druckgeräte- (DGRL 2014/68/EU) sowie der Explosionsschutzrichtlinie (ATEX 2014/34/EU) entsprechen. Fabian Seitz, Geschäftsführer in dritter Generation, kündigte gegenüber *HZwei* an: „Aktuell entwickeln wir ein Hochdruckmagnetventil für die Betankungssysteme an H₂-Tankstellen für Drücke bis zu 1.000 bar, dessen Prototyp in den nächsten Monaten verfügbar sein wird. Ein solches Produkt existiert auf dem Markt noch nicht.“ ||

4. HYPOS-FORUM

IM BMW WERK LEIPZIG

16. & 17. OKTOBER 2018

DIE WISSENSCHAFTLICHE VORTRAGSREIHE DES HYPOS INNOVATIONSNETZWERKES



HYPOS FORUM

**VERBINDUNGEN
SCHAFFEN.
KOMPETENZEN
BÜNDELN.
WEGE
BEREITEN.**



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium für Bildung und Forschung



ÖLPREISANSTIEG ALS TURBO

Aktienanalyse von Sven Jösting

Der Ölpreis steigt seit geraumer Zeit unaufhörlich und erhält zusätzlich weiteren Auftrieb. Aber was für den einen schädlich oder nachteilig ist, kann für den anderen gerade zum Vorteil werden: Je höher der Ölpreis, desto mehr Kapital wird in Alternativen sowie in Forschung und Entwicklung investiert. Insbesondere „grüner Wasserstoff“ und seine Umwandlung in Strom, Wärme und Kälte sowie auch eine ergänzende CO₂-Abscheidung könnten so einen Turboeffekt erleben, nachdem es doch viele Jahre gedauert hat, bis die Welt nun endlich allmählich seine Potentiale erkennt.

Die weltweite Nachfrage nach dem „Schwarzen Gold“ kann nicht allein durch das Fracking in den USA bedient werden. Dort werden zwar dank dieser neuen Fördermethode insgesamt rund 10 Mio. Barrel täglich aus dem Boden geholt, aber andernorts sinken momentan die Förderraten, so wie beispielsweise durch die Sanktionsandrohungen und die Vertragskündigung von US-Präsident Donald Trump gegenüber dem Iran.

Die Welt benötigt aber nach wie vor täglich fast 14 Mio. t Öl. Länder wie China saugen alles auf, was sie bekommen können. Insbesondere die zunehmende Mobilität sorgt für diese massive Nachfragerhöhung, da allein in der Volksrepublik jährlich über 25 Mio. neue Kraftfahrzeuge auf die Straßen kommen.

Bis vor einigen Jahren gingen große Unternehmensberatungen davon aus, dass in Batterietechnik perspektivisch wesentlich weniger Geld gesteckt wird als in Elektrolyseurtechnologie. Gemäß einer vor ein paar Jahren veröffentlichten Studie von Boston Consulting werden in den kommenden Jahrzehnten weltweit über US-\$ 150 Mrd. in FuE für Elektrolyseure investiert, aber nur circa US-\$ 70 Mrd. in Batterietechnik. Das mag nun – gefühlt – nicht mehr stimmen, da die Kfz-Hersteller entweder selbst oder aber asiatische Zulieferer massiv in Batterietechnik investieren. Mit steigenden Energiepreisen – vor allem von Rohöl – erhält nun aber gerade die Forschung für effizientere, leistungsfähigere Elektrolyseure erheblichen Auftrieb.

Wie ich zudem aus gut unterrichteten Kreisen aus China vernehme, plant die Volksrepublik zwar keinen Richtungswechsel in der Elektromobilität, wohl aber eine stärkere Ausrichtung auf die Brennstoffzelle. Wenn dies so eintritt, muss sich die Autoindustrie verstärkt mit der Brennstoffzelle befassen und Unternehmen wie Toyota folgen (s. S. 31).

42



Abb. 1: Aktienkursverlauf der fünf besprochenen Unternehmen
Quelle: www.wallstreet-online.de, Kurse vom 30. Mai 2018

NUR DAS GESAMTJAHR ZÄHLT

Ballard konnte das erste Quartal mit einem Umsatz in Höhe von etwa US-\$ 20 Mio. abschließen. Im Vorjahresquartal waren mehr als US-\$ 6 Mio. an außerordentlichen Lizenzerlösen eingenommen worden. Immerhin lag die Bruttogewinnmarge bei 33 Prozent. Die beiden ersten Quartale im Jahr seien immer die schwächeren, erklärte der CEO Randall MacEwen, weshalb er weiterhin an seinem Ziel von US-\$ 120 Mio. für 2018 festhalte. US-\$ 220 Mio. seien zudem bereits als Auftragsbestand in den Büchern. Mit einer erheblichen Zunahme ist zu rechnen. Der Verlust von über US-\$ 5 Mio. (minus US-\$ 0,03 pro Aktie) erklärt sich mir aus den vielen verschiedenen Forschungs- und Entwicklungsprojekten. Mit über US-\$ 52 Mio. an Barmitteln ist der Konzern aber weiterhin gut aufgestellt.

Der BZ-Hersteller ist derzeit dabei, in vielen Bereichen mit namhaften Unternehmenspartnern Systeme zu entwickeln, zu integrieren und Prototypen aufzubauen. Dies kostet erst einmal Kapital, bevor Großaufträge und Serienfertigung folgen. So wird beispielsweise derzeit eine neue luftgekühlte Brennstoffzelle für Gabelstapler konzipiert, wofür Ballard mehr als US-\$ 4 Mio. an Entwicklungszuschuss von einem unbenannten Kunden (Toyota Tsusho?) erhält. Parallel wurde ein Rahmenabkommen mit Hyster-Yale abgeschlossen, einem der größten Gabelstaplerhersteller der Welt. Dieser Deal könnte eine Größenordnung annehmen, die dem Mehrfachen dessen entspricht, was Plug Power in besten Zeiten an Stacks von Ballard erworben hat. Hyster-Yale hatte vor ein paar Jahren den BZ-Spezialisten Nu-



Abb. 2: Randy MacEwen mit Hu Chunhua, Parteisekretär der chinesischen Provinz Guangdong

vera übernommen und hier bereits rund US-\$ 100 Mio. in FuE investiert. Dass jetzt doch mit Ballard kooperiert wird, dürfte nichts anderes bedeuten, als dass die Kanadier technologisch einfach besser sind als die Italiener.

IN DIVERSEN BZ-MÄRKTEN WELTWEIT AKTIV Große Kurrierkonzerne wie UPS und FedEx wollen in der E-Mobilität aktiver werden und ihre Fahrzeuge neben reinen Batterielösungen auch mit Brennstoffzellen als Range Extender ausrüsten. Hieraus lassen sich nach den Prototypentwicklungen und erfolgreichen Testphasen große Aufträge für Ballard wie auch für Hydrogenics und Plug Power ableiten. Prototypentwicklungen sind die Grundlage für Großaufträge. Noch behandelt die Börse die Aktie sehr stiefmütterlich. Man muss aber Zeit und Geduld haben, was Investorenlegende Warren Buffett als Grundbedingung für erfolgreiche Investments ansieht. Weitere Voraussetzungen sollten sein, das Unternehmen, in das man via Aktie investiert, gut zu kennen und von seiner Anlage vollends überzeugt zu sein. Jetzt müsste Buffett nur noch selbst in die Brennstoffzelle investieren. Apple, bei dem er große Anteile hält, macht dies bereits seit Jahren.

QUARTAL NICHT REPRÄSENTATIV

Hydrogenics setzt ebenfalls stark auf die Entwicklung in diversen Märkten, vor allem in China. Beide arbeiten parallel auch mit Alstom bzw. Siemens zusammen, wobei beide Großunternehmen ihre Schienenaktivitäten in einer Firma gebündelt haben, sodass man darauf schließen kann, dass man sich absichert, indem man auf beide BZ-Unternehmen als fachlich versierte Zulieferer setzt. Ballard ist darüber hinaus mit der chinesischen CRRC verbunden. Hydrogenics wie Ballard arbeiten auch mit anderen Partnern an der Umrüstung von Lokomotiven und Lkw (weg vom Diesel, hin zum Wasserstoff). Es zeigt sich, dass beide Unternehmen hier klar eine Führungsposition innehaben. Und dies bezogen auf sehr wachstumsstarke Weltmärkte. Neben China wird da besonders auch Indien immer interessanter. Hydrogenics ist, anders als Ballard, auch stark bei Elektrolyseuren.

Zu den Zahlen für das erste Quartal: US-\$ 8,1 Mio. Umsatz (Vorjahr: US-\$ 8,7 Mio.) und ein auf unter US-\$ 2 Mio. (minus US-\$ 0,13/Aktie) gefallener Verlust. US-\$ 19,4 Mio. Bargeldbestand und über US-\$ 140 Mio. in den Auftragsbüchern. Der CEO Daryl Wilson sieht das erste Quartal allerdings nicht als repräsentativ für das Gesamtjahr. Nach dem

zwischenzeitlich eingetretenen Kursrückgang ist jetzt wieder ein guter Zeitpunkt für Zu- und Neukäufe eines mittelfristig gut gemischten Portfolios in Sachen Brennstoffzelle.

FUELCELL ENERGY ÜBERZEUGT

FuelCell Energy setzt verstärkt auf Lobbying und versucht den Politikern klarzumachen, welche Potentiale in der Brennstoffzelle liegen. Im US-Bundesstaat Connecticut ist dies nun gelungen: Hier soll der Anteil der regenerativen Energien bis zum Jahr 2030 bei 40 Prozent liegen und die Brennstoffzelle einen wesentlich höheren Anteil bekommen. Man kann nun gespannt sein, in welcher Größenordnung BZ-Kraftwerke in den Auftragsbüchern von FuelCell Energy landen – immerhin geht es um ein Volumen (Ausschreibungen) von US-\$ 1,6 Mrd. – laut Firmenauskunft. Die Aktie könnte damit ein Highflyer werden, wobei man ja bereits größere Kapitalmittel auf Abruf (Kreditlinien und wandelbare Vorzugsaktien) bereithält.

VOLLE AUFTRAGSBÜCHER

Die Zahlen von Plug Power für das erste Quartal wurden von der Börse begrüßt. Der Verlust fiel – in US-\$-Cents pro Aktie – mit einem Minus von 0,07 niedriger als erwartet aus. Der Umsatz explodierte um 90 Prozent im Vergleich zum Vorjahreszeitraum auf US-\$ 29,1 Mio. Auf Jahresbasis sollen es 155 bis 180 Mio. werden. Diverse neue Großkunden und volle Auftragsbücher lassen grüßen. Nur der Quartalsverlust mit vielen außerordentlichen Einflüssen in Höhe von US-\$ 19,8 Mio. lässt zur Zurückhaltung raten.

Insgesamt überzeugt das aktuelle Szenario noch nicht ganz. Denn die US-\$ 100 Mio. einer Wandelanleihe mit 5,5%-Coupon haben verschiedene Komponenten (Optionsrechte/Wandlungsrechte, Kapitalnutzung), die für mich nicht klar durchschaubar sind, da mit diesem Kapital 14 Millionen Aktien von der Börse genommen werden sollen und Plug damit netto nur circa US-\$ 52,5 Mio. an frischem Kapital zufließen. Jetzt muss Plug US-\$ 5,5 Mio. per anno an Zinsen dafür zahlen.

Plug sollte versuchen, den sehr hohen und stetig steigenden Auftragsbestand mit Gewinn umzusetzen. Dass man da nach dem ungünstigen Großauftrag (Sale-Lease-Back) bei Walmart nun stärker auf rentablere Aufträge von Home Depot und Amazon setzt, ist der richtige Weg. Das Unternehmen arbeitet zwar sehr engagiert an der weiteren Verbesserung der firmeneigenen Brennstoffzellen-Stacks, mit dem Ziel, diese wesentlich günstiger und auch leistungsfähiger anbieten zu können. Dies muss dann aber noch in eine höhere Gewinnmarge überführt werden. Nur das zählt.

