

DAS MAGAZIN FÜR WASSERSTOFF UND BRENNSTOFFZELLEN

HZwei

20

→ DIE HZWEI FEIERT IHR
20-JÄHRIGES JUBILÄUM

→ ÜBERSICHT AKTUELLER BRENN-
STOFFZELLENHEIZGERÄTE



MISSION: HYDROGEN

Unsere gemeinsame Mission: Wasserstoff



Silke Frank, CEO

www.mission-hydrogen.de

Wasserstoff-Marketing
Wasserstoff-Consulting
Wasserstoff-Wissen
Wasserstoff-Webinare

HYDROGEN ONLINE CONFERENCE

08. Oktober 2020

- ✓ Die größte Wasserstoff-Veranstaltung in 2020
- ✓ Zugang von überall
- ✓ 24 Stunden voller Wissen
- ✓ Q&A mit den Keynotern
- ✓ Kostenlose Live-Tickets für Early Birds



www.hydrogen-online-conference.com

INHALTSVERZEICHNIS

3 Impressum

4 Editorial

5 Meldungen

Silke Frank startet Mission Hydrogen
Hydrogen Council wächst
Viessmann schließt Hexis
HZwei wird zwanzig

8 Messen

9 Hausenergie

Hersteller präparieren sich für reine H₂-Netze
Brennstoffzellen-BHKW aus China
Übersicht BZ-Heizgeräte

16 Politik

Ministeriengerangel um die Themenhoheit
Ein Green-Deal bietet sich an

20 Energiespeicherung

H₂-Produktion mitten im Meer
Interview mit dena-Chef Andreas Kuhlmann
Fortschrittliche Metallhydrid-Verbundwerkstoffe

30 Elektromobilität

DVGW-Studie belegt das Marktpotential
Studie von Fraunhofer ISE und H2 Mobility
Binnenschiffe können mehr als Diesel

40 Entwicklung

Zertifizierung von nachhaltig erzeugtem Wasserstoff
Pyrolyse als Pfad zur Wasserstoffproduktion
Messung und Zulassung von H₂-Tankstellen

46 Markt

Aktienanalyse von Sven Jösting

51 Produktmeldungen

52 International

Briten rüsten sich für Wasserstoff
Chile – der heimliche Champion
Übersicht über die Tätigkeiten der FCH JU
Solar-, H₂- und BZ-Technik auf Schwedisch

61 Terminkalender

62 Firmenverzeichnis



6+9 BZ-Heizgeräte – neue kommen, alte gehen




44 Zulassung von Wasserstofftankstellen



54 Chile – der heimliche Champion der H₂-Wirtschaft

3

<p>IMPRESSUM HZwei</p> <p>ISSN: 1862-393X Jahrgang: 20. (2020) / Heft 2, April 2020</p> <p>Verlag: Hydrogeit Verlag Inh. Sven Geitmann, Gartenweg 5 D - 16727 Oberkrämer</p> <p>USTID.: DE 221143829</p> <p>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, Michael Jensen, Sven Jösting, Edgar Lange, Uta Mummert</p>	<p>DAS MAGAZIN FÜR WASSERSTOFF UND BRENNSTOFFZELLEN</p> <p>HZwei</p> <p>Design: Dipl.-Des. Andreas Wolter, Weimar Satz: Dipl.-Des. Henrike Hiersig, Berlin</p> <p>Anzeigen- Lektorat: Uta Mummert, creating relations, Leipzig Dione Gutzmer, Berlin</p> <p>Druck: Printec Offset – medienhaus, Kassel PEFC-zertifiziertes Papier</p> <p>Druckauflage: 4.500 Stück (plus 20.000 Downloads/Jahr) Erscheinungsweise: 4 x jährlich</p> <p>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)</p> <p>Studenten- Kündigungs: 50 % Ermäßigung jederzeit möglich, 6 Wochen vor nächster Ausgabe</p>	<p>Namentlich gekennzeichnete Beiträge spiegeln die Meinung der Autoren wider und entsprechen nicht unweigerlich der Meinung der Redaktion.</p> <p>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.</p> <p>H₂HYDROGEIT 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.</p> <p>Verlag</p> <p>Titelbild: HZwei wird zwanzig. [Quellen: Hydrogeit Verlag]</p>	
---	---	--	---

NEUE ALLIANZ

Liebe Leserinnen und Leser!

Die Verschiebungen und Absagen diverser Veranstaltungen hat auch für die Energiebranche weitreichende Folgen – keine Produktpräsentationen, keine Diskussionsforen, kein Networking. Gleichzeitig eröffnen sich momentan aber auch viele neue Möglichkeiten: Dank der Digitalisierung werden Präsentationen jetzt digital online statt live vorgetragen. Statt Face-to-Face-Gesprächen wird wieder mehr telefoniert, werden Webinare und Videokonferenzen durchgeführt. Weniger Fahrtwege und Dienstreisen schaffen mehr Zeit für andere Dinge und schonen zudem die Umwelt.

Trotzdem stellt sich die Frage: Was tun, wenn beispielsweise die Hannover Messe, auf der die neuste Entwicklung medienwirksam vorgestellt werden sollte, ausfällt?

Voraussichtlich wird sich erst in den kommenden Wochen und Monaten zeigen, ob – wie angekündigt – diese Termine einfach nur verschoben werden. Derzeit ist mehr als fraglich, ob Veranstaltungen im Sommer oder Herbst nachgeholt werden können – oder ob sie dieses Jahr ganz ausfallen, so wie jetzt die Hannover Messe sowie die Olympiade. Man darf somit gespannt sein, ob beziehungsweise inwieweit das Internet und die Digitalisierung nebst neuer Kommunikationswege akzeptable Alternativlösungen anbieten können.

Egal wie, den Hochlauf der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik wird das Corona-Virus weder aufhalten noch verhindern. Etwas verzögern, ja. So wurde auch die Diskussion über die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) im Bundeskabinett verschoben – mal wieder. Hier ist also erneut Geduld gefragt. Beim Redaktionsschluss dieser Ausgabe stand noch nicht fest, wann die NWS im Kabinett auf die Tagesordnung kommen könnte.

Dennoch kann die bisherige Entwicklung getrost als unumkehrbar bezeichnet werden. Die öffentlich geführte Diskussion über den Werdegang der Energiewende und die Veränderungen in der Energieversorgung hat bereits dazu geführt, dass sowohl auf politischer Ebene als auch in der Bevölkerung die Erkenntnis gereift ist, ohne den Energiespeicher Wasserstoff wird es nicht gehen. Die Nationale Wasserstoffstrategie für Deutschland wird kommen, aktuell ist lediglich die Frage, was genau drin stehen wird.

Ähnlich ist es auf europäischer Ebene. Auch den anderen EU-Mitgliedsstaaten ist mittlerweile klar, dass die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik zukünftig eine zentrale Rolle spielen wird. Dementsprechend bereitet die EU-Kommission derzeit ein Konzeptpapier vor, das auf eine deutlich klimafreundlichere Industriepolitik abzielt – mithilfe von Wasserstoff.

Anfang März 2020 kündigte die Brüsseler Behörde an, gemeinsam mit den EU-Mitgliedstaaten sowie der Wirtschaft eine Wasserstoff-Allianz ins Leben rufen zu wollen. Die Rahmenbedingungen dafür wurden bereits angepasst, indem entsprechende Beihilfen genehmigt wurden (wichtige Projekte von europäischem Interesse – IPCEI). Die Clean Hydrogen Alliance könnte somit noch in diesem Sommer vorgestellt werden.



Es tut sich also so einiges momentan. Die Ziele hinsichtlich der zukünftigen Rolle von Wasserstoff sind dementsprechend ambitioniert – bei einigen Akteure im Energieversorgungssektor vielleicht sogar schon etwas überambitioniert. So ist bereits die Rede davon, dass Wasserstoff den Energieträger Braunkohle ablösen könnte – das ist wohlgermerkt die Aussage eines Vorstandsmitglieds eines Braunkohleunternehmens. Woanders hieß es, Deutschland könne ein Leitmarkt für Wasserstoff werden, so wie es die USA über 50 Jahre im Öl- und Gasbereich waren. Welch ehrgeiziger Vergleich.

Auch wenn derartige Vorstellungen aus heutiger Sicht noch etwas überzogen wirken, zeigen sie doch das Potential von Wasserstoff und die Richtung, in die es derzeit geht. Selbst eine Absage der olympischen Spiele in Peking, wo Japan medienwirksam Brennstoffzellenfahrzeuge in Szene setzten wollte, dürfte dieser Entwicklung keinen Abbruch tun.

Nutzen wir also die aktuelle erzwungene Auszeit, um uns auf eine sauberere Zukunft vorzubereiten.

Ich würde mich sehr freuen, wenn wir Sie dabei auch weiterhin begleiten dürfen, so wie es die HZwei seit mittlerweile zwanzig Jahren tut (s. S. 6 und S. 34). ||

Herzlichst

Sven Geitmann
HZwei Herausgeber

PS: Vielleicht haben Sie es schon bemerkt: Die HZwei sieht jetzt etwas anders aus und fühlt sich auch anders an. Im Sinne von mehr Nachhaltigkeit lassen wir die Hefte ab sofort auf anderem, noch ökologischerem Papier drucken. Wir verwenden zwar ohnehin seit Jahren PEFC-zertifiziertes Material, verzichten fortan aber auf Glanzpapier. Wir verwenden jetzt Papier mit etwas geringerer Grammatur, aber besserer Haptik. Es ist etwas matter, gewährleistet aber trotzdem einen farbkraftigen Druck sowie kontrastreiche Bilder und schon dank weniger Chemie die Umwelt, was hoffentlich auf Ihr Gefallen stößt.

TOTAL NEUE STRUKTUR



Quelle: Total, M. Lautenschläger

Bei der Total Deutschland GmbH ist seit Januar 2020 Jan Petersen für die Mobilität der Zukunft aktiv. Er steht zukünftig einer neuen Unternehmensabteilung vor, die sich sowohl um Ultraschnellladesäulen, aber auch um Wasserstoff und Erdgas kümmern wird. Bruno Daude-Lagrave, Geschäftsführer von Total

Deutschland, erklärte: „Die neue Direktion Mobilität & Neue Energien ermöglicht uns, agil auf den sich verändernden Markt zu reagieren und aktiv zur Emissionsreduktion beizutragen.“ Weiter sagte er: „Unser Ziel bei Total ist vor allem eines: die Energie für die Mobilität der Zukunft bereitstellen. Das kann nur ein Mix verschiedener Technologien sein.“

Petersen ist studierter Physiker und Wirtschaftsingenieur und arbeitete sowohl bei Elf als auch bei Tyczka Totalgaz (beide heute in der Total-Gruppe). Zuletzt war er Direktor Handels- und Verbrauchergeschäft bei Total Deutschland und Geschäftsführer der Total Mineralöl GmbH. ||

SILKE FRANK STARTET MISSION HYDROGEN



Silke Frank, die jahrelang das Gesicht der f-cell war, hat Anfang des Jahres die Peter Sauber Agentur Messen und Kongresse GmbH verlassen. Sie rief am 1. März 2020 die Mission Hydrogen GmbH mit Sitz in Winnenden bei Stuttgart ins Leben. Silke Frank war seit 2003 bei der schwäbischen Veranstaltungsagentur tätig.

Über viele Jahre, in denen sie die Entwicklung des Stuttgarter f-cell-Symposiums entscheidend mitgestaltete, arbeitete sie sich in der Agentur hoch, bis sie zuletzt Handlungsbevollmächtigte des Gründers und Inhabers Peter Sauber war.

Als seine rechte Hand wurde sie bereits als seine Nachfolgerin gehandelt. Aufgrund unterschiedlicher Vorstellungen von der Weiterführung der Firma trennten sich aber zum Jahreswechsel ihre Wege. Peter Sauber erklärte gegenüber HZwei, dies sei „natürlich ein Verlust“, die Weiterführung der f-cell sei davon aber in keiner Weise betroffen. Ende März 2020 verließ allerdings auch Sandra Bilz nach sieben Jahren bei Peter Sauber die Agentur. Die neue Ansprechpartnerin für das Stuttgarter Symposium ist zukünftig Evelyn Hettich.

Silke Frank berichtete diesem Magazin, sie wolle fortan das machen, was sie als gelernte Messe-, Kongress- und Eventmanagerin am besten kann: Networking – und zwar im Wasserstoff- und Brennstoffzellensektor. Einer ihrer Unterstützer ist David Wenger, Geschäftsführer der Wenger Engineering GmbH in Ulm. Er erklärte anlässlich der Firmengründung: „Das Ziel der Mission Hydrogen GmbH ist, die Wasserstoffgesellschaft zu unterstützen, zu fördern und langfristig zu ermöglichen.“ Mission Hydrogen versteht sich selbst als unabhängiger Partner, der mithelfen möchte, die H₂- und BZ-Community besser zu vernetzen und besser zu organisieren. Gemeinsam sollen neue Veranstaltungen ins Leben gerufen und Beratungsdienstleistungen angeboten werden.

Pikanterweise hatten beide Agenturen beabsichtigt, sich jeweils gemeinsam mit wissenschaftlichen Kooperationspartnern aus unterschiedlichen Bundesländern um die Austragung der World Hydrogen Energy Conference 2022 in Deutschland zu bewerben. Da die 23. WHEC jetzt jedoch aufgrund der Corona-Pandemie um zwei Jahre verschoben wurde und nach aktuellem Stand erst vom 26. bis 30. Juni 2022 in Istanbul stattfinden wird, ist derzeit völlig offen, wann die Bundesrepublik wieder einmal Austragungsort sein könnte. ||

HYDROGEN COUNCIL WÄCHST

Der Hydrogen Council ist Anfang des Jahres auf 81 Mitglieder angewachsen und erlangt dadurch weiter an Einfluss. Wie der weltweite Wasserstoffverband Mitte Januar 2020 bekannt gab, traten eine ganze Reihe global tätiger Konzerne ein (Chevron, ElringKlinger, Mann+Hummel, McDermott, Nikola Motor u. a.). Das Steuerungskomitee wuchs um die fünf Neumitglieder CNH Industrial, Michelin, Saudi Aramco, Schaeffler und Siemens. Hinzu kamen zudem unter anderem fünf Firmen aus dem Finanzsektor, die zukünftig eine Investorengruppe bilden.

Benoît Potier, Co-Chair des Councils, sagte: „Wir freuen uns sehr über das anhaltende Interesse weltberühmter >>

SAVE THE DATE!

