

DAS MAGAZIN FÜR WASSERSTOFF UND  
BRENNSTOFFZELLEN

# HZwei

Wir wollen  
bei Wasserstoff-  
technologien  
die Nummer 1  
in der Welt  
werden.

→ WIRTSCHAFTSMINISTER P. ALTMAIER  
KÜNDIGT WASSERSTOFFSTRATEGIE AN

→ LEBHAFTE DISKUSSION ÜBER CO<sub>2</sub>-  
STEUER ODER -ZERTIFIKATEHANDEL



# f-cell

## Internationale Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Konferenz und Messe

10.+11. September 2019

Anmeldung online  
oder vor Ort



**SAVE  
THE  
DATE**

29.+30. September

**2020**

Kontakt:

Sandra Bilz  
sandra.bilz@messe-sauber.de  
+49 711 656960-5704

Organisation:

**PETER SAUBER  
AGENTUR**  
Messen und Kongresse GmbH

[f-cell.de](http://f-cell.de)



**#fcell19 #fcellaward**

# INHALTSVERZEICHNIS

## 3 Impressum

## 4 Editorial

## 5 Meldungen

Klaus Bonhoff verlässt die NOW  
Chemnitz wird zum H<sub>2</sub>-Centrum  
Tankstellenbrand in Norwegen  
Lesetipp: Kleine Gase – große Wirkung

## 7 Messen und Kongresse

f-cell mit 24-Stunden-Rennen

## 8 Politik

Masterplan für eine Wasserstoffwirtschaft  
Bundesregierung will H<sub>2</sub>-Strategie vorlegen  
Österreich will H<sub>2</sub>-Nation Nr. 1 werden  
Kommentar von Prof. E. U. von Weizsäcker  
Diskussion über die CO<sub>2</sub>-Steuer  
Interview mit Franz Untersteller  
Gastbeitrag vom Mineralölwirtschaftsverband

## 24 Energiespeicherung

Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen  
Vergleich zwischen Braunkohle- und H<sub>2</sub>-Kraftwerk  
HyFab-Forschungsfabrik kommt nach Ulm

## 31 Elektromobilität

Studie der Ludwig-Bölkow- und ADAC-Stiftung  
VDI/VDE-Studie zur Elektromobilität  
Zwischenbilanz von H2ME  
Förderaufruf für Brennstoffzellenstapler  
EVS32 in Lyon, Frankreich

## 42 Entwicklung

Neue Fertigungsanlage für PEM-Stacks  
Modulares Design von PEM-Elektrolyseuren

## 48 Aktienanalyse

## 51 International

Fahrbericht von Cory Shumaker aus den USA  
Kalifornien verbietet die Emissionen  
Island – vom Pionier zum Nachzügler

## 56 Stellenbörse

## 57 Terminkalender

## 58 Firmenverzeichnis



Quelle: Pfeiffer.Frag/Oliver Rausch

## 05 Klaus Bonhoff geht ins Verkehrsministerium



Quelle: BMU

## 10 Umweltministerin Schulze legt PtX-Aktionsprogramm vor



Quelle: CHBC

## 51 Erfahrungen eines Hydronauts in Kalifornien

3

### IMPRESSUM HZwei

**HZwei**  
DAS MAGAZIN FÜR WASSERSTOFF UND  
BRENNSTOFFZELLEN

ISSN: 1862-393X  
Jahrgang: 19. (2019) / Heft 4, Oktober 2019

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, Sven Jösting,  
Niels Hendrik Petersen

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

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- Kündigungs: 50 % Ermäßigung  
jederzeit möglich, 6 Wochen vor nächster Ausgabe

Namentlich gekennzeichnete Beiträge spiegeln die Meinung der Autoren wider und entsprechen nicht unbedingt der Meinung der Redaktion.

Inhalte der Zeitschrift sowie der Homepage sind urheberrechtlich geschützt und dürfen nur nach ausdrücklicher Zustimmung des Hydrogeit Verlages vervielfältigt oder anderweitig veröffentlicht werden. Für unverlangt eingesandte Manuskripte und Fotos wird keine Haftung übernommen.

**H<sub>2</sub>HYDROGEIT**  
Verlag

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

Titelbild: Wirtschaftsminister Peter Altmaier kündigt H<sub>2</sub>-Strategie an  
[Quellen: BMWi / Susanne Eriksson; Freepik]

# VERÄNDERUNG LIEGT IN DER LUFT

Liebe Leserinnen und Leser!

Das aktuelle Interesse an Wasserstoff ist fast schon beängstigend. Zu oft hatten wir schon H<sub>2</sub>-Hypes, nach denen dann das Image von Wasserstoff schlechter war als je zuvor. Etliche Branchenvertreter, mit denen ich dieser Tage geredet habe, sind daher skeptisch und befürchten, dass die gerade aufkeimende Hoffnung auf einen nachhaltigen Wandel gleich wieder zerstört wird.

Gleichzeitig ist derzeit aber auch etwas zu spüren, was es früher nicht gab. Irgendetwas ist anders als bei den bisherigen Hypes, so, als läge bereits die Vorahnung von etwas Neuem in der Luft.

Damals, beim ersten Hype, hatten zunächst einige Entwickler die Vorzüge der H<sub>2</sub>- und BZ-Technik hervorgehoben und – wie wir später feststellen mussten – haltlose Versprechen dazu in die Welt gesetzt, wie schnell erste Produkte in den Markt gelangen könnten. Einige Jahre später haben dann die Medien Brennstoffzellen als innovative Zukunftstechnologie gefeiert, anschließend aber auch schnell wieder abgeschrieben.

Im Gegensatz dazu haben wir jetzt eine gänzlich andere Ausgangslage: Während diese früheren Hypes allein von der Technologie getrieben waren, gibt es heute einen akuten Handlungsbedarf. Damals wurde zwar auch schon über Klimaerwärmung und Nachhaltigkeit diskutiert, wirklich verändern wollte aber kaum jemand etwas. Heute – nach Dieselskandal, Fahrverboten, Fridays for Future, Klimaflüchtlingen, Dürresommern usw. – gibt es sehr viel mehr Menschen, die kein „Weiter so“ mehr wollen.

Ein wesentlicher Punkt ist zudem, dass dies gerade nicht nur in Deutschland passiert, sondern weltweit. Hinzu kommt, dass immer deutlicher wird, dass die Bundesrepublik längst kein Vorreiter mehr ist in Sachen Klimaschutz oder erneuerbaren Energien. Die Solar- und Windbranche liegt hierzulande am Boden, während insbesondere in Asien von Regierungsseite klar die Richtung zu mehr Nachhaltigkeit vorgegeben wird. Während wir hier zaghaft mit Batterieautos anfangen, reduziert China dafür schon wieder die Subventionen und setzt stattdessen voll auf Wasserstoff.

Der größte Unterschied aber zwischen den damaligen Hypes und der heutigen Situation, den ich wahrnehme, ist die Stimmungslage in der Bevölkerung. Damit meine ich gar nicht die Fridays-for-Future-Kids, über die es sehr unterschiedliche Meinungen gibt. Ich meine das Bewusstsein von Otto Normalverbraucher, der mir in letzter Zeit immer häufiger erzählt: Batterieautos sind ja gut und schön, aber die Zukunft ist doch wohl Wasserstoff!

Hier scheint in den vergangenen Monaten – fast unbeachtet von Soziologen oder Medien – ein Meinungsbildungsprozess in der Gesellschaft stattgefunden zu haben. Die gesammelte Intelligenz der Bürgerinnen und Bürger antizipiert hier eine Entwicklung, für die viele der sogenannten Experten und Politiker sehr viel länger benötigt haben.

Passend dazu wagen sich aber jetzt auf einmal alle möglichen Politiker vor die Mikrofone und kündigen – sei es auf Gemeinde-, Landes- oder Bundesebene – Wasserstoffstrategien an.

Nachdem zunächst „das kleine Österreich“ voranpreschte und verkündete, Wasserstoffnation Nummer eins

werden zu wollen (s. S. 12), dauerte es gerade einmal acht Tage, bis die deutsche Bundesumweltministerin ein PtX-Aktionsprogramm präsentierte, und weitere acht Tage, bis der deutsche Bundeswirtschaftsminister für Deutschland reklamierte, es wolle „bei Wasserstofftechnologien die Nummer eins in der Welt werden“ (s. S. 10).

Selbst die Grünen scheinen ihre jahrzehntelange Ablehnungshaltung gegenüber H<sub>2</sub>- und BZ-Technik endlich aufzugeben: Sechs Bundestagsabgeordnete legten am 10. Juli 2019 ein Positionspapier vor, in dem es heißt: „Wasserstoff kann und soll unser Land sauberer machen.“ Warum dieser längst überfällige Schritt für eine Ökopartei so schwierig war, werden wir wohl nie erfahren.

Wenn aber sogar in der CSU mittlerweile gilt, dass sich „Wasserstoff zunehmend als Speichertechnologie für die nationale und globale Energiewende etabliert“ (Zitat: Sandro Kirchner, Fraktionsvorstand CSU-Bayern), und Bundesverkehrsminister Andreas Scheuer feststellt, dass „Wasserstoff gut fürs Klima“ ist (s. S. 10), darf natürlich auch eine Umweltpartei nicht länger hintenanstehen.

Auf Länderebene will Olaf Lies, Umweltminister in Niedersachsen, schon lange sein Land als H<sub>2</sub>-Region etablieren. Dafür sagte er kürzlich 40 Mio. Euro an Investitionsgeldern, allein für 2020, zu. Auch Brandenburg möchte in diese Richtung voranschreiten und „Vorzeigeland für die Nutzung der H<sub>2</sub>-Technologie werden“, so Wirtschaftsminister Jörg Steinbach. Selbst das Saarland soll nach Meinung seiner Wirtschaftsministerin Anke Rehlinger zur Modellregion für Wasserstoffforschung entwickelt werden.

Darum, wegen all dieser Entwicklungen, habe ich das Gefühl, dass es dieses Mal nicht einfach nur ein Hype ist, sondern hier liegt eine Gewissheit in der Luft, dass sich etwas Grundlegendes ändern muss und wird. Und wir können nicht nur Zeugen davon sein, sondern wir können das aktiv mitgestalten. Endlich!

Fraglich ist aber trotzdem nach wie vor, wie stark die Gegenwehr der etablierten Akteure ausfallen wird. Die Marschrichtung des Bundeswirtschaftsministeriums, Übergangsweise (bis 2040/50) auf sogenannten „blauen“ Wasserstoff aus fossilen Energieträgern und auf die CCS-Technologie setzen zu wollen, lässt erahnen, dass längst noch nicht alles in trockenen Tüchern ist. Stattdessen sieht es so aus, als ob es doch immer noch viele Menschen gibt, die die eigentlich erforderliche kurzfristige Energiewende über sehr viele Jahre strecken möchten – warum auch immer. ||

Herzlichst



Sven Geitmann  
HZwei Herausgeber



## BONHOFF WECHSELT IN DIE POLITIK



Dr. Klaus Bonhoff

Der Geschäftsführer der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie GmbH Dr. Klaus Bonhoff wird die NOW verlassen und zukünftig im Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) als Leiter der Grundsatzabteilung tätig sein. Er besetzt damit fortan eine zentrale Position innerhalb des Ministeriums und soll sich laut Verkehrsminister Andreas

Scheuer insbesondere um die „Mobilität der Zukunft“ kümmern. Bonhoff war seit der Gründung im Jahr 2008 als NOW-Sprecher aktiv, nachdem er zuvor jahrelang beim Autobauer Daimler an Brennstoffzellenautos gearbeitet hatte.

Mit dieser Umbesetzung gingen Ende Juli 2019 im BMVI gleich mehrere personelle Veränderungen einher, so wurde unter anderem Dr. Norbert Salomon, der 16 Monate lang Leiter der Grundsatzabteilung war, zum neuen Abteilungsleiter Wasserstraßen, Schifffahrt.

Ein Nachfolger für Bonhoff bei der NOW wird voraussichtlich erst nach einem langwierigen Ausschreibungsverfahren benannt werden können. So lange wird der zweite Geschäftsführer, Wolfgang Axthammer, voraussichtlich mit Unterstützung durch Thorsten Herbert, den NOW-Bereichsleiter Verkehr und Infrastruktur, seine Aufgaben übernehmen. ||

## CHEMNITZ WIRD ZUM H<sub>2</sub>-CENTRUM

Die sächsische Stadt Chemnitz entwickelt sich immer mehr zu einem Mekka für Wasserstofffreunde. Am 17. Juli 2019 öffnet die dortige Technische Universität gemeinsam mit dem Unternehmen Continental Powertrain ein neues H<sub>2</sub>-Labor, das unter anderem mit einem Prüfstand zur Erforschung moderner Brennstoffzellenfahrzeugsysteme ausgestattet ist. Der Prüfstandsverantwortliche Vladimír Buday berichtete gegenüber HZwei: „Es handelt sich dabei um einen Greenlight-Prüfstand mit 150 kW Leistung, welcher schon einiges an Features hat, was seinesgleichen sucht.“ (Der Prüfstand ist erweiterbar auf 300 kW.)

Anlässlich der Einweihung auf dem Hochschul-Campus waren neben Martin Dulig, dem Sächsischen Staatsminister für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, auch Miko Runkel, der Bürgermeister der Stadt, und Prof. Thomas von Unwerth, Inhaber der Professur Alternative Fahrzeugan-

„Dass die TU Chemnitz auf dem Gebiet der Wasserstoffbrennstoffzellen-Technologie führend ist, belegt nicht zuletzt die Inbetriebnahme eines Prüfstandes, der im universitären Bereich europaweit seinesgleichen sucht.“

Prof. Gerd Strohmeier, Rektor der TU Chemnitz



Prof. von Unwerth erklärt den neuen Prüfstand

[Quelle: TU Chemnitz, Jacob Müller]

triebe an der TU, erschienen. Prof. von Unwerth, der auch das Innovations-Cluster HZwo leitet, sagte: „Continental als größter Industriepartner im Innovationscluster HZwo-Netzwerk bringt umfangreiches Wissen zur Fahrzeuganwendung, zur Steuerungstechnik und zu Komponenten für Brennstoffzellen mit. Verbunden mit unserem Expertenwissen schafft das eine ideale Grundlage, um effiziente Fuel-Cell-Lösungen zu entwickeln und eine wirtschaftliche Industrialisierung vorzubereiten.“ ||

## BDR WILL 400 H<sub>2</sub>-HEIZKESSEL INSTALLIEREN



CO<sub>2</sub>-freier H<sub>2</sub>-Kessel von Remeha

[Quelle: BDR Thermea]

Die BDR Thermea Group hat Ende Juni 2019 einen wasserstoffbetriebenen Heizkessel in Betrieb genommen. Die Pilotanlage, die im BDR-Thermea-Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung in Italien entwickelt wurde, steht im niederländischen Rozenburg und wird über den regionalen Gasnetzbetreiber Stedin, der das Projekt auch initiiert hat, mit nachhaltig erzeugtem Wasserstoff versorgt. Gemäß Herstellerangaben ist dies

die „erste reale Situation, in der reiner Wasserstoff zur Befuerung eines Brennwertkessels zur Beheizung der Zentralheizung eines Wohngebäudes verwendet wird“. Betrieben wird das Gerät von der niederländischen BDR-Tochtergesellschaft Remeha. Als nächster Schritt ist ein größerer Feldversuch in Großbritannien geplant. Anvisiert wird die Installation von 400 H<sub>2</sub>-Kesseln innerhalb von zwei Jahren. ||

## KLEINE GASE – GROSSE WIRKUNG

„Quadratisch, praktisch, gut“ – nach diesem Motto sind David Nelles und Christian Serrer vorgegangen, um ihr Buch über den Klimawandel an die Leserschaft zu bringen. Und genau so ist es auch geworden: klein und handlich (15,4 cm x 15,5 cm) mit anschaulichem, gut verständlichem Inhalt. Dabei ist es „anders als bisher erschienene Bücher zum Thema Klimawandel“ eben kein klassisches Fachbuch, sondern eher eine Handreichung, die auch sonst nicht so sehr an Energie- oder Klimafragen Interessierte anspricht.

Begonnen hatte es als studentisches Buchprojekt: Die beiden Jungautoren stellten vor gut zwei Jahren fest, dass sie selbst wesentliche Fragen zum Klima nicht beantworten konnten. Deswegen machten sie sich an die Arbeit und suchten zunächst nach einem Buch, das „in ganz kurzen Sätzen und mit vielen anschaulichen Grafiken die Ursachen und Folgen der globalen Erwärmung wissenschaftlich fundiert und gleichzeitig leicht verständlich auf den Punkt bringt“.



Quelle: Edmund Möhrle/Photographie

Nelles erklärte gegenüber HZwei: „Da wir so ein Buch nicht finden konnten, haben wir kurzerhand beschlossen, es selbst zu schreiben, wobei wir von über hundert Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern unterstützt wurden.“ Weiter berichtete er: „Von Anfang an war es unser Ziel, so viele Menschen wie möglich über den Klimawandel zu informieren, so haben wir einen Buchpreis von genau 5 Euro anvisiert – ab 100 Büchern sogar nur 3,75 Euro. Ein klassischer Verlag hätte bei diesem Preis niemals mitgemacht. Deshalb haben wir unseren eigenen gegründet.“

Mithilfe zahlreicher Unterstützer, die sich teils inhaltlich (z. B. Prof. Hans Joachim Schellnhuber, Dr. Claus Kleber) oder über Druckkostenzuschüsse (dann aber nicht redaktionell) einbrachten, gelang es den beiden Wirtschaftswissenschaftlern, das Buch zu drucken und innerhalb kurzer Zeit 100.000 Exemplare (bis Juli 2019) in Umlauf zu bringen. Berechtigterweise avancierte es schnell auch im Internet zum Bestseller. Insbesondere als kleines Geschenk ist es besonders gut geeignet. ||

→ [www.klimawandel-buch.de](http://www.klimawandel-buch.de)

□ [Kleine Gase – Große Wirkung: Der Klimawandel, David Nelles, Christian Serrer, ISBN 9-783981-965001](#)

HZwei 04 | OKTOBER 2019

## H<sub>2</sub>-INNOVATIONS-CAMPUS IN GÖRLITZ



Joe Kaeser [Quelle: Siemens]

Wasserstofftechnik und Dampfturbinen – so lautet fortan das Motto in Görlitz. Nachdem die vor zwei Jahren angekündigte geplante Schließung des Siemens-Werks an der polnischen Grenze für viel Unmut gesorgt hatte, lenkte der Großkonzern ein und unterzeichnete Mitte Juli 2019 gemeinsam mit dem Freistaat Sachsen und der Fraunhofer-Gesellschaft eine Absichtserklärung, um den Standort langfristig zu stärken und den Strukturwandel in der Lausitz zu unterstützen. Dafür soll jetzt auf dem Werksgelände ein Innovations-Campus entstehen, auf dem neben Technologie- und Industrieunternehmen sowie Start-ups und Forschungsinstituten auch ein Labor für Wasserstoffforschung angesiedelt wird. Insgesamt wollen die Partner dafür 30 Mio. Euro investieren.

Ministerpräsident Michael Kretschmer zeigte sich hochofret über diese Entwicklung: „Gemeinsam mit Fraunhofer, den Hochschulen sowie den Unternehmen der Region entwickeln wir eine Forschungsplattform für innovative Speicher- und Wasserstofftechnologien für die Energiewende.“ Wie viele der ehemals 800 Siemens-Mitarbeiter allerdings zukünftig dort noch weiter beschäftigt sein werden, bleibt offen. Bundeskanzlerin Angela Merkel, die das Werk ebenfalls aus diesem Anlass besuchte, erklärte dazu: „Wichtig ist, dass aus dieser Energieregion eine Innovationsregion wird, und dafür ist heute mit der Wasserstoffzukunft ein Grundstein gelegt worden. Der Bund wird versuchen, das zu begleiten.“ Joe Kaeser, Siemens-Vorstandsvorsitzender, ergänzte: „Wir wollen hier am Standort Görlitz neben dem weltweiten Hauptsitz für industrielle Dampfturbinen auch einen Innovations-Campus bauen, in dem gemeinsam mit Partnern und Start-ups Produkte und Lösungen in der Wasserstofftechnologie entwickelt werden sollen.“ ||

## F-CELL MIT 24-STUNDEN-RALLYE

Während der diesjährigen f-cell, die am 10. und 11. September 2019 in Stuttgart stattfinden wird, soll ein Blick in die Zukunft geworfen und die Frage beantwortet werden, wie Wasserstoff den Verkehrssektor klimafreundlicher machen kann. Diskutiert werden sollen im Haus der Wirtschaft unter anderem gerade erschienene Studien, die bereits bei ihrer Veröffentlichung für viel Gesprächsstoff gesorgt haben. So



wird beispielsweise die Lebenszyklusanalyse des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE präsentiert, im Rahmen derer im Auftrag von H2 Mobility Batterie- und Brennstoffzellen-Pkw verglichen wurden. Darin heißt es, bei Fahrzeugen mit einer Reichweite von mehreren hundert Kilometern seien BZ-Autos aus Sicht des Klimaschutzes wirtschaftlicher als Batterieautos.

Interessant dürfte auch wieder die Diskussion mit Moderator Jürgen Pfeiffer (s. S. 8) werden, der unter anderem mit dem H2-Mobility-Chef Nikolas Iwan über den besten Mix aus alternativen Antriebstechnologien reden wird. Im Rahmen dieser Panel-Diskussion dürfte auch die Infrastruktur-Studie der Ludwig-Bölkow-Stiftung von Dr. Ulrich Büniger, die mit Hilfe der ADAC-Stiftung durchgeführt wurde (s. S. 32), erwähnt werden.

Wertvoller Input aus dem Ausland ist von dem französischen Bushersteller Safran zu erwarten, der sein auf Hybridtechnik basierendes Linienbuskonzept vorstellen wird. Bei seinem Modell Busnova handelt es sich um einen Elektrobuss, dessen Akku von einer 30-kW-Brennstoffzelle gespeist wird, so dass er rund 300 km zurücklegen kann. Aus China wird in diesem Jahr eine zehnköpfige Delegation anreisen, um sich mit hiesigen Ausstellern und Teilnehmern auszutauschen. Passend dazu wird ein Workshop mit dem Titel „Doing Business in China“ angeboten. Aus Chile wird Hans-Werner Kulenkampff anreisen, um darzulegen, warum dieses südamerikanische Land als Geheimtipp im PtX-Sektor gehandelt wird.

Neu ist in diesem Jahr die 24-Hour-Hydrogen-Challenge, die im Vorfeld der f-cell veranstaltet wird. Am Montag, dem 9. September, startet diese 24-Stunden-Rallye, bei der verschiedene Teams in Stuttgart innerhalb eines Tages auf einer selbstgewählten Route quer durch Deutschland verschiedene Checkpoints ansteuern müssen. Hierbei handelt es sich zwar um die erste deutsche Wasserstoff-Challenge, gleichzeitig ist dies aber bereits die 5. 24-Hour-Hydrogen-Challenge, die von den niederländischen Organisatoren veranstaltet wird. Die Gewinner werden im Rahmen der Abendveranstaltung, bei der auch wieder die f-cell-awards verliehen werden, am 10. September bekanntgegeben. ||

#### POLIT-TALK MIT JÜRGEN PFEIFFER

Nach seinem Polit-Talk in Kiel (s. S. 8) macht Moderator Jürgen Pfeiffer am 9. September 2019 eine neue Folge seines Formats „Pfeiffer fragt“. Einen Tag vor der f-cell lädt er sechs Experten aus Wirtschaft und Politik ins Haus der Wirtschaft ein, um mit ihnen über die Frage „Letzte Ausfahrt Wasserstoff – wie elektromobil muss die Verkehrswende sein?“ zu diskutieren. Interessierte HZwei-Leserinnen und -Leser sind eingeladen, an der TV-Aufzeichnung teilzunehmen und vorab Fragen an den Moderator einzureichen. Anfragen bitte an die HZwei-Redaktion.

## BRAND EINER H<sub>2</sub>-STATION IN NORWEGEN

Am 10. Juni 2019 ist eine Wasserstofftankstelle in Norwegen in Brand geraten. Während in etlichen Medien von einer Explosion die Rede war, konstatierte der involvierte Elektrolyseurhersteller Nel, dass ausgetretenes Wasserstoffgas im Freien Feuer gefangen habe, wodurch eine Druckwelle entstanden sei. Laut Polizeibericht sind bei diesem Vorfall in Sandvika westlich von Oslo zwei Personen durch das Auslösen der Airbags ihrer Autos leicht verletzt worden. Nach ersten Überprüfungen hieß es wenige Tage später, durch ein Leck im Hochdruckspeichersystem sei Wasserstoff entwichen und habe sich entzündet. Es sei jedoch kein Tank geborsten.



Abb. 1: Sekunden nach der Entzündung ist erkennbar, wie reiner Wasserstoff mit nur schwach sichtbarer Flamme verbrennt [Quelle: VG]

Aus Sicherheitsgründen waren vorsorglich in einigen Ländern mehrere H<sub>2</sub>-Stationen geschlossen worden, um weitere Vorfälle dieser Art zu vermeiden, bis die Ursache für die Leckage sowie die Entzündung identifiziert werden konnte. Zudem stoppten Toyota und Hyundai zeitweise die Auslieferung ihrer Brennstoffzellenautos. Espen Olsen von Toyota Norway erklärte jedoch, dieser Vorfall ändere nicht „unsere Haltung zu Wasserstoff, und es ist uns wichtig zu betonen, dass H<sub>2</sub>-Autos mindestens so sicher sind wie konventionelle Fahrzeuge“.

Am 27. Juni meldete Nel, als Ursache sei von Gexcon AS, einem nach eigener Aussage weltweit führenden Unternehmen in den Bereichen Sicherheitsmanagement und Explosions- sowie Brandmodellierung, ein Montagefehler eines Steckers in einem Hochdruckwasserstofftank identifiziert worden. Infolgedessen sei Wasserstoff ausgetreten, der sich mit Luft vermischt und entzündet habe. Ungeklärt ist bislang aber nach wie vor, was die Zündquelle war, weshalb weitere Untersuchungen vorgenommen werden.

Bei der Wasserstofftankstelle handelt es sich um einen Standort von Uno-X (s. Foto), an dem der direkt neben der Zapfsäule befindliche Elektrolyseur von Nel ASA H<sub>2</sub>-Gas mit Hilfe von Solarenergie erzeugt. ||

# DIE POLITIK ERKENNT DIE POTENTIALE VON H<sub>2</sub>

## Ein Masterplan für eine Wasserstoffwirtschaft



Quelle: PFEIFFER\_FRAGT/Oliver Reetz

Es tut sich was in der Politik. Nach Jahrzehnten des Nischendaseins scheint Wasserstoff mittlerweile – zumindest in einigen Kreisen – salonfähig geworden zu sein. Jedenfalls reden immer mehr politische Vertreter offen darüber, dass dieser gasförmige Energiespeicher durchaus über Potential verfügt. Selbst einige Bayern räumen inzwischen ein, dass Wasserstoff die Energiewende merklich voranbringen kann. Nachdem Bundesbildungsministerin Anja Karliczek bekanntgab, dass ihr Etat für die Wasserstoffforschung aufgestockt würde, wagte sich Ende Juni 2019 auch Bundesverkehrsminister Andreas Scheuer mit ganz neuen Tönen an die Öffentlichkeit und präsentierte ein Gesamtpaket mit über 50 Maßnahmen für eine nachhaltigere Verkehrspolitik. Als Krönung kündigte dann Wirtschaftsminister Peter Altmaier eine H<sub>2</sub>-Strategie noch für Herbst dieses Jahres an (s. S. 10), nachdem eine Woche zuvor seine Kabinettkollegin, Bundesumweltministerin Svenja Schulze, bereits ein PtX-Aktionsprogramm vorgelegt hatte.

Kurz vor der Sommerpause kam Bewegung in die Politik: Zunächst diskutierte der Moderator Jürgen Pfeiffer am 21. Juni 2019 in Kiel über die „Wunderwaffe Wasserstoff“ und fragte dort: „Rettet Norddeutschland die Energiewende?“ Geladen zu diesem Polit-Talk waren hochrangige Vertreter aus Politik und Wirtschaft, unter anderem Dr. Bernd Buchholz, Minister für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus von Schleswig-Holstein, und Jorgo Chatzimakakis, Generalsekretär Hydrogen Europe aus Brüssel.

NOW-Geschäftsführer Dr. Klaus Bonhoff berichtete, dass Wasserstoff im globalen Energiesystem immer mehr Platz einnimmt. Schon heute werde in einer chinesischen Provinz Wasserstoff für 1,60 US-\$ pro Kilogramm produziert. Deutschland solle seiner Meinung nach endlich „Gas geben“ und die Potentiale nutzen. Der DWV-Vorsitzende Werner Diwald forderte, Deutschland müsse beweisen, dass es bei uns selbst funktioniert, um der Welt ein Vorbild sein zu können. Sonst erkläre uns China, wie Energiewende geht, so der Verbands-Chef.

Jürgen Wollschläger, Geschäftsführer der Raffinerie Heide GmbH, sieht große Chancen insbesondere bei synthetischen Kraftstoffen auf der Basis von Wasserstoff, wovon seiner Meinung nach auch der Hamburger Flughafen profitieren würde. Und Wirtschaftsminister Buchholz betonte die industriepolitische Chance, die sich dem Norden biete. Kritisch gesehen wurde allerdings, dass andere Länder wie Dänemark, England, Frankreich und die Niederlande bereits eine definierte Wasserstoffstrategie hätten, Deutschland hingegen bislang noch nicht.

Insgesamt war dies eine Runde, die an Dynamik und Informationsfluss nichts zu wünschen übrigließ, auch dank Moderator Jürgen Pfeiffer. Man war sich einig, dass der Wasserstoff ein sehr wichtiges – wenn nicht sogar das wichtigste – Medium ist, um die Energiewende zu schaffen. Wichtigster Punkt: Die Politiker der Großen Koalition wie auch mancher Autobauer könnten sich gewaltig irren, was die Zeitschiene betrifft. Sie sehen den Durchbruch erst ab 2025/30 – eventuell eine Fehleinschätzung, wenn man die rasanten

„Alle Anwesenden waren motiviert, und es könnte der Eindruck entstanden sein, dass wir auf einem guten Weg sind mit der H<sub>2</sub>-Wirtschaft. Wenn man jedoch ‚zwischen den Zeilen‘ gut zugehört hat, sieht man doch das Problem: Minister Dr. Buchholz ist sehr engagiert, aber so liberal, dass er nicht in Betracht ziehen möchte, die politischen Vorgaben so zu gestalten, dass es zu einem Belohnungs- und Bestrafungssystem kommt, um Wasserstoff voranzubringen (für die Wirtschaft/Industrie und Privatleute). Dr. Bonhoff hingegen hat schon fast gebetsmühlenartig die eine Strategie der NOW angepriesen (Stationsbau in Metropolen und Magistralen), ohne die Möglichkeit einer Anpassung zur Beschleunigung des H<sub>2</sub>-Ausbaus in Betracht zu ziehen. Deshalb bin ich eher mit gedämpften Erwartungen für die Zukunft nach dieser Veranstaltung nach Hause gefahren.“

Polit-Talk-Gast Udo Wagner, Neumünster



Entwicklungen in Japan und nun auch in China (neue Förderprogramme für Brennstoffzellen, Förderstopp bei Batterien) betrachtet. Teile der deutschen Industrie und viele hiesige Regionen stünden jedoch in den Startlöchern, auch wenn das große Umdenken noch fehle. Deutschland könne H<sub>2</sub>-Front-Runner sein, entwickle sich aber – leider – eher zum Mitläufer. Noch sei es aber nicht zu spät, so der Tenor der Diskutanten.

**BAYERN ALS LEITMARKT** Fast zeitgleich waren auch aus Süddeutschland interessante Wortmeldungen mit ungewohntem Inhalt zu hören. Dort hatte zunächst CSU-Chef Markus Söder im Parteivorstand eine Klimaoffensive angekündigt, woraufhin gefordert wurde, Bayern solle Vorreiter bei Wasserstofftechnologien werden. Wie die Süddeutsche Zeitung berichtete, setzt die Schwesterpartei der CDU aktuell verstärkt auf den Energieträger Wasserstoff. Mit Wasserstoff ließen sich nicht nur neue Industrien und Arbeitsplätze schaffen, wurde der CSU-Landtagsabgeordnete Martin Huber zitiert, es böte sich für Bayern außerdem die Chance, weltweit eine Vorreiterrolle bei Innovation, Wertschöpfung und Nachhaltigkeit einzunehmen. Das Potenzial sei gigantisch, so Huber.

Weiter hieß es, ein „Masterplan Wasserstoffwirtschaft für Bayern“ sei in Arbeit. Darin gehe es darum, mehr Fahrzeuge mit Brennstoffzellen auf den Markt zu bringen, weshalb die Infrastruktur ausgebaut werden müsse, etwa durch einen stufenweisen Anstieg der Zahl von H<sub>2</sub>-Tankstellen. Umweltpolitiker Huber sprach in diesem Zusammenhang von einer Vorreiterrolle des öffentlichen Nahverkehrs, zum Beispiel durch verstärkten Einsatz von wasserstoffbetriebenen Bussen und Taxis. Sein Ziel lautet: „Wir wollen Bayern zum Leitmarkt für clean economy machen.“

„Heute müssen wir Wasserstofftechnologien, Brennstoffzelle, synthetische Kraftstoffe auch kostenmäßig wettbewerbsfähig machen.“

*Thomas Kreuzer, Chef der CSU-Landtagsfraktion, im Münchner Merkur*

**MEHR GELD FÜR H<sub>2</sub>-FORSCHUNG VOM BMBF** In derselben Woche hat auch die Bundesministerin für Bildung und Forschung, Anja Karliczek, versucht, neue Akzente zu setzen, indem sie sich insbesondere für die Intensivierung der Forschungsaktivitäten im Wasserstoffsektor einsetzte. Sie erklärte anlässlich des gerade vom Bundeskabinett verabschiedeten neuen Haushalts: „In der laufenden Legislaturperiode werden wir nach der aktuellen Haushaltsplanung 2,3 Mrd. Euro zur Förderung von Projekten im Bereich Nachhaltigkeit, Klima und Energie ausgeben. Das sind rund 50 Prozent mehr als in der vergangenen Wahlperiode.“

Sie wies darauf hin, dass die Bundesregierung derzeit ein Klimaschutzgesetz vorbereite, für das sie gemeinsam mit Bundesumweltministerin Svenja Schulze eine Wissensplattform gegründet habe, in der klimaschutzrelevante Themen erarbeitet werden sollen. Zudem sei ein Forschungs- und Innovationsprogramm zum Klimaschutz aufgelegt worden. Hinzu komme, dass die Forschung zur Nutzung von grünem Wasserstoff verstärkt werden solle.

An konkreten Beispielen nannte sie erstens die Kommerzialisierung von Power-to-X-Anlagen zur Erzeugung von grünem Wasserstoff, wofür 30 Mio. Euro in den nächsten drei Jahren vorgesehen seien. Zweitens soll Afrika zum Partner der deutschen Energiewende gemacht werden.

Dafür soll ein „Potenzialatlas zu grünem Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen“ aufgelegt werden, der mit dazu beitragen soll, dass mit der deutschen Industrie sowie mit Forschungspartnern mögliche Standorte in Afrika, deren Erzeugungs- und Exportpotentiale sowie deren Erschließung analysiert werden, damit Klimaschutz zu einem globalen Geschäftsmodell werden kann. Und drittens soll Wasserstoff durch eine „deutsch-französische Forschungs-kooperation“ in den Alltag gebracht werden (Etat für den stationären Bereich: 4,5 Mio. Euro).

Insgesamt beabsichtigt das BMBF, rund 180 Mio. Euro innerhalb von drei Jahren für Projekte in der H<sub>2</sub>-Forschung bereitzustellen – doppelt so viel wie bisher.

„Allein in der deutschen Chemieindustrie und bei Raffinerien können wir bis zu 15 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr vermeiden, wenn wir ‚grauen‘ Wasserstoff aus Erdgas und Öl durch klimafreundlichen ‚grünen‘ Wasserstoff ersetzen. Zum Vergleich: die gesamte deutsche Industrie emittiert rund 190 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr.“

*Bundeshilfsministerin Anja Karliczek*

### BMVI WILL H<sub>2</sub>-INFRASTRUKTUR SUKZESSIVE AUSBAUEN

Ein Highlight war dann der Vorstoß von Andreas Scheuer, Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur, der nach wie vor nichts verbieten oder regulieren möchte, sondern auf „erlauben, erleichtern und ermöglichen“ setzt. Er erklärte: „Der Klimaschutz ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Wir werden sie nur bewältigen, wenn alle mitmachen. Deshalb dürfen wir keine Maßnahmen ergreifen, die Teile der Gesellschaft abhängen. Wir wollen, dass alle gut vorankommen – in der Stadt und auf dem Land.“

Scheuer, dem bislang eine sehr große Nähe zur Automobilindustrie nachgesagt wurde, schien damit sowohl den Fridays-for-Future-Schülerinnen und -Schülern entgegenkommen, als auch sein ramponiertes Image infolge des Maut-Desasters wieder aufzubessern zu wollen.

Aus dem BMVI hieß es dazu: „Laut Klimaschutzplan der Bundesregierung müssen die Treibhausgasemissionen im Verkehr um 68 Mio. t im Jahr 2030 reduziert werden. Die bereits beschlossenen Maßnahmen senken die Treibhausgasemissionen um 13 Mio. t. Durch die Klimaschutzstrategie reduzieren wir die Emissionen um weitere bis zu 55 Mio. t und erreichen somit das Ziel.“

Diese Strategie beinhaltet über 50 Maßnahmen in verschiedenen Kategorien. So soll beispielsweise im Bereich alternativer Kraftstoffe ein Konzept „Wasserstoff/erneuerbare Kraftstoffe“ aufgestellt werden, „um von der Erzeugung über die Zusammensetzung bis zum Endkunden Wasserstoff und flüssige erneuerbare Kraftstoffe voranzubringen“. Innerhalb dieses Rahmens will Scheuer unter anderem auch „Erzeugungsanlagen fördern“. Im Bereich Nutzfahrzeuge will der Verkehrsminister „genügend H<sub>2</sub>-Tankstellen sicherstellen“. Konkret sagte er: „Wir bauen die Tankstelleninfrastruktur für Wasserstoff sukzessive aus.“

**EINSEITIGER AUTOGIPFEL** Demgegenüber zeigten die deutsche Automobilindustrie und auch die Bundeskanzlerin Angela Merkel immer noch kein Einlenken. Beim Autogipfel im Kanzleramt, zu dem Ende Juni 2019 wieder einmal die Bosse der deutschen Autohersteller geladen waren, ging es vornehmlich um Batterieautos und Ladeinfrastruktur, aber kaum um Brennstoffzellen, was gemäß Handelsblatt ausdrücklich von dem Verband der Ingenieure (VDI) und >>



Abb. 2: Bundesverkehrsminister Andreas Scheuer

dem Verband der Elektrotechnik (VDE) kritisiert wurde. Sie forderten eine technologieoffene Diskussion und einen raschen Ausbau der H<sub>2</sub>-Infrastruktur.

In der Studie „Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeuge – Bedeutung für die Elektromobilität“, die anlässlich dieses Gipfels in Berlin vorgestellt wurde, heißt es dazu konkret: „Es ist die Auffassung von

VDI-GEU, VDI-FVT und VDE/ETG, dass die brennstoffzellenbasierte Elektromobilität ebenfalls einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung der Emissionen von Treibhausgasen leisten kann. Dies ist auch die Einschätzung der Bahnbetreiber und neben Kostenaspekten ein gewichtiger

„Wir brauchen mehr Wasserstoff für saubere Mobilität. Das ist gut fürs Klima. Wir gehen voll auf saubere Treibstoffe. Deutschland muss hier Champion werden.“

Andreas Scheuer, Bundesverkehrsminister

Grund für deren Entscheidung, neben Batteriezügen auch in Brennstoffzellenzüge zu investieren.“ Kritisiert wird darin die stiefmütterliche Behandlung der BZ-Technik und die starke Fokussierung der Diskussion auf den Pkw-Verkehr: Der Lkw- und Busverkehr komme darin ebenso wenig vor wie der Bahnverkehr (ausführlicher Bericht auf Seite 34).

Gegenüber dem Handelsblatt erklärte BMW-Chef Harald Krüger nach dem Autogipfel zwar: „Wir glauben an Elektroautos, wie glauben an Hybride und wir glauben an die Brennstoffzelle. Das war Konsens bei der Bundeskanzlerin.“ Von anderer Seite hieß es dazu hingegen: „In den kommenden Jahren werden die Autos mit Stecker favorisiert. Die Brennstoffzellentechnik ist frühestens 2030 großserientauglich.“ ||

→ Polit-Talk-Video: <http://bit.ly/2Tr5ZPR>

Thema: Politik | Autor: Sven Geitmann |

## 10 WIRTSCHAFTSMINISTER KÜNDIGT H<sub>2</sub>-STRATEGIE AN

### Altmaier verkündet die Gewinner der Reallabore

Mitten in der Sommerpause hat Bundeswirtschaftsminister Peter Altmaier das angekündigt, worauf die Wasserstoff- und Brennstoffzellenbranche schon seit vielen Jahren gewartet hat: eine Wasserstoffstrategie für Deutschland. Auch für große Teile der gesamten deutschen Energiebranche dürfte die Ankündigung, im Herbst eine H<sub>2</sub>-Roadmap vorstellen zu wollen, von besonderem Interesse gewesen sein, da damit ein Wendepunkt in der Energieversorgung vollzogen werden könnte. Entscheidend ist jetzt allerdings, wie konkret diese Wasserstoffstrategie ausgestaltet wird. Davon wird nicht nur der Erfolg der Energiewende, sondern auch ganz wesentlich der gesellschaftliche Frieden (s. Fridays for Future, Fahrverbote usw.) abhängen.

Der offizielle Aufhänger der Pressekonferenz, die Altmaier am 18. Juli 2019 in Berlin abhielt, war die Präsentation des „Handbuchs Reallabore“. Allein die damit einhergehende Verkündung der Gewinner des „Ideenwettbewerbs Reallabore der Energiewende“ barg schon ausreichend öffentlichkeitswirksames Material, da sich insgesamt 90 Konsortien – „eine enorme Resonanz“, so Altmaier – beworben hatten, wovon letztlich 20 Standorte ausgewählt wurden. In diesen Reallaboren sollen jetzt bundesweit insbesondere Wasserstofftechnologien im industriellen Maßstab und in realer Umgebung

„Als Testräume für Innovation und Regulierung machen Reallabore es möglich, neue Technologien und Geschäftsmodelle unter realen Bedingungen zu erproben [...]. Dabei werden staatliche Regeln und Vorgaben teilweise geöffnet – auch um zu lernen, welcher rechtliche Rahmen der richtige ist.“

BMW

#### WINDRETTNER-ERFOLG

Im April 2019 hatten die Akteure der Windretter-Kampagne eine Unterschriftenliste an den Wirtschaftsminister Schleswig-Holsteins, Dr. Bernd Klaus Buchholz, übergeben (s. HZwei-Heft Juli 2019). Verbunden mit der Forderung, Ökostrom künftig möglichst einfach in Form von Wasserstoff zu speichern, wurde diese Liste inzwischen an den Bundeswirtschaftsminister Peter Altmaier übergeben. Die Leiterin der Kampagne, Sybille Riepe, geht daher davon aus, dass das gemeinsame Engagement der Windretter einen nicht unerheblichen Beitrag zur Initiierung der von Altmaier jetzt angekündigten H<sub>2</sub>-Strategie geleistet hat.

erprobt werden, um so innerhalb des Energiebereichs die Wertschöpfungsketten in Deutschland zu stärken. Die Auserwählten sind nun aufgerufen, ihre Anträge für die bereitgestellten Fördermittel (jährlich 100 Mio. Euro seitens der Bundesregierung plus Eigenmittel der Industrie) einzureichen.

In dem neuen Handbuch finden sich Tipps und konkrete Praxisbeispiele mit dem Ziel, Unternehmen, Forschung, Politik und Verwaltungen dazu zu ermuntern, in Zukunft kluge Ideen zu testen und umzusetzen.