Mein Fazit: Plug wird seinen Weg als Spezialist für die Umrüstung von Gabelstaplern mittels Brennstoffzelle gehen (über 17.000 Gabelstapler bislang) und die notwendige Infrastruktur aufbauen. Neben den Service- und Wartungsverträgen sollte das Unternehmen darangehen, selbst „grünen Wasserstoff“ zu produzieren und anzubieten, statt nur Dienstleister von Gasekonzernen zu sein. Die weitere steuerliche Förderung/Absetzbarkeit des Einsatzes der Brennstoffzelle im Material Handling in den USA ist ein wichtiges Plus, ohne das es schwieriger geworden wäre, große Aufträge zu generieren. Zwei sehr große, bislang nicht namentlich genannte Unternehmen aus dem Nahrungsmittelbereich konnten als Kunden gewonnen werden. US-\$ 89 Mio. in der Kasse sind eine gute Basis der Finanzierung. >>

Allerdings wird auch viel Finanzakrobatik eingesetzt (s. o. – Wandelanleihe). Ich beobachte das Unternehmen, ziehe aber Ballard vor, da die das Thema Gabelstapler in unterschiedlicher Weise (verschiedene Unternehmenspartner) bedienen und lange Zeit der einzige Zulieferer von Plug waren. Sollte Plug hier technologisch auf- oder gar überholen (im weiteren Jahresverlauf soll es Präsentationen eigener BZ-Stacks geben, die in ihrer Leistung denen des Mirai entsprechen), stufe ich die Potentiale neu ein. Weitere Chancen ergeben sich auch in China, wo Plug einen starken Partner sucht, wie auch im Bereich der Kurierfahrzeuge (FedEx), wo Plug darauf setzt, ganze Flotten von Fahrzeugen umzurüsten.

DER DRUCK AUF TESLA STEIGT

Die Zahlen für das erste Quartal haben einen weiteren Rekordverlust wie auch Kapitalabfluss zum Ergebnis gehabt: Verlust von über US-\$ 700 Mio. und US-\$ 600 Mio. weniger an Cash. Da ist es nebensächlich, dass der Umsatz stark anzog (US-\$ 3,41 Mrd.) und die Produktionshöhe des Model 3 allmählich in Gang kommt. Denn Tesla verbrennt sehr viel Kapital und könnte genötigt sein, trotz massiver Dementis des CEO mindestens eine weitere Kapitalerhöhung noch in diesem Jahr durchzuführen. Dabei kann man die in den kommenden zwölf bis achtzehn Monaten fälligen Schulden ebenso mit einbeziehen wie die zu zahlenden offenen Rechnungen, die zum Ende des ersten Quartals auf US-\$ 2,6 Mrd. angestiegen sind (Bargeldbestand zum Quartalsende bei ca. US-\$ 2,7 Mrd.; ca. US-\$ 985 Mio. an Anzahlungen für alle Modellreihen).

Das Model 3 bedarf weiterhin sehr hoher Investitionen, bis die wöchentliche Produktion das erste Etappenziel von 5.000 Einheiten im Juli erreicht hat. Hier zeigt sich, wie undifferenziert viele Analysten das Unternehmen einschätzen: Der Analyst bei Nomura begrüßt es gar, dass die Investitionen im Gesamtjahr zurückgefahren werden sollen. Andere sehen es umgekehrt als Bedingung an, die Investitionen auszuweiten, um Model 3 in den gewünschten Größenordnungen überhaupt auf den Markt zu bringen, denn es soll ja den notwendigen Cashflow generieren, um damit allen finanziellen Erfordernissen zu entsprechen.

Unternehmenschef Musk scheint kein so dickes Fell mehr zu haben: In der Telefonkonferenz zum Quartalsergebnis mit Analysten und Aktionären sagte er sinngemäß, dass er es satt sei, immer die gleichen langweiligen Fragen

der Analysten zu beantworten. Deswegen wechselte er während der Konferenz einfach zu den Fragen der Kleinaktionäre via YouTube, ohne die noch offenen Analystenfragen beantwortet zu haben: ein Affront, der den Kurs gleich um fünf Prozent nach unten rauschen ließ. Die Antwort auf die Frage, wie viele Vorbestellungen für Model 3 denn nun vorlägen, lieferte er nicht mehr. Ob es nun 450.000 sind oder vielleicht auch nur 250.000, steht unbeantwortet im Raum.

Die Untersuchungen seitens zuständiger Fachbehörden (u. a. NTSB – National Transportation Safety Board/Verkehr) haben nun auch einen „schalen Beigeschmack“, da Elon Musk diese brüskiert haben dürfte, indem er vertrauliche Informationen an die Öffentlichkeit gab, ohne Untersuchungsergebnisse abzuwarten, und zudem wohl auch Äußerungen diesbezüglich getätigt hat, die die Untersuchung einseitig kommentieren.

PATENTKLAGEN DURCH NIKOLA MOTORS Des Weiteren hat der Hersteller von BZ-Hybrid-Lkw, Nikola Motors, Tesla auf US-\$ 2 Mrd. verklagt, da man Patente als verletzt ansieht. Stellt man beide Lkw nebeneinander, so ist die Ähnlichkeit zwischen dem Semi-Truck von Tesla (s. Abb.) und dem von Nikola Motors doch sehr verblüffend. Tesla soll – ohne Obligo – wichtige Mitarbeiter von Nikola abzuwerben versucht haben.

Dann gab auch noch die Ratingagentur Moody's eine Bonitätsverschlechterung bekannt, und per Sammelklage wurde der Weg geebnet, die Übernahme von SolarCity durch Tesla zu prüfen. Zudem hat Elon Musk Aktien an der Börse erworben, um ein Zeichen zu setzen. Circa US-\$ 10 Mio. war ihm dieser Schritt wert. Allerdings hat er über 13 Millionen seiner Aktien für persönliche Kredite verpfändet, so dass US-\$ 10 Mio. wie Peanuts wirken. Plant er womöglich einen Squeeze angesichts einer sehr hohen Zahl leer verkaufter Aktien?

Der für Model 3 zuständige Top-Manager im Rang des Senior Vice President of Engineering, Doug Field, hat das Unternehmen für eine mehrwöchige Auszeit verlassen. Außerdem ist Matthew Schwall gegangen und zur Alphabet-Tochter Waymo gewechselt. Hierbei lässt aufhorchen, dass er wohl der Mann im Konzern war, der mit den Behörden über die vermeintlich durch den Einsatz des Autopiloten erfolgten Unfälle sprach.

In Shanghai wurde währenddessen eine chinesische Tochter gegründet. Die Spekulation sieht dies als Zeichen, dass auch in China eine weitere Batteriefabrik gebaut werden soll, um dort vor Ort aktiver zu werden. Macht Panasonic da mit, bevor die Gigafactory in Nevada vollends und erfolgreich läuft? Am 14. Mai gab Elon Musk dann noch bekannt, dass man eine Reorganisation bestimmter Positionen im Personalbestand plant.

Ein weiterer kritischer Blick richtet sich auf die Kreditlinien bei Banken, von deren US-\$ 1,8 Mrd. noch circa 543 Mio. am Quartalsende verfügbar waren. Parallel explodieren die Zinskosten, die in diesem Jahr US-\$ 600 Mio. erreichen könnten (ohne Obligo): Der Verlust pro Aktie lag bei US-\$ 4,19 (GAAP) im ersten Quartal. Ohne die ZEVs (circa US-\$ 50 Mio. im Quartal) wären es circa US-\$ 0,30/Aktie mehr gewesen. Die Frage stellt sich nur, ob nun mit Model 3 auch Geld verdient wird.

Große Investoren wie Pensionsfonds wollen Elon Musk als Vorstandsvorsitzendem und Großaktionär künftig verstärkt „auf die Finger schauen“. Bislang ist der Vorstand wie auch der Aufsichtsrat mit Musk-nahen Personen (salopp gesagt: Buddies) besetzt. Da gehört sein Bruder Kimbal ebenso dazu wie sein Milliardärsfreund James Murdoch. Aufsichtsrat und Vorstand sollten aber mit Personen besetzt sein, bei denen

44



Abb. 2: SemiTruck von Tesla

ein Interessenkonflikt nach Möglichkeit ausgeschlossen ist. Gerade bei Musks Öffentlichkeitspolitik und mancher seiner Entscheidungen kommt es einem jedoch so vor, als würden die Unternehmensorgane wie ein Abnickverein agieren, aber nicht wirklich kritisch Entscheidungen hinterfragen. Ob Musk das gut findet, ist dabei Nebensache. Auf der kommenden HV [nach Redaktionsschluss] wird man Klarheit bekommen.

Fazit: Der Konzern muss an diversen Stellen seine Liquidität neu ordnen und sich insgesamt besser aufstellen. Das zweite Quartal wird weiterhin hohe Verluste produzieren, und ob im dritten sowie vierten Quartal – so die Prognose von CEO Musk – bereits Gewinne gemacht werden können, wird sich zeigen. Es hängt mehr oder weniger an Model 4. Der Kurs der Aktie hat sich nach einem vorübergehenden Einbruch bis auf US-\$ 270 wieder sehr gut erholt, sollte sich aber perspektivisch – trotz Model 3 – weiter nach unten bewegen, da sehr viele Unklarheiten bestehen. ||

RISIKOHINWEIS

Jeder Anleger muss sich immer seiner eigenen Risikoeinschätzung bei der Anlage in Aktien bewusst sein und auch eine sinnvolle Risikosteuerung bedenken. Die hier genannten BZ-Unternehmen bzw. Aktien sind aus dem Bereich der Small- und MidCaps, d. h., es handelt sich nicht um Standardwerte, und ihre Volatilität ist auch wesentlich höher. Es handelt sich bei diesem Bericht nicht um Kaufempfehlungen – ohne Obligo. Alle Angaben beruhen auf öffentlich zugänglichen Quellen und stellen, was die Einschätzung angeht, ausschließlich die persönliche Meinung des Autors dar, der seinen Fokus auf eine mittel- und langfristige Bewertung und nicht auf einen kurzfristigen Gewinn legt. Der Autor kann im Besitz der hier vorgestellten Aktien sein.

Thema: International | Autor: Sven Geitmann |

BIG HIT AUF DEN ORKNEY-INSELN ERÖFFNET

Aufbau grüner H₂-Systeme in abgelegenen Gebieten

Auf den schottischen Orkney-Inseln wird derzeit eine integrierte Modellanlage zur Erprobung einer Wasserstoffwirtschaft aufgebaut. Die Palette reicht von der H₂-Produktion über die -Speicherung sowie den Transport bis hin zur Nutzung von Wärme, Strom und Mobilität in verschiedenen Anwendungen. Die offizielle Eröffnung dieses von der FCH-JU geförderten Projekts hat am 15. und 16. Mai 2018 in Kirkwall stattgefunden.

Genau genommen handelt es sich um zwei Projekte, die auf dem spärlich besiedelten Archipel ganz im Norden Schottlands durchgeführt werden: Die zuerst gestartete *Surf, n' Turf*-Initiative, die mit 1,5 Mio. Pfund über den schottischen Local Energy Challenge Fund für Wärme und Transport gefördert wurde, leistete die Pionierarbeit für das anschließende *BIG-HIT*-Projekt. *Surf, n' Turf* (HZwei-Heft Juli 2016) begann seine Aktivitäten bereits 2012/2013 mit der Stromgewinnung in Wind- und Gezeitenkraftwerken auf der nördlicheren Insel Eday. Offizieller Start war im September 2017. Im Rahmen von *BIG HIT* (*Building Innovative Green Hydrogen systems in an Isolated Territory*) wurde mittlerweile zusätzlich ein 0,5-MW-PEM-Elektrolyseur von ITM Power installiert. Außerdem war bereits 2011 eine Windkraftanlage auf Shapinsay aufgebaut worden, die mittlerweile um einen 1-MW-PEM-Elektrolyseur erweitert wurde. Das dort sowie auf Eday erzeugte H₂-Gas (jährlich etwa 50 Tonnen) wird stationär zwischengespeichert und mithilfe von insgesamt fünf Trailern der Firma Calvera beziehungsweise anschließend per Schiff nach Kirkwall befördert.

Kirkwall liegt 6 km südlich von Shapinsay auf der Hauptinsel der Orkneys, Mainland, und verfügt über einen Hafen, dessen Gebäude mit Wärme und Strom versorgt werden, die aus dem 75-kW-Brennstoffzellensystem von Proton Motor (drei Module vom Typ *PM 400*) stammen, das 2017 von Arcola Energy vor Ort installiert wurde. Darüber hinaus soll auf diesem Weg auch die Bordenergie für drei Fähren gelie-



Quelle: BIG-HIT

45

fert werden, wenn diese angedockt sind, um so die lokalen Emissionen zu reduzieren.