Erleben Sie spannende Events zum Thema Wasserstoff in den fünf norddeutschen Ländern!

www.woche-des-wasserstoffs.de



DIE WOCHE DES
WASSERSTOFFS
NORD // 6. – 14. JUNI 2020

Initiiert von:



Unternehmen, die das enorme Potenzial von Wasserstoff erkennen und unsere Mission teilen, Wasserstofflösungen zu verbreiten.“ Eui-sun Chung, ebenfalls Co-Chair, ergänzte: „Wir glauben an die Kraft des Wasserstoffs und die Rolle, die er in unserem bestehenden Energiesystem sowie in einem neuen, saubereren System spielen kann.“ Der Hydrogen Council war 2017 mit 13 Institutionen gegründet worden. ||

HZWEI WIRD ZWANZIG



Abb. 1: Erstes HZwei-Cover vom Januar 2006

Seit über zwanzig Jahren informiert das Magazin für Wasserstoff und Brennstoffzellen über die Entwicklung im H₂- und BZ-Sektor. Genau zur Jahrtausendwende rief die SunMedia Verlags GmbH die Zeitschrift aus der Taufe – damals noch unter dem Titel H₂Tec. Nach sechs Jahren trennte sich der Hannoveraner Verlag, der

auch die Zeitschrift Erneuerbare Energien herausbringt, jedoch von dem Fachblatt und übergab die Geschäfte in die Obhut des 2004 in Kremmen gegründeten Hydrogeit Verlags, in dem damals bereits Bücher über Wasserstoff und Brennstoffzellen erschienen waren.

Angefangen hatte alles mit halbjährlich erscheinenden H₂Tec-Heften, die vornehmlich zweifarbig (blau und schwarz) gedruckt wurden und überschaubare 20 oder 24 Seiten umfassten. Wie ein Blick in die archivierten Ausgaben belegt, zählen einige der damaligen Fachautoren auch heute noch zur H₂- und BZ-Branche.

Mit dem Wechsel zur HZwei erhöhte sich die Erscheinungsweise auf quartalsweise und die Seitenzahl auf 32. Das wachsende Interesse an dieser Technologie führte dazu, dass heute durchschnittlich 64 Seiten gedruckt werden. Auf die teils englischsprachigen Zusammenfassungen in der Vorläuferversion verzichtete der Hydrogeit Verlag und verpasste dem Magazin stattdessen ein komplett neues Layout (s. Abb. und Cover-Collage in der Heftmitte S. 34). Seit fünf Jahren erscheint zudem eine englische Ausgabe (H₂-international – the e-journal on hydrogen and fuel cells).

Der Herausgeber und Verlagsgründer Sven Geitmann freute sich anlässlich des Jubiläums: „Im fünfzehnten Jahr des Bestehens ist die HZwei mehr gefragt denn je. Aus diesem Anlass möchte ich mich bei allen bedanken, die dazu beigetragen haben, dass diese Zeitschrift nun schon so lange mit immer wieder neuen, spannenden Themen erscheinen kann.“ Für die nächsten Jahre stellte er in Aussicht, dass „der Hydrogeit Verlag sein Bestes geben wird, um auch weiterhin ein stets kritischer Beobachter und Begleiter der Entwicklung im H₂- und BZ-Sektor zu bleiben“. ||

POSITIVE STIMMUNG

Das Stimmungsbarmeter Automotive hat ergeben, dass sich die überwiegende Mehrheit der Automanager sowohl von den Herstellern als auch von der Politik eine technologieoffenere Unterstützung der Elektromobilität in Deutschland wünscht. Die aktuelle Fokussierung von Industrie und Öffentlichkeit auf die batteriebetriebene Elektromobilität kritisieren mehr als 80 Prozent der befragten Führungskräfte.

Das Marktforschungsinstitut Dynata hatte Anfang 2020 im Auftrag von PwC Strategy& mehr als 200 Manager der deutschen Automobilbranche (Hersteller, Zulieferer, Handel) aus Unternehmen mit mindestens 500.000 Euro Jahresumsatz befragt. Als wichtigste Themenbereiche, die den größten Innovationsdruck entfalten, nannten die Manager Elektromobilität, Brennstoffzellen- und Batterietechnik. Ihr eigenes Unternehmen sehen die meisten recht gut auf die unterschiedlichen Anforderungen vorbereitet, insbesondere im Bereich elektrischer Antriebe. Dennoch bezweifeln knapp zwei Drittel, dass alternative Antriebstechnologien jemals den Verbrennungsmotor vollständig ablösen werden.

PwC-Strategy&-Europa-Chef Peter Gassmann sagte, Deutschland und Europa müssten sich von Produktionsstandorten in Asien emanzipieren und lokale Kompetenzen und Kapazitäten ausbauen. Das könne helfen, „die Konkurrenzfähigkeit der Autobranche als Schlüsselindustrie Deutschlands gegenüber amerikanischen und chinesischen Wettbewerbern“ zu sichern.

In einer weiteren Umfrage, die Kantar Emnid für den Gasnetzbetreiber Open Grid Europe (OGE) durchgeführt hat, kam heraus, dass die öffentliche Meinung durchaus positiv gegenüber Wasserstoff eingestellt ist. So sehen die meisten Bundesbürger Wasserstoff als wichtigen Problemlöser zur Vollendung der Energiewende. Insgesamt 69 Prozent der Befragten sehen Wasserstoff als Zukunftstechnologie und erwarten von ihm einen wichtigen Beitrag für eine erfolgreiche Energiewende. Dementsprechend votierten 76 Prozent für mehr Investitionen sowie eine stärkere Förderung der Technologie durch Politik und Wirtschaft. ||

VISSMANN SCHLIESST HEXIS

Der Heizgerätehersteller Viessmann hat am 19. März 2020 bekanntgegeben, dass die Unternehmenstochter Hexis, die bislang für den Bau der SOFC-Aggregate zuständig war, geschlossen wird. Die Überschrift der entsprechenden Pressemeldung klang zwar harmlos: „Viessmann schlägt neuen Weg bei Zukunftstechnologie ein.“ Der maßgebliche Teil stand jedoch im dritten Absatz: „Die Aktivitäten der Hexis AG werden eingestellt.“

Viessmann sieht sehr wohl, dass „bei der künftigen Energieversorgung von Wohnungen und Häusern das Thema Wasserstoff und die Brennstoffzellentechnologie auf deutscher, aber auch auf europäischer Ebene immer mehr Relevanz“ bekommt. Das Allendorfer Unternehmen, das seit 2014 mit eigenen Geräten auf dem europäischen Markt ist, will auch weiter an dieser Technologie festhalten. Allerdings wolle man sich zukünftig auf das PEM-System von Panasonic, das mit relativ niedrigen Temperaturen insbesondere für den Neubau sowie sanierte Bestandsgebäude geeignet ist und von dem bereits mehr als 290.000



Abb. 1: Galileo-Gerät am IBZ-Stand der Hannover Messe 2015

Exemplare in Japan installiert wurden, konzentrieren.

Demgegenüber hatte das Hochtemperaturmodul (SOFC) von Hexis, das wegen der höheren Temperaturen eher für Bestandsgebäude sowie für höhere Leistungen konzipiert war, stets schlechtere Karten. Die Technik in dem Galileo-Modul funktioniert zwar, ist aber teurer und noch nicht so erprobt. Nach eigener Aussage sind davon bislang mehrere Hundert Geräte in verschiedenen Pilotprojekten eingesetzt worden.

Der Viessmann-Verwaltungsrat beschloss daher, zwar weiterhin beide Technologien (PEM und SOFC) zu verfolgen, sich zukünftig aber auf die Rolle des Systemintegrators zu beschränken. Deswegen suche man nun Industriepartner, von denen die Brennstoffzellentechnik dann eingekauft werden kann. Ziel sei, in deutlich kürzerer Zeit die notwendigen Skaleneffekte zu erreichen.

Für die 40 Hexis-Mitarbeiter (34 in Winterthur, 6 in Konstanz) geht damit eine Ära zu Ende. 1998 gegründet unter dem Mutterkonzern Sulzer war das Schweizer Unternehmen 2006 beinahe pleite, wurde aber gerettet und in zwei Etappen 2012 (zunächst 50 % der An-

teile, s. Foto von der Hannover Messe 2012 auf S. 3) beziehungsweise 2015 von Viessmann übernommen. Zuletzt hieß es noch: „Für das Jahr 2019 entwickelt Hexis die nächste Generation des Brennstoffzellensystems, den Nachfolger von Galileo 1000 N.“ Volker Nerlich, der langjährige Vertriebs-Chef, verließ Hexis bereits im Sommer 2019. Was aus seinen Kollegen wird, ist aktuell offen. Wie ein Viessmann-Sprecher mitteilte, werden sehr intensive Gespräche mit den Mitarbeitern geführt, um individuelle Lösungen zu finden.

Dr. Alexander Schuler, Geschäftsführer der Hexis AG, erklärte gegenüber HZwei: „Wir sind alle sehr traurig, haben als Team aber noch nicht aufgegeben. Die Veröffentlichung kann auch ein Schritt sein, der uns bei der Suche nach neuen Investoren/Industrialisierungspartnern hilft. Wir haben zugesichert bekommen, dass die Infrastruktur sowohl in Winterthur als auch in Konstanz uns noch zwei Monate erhalten bleibt, um die Suche zu ermöglichen. Auch würde Viessmann als erster Kunde/Abnehmer für die Brennstoffzellenmodule bereitstehen. Das Hexis-Team sucht deshalb weiter mit voller Kraft nach möglichen Lösungen.“ ||

MIT HOCHDRUCK DIE ZUKUNFT GESTALTEN.

COMPRESSOR DAY 2020

Fachveranstaltung von und für Experten der Wasserstoffverdichtung

Der COMPRESSOR DAY 2020 ist Treffpunkt für die innovativen Unternehmen der Energiewelt, die Impulse für den erfolgreichen Umbau des Energiesystems suchen. Unter dem Leitmotiv "Solutions for a Changing Energy World" werden die Stärken von Wasserstoff im breiten Anwendungsspektrum bis hin zur Sektorkopplung aufgezeigt.

Programm und Registrierung:
www.eneergy.com/compressor-day-2020

COMPRESSOR DAY 2020
8. Oktober 2020



NEUMAN & ESSER GROUP
www.neuman-esser.com

FORTAN IM JAHRESRHYTHMUS



Der Werdegang der HyVolution erinnert ein bisschen an die Entwicklung des Gemeinschaftsstandes Hydrogen & Fuel Cells auf der Hannover Messe, nur eben 20 Jahre später und in Frankreich: Im September 2013 organisierte Bertrand Chauvet, Präsident von Seiya Consulting, die erste HyVolution in Albi mit einer übersichtlichen Zahl an Ausstellern und Besuchern. Nach einer Zwischenstation 2014 in Grenoble fand die HyVolution 2016 erstmals in Paris statt. Dann übernahm GL Events die Organisation – vorerst im zweijährigen Rhythmus.

Da Wasserstoff inzwischen auch in Frankreich politisch stärker gefördert wird, gestaltete sich die HyVolution 2020 zu einer sehr lebendigen, international erstzunehmenden Messe: Mit über 2.000 Fachbesuchern und 120 Ausstellern war die Messehalle am 4. und 5. Februar täglich gut gefüllt – mit

mehr als doppelt so vielen Gästen wie vor zwei Jahren. Als besonderer Service standen 15 Toyota Mirai vom französischen Wasserstofftaxi-Unternehmen Hype für den Shuttle-Betrieb der Besucher zwischen Metro und Ausstellungsgelände zur Verfügung. Die Nachfrage nach den H₂-Taxis ist derart groß in Paris, dass Hype bewusst keine Werbung für seine App macht, da ohnehin nicht alle Anfragen erfüllt werden können.

Auch wenn die meisten Aussteller aus Frankreich kamen, ebenso wie die Mehrzahl der Besucher, so wird die Pariser H₂-Messe doch immer internationaler. Viele deutsche Unternehmen drängen auf den französischen Markt, und die HyVolution bietet dafür eine ideale Netzwerkplattform. Auch britische, kanadische, belgische oder dänische Aussteller waren vertreten. Die Qualität der Gespräche und Kontakte wurde von den Ausstellern und Besuchern als sehr gut bewertet, auch wenn es für ausländische Unternehmen nicht immer einfach ist, in Frankreich Fuß zu fassen.

Die FCH-JU nutzte die Messe, um einen Info-Day über die kommenden EU-Projektausschreibungen anzubieten. Auch die Hydrogen-Valley-Partnerships aus Frankreich, Spanien, Skandinavien, Schottland, Italien, Griechenland, Portugal und Deutschland wählten die HyVolution als Ort ihrer dritten Plenartreffen. Mit den Espace Ateliers gab es – ähnlich wie auf der Hydrogen + Fuel Cells Europe in Hannover – ein zentrales Podium, auf dem Aussteller ihre Kompetenzen präsentieren konnten. Zudem wurden Gesprächsrunden, die meist auf Französisch, aber mitunter auch auf Englisch stattfanden, für eine TV-Plattform aufgezeichnet (s. Foto). Auch Platz für Business Meetings war vorhanden. Obwohl manches noch etwas unübersichtlich war, ist offensichtlich, dass die Pariser HyVolution, die ab sofort jährlich von GL Events angeboten wird, eine Bereicherung für die europäische H₂- und BZ-Veranstaltungslandschaft ist.

2021 wird die HyVolution am 10. und 11. Februar wieder im Parc Floral vor den Toren von Paris stattfinden. ||

Autorin: Uta Mummert

» WEH® H₂ FÜLLKUPPLUNGEN

Höchste Qualität für maximale Zuverlässigkeit



WEH® TK17 H₂ 70 MPa ENR

H₂ Betankung
SICHER & EINFACH



» www.weh.de

TERMINVERSCHIEBUNGEN

Zahlreiche Veranstaltungen sind im Frühjahr 2020 aufgrund der Gesundheitsrisiken im Rahmen des Corona-Virus verschoben worden. So wird in diesem Jahr keine Hannover Messe stattfinden – erst 2021 wieder. Auch für die Düsseldorfer Energy Storage Europe (ESE) gibt es dieses Jahr keinen Ersatztermin. Die nächste Veranstaltung ist vom 16. bis 18. März 2021. Die Sanitär- und Heizungsmesse SHK in Essen wurde vorerst auf den 1. bis 4. September 2020 verschoben. Da internationale Events ebenfalls von der Corona-Krise betroffen sind, ist auch die f-cell Canada & Hydrogen + Fuel Cells HFC in Vancouver verlegt worden, und zwar zunächst auf den 8. bis 9. Juni 2020.

Die World Hydrogen Energy Conference 2020 (WHEC), die ursprünglich in diesem Jahr in Kopenhagen, Dänemark, stattfinden sollte, war zunächst aufgrund von Meinungsverschiedenheiten des örtlichen Veranstalters mit der IAHE nach Istanbul, Türkei, verlagert worden. Jetzt wurde der Termin aber wegen der Virus-Pandemie um zwei Jahre auf den Zeitraum 26. bis 30. Juni 2022 verschoben.