Altmaier hatte die Reallaborstrategie im Dezember 2018 ins Leben gerufen (s. HZwei-Hefte Apr. u. Jul. 2019). Der Ideenwettbewerb startete im Februar 2019. Anlässlich der jetzt erfolgten Prämierung erklärte der Minister: „Wasserstofftechnologien bieten enorme Potenziale für die Energiewende und den Klimaschutz wie auch für neue Arbeitsplätze. Mit den Reallaboren der Energiewende werden wir neue H<sub>2</sub>-Technologien nicht nur in der Forschung, sondern auch in der Anwendung unter realen Bedingungen und im industriellen Maßstab erproben. Das ist ein wichtiger Baustein für

die weitere Umsetzung der Energiewende.“ Der Bundeswirtschaftsminister formulierte passend dazu klare Ziele:

- Technologieführerschaft halten und ausbauen
- Von isolierten Einzelprojekten zu einem systemischen Ansatz kommen
- Innovationsprojekte im Industriemaßstab realisieren
- Tragfähige Geschäftsmodelle für Energieinnovationen ermöglichen und den energiewirtschaftlichen Rahmen überprüfen
- Nachhaltige CO<sub>2</sub>-Einsparung realisieren

Verschiedene Reallabore werden in den nächsten Ausgaben der Zeitschrift HZwei ausführlich der Reihe nach vorgestellt.

**START IN DIE WASSERSTOFFWIRTSCHAFT** Das eigentliche Highlight an diesem Tag war dann aber doch folgende Aussage des Wirtschaftsministers:

„Wir wollen bei Wasserstofftechnologien die Nummer eins in der Welt werden.“

Die Ankündigung, die Bundesregierung wolle bis Ende dieses Jahres eine Wasserstoffstrategie beschließen, stellte zwar in der Pressemeldung nur eine Randnotiz dar. Für die H<sub>2</sub>- und BZ-Branche nährt sie jedoch genau die Hoffnung, dass sich jetzt konzeptionell etwas tun wird und endlich politische Leitplanken entstehen, so dass Planungssicherheit für die nächsten Jahre gewährleistet werden könnte.

Entscheidend wird allerdings sein, wie die angekündigte H<sub>2</sub>-Strategie konkret aussehen wird. Aktuell hört es sich zwar so an, als wenn in der Politik ein Umdenkprozess erfolgt sein könnte, solange aber noch keine entsprechenden Schritte unternommen wurden, bleiben dies vorerst nur Worte.

Ingrid Nestle, Sprecherin für Energiewirtschaft der Grünen-Bundestagsfraktion, warnte daher in diesem Zusammenhang, dass beispielsweise zu sehr auf „blauen Wasserstoff“ (H<sub>2</sub> aus Erdgas) als Übergangstechnologie gesetzt werden könnte. Sie verwies dabei gegenüber HZwei auf die vom BMWi vertretene Meinung, dass die „Einfuhr von ‚blauem Wasserstoff‘ wohl erforderlich“ sei, dass dieser „aber auch Akzeptanz“ brauche (s. BMWi-Zitat).

**BMU LEGT PTX-AKTIONSPROGRAMM VOR** Gut eine Woche vor dem Bundeswirtschaftsminister ist auch die Bun-



Abb. 1: Peter Altmaier präsentiert die Reallabore [Quelle: BMWi / Susanne Eriksson]

„Zumindest in einer Übergangszeit wird auf die Einfuhr von ‚blauem‘ neben ‚grünem‘ Wasserstoff nicht verzichtet werden können. [...] Der Einsatz von grünem Wasserstoff/Gasen ist mit einem 3- bis 6-fachen Preis unter jetzigen Marktbedingungen nicht wirtschaftlich. Blauer Wasserstoff kann eine kostengünstigere Brückentechnologie bis 2040/50 darstellen. Politische und gesellschaftliche Hürden für die hierfür nötige CCS-Technologie werden als Herausforderung gesehen.“

BMW*i*

desumweltministerin mit einem neuen Konzept an die Öffentlichkeit gegangen. Svenja Schulze legte am 10. Juli 2019 ein Aktionsprogramm vor, mit dem zukünftig strombasierte Brennstoffe gefördert werden sollen, um bis 2050 CO<sub>2</sub>-Neutralität in Deutschland erreichen zu können.

Wesentliche Punkte dieses Programms sind die Einrichtung eines PtX-Kompetenzzentrums in der Energieregion Lausitz sowie eines international ausgerichteten PtX-Sekretariats mit Sitz in Berlin. Darüber hinaus setzt Schulze auf eine bessere Vernetzung (u. a. über eine PtX-Fachtagung im November 2019 in Berlin) sowie weitere Modellprojekte – auch im Ausland. Im Unterschied zu den Reallaboren des BMWi möchte das BMU mit dieser Initiative das Thema Nachhaltigkeit in den Mittelpunkt der Betrachtung rücken und bestehende Aktivitäten koordinieren. ||

→ [www.bmw.de/handbuch-reallabore](http://www.bmw.de/handbuch-reallabore)

→ [www.reallabore-bmw.de](http://www.reallabore-bmw.de)

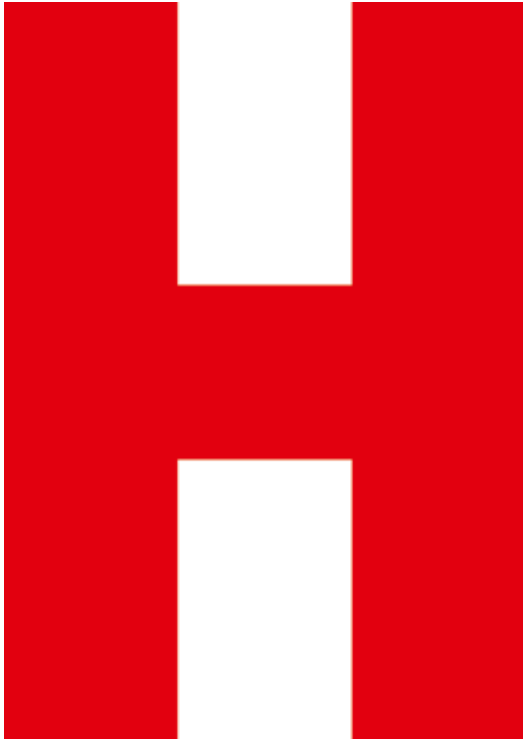
→ [www.energieforschung.de](http://www.energieforschung.de)

„Im Energiebereich wird bis 2050 eine vollständige Dekarbonisierung stattfinden, das heißt, wir werden komplett auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß verzichten müssen. [...] Power-to-X wird in Zukunft national und international einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Denn auf dem Weg in eine klimaneutrale Weltwirtschaft wird es nicht reichen, nur die Stromerzeugung auf erneuerbare Energien umzustellen. Auch im Verkehrsbereich und in der Industrie wird Ökostrom eine zentrale Rolle spielen. In einigen Bereichen kann man den Ökostrom direkt nutzen, etwa bei Elektroautos. In anderen Bereichen wird das auch in Zukunft schwierig bleiben, etwa bei Flugzeugen, Frachtern oder – prozessbedingt – in der Stahl-, Zement- oder Chemieindustrie. Hier werden strombasierte Brennstoffe zu einem wichtigen Ersatz für fossile Energien werden. Für den Klimaschutz ist es dabei zwingende Voraussetzung, dass diese Brennstoffe aus erneuerbarem Strom hergestellt werden. Das Bundesumweltministerium wird sich für den Know-how-Transfer in diesem wichtigen Feld einsetzen und Unternehmen bei der Entwicklung der Technologie unterstützen.“

Svenja Schulze, BMU

# ÖSTERREICH ALS WASSERSTOFFNATION NR. 1

## Exkanzler Kurz hat große Klimapläne



12

Am 2. Juli 2019 präsentierten Sebastian Kurz, der Obmann der neuen Volkspartei Österreichs (ÖVP), und seine Parteikollegin Elisabeth Köstinger gemeinsam ihr Klimaschutzpaket. Das darin formulierte Ziel lautet, die Alpenrepublik bis 2045 CO<sub>2</sub>-neutral zu machen. Wasserstoff soll dabei laut Kurz eine Schlüsselrolle einnehmen: „Das ist nicht nur eine saubere alternative Zukunftshoffnung im Bereich der Mobilität, sondern auch eine große Chance für Österreich, um weltweit zur Wasserstoffnation Nummer eins zu werden.“

Teil dieses neuen H<sub>2</sub>-Ö-Konzepts ist der Aufbau eines Wasserstoffzentrums, mit dem es gelingen soll, die besten Köpfe und innovativsten Unternehmen, insbesondere aus Forschung und Entwicklung, nach Österreich zu holen. Zudem soll der Erwerb von H<sub>2</sub>-Fahrzeugen besonders gefördert und bis 2025 ein flächendeckendes H<sub>2</sub>-Tankstellennetz aufgebaut werden. Dafür sollen innerhalb der nächsten zehn Jahre 500 Mio. Euro investiert werden.

Der ehemalige Kanzler Kurz verwies während seiner Präsentation darauf, dass Österreich als eines der ersten Länder aus der Kohlekraft ausgestiegen ist und derzeit mehr als 80 Prozent des Stroms aus erneuerbaren Energien (insb. Wasserkraft) erzeugt wird. Sein nächstes Ziel sei daher, bis 2030 100 Prozent sauberen Strom zu erreichen. Auf seiner Website spricht sich Kurz zudem gegen Steuerbelastungen aus, da „eine CO<sub>2</sub>-Steuer gerade sozial Schwächere, Pendler und Menschen im ländlichen Raum“ treffen würde.

**HYDROGEN INITIATIVE** Im März 2019 hatte das österreichische Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) unter Mitwirkung des Bundesministeriums für Verkehr, Infrastruktur und Technologie (BMVIT) damit

begonnen, den Entwurf einer landesweiten Wasserstoffstrategie auszuarbeiten. Die damalige österreichische Energieministerin Elisabeth Köstinger (s. Abb. 1) hatte bei dem Kick-off-Event erklärt: „Um unsere Klimaziele zu erreichen, müssen wir alle zukunftsweisenden Technologien noch intensiver nutzen. In der #mission2030 – der österreichischen Klima- und Energiestrategie – haben wir den Weg skizziert. Jetzt setzen wir mit der Wasserstoffstrategie einen Leuchtturm Schritt für Schritt um. Nur mit den Unternehmen und der Industrie als Partner kann eine erfolgreiche Energiewende gelingen. Erneuerbarer Wasserstoff wird dabei eine wichtige Rolle spielen.“ Die Strategie soll bis zum Jahresende an die Europäische Kommission übermittelt werden.

2018 hatte Köstinger bereits während der EU-Ratspräsidentschaft die *Hydrogen Initiative* (s. HZwei-Heft Jan. 2019) in Linz ausgerufen, die unter anderem von 26 Mitgliedsstaaten sowie der Europäischen Kommission unterzeichnet worden war.

**UNTERSTÜTZUNG AUS DEN USA** An der Stanford University traf Kurz den aus Österreich stammenden Physikprofessor Friedrich Prinz, Experte für Energiespeicherung. Wie [www.derbrutkasten.com](http://www.derbrutkasten.com) berichtete, erklärte Prinz: „So günstig wie Sonnenenergie ist heute nichts mehr. Die Chinesen haben die Kosten pro Kilowattstunde inzwischen um 80 Prozent gesenkt. Auch in Europa gibt es geographisch mehr als genug Flächenpotenzial. Man muss die Energielösung aber gesamteuropäisch denken.“

Neben Wasserstoff sieht der Stanford-Experte auch synthetische Kraftstoffe als gute Speicher für den Ökostrom: „Das ist eine umweltfreundliche Alternative, die vor allem deswegen sehr spannend ist, weil E-Autos und Autos mit Brennstoffzellen in Märkten wie Indien und China, zumindest in den kommenden fünfzehn Jahren, für die breite Masse zu teuer sein werden.“ Abschließend stellte er zudem klar: „Es wird keine Lösung geben, wo eine Technologie alles schafft, sondern es braucht eine breite Technologie-Diversifizierung, um bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen unterm Strich auf null oder gar auf negative Werte zu kommen.“ ||



Abb. 1: Elisabeth Köstinger  
[Quelle: BMNT]

„Wasserstoff hat das Potenzial, unser Energiesystem langfristig zu revolutionieren. Er kann uns als Langfristspeicher, zur Integration von Strom und Wärme, in der Industrie und im Verkehrsbereich helfen. So zeigt er Möglichkeiten hin zu einer sauberen und nachhaltigen Energiezukunft auf. So können auch jene Sektoren dekarbonisiert werden, die durch Elektrifizierung allein schwer zu erreichen sind.“

Österreichische Energieministerin Elisabeth Köstinger

# KLIMAWANDEL HEISST STRUKTURWANDEL

## Kommentar von Prof. Ernst Ulrich von Weizsäcker

Der Klimawandel ist sehr unangenehm. Ungemütlich wird es aber auch, wenn man etwas gegen den Klimawandel tut. In Deutschland hat man die Kohlekommission gebildet, mit dem Auftrag, den Kohleausstieg zu konzipieren und planbar zu machen. Bis zu zwanzig Jahre darf er dauern, ist man übereingekommen. Den betroffenen Regionen schmerzlich rasch, und den Klimaschützern unerträglich lang. Für den weltweiten Klimaschutz reicht der deutsche Kohleausstieg hinten und vorne nicht. Gegenwärtig sind weltweit rund 1.300 neue Kohlekraftwerke im Bau oder in Planung. Und 90 Prozent aller neuen Kohlekraftwerke werden in Entwicklungsländern gebaut. Wer sich diese Zahlen klarmacht, wird denken, das Spiel gegen den Klimawandel sei längst verloren.

Es gibt jedoch einen Lösungsansatz. Er heißt „Budget-Ansatz“ und ist in Deutschland entwickelt worden vom WBGU (Wissenschaftlicher Beirat für Globale Umweltveränderungen). Dieser Ansatz will den Ländern aller Art das gleiche Budget der CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf geben. Die alten Industrieländer hätten ihr Budget allerdings schon sehr bald aufgebraucht und müssten ab dann sämtliche Lizenzen im Ausland einkaufen. Das Spannende daran ist Folgendes: Zum ersten Mal in der Geschichte würde ein Entwicklungsland, das vor der Entscheidung steht, ein Kohlekraftwerk zu errichten, nicht automatisch mit der Ausführung beginnen, sondern zuerst eine Kosten-Nutzen-Analyse für die zwei Optionen durchführen: bauen oder nicht bauen.

Hohe Preise für CO<sub>2</sub>-Lizenzen würden den Nichtbau verlockend lukrativ machen. Und wenn man erneuerbare Energien forciert und Energieeffizienz kräftig verbessert, würde sich die Waage sehr rasch der Option Nichtbau zuneigen. Und dies aus rein wirtschaftlichen Gründen.

Leider kamen die USA, Russland, Saudi-Arabien und ein paar andere mit der klaren Absicht auf den damaligen Kopenhagener Klimagipfel, die Diskussion über den Budgetansatz zu blockieren. Auch die deutsche Industrie war nicht begeistert. Ich halte jedoch auch ein Vorauslaufen von Ländern wie Deutschland für machbar und sogar wirtschaftlich attraktiv.

Man muss gewiss darauf achten, dass der Preisanstieg für CO<sub>2</sub>-Emissionen sanft vorankommt, so dass fast niemand auszuwandern braucht. Man muss nur dafür sorgen, dass niemand mehr frisches Geld in die klimaschädigende Industrie investiert. Und man muss versuchen, möglichst viele Länder des „Nordens“ zum Mitmachen zu bringen. Die heutige Geschwindigkeit des technologischen Strukturwandels dürfte dafür sorgen, dass die Klimapioniere im internationalen Wettbewerb die Gewinner werden.

**FRIDAYS FOR FUTURE** Eine großartige Wirkung der Schülerproteste „Fridays for Future“ ist die Tatsache, dass jetzt endlich ernsthaft über eine CO<sub>2</sub>-Steuer gesprochen wird. In mehreren Ländern, z. B. Schweiz, Schweden und Kanada, ist die Steuer bereits Realität. Und man hat dort dafür gesorgt, dass die ärmeren Bevölkerungsschichten keinen Schaden erleiden. Der politische Schwachpunkt dabei ist, dass man mit viel Mathematik versucht, die präzise richtige Höhe der Steuer zu kalkulieren. Diese Höhe ist dann entweder sehr schmerzlich oder weitgehend unwirksam.

Demgegenüber ist eine Strategie zu empfehlen, bei der die Steuer klein anfängt und dann ständig zunimmt, im Gleichklang mit der technischen Entwicklung von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien. Dann bleibt die Preislast für die Familien immer einigermaßen konstant. Für ärmere Familien kann ein Fixbetrag als Geschenk vereinbart werden. Die Klimawirkung bleibt dennoch sehr hoch, weil alle Investoren im Wissen der Steigerung sofort auf Klimafreundlichkeit umschalten und den technischen Fortschritt entsprechend gestalten. Auch die staatlichen Infrastrukturen werden in dieser Richtung fortentwickelt.

Besonders profitieren würde von einer solchen Entwicklung die Wasserstofftechnologie. Sie ist ja eine viel elegantere Form der Energiespeicherung als die klassischen Batterien, mit deutlich geringerem Gewicht und mit sehr geringen Metallabfällen. ||

Ernst Ulrich von Weizsäcker,  
Wir sind dran, Gütersloher  
Verlagshaus, 2017



13

## Hydrogen + Fuel Cells

Be part of the community



For more information visit  
[hannovermesse.de/en/worldwide](http://hannovermesse.de/en/worldwide)

HYDROGEN  
FUEL CELLS

ASIA

Shanghai, China  
23 – 26 Oct 2019  
[h2fc-fair.com/asia](http://h2fc-fair.com/asia)

HYDROGEN  
FUEL CELLS

EUROPE

Hannover, Germany  
20 – 24 Apr 2020  
[h2fc-fair.com](http://h2fc-fair.com)



Deutsche Messe

Integrated  
Energy



HANNOVER  
MESSE

# HITZIGE DEBATTE ÜBER DEN CO<sub>2</sub>-PREIS

## Besteuerung oder Zertifikatehandel



Abb. 1: Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Preises seit 2014 [Quelle: [www.wallstreet-onlin.de](http://www.wallstreet-onlin.de)]

**14** Vor gar nicht allzu langer Zeit waren CO<sub>2</sub>-Zertifikate noch der Inbegriff eines bürokratischen Fehlschlags: Kaum einer wollte sie. Sie wurden zwar in der Energiewirtschaft eingeführt, aber in einer Art, die sie kaum eine Wirkung entfalten ließ. Seit wenigen Monaten hat sich die Lage grundlegend geändert: Landauf, landab wird inzwischen geradezu lebhaft über eine Bepreisung von Kohlendioxidemissionen diskutiert – auf welche Art auch immer.

Die CDU war zunächst uneins: Während Partei-Chefin Annegret Kramp-Karrenbauer die Einführung einer CO<sub>2</sub>-Steuer klar ablehnte, zeigte sich ihr Vize Armin Laschet, der nordrhein-westfälische Ministerpräsident, zunächst „genauso offen wie andere Parteien auch“. Über den Sommer revidierte er allerdings diese Haltung und stellte sich auf eine Linie mit Kanzlerin Angela Merkel, die ein System präferiert, das über den Zertifikatehandel gesteuert wird, weil dies eher eine Lenkungswirkung erzielen könne.

Demgegenüber sprachen sich SPD und Grüne deutlich für eine CO<sub>2</sub>-Bepreisung aus. Bundesumweltministerin Svenja Schulze legte dazu ein Gutachten vor, das sie in Auftrag gegeben hatte. Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), das Institut für Makroökonomie und Konjunkturforschung der Hans-Böckler-Stiftung (IMK) und das Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS) hatten darin mögliche CO<sub>2</sub>-Preisentwicklungen für die Bereiche Verkehr und Wärme untersucht. Um klimafreundliches Verhalten zu belohnen und zugleich Gering- und Normalverdiener möglichst zu entlasten, ist nach Auffassung der Autoren eine Klimaprämie das beste Instrument.

Allerdings solle der Staat darüber „keine Mehreinnahmen generieren“, so Schulze, sondern das Geld solle „zur Entlastung der Bürgerinnen und Bürger und der Unternehmen“ verwendet werden. Denn es gehe „um ein sinnvolles Klimaschutzinstrument mit sozialer und ökologischer Lenkungswirkung“. Über eine Klimaprämie, die an sparsame Bürger ausgezahlt würde, würden insbesondere Geringverdiener entlastet.

**WENIG HILFREICHE INTERVENTIONSARBEIT** Bislang ist es so, dass die Industrie und die Energiewirtschaft Zertifikate kaufen müssen, wenn sie Kohlendioxid emittieren. Einen gewissen Anteil dieser CO<sub>2</sub>-Zertifikate bekamen sie anfangs kostenlos,

„Ich lehne die CO<sub>2</sub>-Steuer ab. Der durchschnittliche Bayer verursacht selbst rund drei Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr, das wären 150 Euro Mehrkosten, die durch einen Riesenmechanismus dann ausgeglichen würden. Das hat null Lenkungswirkung, keinen Anreiz zur CO<sub>2</sub>-Einsparung. Die Leute werden abkassiert, dann wird alles umverteilt, dem Klima hilft nichts davon.“

Thomas Kreuzer, Chef der CSU-Landtagsfraktion, im Münchner Merkur

„Ein CO<sub>2</sub>-Preis ist kein Allheilmittel, mit dem wir alle Klimaziele erreichen. Zusammen mit anderen Maßnahmen ist er aber ein wichtiger Baustein, damit Deutschland wegbekommt von der Verbrennung von Kohle, Öl und Gas. Gerade in den Bereichen Verkehr und Wärme fehlen bislang genügend Preisreize für einen Umstieg auf klimafreundliche Alternativen. Künftig soll gelten: Wer sich klimafreundlich verhält, wird belohnt.“

Bundesumweltministerin  
Svenja Schulze

einen Teil mussten sie ersteigern. Dieses Prozedere ist seit Jahren in der EU Praxis, obgleich das Preisniveau bislang so niedrig war, dass der Zertifikatehandel kaum Wirkung entfaltet, da zum Handelsbeginn 2010 zu viele Zertifikate auf den Markt gebracht wurden (s. Kasten).

Dazu hatte Dr. Hans-Jürgen Nantke, Leiter der Deutschen Emissionshandelsstelle im Umweltbundesamt, bereits 2015 gesagt: „Im Laufe der Jahre haben sich dadurch immer mehr Emissionsberechtigungen angesammelt, und mittlerweile besteht der Überschuss in der EU aus deutlich mehr als 2 Mrd. Zertifikaten. Dies ist die Ursache für sehr niedrige Preise für Emissionsberechtigungen. Es besteht für die teilnehmenden Unternehmen kaum Anreiz, in emissionsärmere Technik zu investieren.“ 2018 wurde das System zwar reformiert, wodurch die Preise moderat anstiegen, es hat sich bislang aber immer noch keine Lenkungswirkung entfaltet.

**DRAMATISCHER ZERTIFIKATE-ÜBERSCHUSS**

„In einer aktuellen Studie [2011] gehen Analysten der Deutschen Bank davon aus, dass Unternehmen bis zum Jahr 2020 Rechte für 566 Mio. t CO<sub>2</sub> übrig haben werden. Zum Vergleich: Deutschland – das Industrieschwergewicht der EU – bekommt für dieses Jahr [2011] Rechte für 452 Mio. t CO<sub>2</sub>. Nach Berechnungen der Deutschen Bank führt dieses Polster an Zertifikaten dazu, dass ihr Preis bis mindestens 2020 durchgehend zu niedrig sein wird, um Unternehmen zu Klimaschutzinvestitionen zu bewegen.“

*Meldung auf Spiegel Online vom 18.12.2011*

Derweil wird inzwischen lebhaft darüber diskutiert, welches der bessere Weg sei, CO<sub>2</sub>-Emissionen einzudämmen: Besteuerung oder Zertifikatehandel. Fast 70 Prozent der Mitglieder des norddeutschen Clusters Erneuerbare Energien Hamburg (EEHH) stimmten im Juni 2019 im Rahmen einer Befragung für eine CO<sub>2</sub>-Steuer, während sich 27 Prozent für Zertifikate aussprachen.

Die Meinungen darüber, wie hoch heute oder in Zukunft ein angemessener CO<sub>2</sub>-Preis (s. Abb. 1) sein sollte, gehen indessen weit auseinander. Während die einen sagen, die Kosten für den Ausstoß von CO<sub>2</sub> im Verkehrssektor müssten bei mindestens 50 Euro pro Tonne liegen, reichen anderen bereits 20 Euro, weil man damit beim Sprit im Bereich der normalen Schwankungen an der Zapfsäule bliebe. Bundestagspräsident Wolfgang Schäuble sagte dazu: „Ob man Zertifikate verteuert oder eine Steuer erhebt: Das geht in diesel-

be Richtung und sollte von den verantwortlichen Politikern geprüft werden. Nur eines muss gewährleistet sein: Schnelle Entscheidungen müssen her. Zehn Jahre weiterer Diskussionen können wir uns nicht leisten.“

Aktuelle Spekulationen gehen in die Richtung, dass eine Kombi-Lösung die Streitigkeiten beenden könnte: So könnten neue CO<sub>2</sub>-Zertifikate für verschiedene Sparten eingeführt werden, die dann aber später in eine europäische Lösung einbettbar sein müssten. Eine CO<sub>2</sub>-Steuer könnte dann ergänzend zu diesen neuen Zertifikaten etwaige Lücken schließen. Mit einem Beschluss wird im Herbst gerechnet. Bundeskanzlerin Angela Merkel hat eine Entscheidung über die Steuer und einen sozialen Ausgleich für den 20. September 2019 angekündigt. ||

„Ich bin überzeugt davon, dass der CO<sub>2</sub>-Preis die ‚Silver Bullet‘ ist, nachdem ich lange darüber nachgedacht habe. Eine intelligent umgesetzte Bepreisung ist der Schlüssel zum Erfolg.“

*Nikolas Iwan, H2 Mobility*

„Die Idee ist, dass CO<sub>2</sub> einen Preis bekommt, also dass man auf Treibhausgase eine Steuer erhebt.“

*Bundesumweltministerin Svenja Schulze*

„Ein CO<sub>2</sub>-Preis von 20 bis 25 Euro bringt gar nichts.“

*Dr. Patrick Graichen, Agora Energiewende*

15

# Wir denken Wind weiter.

# #husumwind



10. – 13. September 2019

# POSITIVER EINFLUSS EINER CO<sub>2</sub>-BEPREISUNG

## Markteintrittsbewertung von Power-to-Gas Anlagen

Für die Vollversorgung des deutschen Energiebedarfs mit erneuerbaren Energien werden synthetische Gase eine wichtige Rolle spielen. In der Metaanalyse von [1] wird aufgezeigt, dass im zukünftigen Energiesystem in Deutschland mehreren Studien zufolge eine Elektrolyseleistung von mehr als 100 GW benötigt wird. Wenn im Verlauf der nächsten Jahrzehnte eine derartige Elektrolyseleistung installiert werden soll, bedarf es eines rechtzeitigen Markthochlaufs, damit marktgerechte, zuverlässige und preiswerte Anlagen zur Verfügung gestellt werden können. Für diese Entwicklung müssen ab einem bestimmten Zeitpunkt erste Skalierungseffekte realisiert werden. Dazu ist es erforderlich, während des Markthochlaufs einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen. In diesem Beitrag soll gezeigt werden, welchen Einfluss eine CO<sub>2</sub>-Bepreisung auf die Wirtschaftlichkeit von Power-to-Gas-Anlagen (PtG) haben kann.

Zunächst werden die H<sub>2</sub>-Gestehungskosten in Abhängigkeit von der Investitionssumme und der Produktionsmenge analysiert, wobei verschiedene Varianten der Strombeschaffung betrachtet werden. Anschließend wird der Einfluss einer Bepreisung von CO<sub>2</sub>-Emissionen diskutiert.

Die Strombezugskosten werden anhand eines erstellten mathematischen Optimierungsmodells unter Beachtung des Wasserstoffabsatzes minimiert, so dass eine Wasserstoffproduktion überwiegend in Zeiten mit günstigen Strompreisen bzw. zu günstigen Regelleistungspreisen erfolgt [2].

**SKALIERUNGSEFFEKTE SENKEN KOSTEN** Bei einer Erhöhung der Produktionsmenge eines Gutes erfolgt gemäß dem Ansatz der Preis-Erfahrungskurve eine Reduktion der Herstellungskosten. Dieser Effekt konnte bereits in anderen Technologiebereichen quantifiziert werden. Beispielsweise reduzierten sich die Preise für PV-Anlagen um etwa 24 Prozent bei einer Verdoppelung der installierten Leistung [3]. Für Windkraftanlagen wird eine Erfahrungskurve von 7 Prozent für Offshore-Windenergie und 10 Prozent für Onshore-Windenergie genannt [4].

Zur Abschätzung zukünftiger Investitionssummen für PtG-Anlagen verwenden [5] einen Faktor von 13 Prozent für die Reduktion der Investitionssumme bei einer Verdoppelung der installierten Leistung, ein Wert, der als plausibel für Anlagen in der chemischen Verfahrenstechnik eingeschätzt wird [5]. Basierend auf dieser Lernrate geben die Autoren eine mögliche Reduktion der Investitionssumme für PtG-Anlagen auf 500 €/kW bei einer installierten Leistung von mehr als 10 GW an. Die Investitionssumme von 300 €/kW gilt nach [6] als mögliches Kostensenkungsziel. Um diese Kostenziele zu erreichen, geben die Autoren an, dass größere Produktionsvolumen, eine verbesserte Zulieferindustrie und weitere Technologieverbesserung wie im Bereich der Membranen und Katalysatoren notwendig seien.

Anhand der Diskussion des Preis-Erfahrungskurvenansatzes wird deutlich, dass eine Reduktion der Investitionssumme für PtG-Anlagen maßgeblich von der Marktentwicklung abhängt, die wiederum durch die möglichen Gestehungskosten des Wasserstoffs beeinflusst wird (s. Abb. 1). Die Berechnung der Gestehungskosten von PtG-Anlagen

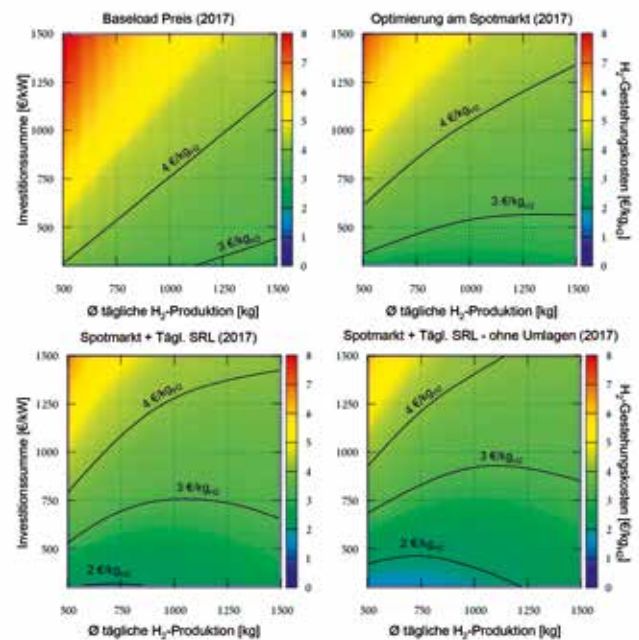


Abb. 1: H<sub>2</sub>-Gestehungskosten in Abhängigkeit der Produktionsmenge und der Investitionssumme. Die Wasserstoffherzeugung der Elektrolyseure wird unterhalb der eingetragenen Linie des jeweils angenommenen Preises für Wasserstoff aus der Erdgasreformierung wirtschaftlich.

basiert auf den Erfahrungen und den technischen Rahmenbedingungen der 6-MW-PEM-Elektrolyseanlage des Projekts Energiepark Mainz und wird anhand von Strompreisen, Regelleistungsdaten und Wetterdaten des Jahres 2017 durchgeführt. Für die Berechnung der Gestehungskosten werden ein Abschreibungszeitraum von zwanzig Jahren, ein Kapitalzinssatz von 5 Prozent und jährliche Betriebskosten in Höhe von 4 Prozent der Investitionssumme angenommen. Für die Umlagen und Abgaben auf den Strombezug wird die Annahme getroffen, dass die Anlage zum produzierenden Gewerbe zählt und aufgrund der Energieintensität eine Ermäßigung auf Umlagen erhält, wobei für 1.000 MWh die vollen Umlagen zu entrichten sind.

Das Potenzial der strommarktseitigen Optimierung wird im Vergleich der verschiedenen Varianten der Strombeschaffung deutlich. Während bei einem Strombezug zu einem konstanten Strompreis (Baseload Preis 2017: 34,19 €/MWh) die resultierenden H<sub>2</sub>-Gestehungskosten bei einer täglichen Produktion von durchschnittlich 1.000 kg<sub>H2</sub> und einer Investitionssumme von 1.000 €/kW etwa 4,48 €/kg<sub>H2</sub> betragen, können diese durch eine strommarktseitige Optimierung über die Spotmärkte auf etwa 3,83 €/kg<sub>H2</sub> reduziert werden. Die Einsparung von 0,65 €/kg<sub>H2</sub> führt bei der angenommenen täglichen Produktion von 1.000 kg<sub>H2</sub> zu einer Kosteneinsparung von ungefähr 237.000 €, was einem Anteil von 15 Prozent der gesamten jährlichen Kosten entspricht. Diese Kosteneinsparung würde bei einem Strombezug zu einem konstanten Strompreis erst bei einem Rückgang der Investitionssumme auf 700 €/kW erreicht werden. Ein weiterer Rückgang der Kosten kann durch die Teilnahme am Sekundärregelleistungsmarkt (SRL) und die



für 2017 getroffenen Annahmen hinsichtlich der Umstellung auf eine tägliche Ausschreibung erreicht werden. Die Wasserstoffgestehungskosten können in diesem Fall bei der angenommenen täglichen Produktion von durchschnittlich  $1.000 \text{ kg}_{\text{H}_2}$  und einer Investitionssumme von  $1.000 \text{ €/kW}$  auf ca.  $3,46 \text{ €/kg}_{\text{H}_2}$  gesenkt werden. Dies entspricht einer Gesamteinsparung von ca.  $372.000 \text{ €}$  bzw. 23 Prozent der gesamten jährlichen Kosten.

Bei diesen Berechnungen wurde die Annahme getroffen, dass die PtG-Anlage von Ermäßigungen für energieintensive Unternehmen bei den Stromnebenkosten profitiert. Würde der Fall eintreten, dass PtG-Anlagen komplett von Umlagen und Abgaben befreit würden, würde dies bei den genannten Annahmen zu einer weiteren Reduktion der Gestehungskosten auf ca.  $3,16 \text{ €/kg}_{\text{H}_2}$  führen. Müssen dagegen die vollen Umlagen und Abgaben entrichtet werden, erhöhen sich die Wasserstoffgestehungskosten um ca.  $4,40 \text{ €/kg}_{\text{H}_2}$  gegenüber den genannten Zahlen. Die Wettbewerbsfähigkeit von PtG-Anlagen im Vergleich zur Wasserstoffproduktion durch Erdgasreformierung ist unter diesen Rahmenbedingungen nicht erreichbar.

In Abbildung 1 wird weiter dargestellt, dass bei einem Rückgang der Investitionssumme für PtG-Anlagen die  $\text{H}_2$ -Gestehungskosten deutlich verringert werden können. Sollte sich die Investitionssumme für PtG-Anlagen auf  $300 \text{ €/kW}$  reduzieren, sind Gestehungskosten zwischen  $2,20 \text{ €/kg}_{\text{H}_2}$  und  $3,10 \text{ €/kg}_{\text{H}_2}$  denkbar. In diesem Fall würde der Anteil der Stromkosten an den gesamten Gestehungskosten zunehmen, so dass die strommarktseitige Optimierung an Bedeutung gewinnt.

**EINFLUSS EINER  $\text{CO}_2$ -BEPREISUNG** Wird darüber hinaus eine finanzielle Belastung für den Ausstoß von Treibhausgasemissionen wie  $\text{CO}_2$  erhoben, würde sich die alternative Wasserstoffherstellung in Erdgasreformierungsanlagen verteuern. Die Kosten für diese Art der großskaligen  $\text{H}_2$ -Herstellung werden in Anlehnung an [7] mit  $2,00 \text{ €/kg}_{\text{H}_2}$  angenommen. [8] beziffert den Anteil der Erdgaskosten an den gesamten  $\text{H}_2$ -Erzeugungskosten bei großen Erdgasreformierungsanlagen auf 50 bis 68 Prozent.

Eine wirksame Bepreisung von  $\text{CO}_2$ -Emissionen hat dementsprechend einen direkten Einfluss auf die Erzeugungskosten der konventionellen Wasserstoffherstellung. Die Erhöhung der Preise für  $\text{CO}_2$ -Emissionszertifikate könnte folglich unmittelbar die Wettbewerbsfähigkeit von PtG-Anlagen erhöhen.

Nach [9] werden bei der Wasserstoffherzeugung in zentralen Reformierungsanlagen  $\text{CO}_2$ -Emissionen von etwa  $100 \text{ g}_{\text{CO}_2}/\text{MJ}_{\text{H}_2}$  verursacht. Bezogen auf den Brennwert von Wasserstoff ergeben sich für die Produktion von  $1 \text{ kg}$  Wasserstoff  $\text{CO}_2$ -Emissionen von  $14,3 \text{ kg}$ . Die  $\text{H}_2$ -Gestehungskosten von Erdgasreformierungsanlagen steigen somit proportional zum Preis von  $\text{CO}_2$ -Emissionszertifikaten. Bei einem  $\text{CO}_2$ -Preis von  $10 \text{ €/t}_{\text{CO}_2}$  ergeben sich dadurch Zusatzkosten von  $0,14 \text{ €/kg}_{\text{H}_2}$ .

Gegenwärtig liegt der gehandelte  $\text{CO}_2$ -Preis bei  $26,72 \text{ €/t}_{\text{CO}_2}$  (Stand: 01.07.2019). Unter der Annahme, dass der  $\text{CO}_2$ -Preis auf  $70 \text{ €/t}_{\text{CO}_2}$  steigt, würden sich die zusätzlichen Kosten für die konventionelle Wasserstoffherzeugung um  $1 \text{ €/kg}_{\text{H}_2}$  erhöhen. In diesem Fall würden die gesamten Gestehungskosten, basierend auf den angenommenen Werten nach [7], auf  $3,00 \text{ €/kg}_{\text{H}_2}$  ansteigen. In diesem Kostenbereich könnte die PtG-Technologie bei der erwarteten Reduktion der Investitionsausgaben und einer strommarktseitigen Optimierung wettbewerbsfähig werden.

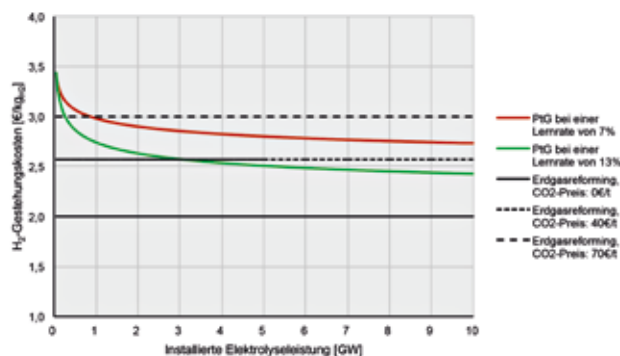


Abb. 2: Entwicklung der  $\text{H}_2$ -Gestehungskosten bei einem erwarteten Markthochlauf von PtG-Anlagen  
[Quellen: Hochschule RheinMain]

Eine Voraussetzung hierfür ist, dass sich die Strombezugs-kosten für die PtG-Anlage infolge einer  $\text{CO}_2$  Bepreisung nicht ändern. Dies ist dann der Fall, wenn konventionelle Kraftwerke nur in einer geringen Zeit des Jahres preissetzend für die Strombörse wirken, wie es bei einem verstärkten Ausbau von erneuerbaren Energien erwartet wird. Zusätzlich ist zu beachten, dass eine  $\text{CO}_2$ -Bepreisung international Anwendung finden sollte, so dass eine Abwanderung energieintensiver Betriebe in Länder mit einer geringeren  $\text{CO}_2$ -Bepreisung verhindert wird.

**POTENTIELLE ENTWICKLUNG DER  $\text{H}_2$ -GESTEHUNGSKOSTEN** Im Zuge eines Markthochlaufs werden für die Preis-Erfahrungskurve Lernraten von 7 bzw. 13 Prozent angenommen. Für die Berechnung der Investitionssumme werden eine gegenwärtig installierte Elektrolyseleistung von  $60 \text{ MW}$  und Herstellungskosten von  $1.000 \text{ €/kW}$  zugrunde gelegt. Gemäß der veröffentlichten Informationen sind derzeit in Deutschland PtG-Projekte mit einer Leistung von  $26 \text{ MW}$  in Betrieb.

Die  $\text{H}_2$ -Gestehungskosten wurden anhand der erwarteten Kostendegression für die jeweiligen Elektrolyseleistungen und die Variante der optimierten Strombeschaffung über die Spotmärkte und einer täglichen SRL-Teilnahme (Sekundärregelleistung) ermittelt. Diesen Berechnungen liegt die Annahme zugrunde, dass die Gestehungskosten von Erdgasreformierungsanlagen ohne  $\text{CO}_2$ -Bepreisung  $2 \text{ €/kg}_{\text{H}_2}$  betragen. Es zeigt sich, dass bei einer Lernrate von 13 Prozent (s. Abb. 2) eine installierte Elektrolyseleistung von  $0,3 \text{ GW}$  ausreicht, um  $\text{H}_2$ -Gestehungskosten von  $3 \text{ €/kg}_{\text{H}_2}$  zu ermöglichen. In diesem Fall würden bei einem angenommenen  $\text{CO}_2$ -Preis von  $70 \text{ €/t}_{\text{CO}_2}$ , die gleichen Gestehungskosten wie in Erdgasreformierungsanlagen erreicht werden.

Die berechnete Investitionssumme für PtG-Anlagen beträgt bei einer installierten Leistung von  $0,3 \text{ GW}$  etwa  $725 \text{ €/kW}$ . Unter der Annahme eines  $\text{CO}_2$ -Preises von  $40 \text{ €/t}_{\text{CO}_2}$  wird die Kostengleichheit zwischen PtG-Anlagen und der konventionellen  $\text{H}_2$ -Erzeugung bei einer installierten Leistung von etwa  $3 \text{ GW}$  erreicht. Die berechnete Investitionssumme beträgt bei dieser Leistung rund  $450 \text{ €/kW}$ . Im Fall einer Lernrate von 7 Prozent ist hierfür eine installierte Elektrolyseleistung von  $50 \text{ GW}$  notwendig.

Es zeigt sich durch diese Betrachtung, dass bereits ab einer installierten Leistung im niedrigen einstelligen GW-Bereich eine Wettbewerbsfähigkeit von PtG-Anlagen erreicht werden kann, wenn die  $\text{CO}_2$ -Bepreisung entsprechend erhöht wird. Um die anfängliche Lücke der Wettbewerbsfähigkeit zu schließen und einen Markthochlauf von PtG-Anlagen zu begünstigen, könnte ein Investitionszuschuss hilfreich sein. >>

Die berechnete Entwicklung der Investitionssumme für PtG-Anlagen wurde in diesem Beitrag auf Basis von angenommenen Lernraten durchgeführt. Es bleibt abzuwarten, inwieweit diese in der Praxis realisiert werden können. Hierzu könnten insbesondere anstehende Elektrolyseprojekte im großskaligen Maßstab von 10 bis 100 MW Aufschluss darüber geben, ob tatsächlich eine Kostendegression durch eine Erhöhung der installierten Elektrolyseleistung bewerkstelligt werden kann. ||

#### Literatur

- [1] Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (2018). Die Rolle erneuerbarer Gase in der Energiewende. Metaanalyse. Agentur für Erneuerbare Energien e.V., Berlin.
- [2] Kopp, M. (2018). Strommarktseitige Optimierung des Betriebs einer PEM-Elektrolyseanlage. kassel university press, Kassel.
- [3] Wirth, H. (2018). Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, Freiburg.
- [4] Rohrig, K., et al. (2013). Energiewirtschaftliche Bedeutung der Offshore-Windenergie für die Energiewende. Fraunhofer IWES, Kassel.