Der Wasserstoff wird zudem eine Pkw-Flotte in Kirkwall versorgen. Dort sollen insgesamt zehn Elektro-Vans über die H₂-Tankstelle Kraftstoff beziehen können. Die Renault *Kangoo ZE Maxi*, die standardmäßig über einen 22-kWh-Li-Ionen-Akku verfügen, wurden von Symbio mit 5-kW-Brennstoffzellen-Range-Extender-Systemen ausgestattet, so dass sich die Reichweite verdoppelt. Insgesamt beteiligen sich zwölf Unternehmen aus sechs EU-Ländern an diesem Vorhaben. ||

www.bighit.eu, www.surfnturf.org.uk

H21 – LEEDS PROBT DEN WECHSEL AUF H₂

InTEGReL – H₂-Experimentierlabor für England

Von den 1960er bis zu den 1970er Jahren wurde das Gasnetz in Großbritannien mit einem immensen Aufwand von Stadtgas auf Erdgas umgestellt. Das lokal erzeugte Stadtgas verfügte bis dahin über 50 Vol.-% Wasserstoff. Dieser Anteil wurde im Rahmen des Technologiewechsels komplett von Erdgas übernommen. Rund 40 Mio. Endgeräten mussten entsprechend angepasst werden, damit das in der Nordsee förderfähige Erdgas genutzt werden konnte. Jetzt wird über einen Wechsel zurück nachgedacht – zunächst in Leeds und dann in ganz England: Die Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff würde einem ähnlichen Muster folgen.

Leeds ist die drittgrößte Stadt Großbritanniens. Mithilfe einer Machbarkeitsstudie wurde hier untersucht, ob die gesamte Energieversorgung der britischen Insel auf Wasserstoff umgestellt werden könnte. Die Grundidee dazu basiert unter anderem darauf, dass im Vereinigten Königreich seit 2002 das Iron-Mains-Replacement-Programm (IMRP) läuft, in dessen Rahmen der größte Teil der landesweit verlegten Gasrohre auf Polyethylen umgerüstet wird. Die Polyethylenrohre gelten als gut geeignet für den Transport von reinem Wasserstoff.



Abb. 1: H21 Leeds City Gate

„Wenn die Gaswirtschaft im 19. Jahrhundert von Stadtgas dominiert wurde und das 20. Jahrhundert von Erdgas –, könnte das 21. Jahrhundert vom Wasserstoff dominiert werden?“

Dan Sadler, Programmdirektor H21

Die Prämisse der Initiatoren dieser Studie rund um Dan Sadler war, dass das Energieversorgungssystem komplett dekarbonisiert werden muss, um das vorgegebene Ziel – Reduzierung der CO₂-Emissionen bis 2050 um 80 % gegenüber 1990 – einhalten zu können. Demnach müssen neben dem Stromsektor auch der Wärme- sowie der Transportsektor kohlenstofffrei werden. Bislang verwenden alle drei Bereiche fossile Energieträger (Erdgas und -öl), bei deren Verbrennung stets Kohlenstoffdioxid, Wasser und Wärme erzeugt werden. Würde stattdessen Wasserstoff verwendet, entstünden ausschließlich Wasser und Wärme – kein CO₂. Das Gasnetz wäre grundsätzlich dafür geeignet, Wasserstoff statt Erdgas zu verwenden. Beides sind Gase, so dass der Rohrdurchmesser nicht verändert werden müsste.

Seitens des Gasversorgers im Norden Englands, Northern Gas Networks (NGN), der diese Idee mit vorantreibt, heißt es dazu: „Wir haben gezeigt, dass dieses Ziel technisch machbar und zu realistischen Kosten möglich ist.“ Weiter heißt es, die bereits im Rahmen des H21-City-Gate-Projekts durchgeführten Untersuchungen hätten bereits bewiesen, dass das Gasnetz über eine angemessene Kapazität verfügt, dass es bei nur minimalen Unterbrechungen für die Kunden inkrementell umgerüstet werden kann und dass dies minimale Auswirkungen auf die Kundenrechnungen haben würde.

BÜRO UND GELD SIND DA Theoretisch könnte zunächst die Stadt Leeds und dann stufenweise das gesamte Land umgestellt werden. Der Gedanke, wesentliche Teile des britischen Gasnetzes zu 100 Prozent auf Wasserstoff umzustellen, wurde am

„Die Power-to-Gas-Technologie hat aufgrund der Größe und Flexibilität des Gasnetzes das Potenzial, einige unserer wichtigsten Herausforderungen bei der Energiespeicherung zu bewältigen. Diese Studie liefert einige überzeugende Ergebnisse und Erkenntnisse darüber, wie ein ganzheitlicher Systemansatz und grüner Wasserstoff die Dekarbonisierung über alle Energievektoren hinweg erleichtern können. Durch die Zusammenführung von Gas und Strom bieten sich wertvolle Möglichkeiten, die Kosten für die Kunden zu senken, die Flexibilität zu erhöhen und die Nachhaltigkeit zu verbessern.“

Mark Horsley, CEO von Northern Gas Networks

6. Oktober 2016 in Leeds vorgestellt. Um diesen ehrgeizigen Plan in Angriff nehmen zu können, eröffnete Northern Gas Networks mit Unterstützung des Stadtrats ein H21-Projektbüro in Leeds.

Diese Eröffnung erfolgte 2017 kurz nachdem die Regierung angekündigt hatte, 25 Mio. britische Pfund für den Einsatz von Wasserstoff bereitzustellen. NGN-Geschäftsführer Mark Horsley sagte dazu: „Das 25-Mio.-£-Programm wird den Erweis für die politische Entscheidung liefern, das Gasnetz auf 100 Prozent Wasserstoff umzustellen. Mit der Eröffnung unseres eigenen Projektbüros machen wir einen weiteren Schritt in Richtung unserer Wasserstoffzukunft und senden ein Signal an die Regierung und den Rest der Branche, dass wir bereit sind, mit ihnen zusammenzuarbeiten.“

Im November 2017 erhielt Northern Gas Networks zudem Innovationsgelder in Höhe von 9 Mio. £ von der Regulierungsbehörde Ofgem (Office of Gas and Electricity Markets) für H21. Diese Gelder kamen im Auftrag aller britischen Gasverteiler aus dem Topf der Gas Network Innovation Competition (NIC), einem jährlichen Wettbewerb zur Finanzierung innovativer Projekte. Weitere 1,3 Mio. £ werden direkt von den britischen Gasverteilungsnetzbetreibern bereitgestellt. Mit diesen insgesamt 10,3 Mio. £ sollen zunächst in einer ersten Phase kontrollierte Tests finanziert werden. Für die nachfolgende zweite Phase der Feldversuche werden rund 5 Mio. £ veranschlagt. Woher dieses Geld kommen soll, ist aber offen.

Derzeit untersucht das Team um Programmdirektor Dan Sadler, wie sich Wasserstoff in den bestehenden Gaszählern, den Rohren, den Kochern und den Kesseln der Kunden verhält. Außerdem soll grundsätzlich überprüft werden, ob die Umstellung des britischen Gasnetzes von Erdgas (Methan) auf CO₂-freien Wasserstoff wirklich sinnvoll ist. Darüber hinaus sind folgende Schritte geplant:

- Erbringung der zwingend erforderlichen Sicherheitsnachweise für die Umwandlung von Erdgas in Wasserstoff
- Modellierung, wie die angewandte Methodik auf andere Regionen in Großbritannien übertragen werden kann.
- Berücksichtigung alternativer Produktions- und Netzwerkspeicherlösungen für die Wasserstoffumwandlung

MIT POLITISCHER UNTERSTÜTZUNG Rachel Reeves, Mitglied des Parlaments für Leeds West, sagte in einem Gespräch mit Dan Sadler: „Das innovative H21-Projekt zeigt, wie der private Sektor bei der Erreichung unserer Emissionsreduktionsziele bis 2050 eine Vorreiterrolle übernehmen kann. Es ist entscheidend, dass die Regierung das Unterfangen mit einer industriellen Strategie, die einen Plan zur Schaffung von Arbeitsplätzen und zur Förderung von Investitionen im ganzen Land vorsieht, unterstützt.“

Sadler ergänzte: „Das H21-Projekt wurde in Leeds geboren und hat seinen Sitz in Leeds, aber es umfasst letztendlich das gesamte Land. Wasserstoff kann eine Schlüsselrolle dabei spielen, dass das Vereinigte Königreich das Ziel des Klimaschutzgesetzes bewältigen kann, die CO₂-Emissionen von 1990 bis zum Jahr 2050 um 80% zu senken. Unser zukünftiges Energiesystem bedarf einer Mischung aus verschiedenen Optionen, um dieses Ziel zu erreichen – Gas, Strom, erneuerbare Energien –, und H21 hat gezeigt, dass eine Umrüstung auf Wasserstoff im Vereinigten Königreich die Wärmeemissionen um mindestens 73% reduzieren und die Dekarbonisierung des Verkehrs sowie die lokale Stromerzeugung unterstützen wird.“

INTEGRIERTES FORSCHUNGSLABOR Zur praktischen Umsetzung und Erforschung dieser Ideen wurde *InTEGReL (Integrated Transport Electricity and Gas Research Laboratory)* initiiert. Im Rahmen dieses von Northern Gas Networks geleiteten Vorhabens soll in Partnerschaft mit Northern Powergrid und der Newcastle University sowie in Zusammenarbeit mit dem Nationalen Zentrum für Energiesystemintegration (CESI) des EPSRC eine neuartige Energieanlage in Gateshead aufgebaut werden. Auf dem 15 Hektar großen Gelände nördlich von Leeds in Low Thornley sollen Akademiker und Ingenieure unter realen Bedingungen und in großem Maßstab verschiedene Energietechnologien testen und so entscheidende Durchbrüche zur Dekarbonisierung von Wärme, Energiespeicherung und Transport erzielen. Die Arbeiten daran haben 2017 begonnen. Derzeit wird darüber nachgedacht, dort auch eine 50-MW-Power-to-Gas-Demonstrationsanlage aufzubauen. ||



Abb. 2: InTEGReL-Areal in Gateshead

H21 CITY GATE

Im Juli 2016 wurde der *H21-Leeds-City-Gate*-Bericht veröffentlicht. Er bestätigte, dass die Umstellung des britischen Gasnetzes auf 100 Prozent Wasserstoff technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar ist. Ende Februar 2018 fand an der University of Nottingham eine Veranstaltung unter dem Titel „H21 Leeds City Gate – Moving from Natural Gas to Hydrogen“ statt. Dan Sadler präsentierte dort als Initiator und Projektleiter mithilfe des von der EU geförderten Energy Technologies Research Institutes (ETRI) seine Ideen. Am 26. April stellte er sich einer Diskussionsrunde im Rahmen der von der Britischen Botschaft initiierten Gesprächsreihe *Clean Growth Strategy* in Berlin.

Auf nach Japan!



Unsere „German Pavillons“ bieten Ihnen als Aussteller eine aufmerksamkeitsstarke Plattform und sind verlässliche Türöffner in den japanischen Markt – seit 11 Jahren.

ELECTRIC MOBILITY

EVS 31

Kobe, Japan

30. September – 2. Oktober 2018

www.evs31.org

HYDROGEN AND FUEL CELLS

FC Expo Tokio

Tokyo, Japan

27. Februar – 1. März 2019

www.fcexpo.jp/en/

Buchen Sie Ihren Standplatz bei:

**PETER SAUBER
AGENTUR**

Messen und Kongresse GmbH

Nathalie Esenwein
nathalie.esenwein@messe-sauber.de
+49 711 656960-5702
www.messe-sauber.de

H₂ IN EINEM INTEGRIERTEN ENERGIESYSTEM

Interview mit dem IPHE-Geschäftsführer Tim Karlsson

Die International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE) wurde 2003 als zwischenstaatliche Partnerschaft gegründet. Ihr Ziel ist es, den Übergang zu sauberen und effizienten Energie- und Mobilitätssystemen mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien (H₂BZ) zu erleichtern und zu beschleunigen – technisch wie wirtschaftlich. Zu diesem Zweck bietet sie ein Forum für den Informationsaustausch über politische Strategien, den Technologiestatus sowie Initiativen, Normen und Standards. Die IPHE informiert zudem Interessengruppen und die Öffentlichkeit über die Vorteile und Herausforderungen auf dem Weg in ein umfassendes kommerzielles H₂BZ-System.