Aktuelle Veranstaltungstermine finden Sie im HZwei-Kalender auf Seite 62. Sollte es weitere Verlegungen geben, halten wir Sie über unseren Online-Terminkalender www.hzwei.info/termine sowie den kostenlosen, monatlich erscheinenden HZwei-Newsletter www.hzwei.info/newsletter auf dem Laufenden. ||

NEUE GASHEIZGERÄTE SIND „H₂-READY“

Hersteller präparieren sich für reine Wasserstoffnetze

Brennstoffzellenheizgeräte sind inzwischen im Markt angekommen, das sieht auch die Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie GmbH (NOW) so. Es sind zwar noch nicht sonderlich viele Modelle – und diese sind zudem vergleichsweise kostspielig –, aber es werden mehr. Und nach den aktuellen Plänen dürfte die Förderung noch einige Zeit weitergeführt werden. Ein Überblick:



Abb. 1: Präsentation der Sunfire-Home

Die Heizungsindustrie steht bereit, sagt sie. Die in der Initiative Brennstoffzelle (IBZ) zusammengeschlossenen Hersteller arbeiten jedenfalls nach eigener Aussage daran, neue Systeme in den Markt zu bringen.

Ganz aktuell präsentierte die Sunfire Fuel Cell GmbH im Februar 2020 ihr neues Aggregat in Berlin. Dabei setzt das Neubrandenburger Unternehmen explizit auf Flüssiggas als Brennstoff. Da im Aggregat eine Festoxidbrennstoffzelle verbaut ist, die sowohl das im Erdgas enthaltene Methan als auch Propan-

Butan-Mischungen verarbeiten kann, hat das Tochterunternehmen von Sunfire auch seine Vertriebsstrategie auf diesen Energieträger abgestellt. Es kooperiert mit Gasunternehmen, die bereits über bestehende Vertriebsstrukturen für die Belieferung von LPG-Kunden verfügen.

Liquefied Petroleum Gas wird im Hausenergiebereich bereits seit Jahrzehnten vorwiegend dort eingesetzt, wo kein Erdgasanschluss vorhanden ist, also vorwiegend in ländlichen Regionen. Für Flüssiggaslieferanten besteht mit der Sunfire-Home nun die Möglichkeit, beim Wechsel von Öl auf Gas neue Abnehmer zu gewinnen, die zudem mehr Flüssiggas abnehmen als reine Heizungskunden, da in dem Kombigerät nicht nur die Wärme- sondern auch die Stromversorgung über die Brennstoffzelle erfolgt – zumindest teilweise.

Das Festoxidbrennstoffzellensystem, bei dem auch Know-how des früheren Partnerunternehmens Vaillant mit einfließt, soll fortan in Serie produziert werden. Es handelt sich dabei um ein Beistellgerät, das sowohl mit Erdgas als auch in Gebäuden ohne Anschluss an das öffentliche Gasnetz mit Flüssiggas eingesetzt werden kann.

Auch Bosch intensiviert weiter seine Brennstoffzellenaktivitäten – nicht nur im Automobilsektor. Im stationären Bereich ging der Konzern im August 2018 eine strategische Kooperation mit dem Hersteller von Festoxidbrennstoffzellen Ceres Power ein. Ziel dieser Zusammenarbeit sei unter ande-

KONKURRENZ ZUR WÄRMEPUMPE

Stiebel Eltron ist nicht Mitglied in der IBZ. Warum nicht, das illustriert die folgende Passage aus dem Kundenmagazin des Unternehmens, das vornehmlich Wärmepumpen herstellt: Ein Mitarbeiter der Holzmindener Firma berichtet darin: „In einem Gespräch erzählte mir der Bauherr von seinem Vorhaben, und dass er dabei unbedingt erneuerbare Energien nutzen wolle. Er hatte an eine Brennstoffzelle gedacht, aber dann haben ihn die Vorteile einer Wärmepumpenlösung überzeugt.“

rem, in Zukunft auch SOFC-Module mit einer elektrischen Leistung von 10 kW anzubieten, um so in den Kraftwerksbereich vorstoßen zu können. Phil Caldwell, CEO des Unternehmens aus Horsham, Großbritannien, sagte, gemeinsam wolle man „einen neuen Industriestandard für Festoxidbrennstoffzellen für die dezentrale Energieversorgung setzen“.

Demgegenüber hat sich Freudenberg Sealing mit seiner NEX 2400 (ehemals elcore 2400) vom Markt zurückgezogen. Eine Produktion oder ein aktiver Vertrieb dieser Geräte finde in Weinheim nicht mehr statt, hieß es. Nur die Wartungsverträge, die für die neueste Modellgeneration abgeschlossen wurden, werden noch betreut.

HOCHPREISIGES SEGMENT Die Preisgestaltung von Brennstoffzellenheizgeräten obliegt den ausführenden Fachhandwerkern, weshalb meist keine einheitlichen Preise genannt werden können. Die Vitovalor PT2 ist beispielsweise ab 18.773 Euro (Bruttolistenpreis) erhältlich. Hinzu kommen die Kosten für die Installation und 19 Prozent Mehrwertsteuer auf das Gerät sowie den Einbau. Die Installation wird mit 9.300 Euro gefördert. Hinzu kann eine pauschalisierte Auszahlung nach dem Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) kommen.

Zukünftige Anlagenbetreiber müssen somit insgesamt mit einer Investition in Höhe von 20.000 bis 25.000 Euro rechnen – je nach Randbedingungen vor Ort. Dieser Preis ist vergleichbar mit den Kosten für eine Heizungsanlage mit Sole/Wasser-Wärmepumpe. Damit sind BZ-Heizgeräte >>

BEISPIEL: BETRIEB IM NEUBAU

Ein BZ-Heizgerät kann jährlich bis zu 6.200 kWh elektrischer Energie erzeugen. Der Strombedarf in einem Einfamilienhaus liegt durchschnittlich bei 4.200 kWh. Davon können rund 60 Prozent selbst genutzt werden, so dass 2.520 kWh nicht vom Energieversorger eingekauft werden müssen. Bei einem regulären Strompreis von 25 Cent pro kWh spart der Hausbesitzer folglich 630 Euro im Jahr. Zusätzlich können die 1.680 kWh, die nicht verbraucht wurden, ins öffentliche Netz eingespeist werden. Über die Einspeisevergütung verdient der Eigenheimbesitzer dadurch jährlich 84 Euro. Somit stehen pro Jahr 714 Euro auf der Haben-Seite, über 15 Jahre können so 10.710 Euro zusammenkommen. Diese Beispielrechnung berücksichtigt allerdings keinen Stack-Tausch, falls der erforderlich werden sollte.



Abb. 2: H₂-Flaschenbündel in Zusmarshausen
[Quelle: Hörmann Solartechnik]

aktuell vier- bis fünfmal teurer als Gasthermen – trotz nationaler und EU-Fördermaßnahmen. Diese Mehrkosten allein über Energieeinsparung wieder hereinzuholen, ist schwierig.

KOMPLETTE HAUSENERGIEVERSORGUNGSSYSTEME Neben dem Austausch von Altgeräten gegen Modelle mit neuer, effizienterer Technologie ist aktuell auch ein Angebot komplexerer Lösungsansätze zu registrieren. So geht Sunfire perspektivisch davon aus, dass sich zukünftig Quartierslösungen etablieren werden, bei denen es eine Kombination aus Photovoltaikanlagen, Wärmepumpen und größeren Brennstoffzellensystemen geben wird, die nicht mehr einzelne Gebäude, sondern gleich mehrere Wohneinheiten mit Energie versorgen werden.

Außerdem verstärkt derzeit die Home Power Solutions GmbH (HPS) ihre Bemühungen, mit ihren Kombilösungen Eigenheimbesitzer komplett energieautark zu machen. So verkündete das Start-up Mitte Februar 2020, künftig mit der Gasag, dem Berliner Gasversorger, kooperieren zu wollen.

HPS, das seit Anfang 2019 mit ihrem Picea-System auf dem Markt ist (s. HZwei-Heft Apr. 2018), plant jetzt den Markthochlauf. Das Angebot lautet, dass Eigenheimbesitzer selbst erzeugte erneuerbare Energien zwischenspeichern und sich damit das ganze Jahr über selbst versorgen. Dafür werden eine Solarstromanlage mit Laderegler und Wechselrichter, Akkumulatoren, ein Elektrolyseur sowie eine Brennstoffzelle und ein Lüftungsgerät benötigt.

Die von HPS angebotenen Wasserstoffspeicher, bestehend aus Flaschenbündeln mit 300 bar Befülldruck, stammen von Wystrach (s. Abb. 2). Der Speicherhersteller aus Weeze am Niederrhein hatte die Kooperation mit HPS bereits vor einem Jahr anlässlich der Energy Storage Europe in Düsseldorf bekanntgegeben. Wolfgang Wolter, Geschäftsführer Vertrieb bei Wystrach, erklärte damals: „Picea ist ein schönes Beispiel für den ortsfesten Einsatz unserer Speicherlösungen. Mit unseren flexiblen Systemen können wir ganz unterschiedliche Speicherbedarfe decken: von der Kapazität eines Einfamilienhauses über ein Bürogebäude bis zum Kraftwerk.“ Der dazugehörige Elektrolyseur stammt vom neuen Kooperationspartner Enapter.

Eine dieser Anlagen steht in Zusmarshausen. Das Wohngebäude von Ehepaar Hörmann – unweit der eigenen Installationsfirma Hörmann Solartechnik – wurde im Dezember 2018 bezogen und wird das ganze Jahr zu 100 Prozent autark

ausschließlich mit Sonnenenergie versorgt. Ein Anschluss ans öffentliche Stromnetz existiert nicht. Nach Aussage der Firmeninhaberin Rita Hörmann ist die Picea nebst Nebennaggregaten „das erste Energie- und Heizsystem auf dem Markt, welches sich amortisiert und rechnet“. (s. auch Bericht: „Solar-, H₂- und BZ-Technik auf Schwedisch“, S. 58.) Insgesamt, so berichtete ihr Ehemann Markus, investierten die beiden dafür rund 70.000 Euro.

STATIONÄRER H₂-VERBRENNUNGSMOTOR Einen anderen Ansatz wählte das Wissenschaftlich-Technische Zentrum Roßlau (WTZ), das einen neuartigen stationären Wasserstoffmotor, den H₂ DI Zero, entwickelt hat. Hierbei handelt es sich um einen sogenannten Zero-Emission-Kreislaufmotor. Der Name rührt daher, dass ein Teil der eingesetzten Gase im Kreislauf geführt und wiederverwendet wird, so dass außer Wasserdampf keine Abgase entstehen. Anstelle von Luft setzt das Unternehmen aus Sachsen-Anhalt auf Argon. Das Edelgas hat den Vorteil, dass es sich bei der Verbrennung nicht umwandelt, sondern immer wieder verwendet werden kann. Außerdem wird reiner Sauerstoff als Reaktionspartner für Wasserstoff benutzt. Das hat den Vorteil, dass weder Stickstoff noch Kohlenstoff am Verbrennungsprozess beteiligt sind und somit auch weder Kohlenwasserstoffe noch Kohlendioxide oder Stickoxide entstehen können.



Abb. 3: Der H₂ DI Zero vom WTZ [Quelle: WTZ]

MTU IS BACK

MTU Friedrichshafen hatte bereits Anfang des Jahrtausends intensiv an stationären Brennstoffzellen geforscht und verschiedene sogenannte „Hot Modules“ (Schmelzkarbonat-BZ – MCFC) im Rahmen von geförderten Demonstrationsprojekten installiert. Ab 2006 liefen die Geschäfte unter dem Firmennamen Tognum. Die Firmenführung teilte allerdings 2010 mit, dass die Brennstoffzellenaktivitäten zur Weiterentwicklung von stationären Hochtemperatursystemen eingestellt würden (s. HZwei Oktober-Heft 2010). 2011 gründete der Motorenhersteller Rolls-Royce mit Daimler die Engine Holding GmbH, die damals 98 % des Kapitals von Tognum besaß. 2014 übernahm der Rolls-Royce-Konzern die gesamten Anteile von Daimler.

H-GAS STATT L-GAS

Im Westen der Bundesrepublik läuft seit 2015 eine Umstellung des dort bis dato verwendeten L-Gases auf H-Gas. L-Gas steht für low calorific gas und bezeichnet Erdgas mit niedrigerem Brennwert als das H-Gas (high calorific gas). Das weniger energiereiche L-Gas stammt überwiegend aus Quellen in Deutschland und Holland und wurde daher auch überwiegend in dortigen Regionen (z. B. Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz sowie Bremen, aber auch in Sachsen-Anhalt) eingesetzt. Bis 2030 soll überall H-Gas aus Norwegen, Russland und Großbritannien mit höherem Methangehalt eingesetzt werden.

In herkömmlichen H_2 -Verbrennungsmotoren kommt Luft zur Anwendung. Der darin enthaltene Stickstoff (78 Vol.-%) reagiert jedoch bei hohen Temperaturen mit Sauerstoff zu Stickoxiden, die Teil der aktuellen Umweltproblematik sind. Projektleiter Manuel Cech erklärt: „Durch die Verwendung von Argon haben wir einen Wirkungsgrad erzielt, der bislang bei Verbrennungsmotoren nicht möglich war.“

Als Einsatzgebiete schweben den Ingenieuren aus Roßlau stationäre Anwendungen im Megawattbereich vor – nicht die Verwendung in Fahrzeugen. Das Ziel ist eher, den Konkurrenzkampf mit Brennstoffzellen- oder Blockheizkraftwerken aufzunehmen, was mit einem Wirkungsgrad von 50 Prozent durchaus realistisch ist. Potentielle Kunden könnten somit Stadtwerke sein, die bislang auf erdgasbetriebene BHKW setzten, zukünftig aber nachhaltig produzierten Wasserstoff verwenden möchten – z. B. zur Netzharmonisierung.

Cech erläuterte gegenüber HZwei, die Entwicklung dieses 50-kW-Modells sei zunächst ein reines Forschungsthema. Die Arbeiten daran, die mittlerweile seit über drei Jahren laufen, seien nur möglich gewesen, weil die gemeinnützige GmbH über öffentliche Mittel gefördert wird. So ist das WTZ unter anderem Partner in dem Projekt LocalHy, bei dem die dezentrale Wasserelektrolyse mithilfe erneuerbarer Energien zur kombinierten Erzeugung von Wasserstoff und Sauerstoff eingesetzt wird.