- [5] Sterner, M., Stadler, I. (2017). Energiespeicher. Bedarf, Technologien, Integration, 2. Aufl. Springer Vieweg, Berlin.
- [6] Saba, S. M., et al. (2018). The investment costs of electrolysis – A comparison of cost studies from the past 30 years. International Journal of Hydrogen Energy 43/3, 1209–1223.
- [7] Grube, T., Höhle, B. (2014). Kosten der Wasserstoffbereitstellung in Versorgungssystemen auf Basis erneuerbarer Energien. Springer Vieweg, Berlin.
- [8] Trudewind, C. (2010). Vergleich von H<sub>2</sub>-Erzeugungsverfahren. Münster.
- [9] Adolf, J., et al. (2017). Shell Wasserstoff-Studie. Energie der Zukunft? Nachhaltige Mobilität durch Brennstoffzelle und H<sub>2</sub>. Hamburg.



Autoren:

Martin Kopp  
Prof. Birgit Scheppat  
beide Hochschule RheinMain, Wiesbaden

Thema: Politik | Interviewpartner: Franz Untersteller |

## „WIR STEHEN IMMER NOCH UNTER SCHOCK“

# 18

### Interview mit Franz Untersteller, Umweltminister von Baden-Württemberg

In Baden-Württemberg ist ein großer Teil der deutschen Automobilindustrie zu Hause. Der neue Hauptsitz der deutschen Batterieforschung soll aber in Nordrhein-Westfalen angesiedelt werden, nicht in Ulm. Dafür kommt das Hy-Fab-Vorhaben ins Ländle. Franz Untersteller, Minister für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, fordert in diesem Zusammenhang eine stärkere Investition in Forschung und Entwicklung, um die Kosten, beispielsweise für die benötigten Elektrolyseure, deutlich reduzieren zu können.

**HZwei:** Herr Minister Untersteller, sind Sie mit dem derzeitigen Zwischenstand der Energiewende zufrieden?

**Untersteller:** Wir haben einiges erreicht. 44 Prozent Ökostrom im ersten Halbjahr 2019 im gesamten Bundesgebiet sind ein Erfolg. Und das derzeit viel diskutierte Thema Klimaschutz wird den Erneuerbaren weiter Auftrieb geben, hoffe ich. Ich bin auch sehr froh, dass wir aufgrund der positiven Entwicklungen bei den Erneuerbaren keine Kostendiskussion mehr haben. Ein Anheben der Ausbaukorridore in Deutschland würde sich kaum auf die EEG-Umlage auswirken. Es sind andere Effekte, wie die Preisdifferenz zwischen dem niedrigen Börsenstrompreis und der EEG-Vergütung, die die Umlage erhöhen.

**Ab 2021 fallen die ersten EEG-Anlagen aus der Förderung heraus, nachdem sie zwanzig Jahre plus das Jahr der Installation Geld erhalten haben. Was bedeutet das?**

Das bedeutet, dass viele Anlagenbesitzer intensiv darüber nachdenken werden, was sie mit dem kostenlosen Solarstrom vom eigenen Dach machen. Ob sie den Solarstrom vermarkten lassen oder sich vielleicht einen Batteriespeicher anschaffen. Meine eigene Photovoltaikanlage erreicht im Übrigen auch bald dieses Alter. Aber Zukunftsgedanken zum Strom sind nur eine Seite der Energiewende. Sie ist ja weit mehr als nur die Stromwende.

**Was muss passieren?**

Die Sektoren Wärme und Verkehr müssen dringend dekarbonisiert werden. Heizung und Warmwasserbereitung verursachen knapp ein Viertel aller Treibhausgasemissionen bei uns im Ländle. Davon entfallen fast 90 Prozent auf fossile Energieträger. In Baden-Württemberg haben wir deshalb ein Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWärmeG). Es ist mitverantwortlich dafür, dass wir mit 16 Prozent Ökoenergie etwas über dem Bundesdurchschnitt von rund 14 Prozent liegen. In einem Evaluierungsbericht haben wir kürzlich 1.000 Betroffene befragt, ob es durch das Gesetz einen zusätzlichen Aufwand für sie gab. Das wurde von den Befragten nicht bestätigt. Der noch dickere Brocken für die Energiewende liegt aber eindeutig im Verkehrssektor.

**Baden-Württemberg ist der Standort mehrerer bekannter Autobauer, die vor einem schwierigen Transformationsprozess stehen. Wie kann die Politik helfen?**

Für die Politik gilt es, den Transformationsprozess von der alten in die neue Mobilitätswelt zu begleiten. Es geht um den Umstieg vom Verbrenner zu Elektroautos und Autos mit Brennstoffzellen. Autonomes Fahren und Digitalisierung sind weitere Trends, die die Autobauer umtreiben. Drei große Hersteller plus Zulieferer machen bei uns 440.000 Arbeitsplätze aus. Sie sind ein wesentlicher Grund für den Wohlstand in unserem Bundesland. Das Thema ist sehr vielschichtig, gerade in Baden-Württemberg. Deshalb hat Ministerpräsident Winfried Kretschmann vor zwei Jahren den sogenannten Strategiedialog Autowirtschaft eröffnet, der insgesamt über sieben Jahre laufen soll. Politik, Wirtschaft und Forschung sitzen dort an einem Tisch zusammen. Eine intelligente Ladeinfrastruktur für E- und BZ-Autos wird dabei mitgedacht.

Eine von der Bunderegierung beauftragte Expertenkommission hat Münster als Hauptstandort für die Batteriezellfertigung ausgewählt (s. S. 30). Wie haben Sie reagiert?

Ehrlich gesagt stehen wir immer noch unter Schock. Aus meiner Sicht sprechen viele Kriterien für den Standort in Ulm. Wir hatten über Ostern schon eine staatliche Zuschussfinanzierung des Landes über 180 Mio. Euro zugesagt. Die leeren Gebäude stehen schon bereit und könnten morgen bezogen werden. In Münster müssten diese erst auf der grünen Wiese errichtet werden. Eins ist doch klar: Zeit ist beim Aufbau einer Zellfertigung ein wesentliches Thema. Ich verstehe nicht, wie das in Ibbenbüren schneller gehen soll.

Ein anderes Prestigeprojekt ist die sogenannte HyFab-Baden-Württemberg (s. S. 30). Dieses Vorhaben wird unter anderem von Audi, BMW und Daimler getragen. Was steckt dahinter?

In der Forschungsfabrik für Brennstoffzellen und Wasserstoff soll eine automatisierte Fertigung mit Qualitätssicherungsverfahren für sogenannte Brennstoffzellenstapel entwickelt und erprobt werden. Das ZSW in Ulm soll in Kooperation mit dem Fraunhofer ISE in Freiburg und weiteren Akteuren aus Wissenschaft und Industrie die Zulieferindustrie stärken und eine offene, flexible Plattform schaffen. Denn gerade in Bussen und Lkw kann die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie eine wichtige Rolle einnehmen. Für die Realisierung der Forschungsfabrik gibt das Land Baden-Württemberg bis zu 18,5 Mio. Euro Fördergelder. Insgesamt wird das Projekt HyFab gut 74 Mio. Euro in den nächsten zehn Jahren kosten.

Wer sollte die nötige Infrastruktur finanzieren? Sehen Sie den Staat oder die Unternehmen in der Pflicht?

Der Staat ist keine Vollkaskoversicherung, die für alles herangezogen werden kann. Die Wirtschaft muss sich beim Aufbau einer Ladeinfrastruktur selbstverständlich beteiligen, wie sie es ja auch macht. In Baden-Württemberg haben wir derzeit dreizehn H<sub>2</sub>-Tankstellen. Außerhalb von Baden-Württemberg sieht es da deutlich dünner aus – damit meine ich auch unsere Nachbarn im europäischen Ausland.

Fehlt ein Masterplan für eine H<sub>2</sub>-Wirtschaft wie in Japan?

Den gibt es doch. In Norddeutschland wird der Aufbau einer H<sub>2</sub>-Wirtschaft derzeit sehr konkret diskutiert. Es gibt eine

Vereinbarung der Ministerpräsidenten aus den betroffenen Nordländern. Zudem planen der Stromnetzbetreiber Tennet und die Fernleitungsnetzbetreiber Gasunie Deutschland und ThyssenGas in Niedersachsen den Bau einer Power-to-Gas-Pilotanlage mit 100 Megawatt Leistung. Noch gibt es allerdings nur wenige Stunden, in denen mit einer Überschussproduktion von Wasserstoff hergestellt werden kann. Aber das wird zunehmen – spätestens ab dem Jahr 2030. Deshalb macht es Sinn, die Forschung und Entwicklung stärker voranzutreiben, um die Kosten für die H<sub>2</sub>-Herstellung und -Speicherung deutlich zu reduzieren. Auch in Baden-Württemberg werden wir spätestens 2030 eigene Elektrolysekapazitäten benötigen. ||

Interviewer: Niels Hendrik Petersen

#### FRANZ UNTERSTELLER



Er wurde im April 1957 im saarländischen Ensheim geboren. Ins Ländle brachte ihn das Studium der Landschaftsplanung an der damaligen Fachhochschule

Nürtingen, das er nach einem längeren Studienaufenthalt in Kolumbien 1982 erfolgreich als Diplom-Ingenieur (FH) abschloss. Bereits seit dem Jahr 1981 arbeitete er in Freiburg am Öko-Institut. Von 2002 bis 2011 war er Mitglied des Vorstands. Seine politischen Spuren verdiente er sich zwischen 1983 und 2006 als umwelt- und energiepolitischer Berater der Grünen-Fraktion im baden-württembergischen Landtag. Seit dem Jahr 2006 ist er Mitglied des Landtags von Baden-Württemberg. Von 2006 bis 2011 war er stellvertretender Fraktionsvorsitzender der grünen Landtagsfraktion. Im Mai 2011 wurde er zum Minister für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg ernannt.

19

## Brennstoffzellenforum Hessen 2019

HESSEN



### Schwere Nutz- und Transportfahrzeuge mit Brennstoffzelle

- Nutzfahrzeuge mit Brennstoffzelle
- Wasserstoffinfrastruktur

**24.10.2019** Coreum, Stockstadt am Rhein

Anmeldung  
online



[www.h2bz-Hessen.de/  
BZ-Forum2019](http://www.h2bz-Hessen.de/BZ-Forum2019)

**H<sub>2</sub>BZ** Initiative  
Hessen e.V.

HESSEN  
**LANDES  
ENERGIE  
AGENTUR**  
HA Hessen Agentur GmbH

Hessisches Ministerium  
für Wirtschaft, Energie,  
Verkehr und Wohnen

Bei uns hat  
**ENERGIE  
ZUKUNFT**

# ES WIRD EINE BZ-MOBILITÄT UND EINE H<sub>2</sub>-INDUSTRIE GEBEN

## Kommentar von Prof. Angelika Heinzel

Im Energiesektor bewegt sich aktuell so einiges. Infolge zahlreicher Aktivitäten und Ereignisse – seien es Diesel-skandal oder CO<sub>2</sub>-Bepreisung, Fahrverbote oder Fridays-for-Future-Demonstrationen, Flugscham oder Reallabore – bekennen sich immer mehr Akteure sowohl zu mehr Nachhaltigkeit als auch zu Wasserstoff als Energiespeicher. Diesmal scheint es sich jedoch nicht einfach nur um einen weiteren BZ- und H<sub>2</sub>-Hype zu handeln. Vielmehr mehren sich die Indizien für das Entstehen einer tatsächlichen Energiewende. Die HZwei-Redaktion bat deswegen die langjährige H<sub>2</sub>- und BZ-Expertin Prof. Angelika Heinzel vom Zentrum für Brennstoffzellentechnik Duisburg GmbH (ZBT) um Antworten auf folgende Fragen: Was ist jetzt anders als bei früheren Hypes? Wo sehen Sie Entwicklungspotentiale? Was sind aktuell noch Hemmnisse? Was muss die Politik tun?



Abb. 1: Prof. Angelika Heinzel [Quelle: ZBT]

Noch vor zwei Jahren war das Wort Elektromobilität unzertrennlich mit dem Batterieauto verbunden, heute ist das anders. Der Klimawandel verlangt umfassende Ansätze, die Speicherung großer Mengen an regenerativ erzeugtem Strom kann nur mit der Wasserstofftechnologie gelingen. Also wird es Elektrolyseure geben und eine Wasserstoffinfrastruktur. Da Kraftstoffe die teuersten Energieträger sind, die wir verbrennen (ca. 15 Ct/kWh für Benzin im Vergleich zu 7 Ct/kWh für Erdgas) und Batterieautos eine begrenzte Reichweite haben und einen längeren Ladeprozess benötigen, ist das wachsende Interesse an Brennstoffzellenfahrzeugen folgerichtig. Außerdem setzen Japan, Korea und China auf Wasserstoff und Brennstoffzellenfahrzeuge, was unsere exportorientierte Industrie nicht kaltlassen kann.

Fazit: Wenn wir den Klimaschutz ernst nehmen, wird es Brennstoffzellenmobilität geben und es wird eine Wasserstoffindustrie entstehen. Die CO<sub>2</sub>-Minderungsziele 2030

zu erreichen ist noch möglich, aber nicht mit einem einfachen „weiter so“.

Die Politik muss einen verlässlichen Rahmen und die richtigen steuernden Signale setzen sowie den notwendigen Wandel mit Nachdruck verfolgen. Dabei darf der Wirtschaftsstandort Deutschland nicht vernachlässigt werden. Die neuen Produkte sollen und können in Deutschland entwickelt und auch gefertigt werden, um neue Arbeitsplätze zu schaffen. Mit den ersten eröffneten hundert Tankstellen bis Ende dieses Jahres ist es möglich, in Deutschland mit einem Brennstoffzellenfahrzeug zu fahren. Also muss es jetzt unser Ziel sein, genügend Fahrzeuge auf den deutschen Markt zu bringen und aus der Wasserstofftechnologie ein Geschäftsmodell zu entwickeln.

Die Nachfrage von Flottenbetreibern könnte für die Abnahme der ersten Kleinserienfahrzeuge sorgen, so wie es die Deutsche Post AG mit den Streetscooter-Fahrzeugen im Batteriebereich vorgemacht hat. Nach einer Anschubförderung kann durch Serienproduktion die erforderliche Kostenreduktion, auch für Brennstoffzellenfahrzeuge, erreicht werden. Tankstellen für Lkw fehlen allerdings weitgehend noch, hier besteht dringender Handlungsbedarf.

Auch das Geschäftsmodell zur Wasserstoffherzeugung ist noch nicht ausreichend entwickelt. Es bräuchte Strompreise von 3 bis maximal 6 Ct/kWh, um den neuen Energieträger zu mit Diesel und Benzin vergleichbaren Kosten an der Tankstelle anbieten zu können. Eine direkte Kopplung von Elektrolyseuren mit Erneuerbare-Energie-Anlagen wird hier als Schlüssel zum Erfolg gesehen. Auch der Import von Wasserstoff, zum Beispiel aus den sonnenreichen Ländern Nordafrikas, stellt eine zukünftige Option dar.

Was wäre die Wirkung all dieser Maßnahmen? Lohnt sich der Aufwand, eine doppelte Infrastruktur (Ladeinfrastruktur für Batteriefahrzeuge und Wasserstofftankstellen) und zwei verschiedene Antriebskonzepte zu entwickeln? Die Antwort ist eindeutig Ja.

1. Wasserstofftankstellen können die Ladeinfrastruktur dort ersetzen, wo das Laden vieler Fahrzeuge in schnellem Takt erforderlich ist, da beim Gas-Tanken die übertragene Energiemenge etwa 2 bis 3 MW im Vergleich zu 50 bis 100 kW an einer Strom-Schnellladesäule betragen kann. Eine H<sub>2</sub>-Tankstelle ersetzt also 20 bis 60 Ladesäulen. Gegebenenfalls kann dadurch lokal eine teure Verstärkung des elektrischen Verteilnetzes vermieden werden.
2. Da Brennstoffzellenfahrzeuge hohe Reichweiten und gute Nutzlasten ermöglichen und dementsprechend eher heutige Dieselfahrzeuge ersetzen werden, sind die CO<sub>2</sub>-Einsparungen hoch. Mit wenigen Fahrzeugen wird viel erreicht. Der Übergang von dem heute verwendeten Industriewasserstoff zu „grünem“ Wasserstoff ist zügig möglich. Mehrere große Firmen haben bereits Elektrolyseure der MW-Klasse entwickelt und warten auf die richtigen politischen Rahmenbedingungen. Diese Umstellung könnte sogar schneller gehen, als den Strom im Netz CO<sub>2</sub>-frei zur Verfügung zu stellen.

3. Brennstoffzellenfahrzeuge profitieren von den Entwicklungen im Batteriebereich: Der elektrische Antriebsstrang ist ähnlich. Für Brennstoffzellen als Stromgeneratoren benötigt man jedoch andere Rohstoffe als für die Li-Ionen-Batterie: Statt Lithium, Kobalt, Nickel und Mangan ist es Platin, Stahl und Kohlenstoff. Eine breite Materialbasis vermindert das Risiko einer Verknappung und Verteuerung.
4. Während eine Aufholjagd in der Fertigung von Hochenergie-Batterien eine Herausforderung darstellt, bietet die Brennstoffzellenfertigung derzeit noch Chancen. Die Fertigung von Brennstoffzellen erfordert hohe Material- und Bauteilqualitäten, geringe Ausschussraten und etablierte Recyclingverfahren, insbesondere wegen der verwendeten Edelmetalle – Qualitäten, die die deutsche Fertigungstechnik aufweisen kann. Ein erstes Industriekonsortium hat gerade die Aufnahme der Serienfertigung angekündigt.

Das sollten genug Argumente sein, um Politik und Wirtschaft für die Technologie zu begeistern. Toyota und Hyundai machen uns vor, was zu tun ist. Stückzahlen von 30.000 respektive 40.000 Fahrzeugen pro Jahr sind von beiden Firmen für die nächsten Jahre angekündigt und realisierbar. Die Nachfrage nach den Fahrzeugen übertrifft ohnehin das Angebot bei weitem. ||

Autorin:

Prof. Angelika Heinzel

Zentrum für BrennstoffzellenTechnik Duisburg (ZBT)

#### H<sub>2</sub>-TESTFELD AM ZBT

Auf dem Campus der Universität Duisburg-Essen entsteht derzeit beim Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) ein Wasserstoff-Testfeld mit Laboren und H<sub>2</sub>-Tankstelle [s. HZwei-Heft Juli 2017]. Am 26. Juni 2019 wurde das mit öffentlichen Mitteln von Land, Bund und EU finanzierte Vorhaben im Beisein von NRW-Ministerpräsident Armin Laschet vorgestellt. Aktueller Anlass war die „Woche des Wasserstoffs in NRW“, in deren Rahmen zeitgleich auch eine neue H<sub>2</sub>-Tankstelle in Duisburg eingeweiht wurde.

Das Areal umfasst verschiedene Elektrolyseure (Carbon2Chem, s. HZwei-Heft Okt. 2018), eine Testplattform für H<sub>2</sub>-Tankstellen (H2TestOpt), eine mobile Befüllereinheit (MobFuelH<sub>2</sub>, s. HZwei-Heft Apr. 2018) und ein Qualitätslabor (Hy-Lab).

Dr. Christian Spitta vom ZBT erklärte: „Die Abbildung der gesamten Kette der H<sub>2</sub>-Infrastruktur für die Mobilität, von der Erzeugung bis zur Abgabe an Fahrzeuge, sowie das angeschlossene Qualitätslabor sind in der Form bislang einzigartig. Wir wollen mit der Industrie die Effizienz, die Sicherheit, die Qualität, die Wirtschaftlichkeit sowie die Verfügbarkeit und regulatorischen Rahmenbedingungen einer geeigneten H<sub>2</sub>-Infrastruktur hier im realen Aufbau untersuchen und erproben.“ Ministerpräsident Laschet erklärte dazu: „Wasserstoff hat besondere Potenziale, er ist ein vielseitiger Energieträger, Wasserstoff kann in der Stromerzeugung und als Kraftstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge eingesetzt werden und dabei CO<sub>2</sub>-reiche Kraftstoffe ersetzen.“ (sg)

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

## We make it happen

SAFETY



Product line from 5 to 200 Nm<sup>3</sup>/h  
All in one platform



RELIABILITY



H<sub>2</sub> INDUSTRY
H<sub>2</sub> ENERGY

**PEM ELECTROLYSERS**

Today's flexible, cost effective technology

Multi MW Hydrogen production solutions using PEM Electrolysis technology




EFFICIENCY



SIMPLICITY





Besuchen Sie uns !  
Wir freuen uns auf interessante Gespräche mit Ihnen !



www.arevah2gen.com



September 10-11, 2019  
Halle des Wirtschaftsforum  
Stuttgart | Germany  
impulse • together • excellent

NRW-Stand



10. - 13. SEPTEMBER 2019 IN HUSUM  
BESUCHEN SIE UNS IN HALLE 5, STAND NR. C21

Halle 5, C 21



# GRÜNER WASSERSTOFF FÜR RAFFINERIEEN

Gastbeitrag von Prof. Christian Küchen vom Mineralölwirtschaftsverband

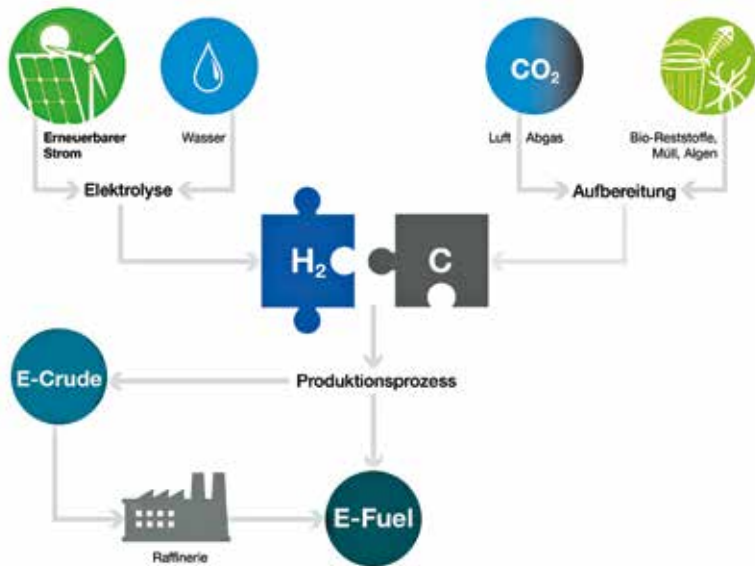


Abb. 1: Technische Optionen für den Ersatz fossiler Energie  
[Quelle: MWV, iwö]

## 22

Die Mitgliedsunternehmen des Mineralölwirtschaftsverbandes (MWV) begrüßen das Pariser Klimaschutzabkommen und die damit verbundenen Ziele zur Senkung der Treibhausgasemissionen in allen Sektoren. Die Mineralölbranche kann mit erneuerbaren Kraft- und Brennstoffen einen signifikanten Beitrag zum Erreichen der Ziele leisten.

Auf europäischer Ebene haben die europäischen Raffinerieunternehmen bereits im vergangenen Frühjahr ihr Konzept zum Erreichen der Klimaziele veröffentlicht: Im April 2018 legte der europäische Mineralölverband FuelsEurope dem Rat der EU-Wirtschafts- und Energieminister seine VISION 2050 [1] vor. Kern ist der Übergang zur Produktion treibhausgasarmer beziehungsweise treibhausgasneutraler flüssiger Energieträger und eine kontinuierliche Reduzierung der Emissionen von Raffinerien. Wasserstoff spielt dabei eine wichtige Rolle.

Zahlreiche Studien und Analysen bestätigen, dass flüssige Energieträger und Rohstoffe auch langfristig in substanziellen Mengen benötigt werden. Eine wesentliche Rolle spielt dabei der Verkehrssektor. Heute werden – einschließlich der Bahn – 98 Prozent des Endenergiebedarfs im Verkehr durch flüssige Energieträger gedeckt. Allein diese Zahl macht deutlich, dass mit einer Elektrifizierungsstrategie allein weder das ambitionierte Sektorenziel von 40 Prozent Treibhausgasminderung im Verkehrssektor bis 2030 noch die Klimaziele für das Jahr 2050 insgesamt zu erreichen sein werden.

**EFFIZIENZSTEIGERUNG UND ELEKTRIFIZIERUNG REICHEN NICHT** Auch die Analysen, die im Rahmen der Nationalen Plattform Zukunft der Mobilität erstellt wurden, haben ergeben, dass es nicht ausreicht, alleine auf Effizienzsteigerung, Elektrifizierung und Ausbau des öffentlichen, vor allem schienengebundenen, Verkehrs zu setzen. Selbst wenn es gelingt, bis 2030 rund zehn Millionen elektrisch betriebene Pkw sowie eine signifikante Zahl von elektrisch betriebenen Nutzfahrzeugen auf die Straße zu bringen und

dazu noch ein erhebliches Wachstum des Güter- und Personenverkehrs auf der Schiene zu bewältigen, wird ein Anteil von etwa 20 Prozent erneuerbarer Kraftstoffe im Jahr 2030 benötigt, um das 40-Prozent-Ziel zu erreichen.

Die Entwicklung und der Markthochlauf von erneuerbaren Kraftstoffen ist daher eine notwendige Maßnahme zum Erreichen der Klimaziele. Dabei stehen verschiedene klimafreundliche Technologien zur Verfügung:

- Die Nutzung treibhausgasneutralen Wasserstoffs bei der Kraftstoffherstellung in Raffinerien
- Die Mitverarbeitung (Co-Processing) z. B. von biogenen Rest- und Abfallstoffen – auch hierfür wird Wasserstoff benötigt
- Neue fortschrittliche Biokraftstoffe, basierend auf Rest- und Abfallstoffen
- Strombasierte Kraftstoffe (E-Fuels)

Mineralölraffinerien setzen große Mengen an herkömmlichem Wasserstoff zur Veredelung von Mineralölkomponenten und zur Erzielung der erforderlichen Produkteigenschaften ein. Viele der genannten Technologien zur Herstellung treibhausgasreduzierter oder sogar treibhausgasneutraler Kohlenwasserstoffe werden den Wasserstoffbedarf der Raffinerien zukünftig weiter erhöhen.

Der benötigte Wasserstoff fällt zu einem großen Teil in anderen Raffinerieprozessen als Nebenprodukt an. Diese Mengen können den Bedarf jedoch nicht decken. Daher wird bereits heute zusätzlich Wasserstoff, vor allem durch Dampfreformierung von Erdgas, gewonnen. Dabei entstehen CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Mehr als 90 Prozent der Treibhausgase können vermieden werden, wenn „grüner“ Wasserstoff aus Ökostrom hergestellt und eingesetzt wird. Da sich der Wasserstoff auch stofflich in den Produkten wiederfindet, erhöht sich dadurch automatisch der erneuerbare Anteil in Kraft- und Brennstoffen.

**DIE ERSTEN SCHRITTE SIND GEMACHT** Bereits seit November 2017 betreiben die H&R Ölwerke Schindler in Hamburg eine Elektrolyse-Wasserstoff-Anlage. Die Raffinerie nutzt dazu überschüssigen Windstrom. Das energiereiche Gas wird für Produktionsprozesse zur Herstellung von Mineralölspezialprodukten wie Paraffinen, Weiß- oder Prozessölen eingesetzt.

In der Shell-Rheinland-Raffinerie hat der Bau der Wasserstoff-Elektrolyse-Anlage Refhyne begonnen (s. HZwei-Heft Apr. 2018). Ab 2020 soll die Anlage eine Produktion von jährlich 1.300 Tonnen Wasserstoff ermöglichen, der vollständig in den Raffinationsprozess integriert werden kann. Das entspricht zwar erst einem Prozent der in der Produktion erforderlichen Wasserstoffmenge, zeigt aber, dass Raffinerien ein großes Potenzial aufweisen, den Weg hin zu großtechnischen Anlagen und damit die Kostensenkung der Elektrolyse voranzubringen.

**RAFFINERIEEN KÖNNEN ENERGIEWENDE MITGESTALTEN** Zu den Vorreitern beim Einsatz von grünem Wasserstoff zählt auch die BP-Raffinerie Lingen im Emsland. Sie setzte 2018 weltweit erstmals klimaneutralen Wasserstoff zur Her-

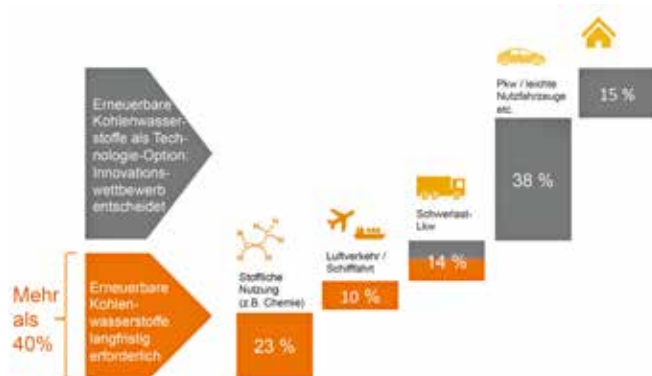


Abb. 2: Nutzung von Kohlenwasserstoffen in Deutschland 2018  
[Quelle: Prognos]

stellung von Kraftstoffen ein. Insgesamt etwa 130.000 Kubikmeter elektrolytisch erzeugten Wasserstoffs wurden aus einer Power-to-Gas-Anlage zur Herstellung grünen Autogases bezogen. Im Rahmen dieses Pilotprojekts konnte gezeigt werden, dass Erdölraffinerien grundsätzlich die Energiewende im Verkehrssektor aktiv mitgestalten können.

Die Raffinerie Heide in Schleswig-Holstein hat gleich zwei Projekte in Vorbereitung, die eine Erzeugung grünen Wasserstoffs durch die Nutzung überschüssigen Windstroms beinhalten: das Reallabor Westküste 100 und KEROSyN 100. Der hierbei erzeugte Wasserstoff soll als hundertprozentig klimaneutrales Kerosin für die Herstellung klimafreundlicher Treibstoffe für Flugzeuge verwendet werden (s. HZwei-Heft Jan. 2019 u. Okt. 2017).

Aber nicht nur Wasserstoff steht im Fokus der angestrebten Klimaneutralität von Raffinerien. Im Rahmen des Strategiedialogs Automobilwirtschaft engagiert sich die MiRO-Raffinerie in Karlsruhe im Projekt Refuels. Dabei wird zum ersten Mal das Potential treibhausgasreduzierter synthetischer Kraftstoffe von der Erzeugung unter Einsatz erneuerbarer Energien über deren Verwendung in Fahrzeugen untersucht.

Die OMV-Raffinerie Wien-Schwechat erprobt die Umwandlung von Altkunststoffen in synthetisches Rohöl im ReOil-Verfahren. In der Total-Raffinerie Mitteldeutschland werden zusätzliche Kapazitäten in der Methanolproduktion

aufgebaut. Im Fall einer rein stofflichen Nutzung für die chemische Industrie werden CO<sub>2</sub>-Emissionen durch eine etwaige Verbrennung vermieden.

**STABILE RAHMENBEDINGUNGEN ERFORDERLICH** Die genannten Beispiele sind nur der Anfang. Größere Produktionsanlagen für treibhausgasneutralen Wasserstoff und daraus hergestellte Produkte sind zwingend erforderlich, wenn die Klimaziele für das Jahr 2030 erreicht werden sollen. Das erfordert stabile Rahmenbedingungen für Investitionen. Für erste Anlagen fordert die Mineralölwirtschaft gemeinsam mit anderen Verbänden im Rahmen der jüngst gegründeten PtX-Allianz ein Markteinführungsprogramm für Power-to-X Technologien [2].

Eine weitere wichtige Voraussetzung ist, dass die in der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU (RED II) verankerten Möglichkeiten zur Anrechnung von grünem Wasserstoff auf die Verpflichtungen der Kraftstoffanbieter zur Treibhausgasreduzierung bei Kraftstoffen schnell in deutsches Recht umgesetzt werden. Die Treibhausgas-Vermeidungskosten sind im Verkehrssektor besonders hoch. Wenn die Treibhausgas-Minderungsverpflichtungen der Kraftstoffanbieter in Deutschland nicht erfüllt werden, werden Zahlungen von 470 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> fällig.

Der Raffineriesektor bietet also insbesondere bei der Kraftstoffherstellung ein großes Potenzial, den Markthochlauf der klimafreundlichen Elektrolyse-Wasserstoff-Technik zu unterstützen. ||

#### Literatur:

- [1] Vision 2050, A Pathway for the Evolution of the Refining Industry and Liquid Fuels, FuelsEurope, Apr. 2018
- [2] Ein Markteinführungsprogramm für Power-to-X-Technologien, Power-to-X-Allianz, Apr. 2019



Autor:

Prof. Christian Küchen  
Mineralölwirtschaftsverband (MWV), Berlin

23



## Kundenspezifische H<sub>2</sub>-Systeme

Wystrach |  
Worldwide art of precision



# POTENZIALE EINES ZUKÜNFTIGEN ENERGIESYSTEMS

## Erkenntnisse aus der Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen

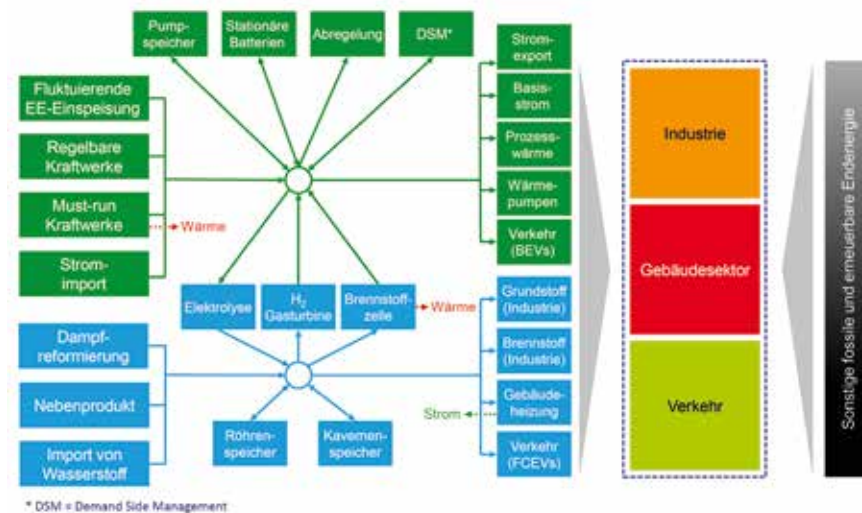


Abb. 1: Grenzen des Energiesystems in der Modellierung

24

Das Energiesystem der Zukunft steht mit seiner zunehmenden Dekarbonisierung, dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien sowie der Kopplung der Sektoren Strom, Wärme, Verkehr und Industrie vor zahlreichen Herausforderungen. Gleichzeitig bietet die voranschreitende Energiewende aber auch wirtschaftliche Chancen durch zusätzliche Wertschöpfung, neue Arbeitsplätze und eine Reduktion der Importabhängigkeit von fossilen Energieträgern. In diesem Zusammenhang kann Wasserstoff, der aus erneuerbaren Energien erzeugt wird, als eine wichtige Stütze zur Erreichung des energiepolitischen Zieldreiecks aus Klimaschutz, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit verstanden werden.

Im Vordergrund der Wasserstoffstudie NRW, die im Auftrag des Landes Nordrhein-Westfalen von der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST) erstellt wurde, steht die Fragestellung nach wirtschaftlichen und klimarelevanten Potenzialen von Wasserstoff in einem künftigen Energiesystem in Deutschland und in NRW. Anhand einer differenzierten Bewertung von Wasserstoff liefert die Studie fundierte Erkenntnisse darüber, welchen Wert der Energieträger Wasserstoff in einem zukünftigen Energiesystem hat. Dabei wurden die kostenoptimale Auslegung und der Betrieb des künftigen Energiesystems modelliert. Andererseits wurden auf Basis dieser Ergebnisse weitere volkswirtschaftliche Effekte von Wasserstoff im Sinne der Wertschöpfungspotenziale näher betrachtet.

**INTEGRIERTE MODELLIERUNG DES ENERGIESYSTEMS** Die Bewertung der Potenziale von Wasserstoff erfolgt grundsätzlich auf Basis eines Vergleichs von zwei Anwendungsfällen mit einer geringen bzw. hohen H<sub>2</sub>-Nachfrage. Auf der einen Seite kommen beim Fokus auf Elektrifizierung überwiegend direkt-elektrische Endanwendungen zum Einsatz, wobei Strom der wesentliche Energieträger ist, so dass das Stromnetz entsprechend stark ausgebaut werden muss. Die geringere Nachfrage nach Wasserstoff, zum Beispiel für die stoffliche Nutzung in der Industrie, wird vor Ort durch die Elektrolyse bedient. Auf der anderen Seite werden beim Fokus auf Wasserstoff im größeren Maßstab H<sub>2</sub>-basierte Endanwendungen genutzt, die über ein dediziertes H<sub>2</sub>-Rohrleitungsnetz versorgt werden.

Insgesamt betrachtet die Studie sechs Szenarien, die sich für die drei THG-Minderungsziele (THG = Treibhausgas) über alle Sektoren von 55 Prozent im Jahr 2030 sowie 80 Prozent und 95 Prozent im Jahr 2050 jeweils anhand der beiden Anwendungsfälle unterscheiden. Dabei bedeutet das THG-Ziel von 95 Prozent aufgrund der unvermeidbaren Restemissionen, zum Beispiel aus der Landwirtschaft oder Zementherstellung, eine vollständige Dekarbonisierung des restlichen Energiesystems.

Für alle Szenarien wurde im ersten Schritt im Rahmen einer integrierten Modellierung die Energieversorgung für die Sektoren Strom, Gebäude, Verkehr und Industrie zeitlich und räumlich simuliert, um so den kostenoptimalen Ausbau für einen stundenscharfen Betrieb der einzelnen Komponenten zur Erzeugung, Umwandlung, Speicherung sowie zum Transport von Strom und Wasserstoff aus Systemperspektive zu bestimmen (s. Abb. 1). Dabei wurde das Land Nordrhein-Westfalen in einem größeren räumlichen Detaillierungsgrad als der Rest Deutschlands betrachtet.

Auf Basis der Ergebnisse aus der umfassenden Systemanalyse wurden anschließend im zweiten Schritt in einem kostenbasierten Ansatz und anhand der Literaturwerte zu Wertschöpfungsanteilen und Beschäftigungsintensitäten die inländische Wertschöpfung, Arbeitplatzeffekte sowie eine verringerte Energieimportabhängigkeit analysiert. Die Studie wurde mit entsprechenden Handlungsempfehlungen für Politik, Industrie und Forschung abgerundet.

**WASSERSTOFF ALS WICHTIGE STÜTZE** Unter den Annahmen der Studie wird je nach Szenario von einer großen Bandbreite der Wasserstoffnachfrage ausgegangen. Bis 2030 beläuft sich die deutschlandweite H<sub>2</sub>-Nachfrage in allen Sektoren auf 100 bis 300 TWh pro Jahr und steigt je nach THG-Minderungsziel und Szenarienfokus auf 200 bis 650 TWh pro Jahr bis 2050. Innerhalb von Nordrhein-Westfalen kann die H<sub>2</sub>-Nachfrage langfristig mit bis zu 160 TWh pro Jahr im Vergleich zu anderen Bundesländern überproportional hoch ausfallen. Dies hängt nicht nur mit der hohen Bevölkerungsdichte und der damit entsprechenden Nachfrage im Gebäude- und Verkehrssektor, sondern auch mit dem Bedarf aus der Industrie zusammen, wobei darunter die Stahlindustrie durch die Umstellung der Produktionsverfahren auf H<sub>2</sub>-Direktreduktion eine besondere Rolle spielen dürfte und damit das Potenzial zum „Game Changer“ in NRW hat.

Für die entsprechende H<sub>2</sub>-Versorgung beträgt die benötigte elektrische Elektrolyseleistung deutschlandweit 25



bis 100 GW im Jahr 2030 sowie 75 bis 250 GW bis 2050 (s. Abb. 2). Dabei erzielt die Elektrolyse in allen Szenarien mit 4.000 bis 5.000 Volllaststunden im Kostenoptimum und unter Einhaltung der Klimaschutzziele eine vergleichsweise gute Auslastung, was aber auch dazu führt, dass der Wasserstoff bei weniger ambitionierten THG-Minderungszielen nicht immer vollständig erneuerbar hergestellt wird. Trotzdem leistet die Elektrolyse als flexible Last in allen Szenarien einen wichtigen Beitrag zur Integration der erneuerbaren Energien in das Energiesystem.

Langfristig bis 2050 wird die Spitzenlast bei einem THG-Minderungsziel von 80 Prozent überwiegend mit Erdgaskraftwerken und bei dem ambitionierten 95%-Ziel mit H<sub>2</sub>-betriebenen Kraftwerken sowie stationären Brennstoffzellen gesichert. Gleichzeitig entsteht langfristig beim ambitionierten Klimaschutzziel ein großer Bedarf an saisonaler Energiespeicherung in Höhe von 40 bis 60 TWh, der durch H<sub>2</sub>-Speicher (insbesondere Salzkavernen) kostengünstig gedeckt werden kann. Zudem wird durch den H<sub>2</sub>-Transport in dedizierten Rohrleitungen in den Szenarien mit Fokus auf Wasserstoff der notwendige Stromnetzausbau deutlich verringert (s. Abb. 3). Damit kann Wasserstoff eine wichtige Stütze bei der Erzeugung, Umwandlung und dem Transport großer Energiemengen im kostenoptimalen System mit hohem EE-Anteil werden.

**POSITIVE VOLKSWIRTSCHAFTLICHE EFFEKTE** Aus einer ersten Analyse der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten des deutschen Energiesystems wird ersichtlich, dass im Optimum bei THG-Minderungszielen von 55 und 80 Prozent die Stärken des Wasserstoffs noch nicht ausgespielt werden können und die Systemkosten in den Szenarien mit Fokus auf Elektrifizierung geringer sind (s. Abb. 4). Trotzdem liegen die Systemkosten bei hoher H<sub>2</sub>-Nachfrage im 80%-Szenario durch günstige EE-Erzeugung, Reduktion der fossilen Energieimporte und zunehmende Sektorenkopplung unterhalb der Kosten des heutigen Energiesystems. Zudem wird in diesem Szenario im Optimum das THG-Minderungsziel übererfüllt, und die erneuerbaren Energien werden stärker in das System integriert.