HZwei: Herr Karlsson, das Pariser Klimaabkommen veranlasst Regierungen, nationale Klimaschutzpläne zu entwickeln, um das Ziel des Abkommens – die Begrenzung der Erderwärmung bis zum Jahr 2050 – zu erreichen. Inwieweit beeinflusst das die Entwicklung und Verwendung von H₂- und BZ-Technologien?

Karlsson: Die Rolle, die grüner Wasserstoff in zukünftigen Energie-, Transport- und Industriesektoren sowie im Gebäudebereich spielt, wird zunehmend anerkannt. Für diejenigen, die sich auf die Umweltaspekte konzentrieren, ist die H₂-Herstellungsmethode sehr wichtig. Damit die Ziele des Pariser Klimaabkommens erreicht werden, muss der erzeugte Wasserstoff ein Treibhausgasprofil von netto null oder nahezu null haben. Die Elektrolyse, bei der Strom aus erneuerbaren oder anderen CO₂-freien Quellen wie Kernkraft verwendet wird, und die Elektrolyse mit Strom aus fossilen Brennstoffen in Verbindung mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (CCS) sind heute zwei Methoden, die die Netto-null-Anforderung erfüllen könnten.

Das Pariser Abkommen hat zahlreichen Ländern den Anstoß gegeben, Maßnahmen zu ergreifen und Wasserstoff als Schlüsselkomponente ihrer künftigen Energie- und Verkehrssysteme zu betrachten. Aber auch andere Faktoren wie Energiesicherheit, das Management des Energiesystems, Innovationen und Wirtschaftschancen führen zu einem neuerlichen Interesse an Wasserstoff. Mehrere Länder versuchen, ihre Energiequellen zu diversifizieren, während andere aktiv auf erneuerbare Energiequellen umstellen und wissen, dass sie durch Wasserstoff als Speichermedium die Stromversorgung und das Lastmanagement verbessern können.

Einige Länder verfügen über viel Energie sowie über einzigartige technologische Innovationen oder Ressourcen, die insbesondere Wasserstoff und die damit verbundenen Technologien begünstigen, seien es BZ-Systeme, Elektrolyseure oder die in diese Technologien einfließenden Vorleistungen. Das Klimaabkommen lässt das Interesse an Wasserstoff steigen, aber es ist nicht der einzige Grund für den Einsatz von H₂-Technologien und -Systemen.

Aufgrund des Pariser Abkommens diskutieren Regierungen und Industrien über die mögliche Rolle von Wasserstoff in den verschiedenen Sektoren Mobilität, Wärme und Strom, um die dortigen Emissionen drastisch zu senken. Wie trägt die IPHE zu diesen Diskussionen bei?

Karlsson: Als zwischenstaatliche Partnerschaft konzentriert sich die IPHE darauf, die Entwicklung und den Einsatz von H₂BZ-Technologien durch Informationsaustausch zu fördern. Sie ermöglicht Einblicke in laufende Maßnahmen sowie Initiativen und beleuchtet aktuelle Entwicklungen im Rahmen der Rechtsordnungen. Diese Aktivitäten helfen, anstehende Entscheidungen zu fällen und Maß-



Quelle: IPHE

nahmen zu ergreifen, die den H₂-Einsatz unterstützen. Vor dem Hintergrund der Gegebenheiten eines jeden Mitgliedslandes werden nationalen Ziele wie Innovationsfähigkeit und Wirtschaftswachstum, die Erfüllung von Umweltzielen oder die Erhöhung der Energieautarkie, -stabilität und -effizienz unterschiedlich bewertet. Unabhängig vom Ansporn jedes Mitgliedslandes will die IPHE den Austausch von Informationen und Perspektiven fördern. Das Verständnis länderspezifischer Voraussetzungen und Pläne und die durch IPHE-Mitglieder umgesetzten Maßnahmen und daraus resultierenden Erfahrungen können dazu beitragen, potentielle Entscheidungen an anderer Stelle zu unterstützen. „Sektorkopplung“, „Hydrogen@Scale“ und „H₂-Gesellschaft“ spiegeln alle die Idee der vollständigen Integration und des Nutzens von Wasserstoff über Sektoren hinweg wider. Dies ist ein Leitthema der IPHE-Überlegungen.

Was muss getan werden, damit H₂BZ-Technologien die Versprechen einlösen können, die mit den Schlüsselbegriffen „Sektorkopplung“ und „Hydrogen@Scale“ einhergehen?

Karlsson: Hinter diesen Begriffen steht das Konzept, dass Wasserstoff ein komplementärer Energieträger zu Strom ist und den Einsatz sauberer Energien über alle Sektoren hinweg ermöglicht. Damit wird auch die Produktion von Gütern auf andere Art und Weise möglich. Wasserstoff trägt so zu Energiesicherheit, Resilienz und Erreichung der Umweltziele bei. Diese Möglichkeit, verschiedene Sektoren über Wasserstoff zu integrieren, hat erhebliche Auswirkungen, nicht nur auf die physische Infrastruktur, sondern auch auf den regulatorischen Rahmen sowie auf Normen und Standards in zahlreichen Rechtssystemen. In einigen Ländern könnte Wasserstoff ohne wesentliche Hürden relativ unkompliziert eine stärkere Rolle einnehmen. In anderen Ländern könnte es neue führende Industrieakteure geben, die andere Rollen in der Wirtschaft übernehmen. Heute ist es beispielsweise oft der Stromanbieter, der rechtlich dafür verantwortlich ist, dass die Bürger mit Wärme und Strom versorgt werden. Könnte es stattdessen ein H₂-Anbieter sein? Was bedeutet das für die Wettbewerbspolitik, für die Regulierungsaufsicht, für die soziale Akzeptanz und das Vertrauen in unsere künftige Energie-, Transport- und Industriestruktur?

IPHE-Mitglieder beginnen, die möglichen Auswirkungen der stärker werdenden Rolle von Wasserstoff in der

Wirtschaft zu prüfen. Kosteneffizienz, Langlebigkeit und Wirtschaftlichkeit von H₂-Technologien werden kontinuierlich verbessert. Beispielsweise sind die Kosten für Elektrolyseure in den letzten Jahren gesunken. Erste kommerzielle Anwendungen zeigen, dass Wasserstoff sektorübergreifend ein zuverlässiger und effektiver Energieträger ist. Sich darüber zu verständigen, wie Wasserstoff am besten in die Wirtschaft integriert werden kann, und zu verstehen, dass jede Rechtsordnung ihre eigenen Anforderungen und Merkmale hat, wird ein entscheidender nächster Schritt sein.

IPHE vertritt derzeit 18 Mitgliedsstaaten und die Europäische Kommission. Die Staaten haben unterschiedliche Ideen, Ansätze und Rahmenbedingungen für die Einführung von H₂BZ-Technologien. Was sind die Vorteile ihrer Beteiligung an einer Einrichtung wie der IPHE?

Karlsson: Die IPHE-Mitgliedsländer haben eine Reihe von Zielen in den Bereichen Wirtschaft, Umwelt, Soziales und Energie, in denen Wasserstoff eine Rolle spielen kann. Das Verständnis für die verschiedenen Perspektiven und Beweggründe hilft den einzelnen Mitgliedern, sich darüber klar zu werden, welche Maßnahmen sie ergreifen können, um diese Ziele zu erreichen. Zu den wichtigsten Vorteilen der IPHE zählt die Möglichkeit, Informationen über Vorhaben, Fortschritte, gewonnene Erkenntnisse und bewährte Verfahren zu teilen. Der Austausch von Ideen und Herangehensweisen hilft IPHE-Mitgliedern bei ihren eigenen Überlegungen, wie sich in ihren Volkswirtschaften die Entwicklung und der Einsatz von H₂- und BZ-Technologien am besten beschleunigen lassen. Die Beteiligung an der IPHE bedeutet auch, dass Länder die Möglichkeit zur Zusammenarbeit haben, sei es bei Normen und Standards, im Bereich Kommunikation, Akzeptanz und Öffentlichkeitsarbeit oder durch das Zusammenführen von Forschungseinrichtungen und Demonstrationsprojekten. Die IPHE-Website bietet Mitgliedsländern und anderen Interessengruppen eine Plattform, auf der sie die Berichte und Veranstaltungen der IPHE einsehen können.

Könnten Sie einige Beispiele für die unterschiedlichen Ideen, Ansätze und Randbedingungen der IPHE-Mitgliedstaaten nennen, die den Weg für die Einführung und Vermarktung von H₂BZ-Technologien ebnen?

Karlsson: Der Einsatz in Gabelstaplern in Nordamerika beispielsweise, bei dem regionale und nationale Umstände eine Rolle spielen. Die großen Logistikzentren arbeiten 24 Stunden am Tag, sieben Tage die Woche. In Minutenschnelle tanken, die Leistung aufrechterhalten und den Platzbedarf für den Betrieb der Staplerflotte minimieren zu können, das macht für viele Großunternehmen das Geschäftsmodell aus. In Europa war die Einführung von BZ-Gabelstaplern langsamer. Dafür gibt es verschiedene Gründe. Ein zunächst nicht offensichtlicher Grund sind die Unterschiede in den Logistiksystemen. Aufgrund der Arbeitsbestimmungen ist es nicht zwingend erforderlich, dass der Gabelstapler schnell wieder aufgetankt oder aufgeladen wird. Daher ist das Geschäftsmodell für BZ-Gabelstapler möglicherweise schwieriger.

Ein anderes Beispiel sind Netzersatzanlagen in Indien und anderen Schwellenländern, wo die sprunghafte Entwicklung des Mobilfunks eine hohe Leistung der Funkmasten erfordert. Die entlegene Raglan-Mine im Norden Kanadas nutzt ein Energiesystem, das die Erzeugung von Windkraft mit einem Schwungrad, Batterien sowie ein H₂-System mit Dieselgeneratoren kombiniert. Dies erweist sich als ein sehr effektives System. Gleichzeitig werden die Kosten für den Treibstofftransport erheblich gesenkt und der ökologische Fußabdruck verringert.

In Südafrika hat die nationale Forschungseinrichtung HySA eine 2,5-kW-Brennstoffzelle entwickelt und mit einem Sonnenkollektorsystem sowie einem Elektrolyseur kombiniert, um damit Strom für eine ländliche Schule bereitzustellen – eine Lösung für einen netzfernen Standort, die sozialen Fortschritt ermöglicht. In China und Europa besteht ein großes Interesse an BZ-Bussen. Treiber für die Verkehrsunternehmen sind Luftqualität, keine Emissionen und eine schnelle Betankung, was in den nächsten Jahren zum Einsatz mehrerer hundert Fahrzeuge führen wird.

Welche aktuellen Hürden gibt es national, auf europäischer Ebene, weltweit für eine flächendeckende Nutzung von Wasserstoff im Energiesystem?

Karlsson: Es gibt eine Reihe von technischen Problemen, die Regierungen und Industrie durch gemeinsame Forschung, Entwicklung und Demonstrationen angehen. Zu den derzeitigen Hürden gehören die Kosten für die H₂-Produktion, -Verteilung und -Speicherung, die Schaffung einer umfassenden Infrastruktur und das Fehlen einer tragfähigen Lieferkette. Beispiele für spezifische FuE-Bereiche sind der Einfluss von Wasserstoff auf Pipelinematerialien, Ventile, die Senkung der Kompressorkosten, H₂-Dosierung und -Großspeicher, die Effizienzverbesserung bei der H₂-Verflüssigung sowie die Entwicklung geeigneter Normen und Standards.

Ein umfassenderes Thema ist der Übergang von Demonstrations- oder Pilotprojekten zu einem frühen Markteinsatz. Es gibt sehr gute Mobilitätsinitiativen sowie Betankungsinfrastrukturprogramme und -mechanismen. Außerdem werden neue Möglichkeiten demonstriert, Wasserstoff in industriellen Anwendungen und im Wärme- und Kältebereich von Gebäuden zu nutzen. Sie alle sind entscheidend für die effiziente und sichere Nutzung von Wasserstoff in unterschiedlichen Anwendungsbereichen und tragen dazu bei, dass die Technologien verstärkt eingesetzt werden. Die Frage ist, wie man von diesen Demonstrationen und frühen Marktaktivierungen zu belastbaren systemischen Marktinfrastrukturen kommt. Damit Wasserstoff seine Rolle in der Energiewende spielen kann, die zu nachhaltiger Produktion und nachhaltigem Verbrauch führt, müssen Länder und Regionen verstehen, was es bedeutet, sauberen Wasserstoff in den erforderlichen Mengen zu produzieren, zu verteilen und zu nutzen.