STATIONÄRE BZ-SYSTEME VON AUTOHERSTELLERN Ähnlich wie bei der bereits etablierten Kraft-Wärme-Kopplungstechnik, bei der Verbrennungsmotoren aus dem Fahrzeugsektor in stationären Blockheizkraftwerken eingesetzt werden, sollen zukünftig auch Brennstoffzellensysteme, die ursprünglich für den Mobilitätssektor konzipiert wurden, für die Strom- und Wärmeerzeugung vor Ort eingesetzt werden.

Die Mercedes-Benz AG hat beispielsweise Lab1886, ihre Innovationseinheit für neue Geschäftsmodelle, damit beauftragt, gemeinsam mit Rolls-Royce Power Systems unter deren Produktmarke MTU ein (Not-)Stromversorgungssystem auf Basis automobiler Brennstoffzellen zu entwickeln. Bei einem Pilotprojekt, das Anfang 2021 in Betrieb gehen könnte, sollen sowohl Batterie- als auch Brennstoffzellentechnik zum Einsatz kommen.

Potentielle Einsatzgebiete könnten beispielsweise Rechenzentren sein, die mit dem Voranschreiten der Digitalisierung immer größere Mengen an Strom benötigen. Für diese zuverlässig saubere Energie bereitstellen zu können, dürfte in Zukunft immer wichtiger werden. Dr. Martin Teigeler, Entwicklungsleiter bei Rolls-Royce Power Systems, sagte: „Das Prinzip der Brennstoffzelle ist so genial wie einfach, die Technik ist bekannt, aber trotzdem anspruchsvoll in ihrer Anwendung. Jetzt ist sie serienreif und damit bereit für den kommerziellen Markt.“



Abb. 4: Mit Wasserstoff betriebener Generator von Hyundai

Auch Toyota und Hyundai haben diesen Weg eingeschlagen. So zeigte Hyundai während der IAA 2019 ein Konzept, in dem zwei H_2 -betriebene BZ-Systeme, die auch im Nexo verbaut sind, genutzt werden, um Elektroautos aufzuladen (s. Abb. 4). Die Hersteller erhoffen sich über die Miteinbeziehung des stationären Sektors eine Erhöhung der Stückzahlen, wodurch dann die Kosten für BZ-Systeme im mobilen Bereich rasch reduziert werden könnten.

REINES WASSERSTOFFGASNETZ Die Energieversorgung stationärer Systeme erfolgt heute in der Regel über Erdgas. Seit geraumer Zeit wird aber über die Beimischung von Wasserstoff diskutiert und diese auch bereits ausprobiert. Seitens der Heizgerätehersteller gibt es ein Commitment, dass heute bis zu zehn Prozent Wasserstoff für deren Aggregate realisierbar seien. Die nächste Generation der Heizgeräte soll dann bis zu 30 Prozent vertragen. Später, so heißt es, sei auch eine Erhöhung für 100 Prozent möglich. Viessmann sagt, ab circa 2023/2024 sollen alle neuen Gasheizgeräte „ H_2 -ready“ sein.

Timm Kehler, Vorstand Zukunft Erdgas, schlug Ende Januar 2020 während des parlamentarischen Abends des DVGW in Berlin vor, auf Überleitungs- und Verteilnetzebene lieber eine von vier parallel verlaufenden Gasleitungen zu 100 Prozent auf Wasserstoff umzustellen, als bei allen vier Wasserstoff bis zu 25 Prozent des Volumenanteils einzuspeisen. Er verwies dabei auf das H21-Projekt in Leeds, Großbritannien, wo eine 100-prozentige H_2 -Versorgung getestet werden soll. Thorsten Herdan, Abteilungsleiter II Energiepolitik im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, sagte dazu, das nicht mehr benötigte L-Gasnetz könne durchaus für Wasserstoff genutzt werden, aber solch eine Entscheidung werde der Staat nicht vorgeben. Dies müsse der Markt regeln.

Dr. Jörg Bergmann, Sprecher der Geschäftsführung von Open Grid Europe GmbH, erklärte dazu, sein Unternehmen arbeite bereits an der Entwicklung von reinen H_2 -Inselnetzen. Dr. Volkmar Pflug von der Siemens AG ergänzte: „Gasturbinen sind nicht der begrenzende Faktor. Neue Turbinen können bis 20 Prozent im Gasnetz vertragen.“ Weiter kündigte er an, dass neue Anlagen bis 2030 auch für 100 Prozent ausgelegt sein sollen. „Sobald genügend Wasserstoff da ist, werden Turbinen 100-%- H_2 -ready sein“, so der Vizepräsident Energiewirtschaft – zudem seien alte Aggregate mit entsprechender Technik nachrüstbar. ||

„Der Gebäudesektor steht bei der Nationalen Wasserstoffstrategie nicht an erster Stelle.“

Thorsten Herdan aus dem
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

BRENNSTOFFZELLEN-STACKS AUS KÖPENICK

BZ-Blockheizkraftwerk aus China

Abseits des großen Interesses und weitestgehend unauffällig arbeitet die inhouse engineering GmbH mittlerweile seit vielen Jahren an einem Brennstoffzellenheizgerät, das nicht so recht zu den anderen Anbietern passt. Mit 5 kW liegt es nicht nur leistungsmäßig deutlich höher, es ist auch vornehmlich für Gewerbekunden und Mehrfamilienhäuser konzipiert und nicht für Ein- oder Zweifamilienhäuser, wie die Geräte der IBZ-Partner (s. Übersicht S. 14). In der zweiten Jahreshälfte könnte es auf den Markt kommen.



Abb. 1: Erprobung einer dezentralen Energieversorgungseinheit mit Wasserstoff-Brennstoffzelle im Energiepavillon des Chemieparks Bitterfeld-Wolfen [Quelle: inhouse engineering]

Auf die Frage, warum das Gerät immer noch nicht auf dem Markt sei, antwortete Geschäftsführer Christoph Hildebrandt, die Entwicklung habe aus unterschiedlichen Gründen länger gedauert. Unter anderem seien Katalysatoren für den Reformer zeitweise nicht lieferbar gewesen. Außerdem sei das Förderprogramm der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) zunächst nur auf Ein- und Zweifamilienhäuser ausgerichtet gewesen. Erst bei der Nachbesserung seien auch leistungsstärkere Geräte berücksichtigt worden. Darüber hinaus habe sich die Suche nach geeigneten Vertriebspartnern als schwierig erwiesen.

Inzwischen arbeitet das Berliner Unternehmen erfolgreich mit DiLiCo engineering GmbH zusammen. Der Lieferant von Mess- und Steuerungstechnik aus Magdeburg kümmert sich nicht nur um die Weiterentwicklung des Blockheizkraftwerks (BHKW), sondern auch um den Vertrieb in Sachsen-Anhalt.

Bislang installierte inhouse engineering knapp 20 Demonstrationsanlagen, beispielsweise zur Grundlastversorgung eines Schwimmbads in Döbeln oder zur Energieversorgung eines Mehrfamilienhauses in Reichenbach. Ein Gerät steht bei der staatlichen Studienakademie Riesa und

dient dort sowohl zur Grundlastversorgung als auch zur Weiterbildung der StudentInnen im Technikum. Dieses Frühjahr könnte eine weitere Anlage in einem Seniorenheim bei Nürnberg hinzukommen. Betrieben werden können die Geräte mit Erd-, Flüssig- oder Biogas. Zwei laufen mit Wasserstoff. Ausgelegt ist das BHKW für einen Wärmebedarf von mehr als 100.000 kWh/a beziehungsweise von 25.000 kWh/a Strom.

EINER DER WENIGEN DEUTSCHEN STACK-HERSTELLER

Anders als die etwas kleineren BZ-Heizgeräte anderer Anbieter verfügt die inhouse5000+ über keinen eigenen Spitzenlastbrenner und auch über keinen Warmwasserspeicher. Bei Bedarf ist somit der Einbau eines externen Zusatzgeräts (Erdgastherme) notwendig, oder aber das eventuell noch vorhandene Bestandsgerät kann weiter benutzt werden. Der modulare Systemaufbau ermöglicht laut Hildebrandt die „Installation auch an schwer zugänglichen Stellen ohne schwere Maschinen“.

Das Besondere an dem Köpenicker Kleinunternehmen ist, dass es die Brennstoffzellen-Stacks für sein Gerät alle selbst fertigt. Die verschiedenen Komponenten werden von unterschiedlichen Zulieferern teils aus Dänemark eingekauft, ebenso wie der Erdgasreformer, der von WS Reformer kommt. Aktuell erfolgt die Stapelung noch manuell in der Werkstatt in Köpenick, aber noch in diesem Jahr steht ein Umzug an, um zukünftig mehr Raum für eine effizientere Fertigung zu haben.

Zunächst stehe aber die CE-Zertifizierung des BZ-BHKW auf der To-do-Liste, so Hildebrandt. Wenn alles klappt, könnte die Produktion bei dem Kooperationspartner in China mit anschließendem Import der Geräte im zweiten Halbjahr 2020 erfolgen. Dies seien dann zunächst Erdgasysteme. Für die sei eine H₂-Beimischung bis 30 Prozent „kein Problem“, so der Hennigsdorfer. Den Preis für diese Aggregate beziffert der Ingenieur auf rund 60.000 Euro (netto, inkl. Vollwartungsvertrag und Stack-Tausch nach ca. 5 Jahren). Über KfW-Förderung und KWK-Vergütung lassen sich die Gesamtkosten zwar etwa halbieren, eine Amortisierung dauert derzeit aber trotzdem annähernd acht bis neun Jahre. „Mit dem Preis kommen wir aber noch runter“, so Hildebrandt.

Parallel zu diesen Aktivitäten arbeitet das 24 Mitarbeiter beschäftigende Unternehmen seit mittlerweile knapp fünf Jahren an seinem H₂-BHKW. Dies wird aktuell im Rahmen des Hypos-Projekts H₂-Home in Bitterfeld erprobt. Im dortigen sogenannten „Wasserstoff-Dorf“ werden unter anderem auch Rohrleitungen auf die Eignung zum H₂-Transport getestet (H₂-Netz-Projekt, s. HZwei-Heft Jul. 2019). Ein Schwerpunkt der Arbeiten war dort seit 2016 zunächst die Entwicklung dieses Wasserstoff-BHKW. Laut Hildebrandt wurden „alle Ziele erreicht“ (elektr. Wirkungsgrad: ca. 50 %, Gesamtwirkungsgrad: bis 92 % bezogen auf Brennwert bzw. bis 104 % bezogen auf Heizwert).

Aktuell, in der zweiten Stufe des Fördervorhabens, wird der Demonstrator auf dem 12.000 m² großen Testgelände der Mitteldeutschen Netzgesellschaft Gas mbH im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen erprobt. Neben der Entwicklung solch



Abb. 2: PEM-Stacks mit Seitenblechen und Federn zur Verpressung

eines wasserstoffbasierten Wärmeerzeugermoduls inklusive Brennwertnutzung sollen projektübergreifend Schnittstellenprobleme der Wasserstoffnutzung in Gebäuden analysiert und gelöst werden.

Parallel dazu startete im Oktober 2019 das deutsch-französische Kooperationsprojekt LivingH2, bei dem das H₂-BHKW in Gebäudetechnik des neuen Laborgebäudes von Engie/Crigen in Paris integriert werden soll. Zudem geht es um die Erprobung einer neuen, inhomogen mit Katalysator beschichteten MEA. Auch die Realisierbarkeit einer Odorierung von Wasserstoff zur Leckagewarnung wird hierbei untersucht. Beteiligt an diesem internationalen Vorhaben sind auf deutscher Seite neben inhouse engineering das DBI – Gastecnologisches Institut sowie die OTH Regensburg und auf französischer Seite das CEA-Liten sowie ENGIE Lab CRIGEN. ||

AUS S&R WURDE INHOUSE

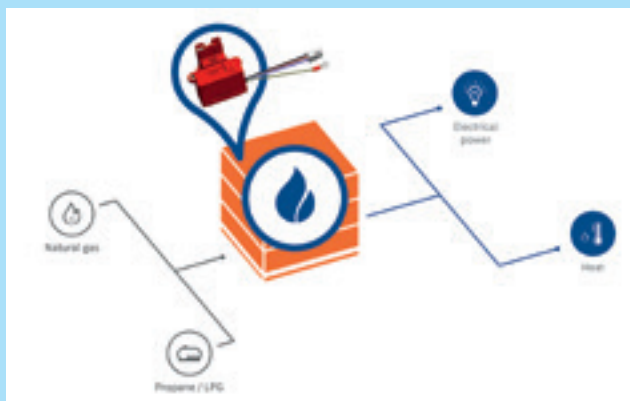
inhouse engineering ist 2008 aus der 1991 gegründeten S&R Schalt- und Regeltechnik GmbH hervorgegangen. Deren Gründer und Geschäftsführer Dr. Jürgen Arnold ist heute noch Gesellschafter von inhouse – trotz Ruhestands. Arnold richtete die Firma damals in Richtung Brennstoffzellentechnik aus, auch wenn S&R sein Geld vornehmlich mit Gebäudeautomation und -leittechnik verdient.

Seit 2017 engagiert sich ein chinesischer Partner bei inhouse engineering. Gemeinsam wurde im April 2018 ein Joint Venture gegründet, das den Bau von Brennstoffzellen-BHKW in China und deren Export nach Europa plant.

13

Advertorial | Autor: PRÜFREX |

ALL-IN-ONE-LÖSUNG FÜR KRAFT-WÄRME-KOPPLUNGSANLAGEN



Der Brennstoffzellenhersteller Sunfire Fuel Cells GmbH (ehem. new energy GmbH) und der Elektronikhersteller PRÜFREX arbeiten zukünftig eng im Bereich der SOFC-Systeme (solid oxid fuel cells) für die neuen Produktreihen „Sunfire Home“ und „Sunfire Remote“ zusammen.

Sunfire Fuel Cells produziert Anlagen zur Erzeugung von umweltfreundlicher, unabhängiger und kosteneffizienter

Energie und entwickelt entsprechende Versorgungslösungen. Diese Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungs-Geräte kommen zum Einsatz in Wohngebäuden und zur Stromversorgung für netzferne Anwendungen. PRÜFREX, ein Elektronikhersteller aus dem fränkischen Cadolzburg, ist Experte auf dem Gebiet der Steuerungs- und Regelungs-Intelligenz von elektronisch angesteuerten Anwendungen. An der Schlüsselstelle des Gerätebetriebes realisiert PRÜFREX ideenstarke elektronische Lösungen.