Beim ambitionierten THG-Minderungsziel von 95 Prozent überwiegen schließlich die Vorteile der Flexibilisierung durch die Nutzung von Wasserstoff die Nachteile der geminderten Systemeffizienz, so dass die Systemkosten bei Fokus auf Wasserstoff geringer

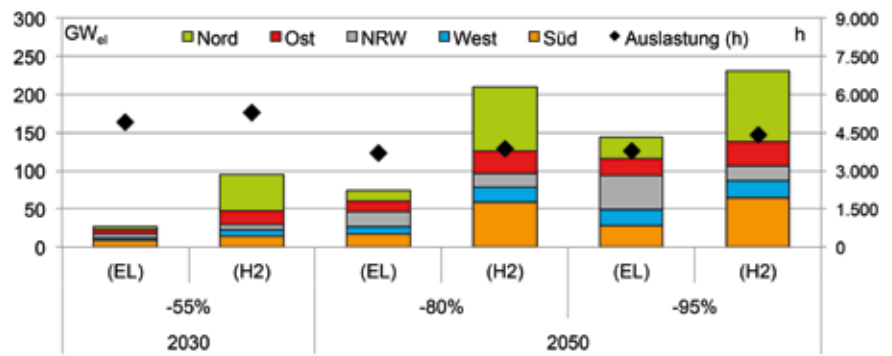


Abb. 2: Installierte Leistung sowie Auslastung der Elektrolyse in einzelnen Regionen. EL = Fokus auf Elektrifizierung; H<sub>2</sub> = Fokus auf Wasserstoff

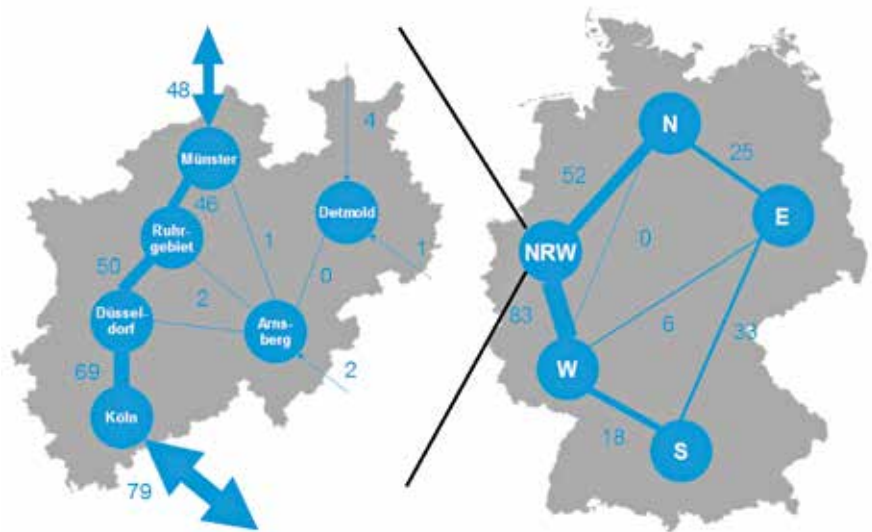


Abb. 3: Bedarf an H<sub>2</sub>-Leitungen in GW in Deutschland und NRW bei einem THG-Minderungsziel von 95 % im Jahr 2050

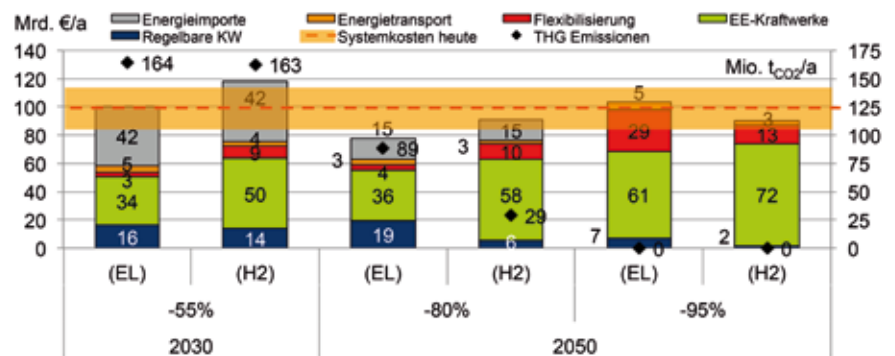


Abb. 4: Jährliche Gesamtkosten des deutschen Energiesystems sowie THG-Emissionen [Quellen: LBST]

ausfallen. Gleichzeitig können die durchschnittlichen Stromkosten auf unter 60 Euro/MWh und die H<sub>2</sub>-Gestehungskosten auf unter 4 Euro/kg<sub>H<sub>2</sub></sub> gesenkt werden.

Die zusätzliche Wertschöpfung, die auf die Erzeugung von Wasserstoff zurückzuführen ist, beläuft sich je nach Szenario auf 10 bis 50 Mrd. Euro pro Jahr, wobei 1 bis 10 Mrd. Euro pro Jahr Nordrhein-Westfalen zugeordnet werden können. Dabei entfällt in allen Szenarien der größte Anteil auf die indirekte Wertschöpfung, die durch die zusätzliche EE-Erzeugung zur Produktion von Wasserstoff entsteht. Die Arbeitplatzeffekte folgen grundsätzlich der Wertschöpfung. Durch den Einsatz von Wasserstoff können zwischen 200.000 und einer Million neue Arbeitsplätze in der Energieversorgung in Deutschland bzw. 20.000 bis 130.000 in NRW entstehen. In dieser Zahl sind jedoch potenzielle Arbeitsplätze aus der Fertigung sowie dem Betrieb der Endanwendungen (z. B. BZ-Fahrzeuge) noch nicht eingerechnet, so dass die tatsächliche Anzahl der durch eine Wasserstoffnutzung verursachten Arbeitsplätze noch höher ausfallen kann. >>

**WASSERSTOFF UND STROM IDEALE PARTNER** Die Analysen verdeutlichen, dass kostenoptimale Auslegung und Betrieb des künftigen Energiesystems Deutschland und NRW einen Kompromiss zwischen Systemeffizienz und Flexibilität erfordern werden. In diesem Zusammenhang bietet Wasserstoff als universeller Energieträger zahlreiche Vorteile für die intelligente Sektorenkopplung. Die Elektrolyse als flexible Last sowie die kostengünstige Speicherung großer Energiemengen in Form von Wasserstoff unterstützen nicht nur die Integration der erneuerbaren Energien, sondern können unter entsprechenden Rahmenbedingungen auch einen positiven Effekt auf die Systemkosten sowie inländische Wertschöpfung und Arbeitsplätze haben. Damit wird durch den Einsatz von Wasserstoff in den verschiedenen Sektoren der Wirtschaftsstandort Deutschland und NRW gestärkt.

Zudem kann durch die fortgesetzte Nutzung der bestehenden Erdgasinfrastruktur und den damit verminderten Stromnetzausbau die Akzeptanz in der Bevölkerung für die Energiewende unter Umständen gesteigert werden. Für Nordrhein-Westfalen wird es insbesondere wichtig sein, die entsprechenden Infrastrukturen zur Deckung der überproportionalen Nachfrage nach Wasserstoff vorzubereiten und zu etablieren, ob lokal hergestellt oder importiert.

Darüber hinaus zeigt die Studie, dass das Ergebnis stark von den Klimaschutzzielen abhängt und sich die Ausprägung eines kostenoptimalen Energiesystems zwischen den THG-Minderungszielen 80 und 95 Prozent deutlich voneinander unterscheiden kann. Aus diesem Grund kann durch verbindliche energiepolitische Ziele das Risiko von

unerwünschten Fehlinvestitionen und unnötigen Lock-in-Effekten unter anderem durch den Einsatz von Wasserstoff vermindert werden, da für das Gelingen der Energiewende bereits heute sektorenübergreifende Ansätze und Infrastrukturen entwickelt und erprobt werden müssen. Insgesamt können sich die beiden Energieträger Strom und Wasserstoff in dieser Hinsicht gegenseitig ergänzen und gemeinsam unter Ausnutzung von Synergieeffekten als ideale Partner zum Erfolg der Energiewende beitragen. ||

Die Studie, finanziert durch das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, wurde im Mai 2019 veröffentlicht und im Rahmen der Fachveranstaltung „Wasserstoff – Lösungen für die Industrie der Zukunft?“ der neuen Landesinitiative IN4climate.NRW vorgestellt.

#### Literatur:

□ Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen, Landeswirtschaftsministerium NRW, Mai 2019



#### Autoren:

Dr. Jan Michalski → [Jan.Michalski@lbst.de](mailto:Jan.Michalski@lbst.de)

Dr.-Ing. Ulrich Bünger

Matthias Altmann

Werner Weindorf

alle vier Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Ottobrunn

Thema: Energiespeicherung | Autoren: Sabrina Schiefelbein, Klaus-Michael Ahrend, Johannes Windeln

## BRAUNKOHLE- VERSUS H<sub>2</sub>-KRAFTWERK

### *Könnten Kohlekraftwerke heute schon abgeschaltet werden?*



Eine stabile Energieversorgung kann in Zukunft nur mit der Speicherung von Energie in großem Maßstab sichergestellt werden. Auf Grundlage des flüssigen, organischen Wasserstoffträgersystems (LOHC) sowie mithilfe von PEM-Elektrolysen und Festoxidbrennstoffzellen werden am Beispiel eines Braunkohlekraftwerks die Dimensionen und vor allem die Kapazität eines Speicherkraftwerks ermittelt, das das konventionelle Kraftwerk ersetzen soll. Überträgt man dies auf alle Braunkohlekraftwerke in Deutschland, wird das Potenzial der Nutzung von Überschussstrom durch Wasserstoff ersichtlich.

Um das Fortschreiten der Energiewende zu ermöglichen, muss von Wind und Sonne produzierte Energie zukünftig über längere Zeiträume auch im Terrawattstunden-Bereich gespeichert werden können. Bereits bis zum Jahr 2022, wenn auch der Atomausstieg erfolgen wird, sollen 30 Prozent der Kohlekapazität abgeschaltet werden. Es wird schon jetzt Strom über die Nachfrage hinaus produziert und momentan zu großen Teilen abgeregelt, also nicht genutzt. Dabei ist die großtechnische Speicherung von Energie in Form von Wasserstoff für den zeitlichen Ausgleich von Fluktuationen in der Stromproduktion und das Decken des Strombedarfs während einer Dunkelflaute von großer Bedeutung.

Wie könnte die Stromversorgung beim Ausstieg aus der Kohlekraft gewährleistet werden, so dass die Energiewende umgesetzt werden kann? Wie könnte mithilfe von H<sub>2</sub> beispielsweise ein Braunkohlekraftwerk ersetzt werden? Welche Speicherkapazitäten werden benötigt?

**ÜBERSCHUSSSTROM ZUR H<sub>2</sub>-ERZEUGUNG** Mithilfe der Literatur lässt sich ermitteln, dass großtechnische Speicher wie Pumpspeicherkraftwerke und Druckluftspeicherkraftwerke wenig Ausbaupotenzial besitzen, so dass Energie in großem Maßstab nur mit H<sub>2</sub> gespeichert werden kann. Vor allem Überschussstrom sollte darüber gespeichert werden. Im derzeit wenig flexiblen Stromsystem entsteht Überschussstrom nicht nur durch die wetterabhängigen erneuerbaren Energien, sondern auch durch Must-run-Kraftwerke, welche

zum großen Teil konventionell betrieben werden. Wird zu viel Strom erzeugt, werden entsprechend Solar- und Windkraftanlagen abgeschaltet, Kraftwerke herauf- bzw. heruntergefahren oder es wird Strom exportiert. Viel Energie geht von Jahr zu Jahr in steigendem Maße ungenutzt verloren, obwohl diese Energie durch Wasserstoff, der per Elektrolyse hergestellt wird, verwertet werden könnte.

Für die Umwandlung der schwankenden Stromerzeugung ist die PEM-Elektrolyse mit hohen Wirkungsgraden bis zu 74 % am besten geeignet [1]. Brennstoffzellen können dann anschließend bei Bedarf die in chemischer Form gespeicherte Energie rückverstromen. Die Festoxidbrennstoffzelle erscheint für eine kontinuierliche Stromabgabe in Bezug auf den Wirkungsgrad mit derzeit 50 bis 65 % und der Möglichkeit die Abwärme zu nutzen als am geeignetsten. Für die Bereitstellung von Regelleistung wiederum wäre die PEM- Brennstoffzelle durch Flexibilität bei Lastwechseln und kurze Anfahrzeiten zu bevorzugen.

Bis jetzt wird in großtechnischem Maßstab nur die H<sub>2</sub>-Druckspeicherung in Salzkavernen berücksichtigt. Entsprechend geeignete geologische Voraussetzungen sind vor allem im überschussstromreichen Norddeutschland durch Salzvorkommen gegeben. Das technische Potenzial bis 2050 für die H<sub>2</sub>-Speicherung in Salzkavernen wird auf 126 TWh geschätzt. Die Zeitspanne von der Vorbereitung bis zur Inbetriebnahme liegt allerdings bei etwa zehn Jahren. Die USA und Großbritannien besitzen jedoch jahrzehntelange praktische Erfahrung mit derartiger Wasserstofflagerung.

**LOHC ZUR ENERGIESPEICHERUNG** In den letzten Jahren zeichnet sich allerdings noch eine andere Möglichkeit ab, Wasserstoff in großen Mengen zu speichern: In flüssigen, organischen Wasserstoffträgern (Liquid Organic Hydrogen Carriers, LOHC; s. HZwei-Heft Jul. 2018) kann Wasserstoff in hoher Energiedichte unter Umgebungsdruck beliebig lange gelagert und transportiert werden. Aus technischer Sicht ist hierbei das Dibenzyltoluol als LOHC-System am vielversprechendsten, da hier weniger Probleme im Hinblick auf Toxikologie, Verfügbarkeit und physikalische Eigenschaften als bei anderen Systemen bestehen [2].

Technisch gesehen sind die Hydrierung und Dehydrierung lange bekannte Methoden in der Industrie. Das Potenzial für den Bau von Tanks für die Speicherung ist groß, da Standorte nicht an geologische Gegebenheiten gebunden sind und somit flexibler gewählt werden können als bei den anderen Speichertechnologien. Auch die Herstellung des Energieträgers Dibenzyltoluol erfolgt bereits in großem Maßstab aufgrund der Verwendung als Wärmeträgerflüssigkeit (u. a. unter dem Markennamen Marlotherm SH).

Hydrier- und Dehydriereinheit können räumlich voneinander getrennt sein. Der Transport und die Speicherung des beladenen und unbeladenen Dibenzyltoluols sind in der vorhandenen Infrastruktur der flüssigen Kraftstoffe umsetzbar [3]. Das Verfügarmachen dieser Technologie kann

zügiger geschehen als das der Kavernenspeicherung. Beim direkten Vergleich der beiden H<sub>2</sub>-Speichermöglichkeiten (s. Tab. 1) schneiden LOHC-Speicher sowohl in Bezug auf Wirkungsgrad und Energiedichte als auch in Bezug auf die Ausschöpfung der Ausbaupotenziale besser ab als Kavernen.

Der Wirkungsgrad für die Dehydrierung des LOHC hängt von der Bereitstellung der Dehydrierwärme ab. Ein Wirkungsgrad von 71 % wird erreicht, wenn Wasserstoff verbrannt und dort Wärme abgenommen wird. 100 % können bei Wärmeentnahme aus einem Wärmespeicher, der beispielsweise solar erhitzt wird, oder durch Nutzung einer Festoxidbrennstoffzelle erreicht werden (Energieverlust findet definitiv statt, egal ob die Energie von Solarzellen zurückgeholt wird oder die Abwärme einer SOFC genutzt wird). Der Systemwirkungsgrad liegt damit zwischen 39 und 73 %, für den Speicherzyklus mit Festoxidbrennstoffzelle bei 36 bis 47 %. Der Zykluswirkungsgrad der Kavernenspeicherung entsprechend mit Brennstoffzelle beträgt 26 bis 42 %.

**VERGLEICH: BRAUNKOHLE – WASSERSTOFF** In einem hypothetischen Rahmen lässt sich nun ermitteln, welche Dimensionen nötig sind, um ein Braunkohlekraftwerk durch ein H<sub>2</sub>-Speicherkraftwerk, bestehend aus PEM-Elektrolyse, LOHC-Speichertechnologie und Festoxidbrennstoffzelle, zu ersetzen. Moderne Braunkohlekraftwerksblöcke wie beispielsweise Boxberg oder Lippendorf und Teile von Neurath oder Niederaußem besitzen Nettonennleistungen zwischen 944 MW und 2.120 MW.

Für unsere Berechnung wird ein Kraftwerk mit 1.750 MW und einer jährlichen Stromproduktion von 12 TWh angenommen, die nach der Rückverstromung des H<sub>2</sub> ganz normal eingespeist werden sollen. Mit zurzeit bestmöglichen Zykluswirkungsgraden von 47 % für die LOHC-Technologie ergibt sich eine anfängliche benötigte Energiemenge von 25,5 TWh für das H<sub>2</sub>-Speicherkraftwerk. Hierzu müssen knapp 570.000 t Wasserstoff aus fast 5,7 Mio. m<sup>3</sup> Wasser hergestellt werden.

Wie groß muss dabei die Kapazität des Speichers sein? Es wird vereinfachend veranschlagt, dass die Stromproduktion des Braunkohlekraftwerks konstant ist und die tägliche Einspeisemenge somit bei 32,9 GWh liegt. Im Extremfall sollte mit einer 14 Tage anhaltenden Dunkelflaute gerechnet werden [4]. Um bei Dunkelflautenbeginn einen Mindestfüllstand des Speichers zu gewährleisten, muss er ausreichend Wasserstoff für insgesamt 28 Tage beinhalten. Bei einem BZ-Wirkungsgrad von 65 % entspräche dies 1.416 GWh beziehungsweise einem Dibenzyltoluol-Volumen von 745.500 m<sup>3</sup>. Diese LOHC-Menge kann in 15 Tanksilos mit einem Fassungsvermögen von 50.000 m<sup>3</sup> untergebracht werden.

Da die in Betrieb befindlichen Braunkohlekraftwerke insgesamt 137,79 TWh Nettostrom erzeugen und dieser etwa die 11,5-fache Menge der Erzeugung des Braunkohlekraftwerks entspricht, ergibt sich bei Abschaltung aller Braunkohlekraftwerke zur Gewährleistung der Netzsicherheit >>

Tab. 1: Wirkungsgrade der Prozessschritte für die Ein- und Ausspeicherung von H<sub>2</sub> in Dibenzyltoluol (verändert nach [1], [5])

PROZESSCHRITT	LOHC-WIRKUNGSGRAD	KAVERNENSPEICHER-WIRKUNGSGRAD
PEM-Elektrolyse	56 bis 74 %	56 bis 74 %
Hydrierung/Einspeicherung	98 %	90 bis 95 %
Dehydrierung/Speicherung	71 bis 100 %	97 %
System	39 bis 73 %	51 bis 64 %
volumetrische Energiedichte	2.143 kWh/m <sup>3</sup> bei 1 bar	468 bis 600 kWh/ m <sup>3</sup> bei 200 bar

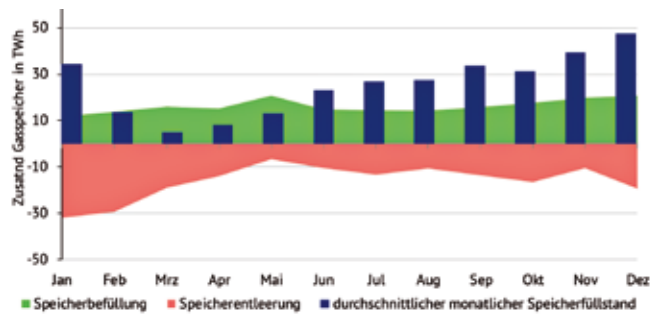


Abb. 2: Speicherfüllstand auf monatlicher Basis [Quelle: [4]]

in Deutschland eine Speicherkapazität von 16,3 TWh. Hieraus resultiert bei einem Elektrolysewirkungsgrad von 74 % ein Bedarf von 22 TWh, die in etwa 660.000 t Wasserstoff gespeichert werden (= 11,6 Mio. m<sup>3</sup> Dibenzyltoluol). Diese LOHC-Menge passt in 232 Tanksilos à 50.000 m<sup>3</sup>.

Die nach öffentlichen Abschätzungen ermittelte Speicherkapazität für die Sicherstellung der Stromversorgung im Rahmen der Energiewende bewegt sich im zweistelligen TWh-Bereich [2]. Der zweistellige TWh-Bereich hat zwar eine große Spannweite, jedoch fallen die berechneten 16,3 TWh, die nur für den Ausgleich der abgeschalteten Braunkohlekraftwerke gelten, in diesen Bereich und untermauern somit, dass dieses Ergebnis in einem passenden Rahmen liegt.

Als Vergleich dazu können die 15,7 TWh Überschussstrom aus dem Jahr 2017 angeführt werden [5], die sich aufgrund des Einspeise- und Netzengpassmanagements in ganz Deutschland ergaben. Bei Abschaltung aller Braunkohlekraftwerke wäre ein vollständiger Ersatz damals zwar noch nicht komplett möglich gewesen (Differenz: 0,6 TWh, ohne Berücksichtigung von Stromexporten). Bei einem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien wäre das allerdings realisierbar.

**SCHLUSSFOLGERUNGEN** Allerdings gibt es regionale Unterschiede bei der Überschussstromproduktion in Deutschland, so dass entsprechende Überkapazitäten derzeit nicht an einem zentralen Ort aufgenommen werden können. Deswegen müsste zunächst eine Untersuchung der genauen Überschüsse aller Art in Bezug auf Menge, Dauer und Region erfolgen. Die Elektrolyseleistung hängt ebenfalls stark von den tatsächlichen Überschussstromstunden ab. Da zudem die Bereitstellung von Wasser in ausreichendem Maße problematisch werden kann, muss auch hierfür eine Lösung gefunden werden.

In der Forschung wird bereits an der Meerwasserelektrolyse gearbeitet. Vorzuziehen wäre eine dezentrale H<sub>2</sub>-Speicherung in kleinerem Maßstab an mehreren Standorten mit deutlich ausgeprägtem Energieüberschuss. Da es möglich ist, Wasserstoff in gespeicherter Form zu transportieren, wäre die Rückverstromung auch an einem anderen, vielleicht auch zentralen Ort, vorstellbar. Durch den Transport würden allerdings weitere, bis jetzt unberücksichtigte Energieverluste entstehen. Die Möglichkeit, die vorhandene Infrastruktur der flüssigen Kraftstoffe ohne Beschränkung zu nutzen, macht das Speichermedium LOHC in jedem Fall sehr attraktiv. Die damit verbundene Entlastung der Übertragungsnetze ist allerdings nur interessant, solange der Netzausbau weiterhin verzögert erfolgt.

Trotz bereits vorhandener großtechnischer Herstellungsverfahren müsste die Produktion von Dibenzyltoluol geklärt werden. Die Bedenklichkeit dieses Materials sollte dabei nicht unbeachtet bleiben, nachzulesen beispielsweise im Sicherheitsdatenblatt von Marlotherm SH. Zudem werden für

die Herstellung derzeit fossile Rohstoffe genutzt. Da das Öl nur für einige hundert Speicherzyklen verwendbar ist, muss weiterhin geklärt werden, wie die Entsorgung, in diesem Fall als gefährlicher Abfall, erfolgen soll oder ob ein Recycling möglich ist. Unter diesem Aspekt ist es erwägenswert, die LOHC-Speichertechnologie nur als Einleitungs- und Übergangslösung für die H<sub>2</sub>-Speicherung anzusehen, da der Weg eindeutig von fossilen Ressourcen wegführen sollte.

In jedem Fall bleibt unumstritten, dass in naher Zukunft die saisonale Speicherung von Elektrolysewasserstoff für die Stromversorgung notwendig wird, auch wenn Wasserstoff kein Allheilmittel ist und andere Speichertechnologien parallel einbezogen werden müssen. Zudem sind Netzausbau, Lastmanagement, Energieeffizienz und Smart-Grids ebenso Säulen für die erfolgreiche Energiewende. Die Speicherung von Energie in Wasserstoff und die Rückverstromung bringen zwar Verluste mit sich, aber die überschüssig erzeugte Energie würde ansonsten ungenutzt verloren gehen. Somit sind höhere Wirkungsgrade zwar wünschenswert, um die größtmögliche Energiemenge verwenden zu können, aber nicht Voraussetzung.

Die überschüssig produzierte Energie, die bei einem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien stetig steigt, kann die Netzstabilität sicherstellen. Diese Energiemenge nutzbar zu machen ist nun die dringlichste Aufgabe der Energiebranche. Wichtig ist, dass jetzt mit dem Handeln begonnen wird. Wasserstoff schafft einen erheblichen Beitrag zur vollen Nutzung von erneuerbaren Energien. ||

Dieser Beitrag ist das Resultat einer Bachelorarbeit, die die Autorin im Fernstudium an der Wilhelm-Büchner-Hochschule im Studiengang Energieverfahrenstechnik angefertigt hat.

#### Literatur

- [1] Tjarks, G., PEM-Elektrolyse-Systeme zur Anwendung in Power-to-Gas Anlagen, Volume 366, Diss., RWTH Aachen University, 2017.
- [2] Sterner, M.; Bauer, F.; u.a., Energiespeicher-Bedarf, Technologien, Integration (S.327-493), o.O., Springer Verlag, 2. Auflage, 2017.
- [3] Preuster, P., Entwicklung eines Reaktors zur Dehydrierung chemischer Wasserstoffträger als Bestandteil eines dezentralen, stationären Energiespeichers, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 2017.
- [4] Huneke, F.; Perez Linkenheil C.; M. Niggemeier, M., Kalte Dunkelflaute – Robustheit des Stromsystems bei Extremwetter, Energy Brainpool, Berlin, 2017.
- [5] Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahn und Bundeskartellamt; Monitoringbericht 2018; Stand 8. Februar 2019.

#### Autoren:



Sabrina Schiefelbein  
→ sabrina.schiefelbein@gmx.de

Prof. Klaus-Michael Ahrend, Hochschule Darmstadt, und Vorstand, HEAG  
Prof. Johannes Windeln, Wilhelm Büchner Hochschule

**AVL**

# AVLS HOCHMODERNE ENTWICKLUNGS- UND TESTUMGEBUNG FÜR BRENNSTOFFZELLEN

AVL bietet innovative und marktreife Lösungen zur Entwicklung von Brennstoffzellenfahrzeugen

Die Mobilität steht vor dem größten Wandel seit der Erfindung des Automobils – vom Verbrennungsmotor hin zum elektrischen Antrieb auf Basis von Batterien sowie Wasserstoff als vielversprechenden Energieträger. AVL begegnet dem zunehmenden Bedarf mit der Einführung von AVL PUMA 2™ Fuel Cell, einem maßgeschneiderten Automatisierungssystem, welches das Herzstück des Brennstoffzellenprüfstands darstellt. Diese industrialisierte Lösung verbindet Forschung und Produktentwicklung, basierend auf neuesten Automobilstandards. AVL bietet neuen und bestehenden Kunden die Möglichkeit, modernste Brennstoffzellen-Testumgebungen aufzubauen, da nur AVL das komplette Lösungs- und Anwendungswissen von der Komponentvalidierung bis zum realen Fahren liefert.

## IHRE VORTEILE

- Modernste Serien-Entwicklungsumgebung für die Brennstoffzellentechnologie – von der Zelle bis Gesamtfahrzeug
- Ermöglicht die Integration realer Testzyklen in frühe Entwicklungsphasen
- Früherkennung der Brennstoffzellendegradation durch integrierte Diagnosewerkzeuge
- Zuverlässige und präzise Steuerung aller Komponenten in Echtzeit

# HYFAB – BZ-FORSCHUNGSFABRIK IN ULM

## Forschungsfertigung Batteriezelle in Münster



Abb. 1: Daimler-Chef Ola Källenius mit Ministerpräsident Winfried Kretschmann (r.)

Eine wahre Achterbahnfahrt der Gefühle dürften die Wissenschaftler auf dem Ulmer Eselsberg Anfang Juli 2019 durchlebt haben. Erst kam das Nein zum Batteriestandort, dann aber das Ja zum Brennstoffzellenstandort.

Die Zusage für das HyFab kam höchstpersönlich vom Ministerpräsidenten Baden-Württembergs Winfried Kretschmann im Rahmen des Strategiedialogs Automobilwirtschaft BW. Wobei dies für Ulm nach der Ankündigung, die geplante „Batteriefabrik“ in Nordrhein-Westfalen anzusiedeln, weitaus mehr war als nur ein kleines Trostpflasterchen. Denn immerhin soll nun im Rahmen des HyFab-Vorhabens bis 2024 eine Forschungsfabrik für Brennstoffzellen und Wasserstoff entstehen, die die Bedeutung dieses Standorts im Süden Deutschlands für die H<sub>2</sub>- und BZ-Branche über die Landesgrenzen hinaus betonen wird. Dabei geht es zwar nicht um hunderte Millionen an Forschungsgeldern, aber doch um insgesamt 74 Mio. Euro, die über zehn Jahren verteilt werden, wovon 18,5 Mio. vom Land zur Verfügung gestellt werden.

Im Februar 2019 hatten sich der baden-württembergische Umweltminister Franz Untersteller (s. Interview auf S. 16) und Wirtschaftsministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut bei der Bundesregierung dafür eingesetzt, HyFab finanziell zu unterstützen. Sie schrieben: „In der industriellen Brennstoffzellenfertigung steckt ein enormes Potenzial für den Klimaschutz und für den Industriestandort Deutschland.“ Das Ziel von HyFab, das unter der Federführung des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme steht, ist, eine

„Darüber hinaus arbeiten wir im Strategiedialog Automobilwirtschaft BW an einer Konzeptentwicklung und dem Aufbau der Infrastruktur für einen emissionsfreien öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) auf Basis der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie.“

Baden-Württembergs Ministerpräsident  
Winfried Kretschmann

offene, flexible Plattform zu schaffen, die Zulieferindustrie zu stärken sowie schnelle, automatisierte Fertigungsverfahren von Brennstoffzellen-Stacks zu entwickeln und zu erproben.

### NEUER BATTERIESTANDORT IN NRW

Die Tübinger Universitätsstadt hatte sich parallel auch als Sitz für die geplante Forschungsfabrik für Batteriezellen, die 2022 in Betrieb gehen soll, beworben. Den Zuschlag bekam aber – für einige Akteure überraschend – Münster, so dass auch die damit verbundene Finanzspritze von mehr als 500 Mio. Euro vom Bundesforschungsministerium nach Norddeutschland geht.

Mit ausschlaggebend für die Vergabe an das Team von Münster Electrochemical Energy Technology (MEET) war unter anderem die fachliche Reputation der Professoren Achim Kampker und Günther Schuh von der RWTH Aachen, die als Dreiergespann mit dem Forschungszentrum Jülich ins Rennen gegangen waren. Zudem dürfte geholfen haben, dass das Bundesland Nordrhein-Westfalen Ende Mai 2019 eine Beteiligung von mehr als 200 Mio. Euro in Aussicht gestellt hat. Dieses Geld soll beispielsweise für die Finanzierung von Grundstücken und Gebäuden sowie eine dauerhafte Beteiligung an der Grundfinanzierung bereitstellen, wobei allein 12 Mio. Euro für die Nachwuchsförderung eingesetzt werden sollen. Zusätzliche 7,5 Mio. Euro sollen von den Kommunen kommen. Aufbau und Betrieb des Standorts sollen durch die Fraunhofer-Gesellschaft als Trägereinrichtung erfolgen. Die Bundesministerin für Bildung und Forschung Anja Karliczek teilte mit, dass eine „Berücksichtigung der anderen Standorte trotzdem stattfindet.“ ||

„Es ist für Deutschland eine existenzielle Frage, dass wir mit Batterieforschung und -produktion und auch der Weiterentwicklung in Richtung grüne Batterie erfolgreich sein wollen und müssen. [...] Wir haben im weltweiten Wettbewerb etwas aufzuholen.“

Bundesforschungsministerin  
Anja Karliczek

# WASSERSTOFF VERSUS BATTERIE

## Kommentar von Prof. Volker Quaschnig

Prof. Volker Quaschnig macht seit Monaten mit vielen öffentlichen Beiträgen auf die Klimaproblematik aufmerksam und unterstützt aktiv die Fridays-for-Future-Kids, indem er beispielsweise die Scientists-for-Future-Gruppe ins Leben gerufen und dadurch für eine wissenschaftliche Begleitung der Jugendbewegung gesorgt hat. Mitte August veröffentlichte er einen Faktencheck zu der Frage: Welches Auto hat die beste Klimabilanz? In diesem Zusammenhang ging er auch der These nach, für den Klimaschutz sollten wir besser auf das Brennstoffzellenauto anstatt auf das Batterieauto setzen. Dazu schreibt er:

Für den Betrieb eines Brennstoffzellenautos muss erst einmal Wasserstoff hergestellt und auf hohen Druck gebracht werden. Im Auto



Prof. Volker Quaschnig

selbst muss dieser dann mit Hilfe einer Brennstoffzelle zurückverstromt werden. Beides verursacht hohe Verluste, sodass ein Brennstoffzellenauto fast dreimal so viel Strom zum Herstellen des nötigen Wasserstoffs braucht wie ein Batterieauto zum Laden der Batterien. Wenn man also beide Fahrzeugvarianten

vergleichen möchte, muss man beim Brennstoffzellenauto auch den Herstellungsaufwand für den Wasserstoff berücksichtigen. Dafür fällt der hohe Herstellungsenergieaufwand für die Batterie weg. Unterm Strich unterscheidet sich am Ende die Klimabilanz beider Fahrzeugvarianten kaum [Ste19].

Derzeit wird ein Großteil des Wasserstoffs in Deutschland aus Erdgas gewonnen. Vorteile für den Klimaschutz lassen sich damit nicht generieren. Wollten wir alle Autos durch Brennstoffzellenautos ersetzen und den Wasserstoff durch erneuerbare Energien in Deutschland gewinnen, müssten wir auch fast dreimal so viele Windkraft- und Solaranlagen aufstellen. Zumindest für das Aufstellen der nötigen Windkraftanlagen fehlen in Deutschland aber die dafür benötigten Standorte [Qua16]. Bei der Wasserstofflösung wären wir also auf den Import von regenerativem Wasserstoff angewiesen. Dies in den für den Klimaschutz erforderlichen Zeitfenstern zu realisieren, dürfte schwer werden. Außerdem wird die Wasserstofflösung wegen der hohen Verluste am Ende auch teurer sein als die Batterievariante.

Darum ist es sehr wahrscheinlich, dass die Wasserstofflösung vor allem bei Fahrzeugen mit hohen täglichen Fahrleistungen wie LKWs, Bussen oder Autos für extreme Vielfahrer zum Einsatz kommt. Das normale Auto für durchschnittliche Anwendungen wird künftig mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ein Batterieauto sein. Umweltnachteile gibt es dadurch nicht. ||

→ [www.volker-quaschnig.de/artikel/Fakten-Auto/](http://www.volker-quaschnig.de/artikel/Fakten-Auto/)

Autor:

Prof. Volker Quaschnig, Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin

31



Leitkongress der Gas- und Wasserwirtschaft  
**Klimawandel. Versorgung. Strategien.**

26.-28.11.2019, koelnmesse



### Top-Themen

- ➔ Dekarbonisierung mit grünen Gasen
- ➔ Sicherung der Wasserressourcen
- ➔ Nachhaltigkeit als Verpflichtung
- ➔ Roadmap für H<sub>2</sub> in der Gasinfrastruktur

[www.gat-wat.de](http://www.gat-wat.de)

Das  
Programm  
ist online!

Mit freundlicher Unterstützung von:



# LANGFRISTIG ZAHLEN SICH BZ-PKW AUS

## Infrastruktur-Studie der Ludwig-Bölkow-Stiftung

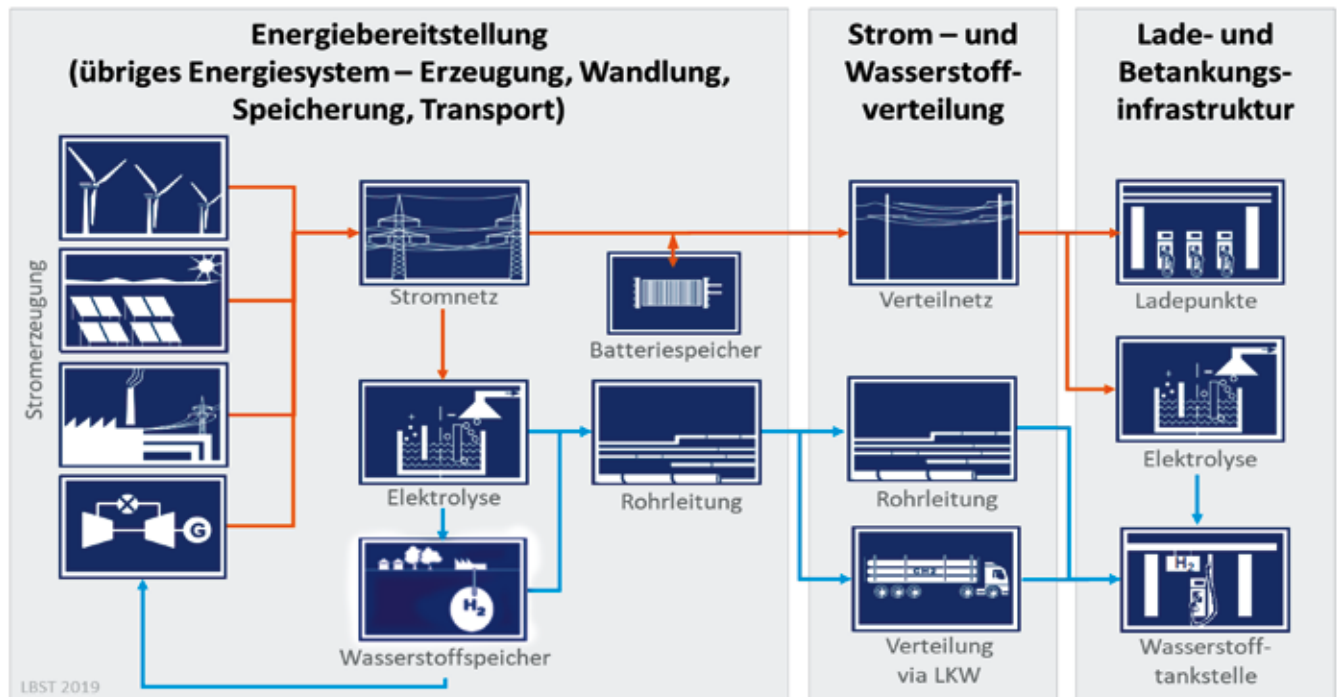


Abb. 1: Vereinfachte Darstellung des Energieversorgungssystems für Nullemissions-Pkw

Beim Thema „Infrastruktur von Elektrofahrzeugen“ gibt es verschiedenste Meinungen bezüglich Kosten, Integrierbarkeit der Infrastruktur in die Stromnetze und Effizienz der Energiebereitstellung. Je nach Sichtweise schneidet dabei mal die Infrastruktur für Batterie-, mal die für Brennstoffzellen-Pkw besser ab. Um die Diskussion mit handfesten Fakten voranzubringen, hat die Ludwig-Bölkow-Stiftung, unterstützt durch die Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH und das Fraunhofer IOSB AST, die von der ADAC Stiftung geförderte Studie „Infrastrukturbedarf E-Mobilität – Analyse eines koordinierten Infrastrukturaufbaus zur Versorgung von Batterie- und Brennstoffzellen-Pkw in Deutschland“ herausgebracht. Ein breit aufgestellter Projektbeirat hat die Erstellung der Studie begleitet, die nach etwa zwei Jahren Bearbeitungszeit am 27. Juni 2019 in Berlin veröffentlicht wurde. Zentrale Annahmen und ausgewählte Ergebnisse der Studie werden im folgenden Artikel erläutert.

Die Studie betrachtet den Infrastrukturbedarf zur Versorgung von 40 Millionen Nullemissions-Pkw bis 2050 in Deutschland. Als Nullemissions-Pkw gelten hier Fahrzeuge mit Batterie- oder Brennstoffzellen-Technologie. Neben der erforderlichen Lade- bzw. Betankungsinfrastruktur wurde auch deren Integration in das deutsche Energiesystem betrachtet. Dieses umfasst die Energieverteilung (Stromverteilnetze und Wasserstoffversorgung), den Energietransport (Strom- und Wasserstofftransport), die Energiespeicherung (stationäre Batterie- und Wasserstoffspeicher) sowie die Strom- und Wasserstoffherzeugung (s. Abb. 1). Ein Schwerpunkt der Studie lag dabei auf einer detaillierten Analyse exemplarischer Stromverteilnetze.

Insgesamt wurden drei Szenarien mit jeweils unterschiedlichen Anteilen an Batterie- bzw. Brennstoffzellenfahrzeugen

betrachtet. Im Szenario „Fokus BEV“ verfügen 80 Prozent der Nullemissionsflotte über einen batterieelektrischen Antrieb, die verbleibenden 20 Prozent nutzen die Brennstoffzellentechnologie. Im Szenario „Fokus FCEV“ liegt der Anteil an Fahrzeugen mit Brennstoffzelle bei 80 Prozent, der Anteil an Batteriefahrzeugen liegt entsprechend nun bei 20 Prozent. Im „Mix“-Szenario entfallen jeweils 50 Prozent auf beide Antriebstechnologien. Neben dem Zieljahr 2050 wurden auch die Stützjahre 2030 und 2040 betrachtet. Die folgenden Ausführungen beschränken sich jedoch auf das Zieljahr 2050.

**LADEPUNKTE UND WASSERSTOFFTANKSTELLEN** Der Bedarf an Ladepunkten zur Versorgung von Batterie-Pkw wurde auf Basis der Zahlen der ehemaligen Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) bestimmt. Für 2050 werden je nach Szenario zwischen 9,6 (Fokus FCEV) und 38,4 Mio. (Fokus BEV) Ladepunkte benötigt. Die damit verbundenen jährlichen Kosten für Wartung, Instandhaltung und Investitionsabschreibung liegen zwischen 2 Mrd. Euro im Fokus-FCEV-Szenario und knapp 9 Mrd. Euro im Fokus-BEV-Szenario. Maßgeblichen Einfluss auf die Kosten haben vor allem die privaten Ladepunkte, die mit durchschnittlich jeweils 1.650 Euro (Hardware inkl. Planung, Netzanbindung und Installation) angenommen wurden.

Die Anzahl an Wasserstofftankstellen beläuft sich auf rund 2.000 (Fokus BEV) bzw. 6.000 (Fokus FCEV) mit durchschnittlichen Betankungskapazitäten von 1.400 bzw. 2.000 kg<sub>H<sub>2</sub></sub> pro Tag. Die H<sub>2</sub>-Tankstellen verfügen im Vergleich zu den heute erstellten H<sub>2</sub>-Anlagen (ca. 200 kg/Tag) über deutlich höhere Kapazitäten, um Skaleneffekte zu nutzen und um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen. Eine flächendeckende Wasserstoffversorgung ist damit für alle drei Szenarien gewährleistet.



Die Wasserstoffversorgung der Tankstellen erfolgt mittelfristig vor allem durch Lkw-Anlieferung von Druckwasserstoff (500 bar) mit langfristig steigenden Anteilen an angeliefertem Flüssigwasserstoff, durch eine Versorgung via Rohrleitung (teilweise umgewidmeter Erdgasrohrleitung) und durch Vor-Ort-Erzeugung mittels Elektrolyse. Die jährlichen Kosten für die Wasserstoffbetankungsinfrastruktur inklusive der Anlieferung des Wasserstoffs, jedoch ohne H<sub>2</sub>-Erzeugung betragen im Jahr 2050 zwischen 1 Mrd. (Fokus BEV) und 3,7 Mrd. Euro (Fokus FCEV).

**NIEDER- UND MITTELSPANNUNGSSTROMNETZ** Die Auswirkungen der Lade- und Betankungsvorgänge der Nullemissions-Pkw auf das Stromverteilnetz sowie der daraus resultierende Ertüchtigungsbedarf wurden auf Basis detaillierter Berechnungen von exemplarischen Netzen ermittelt. Dazu wurden Nieder- und Mittelspannungsnetze aus dem ländlichen Raum, aus Klein- und Vorstädten sowie aus einer Großstadt herangezogen. Jedem Beispielnetz wurde eine bestimmte Anzahl an Batterie- und Brennstoffzellen-Pkw auf Basis heutiger Pkw-Zulassungszahlen, des Betrachtungsjahrs sowie der Szenariendefinition zugeordnet. Unter Berücksichtigung relevanter Parameter wie z. B. Gleichzeitigkeitsfaktoren, konventioneller Stromnachfrage, Stromerzeugung aus EE-Anlagen, Ladeleistungen und Anschlussort der Ladepunkte wurden die Netzbelastungen in den Beispielnetzen ermittelt. Untersucht wurden die Rückwirkungen hinsichtlich der thermischen Belastung von Transformatoren und Kabeln, der Spannungsqualität, einer möglichen Phasenschieflage (Phasenunsymmetrie) und, im Bereich der Mittelspannung, einer Verletzung des N-1-Kriteriums (Ausfallwahrscheinlichkeit).

Für jedes exemplarische Niederspannungsnetz wurden bis zu 5.000 Varianten für verschiedene Lastsituationen betrachtet, um so eine repräsentative statistische Auswertung der relevanten Parameter zu erhalten. Hierfür wurde die Verletzungswahrscheinlichkeit der verschiedenen Parameter ermittelt. Andererseits wurden in der Mittelspannung standardisierte Profile verwendet, um die stündlichen Werte der Parameter zu ermitteln.