Bislang kommt Wasserstoff aus erneuerbaren Energien häufig durch Markt- oder Infrastrukturprobleme – bei Überkapazitäten – zum Tragen. Wasserstoff kann aufgrund seiner Fähigkeit, Energie längerfristig zu speichern sowie Strom- und Erdgassysteme zu verknüpfen, Effizienzgewinne, Energiestabilität und bis zu einem gewissen Grad Energieunabhängigkeit bieten. Langfristig muss die Produktion von emissionsneutralem Wasserstoff jedoch ein eigenständiges Ziel sein, entweder für die nationale oder regionale Nutzung oder für den Export in Länder und Regionen, die diesen sauberen Energieträger nutzen wollen. Dieser Übergang erfordert wichtige politische Entscheidungen und Kapitalbindung seitens Regierungen und der Industrie. Die Länder beginnen, sich mit den Themen zu befassen, die mit dem Übergang in eine Zukunft verbunden sind, in der Wasserstoff fossile Brennstoffe wie Erdgas ergänzen und in einigen Fällen ersetzen wird.

IPHE ist eine zwischenstaatliche Organisation, die Informationen über die Entwicklung von H₂BZ auf ministerieller und politischer Ebene austauscht. Wie können Sie sicherstellen, dass die Bedürfnisse der Industrie in Ihren Diskussionen berücksichtigt werden? >>

Karlsson: Die IPHE bindet führende H₂- und BZ-Anbieter aktiv in Diskussionen über die neuesten Initiativen und Einsatzfelder ein. Diese Einbindung erfolgt über die IPHE-Foren, die wir auf unseren halbjährlichen Sitzungen des Steering Committee durchführen. Die IPHE trifft sich in Mitgliedsländern auf der ganzen Welt und lädt führende Unternehmen in der jeweiligen Region ein, dort ihre neuesten Entwicklungen zu präsentieren und zu diskutieren. So nahm die IPHE am Stakeholder-Tag des Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking in Brüssel teil und beteiligte sich an den Diskussionen über den derzeitigen Stand erster kommerziell verfügbarer Produkte, über Initiativen, die den Einsatz von H₂BZ-Technologien erleichtern, über die wichtigsten, nicht FuE-bezogenen Hemmnisse, die Industrie und Regierungen angehen sollten, sowie über Maßnahmen, die Industrie und Regierungen ergreifen können, um den Einsatz zu be-

schleunigen. Zuvor haben wir auf der Hannover Messe ein „Government and Industry Panel“ abgehalten, auf dem wir sowohl aus Regierungs- als auch aus Branchensicht eine lebhaftige Diskussion geführt haben.

Die IPHE und ihre Mitglieder stehen zudem mit dem Hydrogen Council und den verschiedenen H₂-Mobility-Initiativen in führenden Ländern in Kontakt. Es ist wichtig, die Ansichten der Industrie zu kennen und sie zu verstehen, wenn diese versuchen, H₂BZ-Technologien aufgrund von Markt- und Regierungssignalen einzuführen. Es können unerwartete Themen auftauchen, die nicht direkt mit den H₂BZ-Technologien zusammenhängen (z. B. die Abgrenzung regionaler Teilmärkte oder Standards), die beim Aufbau der H₂-Infrastruktur überwunden werden müssen. ||

→ www.iphe.net

Thema: International | Autorin: Alexandra Huss

BENCHMARK FÜR DIE INDUSTRIE

Kanada – Vom Klimasünder zum Klimaschutztreiber

50

Kein anderes Land hat die Entwicklung und die Kommerzialisierung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in den letzten dreißig Jahren so stark geprägt wie Kanada. Dies geschah ganz ohne politischen Druck, neue Technologien entwickeln zu müssen, um Klima- und Umwelt zu schützen, die Energieversorgung zu sichern oder Arbeitsplätze und wirtschaftliches Wachstum zu schaffen. Kanadische H₂- und BZ-Unternehmen wie Ballard und Hydrogenics erkannten früh die Potentiale der Technologie für mobile Anwendungen. Sie entwickelten die Technik bereits in den Achtziger- und Neunzigerjahren des 20. Jahrhunderts so weit, dass die großen Autohersteller sie in der Entwicklung ihrer Brennstoffzellenfahrzeuge einsetzen konnten und wollten. Der Hype, den die damaligen Pkw- und Bus-Prototypen im Hinblick auf eine alternative und emissionsfreie Mobilität hervorriefen, schlug sich in einem raketenhaften Wachstum und Erfolg der kanadischen Brennstoffzellenhersteller nieder, der durch den Börsen-Boom Ende der Neunziger- und Anfang der Nullerjahre noch verstärkt wurde.

Allerdings war der damalige Erfolg zunächst nicht nachhaltig. Die kanadischen H₂- und BZ-Unternehmen konnten

nach der Finanzkrise und der Abschwächung des Brennstoffzellen-Hypes nur deshalb weiter bestehen, weil sich in der Folge immer wieder neue Investoren und Geschäftsmodelle fanden und weil man sich auf die Kernaufgabe – die technische Entwicklung – konzentrierte.

Durch erste Demonstrationsprojekte in den USA und Europa und den damit einhergehenden Aufbau von Kleinstserien von Brennstoffzellenautos und -bussen wurde zudem die unabdingbare technische Wettbewerbsfähigkeit im Alltagseinsatz nachgewiesen. Das gab den Ausschlag bei den Anwendern, weiter zu investieren und die Technologie in eigenen Produkten zur Marktreife zu entwickeln. Unterstützt wurden diese Entwicklungen durch die Politik, vor allem in den USA, insbesondere in Kalifornien, wo die Behörden Mindestmengen an Zero-Emission-Vehicles forderten, sowie in Europa, wo zahlreiche Busprojekte die BZ-Entwicklung vorantrieben. Dies sind auch die Gründe, warum die kanadischen Firmen von Beginn an international und exportorientiert agierten, im eigenen Land das Interesse an der Technologie aber gering blieb.

VORZEIGEUNTERNEHMEN BALLARD UND HYDROGENICS
Ballard mit Sitz in British Columbia und Hydrogenics aus

- 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



Heißer Trend: Wasserstoff in der Stahlherstellung ... Heißer Trend: Eisenbahnen mit Brennstoffzellenantrieb ... Very cool: Londoner Polizei setzt jetzt Mirais ein ... Gut gekühlt: Nikola Motors verkauft 800 Brennstoffzellen-Lkw an Brauerei

Ontario gehören heute zu den führenden Anbietern von Produkten und Lösungen, die auf Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik basieren. Man muss anerkennen, dass hinter nahezu allen erfolgreichen Demonstrationsprojekten in Europa, Asien und den USA Brennstoffzellensysteme und Wasserstofflösungen dieser beiden Hersteller stecken. Hier zeigen sich der Erfahrungsvorsprung und das umfangreiche Wissen, das die kanadischen Wasserstoff- und Brennstoffzellenhersteller bei der Technologieentwicklung haben.

Um diese beiden Schwergewichte herum haben sich in den letzten Jahren eine ganze Reihe von Unternehmen etabliert, so dass mittlerweile fast die gesamte Wertschöpfungskette von der Wasserstoffinfrastruktur bis zu den fertigen Brennstoffzellensystemen verschiedenster Anwendungen durch kanadische Unternehmen abgedeckt wird. Zu nennen sind unter anderem Powertech Labs, Greenlight Innovation und HTEC Hydrogen Technology & Energy Corporation, die alle ihren Sitz in British Columbia an der kanadischen Westküste haben. Dementsprechend sitzt das größte H₂- und BZ-Cluster kanadischer Firmen in dieser Westprovinz. Weitere Cluster befinden sich laut Erhebungen des kanadischen Wasserstoff- und Brennstoffzellenverbandes (CHFCA) in Ontario, Quebec und Alberta.

BUSPROJEKTE MIT BALLARD-STACKS Bereits zur Jahrtausendwende lieferte Ballard die Brennstoffzellen-Stacks für eine Flotte von 36 Stadtbussen der Daimler-Tochter EvoBus. Dreißig dieser Busse kamen im Rahmen europäischer Demonstrationsprojekte (CUTE, ECTOS, HyFLEET:CUTE) in zehn europäischen Städten zum Einsatz. Diese Projekte bereiteten den Weg für das europaweite Engagement der Regionen und Städte für einen emissionsfreien öffentlichen Personennahverkehr, das 2016 in der europäischen Beschaffungsmassnahme für Brennstoffzellenbusse mit Unterstützung des Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking mündete.

Sechs Brennstoffzellenbusse zeigten ihre Alltagstauglichkeit im Linienbetrieb in Peking, China, und Perth, Australien. Für den Einsatz während der Olympischen Winterspiele 2010 in Kanada lieferte Ballard dann die Brennstoffzellensysteme für zwanzig New-Flyer-Nahverkehrsbusse der British Columbia Transit Authority.

HYDROGENICS BELIEFERT AUTOS UND ZÜGE Hydrogenics gehört heute zu den führenden Anbietern von PEM-Elektrolyse- sowie PEM-Brennstoffzellentechnik. So fuhr beispielsweise das erste Brennstoffzellenauto von General Motors/Opel, der *HydroGen 1*, im Jahr 2000 mit BZ-Technologie von Hydrogenics. Das nordamerikanische Unternehmen liefert auch die Systeme für die Brennstoffzellenzüge von Alstom, die in den nächsten Jahren auf ausgesuchten Regionalstrecken in Niedersachsen, Hessen, Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg in den Einsatz gehen werden. Hydrogenics' drittes Standbein sind heute Power-to-Gas-Lösungen.

KANADA ALS TREIBER IN DER KLIMAPOLITIK Die Automobil- und die Busindustrie sind weltweit noch immer eines der wichtigsten Anwendungsfelder für H₂- und BZ-Technik. Die treibende Kraft für den zunehmenden Einsatz von Wasserstoff und Brennstoffzellen ist derzeit vor allem die Politik, insbesondere die globale Klimapolitik. Hinzu kommen zwischenzeitliche Strategiewechsel der Industriesektoren, die sich aus wirtschaftlichen und Umweltgründen von den fossilen Energieträgern verabschieden wollen oder müssen. Dazu gehören die großen Energieproduzenten und Energieanlagenhersteller, die Mineralöl- und Gasindustrie sowie die chemische und maritime Industrie.



Abb. 1: Einer von 36 Bussen mit Ballard-BZ-Technologie

Kanada hat den Klimaschutz erst seit November 2015, mit der Amtseinführung der jetzigen Regierung, wieder auf der politischen Agenda. Pünktlich zum Start des Pariser Abkommens war Kanada wieder verbindlicher Teil der Weltgemeinschaft, die sich zum Klimaschutz bekennt. Das Land war im Jahr 2008 aus dem Kyoto-Protokoll ausgestiegen, um hohe Strafzahlungen aufgrund seiner verfehlten Emissionsziele zu umgehen. Statt seine Emissionen im Zeitraum 1998 bis 2008 um sechs Prozent zu vermindern, hatte es den CO₂-Ausstoß um 25 Prozent erhöht. Es drohten damals Strafzahlungen im Milliardenbereich, die das nordamerikanische Land durch seinen Austritt einfach umgangen hat.

Die liberale Regierung unter Premierminister Justin Trudeau nimmt jetzt die Klimapolitik sehr viel ernster und hat mit der Ratifizierung des Pariser Klimaabkommens auch sogleich einen nationalen Plan, das Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change, vorgelegt. Eine CO₂-Emissionsabgabe ist das wesentliche Element dieses Plans. Die kanadische Regierung verspricht sich durch die Monetarisierung der Emissionen einen Innovationsschub sowohl für das Land als auch für die Wirtschaft. Vor diesem Hintergrund ordnet die Regierung des flächenmäßig zweitgrößten Landes der Erde nun auch Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien als grüne Technologien neu ein und untermauert damit, dass das Land beziehungsweise seine Unternehmen schon längst in der ersten H₂- und BZ-Liga spielen.