PRÜFREX bietet Sunfire mit seinem Zündfunkengeber mit integrierter Flammenüberwachung (ZFG) eine geräteübergreifende All-in-One-Lösung. Dies bedeutet, dass das Zünden des zugeführten Erd- oder Flüssiggases und die Überwachung einer stabilen Entflammung mittels Ionenstrommessung in einem Bauelement gebündelt wird und gleichzeitig erfolgt. Eingesetzt wird der Zündfunkengeber in den Produkten „Sunfire-Home 750“, der stromerzeugenden Heizung auf Brennstoffzellenbasis für Einfamilienhaushalte, sowie „Sunfire-Remote“, der stationären Energieversorgung in netzfernen Anwendungen, wie im Öl- und Gasbereich, in der Überwachung und Sicherheit als auch in der Telekommunikation.

ÜBERSICHT BRENNSTOFFZELLENHEIZGERÄTE



HERSTELLER	BUDERUS	SENERTEC	SOLIDPOWER	VISSMANN
MODELL	BLUEGEN BG-0	DACHS 0.8	BLUEGEN BG-15	VITVALOR PT2
BZ-TYP	SOFC	PEMFC	SOFC	PEMFC
BRENNSTOFF	Erdgas, Bioerdgas	Erdgas	Erdgas, Bioerdgas	Erdgas
LEISTUNG (I _{EL} /I _{TH})	1,5/0,6 kW	0,75/1,1 kW	1,5/0,85 kW	0,75/1,1 kW
SPEICHER	extern	Pufferspeicher 300 l	extern	Pufferspeicher 220 l
ELEKTRISCHER WIRKUNGSGRAD	60 %	38 %	55 %	37 %
GESAMTWIRKUNGSGRAD	85 %	92 %	88 %	92 %
ENERGIEEFFIZIENZKLASSE	A+++	A+++	A+++	A++
GESAMTABMESSUNGEN TEILS MIT SPEICHERMODUL (T X B X H)	660 x 600 x 1.100 mm	1.080 x 1.410 x 1.870 mm	800 x 550 x 1.200 mm	595 x 1.200 x 1.800 mm
GEWICHT	195 kg	332 kg (insg.)	250 kg	326 kg (insg.)
FELDTTESTS, KOOPERATIONEN, DEMONSTRATIONSPROJEKTE	ene.field PACE	Callux ene.field PACE	ene.field (EU) PACE	PACE
MARKTEINFÜHRUNG	3. Quartal 2016	Juni 2016	2012	April 2014
EINSATZGEBIET	Kleingewerbe und Wohngebäude	Ein- und Zwei- familienhaus	Wohngebäude und Gewerbebetriebe	Ein- und Zwei- familienhaus
PREIS	31.071 € (inkl. MwSt.)	20.000 € (zzgl. MwSt.)	25.000 € (zzgl. MwSt.)	20.000 bis 25.000 € (inkl. MwSt.)
FÖRDERUNG	bis zu 16.050 €	bis zu 11.100 €	bis zu 16.050 €	bis zu 11.100 €

Quellen: Initiative Brennstoffzelle, Eigenrecherche, ohne Gewähr



REMEHA	SUNFIRE	INHOUSE
ELECTA 300	SUNFIRE-HOME	INHOUSE5000+
PEMFC	SOFC	PEMFC
Erdgas	Erdgas, Flüssiggas	Erdgas, Bioerdgas, Flüssiggas, Wasserstoff
0,75/1,1 kW	0,75/1,25 kW	4,2/7,5 kW
Pufferspeicher 300 l	extern, individuell wählbar	extern, individuell wählbar
38 %	37,7 % (Volllast)	34 % (CH ₄) / 50 % (H ₂)
95 %	90 %	92 %
A++	A++	
1.070 x 1.500 x 1.810 mm	600 x 680 x 1.150 mm	1.160 x 740 x 1.550 mm
350 kg (insg.)	150 kg	380 kg (insg.)
ene.field PACE	Callux ene.field PACE	ene.field
3. Quartal 2016	Januar 2020	2. Halbjahr 2020
Ein- und Zweifamilienhaus	Ein- und Zweifamilienhaus	Mehrfamilienhäuser, Gewerbebetriebe, Hotels, Bürogebäude
23.000 € (zzgl. MwSt.)	23.315 € (inkl. MwSt., LPG-Gerät)	ca. 60.000 € (zzgl. MwSt.)
bis zu 11.100 €	bis zu 11.100 €	bis zu 37.000 €

f-cell Stuttgart Energizing Hydrogen Markets

29.+30. September 2020



Konferenz

Messe

Workshops

Netzwerken



Programmübersicht
auf f-cell.de/program

Nur noch wenige Standplätze verfügbar!
Kontaktieren Sie uns jetzt, um Ihren Standplatz
zu buchen. f-cell@messe-sauber.de

f-cell.de

[#fcell](https://twitter.com/fcell)

[#fcellaward](https://twitter.com/fcellaward)

MINISTERIENGERANGEL UM DIE THEMENHOHEIT

Die Union punktet bei der Industrie – die SPD bei der Bevölkerung

Wer kann das Thema Wasserstoff für sich am besten nutzen? Ein regelrechter Wettbewerb scheint sich seit Ende 2019 unter den Bundesministerien um diese Frage etabliert zu haben. Zwischenzeitlich weitete sich dieser Wettkampf auch auf die Parteienpolitik aus, indem Wasserstoff Bestandteil des Wahlkampfes für die Hamburger Landtagswahl wurde. Aktueller Zwischenstand ist, dass nach einer zeitweisen Themenhoheit der Unionsfraktionen inzwischen die Sozialdemokraten mit ihren Thesen zunehmend besseren Anklang in der Öffentlichkeit finden.

Aus den sechs Seiten des Entwurfs für die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) sind mittlerweile 21 geworden – und die Abstimmung zwischen den politischen Ressorts dauert weitaus länger als ursprünglich geplant. Dies mögen positive Zeichen dafür sein, dass die Bedeutung dieses Themas zwar spät, aber nun doch erkannt wurde.

Ein Grundkonsens ist schon jetzt auszumachen, nämlich dass eine überwiegende Mehrheit der politischen Vertreter die Wasserstofftechnik will und auch gewillt ist, sie zu fördern – aber wie dies im Detail aussehen könnte, darüber wird aktuell noch zwischen den Bundesministerien und auch zwischen den Parteien gestritten.

Dabei sind die Unterschiede in der Herangehensweise mitunter gar nicht so groß. Denn klar ist, dass zukünftig über alle Industriezweige hinweg sehr viel Wasserstoff für die voranschreitende Dekarbonisierung benötigt werden wird. Ob davon dann auch Brennstoffzellenautos zeitnah etwas abbekommen oder nicht, das sind teils nur Scheingegechte, die aktuell geführt werden, da H₂-Pkw von den deutschen Automobilherstellern voraussichtlich ohnehin erst in der nächsten Dekade in nennenswerter Stückzahl produziert werden – wenn überhaupt.

VON QUOTE BIS WASSERSTOFFFRAT Bis jetzt beinhaltet der vieldiskutierte Entwurf der Nationalen Wasserstoffstrategie unter anderem einen Aktionsplan mit fünf Handlungsfeldern, um die Rahmenbedingungen für die Erzeugung und Verwendung von Wasserstoff zu verbessern. Außerdem werden verschiedene Maßnahmen für die unterschiedlichen Entwicklungsphasen vorgeschlagen. So soll bis 2023 der Hochlauf eines funktionierenden Heimatmarkts angestoßen werden. Parallel dazu sollen auch die Forschung und Entwicklung weiter vorangetrieben werden. Ab 2024 soll es dann um die Festigung des entstandenen Heimatmarkts sowie um die Ausgestaltung der europäischen und internationalen Dimension gehen.

Teil der Planung ist auch die Einrichtung eines Nationalen Wasserstoffrates. Dieser soll in einem Ausschuss der Staatssekretäre für Wasserstoff der betroffenen Ressorts noch im ersten Quartal 2020 ins Leben gerufen werden. In ihm sollen insgesamt maximal 13 ausgewiesene nationale und internationale Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft sitzen, die die erklärten Ziele überwachen und die Staatssekretäre beraten und unterstützen sollen, um gegebenenfalls rechtzeitig nachjustieren zu können. Darüber hinaus soll für das operative Geschäft eine Nationale Geschäftsstelle Wasserstoff eingerichtet werden.



Abb. 1: Elisabeth Winkelmeier-Becker

Die Fördermaßnahmen im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) sollen fortgesetzt werden. Für H₂-Fahrzeuge soll es weiterhin Investitionszuschüsse geben (insg. 3,6 Mrd. Euro bis 2023), und zwar für leichte und schwere Lkw/Nutzfahrzeuge, Busse, Züge, Binnen- und Küstenschiffahrt sowie für Pkw in Flottenanwendungen. Die dazugehörige Infrastruktur soll mit 4,5 Mrd. Euro unterstützt werden. Um insbesondere im Lkw-Bereich neue Anreize zugunsten klimaschonender Antriebe zu schaffen, wird über eine europaweite Maut, die sich am CO₂-Ausstoß orientiert, nachgedacht.

Für den Verkehrssektor wird zudem eine zeitnahe Umsetzung der EU-Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) in Aussicht gestellt. Über eine Quote (mind. 20 Prozent bis 2030) soll der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors angehoben werden.

Immer wieder wird darüber hinaus betont, dass die deutsche Bundesregierung ihre EU-Ratspräsidentschaft in der zweiten Jahreshälfte 2020 nutzen will, um „die Entwicklung des Marktes für CO₂-freien Wasserstoff und Nachhaltigkeitsstandards“ und „die Rahmenbedingungen für Sektorenkopplung und die Entwicklung eines EU-Binnenmarktes für Wasserstoff“ voranzubringen. Im Zuge des European Green Deal, der 2019 von der EU-Präsidentin Ursula von der Leyen ausgerufen worden war, will sich die Bundesregierung außerdem für eine beschleunigte Umsetzung der EU-Wasserstoffinitiativen einsetzen.

KEINE ABGABENBEFREIUNG Konkretes Ziel des Konzeptpapiers sei unter anderem, so Elisabeth Winkelmeier-Becker, Parlamentarische Staatssekretärin beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), dass der Staat dort, wo eine Marktnähe besteht oder wo ansonsten Strafzahlungen seitens der EU drohen, unterstützend tätig wird. Hier habe man insbesondere die Petrochemie, den Bahnverkehr, aber auch die energieintensive Industrie im Auge. Auch dort, wo es keine Alternativen für die Dekarbonisierung gibt (z. B. Stahl-, Zement-, Glas- und Chemieindustrie), soll geholfen werden, erklärte Winkelmeier-Becker Ende Januar 2020 während der Lausitzer Energiefachtagung. Weiter erläuterte

sie, dass ähnlich wie heute, wo Deutschland 70 Prozent der Energie importiert, auch zukünftig ein Großteil der Energie aus dem Ausland kommen werde.

Änderungen im Abgabensystem (z. B. Abschaffung der EEG-Umlage für PtG-Anlagen) hatte Bundeswirtschaftsminister Peter Altmaier bereits Anfang 2020 eine Absage erteilt. Das Abgabensystem sei so komplex, dass das „nicht aufgemacht“ werden könne, zitierte Brandenburgs Wirtschaftsminister Jörg Steinbach seinen Kollegen aus dem Bund. Steinbach führte dazu allerdings seine persönliche Meinung an: „Wenn die Abgaben nicht Teil der NWS werden, dann ist die Strategie nicht das Papier wert, auf dem sie gedruckt wird.“

Thorsten Herdan, Abteilungsleiter Energiepolitik im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), stellte aber in Aussicht: „Wenn von stromintensiven Betrieben keine Abgaben auf Strom bezahlt werden müssen, muss es auch eine Befreiung beim Wasserstoff geben. Dafür muss man nichts neu erfinden.“ Ansonsten dämpfte er aber die Hoffnung, dass es in der Nationalen Wasserstoffstrategie Antworten auf alle Fragen gebe. Dem sei nicht so. Stattdessen machte er klar: „Die NWS wird nicht Lösungen auf alles bieten. Die Lösungen müssen wir dann später gemeinsam finden.“

So weit die Marschrichtung des CDU-geführten Bundeswirtschaftsministeriums, von dem der NWS-Entwurf stammt. Das SPD-geführte Bundesumweltministerium geht teils einen anderen Weg. In einem eigenen Papier spricht sich Ministerin Svenja Schulze dafür aus, den Wärmesektor zukünftig nicht in den Blick zu nehmen. Allzu schwer dürfte es ihr allerdings nicht fallen, diese Position durchzusetzen, da auch das BMWi bereits signalisiert hatte, dass der Gebäudesektor bei der Nationalen Wasserstoffstrategie „nicht an erster Stelle“ steht.

Ein weiterer Diskussionspunkt ist der Umfang des anvisierten Zubaus an Elektrolyseurkapazitäten. Dem Bundeswirtschaftsministerium würden bis 2030 anscheinend 5.000 MW ausreichen. Demgegenüber peilen das Bundesumwelt- sowie das -forschungsinstitut 10.000 bis 15.000 MW an.

GRAU, BLAU, TÜRKIS ODER GRÜN Hinsichtlich der Farbe des eingesetzten Wasserstoffs machte Elisabeth Winkelmeier-Becker klar: „Wir werden auf dem Weg zu 100 Prozent grünem Wasserstoff auch blauen verwenden.“ Auch ihr Ministeriumskollege Thorsten Herdan erklärte: „Der Weg zu grün muss über blau gehen. [...] Es kann nicht sein, dass wir die blaue Phase überspringen.“

Herdan verwies dabei auf eine Äußerung der Grünen-Politikerin Ingrid Nestle, die signalisiert hatte, dass ihre Partei solch einem Übergangsszenario zustimmen könnte. Selbst Umweltverbände könnten damit leben, wenn die Norweger das Gas sicher einlagern können. Der Weg, den Japan eingeschlagen habe, komme für Deutschland jedoch nicht in Frage. „Wir wollen nicht mit Phase grau anfangen“, so der Maschinenbau-Ingenieur weiter. Japan kümmere sich nicht um die Farbe des Wasserstoffs. Man wolle vielmehr H₂-Gas, das aus Braunkohle erzeugt wurde, aus Australien >>

„Um jedoch einen zügigen Markthochlauf der Wasserstofftechnologien zur Dekarbonisierung verschiedener Anwendungsbereiche erreichen zu können, wird vor allem aus ökonomischen Gründen auch CO₂-neutraler („blauer“) Wasserstoff eine Rolle spielen müssen.“

NWS-Entwurf

„Grüner Wasserstoff als Endziel.“

Bundeswirtschaftsminister Peter Altmaier



Abb. 2: Thorsten Herdan: „Wir werden erneuerbare Energien in rauen Mengen importieren müssen.“

BLAU – LÖSUNG ODER PROBLEM?