Die Analyse der Beispielnetze zeigt, dass die zur Versorgung der Nullemissions-Pkw erforderliche Lade- bzw. Betankungsinfrastruktur prinzipiell

in das Stromverteilnetz integriert werden kann. Dazu sind jedoch teilweise Ertüchtigungsmaßnahmen in den Netzen erforderlich. Die Art und der Umfang der erforderlichen Maßnahmen ist von der jeweiligen Netzstruktur, der Netzebene, den lokalen Rahmenbedingungen (z. B. konventioneller Stromverbrauch, Gebäudestruktur, Anteil neu installierter Wärmepumpen) sowie vom Betrachtungsjahr und dem gewählten Szenario abhängig. Allgemein lässt sich feststellen, dass der Ertüchtigungsbedarf in den Niederspannungsnetzen höher ausfällt als in den Mittelspannungsnetzen, die eine höhere Zuverlässigkeit (N-1-Kriterium) besitzen.

Die Anzahl an Batteriefahrzeugen, sprich das Szenario und Betrachtungsjahr, haben entscheidenden Einfluss auf den Umfang der erforderlichen Maßnahmen (s. Abb. 2). Diese Situation kann durch Berücksichtigung von Lademanagementsystemen, die die maximale Ladeleistung der Batteriefahrzeuge reduzieren können, verbessert werden. Die Integration von Wasserstofftankstellen sowie Schnellladeinfrastruktur in die Mittelspannungsnetze ist vergleichsweise problemlos oder mit geringem Ausbaubedarf möglich.

**ENERGIESYSTEMANALYSE UND GESAMTKOSTENVERGLEICH** Die zeit- und ortsgerechte Bereitstellung von Strom und Wasserstoff muss durch das deutsche Energiesystem gewährleistet werden. Dabei muss Energie nicht nur für Pkw, sondern auch für den Industrie- und GHD-Sektor (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) zur Wärmeerzeugung in privaten Haushalten und für weitere Mobilitätssektoren bereitgestellt werden. Bis auf den Mobilitätssektor sind die Energieverbräuche und Annahmen in den Sektoren für alle drei Szenarien identisch.

Die Energiesystemanalyse erfolgt in einem dafür entwickelten Modell, das auf Basis vorgegebener Rahmenbedingungen (z. B. Treibhausgas-Budget, Bestandskraftwerke, Energiekosten etc.) den kostenoptimalen Anlagenpark (z. B. Kraftwerke, Speicher, Elektrolyse) bezüglich Investitions- und Betriebskosten bestimmt. Die Rahmenbedingungen der Analyse wurden so gewählt, dass diese mit den Pariser Klimaschutzziele kompatibel sind.

Abbildung 3 zeigt eine eindeutige Korrelation zwischen dem Anteil an Batteriefahrzeugen und den benötigten Leistungsspeichern. Der Bedarf an Energiespeicherkapazität ist jedoch weitgehend unabhängig vom Technologiemark der Fahrzeugflotte. Einen deutlich geringeren Bedarf an Leistungs- und Energiespeichern ermittelt das Modell für 2040. Das liegt daran, dass 2040 noch THG-Emissionen im Strom- bzw. Energiesektor zugelassen sind und damit konventionelle Kraftwerke mit fossilen Energieträgern (z. B. Erdgas) zur Bereitstellung von gesicherter Leistung genutzt werden können. Im Jahr 2050 müssen dann jedoch stationäre Batterien und THG-neutrale (chemische) Energieträger, wie z. B. Wasserstoff, als Leistungs- und Energiespeicher eingesetzt werden, um auch in Zeiten mit geringer Stromerzeugung aus Wind und Photovoltaik Strom bedarfsgerecht u. a. zur Ladung von Batteriefahrzeugen bereitstellen zu können.

Ein Teil des Stroms für Batteriefahrzeuge wird also durch ein stationäres Wasserstoffspeichersystem mit Rückverstromungseinheit bereitgestellt (s. Abb. 1). In einem THG-neutralen Energiesystem mit einem hohen Anteil von fluktuierender Stromerzeugung nähert sich folglich der Wirkungsgrad der Energiebereitstellung für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge an. Das zeigt sich auch in den Kosten, die im Rahmen der Energiesystemanalyse ermittelt wurden. Für 2050 sind keine relevanten Kostenunterschiede in den drei Szenarien mehr feststellbar.

Etwas anders verhält es sich bei der Betrachtung der Gesamtkosten (d. h. Kosten im Rahmen der Energiesystemanalyse plus Kosten für dezidierte Lade- und >>

Niederspannungsebene		Transformator		Leitungen		Spannungsband		Phasenschieflage	
Beispielnetz	Szenario	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Stadt_1	Fokus Bev	●	●	●	●	●	●	●	●
	Mix	●	●	●	●	●	●	●	●
	Fokus FCEV	●	●	●	●	●	●	●	●
Kleinstadt_2	Fokus Bev	●	●	●	●	●	●	●	●
	Mix	●	●	●	●	●	●	●	●
	Fokus FCEV	●	●	●	●	●	●	●	●
Land_1	Fokus Bev	●	●	●	●	●	●	●	●
	Mix	●	●	●	●	●	●	●	●
	Fokus FCEV	●	●	●	●	●	●	●	●
Verletzungswahrscheinlichkeit im Beispielnetz (Basis: je 5.000 Variationsrechnungen)									
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>● 0%</span> <span>● &lt; 25%</span> <span>● &lt; 30%</span> <span>● &gt; 30%</span> </div>									

Abb. 2: Verletzungswahrscheinlichkeiten für ausgewählte Beispielnetze in der Niederspannungsebene je Szenario für 2030 und 2050

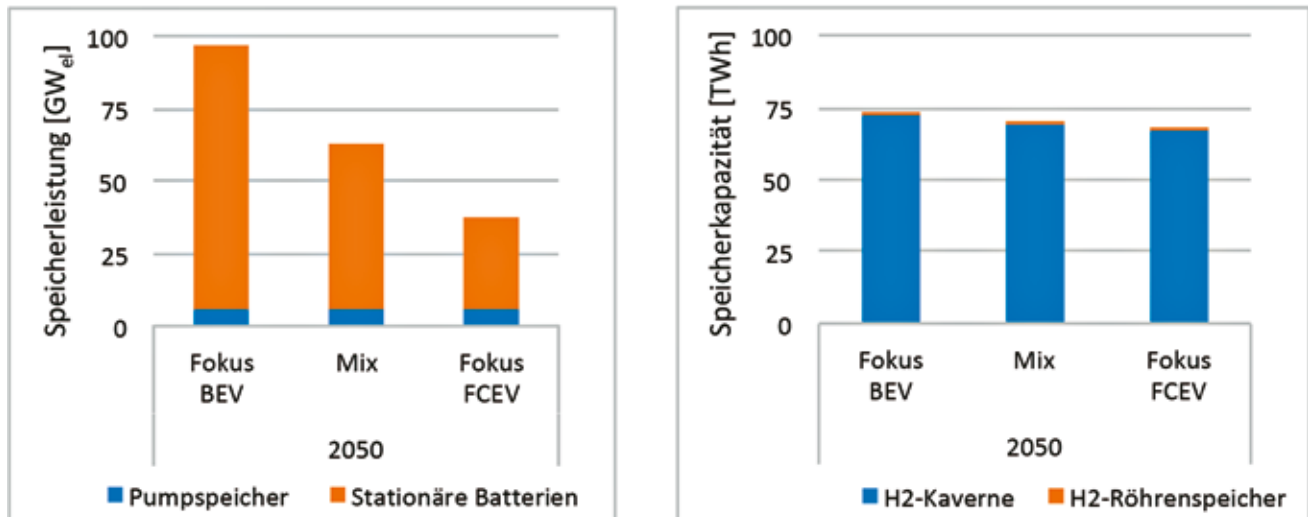


Abb. 3: Bedarf an Leistungs- und Energiespeichern 2050, abhängig vom Mobilitätsszenario [Quellen: LBST]

Betankungsinfrastruktur und Energieverteilung). Zwar liegen auch die Gesamtkosten mittelfristig auf nahezu gleichem Niveau, langfristig sind jedoch Kostenvorteile für Szenarien mit hohem Anteil an Brennstoffzellenfahrzeugen ermittelt worden. Diese ergeben sich vor allem aus unterschiedlichen Kosten für Ladepunkte im Vergleich zu Wasserstofftankstellen. Vor allem die hohe Anzahl privater Ladepunkte und die damit verbundenen Kosten tragen hier maßgeblich kostensteigernd bei.

Relevanz für das gesamtdeutsche Energiesystem. Gesicherte Leistung, auch zur Ladung von Batterie-Pkw, wird langfristig dann zum Teil durch stationäre H<sub>2</sub>-Speicher mit Rückverstromungseinheit gewährleistet. Die Wirkungsgradketten der Energiebereitstellung für beide Pkw-Technologien nähern sich dadurch langfristig an. ||

→ [www.stiftung.adac.de/infrastrukturbedarf-e-mobilitaet](http://www.stiftung.adac.de/infrastrukturbedarf-e-mobilitaet)

**34 FAZIT** Zusammengefasst zeigt die Studie, dass die Stromverteilnetze zur Aufnahme einer hohen Anzahl an batterieelektrischen Pkw fallspezifisch ertüchtigt werden müssen, tendenziell eher im ländlichen Raum. Die H<sub>2</sub>-Betankungsinfrastruktur dagegen lässt sich vergleichsweise einfach in die Stromnetze integrieren. Mit steigendem Anteil fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung gewinnt die gute Speicherbarkeit von Wasserstoff mittel- und langfristig an

Autoren:

Dr. Jan Michalski → [Jan.Michalski@lbst.de](mailto:Jan.Michalski@lbst.de)

Jan Zerhusen, Dr. Ulrich Bünger, Dr. Werner Zittel,

alle vier Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST), Ottobrunn

Steffen Nicolai, Samir Kharboutli, Cristian Monsalve, Stephan Ruhe,

alle vier Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und

Bildauswertung, Karlsruhe

Thema: Elektromobilität | Autor: Martin Pokojski

## WO STEHT DIE ELEKTROMOBILITÄT?

### Empfehlungen von VDE und VDI

Die Elektromobilität stellt einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz und zur Nutzung erneuerbarer Energien im Verkehrssektor dar. VDE/ETG, VDI-FVT und VDI-GEU haben deshalb im Rahmen einer interdisziplinären Arbeitsgruppe aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Industrie versucht, den derzeitigen Entwicklungsstand von Brennstoffzellen-Pkw (FCEV) und batterieelektrischen Pkw (BEV) darzustellen.

Die Elektromobilität bietet vielseitige Potenziale zur Verbesserung der Mobilität. Dennoch konzentriert sich die Diskussion derzeit vorrangig auf batterietechnische Antriebssysteme. Dies steht im Widerspruch zu den Zielsetzungen der Bundesregierung, die eine technologieoffene Weiterentwicklung des Nationalen Innovationsprogramms und der Mobilitäts-Kraftstoffstrategie (MKS) vorsehen. Gemäß der MKS sind die effizientesten Antriebe auszuwählen, wobei auch alternative Energieträger (Kraftstoffe) in die Bewertung einzubeziehen sind. Ebenso sind die erforderlichen Infrastrukturen zu berücksichtigen.

Dies bedeutet, dass neben stromversorgten Systemen auch synthetische Energieträger in der Bewertung Berücksichtigung finden. Auch sie können unter bestimmten Anwendungskriterien eine wichtige Aufgabe im Verkehrsbereich erfüllen.

In Bezug auf die Elektromobilität sollte gelten, dass neben der Batterietechnik die Brennstoffzelle gleichwertig in die Beurteilung einbezogen wird. Diskussionen mit potenziellen Anwendern wie Betreibern von Flotten, Nutzfahrzeugen etc. zeigen, dass aus ihrer Sicht wasserstoffversorgte Fahrzeuge diverse Vorteile bieten, die gegen eine einseitige Vorfestlegung auf Batteriefahrzeuge sprechen.

VDE/ETG: Energietechnische Gesellschaft im Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.  
VDI-FVT: Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik des Vereins Deutscher Ingenieure e.V.  
VDI-GEU: Gesellschaft Energie und Umwelt des Vereins Deutscher Ingenieure e.V.

**SENKUNG VOLKSWIRTSCHAFTLICHER KOSTEN** Die Elektromobilität bietet Potenziale, um die Spitzenposition der deutschen Unternehmen weiter zu stärken. Dies setzt aber voraus, dass die volkswirtschaftlichen Kosten, soweit sie die Firmen belasten, reduziert werden. Gleichermaßen sind der Aufbau eigener Produktionseinrichtungen politisch zu unterstützen sowie die Voraussetzungen zu schaffen, um kostengünstigen Wasserstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge zur Verfügung stellen zu können.

Volkswirtschaftliche Kosten in Bezug auf den Verkehrssektor resultieren aus dem Verbrauch an Ressourcen sowie der Umweltbelastung. Der Ressourcenverbrauch betrifft hierbei die Nutzung von Energieträgern sowie den Materialeinsatz zur Herstellung der Fahrzeuge. Die Senkung des Ressourcenverbrauchs erfordert eine Verbesserung der Effizienz.

Mit Einführung der Elektromobilität ist im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen insbesondere bei BEV von einer um den Faktor 2 größeren Effizienz auszugehen. Eine einfache Abschätzung bestätigt dies: gegenüber einem Fahrzeug mit einem Benzinverbrauch von 6 l auf 100 km (60 kWh) ist bei einem BEV von einem Stromverbrauch von 30 kWh auszugehen (bei konventioneller Stromerzeugung mit 40 % Wirkungsgrad).

Nachhaltig ist die Effizienzverbesserung allerdings nur dann, wenn der Strom zur Versorgung der Elektrofahrzeuge aus erneuerbaren Energien stammt. Hiermit einher geht eine Reduktion an Abgas- und Geräuschemissionen, was sich in einer Verringerung der Umweltbelastung widerspiegelt.

**EFFIZIENTE MATERIALWIRTSCHAFT** Ressourcenschonung betrifft auch die für die Herstellung der Fahrzeuge benötigten Materialien. Zur Vermeidung eines erhöhten Rohstoffbedarfs und damit zusätzlicher volkswirtschaftlicher Kosten ist das Recycling kostbarer Rohstoffe zwingend erforderlich. Wieweit die Anstrengungen, Rohstoffe einzusparen, im Bereich der Elektromobilität bereits vorangeschritten sind, verdeutlicht der Platinbedarf von Brennstoffzellenfahrzeugen:

Lag der Platinbedarf in den ersten Jahren der Entwicklung bei mehr als 1 mg pro cm<sup>2</sup> reagierender Brennstoffzellenfläche (Stack-Fläche), sind es heute nur noch 0,4 mg/cm<sup>2</sup>. Für ein Fahrzeug wie den Toyota Mirai bedeutet dies, dass pro kW etwa 30 g Platin benötigt werden (0,26 g pro kW). Bis 2020 soll der Bedarf pro kW auf 0,125 g für ein 80-kW-Aggregat sinken, so dass ein BZ-Antriebssystem weniger Platin benötigt als das Abgassystem moderner Dieselfahrzeuge.

**PRODUKTION VON BATTERIEN UND BRENNSTOFFZELLEN** Die Herstellung von Batterien und Brennstoffzellen gilt als anspruchsvoll. Laut VDMA ist dennoch in Deutschland das Potenzial für eigene Produktionskapazitäten und damit für die Generierung von Arbeitsplätzen gegeben. Eine in Zusammenarbeit von RWTH Aachen, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI und VDMA erarbeitete und 2014 publizierte Roadmap hat dies genauer untersucht. Demnach liegen die größten Herausforderungen für die Herstellung von Hochleistungsenergiespeichern in den Bereichen Prozessstabilität bei gleichzeitiger Erhöhung des Produktionsdurchsatzes, Skalierbarkeit auf die Volumenproduktion, Nachhaltigkeit und vor allem Qualitätssteigerung bei gleichzeitiger Kostensenkung. Für fünfzehn Kernbereiche sind allerdings noch Technologiedurchbrüche notwendig. Insbesondere betrifft dies Pilotlinien, den Zugang zu internationalen Großprojekten und die Fähigkeit, komplette Linien anzubieten.

In Bezug auf Brennstoffzellen bestehen bereits vielfältige Aktivitäten in Deutschland. Sie bieten das Potenzial, die hiesige Wertschöpfung durch Herstellung von Brennstoffzellen, inklusive zugehöriger Komponenten, zu steigern. Laut dem Brennstoffzellenbranchenführer Deutschland 2018 der Arbeitsgemeinschaft Brennstoffzellen im VDMA sind bereits 57 Unternehmen und Einrichtungen im Bereich der Brennstoffzellen aktiv. Der Umsatz belief sich 2017 auf 190 Mio. Euro. Auch im Bereich der Material- und Komponentenzulieferer sind schon eine Reihe von Unternehmen in Deutschland und Europa tätig. Die Aufstellung der Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) für Europa zeigt, dass mindestens fünfzig Unternehmen im Bereich BZ-Fahrzeuge – außer BZ-Busse – aktiv sind, davon etwa fünfzehn als Fahrzeugintegratoren.

**EMISSIONSFREIE WASSERSTOFFERZEUGUNG** Global gesehen ist Wasserstoff frei verfügbar und gilt als internationales Handelsgut. Eine Versorgung wäre damit mittelfristig über entsprechende Lieferverträge möglich. Die breite Markteinführung von Brennstoffzellenfahrzeugen setzt jedoch die Beschaffung von grünem und kostengünstigem Wasserstoff voraus.

Langfristig ist eine H<sub>2</sub>-Gewinnung aus erneuerbaren Energien anzustreben. Demgegenüber erfolgt derzeit die Herstellung von Wasserstoff aus Erdgas mittels Reformierungsprozessen. Die Produktion ist mit etwa 2 € pro kg<sub>H<sub>2</sub></sub> zwar kostengünstig, ist aber mit hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden (ca. 360 g<sub>CO<sub>2</sub></sub>/kWh). >>

## >> WEH® H<sub>2</sub> FÜLLKUPPLUNGEN

Höchste Qualität für maximale Zuverlässigkeit



WEH® TK17 H<sub>2</sub> 70 MPa ENR

H<sub>2</sub> Betankung  
**SICHER & EINFACH**

Im Sinne der Nachhaltigkeit ist es daher wichtig, dass H<sub>2</sub> auf Basis erneuerbarer Energien per Elektrolyse umweltfreundlich und kostengünstig bereitgestellt wird. Voraussetzung hierfür sind günstige Strombezugsverträge sowie hohe Auslastungsgrade der Elektrolyseure. Ziel sollte sein, dass die Bereitstellungskosten von emissionsfreiem Wasserstoff in der Größenordnung der Herstellungskosten von Reformern liegen.

**FORCIERUNG DER SEKTORENKOPPLUNG** Mit der Sektorenkopplung wird das Ziel verfolgt, die Sektoren Elektrizität, Wärme bzw. Kälte, Verkehr und Industrie zu vernetzen. In einem gemeinsamen Ansatz sollen Optimierungspotenziale erschlossen werden. Für die Elektromobilität bedeutet dies, dass sich der Bezug von elektrischer Energie an der allgemeinen Stromnachfrage orientieren muss. Nachfrageabhängige Ladevorgänge mit entsprechenden Tarifstrukturen werden entsprechend an Bedeutung gewinnen. Mit dem forcierten Einsatz erneuerbarer Energien wird sich dieser Trend noch verstärken. Die Deckung des Strombedarfs von Elektrofahrzeugen muss das fluktuierende Stromaufkommen aus Wind und Sonne berücksichtigen, was zur Vermeidung von Fehlentwicklungen eine enge Vernetzung mit dem Stromsektor erforderlich macht.

Der Einsatz von Wasserstoff ist in fast allen Bereichen denkbar. Dieser Energieträger bietet damit die Chance, die Sektorenkopplung intensiver voranzutreiben. Sowohl in der Strom- und Wärmeversorgung als auch im Verkehr und in der Industrie ist der Einsatz des Gases möglich. Ein hoher Vernetzungsgrad der unterschiedlichen Sektoren wird damit möglich. Dies betrifft auch die bei der H<sub>2</sub>-Produktion anfallende Wärme. Sie lässt sich mittels Wärmeverteilungssystemen für die Wärmeversorgung nutzen.

Große Vorteile resultieren auch aus der Speicherfähigkeit von H<sub>2</sub>. Mittels Kavernen oder anderer natürlicher Hohlräume ist eine Bevorratung des Gases über längere Zeiträume möglich, so dass ein saisonaler Energieausgleich realisierbar ist. Die Entkopplung von Angebot und Nachfrage, insbesondere in Verbindung mit der Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien, wird damit möglich.

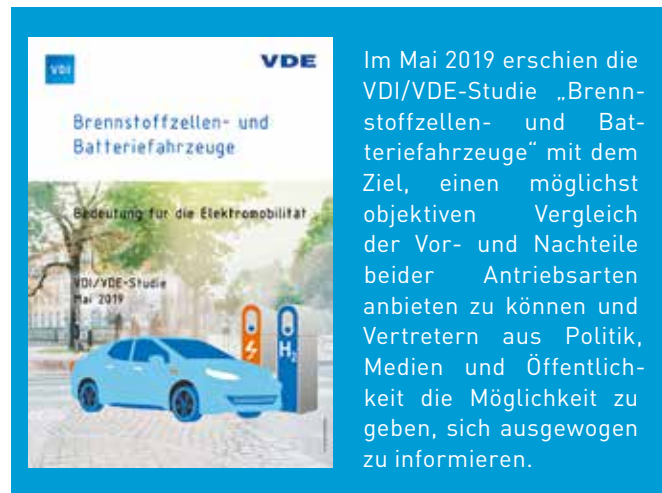
Schließlich bieten sowohl Ladeeinrichtungen als auch H<sub>2</sub>-Erzeugungsanlagen Potenziale zur Unterstützung der Stromversorgung. Indem die Lade- und Erzeugungsprozesse bedarfsabhängig betrieben werden, lassen sie sich im Sinne eines netzdienstlichen Betriebs zur Glättung von Lastspitzen und zur Optimierung des Lastflusses einsetzen. Denkbar ist auch ein Redispatch durch Elektrolyseure zur Beseitigung von Netzengpässen.

**UNTERSTÜTZUNG DURCH DIE POLITIK** Ziel der Politik ist eine schnelle Marktdurchdringung elektromotorischer Antriebssysteme. Die Politik fördert deshalb die Anschaffung von Elektrofahrzeugen mit Kaufprämien. Ergänzend empfehlen sich weitere unterstützende Maßnahmen:

- **Forcierung der Marktentwicklung:** Diese lässt sich durch die Einbindung von Schlüsselkunden vorantreiben. Dies sind in der Regel Flottenbetreiber, sowohl im öffentlichen als auch privaten Bereich. Allein durch ihre Präsenz und ihren Bekanntheitsgrad tragen sie dazu bei, dass die Akzeptanz der neuen Technologien schnell zunimmt. Darüber hinaus wird durch die Nachfragemacht die Basis dafür geschaffen, dass durch größere Produktionsmengen frühzeitig die Produktionskosten sinken.
- **Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur:** Die Planungen gehen in den nächsten Jahren von 400 Tankstellen aus, zu nächst sollen aber nur 100 Tankstellen errichtet werden.

Die Herstellung der übrigen ist in Abhängigkeit von der Nachfrage geplant. Diese zögerliche Vorgehensweise beeinträchtigt jedoch die Marktentwicklung von BZ-Fahrzeugen. Es wird ein Henne-Ei-Problem provoziert: Ohne ausreichende Nachfrage gibt es keine ausreichende Infrastruktur und ohne Infrastruktur keine Fahrzeuge. Es sollten deshalb die geplanten 400 Tankstellen ohne Abstriche errichtet werden.

- **Überprüfung der Regularien für H<sub>2</sub>-Tankstellen:** Derzeit existieren in vielen Bundesländern und Kommunen eigene Regularien für die Errichtung von H<sub>2</sub>-Stationen. Dies erschwert die Umsetzung. Empfehlenswert wären bundesweit einheitliche Regularien, um H<sub>2</sub>-Tankstellen nach einem einheitlichen Standard zu errichten.
- **Wasserstoff für eine sichere Energieversorgung:** Wasserstoff bietet vielseitige Einsatzmöglichkeiten in allen Wirtschaftsbereichen und ermöglicht die Entkopplung von Angebot und Nachfrage. Deswegen gilt es, diesen Energieträger als Option für die langfristige sichere Energieversorgung zu berücksichtigen.
- **Rahmenbedingungen für Produktionseinrichtungen:** Die deutschen Unternehmen verfügen über die notwendige Kompetenz zur Herstellung von Batterien und Brennstoffzellensystemen. Der Aufbau von Fertigungseinrichtungen ist jedoch kostenintensiv. Ohne Unterstützungsmaßnahmen sind im Sinne der Wettbewerbsfähigkeit nur begrenzte wirtschaftliche Erfolge zu erwarten.
- **Begleitende Forschung:** Die Erfahrungen zeigen, dass in Bezug auf die Nebensysteme von Elektrofahrzeugen und die Lebensdauer bzw. das Degradationsverhalten von Batterien und Brennstoffzellensystemen noch keine ausreichenden Kenntnisse zum Realbetrieb vorliegen. Es empfiehlt sich deshalb, die Marktentwicklung durch Forschungsprogramme zu begleiten. ||



Im Mai 2019 erschien die VDI/VDE-Studie „Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeuge“ mit dem Ziel, einen möglichst objektiven Vergleich der Vor- und Nachteile beider Antriebsarten anbieten zu können und Vertretern aus Politik, Medien und Öffentlichkeit die Möglichkeit zu geben, sich ausgewogen zu informieren.

#### Literatur:

- Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeuge – Bedeutung für die Elektromobilität, VDI/VDE-Studie, Mai 2019
- Grüneberg, Jürgen; Wenke, Ingo-G. (Hrsg.), Arbeitsmarkt Elektrotechnik Informationstechnik, VDE-Buch, 2019/2020 (24. Aufl.)



Autor:

Martin Pokojski, inecs GmbH, Berlin  
→ martin.pokojski@inecs.de

## H2ME – EUROPA ZIEHT ZWISCHENBILANZ

H2ME gilt als das größte Wasserstoffprojekt in Europa: Für über 1.400 H<sub>2</sub>-Fahrzeuge und fast 50 -Tankstellen werden europaweit seit 2015 rund 170 Mio. Euro investiert – 67 Mio. Euro davon in Form von Fördergeldern. Mehr als 40 Institutionen arbeiten im Rahmen des Programms Hydrogen Mobility Europe zusammen, um ein länderübergreifendes Netzwerk aufzubauen. Das Ziel ist, eine Mindestzahl an H<sub>2</sub>-Tankstellen aufzubauen und eine ausreichend große Menge an Null-Emissions-Fahrzeugen in Europa auf die Straße zu bringen. Am 25. Oktober 2019 findet die Konferenz „Hydrogen for clean Transport“ in Hamburg statt, um den Halbzeitstand zu dokumentieren.

### H2ME 1

- 29 Standorte
- 300 Fahrzeuge
- 70 Mio. € Investitionen
- 32 Mio. € Förderung

### H2ME 2

- 20 Standorte
- 1.100 Fahrzeuge
- 100 Mio. € Investitionen
- 35 Mio. € Förderung

Unter den ersten hundert H<sub>2</sub>-Fahrzeugen, die Anfang 2017 auf die Straßen gebracht wurden, waren 60 Renault Kangoo ZE-H2 in Frankreich und Großbritannien sowie 40 Mercedes B-Klasse F-Cell in Deutschland. Bis zum Herbst 2018 waren 110 Kangoo ZE-H2, 80 Toyota Mirai, 10 Honda Clarity und 60 weitere H<sub>2</sub>-Fahrzeuge dazugekommen. Allein in Deutschland werden 20 Tankstellen über H2ME gefördert.

Hydrogen Mobility Europe ist unterteilt in zwei Projektphasen: H2ME1 begann im Juni 2015 und läuft noch bis Mitte 2020. Aufbauend auf den daraus resultierenden Erfahrungen wurde gleich im Mai 2016 H2ME2 gestartet, um die Fahrzeugflotte signifikant zu vergrößern und deren technischen Reifegrad zu verbessern. Außerdem sollen bei diesem auf sechs Jahre angelegten zweiten Programm Hemmnisse auf dem Weg zur Kommerzialisierung identifiziert und ein klares Bekenntnis für diese Technologie abgegeben werden. Die Förderung dafür kommt vom Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU).

H2ME ist vergleichbar mit H2 Mobility, die innerhalb Deutschlands daran arbeitet, 100 Wasserstofftankstellen bis Ende 2019 in Betrieb zu haben. Ähnlich ist es mit Mobilité Hydrogène in Frankreich, Scandinavian Hydrogen Highway Partnership in Skandinavien und UK H2 Mobility in Großbritannien. Diese vier Initiativen verfolgen angepasst an ihre jeweiligen Heimatländer zwar jeweils etwas unterschiedliche Strategien, ihre Ergebnisse werden aber alle bei H2ME zusammengefasst. ||

## DAS GROVE-AUTO KOMMT



Ähnlich wie vor Jahren Tesla drängen jetzt auch im Brennstoffzellensektor ganz neue Player auf den Markt, mit dem Potential, die bisherigen Geschäfte der Automobilisten ordentlich durcheinanderzuwirbeln. So präsentierte sich das chinesische Start-up Grove Hydrogen Automotive Co., Ltd. erstmals nach drei Jahren Vorbereitungszeit im Mai 2019 der Öffentlichkeit. Im Repertoire hat das Unternehmen aus Wuhan zwei Brennstoffzellenstudien, die im April auf der Automesse in Shanghai gezeigt wurden: die Limousine Granite und das SUV Obsidian. Der Granite mit seiner Reichweite von etwa 1.000 km könnte 2021 in Serie gehen. Um die Fahrzeuge dann in den Markt bringen zu können, bereitet CEO Prof. Yiguo Hao bereits heute Kooperationen mit verschiedenen Städten und Autovermietungen vor.

Gegründet wurde die Firma 2017 vom Chinese Institute of Geosciences and Environment (IGE), das auch eine H<sub>2</sub>-Infrastruktur aufbauen möchte. Bislang verfügt Grove über Entwicklungspartnerschaften mit Pininfarina, Hofer Powertrain sowie der FEV Group und greift unter anderem auf das Know-how von Christopher Reitz, der bereits für Fiat, Nissan und Volkswagen tätig war, als Chief Design Officer zu. Zudem existiert ein Design- und Entwicklungszentrum in Barcelona. ||

37



## KOMPLEXITÄT, GANZ EINFACH.

Keine Grenzen für Ihr Design und Ihren Bedarf

Bei Precision Micro ätzen wir mit hochmodernen Anlagen Metallteile für Präzisionsprodukte mit einer Genauigkeit, Geschwindigkeit und einzigartigen Features, die mit herkömmlicher Blechbearbeitung nicht erreicht werden. Und das direkt: Dank digitaler Werkzeuge haben wir nur minimalen Vorlauf und können so die Entwicklungskosten für die Herstellung senken.

Wir bieten durch die Ätztechnik absolute Designfreiheit für komplexe, grat- und stressfreie Komponenten aus fast jedem Metall, und erfüllen Aufträge mit höchsten Volumina. So sind Ihren technischen Vorstellungen keine Grenzen mehr gesetzt. Wir eröffnen neue Wege. Noch heute.

Make it better today.

+49 89 20 80 26 975 SALES@PRECISIONMICRO.DE

[PRECISIONMICRO.DE](http://PRECISIONMICRO.DE)





**Precision Micro**  
Etching. Enhanced.

# NEUER AUFRUF FÜR BZ-STAPLER

## Logistik setzt auf emissionsfreie Antriebe



Abb. 1: BZ-Staplerflotte von Still bei Carrefour in Vendin-Le-Vieil, Frankreich  
[Quelle: Carrefour]

# 38

Seit Jahren gibt es im Wasserstoffsektor eine Diskrepanz zwischen Nordamerika und Europa: Drüben auf der anderen Atlantikseite erfreuen sich brennstoffzellenbetriebene Flurförderzeuge großer Beliebtheit, während ihre Stückzahl hierzulande eher homöopathischen Dosierungen entspricht. Über die Gründe wurde schon vielfach berichtet (s. HZwei-Hefte Jan. 2018, Jan. 2016, Jul. 2013). Es gibt aber nach wie vor vielversprechende Ansätze und auch positive Erfahrungswerte, die darauf hindeuten, dass zukünftig auch in Europa immer mehr Dieselstapler von elektrischen – zunehmend von brennstoffzellenbetriebenen – ersetzt werden.

Ende 2018 waren weltweit rund 21.000 Flurförderzeuge mit H<sub>2</sub>-Antrieb in Betrieb – 300 davon in Europa. Allein 70 davon fuhr im BMW-Werk in Leipzig. Die dortigen Indoor-Schlepper werden in der Produktion der i3-Modelle zur Versorgung der Montagebänder eingesetzt und sind Bestandteil der insgesamt 400 Fahrzeuge umfassenden Flotte. Ihre Inbetriebnahme erfolgte im Rahmen des Nachfolgeprojekts zu H2IntraDrive, bei dem im Dezember 2013 zunächst elf Stapler und Schlepper in den Einsatz gegangen waren (s. HZwei-Hefte Jan. 2014 und Jan. 2016).

Bei dem jetzigen bis 2021 laufenden FFZ70-Vorhaben wirken neben BMW auch Linde Material Handling, Günsel Fördertechnik sowie die TU München als Forschungspartner mit. Ihre Motivation ist die Überprüfung der Einsatzbedingungen für einen wirtschaftlichen Betrieb. Während des ersten Versuchszeitraums war ersichtlich geworden, dass die Wirtschaftlichkeit bis dato nicht gewährleistet war, auch weil zu wenige Fahrzeuge eingesetzt wurden. Bei einer größeren Stückzahl sollten sich jedoch sowohl die Investitionskosten als auch die Wartungs-, Betriebs- und Genehmigungskosten reduzieren, so die Erwartung.

Wichtige Elemente dieser zweiten Phase sind die Standardisierung sowie die Etablierung von Plug-&Play-Lösungen zur Flottenumrüstung und die Validierung der Lebensdauer, aber auch die Ausarbeitung eines Schulungskonzepts zum Betrieb der H<sub>2</sub>-Technik, berichtete Wolfgang Axthammer, Geschäftsführer der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. Ziel der NOW ist zudem, einen Industriestandard (H2Ready) zu etablieren, „der auf breiter Basis weiteren Herstellern die Möglichkeit eröffnet, die innovative Tech-

nologie in neuen oder umgerüsteten Fahrzeugen in der eigenen Produktion einzusetzen“.

### PLUG ZEIGT NEUE GENDRIVE-GENERATION

Das wachsende Interesse an H<sub>2</sub>-Flurförderzeugen zeigt sich inzwischen auch auf Messen und Kongressen. So war beispielsweise Linde Material Handling Anfang 2019 auf der Intralogistikfachmesse LogiMAT in Sachen Brennstoffzelle unterwegs. Das Hamburger Logistikunternehmen präsentierte seine neuen H<sub>2</sub>-Elektrostapler Linde E20 bis E35 medienwirksam zentral auf seinem Messestand und pries sie an als „neue BZ-Roadster“. Da sie ohne A-Säule auskommen, seien sie durch das größere Blickfeld insbesondere für den Indoor-Bereich bei regem Personenverkehr geeignet, so der Hersteller.

Die eingesetzten Brennstoffzellensysteme stammen von dem US-amerikanischen Hersteller Plug Power. Das in Latham, New York, ansässige Unternehmen war auch auf der LogiMAT in Stuttgart anwesend und stellte dort die neuste Generation seiner Brennstoffzelleneinheiten vor. Die Klasse-1-GenDrive-Systeme, die speziell für industrielle Hubwagen konzipiert sind, bieten laut Herstellerangaben eine höhere Effizienz und Zuverlässigkeit sowie eine dank größerer Kraftstofftanks um zehn Prozent längere Laufzeit als die Vorgängermodelle. Diese waren nicht nur bei BMW, sondern auch bei den Mitbewerbern Mercedes und Toyota im Einsatz.

Problematisch für potentielle Kunden kann allerdings sein, dass Plug Power als BZ-Hersteller nicht alle Leistungsklassen abdeckt. Einige Interessenten würden zwar gerne zur Brennstoffzellentechnik wechseln, wollen dann aber gerne alle Flurförderzeuge auf Wasserstoff umrüsten, was derzeit noch nicht möglich ist.

Still setzt ebenfalls auf die GenDrive-Einheiten von Plug Power. So sind in der neuen Logistikbasis des französischen Handelsunternehmens Carrefour in Nordfrankreich seit 2013 insgesamt 137 Brennstoffzellenfahrzeuge des Hamburger Logistikunternehmens in Betrieb: 36 FM-X-Schubmaststapler, 78 CX-S-Horizontalkommissionierer, 6 EXD-S-Dop-

„Durch Flurförderzeuge mit Brennstoffzellentechnik in der Logistik lassen sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen um mindestens 25 Prozent senken und gleichzeitig die Produktivität erhöhen sowie Lagerfläche und Ladezeit verringern.“

Wolfgang Axthammer, NOW

pelstock-Hochhubwagen und 17 EXU-S-Niederhubwagen. Die ersten 57 Exemplare waren im September 2017 ausgeliefert worden. Weitere 80 Fahrzeuge folgten im Januar 2018 im Rahmen des von der EU geförderten Projekts HyLIFT-Europe, das Ende vergangenen Jahres abgeschlossen wurde. Ihre Betankung erfolgt mit einem Dispenser von Air Liquide.

Carrefour-Standortdirektor Alain Audegond freute sich: „Durch den Einsatz der wasserstoffbetriebenen Fahrzeugflotte konnten wir nicht nur unseren CO<sub>2</sub>-Footprint reduzieren, sondern durch den Wegfall des Batteriewechsels auch das Handling für unsere Mitarbeiter vereinfachen und ergonomischer gestalten. Außerdem benötigt die Befüllstation keinen abgeschlossenen Raum, sondern konnte direkt neben den Rampen installiert werden. Und schließlich benötigen wir insgesamt weniger Fahrzeuge und für die Brennstoffzellenfahrzeuge keine Wechselbatterien und sonstige Infrastruktur für einen Batteriewechsel.“ Während des finalen Projektabschlusses erklärte Björn Grünke von Still: „Wir sind stolz, dass wir die europaweit bisher größte Flotte wasserstoffbetriebener Flurförderzeuge erfolgreich installiert haben.“

Prelocentre erprobt seit über drei Jahren BZ-Flurförderzeuge einer weiteren Logistikfirma, nämlich Jungheinrich, die ebenfalls mit Plug-Power-Stacks ausgestattet sind. Ende 2018 waren es 75, und es sollen noch mehr werden, so dass die gesamte Flotte bald über Brennstoffzellen verfügen könnte. In einem Testzeitraum von zwei Jahren wurden mehr als 40.000 Betankungen vorgenommen, wobei die durchschnittliche Betriebszeit der Brennstoffzellen zwischen 97 und 99 Prozent lag. Dort lautet das Fazit: „Wir sehen die Brennstoffzellentechnologie im Materialhandling nicht als eine F&E-Annäherung, sondern als eine ausgereifte und bewährte Lösung für mittlere bis große Flotten in Zwei- und Drei-Schicht-Betrieben.“

Toyota nutzt ebenfalls Plug-Power-Stacks und setzt unter anderem zehn Modelle – einen BT RRE 140, einen BT RRE 160 CC und acht BT OSE 250 P – bei Asko in Norwegen ein. Demgegenüber baut Daimler mittlerweile auf Infintium Inc., ein Tochterunternehmen der Daimler Group, eines chinesischen Technologiekonzerns, der sowohl in der Automobil- und Luftfahrtbranche als auch bei neuen Energietechnologien sowie in der Raumfahrt aktiv ist. Infintium beliefert Mercedes Benz seit Ende 2018 mit Hydrogen-Power-Cell-Systemen, in denen FCgen-1020ACS- und FCvelocity-9SSL-Stacks von Ballard Power Systems verbaut sind, um damit Flurförderzeuge am Daimler-Produktionsstandort in Vance, Alabama, bestücken zu können.

„Der Kunde ist zufrieden, die Fahrer freuen sich.“

*Björn Grünke, Still*

**ANKNÜPFUNG AN HYLIFT-EUROPE** Seitens der FCH JU wurde nach Beendigung von HyLIFT-EUROPE festgestellt: „Diese Projekte haben gezeigt, dass es neben dem Kostenthema auch auf der Endverbraucherseite Hürden gibt, zum Beispiel bei der Genehmigung der Installation von Wasserstoffbetankungsinfrastruktur in Gebäuden und bei der Schulung des Personals.“ Um hier nahtlos anschließen zu können, läuft derzeit im Rahmen des Arbeitsplans für 2019 ein Call von FCH 2 JU, im Rahmen dessen über 250 Flurförderzeuge an ein oder zwei Standorten mit 10 Mio. Euro gefördert werden sollen.

**BMVI STARTET FÖRDERAUFRUF** Wolfgang Axthammer, NOW-Geschäftsführer und Leiter des Branchennetzwerks Clean Intralogistics Net (CIN), erklärte: „Unser gemein-

#### CIN-SYMPOSIUM

Das nächste Treffen von Clean Intralogistics Net – ein Best-Practice-Workshop – findet am 12. November 2019 im BMW-Group-Werk in Leipzig statt – mit Besichtigung des FFZ70-Projekts.

sames Ziel ist, die Brennstoffzellentechnologie in Deutschland und Europa weiter zu etablieren. In Nordamerika werden Lagerhallen und Produktionsstätten bereits mit brennstoffzellenbetriebenen Flurförderzeugen bewirtschaftet.“ Ähnlich hatte es bereits bei der CIN-Gründung im Jahr 2016 geklungen, allerdings ist seitdem weder in Deutschland noch in der EU ein nennenswerter Schub im Logistikbereich zu verzeichnen.

Um hier für eine Beschleunigung der Entwicklung sowie für eine Standardisierung (s. o.) zu sorgen, startete das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im April 2019 einen Förderaufruf für brennstoffzellenbetriebene Flurförderzeuge in Flottenanwendungen (mind. 10 Stück). Bis Ende Juli konnten Anträge für Fahrzeuge sowie für die erforderliche Betankungsinfrastruktur und die Errichtung von Elektrolyseuren zur Vor-Ort-Erzeugung von Wasserstoff eingereicht werden, wofür insgesamt 4,2 Mio. Euro bereitgestellt wurden.

**BRENNSTOFFZELLE IM SCHWERLASTSEKTOR** Aus Nordamerika ist währenddessen zu hören, dass Hyster wahrnehmen möchte, was 2017 angekündigt wurde: Man plant, einen H<sub>2</sub>-Schwerlastgabelstapler mit einer Traglast von 48 Tonnen anzubieten (s. HZwei-Heft Jan. 2018). Im Frühjahr 2019 konkretisierte die US-Firma ihre Pläne und berichtete, dass aktuell ein emissionsfreier Elektro-Reachstacker entwickelt werde. Konkret handelt es sich um einen Containerstapler, der voraussichtlich 2021 im MSC-Terminal des Hafens von Valencia und auch im Hafen von Los Angeles in Betrieb gehen soll.

Hyster ist sowohl in Sachen batterieelektrische Flurförderzeuge als auch im Bereich Brennstoffzellenmodelle aktiv, seit das Mutterunternehmen Nacco Materials Handling Group 2014 den italienischen BZ-Hersteller Nuvera übernommen hat. Jan Willem van den Brand, Direktor für Big Trucks bei Hyster Europe, sagte: „Wir erwarten, dass der neue Reachstacker über die gesamte Schicht unterbrechungs- und emissionsfrei läuft und eine vergleichbare Leistung wie ein herkömmlicher verbrennungsmotorischer erzielt.“

Die Entwicklung dieses Staplers wird sowohl in Europa als auch in den USA gefördert: Das Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) aus Brüssel unterstützt das Vorhaben im Rahmen des H2Ports-Projekts, zudem fließt Geld vom California Air Resources Board (CARB) aus dem Emissionshandelsprogramm (CCI) des Bundesstaates Kalifornien in die Entwicklung. ||

#### BALLARD-KOOPERATION MIT HYSTER

Im April 2018 hatten Ballard Power Systems und die Hyster-Yale Group einen Rahmenvertrag unterzeichnet, der die Lieferung einer Mindestmenge von luftgekühlten FCgen®-1020-Stacks für den Einsatz in Hubwagen der Klasse 3 umfasst. Diese Vereinbarung, die bis 2022 läuft, betrifft insbesondere Anwendungen mit niedriger Leistung und soll die bestehenden Brennstoffzellenlösungen von Nuvera ergänzen.