Fördermittel, die im Rahmen des Pan-Canadian Frameworks verabschiedet wurden, können auch für H₂- und BZ-Aktivitäten genutzt werden. Dies betrifft beispielsweise die *Innovation-Superclusters-Initiative*, die mit 950 Mio. kanadischen Dollar über einen Zeitraum von fünf Jahren bis 2022 ausgestattet ist, sowie den *Strategic-Innovation-* (1,26 Mrd. 2017 bis 2022) oder den *Low-Carbon-Economy-Fund* (2 Mrd. 2017 bis 2022). Hinzu kommen Förderprogramme in den Provinzen British Columbia, Ontario und Quebec, die ihren Schwerpunkt auf emissionsfreie Mobilität legen.

Laut dem Canadian Hydrogen and Fuel Cell Sector Profile, einer Studie aus dem Jahr 2016, erzielte Kanadas Wasserstoff- und Brennstoffzellensektor 2015 einen Umsatz von rund 220 Mio. kanadischen Dollar. Davon kommen 125 Mio. Dollar aus Produktverkäufen und 84 Mio. Dollar aus Serviceleistungen. Die kanadische Industrie gibt 173 Mio. Dollar für Forschung, Entwicklung und Demonstration aus und beschäftigt fast 2.000 meist hochqualifizierte Arbeitnehmer. Kanadische H₂- und BZ-Akteure sind an 18 Demonstrationsprojekten in 98 strategischen und 222 Forschungspartnerschaften beteiligt – keine schlechten Zahlen für ein Land, in dem gerade mal 36 Mio. Menschen leben. ||

NEUE TECHNIK KÖNNTE DIE KAPAZITÄT VERDREIFACHEN

Erhöhung der Effizienz von Wasserstofftankstellen

Eine neue Komprimierungstechnik, die am Argonne National Laboratory des US-Energieministeriums entwickelt wurde, könnte sowohl den Preis für den Bau neuer Wasserstofftankstellen als auch die Kosten für die Kapazitätserweiterung bestehender Anlagen erheblich reduzieren. Das neue Verfahren verringert den Bedarf an teuren Gerätschaften, indem die Kompressoren der Tankstelle so umgerüstet werden, dass sie mehr als nur einen Dispenser gleichzeitig versorgen und gleichzeitig jederzeit einen voll unter Druck stehenden Behälter bevorraten können.

Das Argonne National Laboratory modelliert H₂-Betankung seit mehr als einem Jahrzehnt. Dortige Wissenschaftler gehen davon aus, dass die neue Technik, genannt Druckkonsolidierung, 30 bis 40 Prozent der Komprimierungskosten an Wasserstofftankstellen einsparen kann. Amgad Elgowainy, Teamleiter bei Argonne Energy Systems Division, sagte: „Wir wollen den Speicher, der den Kompressor speist, durch die Konsolidierung von Wasserstoff zwischen Vorratsbehältern optimieren. Auf diese Weise könnten wir an den bestehenden Kompressorstationen, die heute bereits aufgebaut sind, zwei Dispenser nebeneinander und nicht nur einen einzigen versorgen.“

Diese neue Methode könnte die Betankungskosten einer Zapfsäule in Kalifornien von 13 bis 16 US-\$ pro Kilogramm auf etwa 3 bis 4 US-\$ pro Kilogramm senken, erklärte Elgowainy. „Wenn man sich den Betrieb von Wasserstofffahrzeugen anschaut, sind die Kosten für die Treibstoffversorgung eine der größten Herausforderungen“, so der Analytiker. „Diese Technologie kann die Marktbarriere überwinden, indem die Treibstoffkosten gesenkt werden.“

Der Kompressor ist hierbei die kostenintensivste Betankungskomponente. Aber gerade dieses Gerät wird an Wasserstoffstationen häufig überdimensioniert, dann aber zu

Ein Kilogramm Wasserstoff beinhaltet die gleiche Energiemenge wie eine Gallone Benzin, ermöglicht aber eine mehr als das doppelt so weite Reichweite wie Benzinfahrzeuge, wenn es in Brennstoffzellen-Elektrofahrzeugen verwendet wird.

wenig genutzt. Große Kompressoren werden häufig verwendet, um Wasserstoff bei großer Nachfrage möglichst rasch tanken zu können. Außerhalb der Spitzenzeiten werden sie aber nicht oder nur ungenügend genutzt.

In einer typischen Station wird der Kompressor vom stationären Bodenspeicher versorgt. Sobald der Wasserstoff aus den Zylindern des Bodenspeichers abfließt, sinkt auch der am Kompressor anstehende Druck, was zu einem niedrigen Kompressordurchsatz führt.

Bei dem neuen Verfahren der Druckkonsolidierung wird jedoch verhindert, dass der Druck des Bodenspeichers unbegrenzt abfällt. Stattdessen wird der Kompressor während der Pausenzeiten verwendet, um mindestens eine Speicherbank stets mit hohem Druck zu versorgen, wodurch ein hoher Durchsatz während der Spitzenstunden der Kraftstoffversorgung sichergestellt wird. Zudem gewährleistet dieses Konzept, dass bis zu drei Dispenser mit nur einem Kompressor verwendet werden und nicht wie ansonsten üblich nur für einen einzelnen.

Elgowainy erklärte: „Der Kompressor läuft im Wesentlichen weiter und bereitet einige der Speicherbänke darauf vor, bei erhöhtem Bedarf bereit zu stehen. Man braucht somit keinen großen Kompressor, um die gleiche Arbeit zu leisten.“ Neue Stationen, die mit dieser Technologie gebaut würden, könnten die Kapitalkosten um 25 bis 30 Prozent senken, sagte er.

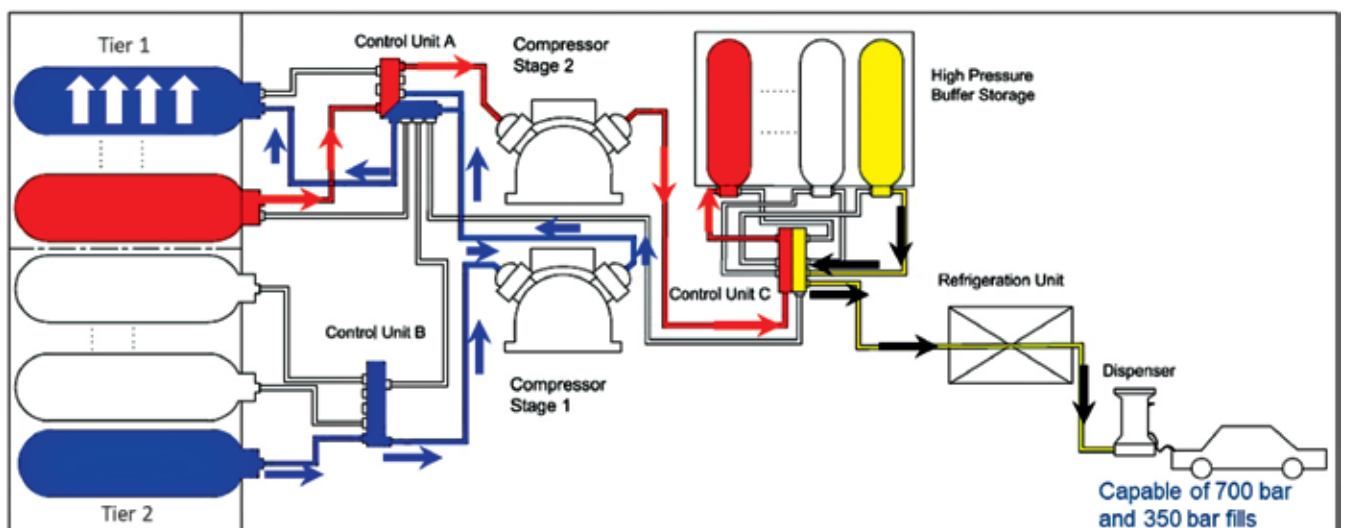


Abb. 1: Schematische Darstellung des Tankstellenbetriebs mit Druckkonsolidierung

Die Erweiterung der Kapazität bestehender Stationen spart ebenfalls Kosten, da kein weiterer Kompressor für eine zusätzliche Zapfsäule benötigt wird. Zusätzlich trägt das entwickelte Betriebssystem dazu bei, die Start- und Stopp-Routine des Kompressors zu reduzieren, was zur Verbesserung der Zuverlässigkeit des Kompressors führt.

„Alternativ können Sie mit einem bereits vorhandenen Kompressor den Durchsatz mit der neuen Methode verdoppeln oder verdreifachen“, so Amgad Elgowainy. Die Technologie verlangsamt auch nicht die Betankung oder beeinflusst die Kraftstoffversorgung für die Verbraucher in irgendeiner Weise. „Das Ziel ist, in der gleichen Zeit zu tanken. Dies ist der Anspruch einer intelligenten Umsetzung.“ Dieses Verfahren könne auch mit jeder Art gasförmigen Kraftstoffs angewandt werden, einschließlich der Betankung von Erdgasfahrzeugen (CNG), fügte der Autor zahlreicher Studien hinzu.

Das Labor erhielt kürzlich eine Technologie-Kommerzialisierungsförderung vom Energieministerium, um diese Technik serienreif zu machen, sagte Muni Biruduganti, Business Development Executive bei Argonne's Technology Commercialization and Partnerships Division. „Das hat

neue Geschäftsfelder eröffnet, um diese Technologie auf den Markt zu bringen“, erklärte Muni.

Argonne erhielt sein erstes Patent auf die Technologie im Jahr 2017. Ein zweites Patent wurde 2016 eingereicht und steht noch aus. In diesem Jahr plant Argonne eine Demonstration auf einer kommerziellen Station, um seine Effizienz unter Beweis zu stellen. „In naher Zukunft werden wir mit einer kommerziellen Einrichtung zusammenarbeiten, um die Technologie vor Ort an einem der Tankstellen zu demonstrieren“, sagte Elgowainy. „Wir sprechen mit potenziellen Partnern, die Interesse an der Technologie haben.“ ||

→ <https://hdsam.es.anl.gov/>

Die Arbeiten werden vom Fuel Cell Technology Office (FCTO) über das Büro für Energieeffizienz und erneuerbare Energien (EERE) des US-Energieministeriums (Department of Energy, DOE) gefördert. Diese Technologie steht zur Lizenzierung zur Verfügung.

Thema: International | Autor: Robert „Bob“ Rose

USA: MEHR F&E-GELDER ALS ERWARTET

53

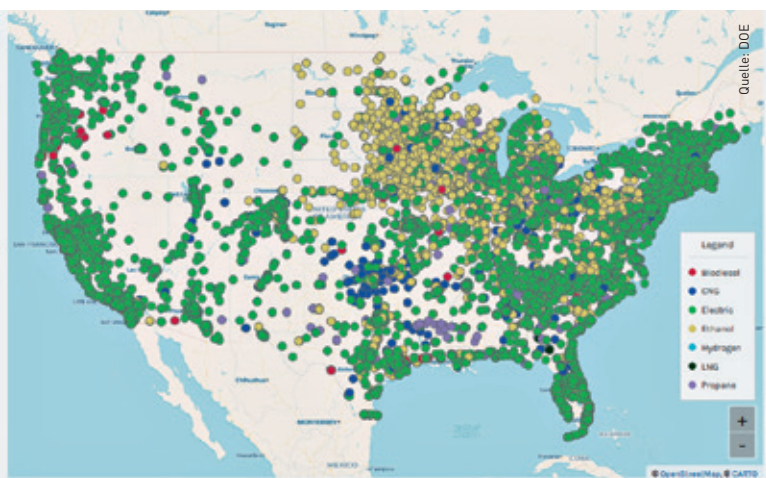


Abb. 1: Alternative Tankstellen in den USA

Nikola, der Entwickler von Klasse-8-Lastwagen mit Brennstoffzellen-Range-Extendern, hat einen Auftrag über 800 Einheiten von Budweiser angekündigt und zudem Tesla Motors wegen Patentrechtsverletzungen in Höhe von US-\$ 2 Mrd. verklagt. Nikolas Meldung sorgte für so viel Aufmerksamkeit, dass auch Federal Express eine Mitteilung über den Erhalt eines Brennstoffzellen-Lieferwagens herausgab.

Die Wahl des Firmennamens (Nikola ist der Vorname des Erfinders Tesla) zeigt einen gewissen Sinn für Humor und diese „in your face“-Haltung scheint dem Unternehmen Spaß zu machen. Tatsächlich ist dieser Kampf eine Herzensangelegenheit für den Wasserstoffsektor.