Die Diskussion um die Farbe des Wasserstoffes ist in vollem Gange. Um etwas mehr Transparenz und belegbare Daten in diese Debatte zu bringen, hat Greenpeace Energy Anfang 2020 ein Papier mit Fakten, Hintergründen und Argumenten vorgestellt. Unter dem Titel „Blauer Wasserstoff – Perspektiven und Grenzen eines neuen Technologiepfades“

veröffentlichte der Energieversorger eine 60-seitige Studie. Parallel dazu gab das Hamburger Unternehmen eine 16 Seiten umfassende Broschüre zur Frage „Lösung oder Problem der Energiewende?“ heraus.

Kernaussagen des Papiers sind, dass blauer Wasserstoff „nur teilweise dekarbonisiert“ werden könne, da „selbst bei modernen Anlagen im Durchschnitt 143 g_{CO2}/kWh“ entstünden, bei Nachrüstungen seien es „sogar 218 g_{CO2}/kWh“. Demgegenüber weise „grüner Wasserstoff lediglich 26 g_{CO2}/kWh“ auf – auch wenn bei der Nutzung des aktuellen Strommixes 691 g_{CO2}/kWh anfielen. Für blauen Wasserstoff spreche allerdings der aktuelle Kostenvorteil: Seine Produktion schlägt nur mit 6,3 Cent/kWh zu Buche – bei grünem Wasserstoff sind es derzeit durchschnittlich 16,5 Cent/kWh.

Gegen blauen Wasserstoff sprechen gemäß den Ausführungen des Studienautors Dr. Steffen Bukold jedoch diverse Risiken: schwer kalkulierbare Preise für Erdgas, CO₂, CCS – Widerstände gegen CCS – begrenzte Kapazitäten für CCS. Bukold kommt daher zu dem Schluss, dass blauer Wasserstoff „kein geeignetes Instrument ist, um die deutschen Klimaziele für 2050 zu erreichen“. Greenpeace Energy kritisiert in diesem Zusammenhang, dass blauer Wasserstoff vielfach als „CO₂-frei“ beziehungsweise „CO₂-neutral“ eingestuft werde. Die Studie, so die Herausgeber, belege, dass solche Bezeichnungen irreführend sind.

„Eine Option wäre natürlich, das Kraftwerk zu verkaufen. Allerdings würden wir es lieber behalten und auf einen anderen Brennstoff umrüsten, etwa Erdgas. Das allerdings können wir allein nicht leisten, dabei müsste uns die öffentliche Hand unterstützen.“

Vattenfall-Chef Magnus Hall in *Die Welt*, 15.11.2019

importieren. Hier in Deutschland sei die elementare Frage, wie man es energiepolitisch so anlegen könne, dass man von Phase blau zu Phase grün kommt. „Es darf keine Login-Effekte bei blauem Wasserstoff geben“, so Herdan. Die Rolle der Elektrolyse sei dann zukünftig die eines Bindeglieds – „vielleicht der Ehering“ – zwischen den Strom- und Gasnetzbetreibern.

Seitens des Fernleitungsnetzbetreibers Open Grid Europe hieß es von Alexander Land, Leiter Energiepolitik und Kommunikation: „Blauer Wasserstoff fungiert als Initialmotor, um die Industrie zu dekarbonisieren.“ Noch deutlicher sprach sich Dr. Matthias Deutsch von Agora Energiewende für den Einsatz von Erdgas zur H₂-Herstellung aus. Er vertritt die Meinung, dass „wir Carbon Capture and Storage (CCS) auf jeden Fall brauchen“, um beispielsweise auch die Zementindustrie dekarbonisieren zu können. Da aber momentan keiner diesen Technologiepfad verfolge, sei es für Deutschland wichtig, frühzeitig zu lernen, wie man mit negativen Emissionen umgehen könne.

Demgegenüber kritisierte Werner Diwald, Vorsitzender des Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Vereins: „Blauer Wasserstoff schafft keine Arbeitsplätze in Deutschland.“ Zudem sei jetzt grüner Wasserstoff „gerade für die Akzeptanz wichtig“. Er verwies auf die Gefahr, dass das negative Image von CCS auch das Image von Wasserstoff beschädigen könnte.

INDUSTRIE FIRST Ein fundamentaler Unterschied im Ansatz zwischen den Ministerien ist aktuell noch, dass das BMWi nach wie vor vornehmlich die Wirtschaft im Fokus hat. Herdan erklärte: „Mit der Wasserstoffstrategie machen wir eine Industriestrategie, nicht zuerst eine Energie- und Klimastrategie – die kommen später.“ Als Slogan gab er vor: „Industriestrategie first.“

Beim BMU ist die Herangehensweise anders: Dort wird die NWS sowohl als Industrie- als auch als Klimastrategie verstanden. Hier sollen auch heute schon Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen aufgegriffen werden, nicht erst später. Demgegenüber geht es dem BMWi darum, zunächst gute Bedingungen für die Industrie zu schaffen, um Marktzugang und Kostenreduktion gewährleisten zu können, damit dann später positive Aspekte für Umwelt und Klima erreicht werden können.

Die Grünen verharren auf ihrer Position: „Primat von Electric, da wo ich es nutzen kann. Wasserstoff dort, wo er wirklich benötigt wird.“ Sie haben dabei insbesondere die Chemieindustrie sowie den Nutzfahrzeugsektor im Auge.

Etwas konkreter wurde es im Februar 2020 in Norddeutschland: Kurz vor den Hamburger Landtagswahlen preschte der Erste Bürgermeister Peter Tschentscher voran und verkündete, er wolle dabei mitwirken, dass im dortigen Kohlekraftwerk Moorburg ein Block zukünftig mit Wasserstoff und der andere eventuell mit Erdgas betrieben wird. Dafür könnte eine leistungsstarke Megawatt-Elektrolyseanlage installiert werden.

Ob diese Ankündigung reines Wahlkampfgetöse war, wird sich zeigen. Laut Aussage von Wirtschaftssenator Mi-

chael Westhagemann will der Betreiber Vattenfall schnellstmöglich aus der Kohleverstromung aussteigen, obwohl dieses Steinkohlekraftwerk erst 2015 in Betrieb gegangen ist. Auf jeden Fall gewann die SPD dadurch reichlich mediale Aufmerksamkeit.

In Bezug auf die aktuelle Situation und die teils hitzig geführte Diskussion in der Energieversorgungsbranche kritisierte Herdan deutlich die hohe Erwartungshaltung in Deutschland. Im Ausland werde die Bundesrepublik dafür bewundert, wie zuerst der Atom- und dann der Kohleausstieg angepackt worden seien. Dort werde er immer wieder gefragt: „Wie kriegt Ihr das hin?“ Sobald er jedoch wieder in die Heimat komme, werde hier viel Pech über einem ausgeschüttet. Er bemängelte: „Wir vergessen, was wir alles erreicht haben.“

Gleichzeitig räumte er jedoch offen ein, dass „der Windsektor am Boden“ liege. Hierzu sagte er: „Das ist eine Katastrophe, was da in der Windbranche passiert. [...] Wir müssen das Tempo bei den erneuerbaren Energien wieder anziehen.“

DEBATTE IM KABINETT Wie geht es nun weiter? Die Nationale Wasserstoffstrategie sollte ursprünglich Mitte Dezember 2019 im Kabinett diskutiert und beschlossen werden. Dann war vom ersten Quartal 2020 (18. bzw. 23. März) die Rede. Aufgrund der Corona-Pandemie erfolgte jedoch bis zum Redaktionsschluss immer noch keine einvernehmliche Ressortabstimmung.

Die grobe Richtung dürfte aber dennoch erkennbar sein: (Fast) alle sagen Ja zu Wasserstoff – nur der Weg in eine H₂-Wirtschaft ist noch offen. Thorsten Herdan verwies in diesem Zusammenhang auf das Papier Gas 2030, das das BMWi im Oktober 2019 vorgelegt hatte, und sagte: „Mit der Gasstrategie hat jeder verstanden, dass wir keine All-electric-world haben, sondern auch Moleküle.“ Er machte weiterhin deutlich, dass die gesamte Gaswirtschaft mit ihrer Infrastruktur zur dritten Säule der Energiewende werde, neben den bereits existierenden Säulen erneuerbarer Strom und Effizienz. Hinsichtlich Wasserstoff erklärte er: „H₂ ist ein Teil der Gasstrategie und ein prominenter Teil der dritten Säule.“ ||

PARLAMENTSKEIS SEKTORKOPPLUNG



Andreas Rimkus (s. Foto), verkehrspolitischer Sprecher der SPD-Bundestagsfraktion und erklärter Wasserstoff-Fan, hat Ende 2019 die Neugründung des „Parlamentskreises Sektorkopplung“ bekanntgegeben. Nach eigener Aussage hat er „gemeinsam mit vier hoch geschätzten Kolleginnen und Kollegen aus allen anderen demokratischen Parteien im Bundestag (Mark Helfrich, CDU/CSU; Ralph Lenkert, Die Linke; Dr. Ingrid Nestle, Bündnis 90/Grüne; Prof. Martin Neumann, FDP) diesen Gesprächskreis ins Leben gerufen“. Ziel sei, einen fachlichen Austausch über Fraktionsgrenzen hinweg zu führen. Unter anderem soll diskutiert werden: Wie bringen wir Windstrom vom Windmüller zum E-Autofahrer in die Ladesäule? Wie bekommen wir Industrieprozesse entlang der gesamten Prozesskette klimaneutral? Wie können wir klimaschonend Stahl produzieren? Wie können wir Energie im großen Maßstab speichern?

EIN GREEN DEAL BIETET SICH AN

Kommentar zum Handelsblatt Energie-Gipfel in Berlin

Der Handelsblatt Energie-Gipfel, der vom 20. bis zum 22. Januar 2020 in Berlin stattgefunden hat, kann wie ein Seismograf für die Energiewirtschaft angesehen werden. Was hier diskutiert wird, bewegt die deutschen Energieunternehmen. Gefühlt befassten sich mehr als 80 Prozent aller Vorträge, Beiträge, Talkrunden und Kommentare mehr oder weniger mit dem Themenkomplex Wasserstoff – in all seinen Anwendungen und Perspektiven, als Beitrag gegen den Klimawandel und für eine nachhaltige Energieproduktion.



Abb. 1: Dr. Johannes Teysen [Quelle: Dietmar Gust / Euroforum]

Deutschland kann – im positiven Sinne – der perfekte Front-runner in der Energiepolitik werden. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) war als Einstieg gut, hat sich aber nun überlebt. Jetzt gilt es, eine grüne, moderne Industriepolitik zu betreiben, die auch die Versorgungssicherheit und Bezahlbarkeit von Energie im Auge behalten muss. Der Ausstieg aus der Kohle und der Kernenergie ist abgemacht, aber wo kommt der Strom für die Grundlast her? Haben wir genug Backup-Kapazitäten, so die Fragestellung einer Talkrunde auf dem Kongress. Erdgas (gasförmig und flüssig) wird einen Übergang darstellen. Batteriekapazitäten können ergänzend in einigen Anwendungen als Energiespeicher dienen – mehr aber auch nicht. Deswegen wird Wasserstoff immer interessanter.

E.ON-Chef Johannes Teysen brachte es auf den Punkt: Das EEG muss seiner Meinung nach ganz weg, und nicht nur – wie Wirtschaftsminister Peter Altmaier anbietet – in kleinen Dosen. Für die Gegenfinanzierung schlug Teysen CO₂-Zertifikate vor. Hier werden Beträge von 150 bis 350 Euro pro Tonne genannt – das perfekte Regulativ. Insgesamt müsste der Preis für die Tonne CO₂ erheblich höher liegen,

da dann auch massiv in saubere Energie und Energieeffizienz investiert würde – im Interesse des Klimas. Fossile Energieträger müssten teurer und grüner Strom beziehungsweise Wasserstoff billiger werden, so eine Forderung. Weg mit vielen Formen der Bürokratie und Überregulierung, stattdessen massive Förderung von Innovationen. Veränderungen erfolgen eher auf der Basis von Begeisterung als von apokalyptischen Voraussagen und Ängsten (Friday4Future lässt grüßen). Grüne Energie sollte immer mehr dezentral zum Einsatz kommen, und zwar am besten gleich am Ort der Produktion.

Die Abschaffung hätte die erfreuliche Nebenwirkung, dass die Steuerzahler mehr Geld im Portemonnaie hätten und die Wirtschaft, die Kommunen sowie die Industrie preisgünstigere Energie bekämen, wodurch Anreize geschaffen würden für Investitionen. Viele Bundesländer wollen nämlich loslegen. Die Industrie steht in den Startlöchern, und viele Kommunen sehen für sich große Chancen – auf das Klima bezogen, aber auch was die Schaffung neuer Märkte sowie damit verbundener neuer Arbeitsplätze und letztendlich auch Steuereinnahmen betrifft. Die Politik ist aufgerufen, wesentlich mehr Kapital in die Hand zu nehmen, die Forschung zu fördern, den Übergang von Reallaboren in die Realwirtschaft zu beschleunigen, Markteinführungsprogramme auf den Weg zu bringen und innerhalb der EU gemeinsame Sache zu machen – raus aus dem nationalen Klein-Klein.

Wie sagte ein Teilnehmer? Wir werden von allem alles brauchen. Denn Europa fördert immer weniger Erdgas aus heimischen Quellen und muss immer mehr Erdgas importieren. LNG kann die Lücke eventuell vorübergehend schließen, aber besser geeignet ist Wasserstoff. Power-to-X wird einen immer wichtigeren Beitrag leisten – es geht ja nicht nur um Strom, sondern auch um Wärme, Kälte, Verkehr und die CO₂-Problematik.

Einig war man sich weitgehend darüber, dass die Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnik bei Lkw (90 Prozent der Fahrten sind Langstrecken) eine sehr wichtige Rolle spielen wird, und zwar eine wesentlich wichtigere als die Batterietechnik. Natürlich wird es auch strombasierte Kraftstoffe geben. Es dauert eben nur, bis große Mengen verfügbar sein werden. Deutsche Politik setzt indes zu stark und zu einseitig auf das Thema Elektromobilität (via Batterie). Man sollte dezentrale Kraftwerke fördern, die Kapazitäten an Elektrolyse massiv erweitern und technologieoffener werden.

In vielen Beiträgen ging es um eine immer leistungsfähigere großindustrielle Elektrolyse, die den Wasserstoff – idealerweise via Strom aus regenerativen Quellen – produzieren kann. Man bedenke: Über 90 Prozent der Kosten bei der H₂-Herstellung beruhen auf den Stromkosten. Auf Sicht von zehn bis zwanzig Jahren wird damit gerechnet, dass grüner Wasserstoff günstiger als grauer sein und nur noch 1 bis 2 US-\$ pro Kilogramm kosten wird.