# HYDROGEN ZONE

## Viel französischer Wasserstoff auf dem EVS32

1969, also vor genau 50 Jahren, organisierten einige technikbegeisterte junge Visionäre das erste Electric Vehicle Symposium. Entsprechend würdevoll wurde das EVS32 vom 9. bis 12. Mai 2019 in Lyon in Anwesenheit der mittlerweile betagten, aber immer noch dynamischen Gründungsmitglieder gefeiert.

Heute gehört das Electric Vehicle Symposium zu den weltweit größten Veranstaltungen im Bereich der Elektromobilität und wird alle 12 bis 18 Monate jeweils auf einem anderen Kontinent veranstaltet. Nach Stuttgart (2017) und Tokio (2018) kamen in diesem Jahr über 7.000 Besucher aus 65 Ländern nach Frankreich. Hinzu kamen noch mehrere hundert Aussteller aus 30 Ländern. Auf dem Ride-&-Drive-Gelände konnten über 40 zwei- und vierrädrige Elektrofahrzeuge (inkl. Brennstoffzellenfahrzeugen) getestet werden, auf der Konferenz wurden weit über 300 wissenschaftliche Vorträge präsentiert.

Das EVS ist mittlerweile mehr als „nur“ eine wissenschaftliche Konferenz, denn der Markt ruft. Die Themenvielfalt auf der Tagung reichte von der neuesten Batterietechnik und Mobilität als Dienstleistung sowie autonomem Fahren über Ladeinfrastrukturen, Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Schiene und Straße, Komponenten- und Elektronikentwicklung, urbane Mobilität bis hin zum Wasserstoff.



Abb. 1: Fröhliches Miteinander [Quelle: Nicolas Rodet]

Dennoch: In allen Themenbereichen blieb das Electric Vehicle Symposium unübersehbar batterieelektrisch.

Mit Blick auf das Programm könnte man fast meinen, dem Wasserstoff wäre im Rahmen der „political correctness“ oder im Zuge der Integration von Minderheiten gerade noch ein Platz zugewiesen worden. Allerdings hat sich der Wasserstoff auf diesem Platz – ganz wie es seine physikalische Art ist – gut ausgebreitet. Ob dies nun gerade dem momentanen (nicht nur in Frankreich bemerkbaren) „Wasserstoff-Hype“ zuzuschreiben ist, sei dahingestellt.

**ETABLIERUNG VON H<sub>2</sub>-INSELN** Im Rahmen der Eröffnungsveranstaltung nahm jedenfalls nahezu jeder der prominenten Redner das Wort „Wasserstoff“ mindestens einmal in den Mund – seien es Elisabeth Borne, die französische Ministerin für Energiewende und Solidarität, Gilles Normand von Renault, Philippe Monloubou von Enedis, Prinz Albert II. von Monaco, Espen Hauge als Präsident von Avere oder Laurent Wauquiez, Präsident des Regionalrates Auvergne Rhône-Alpes. Zudem waren auf der EVS-Begleitmesse mehrere Wasserstoffinseln zu finden.

Die größte war zweifellos die – wenn auch sehr frankreichlastige – „Hydrogen Zone“ vor dem Eingang zum Paul-Bocuse-Plenarsaal. In der „EDF Cluster Zone“ und vor allem auf dem deutschen Gemeinschaftsstand waren Batterie- und Brennstoffzellentechnologie ebenbürtig vertreten, beispielsweise durch die NOW GmbH, die e-mobil BW GmbH oder Mann+Hummel. Besonders Baden-Württemberg nutzte die EVS32 als Rahmen für internationale Vernetzung und um über die vielfältigen Kompetenzen des Bundeslandes im Bereich Elektromobilität zu informieren. Der baden-württembergische Verkehrsminister Winfried Hermann betonte dementsprechend, dass es im Rahmen eines wirksamen Klimaschutzes gelte, „alle klimafreundlichen Technologien zu nutzen, seien es batterieelektrische Antriebe oder die Brennstoffzellentechnologie“.

Außerhalb dieser Inseln musste man die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie jedoch mit viel gutem Willen suchen. Böse Zungen sprachen sogar von einer „Infrastrukturmesse“, und tatsächlich wimmelte es an allen Ecken und Enden von unzähligen Ladestationen (mit auffallend gutem Design). Auch der Siemens-Stand war rein batterieelektrisch orientiert. Kein Hinweis auf die Elektrolyseur-Kompetenzen des Konzerns.

40



## ANWENDERZENTRUM H2HERTEN

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



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



Auf dem Stand des Aachener Entwicklungsdienstleisters FEV lag immerhin ein Flyer zum Thema Brennstoffzelle, wenn auch etwas versteckt. AVL France SAS oder Stäubli erwähnten ihre Kompetenzen in der BZ- und H<sub>2</sub>-Technologie lediglich im Ausstellerkatalog. Faurecia und Nel führen demgegenüber zweigleisig: So gab es einen norwegischen Gemeinschaftsstand. Zudem stellte der norwegische Elektrolyseurhersteller aber auch auf dem blauen Teppich der „Hydrogen Zone“ gemeinsam mit seinem französischen Vertriebspartner aus. Die Niederlande setzen mittlerweile zwar voll auf Wasserstoff – worüber auch an allen Ecken der „Hydrogen Zone“ gesprochen wurde – aber auf dem eigentlichen Holland-Stand war davon nichts zu sehen.

Unübersehbar groß wurde demgegenüber das Zero-Emission-Valley-Projekt der Region Auvergne Rhone Alpes beworben. Michelin bekannte sich klar und deutlich zur H<sub>2</sub>-Technik. Eine Vielzahl der wichtigen französischen Akteure waren ebenfalls vor Ort (Ad-Venta, AFHYPAC, Ataway, CEA, Engie, McPhy, Michelin, Symbio, u. v. m.), aber auch Hydrogen Europe, die FCH-JU, John Cockerill (vormals CMI Group) und Toyota stellten hier aus. Zudem wurde in der Hydrogen Zone erstmals die „European Hydrogen Valleys Partnership“, eine Allianz aus vier europäischen Wasserstoff-Regionen (Auvergne-Rhone-Alpes, Normandie, Aragon und Nordholland) öffentlich vorgestellt.

Hier auf dem blauen Teppich gab es täglich Präsentationen in der EVS-Agora und man traf (fast) alle, die in der H<sub>2</sub>-Welt Rang und Namen haben – den japanischen Prius-Vater und Mr. Fuel Cell Katsuhiko Hirose, Bart Biebuyck mitsamt Kollegen von der FCH JU, die französische „Miss Hydrogen“ Valérie Bouillon-Delporte sowie Vertreter von Toyota, Honda, Nikola und viele andere mehr.

Bedauerlich bleibt, dass das Konferenzgeschehen vom Messebereich zu sehr separiert war und es an vielen Ständen nicht den erwarteten Besucherandrang gab. Auch die Posterwände waren nur zur Hälfte mit Postern belegt, und auch dort musste man BZ- und H<sub>2</sub>-Themen fast wie die Nadel im Heuhaufen suchen. Trotzdem kann man festhalten: Die BZ- und H<sub>2</sub>-Technologie ist den Kinderschuhen entwachsen. Adieu Labore, Experimente und Prototypen. Wasserstoff und Brennstoffzellen füllen ihren Platz in der Elektromobilität mit zunehmend markt-, umwelt- und wirtschaftsrealistischen Projekten und Produkten. Beobachten wir die weitere Entwicklung vom 14. bis 17. Juni 2020 auf der EVS33 in Portland, USA. ||

## RICHTIGSTELLUNG

In dem Artikel „Leise Luftfahrt“ aus der HZwei-Ausgabe Juli 2019 (Heft 3) stand auf Seite 38, die Boomerang-Drohnen stammten von Horizon. Diese Falschdarstellung bitte ich zu entschuldigen. Die Drohnen stammen natürlich von Bluebird Aerospace. Der HES-Energy-Systems-Geschäftsbereich von Horizon lieferte ein Brennstoffzellensystem, das bei dem Prototyp für eine Präsentation gegen das bestehende Batteriesystem ausgetauscht wurde.

Darüber hinaus war die Rede davon, Horizon habe die „Rüstungssparte“ ausgegliedert. Diese Angabe war falsch und irreführend, da Horizon nie eine Rüstungssparte hatte. Horizon hat seinen Geschäftsbereich HES Energy Systems ausgegliedert, der dann 2015 von H3 Dynamics übernommen wurde. ||

41

## SUJIN WREN, CLEAN ENERGY PROGRAM MANAGER, WOULD LIKE TO INTRODUCE OUR ADVANCED HYDROGEN FUELING STATION.



Sujin and her team are leading the global movement to reduce our dependency on fossil fuel. Fueling stations around the world are powered by our HySTAT™ and HyLYZER™ hydrogen generation systems. They're safe and reliable, yet powerful. A single hydrogen generation stack can produce more than 1,000 kg of hydrogen daily. That's enough to fuel 200 electric

vehicles with a 500 km range each. While leadership comes from our technology, our success is the result of one essential ingredient – the human one. Our experts, our engineers, our researchers and our day-to-day people are advancing hydrogen technology for a better, earth-friendly energy source. Learn how the human factor is changing the world at [Hydrogenics.com](https://www.hydrogenics.com)

# HYDROGENICS

The human factor. The most advanced part of our technology.

# FIT-4-AMANDA – STACK-ROBOTER AUSGELIEFERT

## Automatische Fertigungsanlage für PEM-Stacks



Abb. 1: Wirtschaftliche Fertigung bringt die Brennstoffzellentechnik auf die Straße

Die Brennstoffzellentechnologie bietet eine immense Chance für eine zukünftige emissionsfreie Mobilität. Eine der größten Herausforderungen für deren Durchbruch sind allerdings die aktuell noch hohen Kosten im Vergleich zu den markt-etablierten Benzin- oder Dieselantrieben. Dies ist vor allem auf den Einsatz von nicht standardisierten Komponenten und die noch nicht ausreichend automatisierte Produktion von Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen-Stacks (PEMFC) zurückzuführen, was diese vergleichsweise teuer macht. In dem von der EU geförderten Entwicklungsprojekt Fit-4-AManda (Fit for Automatic Manufacturing and Assembly) soll daher gezielt auf die automatisierte Serienfertigung von PEM-Stacks und deren Komponenten eingegangen werden. Die gewonnenen Erkenntnisse könnten dann einen Beitrag zur wirtschaftlichen Herstellung von Brennstoffzellensystemen in größeren Stückzahlen leisten.

Ein maßgeblicher Meilenstein im Rahmen dieses seit 2017 laufenden Vorhabens war Ende Mai 2019 die Auslieferung eines neuen Stack-Roboters an die Proton Motor Fuel Cell GmbH. Mithilfe dieser automatisierten PEM-Stack-Montagelinie (s. Abb. 2) soll die Produktion in Puchheim auf bis zu 5.000 Brennstoffzellen pro Jahr erhöht werden. Das aus sechs Institutionen bestehende internationale Projektteam hat diesen Roboter gemeinsam entwickelt und an einem strengen Testprogramm teilgenommen, um dessen Leistung

und Kapazität zu perfektionieren, so dass perspektivisch mit leicht geändertem Maschinenlayout auch bis zu 30.000 Stacks jährlich hergestellt werden könnten.

Zunächst musste geklärt werden, wie hoch der angestrebte Automatisierungsgrad sowie der erforderliche Anlagendurchsatz sein sollen, wie mit fragilen und biegeschlaffen Komponenten umgegangen wird und wie die Qualitätssicherung erfolgt. Im Vergleich zur manuellen Fertigung ergab sich der Optimierungsbedarf im Wesentlichen aus der signifikant rascheren Zuführung sowie der Vereinzelung und der Manipulation der Komponenten während des automatisierten Zusammenbaus. Des Weiteren war die Neugestaltung von mehreren Stack-Komponenten notwendig, um die Herstellungskosten erheblich senken zu können.

IRD Fuel Cells A/S übernimmt in diesem Projekt die Position des Zulieferers der neu zu entwickelnden Stack-Komponenten. Das beinhaltet die Neugestaltung der Prozess- und Werkzeugtechnik für die Herstellung der Bipolarplatten aus Verbundwerkstoff. Die zweite neu zu entwickelnde Schlüsselkomponente ist die Membran-Elektroden-Einheit (MEA). Anforderungskriterien sind die realisierbare Leistung, die Einhaltung von Maßtoleranzen sowie die Prozessoptimierung, mit dem Ziel der direkten Einbindung in die automatisierte Montagelinie.

Die Entwicklung und Konstruktion der automatisierten Fertigungsanlage für PEM-Stacks wird durch die Aumann



Abb. 2: Anlage zur automatisierten BZ-Stack-Montage

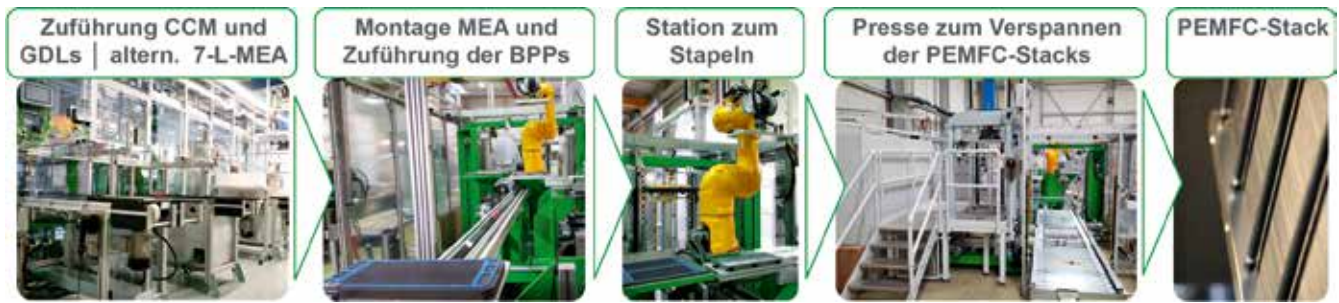


Abb. 3: Funktionseinheiten der Brennstoffzellen-Stack-Montage [Quellen: Fit-4-AMandA]

Limbach-Oberfrohn GmbH realisiert. Auf Basis der in den letzten Jahren gesammelten Erfahrungen im Bereich Stack-Montage wurde bereits eine skalierbare Anlage für die Verarbeitung metallischer und graphitischer Bipolarplatten mit integrierter MEA-Montage und fertigen Mehrlagen-MEAs für unterschiedliche Stack-Abmessungen und -höhen entwickelt, die alle Prozessschritte von der automatisierten Zuführung der Komponenten über die MEA-Montage, dem Stapeln der Komponenten bis zum Verspannen und Fixieren des Stacks durch Zuganker umfasst.

Weiterhin wird das Projektvorhaben durch die Forschungseinrichtungen Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU und die Technische Universität Chemnitz (Professur Alternative Fahrzeugantriebe – ALF) unterstützt. Das Projektmanagement obliegt der Uniresearch B.V.

Das Fraunhofer IWU verantwortet die theoretische Analyse und Verbesserung der aktuellen Stack-Komponenten und die Bewertung von Herstellungsprozessen, speziell für metallische Bipolarplatten, und die Ableitung aktueller Fallbeispiele unter Berücksichtigung der Vorteile, welche sich aus der Serienfertigung von PEM-Stacks ergeben. Der Technischen Universität Chemnitz obliegt die Analyse, Bewertung und Auswahl der Test- und Diagnosemethoden zur Qualitätssicherung bei der automatisierten Fertigung von Komponenten und der Stack-Montage. Hiermit verbunden ist die Identifizierung und Beseitigung von Engpässen im Herstellungsprozess in Bezug auf die ausgewählten Prüfmethoden. Außerdem wird die Implementierung der entwickelten Inline-Prüfung in die Fertigungsanlage und anschließende Verifizierung durch die TU realisiert, wodurch eine signifikante Reduzierung der fehlerhaften PEM-Stacks gewährleistet werden kann.

Als Applikationsbeispiel ist geplant, ein Proton-Motor-System mit einem derart hergestellten PEM-Stack in einem Lieferfahrzeug der Firma UPS zu installieren. UPS Europe SA verfolgt dabei den Ansatz, ausrangierte, jedoch noch einsatzfähige Dieselfahrzeuge mit einem Elektroantrieb auszustatten. Die Motivation besteht neben der Gewährleistung eines ressourcenschonenden Recyclings des Fahrzeugs (Karosserie, Interieur und Fahrwerk) darin, dieses zukünftig lokal emissionsfrei betreiben zu können.

Der PEM-Stack ermöglicht eine signifikante Erhöhung der Reichweitenflexibilität, die Reduzierung der Batteriegröße und der hierfür erforderlichen knappen Ressourcen sowie kurze Betankungszeiten. Diese Faktoren können zukünftig zu einem flexiblen Umgang mit spontanen Tourenveränderungen führen, bei denen eine höhere Reichweite benötigt wird. Hierfür erstellte UPS eine Machbarkeitsstudie zur Integration des Brennstoffzellensystems und anderer Komponenten in ihre Fahrzeuge. Ferner erfolgten die Implementierung des PEM-Stacks sowie die Entwicklung und Implantation der Subsysteme (BoP) durch UPS. Weiterhin war es

erforderlich, ein entsprechendes Verständnis der Transport-OEMs für die Instandhaltung in Form der Wartung des Brennstoffzellenaggregates und die Akzeptanz bei den zukünftigen Nutzern aufzubauen.

**ERHEBLICHE KOSTENEINSPARUNGEN** Innerhalb der Puchheimer Montagelinie, die sich derzeit im Testbetrieb befindet, können BZ-Stacks aus metallischen und graphitischen Bipolarplatten in unterschiedlichen Stack-Abmessungen und -höhen hergestellt werden. Das wechselweise Stapeln von Bipolarplatten und MEAs durch einen Roboter findet auf einem typpflexiblen Werkstückträger statt, der den lagegesicherten Stapel anschließend in die Pressstation transportiert. Dort wird der Stapel entsprechend verdichtet und durch Zuganker fixiert.

Mit der automatisierten Stack-Montage ergeben sich für den Projektpartner Proton Vorteile wie z. B. die

- Erhöhung der jährlichen Fertigungskapazität auf 5.000 bis 10.000 PEM-Stacks (je nach Stack-Größe),
- Reduzierung der Stack-Montagezeit um ca. 95 %,
- Kostenreduzierung für den Montageprozess von ca. 90 %.

Die angestrebte Kostenreduzierung eines PEM-Stacks von mindestens 50 Prozent wird nicht allein durch die automatisierte Fertigungsanlage erreicht. Vielmehr spielen hier die infolge der Automatisierung notwendigen Maßnahmen hinsichtlich der Komponentenoptimierung eine gewichtige Rolle. Weiterhin haben die größeren Abnahmemengen bei den Zulieferern einen kostenreduzierenden Einfluss.

Die im Entwicklungsprojekt erarbeiteten Ergebnisse wollen Proton Motor mit der Herstellung von BZ-Systemen, IRD mit der Serienfertigung von BZ-Komponenten und Aumann mit dem Verkauf automatisierter Anlagentechnik zur Brennstoffzellen-Stack-Montage verwerten. ||

Die Förderung des Projektes erfolgt im Rahmen der Finanzhilfvereinbarung Nr. 735606 des FCH JU der EU.



Autoren:

Sebastian Porstmann, Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Chemnitz

→ [sebastian.porstmann@iwu.fraunhofer.de](mailto:sebastian.porstmann@iwu.fraunhofer.de)



Dr. Martin Biäk, Technische Universität Chemnitz  
→ [martin.biak@mb.tu-chemnitz.de](mailto:martin.biak@mb.tu-chemnitz.de)

# KOSTENEFFIZIENT UND FLEXIBEL

## Modulares Stack-Design für Hochdruck-PEM-Elektrolyse

Grüner Wasserstoff, der bevorzugt mittels Elektrolyse erzeugt wird, verbindet die Sektoren Energie, Industrie und Mobilität und ist ein wichtiges Instrument, um die Integration erneuerbarer Energien zu ermöglichen. Dabei gilt die Protonen-Austauschmembran-Elektrolyse (PEMEL) wegen ihrer Leistungsdichte und Dynamik als vielversprechendste Technologie. Dennoch können große Anlagen die Leistungsindikatoren des Fuel Cells & Hydrogen Joint Undertaking (FCH-JU) in Bezug auf Kosten, Effizienz, Lebensdauer und Funktionsfähigkeit noch nicht erfüllen. Folglich muss der Stand der Technik weiter vorangetrieben werden. Die EU hat daher ein Projekt zur bahnbrechenden Verbesserung dieser Technologie ausgeschrieben, das noch bis Ende 2020 läuft.



Abb. 1: Schema des 100-bar-PEMEL-Systems als Containerlösung vom Projektpartner iGas Energy [1]

Das Konsortium des EU-Projekts PRETZEL beabsichtigt, ein 25-kW-PEMEL-System auf Basis eines innovativen patentierten Zellkonzepts, mit dem ein potentieller Differenzialdruck von 100 bar erreicht werden kann, zu implementieren. Der Elektrolyseur arbeitet dynamisch zwischen 4 und 6 A/cm<sup>2</sup> bei 90 °C und kann trotzdem einen revolutionär hohen Wirkungsgrad von 70 Prozent (Brennwert) erreichen. Diese Leistung wird für mehr als 2.000 Betriebsstunden im Projekt gezeigt, wird aber über die Projektlaufzeit hinaus weitergetestet. Überdies werden die Investitionskosten für die Stack-Komponenten durch Verwendung von Nichtedelmetall-Beschichtungen und fortschrittlichen Keramik-Aerogel-Katalysatorträgern erheblich gesenkt. Ebenso wird die Anlagenperipherie hinsichtlich Kostensenkung und Zuverlässigkeit optimiert.

Das Hochdruck-Elektrolysesystem wird Teil des Produktportfolios eines deutschen Herstellers werden. Diese Firma wird die Kontakte aus dem EU-Projekt PRETZEL nutzen, um die F&E-Zusammenarbeit mit den Partnern aus Frankreich, Spanien, Griechenland und Rumänien weiter auszubauen und in diesen Ländern ihre Geschäftsbeziehungen zu festigen. Der vom demonstrierten PEM-Elektrolyseur erzeugte Wasserstoff soll zur Versorgung der Brennstoffzellen-Teststände in einem der Partnerlabore verwendet werden.

Die Partner des EU-Projekts PRETZEL (*Novel modular stack design for high pressure PEM water electrolyzer technology with wide operation range and reduced cost*) haben sich zum Ziel gesetzt, einen innovativen Protonen-Austauschmembran-Elektrolyseur (PEMEL) mit erheblich verbesserter Effizienz und Funktionsfähigkeit zu entwickeln, um die Anforderungen der Energiewende zu erfüllen. Solche Elektrolyseure werden beispielsweise dringend für den Netzausgleich benötigt. Um ihre Reife zur Markteinführung zu gewährleisten, strebt PRETZEL folgende Ziele an:

1. Entwicklung und Herstellung eines Hochdruck-PEMELs für den Betrieb bei erhöhten Temperaturen
2. Stack-Entwicklung und -Herstellung basierend auf dem neuartigen Prinzip der hydraulischen Kompression
3. Aufbau und Durchführung einheitlicher Verfahren zur Evaluierung des Entwicklungsprozesses
4. Integration des Stacks in eine Testanlage und Validierung der allgemeinen Leistungs- und Betriebskriterien
5. Vorbereitung der Markteinführung

Die Projektpartner arbeiten seit Anfang 2018 an bahnbrechenden Verbesserungen der PEMEL, die die Gesamtsystemkosten absenken sollen, um so die alkalische Elektrolyse abzulösen. Wesentliche Optimierungsaspekte betreffen die Effizienzsteigerung sowie das Erreichen des Hochdruckbetriebes in der PEMEL. Um diese Ziele zu erreichen, muss der PEMEL-Stack neu ausgelegt werden, um hohe Stromdichten bei einer angemessenen Zellspannung (Wirkungsgrad) und hohem Ausgangsdruck zu realisieren. Damit wird auch der Einsatz von teuren Rohstoffen und kritischen Materialien reduziert (z. B. Edelmetalle, protonenleitende Polymere und Titan) und die Systemkonfiguration vereinfacht (eine der Kompressionsstufen entfällt; s. Tab. 1).

Daraus folgen weitere technische Zielsetzungen des Projekts, wie die Entwicklung eines neuartigen PEMEL-Systems mit einer elektrischen Leistungsaufnahme von maximal 25 kW, das 4,5 m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/h bei Nennleistung, einem Ausgangsdruck von 100 bar und einer Einspeise-Wassertemperatur von maximal 90 °C erzeugt.

Auf der Systemebene wird der spezifische Energiebedarf bei einer Nennproduktionsrate unter 56 kWh/kg H<sub>2</sub> und 70 Prozent liegen. Darüber hinaus kann dieses System

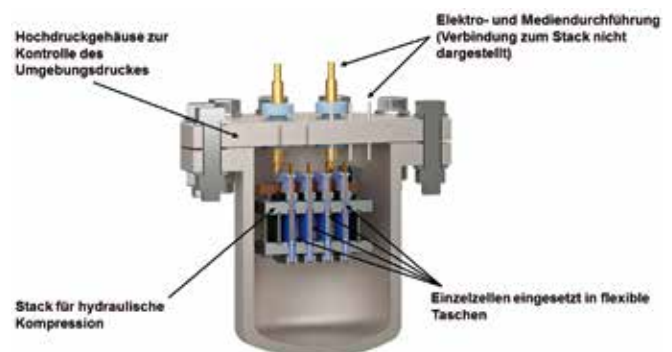


Abb. 2: Schema des 100-bar-PEMEL-Stacks im Hochdruckgehäuse [2]

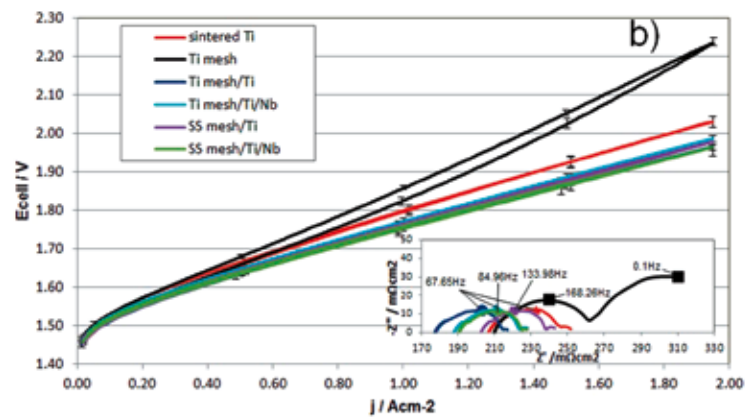
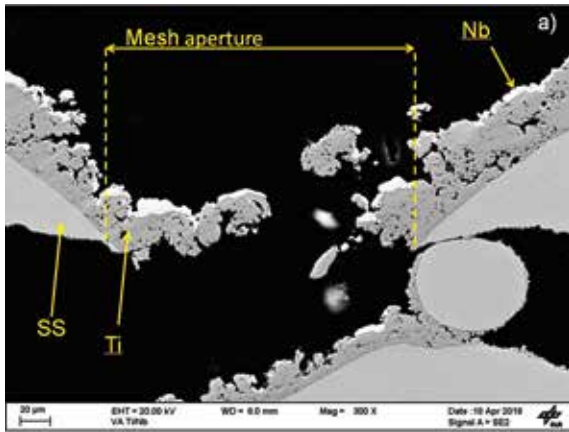


Abb. 3. a) REM-Aufnahmen des Querschnitts der thermisch gesprühten Nb/Ti-MPL auf Stahlgitter als PTL, b) Polarisationkurven von PEMEL-Zellen mit einer aktiven Fläche von  $4 \text{ cm}^2$  und makroporöser Schicht (MPL), die durch Plasmasprühetechnik auf poröse Transportschichten (PTL) aus Ti- und Stahlgitter aufgebracht wurden. Die zugehörigen Nyquist-Diagramme (bei  $1 \text{ A cm}^{-2}$ , von 50 kHz bis 100 mHz) sind im rechten unteren Bildrand dargestellt.

im Überlastmodus mit einer Produktionsrate von bis zu  $6,8 \text{ m}^3_{\text{H}_2}/\text{h}$  (1,5-fache Überlast) betrieben werden. Weitere Betriebsziele umfassen schnelle Reaktionsfähigkeiten des Systems mit einer Sekunde für Warmstart und zehn Sekunden für Kaltstart.

Auf Stack-Ebene wird das Projekt einen patentierten Entwurfsansatz implementieren, der auf der Komprimierung von Hydraulikzellen basiert. Diese Konstruktion (s. Abb. 2) ermöglicht den Einsatz großer planarer Zellkomponenten, die für die zukünftige Massenproduktion erforderlich sind, sowie eine effektive Kühlung bei sehr hohen Produktionsraten und Temperaturniveaus. Im Hinblick auf eine ausreichende Stack-Konditionierung wird ein Kühlsystem für Spannungen von maximal  $2,0 \text{ V}$  pro Zelle bei Nennleistung und von  $2,3 \text{ V}$  pro Zelle im Überlastmodus entwickelt. Darüber hinaus ist die Entwicklung eines Hochdruck-PEMEL-Stacks – perspektivisch mit spezifischen Stack-Kosten von unter  $500 \text{ Euro/kW}$  – ein wichtiges Ziel. Da für die Produktion bei  $100 \text{ bar}$  ein Kompressor entfällt, sind für das angestrebte System spezifische Systemkosten im Bereich von  $750 \text{ Euro/kW}$  möglich.

Seit dem Projektstart sind über eineinhalb Jahre vergangen, und es gab bereits wichtige Innovationen in Bezug auf Materialien und Komponenten für PEMEL. Innerhalb des Vorhabens wurden Anodenkatalysatoren entwickelt, die 70 Prozent weniger Edelmetall enthalten als kommerzielle Produkte. Diese Katalysatoren sind dabei aktiver und stabiler als der derzeitige Bezugspunkt (Benchmark). Die Integration dieser Materialien in eine funktionelle Elektrode wird aktuell durchgeführt. Bezüglich der Bipolarplatten haben die Partner bereits dichte Beschichtungen aus Titan (Ti) mittels Plasmaspritzen entwickelt, die das Basismaterial Kupfer vollständig vor Korrosion schützen. Die Substitution von Ti durch Niob (Nb) erhöht die Kosten geringfügig, ermöglicht jedoch eine signifikante Verringerung des Kontaktwiderstandes. Weiterhin haben die Partner die nächste Generation poröser Transportschichten (PTL) mit gradierter Porenstruktur für ein effizientes Wasser- und Gasmanagement entwickelt.

Eine der innovativsten Entwicklungen bei PRETZEL ist die makroporöse Schicht (MPL) an der Grenzfläche zwischen der Sauerstoffelektrode und der PTL. Basierend auf früheren Entwicklungen [3, 4] haben die Partner diese MPL aus Ti und Nb mittels thermischen Sprühens auf kostengünstige Streckmetallgitter aus rostfreiem Stahl als PTL aufgebracht (s. Abb. 3a). Im Vergleich zu den unbeschichteten Stahlnetzen zeigen die mit Nb/Ti-Beschichtung (s. Abb. 3b) eine Verringerung

der Überspannung von mehr als  $300 \text{ mV}$  bei  $2 \text{ A/cm}^2$  in den Polarisationkurven ( $E_{\text{cell}}$ -j-Kurve). Dieses Ergebnis bedeutet eine Effizienzverbesserung um etwa zehn Prozent, was mit aktiveren Anodenkatalysatoren und dünneren Membranen kaum zu erreichen ist. Die elektrochemische Impedanz zeigt eine Verringerung des ohmschen Widerstands für alle Zellen mit plasmaspritzbeschichteten Netzstrukturen. Weiterhin werden durch die Beschichtung Massentransportlimitierungen bei hohen Stromdichten praktisch eliminiert. Damit führen die Nb/Ti-Beschichtungen bei hohen Stromdichten zu erheblichen Verbesserungen der Zelleistung. Durch die Effizienzsteigerung können diese beschichteten PTLs die Investitionskosten von PEM-Wasserelektrolyseuren (PEMWE) potenziell senken. ||

#### Literatur

- [1] K. H. Lentz, U. Rost, u.a., Hochdruck PEM-Elektrolyse, 24. Symposium Nutzung Regenerativer Energiequellen und Wasserstofftechnik, 09.-11. November 2017, Stralsund
- [2] F. J. Wirkert, J. Roth, u.a., A modular design approach for PEM electrolyser systems with homogeneous operation conditions and highly efficient heat management, Int. J. of Hydrogen Energy (2019), <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.185>, in press.
- [3] P. Lettenmeier, S. Kolb, u.a., Towards developing a backing layer for proton exchange membrane electrolyzers, J. Power Sources. 311 (2016) 153–158.
- [4] P. Lettenmeier, S. Kolb, u.a., Comprehensive investigation of novel pore-graded gas diffusion layers for high-performance and cost-effective proton exchange membrane electrolyzers, Energy Environ. Sci. 10 (2017) 2521–2533.

#### Autoren:

Dr. Aldo Gago → [aldo.gago@dlr.de](mailto:aldo.gago@dlr.de)

Svenja Stiber

Pia Aßmann

Prof. Andreas Friedrich

alle vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Stuttgart



# BZ-UNTERNEHMEN POSITIONIEREN SICH

## Aktienanalyse von Sven Jösting

Die Meldungen überschlagen sich: Chinesische Unternehmen und einige Provinzen planen, vorerst 17 Mrd. US-\$ in die Wasserstofftechnologie zu investieren. Ein Masterplan sieht für 2030 bereits 1 Mio. BZ-Fahrzeuge auf den Straßen des Landes vor. Dr. Wan Gang, seines Zeichens Vorsitzender des Technologierates Chinas (höhere Einstufung als ein Minister), räumt der Brennstoffzelle für die Bewältigung der zukünftigen Mobilität und ergänzende Themen rund um saubere, grüne Energie nun klar den Vorrang vor der Batterie ein. Er selbst war es, der ursprünglich der Batterie die notwendige Unterstützung gab, die China zum weltweiten Vorreiter werden ließ und zu dem dramatischen Umdenken der weltweiten Fahrzeugindustrie führte. Und auch in Deutschland kommt endlich Bewegung in dieses Thema, obwohl immer noch viele Politiker und Unternehmensvertreter (Beispiel VW) Elektromobilität einseitig mit der Batterie verbinden und erst in fünf bis fünfzehn Jahren den Durchbruch der Brennstoffzelle erwarten, was eine grobe Fehleinschätzung zu werden scheint.

An der Börse wird das Thema Wasserstoff und Brennstoffzellen mittlerweile ebenfalls immer heftiger diskutiert. Die Übernahme von Hydrogenics, dem kanadischen Frontrunner in Sachen Brennstoffzellensysteme für Lkw und

Schienenfahrzeuge wie auch für Elektrolyseure, durch die US-amerikanische Firma Cummins Engine, sollte aufhören lassen und könnte gar eine Welle weiterer Übernahmen oder Beteiligungen börsennotierter Unternehmen der Branche auslösen. Führende vormals nicht börsennotierte Unternehmen wie ehemals ProtonOnsite (USA) hatten ja bereits einen Käufer – in diesem Fall die norwegische Nel Asa – gefunden und damit auch den indirekten Börsengang erhalten. Bei Ballard Power – dem weltweiten Marktführer – sind strategische chinesische Investoren bereits Großaktionär. Guess why!

## BALLARD POWER – ÜBERNAHME WENIG WAHRSCHEINLICH

Die überraschende Übernahme des kanadischen Wettbewerbers Hydrogenics wird auch auf Ballard Power positive Auswirkungen in der Börsenbewertung haben: Beide Unternehmen sind langjährige Frontrunner in der BZ-Entwicklung. Ihre Aktivitäten überlappen sich bei Schienenfahrzeugen und Lkw. Da sind beide absolut top: Hydrogenics mit Alstom und Ballard mit CRRC und Siemens. Ballard hat aber noch viele andere Aktivitäten in den großen Märkten der Zukunft, wie z. B. den Einsatz der Brennstoffzelle in Drohnen.

Je nach Auftragseingang in den verschiedenen Bereichen und dem Standing der Kunden wird die Börse das Potential der Aktie immer mehr erhöhen und 2020/21 antizipieren, da in diesen Jahren der klare Übergang von der Forschung und Projektarbeit (Prototypen) in operative Märkte erfolgen dürfte. Aus strategischen Überlegungen heraus sollten sich Unternehmen wie Bosch oder Siemens an Ballard beteiligen. Bosch arbeitet ja bereits mit PowerCell und Nikola Motors zusammen, ebenso mit Weichai, das wiederum der größte Einzelaktionär von Ballard und auch von Kion/Still (Material Handling – Gabelstapler u. a.; 45%-Anteil) ist.

Diese Überlappungen machen auch kapitalmäßige Verbindungen wie auch die Zusammenarbeit in verschiedenen Märkten, wo Synergien entstehen, sinnvoll. Bislang halten chinesische Unternehmen (Weichai, Broad Ocean) etwa 30 Prozent an Ballard. Da wäre ein weiterer Großaktionär aus Europa perfekt, um den Chinesen nicht einseitig das Feld zu überlassen, wobei Ballard sich via eigener Stack-Produktion (LCS) zusammen mit Weichai in China bereits sehr gut positioniert hat und von dort den Weltmarkt (Stacks für Busse, Lkw, Gabelstapler u. a.) bedient, während sich Weichai auf China konzentriert – eine perfekte geographische Arbeitsteilung. Eine Vollübernahme durch die Chinesen schließe ich indes aus. Da würde wohl der kanadische Staat das Stoppschild aufstellen.

**AKTUELLE ENTWICKLUNGEN – 92 BZ-BUSSE BESTELT**  
Solaris meldet zuletzt an Ballard einen Auftrag über zwölf Brennstoffzellenbusse, die in Italien zum Einsatz kommen werden. Wrightbus aus Irland hat einen weiteren Auftrag über fünfzehn BZ-Busse aus dem schottischen Aberdeen er-

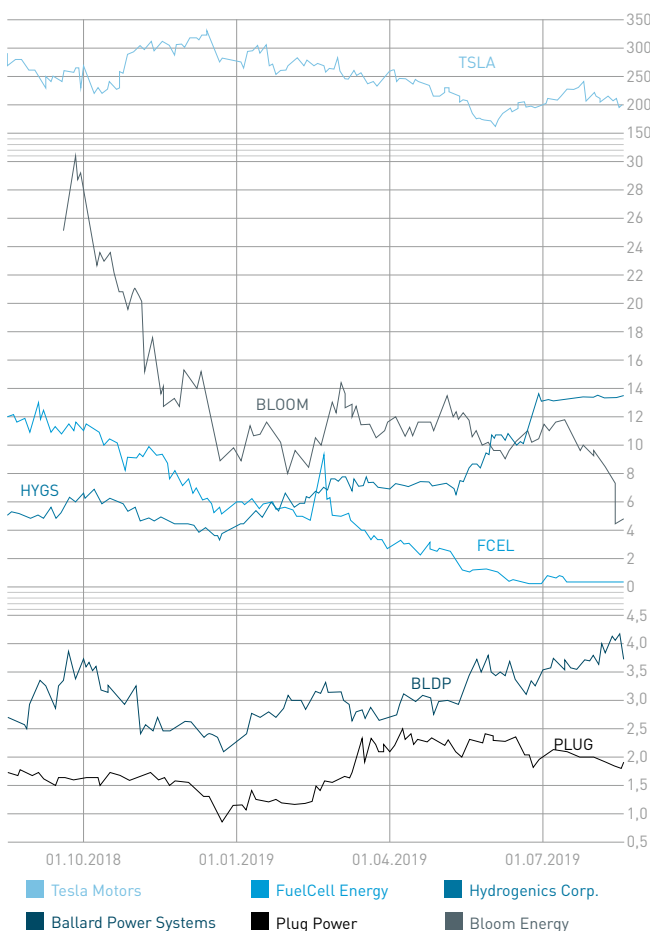


Abb. 1: Aktienkursverlauf der sechs besprochenen Unternehmen [Quelle: [www.wallstreet-online.de](http://www.wallstreet-online.de)] Kurse vom 16. August 2019

halten, wofür die Kanadier ebenfalls die Stacks liefern. Insgesamt stehen nun 92 Fahrzeuge im Auftragsbuch bei Ballard – ein schöner Anfang, aber eine Größenordnung, die erst der Beginn von Großbestellungen ist. Man kann gespannt sein.

Beim europäischen H2Bus-Konsortium geht es schon um 1.000 BZ-Busse, von denen wohl alle die BZ-Stacks von Ballard erhalten werden. Interessant ist dabei die Preisentwicklung: Kostete ein wasserstoffbetriebener Bus vor fünf Jahren noch über 1 Mio. Euro und vor drei Jahren circa 650.000 Euro, so liegt man heute (Aussage Ballard) bei 375.000 Euro und rechnet mit einem Wasserstoffpreis von 5 bis 7 US-\$/kg. Vor ein paar Jahren benötigte ein Bus noch über 20 kg für 100 km, heute liegt man unter 7 kg/100 km. Und perspektivisch wird „grüner“ Wasserstoff nicht mehr als 2 bis 3 US-\$/kg in der Produktion kosten. Die Skalierungseffekte zeigen Wirkung.

**ZWEITES QUARTAL ENTSPRACH DEN ERWARTUNGEN** Ein leicht auf 23,7 Mio. US-\$ zurückgegangener Umsatz und ein Verlust von 0,03 US-\$ pro Aktie (non-GAAP) waren erwartet. Der Auftragsbestand (Backlog) wuchs indes auf über 211,6 Mio. US-\$. Und der Bargeldbestand fiel nicht, wie von mir aufgrund der Investitionen in China erwartet, sondern steht am Ende des zweiten Quartals weiterhin sehr hoch bei 163,7 Mio. US-\$. Das richtige Wachstum des Unternehmens, so Ballard-Vorstands-Chef Randy MacEwen, kommt indes ab dem Jahr 2020 – wir können gespannt sein.

Fazit: Ballard ist und bleibt das Schlüsselinvestment, wenn man in der Brennstoffzelle an der Börse investieren möchte.

„Wir sehen eine signifikante Pipeline an Projekten, die in den Backlog von 2019 einfließen werden.“

Randy MacEwen, Ballard

## CUMMINS ENGINE KAUFT HYDROGENICS AUF



Quelle: Cummins

Cummins Engine, der US-amerikanische Motorenproduzent (Lkw, Schiffe, Schienenfahrzeuge), bietet 15 US-\$ pro Aktie von Hydrogenics. Wurden noch zur Jahreswende Kurse von 4 US-\$ bezahlt, ist dies eine schöne Kursvermehrung (Ich wies hier mehrfach auf die Perspektiven hin).

Die Börsenstory ist damit leider beendet. Klare Empfehlung: Den Gegenwert in Ballard Power oder Bloom Energy und einen hochspekulativen kleinen Teil in FuelCell Energy investieren.

Cummins wie auch das Management von Hydrogenics und Großaktionär Air Liquide haben sich auf die Übernahme einvernehmlich geeinigt, so dass 15 US-\$ pro Aktie der letzte Kurs ist und man da verkaufen sollte – ein Halten macht keinen Sinn. Die Story ist hiermit positiv abgeschlossen. Indes zeigt sich hieran, dass Großunternehmen verstärkt darangehen, sich fehlendes eigenes Know-how durch Übernahmen in der Branche zuzukaufen. So viele börsennotierte BZ-Unternehmen gibt es allerdings nicht.