Teslas CEO Elon Musk spektakulärer Wall-Street-Erfolg hat ihn zum Liebling der Meinungsführer von Kaliforniens Umweltaktivisten gemacht. Dies wirkt sich auch auf die einflussreichen Umweltorganisationen im Nordosten der USA

aus, die dem Wasserstoff ohnehin eher skeptisch gegenüber standen. Aber die Marktkräfte verschieben sich derzeit und es scheint, dass schwerere Fahrzeuge einen Wechsel zu Gunsten von Brennstoffzellen bewirken könnten, so dass Marktanteile gewonnen werden. Dadurch erhält die Brennstoffzellentechnik auch mehr Respekt von Nicht-Regierungsorganisationen und finanzielle sowie andere Unterstützung von Regierungsseite.

Das US-Energieministerium DOE hat derweil seine Datenbank für das Laden und Betanken von Fahrzeugen mit alternativen Kraftstoffen aktualisiert und eine interaktive Karte erstellt. Im Moment überwiegt bei weitem die Anzahl der grünen Batterieladestationen. Bis die H₂-Standorte nachziehen, dürfte es noch eine Weile dauern.

Das DOE ist zudem aktuell bemüht, ein eher ungewöhnliches Problem zu lösen: Es werden mehr FuE-Gelder im Geschäftsjahr 2018 vorhanden sein als erwartet. Niemand anderes als überaus optimistische Enthusiasten hätte davon ausgehen können, dass der US-Kongress US-\$ 102 Mio. bewilligt, über US-\$ 30 Mio. mehr als das Repräsentantenhaus oder der Senat beiseitegelegt hatten. Dies dürfte das Ergebnis einflussreicher Freunde in hohen Positionen gewesen sein.

Währenddessen gibt es immer noch große Lücken in der Führungsstruktur des DOE, auch 18 Monate nach Start der Trump-Administration, was darauf hindeutet, dass der derzeitige Status bis zur Wahl im November 2018 andauern wird. Dies bewirkt zwar eine gewisse Verunsicherung im System, aber Bürokratien sind hart. ||

→ www.afdc.energy.gov/fuels/electricity_locations.html#/

TERMINKALENDER
JUNI**19.–21.06. Electrify Europe**

Konferenz & Messe, Wien/Österreich,
PennWell, Tel. +44-1992-656-717,
www.electrify-europe.com

20.–22.06. ees – electrical energy storage

Konferenz & Messe, München,
Intersolar, Tel. 07231-58598-0, Fax -28,
www.ees-europe.com

22.–24.06. E-Mobil Rallye

Wettfahrt, Lübeck, Eco-Mobility, Tel.
0431-24746372, www.emobil-rallye.com

27.–28.06. interCOGEN

Messe, Karlsruhe, Reeco, Tel.
07121-3016-111, www.intercogen.de

JULI**03.–06.07. European SOFC & SOE-Forum**

Konferenz & Messe, Luzern/Schweiz,
European Fuel Cell Forum, Tel.
+41-4-45865644, Fax -135080622,
www.efcf.com

05.07. Wasserstofftag

Seminar, Lampoldshausen, DLR, Fax
07131-7669709, www.wfgheilbronn.de

24.–27.07. Hypothesis XIII

Konferenz, Singapore, NTU Singapore,
www.hypothesis.ws

26.–28.07. China International Hydrogen and Fuel Cell Exhibition

Messe, Beijing/China, China
Machinery Industry Federation, Tel.
+86-10-62780537, <http://en.chfce.com>

AUGUST**19.08. AtEm Aktionstag Elektromobilität**

Aktionstag, Stuttgart, Peter Sauber
Agentur Messen u. Kongresse,
Tel. 0711-656960-56, Fax -9056,
www.region-stuttgart.de

29.08. Batterie und Brennstoffzelle in der Mobilität

Seminar, Oldenburg, Olec,
Tel. 0441-36116-565,
www.energiecluster.de/wasserstoff

SEPTEMBER**10.–14.09. Joint European Summer School**

Basiskurs, Athen/Griechenland,
FZ-Jülich, Tel. +44-121-4145275,
www.jess-summerschool.eu

11.–15.09. Automechanika

Messe, Frankfurt a. M., Messe
Frankfurt, Tel. 069-7575-0,
Fax -6433, www.automechanika.de

12.–13.09. E-Motive

Konferenz, Stuttgart, Forschungs-
vereinigung Antriebstechnik,
Tel. 069-6603-1820, Fax -2820,
www.e-motive.net

17.–21.09. Joint European Summer School

Fortgeschrittenenkurs, Athen/
Griechenland, FZ-Jülich,
www.jess-summerschool.eu

18.09. Energy Saxony Summit

Tagung, Dresden, Energy Saxony,
Tel. 0351-486797-11, Fax -49,
www.energy-saxony.net

18.–19.09. f-cell

Kongress & Messe, Stuttgart,
Peter Sauber Agentur Messen u.
Kongresse, Tel. 0711-656960-55,
Fax -9055,
www.f-cell.de

20.09. Marktplatz Zulieferer

Workshop, Berlin, NOW, Tel.
030-3116116-15, www.now-gmbh.de

20.–21.09. Lithium-Ionen-Batterien für Bordnetze, Hybrid- und Elektrofahrzeuge

Seminar, Aachen, Haus der Technik,
Tel. 0201-1803-211, Fax -280,
www.hdt.de

20.–27.09. IAA Nutzfahrzeuge

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

24.–27.09. Hydrogen + Fuel Cells North America

Messe, Anaheim/USA, Deutsche
Messe, Tel. 030-6098455-6, Fax -8,
www.h2fc-fair.com/usa/

25.–27.09. California Hydrogen and Fuel Cell Summit

Konferenz, Sacramento/USA,
California Environmental Protection
Agency, Tel. +1- 310-455-6095,
www.californiahydrogensummit.com

25.–28.09. WindEnergy

Konferenz & Messe, Hamburg,
Hamburg Messe und Congress GmbH,
Tel. 040-35692-285,
Fax -180,
www.windenergyhamburg.com

26.–28.09. FC Expo Osaka

Messe, Osaka/Japan, Reed Exhibitions
Japan Ltd., Tel. +81-3-334985-76,
Fax -35, www.fcexpo-kansai.jp

30.09.–03.10. Electric Vehicle Symposium

Konferenz & Messe, Kobe/Japan,
EVTeC, Tel. +81-3-3263869-5,
Fax -3, www.evs31.org

OKTOBER**05.–07.10. eRUDA**

Rundfahrt, Fürstfeldbruck,
ePROJEKT, Tel. 08143-99-7979,
Fax -9607, www.eruda.de

08.–13.10. DRIVE-E-Akademie

Seminar, Stuttgart, Fraunhofer
Gesellschaft, Tel. 030-40006522-2,
Fax -0, www.drive-e.org

09.–11.10. EuroMold

Messe, Sindelfingen, IGF, Tel:
069-274003-15, www.euromold.com

16.–17.10. HYPOS-Forum

Konferenz, Leipzig, HYPOS,
Tel. 0341-60016-20, Fax -13,
www.hypos-eastgermany.de

16.–18.10. eMove360°

Kongress & Messe, München,
MunichExpo, Tel. 089-3229911-2,
Fax -9, www.emove360.com

22.–23.10. Elektrochemische Speichertechnik

Kolloquium, Ostfildern, TAE,
Tel. 0711-34008-29, Fax -30,
www.tae.de

23.10. Brennstoffzellenforum Hessen

Konferenz, Frankfurt/M., Hessen
Agentur, Tel. 0611-7748-959, Fax -620,
www.h2bz-hessen.de

23.–25.10. gat & watt

Kongress & Messe, Essen, DVGW,
Tel. 0228-9188-611, Fax -990,
www.gat-dvgw.de

28.10.–02.11. Symposium on Metal-Hydrogen Systems

Konferenz, Guangzhou/China,
SCUT, Tel. +86-20-8711-4253,
www.mh2018.cn

NOVEMBER**07.–10.11. Energie-Symposium**

Symposium, Stralsund, FH Stralsund,
Tel. 03831-45-6713, Fax -711713,
www.fh-stralsund.de

FIRMENVERZEICHNIS

ARMATUREN, REGLER, VENTILE



Eugen Seitz AG, Führende H₂-Magnetventil-Technologie von 10 bis 1.000 bar, Spitalstrasse 204, 8623 Wetzikon, Schweiz, Tel. +41-44-9318190, h2info@seitz.ch, www.seitz.ch



HPS Solutions GmbH, Fraunhoferstr. 5, 82152 Martinsried, Tel. 089-744926-0, Fax -10, info@hps-solutions.de, www.hps-solutions.de



PTEC – Pressure Technology GmbH, Rohrleitungen, Verschraubungen, Filter, Ventile, Regler, TPRD, Linde 11, 51399 Burscheid, Tel. 02174-748-722, Fax -223, www.ptec.eu

BERATUNG & PLANUNG



EMCEL GmbH – Ingenieurbüro für BZ, H₂-Technologie und E-Mobilität. Machbarkeitsstudien, Normen & Zulassung, Instandhaltung. Brüsseler Str. 85, 50672 Köln, Tel. 0221-29931929, email@emcel.com, www.emcel.com

H2Gate, Rosenhagenstr. 42, 22607 Hamburg, Tel. 040-89018247, www.h2gate.de

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

Technology Management SK, Benedikt Eska, Innovationsmanagement, Strategieentwicklung, Projektmanagement, Technologie- und Marktanalysen, Münchener Str. 35a, 85748 Garching, Tel. 089-36037836, www.temsk.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 & H₂-Technik, Einsteinstr. 55, 89077 Ulm, Tel. 0731-15937-500, Fax -501, mail@wenger-engineering.com, www.wenger-engineering.com

BRENNSTOFF- UND LUFTVERSORGUNG



Andreas Hofer Hochdrucktechnik GmbH, Neuman Esser Group, Ruhrorter Str. 45, 45478 Mülheim a. d. Ruhr, Tel. 0208-46996-0, Fax -11, www.andreas-hofer.de



Gebr. Becker GmbH, Hölker Feld 29-31, 42279 Wuppertal, Tel. 0202-697-255, Fax -38255, info@becker-international.com, www.becker-international.com



Busch Clean Air S.A., Chemin des Grandes-Vies 54, 2900 Porrentruy, Schweiz, Tel. +41-32-46589-60, Fax -79, info@buschcleanair.com, www.buschcleanair.com



Celeroton AG, hochkompakte Turbo-Kompressoren für die Luftversorgung von Brennstoffzellen, Industriestr. 22, 8604 Volketswil, Schweiz, Tel. +41-44-25052-20, Fax -29, info@celeroton.com, www.celeroton.com



Mehrer Compression GmbH, Rosenfelder Str. 35, 72336 Balingen, Tel. 07433-2605-0, Fax -7541, www.mehrer.de

BRENNSTOFFZELLEN



SHIFT POWER | ENERGIZE YOUR WORLD

Hydrogenics GmbH, Am Wiesenbusch 2, Halle 5, 45966 Gladbeck, Tel. 02043-944-133, Fax -146, powersales@hydrogenics.com, www.hydrogenics.com



Proton Motor Fuel Cell GmbH, Benzstrasse 7, 82178 Puchheim, Tel. 089-1276265-0, Fax -99, www.proton-motor.de

Siqens GmbH, Landsberger Str. 318d, 80687 München, Tel. 089 4524463-0, info@siqens.de, www.siqens.de

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

ELEKTROLYSEURE



AREVA H2Gen GmbH, Eupener Straße 165, 50933 Köln, Tel. 0221-2919073-0, Fax -9, www.arevah2gen.com

AsahiKASEI

Asahi Kasei Europe GmbH, Am Seestern 4,
40547 Düsseldorf, Tel 0211-8822-030,
info@asahi-kasei.eu, www.asahi-kasei.eu

nel

Nel Hydrogen, 10 Technology Drive, Wallingford, CT
06492, USA, Tel. +1-203-949-8697, Fax -8016,
info@protononsite.com, www.NelHydrogen.com



Diamond Lite SA

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



sunfire

sunfire GmbH, Gasanstalt-
straße 2, 01237 Dresden,
Tel. 0351-896797-0, Fax -885,
www.sunfire.de



Enapter

Enapter, Via Lavoria, 56G,
56040, Crespina PI, Italien,
Tel. +39-5064-4281,
www.enapter.com



INTELLIGENCE IN DRIVES

Prüfrefx Innovative Power Products
GmbH, Egersdorfer Str. 36, 90556
Cadolzburg, Tel. 09103-7953-0,
Fax -55, www.pruefrefx.de