Mein Fazit: Aufbruchstimmung in Sachen regenerativer Energie via Wasserstoff und Einsatz der Brennstoffzelle. Power-to-X auf dem richtigen Wege. Die Politik ist gefordert, jetzt richtig Gas zu geben und mal von den bekannten Mustern abzurücken. ||

H₂-PRODUKTION MITTEN IM MEER

Elektrolyseure auf Plattformen oder Inseln



Abb. 1: H₂-Plattform [Quelle: Tractebel]

Die Idee, Plattformen oder künstliche Inseln bei Windparks zu installieren, um darauf mithilfe von Windstrom Wasserstoff erzeugen zu können, ist nicht neu. Inzwischen mehren sich aber die Beteuerungen, dass man diesen visionären Ideen auch Taten folgen lassen will. So hatte der Klima- und Energieminister von Dänemark, Dan Jørgensen, während der Weltklimakonferenz in Madrid Ende 2019 Pläne seiner Regierung präsentiert, in der Nordsee eine Insel aufschütten zu lassen und dort Elektrolyseure aufzubauen. Im Januar 2020 stellte dann der Ingenieurdienstleister Tractebel ein Konzept für eine H₂-Plattform vor.

Überall im Energiesektor wird derzeit über Wasserstoff diskutiert, allerdings ist nach wie vor offen, wie das Gas hergestellt werden soll, insbesondere wenn es um grünen Wasserstoff geht. Zum einen fehlen aktuell die Elektrolyseurkapazitäten, zum anderen mangelt es an ausreichend Strom, der mithilfe erneuerbarer Energien erzeugt wurde.

Die Produktion großer Elektrolyseure im Megawattbereich könnte demnächst anlaufen, sobald die Politik über die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS – s. S. 16) für ausreichend Planungssicherheit gesorgt hat. Aber wo soll der Ökostrom herkommen, wenn der Zubau weiterer Solarparks und Windkraftanlagen stockt?

Offshore-Windparks – die scheinen die Lösung zu sein, denn auf hoher See ist ausreichend Platz für viele große Windkraftanlagen. Stellt sich nur die Frage, wie der dort gewonnene Strom zum Festland gelangen soll.

Aktuell wird der von den Windrädern erzeugte Wechselstrom zunächst auf speziellen Offshore-Plattformen mit großen Stromwandlern in Gleichstrom umgeformt, weil dieser besser über große Entfernungen von 100 bis 200 km transportiert werden kann. Über lange 320-kV-Unterseekabel wird der Gleichstrom an die Küste geleitet, wo er für die Einspeisung ins öffentliche Netz wieder in Wechselstrom umgewandelt wird. Bei diesen Umwandlungen entstehen zwar Verluste, aber ohne Wandlung wäre es noch ineffizienter, so heißt es. Die Netzanbindung macht bis zu 26 Prozent der Stromgestehungskosten bei Offshore-Wind aus.

Komfortabler könnte der Einsatz von Elektrolyseuren sein, mit deren Hilfe direkt am Ort der Stromerzeugung in industriellem Maßstab H₂-Gas hergestellt

werden könnte. Dieses Gas würde dann gespeichert und per Schiff oder Pipeline vergleichsweise einfach wo auch immer hin transportiert werden. Ob die Elektrolyseure dann auf ehemaligen Ölplattformen, auf neuen H₂-Plattformen oder künstlich aufgeschütteten Inseln stehen, ist dabei zweitrangig und hängt vornehmlich von den Begebenheiten vor Ort ab.

H₂-PLATTFORM VOR DER KÜSTE Ingenieure der Tractebel Engineering GmbH haben in den vergangenen Monaten gemeinsam mit Kollegen der Tractebel Overdick GmbH, beides Tochterunternehmen des französischen Energieversorgers Engie, ein Konzept für eine Hochseeplattform entworfen. Nach Vorstellung der Engineering- und Beratungsdienstleister könnte solch eine Plattform 400 MW an Elektrolyseurleistung beherbergen, so dass bis zu 80.000 m³ Wasserstoff pro Stunde erzeugt werden könnten. Dafür wären pro Stunde 125 m³ Wasser erforderlich, das aus einer vor Ort befindlichen Meerwasserentsalzungsanlage beigesteuert würde. Auf diese Weise könnten rund 230.000 Brennstoffzellenautos mit Kraftstoff versorgt werden. Der Wasserstoff könnte entweder mit Tankschiffen abtransportiert oder durch eine 100-bar-Pipeline an Land befördert werden.

Felix Knicker von Tractebel Engineering und Manuel Manzke von Tractebel Overdick fertigten 2019 eine entsprechende Fallstudie an und präsentierten die Ergebnisse am 21. Januar 2020 beim Wasserstoff-Forum am Tractebel-Hauptgeschäftssitz in Bad Vilbel. In der Studie ging es insbesondere um die Herausforderung, dass sich die Stromproduktion bei erneuerbaren Energien nicht nach dem jeweiligen Bedarf richtet und somit Energiespeicherung und Transport zu-

2018 wurden laut Bundesnetzagentur 5.403 GWh abgeregelt. Davon entfielen mehr als 1.300 GWh auf die Offshore-Windkraft. Die gesamten geschätzten Entschädigungsansprüche der Anlagenbetreiber lagen im Jahr 2018 bei 635 Mio. Euro.



Abb. 2: Dr. Thomas Brandstätt, Vorsitzender Tractebel Engineering, stellte die 400-MW-Elektrolyseplattform vor.

nehmend wichtiger werden. Bislang sei es so, berichteten die beiden Autoren, dass Offshore-Windparks für die maximale Leistung ausgelegt sind. Bei wenig Wind ist dann jedoch das Übertragungssystem, das insbesondere bei großen Entfernungen zu den Onshore-Einspeisepunkten sehr teuer ist, nicht ausgelastet. Zudem ist eine Speicherung nicht möglich.

Eine H₂-Plattform in der Nord- oder Ostsee böte die Vorteile, dass sowohl eine Speicherung realisiert werden könnte als auch eine Kostenreduktion. In-

dem das neue Übertragungssystem effizienter genutzt werden könnte, wäre eine wirtschaftliche Optimierung möglich. Wobei sich aus heutiger Sicht verschiedene Betriebskonzepte anbieten:

Bei einem zweigleisigen Konzept könnte eine H₂-Plattform ergänzend zum bestehenden Übertragungssystem installiert werden, so dass der Windstrom wahlweise per Stromkabel abgeleitet oder aber zur H₂-Erzeugung genutzt werden kann. In diesem Fall bräuchte das Übertragungssystem nicht für die Maximalleistung ausgelegt sein, sondern könnte kleiner dimensioniert werden, wodurch es zu >>

„Die von uns vorgestellte Wasserstoffplattform stellt eine Produktentwicklung da, welche nicht spezifisch für einen Kunden oder ein Konsortium entwickelt wurde. Vielmehr ist es so, dass wir im Markt den zukünftigen Bedarf für eine solche Plattform sehen und uns deswegen schon intensiv mit der technischen und kommerziellen Umsetzbarkeit einer solchen Plattform auseinandergesetzt haben.

Der genannte Zeitraum von fünf Jahren stellt ein optimistisches, aber unserer Ansicht nach dennoch realistisches Szenario dar. Allerdings ist diese Vorhersage von vielen Faktoren beeinflusst, auf die wir selber keinen oder nur geringen Einfluss haben. So ist es im deutschen Raum für eine Plattform dieser Größe sicherlich zwingend notwendig, eine entsprechend ausgewiesene Fläche offshore zu haben, welche dediziert für die Erzeugung von grünem Wasserstoff vorgesehen ist, z. B. durch die Ausweisung von sogenannten ‚Sonstigen Energiegewinnungsbereichen‘ durch das zuständige BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie). [...] Bei den technischen Herausforderungen, z. B. die erforderliche Anzahl an Elektrolyseuren bereitzustellen, sind wir uns hingegen sicher, dass diese in dem Zeitraum vom Markt bedient werden können. So sehen wir aktuell bei der Mehrheit der Anlagenhersteller einen Ausbau der Produktionskapazitäten oder die Ankündigung dessen. [...] Neben dem deutschen Raum gibt es allerdings auch internationale Märkte, für welche die Realisierung einer solchen Plattform interessant ist.“

Felix Knicker, Tractebel Engineering

21

AREVA H₂Gen

We make it happen

SAFETY

Product line from 5 to 200 Nm³/h
All in one platform

RELIABILITY

H₂ INDUSTRY
H₂ ENERGY

PEM ELECTROLYSERS

Today's flexible, cost effective technology

Multi MW Hydrogen production solutions using PEM Electrolysis technology

EFFICIENCY

SIMPLICITY

Kommen Sie uns besuchen, wir freuen uns auf interessante Gespräche mit Ihnen!

www.arevah2gen.com

HANNOVER MESSE

Hannover Messe Halle 27 Stand C53

WindEnergy Hamburg Halle B7 Stand 439



Abb. 3: Prinzipskizze der Windparkanbindung [Quelle: Tractebel]

spürbaren Kosteneinsparungen käme. Insbesondere küstenferne Windparks könnten demgegenüber komplett ohne Netzanbindung realisiert werden, so dass der gesamte Windstrom zu 100 Prozent für die Elektrolyse genutzt würde.

Neben finanziellen Einsparungen bei der Netzanbindung der Offshore-Windparks würden sich auch die Kosten für den Ausbau im Onshore-Übertragungsnetz reduzieren. Darüber hinaus könnten Überkapazitäten und Abregelungen reduziert werden. Auf diese Weise sei eine Effizienzsteigerung der gesamten Windparkanbindung realisierbar, schlussfolgern Knicker und Manzke. Nach ihren Aussagen wäre eine Realisierung innerhalb von fünf Jahren vorstellbar.

„Wir werden 2028 in unserem Stromnetz 100 Prozent erneuerbare Energien haben.“

Dänemarks Energieminister Dan Jørgensen im Spiegel

DÄNEMARK WILL H₂-INSEL AUFSCHÜTTEN Anstelle solch einer gegründeten Plattform, die an klassische Ölbohrinseln erinnert, kommen auch andere Bauformen zur Stationierung von Elektrolyseuren in Frage: So können wahlweise auch sandgefüllte Inseln, Setzkasten-Inseln oder Plattformen auf Schwerkraftbasis verwendet werden.

Dänemarks Klima- und Energieminister Dan Jørgensen berichtete gegenüber dem Spiegel, er favorisiere eine Inselösung. Seinen Ausführungen zufolge könnte solch ein künstlich aufgeschüttetes Eiland mit den entsprechenden Gerätschaften noch vor 2030 in Betrieb gehen. Die Suche nach geeigneten Standorten sowie das Genehmigungsverfahren sollen bis 2021 abgeschlossen sein. Die Kosten für dieses Vorhaben, das bis zu 10 GW Offshore-Windstrom bündeln soll, schätzt er auf 27 bis 40 Mrd. Euro.

Die Idee für solch eine H₂-Insel wurde bereits 2016 von TenneT vorgestellt (s. HZwei-Heft April 2019). Damals ging man noch von einem einzelnen zentralen H₂-Hub aus. Aufgrund neuer Erkenntnisse entwickelte sich das ursprüngliche Konzept dann aber zu einem schrittweisen Ausbau mehrerer, kleinerer Verteilkreuze, von denen jedes einzelne auf die lokalen Gegebenheiten und die Verringerung der Umweltauswirkungen angepasst werden kann. Im Juli 2019 legte der Übertragungsnetzbetreiber im Namen des internationalen Firmenkonsortiums North Sea Wind Power Hub

(NSWPH) dazu eine Machbarkeitsstudie vor, in der die verschiedenen Varianten für Windenergieverteilkreuzen in der Nordsee verglichen wurden.

Wie die Berechnungen zeigten, sind sandgefüllte Inseln am besten für große Kapazitäten von 12 bis 36 Gigawatt geeignet. Ihr Bau würde etwa acht Jahre dauern. Etwas zügiger wären Setzkasten-Inseln realisierbar (drei bis fünf Jahre). Sie kommen dort in Frage, wo eher kleinere Verteilkreuze von rund 6 Gigawatt in Wassertiefen von weniger als 25 Metern geplant sind. Offshore-Plattformen (mit Stahlfundamenten oder einer schwerkraftbasierten Struktur), die ungefähr fünf Jahre bis zur Inbetriebnahme benötigen, können auch in tieferen Gewässern positioniert werden.

Eine reine Wasserstoffnutzung werde allerdings zunächst noch nicht anvisiert. In der Machbarkeitsstudie heißt es dazu: „Das erste Windenergieverteilkreuzprojekt wird voraussichtlich rein elektrisch mit dem landseitigen Netz verbunden und zusätzlich landseitig um eine Strom-in-Gas-Umwandlung (Power-to-Gas) ergänzt werden, um die Flexibilität des Energiesystems zu gewährleisten. Das Projekt könnte in den 2030er-Jahren in Betrieb gehen.“

ENTWURF EINES 100-MW-GIGASTACKS Parallel zum NSWPH-Konsortium, in dem neben TenneT auch der dänische Übertragungsnetzbetreiber Energinet sowie der niederländische Fernleitungsnetzbetreiber Gasunie mitwirken, widmet sich auch das Projekt Gigastack diesem Thema. In dem vornehmlich britischen Vorhaben wirken neben dem dortigen Wirtschaftsministerium auch der Elektrolyseurhersteller ITM Power und das Energieberatungsunternehmen Element Energy sowie der dänische Energiekonzern Ørsted mit. Ihnen geht es zunächst darum, die regulatorischen, kommerziellen und technischen Herausforderungen für solche Anwendungen im industriellen Maßstab zu identifizieren.

Nach der ersten Projektphase, die 2019 abgeschlossen wurde und in der es um den Entwurf eines kostengünstigen modularen 5-MW-Elektrolyse-Stacks ging, geht es jetzt um die Konzeptionierung eines 100-MW-Elektrolysesystems. Diese Anlage könnte dann perspektivisch aus dem 1,4-GW-Windpark Hornsea 2 von Ørsted, der 2022 fertiggestellt sein wird und dann der weltweit größte Offshore-Windpark sein dürfte, gespeist werden. Vom Wirtschaftsministerium Großbritanniens kommen dafür 9 Mio. Euro.