## BLOOM ENERGY – KURSTURBULENZEN NACH AUSBLICK

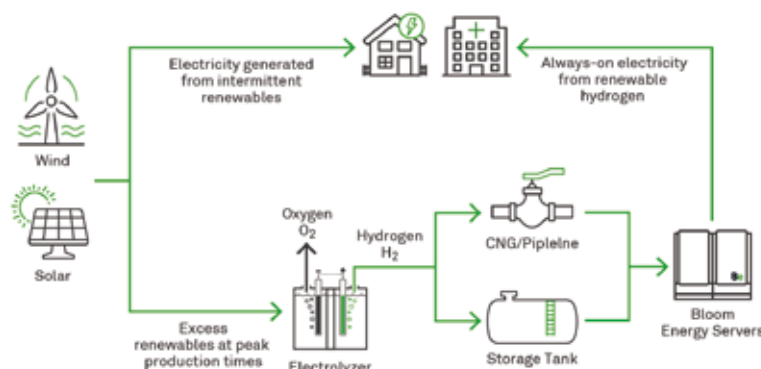


Abb. 3: Dauerhafte Energieversorgung mit Ökostrom mithilfe von Bloom-Boxen [Quelle: Bloom]

Turbulent ging es am 13. August zur Sache, nachdem die Zahlen für das zweite Quartal 2019 veröffentlicht wurden und voll im Rahmen der Erwartungen lagen: 234 Mio. US-\$ Umsatz (Vorjahr: 168 Mio. US-\$) und ein Verlust pro Aktie von 0,13 US-\$ (Vorjahr: minus 0,27 US-\$). Die Äußerung des Vorstandsvorsitzenden, wonach das Wachstum 2020 eventuell nicht den aktuellen Prognosen wird entsprechen können, da wichtige Märkte in Kalifornien und New York leider ein Umdenken im Einsatz regenerativer Energien erwarten lassen, ließen aufhorchen. In der Folge fiel der Aktienkurs in nur einer Sitzung um 45 Prozent auf circa 4,50 US-\$. Man bedenke: das Unternehmen hat gut 310 Mio. US-\$ in der Bank, also mehr als 50 Prozent der Börsenbewertung. Und der Verkauf von BZ-Kraftwerken wird weitere 200 Mio. US-\$ bringen. Eine typische Wallstreet-Übertreibung.

Duke Power übernimmt von Bloom einige der unternehmenseigenen Brennstoffzellenkraftwerke. Bloom beschafft sich dadurch neues, weiteres Kapital, wobei damit auch Einnahmen via Verkauf von Strom (PPAs) und Wärme u. a. generiert werden. Bloom wird wissen, wofür man das Kapital benötigt, welches aus dem Verkauf generiert wird. Der Kaufpreis wird auf über 200 Mio. US-\$ geschätzt. Die bereits hohe Liquidität von über 300 Mio. US-\$ wird damit wohl nicht unwesentlich ausgebaut. Fazit: Die Aussichten haben sich nicht verändert. Der massive Kursrückgang lässt zum Zukauf raten oder der Verbilligung bestehender Positionen.

## PLUG POWER NUN AUCH BEI DROHNEN AKTIV

Plug Power hat sich jetzt das kanadische Unternehmen EnergyOr gekauft, welches nach eigener Aussage eine führende Technologie bei wasserstoffbetriebenen Drohnen und Robotersystemen besitzt. Da Plug ja schon eng mit Amazon zusammenarbeitet (Umbau von Gabelstaplern mit BZ-Stacks für H<sub>2</sub>-Betrieb) kann dies ein interessanter neuer ergänzender Markt für Plug sein, weil ja Amazon gerade daran arbeitet, Waren via Drohnen auszuliefern (Hinweis: Ballard Power ist hier auch schon sehr gut aufgestellt via Protonex, heute: Ballard Unmanned Services). Auf jeden Fall ein >>

riesiger Markt der Zukunft, der der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik eindeutig den Vorrang vor der Batterietechnik (Gewicht, Nutzungsdauer) einräumt.

In nur wenigen Jahren soll der Umsatz an Drohnensystemen weltweit 52 Mrd. US-\$ erreichen. Da stellt sich die Frage, ob und, wenn ja, wann Amazon auch zum Plug-Aktionär wird, da Plug ein Optionsrecht zum Kauf seiner Aktien abgegeben hat.

Plug ist derzeit auf einem guten Wege: Der Umsatz erhöhte sich auf 58,6 Mio. US-\$ (Vorjahr: 39,2 US-\$). Als Verlust wurden 0,08 US-\$ je Aktie ausgewiesen. Die Billings sollen 235 bis 245 Mio. US-\$ in diesem Jahr betragen. Plug hat nun insgesamt 28.000 Systeme ausgeliefert und kann sich als größter Käufer von flüssigem Wasserstoff bezeichnen. Eindrucksvolle 200 Mio. Stunden sind Gabelstapler mit Brennstoffzellen gefahren. Die erste von vier „major announcements“ ist, dass Plug StreetScooter von DHL mit Brennstoffzellen ausstatten wird und damit den Radius von dessen Fahrzeugen auf 500 km erhöht. 200 Exemplare gelten als Basis für das Jahr 2020. Weitere drei wichtige positive Ankündigungen soll es im weiteren Jahresverlauf geben. Zudem sei man auf gutem Wege, die Gewinnschwelle zu überschreiten, so heißt es. Man kann also gespannt sein.

## FUELCELL ENERGY – ACHTERBAHNFAHRT AN DER BÖRSE

48

Wenn Sie dieses HZwei-Heft in den Händen halten, wissen wir, wie es mit FuelCell Energy weitergeht – ob es weitergeht: Chapter 11 (US-amerikanische Insolvenz) oder Sanierung. Was ist passiert? Enorme Mengen an Aktien wurden täglich von FuelCell Energy umgesetzt – an manchen Tagen bis zu 150 Millionen (Computerarbitrageprogramme?). Gefühlt waren dies mehr, als es überhaupt gibt (Grund: Wandlung von Vorzugsaktien). Das zwischenzeitliche Kursplus glich einer Explosion, da es kurzfristig sogar Kurse von 1,00 US-\$ gab, während der Kurs Tage vorher noch bei 0,13 US-\$ lag (alles natürlich auch unter dem Aspekt des erfolgten 12:1-Reversal-Splits). Stand hier ein Plan dahinter? Hatte man das Unternehmen zu zerstören oder via Konkurs günstig zu übernehmen versucht?

Inzwischen gibt es aber Entwicklungen, die hoffen lassen, dass das Unternehmen „das Tal der Tränen“ wird verlassen können: Huron Consulting Services, eine laut Forbes erfolgreiche Unternehmensberatung, hat im Juni 2019 das Ruder übernommen und soll das Unternehmen sanieren. Chief Restructuring Officer wurde die Huron-Mitarbeiterin Laura Marcero (44). Ihre Dienste lässt sich das Unternehmen sehr gut bezahlen: Ihre Stundensätze liegen bei über 750 US-\$. Zudem winken Erfolgsprämien.

Als eine der ersten Maßnahmen hat sich das Unternehmen „einvernehmlich“ von Vorstandschef Arthur A. „Chip“ Bottone getrennt, der sich meiner Meinung nach ein üppiges Gehalt gönnte, aber dem Unternehmen in seinen acht Jahren als Vorstandschef und Präsident wohl eher nicht überzeugend positive Impulse verleihen konnte. Man muss nun erst einmal die Bankschulden (Hercules Bank) neu regeln bzw. diese tilgen, da wohl Kreditkonditionen nicht eingehalten werden konnten. Ich frage mich nur, warum diese Bank nicht entgegenkommend ist. Huron arbeitet daran, Schritt für Schritt eine Lösung zu erarbeiten. So soll ein ATM-Programm (at the market) umgesetzt werden, wonach neue



Abb. 4: Riesen-Stack von FuelCell Energy [Quelle: FuelCell Energy]

Aktien interessewährend (Fachbegriff: subject to market) an der Börse im Wert von 42 Mio. US-\$ platziert werden. Mit den Erlösen lassen sich dann die Schulden begleichen. Indes müssen die Kurse auch stimmen. Andererseits zeigt dieser Schritt, dass man das Börsenlisting halten will, was auch im Interesse der Unternehmensberatung Huron sein dürfte, schließlich könnte man selbst mit einer Erfolgsprämie daran beteiligt sein, was der normalen Honorierung einen nicht unerheblichen Windfall bescheren würde, wenn FuelCell wieder neu aufgestellt ist. Wir werden sehen.

**EXXON ZAHLT LIZENZGEBÜHR** Ein gutes Omen ist indessen, dass Exxon endlich ein Zeichen gab, indem für 10 Mio. US-\$ „nicht exklusive“ Nutzungsrechte für die unternehmenseigene Carbon-Capture-Technologie erworben wurden. Hier hatte ich eher Großaufträge für den Umbau von chemischen Anlagen erwartet als einen Lizenzdeal, aber das kann noch kommen. Aus Großbritannien kam währenddessen der Auftrag für eine Machbarkeitsstudie für ein Carbon-Capture-Projekt, mit dem Ziel, die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 80 Tonnen pro Tag zu reduzieren. Drax, Selby (Yorkshire), wo früher ein Kernkraftwerk stand, ist heute eine Region mit den größten Anlagen für regenerative Energien im Vereinigten Königreich. Ein Auftrag sollte aus diesem Projekt nur eine Frage der Zeit sein. In Euro-



pa ist man auch in diversen BZ-Projekten aktiv, hier sehe man zudem großen Bedarf an kleineren, sehr effizienten BZ-Kraftwerken mit Carbon-Capture-Potential, so eine Pressemitteilung.

**POSITIVE NACHRICHTEN AUS SÜDKOREA** Nach einem Jahr der Produktion gibt das Unternehmen bekannt, dass ein BZ-Kraftwerk in Südkorea von Korea Southern Power mit einer Leistung von 20 MW besser als erwartet läuft. O-Ton: „Highly efficient and affordable electrical output and heat production.“ Eine solche Meldung sorgt angesichts der Kurs-turbulenzen an der Börse für wichtiges, notwendiges Vertrauen, bestätigt die Meldung doch die Professionalität von FuelCell Energy und vor allem von deren Technologie.

Der langjährige Rechtsstreit mit dem koreanischen Lizenznehmer Posco konnte Anfang Juli einvernehmlich via Arbitration (Vergleich) gelöst werden. Zahlen dazu gibt es leider nicht, aber damit scheint endlich eine Lösung gefunden. Posco selbst will sich aus dem Brennstoffzellenbereich wohl verabschieden oder hat dies schon getan, während Wettbewerber gerade genau in diese Richtung gehen. Das ist wie in der deutschen Autoindustrie, wo die einen (VW) vor allem auf die Batterie setzen, während andere die Brennstoffzelle und Hybridversionen immer mehr in den Fokus stellen. Ist halt Unternehmenspolitik. Die Zukunft wird zeigen, wer da richtiger liegt und welcher Weg sich schlussendlich durchsetzt.

**BUSINESS AS USUAL** All dies zeigt aber, dass man “business as usual” macht. Nun kommt es darauf an, wie eine völlige Rekapitalisierung umzusetzen ist, denn das Unternehmen verfügt ja über diverse Projekte, bewährte Technologie und volle Auftragsbücher, u. a. für Service- und Wartungsverträge bestehender Anlagen (1,4 Mrd. sind ausgewiesen). Ein Konkurs beziehungsweise ein Delisting ergibt da keinen Sinn. Eher das Gegenteil ist der Fall, da sich via Börse neue finanzielle Mittel besser einsammeln lassen.

Generate Capital hat FuelCell Kreditlinien für Projekte bis zu 300 Mio. US-\$ gegeben. Warum sollte diese Investmentgesellschaft nicht bereit sein, dem Unternehmen eine neue Kreditlinie zu geben oder via Aktienübernahme zum Großaktionär zu werden? Die Folge wäre eine massive Höher- und Neubewertung des Unternehmens. Zudem könnte so Vertrauen wiederhergestellt werden.

Da ich die Shortseller (Investoren der Vorzugsaktien?) nicht beurteilen kann, sehe ich die Perspektive des Aktienkurses in zwei Extremen: Entweder das (weniger wahrscheinliche) Delisting über Chapter 11 oder aber die erfolgreiche Sanierung mit dem Potential einer Kursvermehrung. Einen weiteren Reversal-Split (Kapitalzusammenlegung) erwarte ich nicht, auch wenn die Aktienanzahl wieder bei über 100 Mio. liegt und durch das ATM-Programm weiter zunimmt. Da schaue ich auf Nel Asa, die wohl bald 1,3 Mrd. Aktien ausgegeben haben. Man muss aber intensiv daran arbeiten, den Börsenkurs auf über 1 US-\$ zu bringen, da dann der Wechsel des Börsensegmentes verhindert wird. Hier bleiben nach neuester Meldung gut 180 Tage Zeit.

Eine abschließende Einschätzung ist leider vorerst nicht möglich, da man die Interessen der beteiligten Parteien nur erahnen kann, aber nicht abschließend kennt. Es besteht immer noch das größtmögliche Risiko, aber auch die totale Wende als Phoenix aus der Asche. Ich setze auf Letzteres.

Bloom Energy sollte FuelCell Energy via Aktientausch übernehmen, denn deren Carbon Capture-Technologie wäre meines Erachtens die perfekte technologische Ergänzung.

#### MUSTERDEPOT BEI WIKIFOLIO: BZVISION

An dieser Stelle sei erwähnt, dass ich mir auch viele andere börsennotierte BZ-Unternehmen sehr genau ansehe. Dabei vergleiche ich die Kenndaten der Unternehmen wie Umsatz, Auftragsbestand, Wachstum, aber auch die Börsenbewertung und das jeweilige Geschäftsmodell und schaue mir das technologische Standing an. Unternehmen wie die schwedische Firma PowerCell, die norwegische Nel Asa wie auch die englische ITM Power (s. HZwei-Heft Apr. 2018, mit gutem Gewinn zur Disposition gestellt) sind allerdings im Vergleich zu Unternehmen wie Bloom Energy, Ballard u. a. viel zu hoch bewertet beziehungsweise die letztgenannten zu niedrig, auch wenn Firmen wie Nel Asa besonders von deutschen Börsenmedien stark empfohlen werden, bei immerhin über 1,2 Mrd. Aktien. Klar ist aber auch, dass mit sich beschleunigender Fahrt des BZ-Zuges an der Börse alle börsennotierten Unternehmen der Branche davon kursmäßig profitieren werden – nur eben die von mir bevorzugten, gefühlt, mehr/stärker.

Seit einem Jahr, seit Juli 2018, unterhalte ich mit einem Spielkapital von 100.000 Euro ein Muster-/Spieldepot bei Wikifolio ([www.wikifolio.com](http://www.wikifolio.com) – BZVision). Darin sind aktuell Ballard Power und FuelCell Energy enthalten. Hydrogenics habe ich nach der Übernahmeofferte von Cummins glatt gestellt und mit hohem Gewinn verkauft, wie auch die Position in Plug Power nach dem starken Anstieg realisiert wurde. Der Gewinn hat den Verlust in FuelCell Energy (nach 12:1-Reversal Split) ausgeglichen. Parallel hatte ich Ballard Power von 20.000 um 2.000 Stück auf 22.000 aufgestockt wie auch FuelCell Energy im Bestand um 15.000 Stück auf 18.500 erhöht. Nach dem Kurseinbruch bei Bloom Energy habe ich die zugekauften 2.000 Aktien von Ballard mit gutem Gewinn wieder abgegeben und in 2.000 Bloom Energy reinvestiert. Ich setze darauf, dass sich Ballard Power überproportional gut entwickelt (auf Ein- bis Drei-Jahre-Sicht) und FuelCell Energy der Turnaround gelingt. Sollte dies bei Letztgenannten nicht der Fall sein, erwarte ich wesentlich mehr als nur den Verlustausgleich durch die Kursentwicklung von Ballard Power. Dies bedeutet im Umkehrschluss: Sollte FuelCell (hochspekulativ) den Turnaround, also die Rekapitalisierung, schaffen, dann hat dies natürlich positive Auswirkungen auf den Kurs und das Gesamtportfolio. Nach Realisierung würde ich dann – in case – die Position in Bloom Energy (2200) weiter ausbauen, aber dies eben nur in case, um eine bessere Risikostreuung zu erreichen. Dieses Spieldepot ist rein theoretischer Natur. Ohne Obligo!

49

## TESLA – KRÄFTIGE KURSREAKTION NACH SCHARFEM EINBRUCH

170 US-\$ und damit gut 30 US-\$ tiefer, als ich erwartet hatte (200 US-\$), markieren den tiefsten Kurs der Aktie von Tesla in der jüngeren Vergangenheit, bevor es zu dem starken Rebound auf über 260 US-\$ kam – bis die wieder enttäuschenden Zahlen für das zweite Quartal 2019 den Rückwärtsgang im Kurs einleiteten. Als Grundlage für diese zwischenzeitliche Rallye gelten die steigenden Verkaufszahlen bzw. vor allem die erhöhten Auslieferungen von Model 3 im zweiten >>



Abb. 5: Model Y [Quelle: Tesla]

Quartal von circa 95.000 Einheiten (Verkaufsrückgänge bei Model S und X, basierend auf einer zunehmenden Zahl von Konkurrenzmodellen). Zudem machen Meldungen die Runde, dass Zulieferer größere Aufträge erhalten hätten, die auf eine höhere Produktion von Model 3 hindeuten.

Die allgemeine Skepsis, ausgedrückt in Analysen namhafter Investmentbanken, überschattet allerdings die Kursentwicklung, denn stark steigendes Wachstum sei so nicht auszumachen, auch wenn das zweite Quartal in dieser Hinsicht sehr gut verlief und Tesla über 6 Mrd. US-\$ Umsatz im Quartal einfuhr – allerdings wieder mit einem Verlust, der 408 Mio. US-\$ betrug und noch höher ausgefallen wäre, wenn Tesla seine Investitionen nicht massiv zurückgefahren hätte (CAPEX). Ist dies alles wirklich nachhaltig?

Die weitere Kursentwicklung wird jetzt wieder von den Unternehmenszahlen getrieben: Neben dem Verlust von 408 Mio. US-\$ bzw. über 2 US-\$ pro Aktie nach GAAP – wesentlich mehr als erwartet – konnte der Bargeldbestand nach erfolgter Kapitalerhöhung von brutto 2,7 Mrd. US-\$ bei gesunden 5 Mrd. US-\$ gehalten werden. Zuletzt kursierten Meldungen, wonach Tesla die Produktionskapazitäten zu erhöhen plant, da die Nachfrage nach Model 3 gut zugelegt habe und man sich auf das neue, vom Modell 3 abgeleitete Model Y (2020) konzentriere. Dazu steht der Rückgang der margenstarken Model S und X im Widerspruch. Ist das also wieder ein Marketing-Trick? Denn parallel hat Tesla im vergangenen Quartal diverse Rabatte eingeführt, die man ja nicht hätte gewähren müssen, wenn der Absatz so gut laufen würde, oder? Die Voraus- bzw. Anzahlungen sind jedoch stark zurückgegangen. Zudem fallen die steuerlichen Anreize in den USA (aber auch in China und anderen Ländern) immer mehr weg, so dass die gewährten Rabatte und Konditionssenkungen bei Leasingfahrzeugen wohl als Ausgleich zu verstehen sind. Dass nun Besitzer von Model S und X wieder kostenfrei Strom tanken können, mag einen Kaufanreiz darstellen, aber Tesla hat damit natürlich auch hier höhere Kosten.

**CHINA-STRATEGIE MIT BEDINGUNGEN** Mit dem Bau der neuen Gigafactory, die ja schon 2019 mit der Produktion von Model 3 beginnen soll, geht es währenddessen zügig voran. Allerdings haben China bzw. Shanghai den Bau der dortigen neuen Gigafactory von Tesla mit diversen Bedingungen verknüpft. So muss Tesla 2 Mrd. US-\$ in den kommenden fünf Jahren in die neue Fabrik investieren und ab

2023 jährlich eine Mindeststeuer von 323 Mio. US-\$ zahlen. Bei Nichteinhaltung fällt das Grundstück (und die Gigafactory?) zurück an die Stadt Shanghai. Außerdem soll bislang noch keine Produktionsgenehmigung für die E-Autos vorliegen, was aber die Bedingung für die Produktionsaufnahme ist.

**TOP-MANAGER ON THE RUN** Tesla hat zudem noch mit dem permanenten Abgang von Top-Managern zu kämpfen, so wie zuletzt eines früheren Audi-Managers und selbst des Mitgründers von Tesla und CTO JB Straubel. Dieser beendete seine Position und wurde Berater. Diese Schlüsselpersonen wissen mehr. Gerüchteweise soll sogar ein Expertenteam von Programmierern, elf an der Zahl, das Haus verlassen haben, da ihnen der durch Elon Musk ausgelöste Erfolgsdruck zu hoch gewesen sein soll. Die Tesla-Story ist auch nicht nur bezogen auf die schicken Elektroautos zu sehen, sondern auf den Komplex der Batterieproduktion, die Entwicklung der Tochter SolarCity und die allgemeine Verschuldung und ihre Auswirkungen auf den Bargeldbestand (Rückzahlungen und Zinsen) und dessen Entwicklung (Cash-burn). Die aus der letzten Kapitalerhöhung stammenden 2,7 Mrd. US-\$ sollen ja bereits in zehn Monaten „verfrühstückt“ sein, so Elon Musk selbst. Und die China-Strategie mag reichlich spät (zu spät?) kommen, da die Volksrepublik die Potentiale der Brennstoffzelle nun denen der Batterie klar vorzieht. Für die Batterie werden die Förderungen (subsidies) eingestellt und für die Brennstoffzelle neu eingeführt.

**VOLLMUNDIGE PROGNOSEN** Trotz alledem sind 15.000 Fahrzeuge pro Woche das neue erklärte Ziel von Elon Musk. China soll dies richten. Zudem wird laut darüber nachgedacht, eine dritte Gigafactory in Europa auf den Weg zu bringen. Musk setzt indes meines Ermessens zu sehr auf Mengen als auf deren Profitabilität.

Ein Umdenken wäre gut, aber Elon Musk sieht nur die Batterie. Dabei gibt es ihn schon, den Tesla als Hybrid mit Brennstoffzelle. Tesla sollte es dem holländischen Team der Firma Holthausen nachtun, welches einen Tesla in Eigenregie zu einem Hesla (H steht für Hydrogen) umbaute, um damit die Kombination von Batterie und Brennstoffzelle via Hybrid zu schaffen. Dies könnte eine echte Neubewertung bedeuten, aber Elon Musk sieht diese Potentiale der „Foolcell“ (O-Ton) leider so gar nicht.

Noch ist es nicht zu spät. Ich würde meine skeptische Einstellung zu Tesla aufgeben, wenn die Brennstoffzelle mehr Berücksichtigung fände. Mein nächstes Kursziel: 150 US-\$. ||

#### RISIKOHINWEIS

Jeder Anleger muss sich immer seiner eigenen Risikoeinschätzung bei der Anlage in Aktien bewusst sein und auch eine sinnvolle Risikostreuung bedenken. Die hier genannten BZ-Unternehmen bzw. Aktien sind aus dem Bereich der Small- und Mid-Caps, 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.

# EIN LEBEN ALS HYDRONAUT IN KALIFORNIEN

*Erfahrungsbericht von Cory Shumaker*



Abb. 1: Ein Hydronaut zwischen vielen Benzinern [Quelle: CHBC]

Ich bin ein Hydronaut. Es handelt sich dabei nicht um eine Bezeichnung für einen Unterwasser-Astronauten, sondern um einen Begriff, den Honda verwendet, um mich zu beschreiben. Ich fahre eines seiner Clarity-Fuel-Cell-Modelle auf den Straßen Kaliforniens. Mittlerweile, bis zum 1. August 2019, befinden sich über 7.000 Brennstoffzellenfahrzeuge dreier Automobilhersteller (Honda, Toyota, Hyundai) auf dem Markt. Das Leben als Hydronaut ist somit eine einzigartige Erfahrung, erfüllt von der Freude, ein emissionsfreies Auto zu fahren, das eine Reichweite von über 480 km hat *und* schnell (in drei bis fünf Minuten) aufgetankt werden kann. Die Einführung eines neuen Kraftstoffs bedeutet jedoch auch gelegentlichen Frust, da H<sub>2</sub>-Stationen immer noch unter Anlaufschwierigkeiten leiden. Glücklicherweise befindet sich Kalifornien bereits auf dem Weg zur 100. H<sub>2</sub>-Tankstelle. Im Los-Angeles-County befinden sich dreizehn Standorte, was großen Anlass zur Freude gibt. Die Anzahl der Hydronauten wächst monatlich.

Einige Leute sind möglicherweise aufgrund der intensiven von den Autoherstellern entwickelten Werbekampagnen zur Marktdurchdringung auf FCEV (Fuel Cell Electric Vehicles) umgestiegen. Bei der Fahrt auf dem Freeway 405, der in der Region Los Angeles von Nord nach Süd verläuft, können Sie den einzigen Ort in der Welt sehen, an dem sich Werbetafeln konkurrierender Unternehmen zum Thema FECEVs einen Wettstreit liefern. Auf der einen Seite gibt es in Richtung Carson eine Reklametafel, die für den Toyota Mirai wirbt. Gezeigt wird die Abbildung eines Fahrzeugs, das sich im Wasser befindet. Folgende Werbebotschaft befindet sich darunter: Die einzige Emission ist Wasser. Diese Botschaft erfüllt ihre Aufgabe, dieses Auto als eine saubere, ökologische Wahl für die Umwelt und den Verbraucher darzustellen.

Etwa 1,5 km weiter prahlt eine Reklametafel von Honda mit: „3 bis 5 Minuten zum Auftanken, der brandneue Clarity Fuel Cell“. Es handelt sich um den Versuch großer Automobilhersteller, weitere Hydronauten zu rekrutieren, und es scheint, dass die Rechnung aufgeht. Obwohl das Wachstum bei Fahrern von batteriebetriebenen Fahrzeugen (BEV = battery electric car vehicle) etwas steiler ist, sagen monatlich auch immer mehr Fahrer in Kalifornien „Ja“ zu den FCEVs.

Marketingstrategien wie Reklametafeln und Radiowerbung sind nur ein Weg, mehr Leute dazu zu bewegen, FCEVs zu fahren, aber finanzielle Anreize sind ein weiterer Faktor. „Bares ist Wahres“, wie man so schön sagt. Nichts weckt die Aufmerksamkeit auf ein mögliches FCEV so sehr wie das Angebot des Bundesstaats Kalifornien, einen Preisnachlass von 5.000 US-\$ beim Kauf eines emissionsfreien Autos zu gewähren (bei einkommensschwächeren Bewerbern steigt dieser Preisnachlass auf 7.000 US-\$). Dank des California-Clean-Vehicle-Rebate-Project (CVRP = Kalifornisches Rabattprojekt für saubere Fahrzeuge), das vom State's Cap & Trade Program durch das California Air Resources Board finanziert wird, sind FCEV-Fahrer berechtigt, den Preisnachlass beim Kauf oder Leasing eines sauberen, emissionsfreien Wasserstoff-FCEV in Anspruch zu nehmen.

**H<sub>2</sub>-KRAFTSTOFF KOSTENLOS** Das Honda Clarity FCEV wird in Kalifornien zum Leasing angeboten. Die monatliche Rate beträgt dabei 379 US-\$ pro Monat, zuzüglich Steuern. Der Treibstoff ist im Preis inbegriffen. Sie haben richtig gelesen: H<sub>2</sub>-Kraftstoff ist im Rahmen des Leasing-Angebots im Preis enthalten, bis zu einer Summe von 15.000 US-\$ über einen Zeitraum von drei Jahren. In einer Stadt, in der der Preis für Benzin pro Gallone höher ist als der Preis für einen Latte Macchiato bei Starbucks, ist es eine kluge Idee, die finanzielle Last durch Treibstoffpreise zu reduzieren, schließlich sollten beim Kauf eines Neuwagens die Treibstoffpreise nicht außer Acht gelassen werden.

Dies stellt einen genialen Schachzug aller Hersteller dar, die momentan Fahrzeuge mit Brennstoffzellen in Kalifornien anbieten. Die entfallenden Treibstoffkosten reduzieren die gesamten Leasing-Kosten eines FCEV unter den Betrag, der für viele konkurrierende Fahrzeuge, die noch auf fossile Treibstoffe setzen, fällig wäre, noch bevor der CVRP-Rabatt eingerechnet wurde – ein großer Schritt in eine Zukunft, bei der der Preis für Wasserstoff nicht mehr subventioniert werden muss, da die erhöhte Nachfrage und die verbesserte Infrastruktur die Kosten für H<sub>2</sub>-Treibstoff auf ein Niveau absenken werden, das dem von Benzin entspricht. >>

Der Durchschnittsfahrer in Los Angeles gibt monatlich zwischen 150 und 200 US-\$ für Treibstoff aus. In meiner Kalkulation habe ich diese Einsparungen mit den Leasing-Kosten meines Honda Clarity FCEV verrechnet, wodurch die monatlichen (Netto-)Kosten auf ein Niveau von 169 US-\$ zuzüglich Steuern sinken. Das ist ein äußerst erschwinglicher Preis für hochmoderne Technologie im Luxusgewand. Die Anzahlung von 2.878 US-\$ wird durch den Bargeldrabatt in Höhe von 5.000 US-\$ mehr als aufgewogen. Wenn Sie die verbleibenden 2.122 US-\$ mit den 36 Monatszahlungen verrechnen, sinken die monatlichen Kosten für dieses wunderbare neue wasser- ausstoßende FCEV auf 110 US-\$ zuzüglich Steuern.

Dies sind rein wirtschaftliche Gründe, die mich davon überzeugt haben, diesen großen Schritt zu wagen und ein versierter, geldsparender Hydronaut zu werden. Zusätzlich stellt Honda in Zusammenarbeit mit der Mietwagenagentur AVIS einen Gutschein für eine 21-tägige Anmietung eines Fahrzeugs bereit. Dies ermöglicht es FCEV-Fahrern, ein normales Benzinfahrzeug zu mieten, wenn ein FCEV ungeeignet ist, beispielsweise bei Fahrten in Gegenden, die nicht über geeignete Tankstellen verfügen, oder falls ein größeres Fahrzeug benötigt wird, beispielsweise für Reisen zu den Skipisten des Mammoth Mountain. Toyota und Hyundai, die anderen FCEV-Hersteller, haben ähnliche Treibstoff- und Mietwagenpakete im Angebot.

**GUTE LAUNE INKLUSIVE** Ich fahre jeden Tag mit einem Lächeln an den Tankstellen vorbei, wenn ich beobachte, wie die Benzinpreise unaufhörlich steigen und sogar einen Preis von 5 US-\$ pro Gallone übersteigen, während ich leise mit meinem luftreinigenden Fahrzeug (Sie haben richtig gehört, die Luft, die mein Honda Clarity FCEV abgibt, ist tatsächlich sauberer als die einströmende Los-Angeles-Luft) vorbeiziehe. Ich befinde mich im siebten Himmel, wenn ich hinter der antiquierten Ölzapfsäule an der H<sub>2</sub>-Zapfsäule halte, meine funkelnde Honda-Fuel-Card, mit der ich meinen Wasserstoff bezahle, zücke und auf die hübsche blaue (in einigen Gegenden) H<sub>2</sub>-Zapfpistole zuschreite. Nach nicht einmal fünf Minuten bin ich wieder in meinem Auto und gehe mit einem Lächeln im Gesicht meiner Wege. Die schnelle Betankung ist eine großartige Eigenschaft der emissionsfreien FCEV-Fahrt, die besonders nützlich ist, wenn man diese langen Touren von Los Angeles nach San Francisco unternimmt. Ein weiterer Grund für BEV-Fahrer, neidisch zu sein.

Warum aber nun die obige Bemerkung über „gelegentlichen Frust“? Es lässt sich nicht abstreiten, dass sich die Infrastruktur seit den ersten Tagen der H<sub>2</sub>-Betankung verbessert hat. Heutzutage können die neuen H70-Zapfhähne einfach angeschlossen und getrennt werden. Das Problem der festgefrorenen Verbindungen ist Vergangenheit. Während einige Stationen etwas schwächer waren, was die Zuverlässigkeit angeht, sich im Laufe der Zeit aber verbessert haben, sind andere Stationen zuverlässige „Old Faithfuls“, die außergewöhnlich belastbar sind, wie beispielsweise die Station, die sich zwischen Nord- und Südkalifornien bei Harris Ranch befindet. Sie wird als „Anschlussstation“ bezeichnet, was praktisch beschreibt, wie sie Südkalifornien mit Nordkalifornien verbindet.

Ich bin dankbar dafür, in Venice Beach zu wohnen, wo es in einem Umkreis von 11 km vier H<sub>2</sub>-Stationen gibt. Das ist der Vorteil daran, in einer großen Metropole zu wohnen. In anderen, abgelegeneren Teilen Kaliforniens kann es momentan schwierig sein, Wasserstoff zu tanken. Mit einem Netz von 40 Standorten (Tendenz steigend) in den am dichtesten besiedelten Teilen des Sonnenstaates und einer Zielsetzung von 100 Stationen in einigen Jahren gibt es ein großes Poten-

tial für noch schönere Road Trips zu weltbekanntem Sehenswürdigkeiten im Golden State, die Kalifornien in der ganzen Welt zu einem beliebten Urlaubsziel machen.

In diesem Sommer hat die Bevölkerung Südkaliforniens bedeutend bessere Karten als die Nordkalifornier, wenn es um die H<sub>2</sub>-Verfügbarkeit geht. In den ersten Juniwochen wurden die Wasserstoffvorräte aufgrund eines Zwischenfalls in einem Versorgungsdepot beeinträchtigt. Obwohl die Reparaturen bereits angelaufen sind, gab es dadurch für Fahrer in der Bay-Area Schwierigkeiten.

Also ja, es gibt wegen dieser Anlaufschwierigkeiten immer noch etwas Frust. Zukünftige Stationen werden weitaus zuverlässiger sein und über integrierte Redundanzen und weitaus höhere Kapazitäten verfügen, um tagtägliche Versorgungsengpässe auszugleichen. Die Autohersteller haben in dieser Situation ihr Bestes getan, um in dieser Situation zu helfen. Honda, Toyota und Hyundai haben jeweils kostenfrei Mietwagengutscheine bereitgestellt, die sich nicht auf die 21-tägige Zuteilung im Rahmen ihres Leasingvertrags auswirken, um Fahrern, die ansonsten auf dem Trockenen gesessen hätten, für ihre alltäglichen Bedürfnisse eine Transportmöglichkeit zur Verfügung zu stellen.

Während dieses Zeitraums traf ich die mutige Entscheidung, das wasserstoffreiche Südkalifornien zu verlassen und in die Wasserstoffwüste der Regionen San Francisco und Sacramento zu fahren. Beide Fahrten in den Norden, die im Juli stattfanden, verliefen ohne Zwischenfälle, da die H<sub>2</sub>-Station auf dem Weg in die San-Francisco-Bay-Area in Betrieb war und die Station in Sacramento eine Woche vor meiner Reise in den Norden ihren Betrieb wiederaufgenommen hatte.

Reisen in den Norden und Süden Kaliforniens in einem FCEV sind dank der jederzeit zuverlässigen Wasserstoffstation Harris Ranch True Zero, die strategisch günstig zwischen Los Angeles, San Francisco und Sacramento liegt und von jeder der Städte ungefähr 306 km entfernt ist, einfach. Es ist fast ein amüsantes Erlebnis, in die Harris-Ranch-Express-Grill- und Servicestation zu fahren und an den Tesla-Schnellladern vorbeizufahren. Der Wasserstofftank ist wieder voll und bereit, bis zu 350 Meilen emissionsfrei zu fahren, bevor der WC-Besuch und der Wasserflaschenkauf abgeschlossen sind. In der Zwischenzeit müssen die Eigentümer von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen mindestens 45 Minuten neben ihren Autos warten, bevor sie die Fahrt fortsetzen können. Diese besonderen Augenblicke machen die Herausforderung durch die Variabilität der H<sub>2</sub>-Stationen mehr als wett. Das Gefühl, in einem eleganten, peppigen und komfortablen FCEV durch den Golden State zu fahren und dabei nichts als Wasserdampf auszustoßen, lässt mich wünschen, mehrere Male pro Monat an der herrlichen Küste Kaliforniens entlangzufahren.

**IMMER MEHR SAGEN JA ZU WASSERSTOFF** Kalifornien hat noch einen langen Weg vor sich, wenn es darum geht, eine ausreichende H<sub>2</sub>-Infrastruktur bereitzustellen. Dabei muss man jedoch den Zeitraum berücksichtigen, der nötig war, um die Benzininfrastruktur so zuverlässig zu machen, wie sie heute ist. Dies dauerte hundert Jahre, bei hohem Querschnittsbedarf und mehreren Geschäftsmodellen, die die Lieferkette bedienten. Es ist beeindruckend, was der H<sub>2</sub>-Infrastrukturmarkt in den letzten zwanzig Jahren erreicht hat, wenn man bedenkt, dass es zur Jahrtausendwende keine öffentliche Station gab. Auch wenn Kalifornien hinter Japan und Deutschland auf dem dritten Platz liegt, was die Anzahl der Standorte betrifft, haben wir mit Abstand die meisten Autos. Im Vergleich zum Rest der Welt haben wir ein außergewöhnliches Auto-zu-Stationen-Verhältnis.

Die California Fuel Cell Partnership hat die „Vision 2030“ veröffentlicht, die auch als Wasserstoffrevolution bezeichnet wird und den Weg von den ersten 100 zu 1.000 Stationen umreißt. Diese 1.000 Tankstellen könnten bis zu eine Million FCEVs versorgen. Besuchen Sie [www.cafcp.org](http://www.cafcp.org), um sich das Dokument herunterzuladen und durchzulesen. Über 7.000 Leute haben bisher in Kalifornien Ja zu Wasserstoff gesagt.

Auch wenn es sich immer noch um sogenannte „Early Adopter“, also Erstanwender, handelt, sind H<sub>2</sub>-Fahrzeuge ein zunehmend normal werdender Anblick für den alltäglichen Fahrer. Es kam schon mehrere Male vor, dass ich, wie andere Hydronauten auch, an der Zapfsäule von Benzinern angesprochen wurde. Sie fragen: „Verbrennt Ihr Auto Wasserstoff?“, „Was tanken Sie da?“, „Wie funktioniert das?“, und meine Lieblingsfrage: „Das ist die Zukunft, richtig?“ Es ist mir stets ein Vergnügen, sie auf den neuesten Stand zu bringen, wenn es um die Großartigkeit von Brennstoffzellenautos geht, die emissionsfrei funktionieren.

Organisationen wie der California Hydrogen Business Council und die California Fuel Cell Partnership haben noch viel Arbeit vor sich, wenn es um Gesetze und Vorschriften oder um Öffentlichkeitsarbeit und Aufklärung geht. Der durchschnittliche Kalifornier weiß noch nichts von Wasserstoff. Was aber vor über einem Jahrzehnt mit einer kleinen Anzahl an Early Adoptern begann, hat sich zu einer Bewegung entwickelt, die sich kompromisslos auf eine emissionsfreie Zukunft zubewegt.

Der ehemalige Gouverneur Brown beschloss, die Zielvorgabe von 100 Stationen bis zum Jahr 2024 auf 200 Stationen

bis zum Jahr 2025 auszuweiten. Dr. Shane Stephens, Gründer und Chief Development Officer von True Zero (Betreiber von 19 H<sub>2</sub>-Betankungsstationen) erklärte: „Wasserstoffstationen werden sowohl größer als auch zahlreicher, und die Entwickler von H<sub>2</sub>-Stationen sehen einen Weg, Wasserstoff mit Gewinn zu konkurrenzfähigen Preisen auf dem Niveau von Benzin anzubieten.“

Die Zeit wird kommen, in der es in Kalifornien günstiger sein wird, ein H<sub>2</sub>-Auto aufzutanken, als einen SUV mit Benzin zu befüllen. Durch die Zielvorgabe der California Fuel Cell Partnership, bis zum Jahr 2030 1 Mio. FCEVs mithilfe von 1.000 H<sub>2</sub>-Stationen zu versorgen, wird man bald als Hydronaut auf den Straßen Kaliforniens nicht mehr aus der Masse herausragen. Das ist eine Zukunft, die ich, wie viele andere, willkommen heiße und an deren Realisierung ich tagtäglich mitarbeite. ||



Cory Shumaker ist Development-Spezialist beim California Hydrogen Business Council. Der Artikel entspricht nicht notwendigerweise der Auffassung des CHBC oder seiner Mitglieder.

Thema: International | Autor: Peter Thompson

## KALIFORNIEN VERBANNT EMISSIONEN

### Zero-Emission bis 2040 im öffentlichen Nahverkehr

Kalifornien steckt sich in den Bereichen Klima, Energie und Verkehr auch weiterhin ehrgeizige Ziele, um die Luftqualität zu verbessern, gesundheitliche Schäden durch Emissionen zu vermindern und im Bundesstaat eine stabile und klimafreundliche Energiewirtschaft mit sicheren Arbeitsplätzen aufzubauen. Ab 2029 dürfen aufgrund einer Verordnung des US-Bundesstaats ausschließlich emissionsfreie Elektrobusse mit Akkumulatoren oder Brennstoffzellen angeschafft werden.

Eine entscheidende Entwicklung stellt in diesem Zusammenhang die Innovative Clean Transit Regulation (ICT-Verordnung) dar, die im Dezember 2018 eingeführt wurde, um auf einen innovativen und umweltschonenden Nahverkehr hinzuwirken. Durch die ICT-Verordnung wird Verkehrsbetrieben in Kalifornien die Anschaffung völlig emissionsfreier Null-Emissions-Busse (ZEB) in immer höherer Zahl auferlegt, wobei ab 2029 – also in nur zehn Jahren – ausschließlich emissionsfreie Busse erworben werden dürfen und für das Jahr 2040 Emissionsfreiheit der gesamten Flotte angestrebt wird.

Zur Einhaltung der ICT-Verordnung entwickeln Verkehrsbetriebe nun ZEB-Anschaffungspläne, die im Fall von großen Unternehmen (mit 100 oder mehr Bussen) bis zum 30. Juni 2020 vorzulegen sind, von kleineren Betrieben (mit unter 100 Bussen) bis zum 30. Juni 2023. Nach Genehmigung dieser Pläne muss es sich bei Großunternehmen ab dem Jahr 2023 bei 25 Prozent aller neu angeschafften Busse

um ZEBs handeln. Im Jahr 2026 steigt dieser Anteil auf 50 Prozent und 2029 auf 100 Prozent. Kleinere Verkehrsbetriebe haben ab 2026 eine Quote von 25 Prozent zu erfüllen, die 2029 auf 100 Prozent erhöht wird.

Mary D. Nichols, Vorsitzende des California Air Resources Board (ARB) führte aus: „Eine Flotte aus emissionsfreien öffentlichen Bussen bedeutet sauberere Luft für uns alle. Gerade in einkommensschwachen Gemeinden wird die Luftverschmutzung durch die Abgase der Busse drastisch reduziert, was auf vielerlei Weise insbesondere den Menschen, die sich täglich auf den öffentlichen Nahverkehr verlassen, zugutekommt.“ Tony Brasil, Leiter des Zweiges für Verkehr und umweltfreundliche Technologie des ARB, fügte hinzu: „Regulierungen sind erforderlich, um dem Markt Sicherheit und ein Signal zu geben, langfristige Ziele zu skizzieren und die zu deren Erreichung erforderlichen Investitionen zu erhalten.“

Die Verordnung räumt Verkehrsbetrieben die Möglichkeit ein, einen Aufschub oder eine Befreiung von den ZEB-Anschaffungsquoten zu beantragen, sollte deren Einhaltung aufgrund äußerer Bedingungen nicht zu schaffen sein. Brancheninsider merken an, dass Hemmnisse beispielsweise in den hohen Kosten von ZEBs und der Infrastruktur bestehen können.

„Die ICT-Verordnung stellt die Verkehrsbetriebe des Bundesstaates vor eine schwierige Aufgabe, doch die Öffentlichkeit wird stark von ihr profitieren“, so Jeff Serfass, geschäftsführender Direktor des California Hydrogen >>



Abb. 1: Ein Hydronaut zwischen vielen Benzinern [Quelle: CHBC]

Business Council (CHBC). „Für den Erfolg dieser Verordnung ist ein umfassendes Wissen über die verschiedenen verfügbaren ZEBs und die zugehörige Infrastruktur entscheidend. Elektrobusse mit Akkumulator eignen sich in einigen Szenarien, solche mit Brennstoffzelle hingegen in allen. Verkehrsbetriebe müssen sich mit beiden Alternativen befassen und ermitteln, aus welcher Investition sie den größten Nutzen ziehen.“

Die Verkehrsbetriebe können auf zahlreiche Finanzierungsprogramme zurückgreifen, um sich bei der Anschaffung der hochpreisigen Elektrobusse mit Brennstoffzellen oder Akkumulatoren unterstützen zu lassen, darunter insbesondere auf das Programm „Low or No Emission“ (Low-No) der Federal Transit Administration und das Hybrid and Zero-Emission Truck and Bus Voucher Incentive Project (HVIP) des Bundesstaats Kalifornien. Neben diesen Programmen können Geldmittel auch über das California Low Carbon Transportation Program (finanziert durch Erlöse aus dem Emissionshandel), das Air Quality Improvement Program und den Volkswagen Environmental Mitigation Trust erhalten werden. Viele Organisationen und Akteure der Branche unterstützen die Verkehrsbetriebe bei der Entwicklung von Projektvorschlägen, darunter in erster Linie das Center for Transportation and the Environment (CTE) und New Flyer, ein führender Hersteller emissionsfreier Busse.