Giner ELX, Inc., 89 Rumford Avenue,
Newton, Massachusetts 02466, USA,
Tel. +1-781-529-0500, information@ginerelx.com
www.ginerelx.com



PEM-Elektrolyseure,
Stacks, H₂-Projekte

www.h2agentur.de

ELEKTRONIK



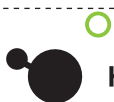
HPS Home Power Solutions GmbH,
Carl-Scheele-Str. 16, 12489 Berlin, Tel. 030-
5169-5810, mail@homepowersolutions.de,
www.homepowersolutions.de



MicrobEnergy GmbH,
Spezialist für biologische
Methanisierung, Bayern-

werk 8, 92421 Schwandorf, Tel. 09431-751-400, Fax -5400,
info@microbenergy.com, www.microbenergy.com

FORSCHUNG & ENTWICKLUNG



Hydrogen is now.
H-TEC SYSTEMS

H-Tec Systems GmbH,
PEM-Elektrolyseure für
industrielle Anwendungen,
Maria-Goepfert-Str. 9a, 23562 Lübeck, Tel. 0451-39941-0,
Fax -799, info@h-tec-systems.com, www.htec-systems.de

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

HYDROGENICS

SHIFT POWER | ENERGIZE YOUR WORLD

Hydrogenics GmbH, Am Wiesenbusch 2,
Halle 5, 45966 Gladbeck, Tel. 02043-944-133, Fax -146,
powersales@hydrogenics.com, www.hydrogenics.com



Fraunhofer

Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme

ISE ISE, Heidenhofstr. 2,

79110 Freiburg/Br., Tel. 0761-4588-5208, Fax -9000,
www.h2-ise.de



iGas energy GmbH, Cockerillstr. 100,
52222 Stolberg, Tel. 02402-9791600,
info@igas-energy.de, www.iGas-energy.de

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



ITM Power GmbH,
Energy Storage –

Clean Fuel, Mragowo Strasse 15, 35305 Grünberg,
Tel. 06401-225757-0, Fax -2, www.itm-power.com

Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme
IMM, Carl-Zeiss-Str. 18-20, 55129 Mainz, Tel. 06131-9900,
info@imm.fraunhofer.de, www.imm.fraunhofer.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

McPhy Energy Deutschland GmbH, Schmiedestr. 2, 15745
Wildau, Tel. 03375-497210-0, Fax -9, www.mcphy.com

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

GAS-DIFFUSIONS-LAGEN (GDL)



MeliCon

Metallic Lightweight Construction

MeliCon GmbH, GDL-Komponenten in Titan und Edelstahl, metallische Filtermedien, Porschestra. 6, 41836 Hückelhoven, 02433-44674-0, Fax -22, www.melicon.de



SGL Carbon GmbH, Werner-von-Siemens-Str. 18, 86405 Meitingen, Tel. 08271-83-3360, Fax -103360, fuelcellcomponents@sglgroup.com, www.sglgroup.com

INFRASTRUKTUR

H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co.KG, EUREF-Campus 10-11, 10829 Berlin, Tel. 0170-5870317, presse@h2-mobility.de, www.h2-mobility.de

MESSDATENMANAGEMENT UND MONITORING

DiLiCo engineering GmbH, Moldenstr. 4, 39106 Magdeburg, Tel. 0391-505859-86, info@dilico.de, www.dilico.de



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

neo hydrogen sensors GmbH, Hersteller von Wasserstoffsensoren und Katalysatoren, Bussardweg 12, 41468 Neuss, Tel. 02131-2090112, Fax -6629600, www.neohysens.de

ORGANISATION



Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

NOW GmbH, Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie,

Fasanenstrasse 5, 10623 Berlin, Tel. 030-3116116-43, Fax -77, www.now-gmbh.de

PRÜFTECHNIK



Greenlight Innovation Corp. Canada, Europäische Vertretung: Dr. Lutz

Consulting GmbH, Kahlenbergstr. 44, 66849 Landstuhl, Tel. 06371-914914, tlutz@greenlighteurope.com, www.greenlightinnovation.com

MAXIMATOR[®]

Maximum Pressure.

Maximator GmbH, H₂-Hochdrucktechnik, Prüftechnik, Hydraulik, Pneumatik, Dienstleistungen, Lange Straße 6, 99734 Nordhausen, Tel. 03631-9533-5107, H2Team@maximator.de, www.maximator.de

Resato

HIGH PRESSURE TECHNOLOGY

Resato International B.V., Duitslandlaan 1, 9400 AZ Assen, Niederlande, Tel. +31-501-6877, www.resato.com

SL Tech2 GmbH – Ihr Entwicklungspartner für die Mobilität von morgen, Weinbergweg 13, 73230 Kirchheim, Tel. 07021-993968-0, Fax -1, www.sl-tech2.de

57

3. Internationale Fachmesse für die Mobilität 4.0
elektrisch - vernetzt - autonom

16. - 18. Oktober 2018, Messe München



www.emove360.com



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

RECHTSBERATUNG

Becker Büttner Held, Rechtsanwälte – Wirtschaftsprüfer – Steuerberater, Magazinstr. 15-16, 10179 Berlin,
Tel. 030- 6112840-0, Fax -99, *www.bbh-online.de*

SPEICHERTECHNIK

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



Hydrogenious Technologies GmbH, Weidenweg 13,
91058 Erlangen, Tel. 09131-12640-220, Fax -29,
www.hydrogenious.net

McPhy Energy Deutschland GmbH, Schmiedestr. 2, 15745
Wildau, Tel. 03375-497210-0, Fax -9, *www.mcphy.com*

Reuther STC GmbH, Fabrikstr. 8, 15517 Fürstenwalde,
Tel. 03361-694-0, Fax -852, *www.reuther-stc.com*



Wystrach GmbH, Industriestr. 60, 47652 Weeze,
Tel. 02837-9135-0, Fax -30, *www.wystrach-gmbh.de*

STATIONÄRE SYSTEME

SOLIDpower GmbH, Borsigstraße 80, 52525 Heinsberg,
Tel. 02452-153-758, Fax -755, *bluegen@solidpower.com*,
www.solidpower.com

SYSTEMINTEGRATION

ECG GmbH ElektroChemischeGeneratoren,
Benzstr. 23-25, 51381 Leverkusen, Tel. 0221-6777-3530,
kontakt@ecg-online.com, *www.ecg-online.com*



Framatome GmbH, Paul-Gossen-Str. 100, 91052 Erlangen, An-
sprechpartner: Frau Gemmer-Berkbilek, Tel. 09131-90095221,
www.framatome.com

McPhy Energy Deutschland GmbH, Schmiedestr. 2, 15745
Wildau, Tel. 03375-497210-0, Fax -9, *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

TESTSTÄNDE



AVL List GmbH, Hans-List-Platz 1, 8020 Graz,
Österreich, Tel. +43-316-787-0, Fax -400,
info@avl.com, *www.avl.com*



FuelCon AG, Steinfeldstr. 1,
39179 Magdeburg-Barleben,
Tel. 039203-5144-00, Fax -09,
info@fuelcon.com,
www.fuelcon.com

VERANSTALTER



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



Peter Sauber Agentur Messen und Kongresse GmbH, f-cell –
Die Impulsveranstaltung,
Wankelstr. 1, 70563 Stuttgart,
Tel. 0711-656960-55,
Fax -9055, *www.f-cell.de*

VEREINE & VERBÄNDE

Deutscher Wasserstoff- & Brennstoffzellen-Verband e.V.,
Moltkestr. 42, 12203 Berlin, Tel. 030-398209946-0,
Fax -9, www.dwv-info.de

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

H2BZ-Initiative Hessen e.V., Konradinallee 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., Golden-
bergstr. 1, 50354 Hürth, Tel. 02233-406123, www.hycologne.de



HYPOS – Hydrogen Power Storage & Solutions
East Germany, Blücherstraße 26, 06120 Halle
(Saale), Tel. 0341-6001620, info@hypos-east-germany.de, www.hypos-eastgermany.de

WEITERBILDUNG

forumKWK – Berufsbildungs- und TechnologieZentrum der
Handwerkskammer in Osnabrück, Brennstoffzellen in der
Haustechnik – Aus- und Weiterbildungsangebote für das Hand-
werk, forumKWK@hwk-osnabrueck.de, www.btz-osnabrueck.de



H-Tec Education GmbH, Demonstration & Ausbildung für
Schulen, Universitäten, Maria-Goeppert-Str. 9a, 23562 Lübeck,
Tel. 0451-39941-0, Fax -799, info@h-tec-education.com,
www.h-tec.com

Weiterbildungszentrum für innovative Energietechnologien
der Handwerkskammer Ulm (WBZU), Helmholtzstr. 6, 89081
Ulm, Tel. 0731-17589-0, Fax -10, info@wbzu.de, www.wbzu.de

ZULIEFERER



Anleg GmbH, MSR, Anlagenbau, H₂- &
Ventiltechnik, Am Schornacker 59, 46485 Wesel,
Tel. 0281-206526-0, Fax -29, www.anleg.de



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



FLUID CONTROL SYSTEMS

Bürkert Werke GmbH & Co.
KG, Magnetventile,
Mass Flow Controller,
Fluidtechnische Systemlösun-
gen, Christian-Bürkert-Str. 13-17, 74653 Ingelfingen,
Tel. 07940-10-0, Fax 91204, www.buerkert.com

Buschjost GmbH (trading as IMI Precision Engineering),
Detmolder Str. 256, 32545 Bad Oeynhausen,
Tel. 05731-791-0, Fax -179, www.imi-precision.com/de

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



ElringKlinger AG, Max-Eyth-
Str. 2, 72581 Dettingen/Erms,
Tel. 07123-724-0, Fax -9006,
info@elringklinger.com,
www.elringklinger.com



Fax -50, www.eph-elektronik.de, www.g-e-o-s.de

FUMATECH BWT GmbH, Carl-Benz-Str. 4,
74321 Bietigheim-Bissingen, Tel. 07142-3737-900,
Fax -999, www.fumatech.de



Gräbener Maschinentchnik GmbH & Co. KG, Metallische
Bipolarplatten & Separatorplatten, Am Heller 1, 57250
Netphen-Werthenbach, Tel. 02737-989-367, a.edelmann@graebener-group.com, www.graebener-maschinentchnik.de



Kerafol Keramische Folien GmbH,
Koppe-Platz 1, 92676 Eschenbach,
Tel. 09645-884-30, Fax -90,
www.kerafol.com/sofc

Miba Coating Group, High Tech Coatings GmbH,
Beschichtungen für Brennstoffzellen, Dr.-Mitterbauer-Str. 3,
4655 Vorchdorf, Österreich, Tel.: +43-(0)7614-6541-0,
Fax -8400, michael.hiller@miba.com, www.miba.com



Theisen GmbH & Co. KG, GH₂ & LH₂ Rohrleitungs- und
Regelsysteme, H₂-Verdampfer und Kühler, Druckbehälter,
Abfüll- und Betankungsanlagen, Anlagenwartung,
info@theisen-gmbh.de, www.theisen-gmbh.de



WEKA AG, Schuerlistr. 8, Kryo-
gen-Komponenten und Spezialventile,
8344 Baeretswil, Schweiz,
Tel. +41-43-833434-3, Fax -9,
info@weka-ag.ch, www.weka-ag.ch



TOYOTA

NICHTS IST
UNMÖGLICH

TOYOTA

MIRAI

DIE NATUR WIRD DICH LIEBEN



Der Erste seiner Art: Der Toyota Mirai überzeugt als erste Wasserstoff-Limousine in Großserie nicht nur mit 500 km Reichweite – und lässt sich in nur drei Minuten auftanken. Evolutionär ist vor allem sein dynamischer Antrieb bei **0 % Emissionen**. Seien Sie mit dem Pionier der Brennstoffzellen heute schon einen Schritt voraus und genießen Sie umweltfreundlichste Mobilität.

Erleben Sie den Toyota Mirai aus einer ganz anderen Perspektive im Gewinnerfilm beim Nachwuchswettbewerb **DIE „GROSSE“ KLAPPE 2018** – jetzt auf toyota.de/mirai

Kraftstoffverbrauch (Wasserstoff) innerorts/außerorts/kombiniert: 0,69/0,80/0,76 kg/100 km, Stromverbrauch kombiniert 0 kW/100 km, CO₂-Emissionen kombiniert 0 g/km