Elektrobusse mit Brennstoffzelle werden in Kalifornien bereits seit mehr als fünfzehn Jahren eingesetzt. Sie sind eine skalierbare Lösung für bis zu mehreren hundert Busen pro Depot, welche die Stromversorgungsinfrastruktur nicht belastet und eine mit Dieselnissen vergleichbare Leistung erzielt, auch hinsichtlich der Reichweite. Dank hoher Kraftstoffeffizienz, niedrigen Instandhaltungskosten, einem geringeren Gewicht als andere emissionsfreie Busse – was wiederum eine höhere Fahrgastkapazität ermöglicht – und einer ähnlichen Betankungszeit wie bei konventionellen Fahrzeugen stellen Brennstoffzellenbusse eine ideale Ersatztechnologie dar, insbesondere im Fall größerer Nahverkehrsflotten.

**ZEITALTER CO<sub>2</sub>-FREIER ELEKTRIZITÄT** Kalifornien hat sich zum Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 um 40 Prozent und bis 2050 um 80 Prozent zu senken. Zusätzlich zu diesen Zielen verabschiedete der Bundesstaat im September 2018 das SB-100-Gesetz, das zum Jahr 2045 das Zeitalter der CO<sub>2</sub>-freien Elektrizität einläutet. Der ehemalige Gouverneur Edmund Gerald „Jerry“ Brown erließ zudem die Durchführungsverordnung B-55-18, welche die gesamte Wirtschaft Kaliforniens ab dem Jahr 2045 zur vollständigen CO<sub>2</sub>-Neutralität verpflichtet.

Die ICT-Verordnung ist eine von vielen neuen und bevorstehenden Verordnungen, die das Air Resources Board eingeführt hat beziehungsweise einführen wird, um die Luftqualität des Bundesstaats zu verbessern und den globalen Klimawandel zu bekämpfen. Weitere Anordnungen werden derzeit für den Transport mit Lastkraftwagen und leichten Transportfahrzeugen in Erwägung gezogen. Bei der Frage, wie diesen Verordnungen entsprochen werden kann, fassen politische Entscheidungsträger womöglich nicht direkt Wasserstoff ins Auge, allerdings sind die über 100 CHBC-Mitglieder der Ansicht, dass es sich hierbei um eine Schlüsseltechnologie handelt, und möchten auf Grundlage der richtigen Vorgaben und Anreize geeignete Lösungen für Brennstoffzellen liefern. ||

Autor:

Peter Thompson, California Hydrogen Business Council  
 → [pthompson@californiahydrogen.org](mailto:pthompson@californiahydrogen.org)

Im Juni ermöglichten der California Hydrogen Business Council (CHBC) und die California Transit Association (CTA) Verkehrsbetrieben, Amtsträgern auf lokaler und bundesstaatlicher Ebene sowie Organisationen für Umweltgerechtigkeit im Rahmen einer vierteiligen Webinar-Reihe, mehr über Elektrobusse mit Brennstoffzelle zu erfahren. Einzelheiten zu diesen kostenlosen Schulungen finden Sie unter [www.californiahydrogen.org/the-other-electric-bus-meeting-the-ict-regulation-with-hydrogen-fuel-cell-technology-webinar-series/](http://www.californiahydrogen.org/the-other-electric-bus-meeting-the-ict-regulation-with-hydrogen-fuel-cell-technology-webinar-series/).

# VOM PIONIER ZUM NACHZÜGLER

## *Island hält an Wasserstoff und Brennstoffzellen fest*

Island hat früh die Chancen von Wasserstoff und Brennstoffzellen für den Transportsektor erkannt – aber leider bis heute wenig daraus gemacht. Ende des vergangenen Jahrtausends galt das nordische Eiland als Vorreiter in Sachen Wasserstoff, weil dort die Vision einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft als durchaus realisierbar angesehen wurde. Die Energieversorgung des Landes mit Wärme und Strom wird seit Jahrzehnten durch die im Land vorhandenen erneuerbaren Energiequellen Wasserkraft und Geothermie gedeckt. Nur der isländische Verkehr einschließlich der Schifffahrt ist noch immer abhängig von fossilen Kraftstoffen, die kostenintensiv importiert werden müssen. Die Elektromobilität tut sich schwer, obwohl sich die Isländer schon seit Ende der 1990er-Jahre mit Brennstoffzellen-

fahrzeugen beschäftigen. Reykjavik gehörte zu den ersten zwölf Städten weltweit, die im Rahmen der europäischen Demonstrationsprojekte Anfang der 2000er-Jahre Brennstoffzellenbusse im ÖPNV einsetzten und sich mit der Produktion und Bereitstellung von Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen beschäftigten.

Einen ersten großen Schritt in Richtung einer nachhaltigen Energiewirtschaft vollführte Island bereits in den Jahren 1945 bis 1970, indem Erdwärme als Quelle für elektrische Energie und Wärme herangezogen wurde und das letzte Kohlekraftwerk abgeschaltet wurde. Eine Kilowattstunde Strom aus Wasserkraft kostete bereits vor zwanzig Jahren nur knapp drei Cent. Rund 30 Prozent ihres Jahresenergieverbrauchs decken die Isländer trotzdem mithilfe von Mineralöl. Über die Hälfte der insgesamt 850.000 t pro Jahr werden von der Fischfangflotte verbraucht, die andere Hälfte ist für den Straßenverkehr vorgesehen (drei von vier Isländern besitzen einen Wagen). Das benötigte Öl muss allerdings importiert werden.

Dies wollte die Regierung unter Ministerpräsident Davíð Oddsson (1991-2004) ändern und plante deswegen den Wechsel zur Wasserstoffwirtschaft. Bis zum Jahr 2050 sollte sich der Inselstaat in eine autarke Wasserstoffgesellschaft verwandeln, die ihren gesamten Energiebedarf aus eigenen, regenerativen Ressourcen decken würde. Die erste Wasserstofftankstelle wurde im April 2003 in Reykjavik eröffnet. Ein entsprechendes Förderprojekt lief im Rahmen des isländischen ECTOS-Projektes (Ecological City Transport System), eines Schwesterprojekts von CUTE (Clean Urban Transport Europe). Die Station wurde von drei Brennstoffzellenbussen genutzt, die das lokale Busunternehmen auf den Straßen Reykjaviks einsetzt.

Darüber hinaus unterzeichnete der nordatlantische Inselstaat im Jahr 2003 eine Absichtserklärung über eine Kooperation mit der kanadischen Provinz Manitoba, in der es um eine Zusammenarbeit bei der Umsetzung der Wasserstoffpläne ging. Manitoba verfügt über große Mengen an Wasserkraft, die zur Erzeugung von Wasserstoff genutzt werden sollten. Es wurde weiterhin geplant, langfristig die gesamte Fischereiflotte auf leisen, umweltschonenden BZ-Betrieb umzurüsten, so dass sich neben der Verminderung des Ölverbrauchs und der damit verbundenen Reduzierung der Schadstoffemissionen auch eine Steigerung des Fischereiertrags hätte ergeben können. Seit mehreren Jahren ist es nun aber schon still geworden um diese Pläne. (sg)



Abb. 1: Bohrloch für Geothermie in Island [Quelle: ON Power, Island]

Doch dann kam 2008 die Finanz- und Wirtschaftskrise, und in Island blieb kein Stein auf dem anderen. Zwar hat sich die Politik zu keiner Zeit vom Thema Wasserstoff- und Brennstoffzellenmobilität verabschiedet, aber der Inselstaat musste sich nach diesen durchgreifenden Veränderungen neu ausrichten und zusehen, dass das Land seiner horrenden Schulden Herr würde und wieder auf die Beine käme.

Das Gut, mit dem am besten gewuchert werden konnte, waren und sind Islands erneuerbare Energien. Geothermie und Wasserkraft liefern rund um die Uhr und unabhängig vom Wetter 80 Prozent der benötigten Energie des Landes. Die übrigen 20 Prozent des Energiebedarfs decken importierte Treibstoffe für den Verkehr zu Land, zu Wasser und zu Luft.

Island machte Ende des vergangenen Jahrhunderts von sich reden, indem es vollmundig den Umbau seiner Energieversorgung auf Wasserstoff ankündigte. Nach einigen ersten Demonstrationsprojekten ist es in dem nordischen Land mittlerweile jedoch ruhig um dieses Thema geworden.

**VIELE CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN** Obwohl Islands Energieversorgung vorwiegend auf erneuerbaren Energien basiert, gehört das kleine nordische Land dennoch zu den größten Pro-Kopf-CO<sub>2</sub>-Emittenten der Welt. Gründe dafür sind die in den letzten Jahren extrem angestiegenen Touristenzahlen mit einer entsprechenden Zunahme des Luftverkehrs sowie die drei großen Aluminiumschmelzhütten, die sich mit starker Unterstützung der isländischen Politik auf der Insel dank niedriger Strompreise angesiedelt haben. Sie verbrauchen >>



# Enapter

**Enapter's mission is to make green hydrogen from electrolysis cheaper than fossil fuels!**

**Join our team and save the world -**

by decarbonising energy, industry, heat, and transport.

Our team is made up of extraordinarily creative, motivated and talented individuals, all working hard to develop our unique AEM electrolyzers. We are preparing for mass-production and we're looking for highly skilled persons for our core R&D team:

## **CFD Engineers**

to drive stack design and simulation

## **Electrochemists**

to advance our membrane electrode assembly

You will be a key part of future product development and you will be at the intersection of chemistry and engineering.

**Apply today at:**  
[www.enapter.com/careers/](http://www.enapter.com/careers/)

See more: [www.enapter.com](http://www.enapter.com)  
Next event: <https://thebigthing.enapter.com/>

im Produktionsprozess große Mengen Graphit, das als Elektrodenmaterial in der Schmelzelektrolyse eingesetzt wird. Dabei entstehen große Mengen an CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Da diese beiden wesentlichen CO<sub>2</sub>-Verursacher aufgrund ihrer herausragenden wirtschaftlichen Bedeutung für das Land nicht einfach abgeschaltet werden können, will die Regierung zumindest den Mobilitätssektor dekarbonisieren. Genau an diesem Punkt setzt Islands neu erwachtes Faible für Wasserstoff und Brennstoffzelle an. Durch den Einsatz von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen und Schiffen wäre eine CO<sub>2</sub>-frei Mobilität durchaus möglich. Zugleich könnte die 340.000 Einwohner beheimatende Nation ihre Abhängigkeit von den fossilen Kraftstoffimporten auf ein Minimum reduzieren. Dennoch ist das Land über einige wenige H<sub>2</sub>- und BZ-Demonstrationsprojekte bisher nicht hinausgekommen.

Die batterieelektrische Mobilität spielt, anders als beispielsweise in Norwegen, ebenfalls keine nennenswerte Rolle. Denn es gab bislang keine konsistente politische Strategie oder gar Förderinstrumente, die die Anschaffung oder den Betrieb der Elektrofahrzeuge und -schiffe begünstigen würden. Erst im Frühjahr 2017 hat die isländische Regierung tatsächlich die Energiewende im Transportsektor eingeleitet. Ihr Ziel ist es, bis zum Jahr 2020 den Erneuerbare-Energien-Anteil im Verkehr auf 10 Prozent zu erhöhen (ausgehend von 6 Prozent 2016) und auf 40 Prozent bis 2030. Gleichzeitig soll der Anteil der Erneuerbaren im Bereich der Schiffsflotte für den Fischfang von 0,1 Prozent 2016 auf 10 Prozent bis 2030 steigen. Wie genau dies erreicht werden soll, bleibt aber unklar.

In der Zwischenzeit engagiert sich das Land in verschiedenen europäischen H<sub>2</sub>- und BZ-Förderprojekten, um den Anschluss nicht zu verlieren. Island ist neben Norwegen, Schweden und Dänemark Teil der Scandinavian Hydrogen Highway Partnership (SHHP). Zudem ist die Hauptstadt Reykjavik in die Wasserstoffaktivitäten der Businitiative der europäischen Regionen des FCH JU eingebunden. Im Rahmen des JIVE-2-Projekts sollen bis 2023 fünf neue Brennstoffzellenbusse in Islands Hauptstadt im Linienverkehr eingesetzt werden.

Als Partner des Projekts Hydrogen Mobility Europe (H2ME, s. S. 37) wurden zudem mittlerweile drei Wasserstofftankstellen in Reykjavik aufgebaut und in Betrieb genommen. (Die Fahrzeuge, die diesen Wasserstoff tanken, sind allerdings auf Islands Straßen rar gesät.) Geplant ist, den Wasserstoff für die Tankstellen zukünftig in Islands größtem Geothermiekraftwerk Hellisheidi des Energieversorgers ON Power (Orka náttúrunnar) mittels Wasserelektrolyse herzustellen. Auch dafür fließen Zuschüsse aus europäischen Fördertöpfen nach Island. ||

### **SELBSTVERSORGER**

Island produziert heute mehr als 18 Terrawattstunden Strom aus Geothermie und Wasserkraft – weit mehr als die eigene Bevölkerung selbst benötigt. Zwar wird darüber diskutiert, Island über ein Unterseeestromkabel an Großbritannien anzubinden, um Strom exportieren zu können, aber solange die Finanzierung eines derartigen Projekts nicht steht, kann nur weiter über die Möglichkeiten spekuliert werden. Einstweilen versucht das Land, die Energie selbst zu verbrauchen – sei es durch die Ansiedelung energieintensiver Industrien oder neuerdings auch durch die Herstellung von Elektrolysewasserstoff aus erneuerbarem Strom.



# TERMINKALENDER

## SEPTEMBER

**09.09. 24-hour Hydrogen Challenge**  
Wettfahrt, Stuttgart, Peter Sauber  
Agentur Messen u. Kongresse,  
Tel. 0711-656960-55, Fax -9055,  
[www.waterstofchallenge.nl](http://www.waterstofchallenge.nl)

**10.-11.09. f-cell**  
Kongress & Messe, Stuttgart, Peter  
Sauber Agentur Messen u. Kongresse,  
Tel. 0711-656960-55, Fax -9055,  
[www.f-cell.de](http://www.f-cell.de)

**10.-13.09. Husum Wind**  
Konferenz & Messe, Husum, Messe  
Husum und Congress GmbH,  
Tel. 04841-902-0, Fax -246,  
[www.husumwind.com](http://www.husumwind.com)

**11.-13.09. IAA Conference**  
Konferenz, Frankfurt a.M., VDA,  
Tel. 030-897842-0, Fax -600,  
[www.iaa.de](http://www.iaa.de)

**12.-22.09. IAA Pkw**  
Messe, Frankfurt a.M., VDA, Tel.  
030-897842-0, Fax -600, [www.iaa.de](http://www.iaa.de)

**13.-15.09. eRUDA**  
Rundfahrt, Landsberg, ePROJEKT,  
Tel. 08143-99-7979, Fax -9607,  
[www.eruda.de](http://www.eruda.de)

**16.-20.09. Joint European Summer  
School**  
Basiskurs, Athen/Griechenland,  
FZ-Jülich, Tel. +44-121-4145275,  
[www.jess-summerschool.eu](http://www.jess-summerschool.eu)

**16.-22.09. DRIVE-E-Akademie**  
Seminar, Erlangen, Fraunhofer Gesell-  
schaft, Tel. 030-40006522-2, Fax -0,  
[www.drive-e.org](http://www.drive-e.org)

**17.09. Marktplatz Zulieferer**  
Workshop, Berlin, NOW,  
Tel. 030-3116116-15, [www.now-gmbh.de](http://www.now-gmbh.de)

**20.09. AtEm Aktionstag Elektromobilität**  
Aktionstag, Stuttgart, Peter Sauber  
Agentur Messen u. Kongresse,  
Tel. 0711-656960-56, Fax -9056,  
[www.region-stuttgart.de](http://www.region-stuttgart.de)

**23.-27.09. Joint European Summer  
School**  
Fortgeschrittenenkurs,  
Athen/Griechenland, FZ-Jülich,  
[www.jess-summerschool.eu](http://www.jess-summerschool.eu)

**24.-26.09. International Conference  
on Hydrogen Safety (ICHS)**  
Konferenz, Adelaide/Australien,  
IPHE, Tel. +39-50-2218054,  
[www.hysafe.info](http://www.hysafe.info)

## OKTOBER

**08.-10.10. Energy Storage World  
Forum**  
Konferenz, Rom/Italien, Dufresne,  
Tel. +65-624-30050, Fax -57232,  
[www.energystorageforum.com](http://www.energystorageforum.com)

**15.-17.10. eMove360°**  
Messe & Konferenz, München,  
MunichExpo, Tel. 089-32299136,  
[www.emove360.com](http://www.emove360.com)

**16.10. Advanced Alkaline Electrolysis**  
Workshop, Dresden, Fraunhofer  
IFAM, Tel. 0351-2537-555, Fax -399,  
[www.ifam.fraunhofer.de](http://www.ifam.fraunhofer.de)

**22.-23.10. Tagung Gasfahrzeuge**  
Kongress, Stuttgart, FKFS,  
Tel. 0711-68565888,  
[www.fkfs-veranstaltungen.de](http://www.fkfs-veranstaltungen.de)

**23.-24.10. Power2Gas-Conference**  
Kongress, Marseille/Frankreich,  
Cogiton Group, Tel. +48-61-2504350,  
[www.p2gconference.com](http://www.p2gconference.com)

**23.-24.10. International Hydrogen  
Symposium**  
Kongress, Hamburg, Wasserstoffge-  
sellschaft Hamburg, Tel. 040-36138381,  
[www.h2hamburg.de](http://www.h2hamburg.de)

**23.-26.10. Hydrogen + Fuel Cells Asia**  
Messe, Shanghai/China, Deutsche  
Messe, Tel. 030-6098455-6, Fax -8,  
[www.h2fc-fair.com/asia/](http://www.h2fc-fair.com/asia/)

**24.10. Brennstoffzellenforum Hessen**  
Konferenz, Stockstadt, Hessen Agentur,  
Tel. 0611-7748-959, Fax -620,  
[www.h2bz-hessen.de](http://www.h2bz-hessen.de)

## NOVEMBER

**05.11. Wasserstoff – Schwergewicht  
für die Energiewende**  
Workshop, Hannover, NOW,  
Tel. 030-3116116-15, [www.now-gmbh.de](http://www.now-gmbh.de)

**05.-06.11. HYPOS-Forum**  
Konferenz, Dresden, HYPOS,  
Tel. 0341-60016-20, Fax -13,  
[www.hypos-eastgermany.de](http://www.hypos-eastgermany.de)

**05.-07.11. Fuel Cell Seminar & Energy  
Exposition**  
Konferenz & Messe, Long Beach/USA,  
Headquarter, Tel. +1-803-54501-89,  
Fax -90, [www.fuelcellseminar.com](http://www.fuelcellseminar.com)

**06.-07.11. European E-Fuels  
Conference**  
Konferenz, München, ACI,  
Tel. +44-20-31410621,  
[www.wplgroup.com/aci/](http://www.wplgroup.com/aci/)

**06.-09.11. REGWA Energie-  
Symposium**  
Symposium, Stralsund, FH Stralsund,  
Tel. 03831-45-7072, Fax -6729,  
[www.hochschule-stralsund.de](http://www.hochschule-stralsund.de)

**07.-08.11. Elektrochemische  
Speichertechnik**  
Kolloquium, Ostfildern, TAE,  
Tel. 0711-34008-29, Fax -30,  
[www.tae.de](http://www.tae.de)

**11.11. Perspektiven von Wasserstoff  
und Brennstoffzellen**  
Konferenz, Ostfildern, TAE,  
Tel. 0711-34008-29, Fax -30,  
[www.tae.de](http://www.tae.de)

- Wasserstoff
- Infrastruktur
- Brennstoffzellen

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

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




Wieder neue H<sub>2</sub>-Tankstellen eröffnet ... DWV und DVGW werben für  
Power-to-Gas ... Bundesregierung benennt "Reallabore" ...  
Siemens baut Wasserstoff-Zentrum in Görlitz ...

## FIRMENVERZEICHNIS

## ARMATUREN, REGLER, VENTILE

 **Eugen Seitz AG,**  
Führende H<sub>2</sub>-Magnetventil-Technologie von  
10 bis 1.000 bar, Spitalstrasse 204, 8623 Wetzikon, Schweiz,  
Tel. +41-44-9318190, [h2info@seitz.ch](mailto:h2info@seitz.ch), [www.seitz.ch](http://www.seitz.ch)

 **HPS Solutions GmbH,** Fachgroßhandel für  
Fluid- und Gastechologie, Fraunhoferstr. 5,  
82152 Martinsried, Tel. 089-744926-0,  
[info@hps-solutions.de](mailto:info@hps-solutions.de), [www.hps-solutions.de](http://www.hps-solutions.de)

 **MAGNETSCHULTZ**  
Ihre Spezialisten für elektromagnetische Aktorik und Sensorik  
**Magnet-Schultz GmbH & Co. KG,** Hochdruck-, Sicherheits-, Absperr- & Mengenregelventile für H<sub>2</sub>, Allgäuer Str. 30,  
87700 Memmingen, Tel. 08331-104-0, Fax -333,  
[www.magnet-schultz.com](http://www.magnet-schultz.com)

 **NOVA SWISS**  
Nova Werke AG, H<sub>2</sub>-Hochdruck-Magnetventile,  
Vogelsangstrasse 24, 8307 Effretikon, Schweiz,  
Tel. +41-52-3541616, [www.novaswiss.com](http://www.novaswiss.com)

 **PTEC – Pressure Technology GmbH,** Rohrleitungen, Verschraubungen,  
Filter, Ventile, Regler,  
TPRD, Linde 11, 51399  
Burscheid, Tel. 02174-748-722, [www.ptec.eu](http://www.ptec.eu)

## BERATUNG &amp; PLANUNG

 **EMCEL GmbH – Ingenieurbüro für**  
BZ, H<sub>2</sub>-Technologie und E-Mobilität.  
Machbarkeitsstudien, Normen &  
Zulassung, Instandhaltung.  
Brüsseler Str. 85, 50672 Köln, Tel. 0221-29931929,  
[email@emcel.com](mailto:email@emcel.com), [www.emcel.com](http://www.emcel.com)

**GIC – Agentur der Neuen Energien und**  
**Zukunftsthemen GbR,**  
Rosenhagenstr. 42, 22607 Hamburg,  
Tel. 040-89018247,  
[www.gic-zukunft.com](http://www.gic-zukunft.com)

 **HAAS ENGINEERING**  
INGENIEURBÜRO FÜR VERFAHRENSTECHNIK  
**Haas Engineering GmbH & Co. KG,** Reinhold-Schneider-  
Str. 18a, 79194 Gundelfingen, Tel. 0761-503649-0, Fax -69,  
[info@haasengineering.de](mailto:info@haasengineering.de), [www.haasengineering.de](http://www.haasengineering.de)

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

## BETANKUNGSTECHNIK

 **Kälte- und Systemtechnik**  
**GmbH,** Kälteanlagen zur  
Kühlung von Wasserstoff  
gemäß SAE, Heavy Duty Betankung, Strassfeld 5,  
3441 Freundorf, Österreich, Tel. +43-2274-44109,  
[office@kustec.at](mailto:office@kustec.at), [www.kustec.at](http://www.kustec.at)

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

## BRENNSTOFF- UND LUFTVERSORGUNG

 **Busch Clean Air S.A.,**  
Chemin des Grandes-Vies 54,  
2900 Porrentruy, Schweiz,  
Tel. +41-32-46589-60, Fax -79,  
[info@buschcleanair.com](mailto:info@buschcleanair.com), [www.buschcleanair.com](http://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](mailto:info@celeroton.com), [www.celeroton.com](http://www.celeroton.com)

 **Gebr. Becker GmbH,**  
Hölker Feld 29-31,  
42279 Wuppertal,  
Tel. 0202-697-255, Fax -38255, [info@becker-international.com](mailto:info@becker-international.com),  
[www.becker-international.com](http://www.becker-international.com)

 **Mehrer Compression GmbH,** Prozessgas unter Hochdruck,  
Rosenfelder Str. 35, 72336 Balingen,  
Tel. 07433-2605-0, Fax -7541, [www.mehrer.de](http://www.mehrer.de)

 **sera ComPress GmbH,**  
sera-Straße 1,  
34369 Immenhausen,  
Tel. 05673-999-04, Fax -05,  
[info-compress@sera-web.com](mailto:info-compress@sera-web.com), [www.sera-web.com](http://www.sera-web.com)

## BRENNSTOFFZELLEN

 **SHIFT POWER | ENERGIZE YOUR WORLD**  
**Hydrogenics GmbH,** Am Wiesenbusch 2, Halle 5,  
45966 Gladbeck, Tel. 02043-944-133, Fax -146,  
[powersales@hydrogenics.com](mailto:powersales@hydrogenics.com), [www.hydrogenics.com](http://www.hydrogenics.com)



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

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

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

## ELEKTROLYSEURE

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

AREVA H<sub>2</sub>Gen GmbH, Eupener Straße 165, 50933 Köln, Tel. 0221-2919073-0, Fax -9, [www.arevah2gen.com](http://www.arevah2gen.com)

# AsahiKASEI

Asahi Kasei Europe GmbH, Am Seestern 4, 40547 Düsseldorf, Tel 0211-8822-030, [info@asahi-kasei.eu](mailto:info@asahi-kasei.eu), [www.asahi-kasei.eu](http://www.asahi-kasei.eu)



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



Enapter srl, Pisa, Berlin, Chiang Mai, Via di lavoria 56G, 56040 Crespina Lorenziana (PI), Italien, Tel. +39-5064-4281, [www.enapter.com](http://www.enapter.com)



**Giner ELX, Inc.**, 89 Rumford Avenue, Newton, Massachusetts 02466, USA, Tel. +1-781-529-0500, [information@ginerelx.com](mailto:information@ginerelx.com), [www.ginerelx.com](http://www.ginerelx.com)



PEM-Elektrolyseure, Stacks, H<sub>2</sub>-Projekte



**Hoeller Electrolyzer GmbH**, The Stack Company, Alter Holzhafen 17b, 23966 Wismar, Tel. 03841-758-3030, [www.hoeller-electrolyzer.com](http://www.hoeller-electrolyzer.com)



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



SHIFT POWER | ENERGIZE YOUR WORLD

**Hydrogenics GmbH**, Am Wiesenbusch 2, Halle 5,

45966 Gladbeck, Tel. 02043-944-133, Fax -146, [powersales@hydrogenics.com](mailto:powersales@hydrogenics.com), [www.hydrogenics.com](http://www.hydrogenics.com)



**iGas energy GmbH**, Cockerillstr. 100, 52222 Stolberg, Tel. 02402-9791600, [info@igas-energy.de](mailto:info@igas-energy.de), [www.iGas-energy.de](http://www.iGas-energy.de)



**ITM Power GmbH, Energy Storage – Clean Fuel**, Mragowo Strasse 15, 35305 Grünberg, Tel. 06401-225757-0, Fax -2, [www.itm-power.com](http://www.itm-power.com)

**McPhy Energy Deutschland GmbH**, Schmiedestr. 2, 15745 Wildau, Tel. 03375-497210-0, Fax -9, [www.mcphy.com](http://www.mcphy.com)



**Nel Hydrogen**, 10 Technology Drive, Wallingford, CT 06492, USA, Tel. +1-203-949-8697, Fax -8016, [info@nelhydrogen.com](mailto:info@nelhydrogen.com), [www.nelhydrogen.com](http://www.nelhydrogen.com)



**sunfire GmbH**, Gasanstaltstraße 2, 01237 Dresden, Tel. 0351-896797-0, Fax -885, [www.sunfire.de](http://www.sunfire.de)

59

// Europaweit größte Wasserstoff-Busflotte im Aufbau

// 2 H<sub>2</sub>-Bus-Tankstellen in der Region, 2 weitere im Aufbau

// > 50 Mio. € Projektvolumen im Bereich H<sub>2</sub>&BZ

// > 20 Mio. € Förderung (regional, national und EU)



Gestartet ist HyCologne 2007 mit 7 Gründungsmitgliedern, jetzt tragen 30 öffentliche und private Mitglieder die Projekte, um Emissionen und Feinstaub in der Region konkret zu mindern und die Klimaziele zu erreichen.



**thyssenkrupp Uhde Chlorine Engineers GmbH**, Voßkuhle 38, 44141 Dortmund, Tel. 231547-0, Fax -2334, [info-uce@thyssenkrupp.com](mailto:info-uce@thyssenkrupp.com), [www.thyssenkrupp-uhde-chlorine-engineers.com](http://www.thyssenkrupp-uhde-chlorine-engineers.com)

## ELEKTRONIK



**Prüfex Innovative Power Products GmbH**, Egersdorfer Str. 36, 90556 Cadolzburg, Tel. 09103-7953-0, Fax -55, [www.pruefex.de](http://www.pruefex.de)

## ENERGIESPEICHERUNG



**HPS Home Power Solutions GmbH**, Carl-Scheele-Str. 16, 12489 Berlin, Tel. 030-5169-5810, [mail@homepowersolutions.de](mailto:mail@homepowersolutions.de), [www.homepowersolutions.de](http://www.homepowersolutions.de)



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

## FORSCHUNG &amp; ENTWICKLUNG



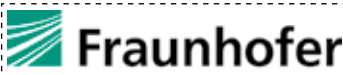
**DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH**, Karl-Heine-Straße 109/111, 04229 Leipzig, 0341-2457-113, [www.dbi-gut.de](http://www.dbi-gut.de)

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



**FES GmbH Fahrzeug-Entwicklung Sachsen**, Crimmitschauer Str. 59,

08058 Zwickau, Tel. 0375-5660-0, Fax -222, [info@fes-aes.de](mailto:info@fes-aes.de), [www.fes-aes.de](http://www.fes-aes.de)



**Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme**

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

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

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



**HyCentA Research GmbH**, Inffeldgasse 15, A-8010 Graz, Tel. +43 (0)316-873-9501, [office@hycenta.at](mailto:office@hycenta.at), [www.hycenta.at](http://www.hycenta.at)



**WENGER Engineering GmbH**, Forschungs- und Entwicklungs-

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

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

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

## GAS-DIFFUSIONS-LAGEN (GDL)



**MeliCon GmbH**, GDL-Komponenten in Titan und Edelstahl, metallische Filtermedien,

Porschestra. 6, 41836 Hückelhoven, 02433-44674-0, Fax -22, [www.melicon.de](http://www.melicon.de)



**SGL Carbon GmbH**, Werner-von-Siemens-Str. 18, 86405 Meitingen, Tel. 08271-83-3360, Fax -103360, [fuelcellcomponents@sglgroup.com](mailto:fuelcellcomponents@sglgroup.com), [www.sglgroup.com](http://www.sglgroup.com)

## INFRASTRUKTUR

**H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co.KG**, EUREF-Campus 10-11, 10829 Berlin, Tel. 0170-5870317, [presse@h2-mobility.de](mailto:presse@h2-mobility.de), [www.h2-mobility.de](http://www.h2-mobility.de)

## KOMPRESSOREN



**Andreas Hofer Hochdruck-technik GmbH**, Neuman Esser Group, Ruhrorter Str. 45, 45478 Mülheim a. d. Ruhr, Tel. 0208-46996-0, Fax -11, [www.andreas-hofer.de](http://www.andreas-hofer.de)



**Gebr. Becker GmbH**, Hölker Feld 29-31, 42279 Wuppertal, Tel. 0202-

697-255, Fax -38255, [info@becker-international.com](mailto:info@becker-international.com), [www.becker-international.com](http://www.becker-international.com)



**Sauer Compressors Maschinenbau GmbH**, Brauner Berg 15,

24159 Kiel, Tel. 0431-3940-0, [sales@sauercompressors.de](mailto:sales@sauercompressors.de), [www.sauercompressor.com](http://www.sauercompressor.com)

**MESSDATENMANAGEMENT UND MONITORING**

**DiLiCo engineering GmbH,**  
Moldenstr. 4, 39106 Magdeburg,  
Tel. 0391-505859-86,  
[info@dilico.de](mailto:info@dilico.de), [www.dilico.de](http://www.dilico.de)



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

**MESS- UND REGELUNGSTECHNIK**

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

**neo hydrogen sensors GmbH,**  
Hersteller von Wasserstoffsensoren und Katalysatoren,  
Bussardweg 12, 41468 Neuss,  
Tel. 02131-2090112, Fax -6629600,  
[www.neohysens.de](http://www.neohysens.de)



**Prignitz Mikrosystemtechnik GmbH,**  
Druck- und Temperatursensortechnik für H<sub>2</sub>-Anwendungen, Margarethenstr. 61, 19322 Wittenberge-Elbe, Tel. 03877-56746-15, Fax -18,  
[www.prignitz-mst.de](http://www.prignitz-mst.de)

**ORGANISATION**

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

**PRÜFTECHNIK**

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



**JA-Gastechnology GmbH,**  
Albrecht-Thaer-Ring 9, 30938 Burgwedel, Tel. 05139-9855-011, Fax -33, [www.jag.de](http://www.jag.de)

**MAXIMATOR<sup>®</sup> Maximum Pressure.**

Hochdrucktechnik • Prüftechnik • Hydraulik • Pneumatik

**Maximator GmbH,**  
H<sub>2</sub>-Hochdrucktechnik, Prüftechnik, Hydraulik, Pneumatik, Dienstleistungen, Lange Straße 6, 99734 Nordhausen, Tel. 03631-9533-5107, [H2Team@maximator.de](mailto:H2Team@maximator.de), [www.maximator.de](http://www.maximator.de)



**Resato International B.V.,**  
Duitslandlaan 1, 9400 AZ Assen, Niederlande,  
Tel. +31-501-6877,  
[www.resato.com](http://www.resato.com)

**SL Tech<sub>2</sub> GmbH – Ihr Entwicklungspartner für die Mobilität von morgen,**  
Hohenneuffenstr. 21, 73230 Kirchheim,  
Tel. 07021-993968-0, Fax -1,  
[www.sl-tech2.de](http://www.sl-tech2.de)



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



**Zeltwanger, Dichtheits- und Funktionsprüfung, automatisierte Laserapplikations- und Montageanlagen,** Maltschachstr. 32, 72144 Dußlingen, Tel. 07071-3663-106, [a.nobel@zeltwanger.de](mailto:a.nobel@zeltwanger.de), [www.zeltwanger.de](http://www.zeltwanger.de)

**RECHTSBERATUNG**

**Becker Büttner Held,**  
Rechtsanwälte – Wirtschaftsprüfer – Steuerberater,  
Magazinstr. 15-16, 10179 Berlin, Tel. 030- 6112840-0, Fax -99,  
[www.bbh-online.de](http://www.bbh-online.de)

**REFORMIERUNG**

**WS Reformer GmbH,** Dornierstraße 14, 71272 Renningen,  
Tel. 07159-163242, Fax -2738, [www.wsreformer.com](http://www.wsreformer.com)

61

**5. HYPOS-FORUM**

IN DER MESSE DRESDEN

5. & 6. NOVEMBER 2019



**Verbindungen schaffen.  
Kompetenzen bündeln.  
Wege bereiten.**

GEORBERT VIM



## SPEICHERTECHNIK

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



**Hexagon Purus GmbH,**  
Otto-Hahn-Str. 5,  
34123 Kassel,  
Tel. 0561-58549-0,  
[www.hexagonxperion.com](http://www.hexagonxperion.com)



**Hydrogenious Technologies GmbH, Weidenweg 13, 91058 Erlangen,**

Tel. 09131-12640-220, Fax -29, [www.hydrogenious.net](http://www.hydrogenious.net)



**Kessels Prüfwerk GmbH & Co. KG, Lehmkuhlenweg 13, 41065 Mönchengladbach,**

Tel. 02161-65907-0, Fax -68, [www.kessels-pruefwerke.de](http://www.kessels-pruefwerke.de)

**McPhy Energy Deutschland GmbH, Schmiedestr. 2, 15745 Wildau, Tel. 03375-497210-0, Fax -9, [www.mcphy.com](http://www.mcphy.com)**



**Nprox B.V., Business Trade Center Heerlen, Vogt 21, 6422 RK Heerlen, Niederlande, +31-(0)45-7820564, [contact@nprox.com](mailto:contact@nprox.com), [www.nprox.com](http://www.nprox.com)**

**Reuther STC GmbH, Fabrikstr. 8, 15517 Fürstenwalde, Tel. 03361-694-0, Fax -852, [www.reuther-stc.com](http://www.reuther-stc.com)**



**Wystrach GmbH, Industriest. 60, 47652 Weeze, Tel. 02837-9135-0, Fax -30, [www.wystrach-gmbh.de](http://www.wystrach-gmbh.de)**

## STATIONÄRE SYSTEME

**SOLIDpower GmbH,**  
Borsigstraße 80, 52525 Heinsberg,  
Tel. 02452-153-758, Fax -755,  
[bluegen@solidpower.com](mailto:bluegen@solidpower.com), [www.solidpower.com](http://www.solidpower.com)

## SYSTEMINTEGRATION

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



**Framatome GmbH,**  
Paul-Gossen-Str. 100,  
91052 Erlangen, Ansprechpartner: Frau Gemmer-Berkbilek,  
Tel. 09131-90095221, [www.framatome.com](http://www.framatome.com)

**McPhy Energy Deutschland GmbH,**  
Schmiedestr. 2, 15745 Wildau,  
Tel. 03375-497210-0, Fax -9, [www.mcphy.com](http://www.mcphy.com)

## TECHNISCHER SERVICE



**BSZ-Technischer Service und Werkskundendienst für Brennstoffzellen und Batteriespeicher,**  
Eckhartstr. 12, 76227 Karlsruhe,  
Telefon: 0721-665586-6, Fax: -7,  
[www.bsz-service.de](http://www.bsz-service.de)

## TECHNOLOGIEZENTREN

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



**H2Herten, Wasserstoff-Kompetenz-Zentrum, Doncaster-Platz 5, 45699 Herten, [info@herten.de](mailto:info@herten.de), [www.h2herten.de](http://www.h2herten.de)**

## TESTSTÄNDE



**AVL List GmbH,**  
Hans-List-Platz 1,  
8020 Graz, Österreich,  
Tel. +43-316-787-0, Fax -400,  
[info@avl.com](mailto:info@avl.com), [www.avl.com](http://www.avl.com)



**Horiba FuelCon GmbH, Steinfeldstr. 1, 39179 Barleben, Tel. 039203-5144-00, Fax -09, [info@horiba-fuelcon.com](mailto:info@horiba-fuelcon.com), [www.horiba-fuelcon.com](http://www.horiba-fuelcon.com)**

## VERANSTALTER



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



**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](http://www.f-cell.de)**

## VEREINE &amp; VERBÄNDE

**Deutscher Wasserstoff- & Brennstoffzellen-Verband e. V., Moltkestr. 42, 12203 Berlin, Tel. 030-398209946-0, Fax -9, [www.dww-info.de](http://www.dww-info.de)**

**Erneuerbare Energien & Speicher e. V., c/o Architekturbüro Theet, Angelburger Straße 74, 24937 Flensburg, [www.ees-ev.de](http://www.ees-ev.de)**

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

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



**HYPOS – Hydrogen Power Storage & Solutions East Germany,**

Blücherstraße 26, 06120 Halle (Saale), Tel. 0341-6001620,  
[info@hypos-eastgermany.de](mailto:info@hypos-eastgermany.de), [www.hypos-eastgermany.de](http://www.hypos-eastgermany.de)

#### WASSERSTOFFERZEUGUNG



**Rouge H2 Engineering GmbH,**  
Reininghausstr. 13, 8020 Graz,  
Österreich, Tel. +43-(0)316-375-007,  
[www.rgh2.com](http://www.rgh2.com)

Germany: Rouge H2 Engineering Deutschland GmbH,  
Maurener Str. 11/1, 71155 Altdorf, Tel. 02175-6688-575

#### WINDENERGIE

**Windpark Ellhöft GmbH & Co KG.,**  
Reinhard Christiansen,  
Dorfstraße 11, 25923 Ellhöft,  
Tel. 04663-7299, Fax -1704,  
[info@reinhard-christiansen.de](mailto:info@reinhard-christiansen.de),  
[www.reinhard-christiansen.de](http://www.reinhard-christiansen.de)

#### ZULIEFERER



**Anleg GmbH, MSR, Anlagenbau, H<sub>2</sub>- & Ventiltechnik,**  
Am Schornacker 59, 46485 Wesel, Tel. 0281-206526-0,  
Fax -29, [www.anleg.de](http://www.anleg.de)



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



**Bürkert Werke GmbH**  
Magnetventile,  
Mass Flow Controllers,  
Fluidtechnische Systemlösungen,  
Christian-Bürkert-Str. 13-17, 74653 Ingelfingen,  
Tel. 07940-10-0, Fax: -91204, [www.burkert.com](http://www.burkert.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](http://www.imi-precision.com/de)

**EDUR Pumpenfabrik Eduard Redlien GmbH & Co. KG,**  
Spezialist für Kreisell- und Mehrphasenpumpen,  
Edisonstr. 33, 24145 Kiel,  
Tel. 0431-689868,  
[info@edur.de](mailto:info@edur.de), [www.edur.com](http://www.edur.com)

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



**ElringKlinger AG,**  
Max-Eyth-Str. 2,  
72581 Dettingen/Erms,  
Tel. 07123-724-0, Fax -9006,  
[info@elringklinger.com](mailto:info@elringklinger.com),  
[www.elringklinger.com](http://www.elringklinger.com)



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

**FUMATECH BWT GmbH,**  
Carl-Benz-Str. 4, 74321 Bietigheim-Bissingen,  
Tel. 07142-3737-900, Fax -999,  
[www.fumatech.de](http://www.fumatech.de)



**Gräbener Maschinentechnik GmbH & Co. KG,**  
Fertigungsanlagen für das Formen, Schneiden und Schweißen metallischer Mikrostrukturplatten, Tel. 02737-989-367,  
[a.edelmann@graebener.com](mailto:a.edelmann@graebener.com), [www.graebener.com](http://www.graebener.com)



**Kerafol Keramische Folien GmbH & Co. KG,**  
Keramische Elektrolyte,  
Festoxidzellen, Glasfolien,  
Koppe-Platz 1, 92676 Eschenbach, Tel. 09645-884-30, Fax -90,  
[www.kerafol.com/sofc](http://www.kerafol.com/sofc)

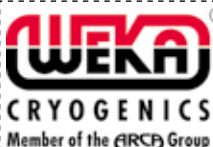
**Miba Coating Group, High Tech Coatings GmbH,**  
Beschichtungen für Brennstoffzellen,  
Dr.-Mitterbauer-Str. 3, 4655 Vorchdorf, Österreich,  
Tel. +43-(0)7614-6541-0, Fax -8400,  
[michael.hiller@miba.com](mailto:michael.hiller@miba.com), [www.miba.com](http://www.miba.com)



**Sandvik High Precision Tube, ZN der SMT D GmbH,**  
33824 Werther, Tel. 05203-91090, [info.hpt@sandvik.com](mailto:info.hpt@sandvik.com),  
H<sub>2</sub>-Edelstahlrohr-Anwendungen / Coil Container Service – On Site Tubing Solution



**Theisen GmbH & Co. KG, GH<sub>2</sub> & LH<sub>2</sub> Rohrleitungs- und Regelsysteme, H<sub>2</sub>-Verdampfer und Kühler, Druckbehälter, Abfüll- und Betankungsanlagen, Anlagenwartung,**  
[www.theisen-gmbh.de](http://www.theisen-gmbh.de), [info@theisen-gmbh.de](mailto:info@theisen-gmbh.de)



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



# Wasserstoffspeicher auf Weltklasseniveau

Transport und  
Speicherung  
(300 bar, 500 bar, 950 bar)

Nutzfahrzeuge,  
Busse und Schiffe  
(350 bar)

Pkw und  
Kleintransporter  
(700 bar)