Ørsted gab Ende 2019 zudem bekannt, dass eine 5-GW-Hub auch in der Ostsee vor Bornholm installiert werden soll. Zunächst soll der 1-GW-Windpark Rønne Banke südwestlich der dänischen Insel aufgebaut werden, bevor er dann auf drei bis fünf Gigawatt erweitert wird, um saubere Energie auch nach Schweden, Polen und Deutschland liefern zu können. ||

„Die Erzeugung von regenerativem Wasserstoff mit Offshore-Windenergie hat wirklich das Potenzial, industrielle Prozesse zu dekarbonisieren, und was jetzt erforderlich ist, ist die Erweiterung der Elektrolyseurtechnologie und die Senkung der Kosten. Wir haben dies bei der Offshore-Windenergie gesehen. Die Zusammenarbeit von Industrie und Regierung hat zu einer raschen Einführung und einer enormen Kostensenkung geführt. Dieses Projekt zielt darauf ab, dasselbe mit Wasserstoff zu erreichen.“

Anders Christian Nordstrøm, Ørsted

REGIERUNG MUSS STELSCHRAUBEN LÖSEN

Interview mit Andreas Kuhlmann von der dena-Geschäftsführung

Die Deutsche Energie-Agentur dena sieht sich selbst als „Kompetenzzentrum für Energieeffizienz, erneuerbare Energien und intelligente Energiesysteme“. Als „Agentur für angewandte Energiewende“ soll sie zum Erreichen der energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesregierung beitragen. Bislang ist von der versprochenen Energiewende allerdings noch nicht viel zu sehen. HZwei befragte Andreas Kuhlmann, den Vorsitzenden der dena-Geschäftsführung, wie es beim Windkraftdeckel, beim Energieimport und mit der Nationalen Wasserstoffstrategie weitergeht.



Abb. 1: Andreas Kuhlmann [Quelle: dena]

HZwei: Sehr geehrter Herr Kuhlmann, Sie sind seit Juli 2015 Vorsitzender der dena-Geschäftsführung. Im Energiesektor bewegt sich zwar aktuell so einiges, aber in puncto Energiewende kommen wir immer noch nicht so richtig voran. Wie sieht Ihre Zwischenbilanz aus?

Kuhlmann: Es ist schon spektakulär, wie sich die Dinge in den letzten Jahren weiterentwickelt haben. Heute ist viel mehr Druck in der Debatte und mehr Entschlossenheit in der Politik. Das liegt natürlich daran, dass die Gesellschaft insgesamt bessere Ergebnisse einfordert. Es liegt aber auch daran, dass mehr und mehr Unternehmen erkennen, welche Chancen mit dieser großen Transformation verbunden sind. Neue Geschäftsmodelle entstehen, ganze Branchen sind im Umbruch. Das ist kompliziert in der Gestaltung, aber es ist eben auch unumkehrbar und voller Chancen.

Bei der dena haben wir uns seit 2015 vor allem auf die hohe Veränderungsdynamik von Energiewende und Klimaschutz konzentriert. Und dabei vor allem auf Innovationen und eine sektorübergreifende integrierte Betrachtung gesetzt. Das zeigt Wirkung, und darauf sind wir auch ein bisschen stolz.

Aber wir haben auch noch viele Herausforderungen vor uns: Zum Beispiel sehen wir jetzt, dass mit der zweiten Phase der Energiewende der dringend benötigte Zubau der erneuerbaren Energien ins Stocken gerät. Dies ist eine Entwicklung, die nicht hinnehmbar ist. In der dena-Leitstudie haben wir herausgearbeitet, wie hoch der Bedarf an grünem Strom ist, wenn der direkte oder indirekte Stromverbrauch weiter steigt. Hinzu kommt, dass rund 52 GW an Kapazitäten aus Erneuerbaren bis 2030 aus der EEG-Vergütung fallen. Wir laufen Gefahr, dringend benötigte Kapazitäten zu verlieren, wenn die Anlagen nicht über Modelle wie PPAs (Power Purchase Agreement = langfristiger Stromliefervertrag) in der Vermarktung gehalten werden. Dies gilt vor allem für Wind-Onshore, aber auch für Photovoltaik-Freiflächenanlagen und die Bioenergie.

HZwei: Ein zentraler Punkt ist aktuell der Ausbaudeckel auf der Windkraft. Wie ist Ihre Meinung dazu? Sollte der Deckel weg?

Kuhlmann: Der „Deckel“ für die Windenergie auf See lässt sich heute nicht mehr sachlich begründen. Das Ausbaziel sollte deshalb heraufgesetzt werden. Erstens stammt der Deckel aus einer Zeit, in der das Kostensenkungspotenzial des Ausbaus der Windenergie auf See zu zurückhaltend eingeschätzt wurde. Seitdem sind Kostensenkung und Technologieentwicklung bei Offshore-Strom rasant vorangeschritten. Zweitens wird der Strom, den diese Windkraftanlagen zukünftig erzeugen, dringend benötigt. Wir haben durch den Koalitionsvertrag ambitionierte politische Ziele für den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung. In 2030 sollen 65 Prozent der Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren stammen. Gleichzeitig deutet sich an, dass wir bei Windkraft an Land nicht so schnell vorankommen, wie notwendig und politisch beabsichtigt. Drittens gibt es eine wachsende Nachfrage aus den Sektoren Mobilität, Industrie und Gebäude nach erneuerbarem Strom.

Deshalb sollte auch der Wind an Land den jährlichen Ausbaupfad, den die Bundesregierung für diese Technologie vorsieht, kurzfristig wieder erreichen. Die Stromerzeugungsmengen, die uns bei Wind onshore derzeit entgehen, werden schon jetzt dringend gebraucht. Die Bundesregierung und die Länder sollten auch hier dringend die Stellschrauben lösen, die den Ausbau bremsen. Insbesondere bei den Abstandsregelungen scheint sich jetzt ja eine verträgliche Lösung anzubahnen. Gleichzeitig sind es aber auch die langwierigen Genehmigungsverfahren, die es derzeit schwer machen, neue Kapazitäten in den Markt zu bringen. >>

23

Der digitale Sommer
der Energiewende

2020
Berliner **ENERGIETAGE**
Energiewende in Deutschland

ab Mai auf
WWW.ENERGIETAGE.DE

HZwei: Wie ist denn die aktuelle Tendenz? Wird der Deckel demnächst verschwinden?

Kuhlmann: Davon gehen wir aus. Die Bundesregierung hatte bereits bei der Vorlage des Klimaschutzprogramms 2030 mit Blick auf das 65-Prozent-Ziel angekündigt, das Ausbauziel für das Jahr 2030 von 15 auf 20 GW anzuheben. Das ist ein wichtiger Schritt, dem jetzt die regulatorische Umsetzung folgen muss. Wichtig ist außerdem, dass sich die Politik ab sofort mit dem nächsten Ziel für den Ausbau von Wind auf See intensiv auseinandersetzt – also den Zielen für 2050. Wir dürfen nicht vergessen, dass es bei Wind offshore lange Planungszeiträume gibt. Unternehmen brauchen jetzt Planungssicherheit – auch aus einer industriepolitischen Perspektive.

Die Bundesregierung muss klare Signale für den weiteren Offshore-Ausbau in Deutschland setzen, das wird unter anderem an einer Studie des WWEA deutlich. Die Untersuchung zeigt, dass aufgrund des hiesigen engen Entwicklungskorridors im Jahr 2050 von den 450 GW in Europa in Deutschland nur Parks mit einer Kapazität von 26 GW realisiert sein werden. Dem stehen 80 GW in Großbritannien und 60 GW in den Niederlanden gegenüber. Das verdeutlicht: Deutschland entkoppelt sich immer mehr von einer der zentralen Zukunftstechnologien. Hier muss die Bundespolitik Perspektiven schaffen, damit wir gemeinsam mit den Nachbarn den Ausbau als europäisches Gemeinschaftsprojekt vorantreiben können.

HZwei: Was sollte denn Ihrer Meinung nach mit dem hier vor Ort produzierten Strom aus erneuerbaren Energien passieren, wenn er nicht direkt genutzt werden kann?

Kuhlmann: Wie gesagt ist die Nachfrage seitens der potenziellen Verbraucher bereits groß. Gleichzeitig gibt es derzeit eine intensive Diskussion über die Verwendung des Offshore-Stroms für die Herstellung von Wasserstoff, zum Beispiel für industrielle Anwendungen. Das hängt auch mit den niedrigen Preisen für Offshore-Strom und den hohen Volllaststunden der Technologie zusammen. Es ist sicher sinnvoll, den Strom vor allem für die Anwendungen oder Sektoren einzusetzen, die anders gar nicht oder nur sehr schwer dekarbonisiert werden können. Aber wir sollten nicht grundsätzlich bestimmte Sektoren ausschließen. Der weltweit größte Offshore-PPA-Deal zwischen Oersted und dem Chemieunternehmen Covestro in Deutschland hat ja zum Beispiel gerade gezeigt, wie hoch der Bedarf einzelner Industrien an kostengünstigem, grünem Strom ist.

Auch mit Blick auf die Erzeugung von grünem Wasserstoff können PPAs eine hohe Relevanz bekommen. Insbesondere wenn es darum geht, die von der EU-Kommission ins Spiel gebrachte „Zusätzlichkeit der Erzeugung“ im Kontext der Anrechnung von Treibhausgasminderungsquoten zu erbringen. Unsere kürzlich veröffentlichte Analyse zeigt, dass die Industrie im direkten Vergleich eines alternativen Graustrombezugs nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch profitieren könnte. Dies gilt insbesondere dann, wenn Abgaben, Umlagen und Kompensationen umgestaltet würden.

HZwei: Sind Sie denn auch der Meinung, dass wir den Großteil der benötigten Energie zukünftig weiter importieren sollten – beispielsweise in Form von Wasserstoff aus Nordafrika – und dass der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien hier im Land überflüssig ist?

Kuhlmann: Deutschland bezieht derzeit circa 70 Prozent seiner Primärenergie aus Importen, darunter vor allem Mineralöl, Steinkohle und Erdgas. Für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende müssen diese fossilen Energieträger durch

erneuerbare Energieträger ersetzt werden. Mit steigendem Transportweg steigt jedoch auch der dafür notwendige technische und energetische Aufwand. Daher ist der Ausbau der erneuerbaren Energien hierzulande gegenüber dem Import zu bevorzugen. Die Ergebnisse der dena-Leitstudie haben gezeigt, dass ein großflächiger Ausbau der Erneuerbaren die Importabhängigkeitsrate von heute 70 Prozent auf unter 50 Prozent senken kann. Zu diesem Schluss kommen alle unsere Szenarien. Diese Zahlen verdeutlichen aber auch, dass wir nicht ganz ohne Importe auskommen werden: Bei voller Ausschöpfung der Kapazitäten an hiesigen erneuerbaren Energien wird mehr als die Hälfte der benötigten Energie aus heimischer Produktion kommen.

Um die Versorgungslücke zu schließen, kommt auf erneuerbarem Strom basierender Wasserstoff ins Spiel. Dieser kann im Gegensatz zu erneuerbarem Strom per Pipeline günstig über weite Strecken transportiert werden und macht somit den internationalen Handel mit erneuerbarer Energie möglich. Es wird also zukünftig auf einen Mix aus importierter und in Deutschland erzeugter Energie hinauslaufen, so wie es bereits heute der Fall ist. Wichtig ist uns eine Diversifizierung der Energiequellen, keine Energieautarkie.

Wir müssen aber auch unter diesen Vorzeichen darauf achten, dass der Ausbau erneuerbarer Energien nicht zur Achillesverse der Energiewende wird. Wie groß der zukünftige Strombedarf aus Erneuerbaren ist, wird auch deutlich, wenn Sie sich einzelne Industriezweige ansehen: Die jüngste Studie des Verbands der Chemischen Industrie (VCI) geht insgesamt von 628 TWh bis zum Jahr 2050 aus. Dies ist ein enormer Bedarf, der über dem gesamten derzeitigen Stromverbrauch Deutschlands liegt.

HZwei: Bislang war es nicht so, dass die dena als Wasserstoffbefürworter aufgefallen wäre. Ändert sich hier vielleicht gerade – angeregt durch die aktuelle Diskussion – die Herangehensweise?

Kuhlmann: Die dena unterstützt mit der Strategieplattform Power to Gas bereits seit 2011 die Marktentwicklung von grünem Wasserstoff. Gemeinsam mit den Akteuren aus Wirtschaft, Industrie, Wissenschaft und Verbänden haben wir den Diskussionsprozess mit der Politik und der Gesellschaft gefördert und die aktuellen Fortschritte mit angeregt. Bereits 2017 haben wir unsere Roadmap Power to Gas veröffentlicht, die aufzeigt, in welchen Anwendungen sich kurz-, mittel- und langfristig Märkte entwickeln können. Die Roadmap zeigt Potenziale zur Erzeugung von grünem Wasserstoff auf, stellt aber auch die zahlreichen Hemmnisse für Power-to-Gas-Technologien dar.

Auch die dena E-Fuels-Studie und die dena-Leitstudie haben die wichtige Rolle von grünem Wasserstoff in einem integrierten Energiesystem herausgearbeitet. In der aktuellen Diskussion sehen wir uns als Berater und Moderator insbesondere an der Schnittstelle zwischen Politik und Wirtschaft. Grundsätzlich ist es aber nicht Ziel der dena, einzelne Energieträger zu forcieren. Uns geht es darum, im Sinne einer integrierten Energiewende die Ziele möglichst kosteneffizient zu erreichen und auch bereits existierende Lösungsansätze zu nutzen. Gleichzeitig wollen wir die notwendigen Rahmenbedingungen für innovative, neue Technologien vordenenken.

HZwei: Die dena hat bereits Ende 2017 eine Studie gemeinsam mit dem Verband der Automobilindustrie (VDA) herausgebracht, in der es heißt: „E-Fuels sind notwendig, um EU-Klimaschutzziele des Verkehrssektors zu erreichen.“ Gilt dies für Sie auch heute noch?

Kuhlmann: Die Aussage hielten wir damals, auf Basis einer fachlichen Analyse, für richtig. Auch heute gilt sie noch gleichermaßen – selbst, wenn wir den Verkehrssektor sehr schnell

direkt elektrifizieren. Wir werden zukünftig strombasierte Energieträger mit einer hohen Energiedichte benötigen, um die Klimaziele zu erreichen – gerade mit Blick auf das europäische bzw. internationale Umfeld. Der Unterschied zu damals ist: Heute unterstützen noch mehr Akteure diese Aussage.

HZwei: Der Vorwurf an die Synfuels ist ja, dass sie die Laufzeit der Verbrenner verlängern und dadurch den Wechsel zur Elektromobilität verzögern. Was entgegnen Sie auf solche Kritik?

Kuhlmann: Wir definieren E-Fuels oder Powerfuels als Energieträger oder Grundstoffe, die auf Basis von erneuerbarem Strom produziert werden. Das heißt, Wasserstoff ist Teil der Powerfuels und Ausgangsbasis für alle weiteren Energieträger. Wichtig ist uns, nicht dogmatisch zu denken, sondern zu sehen, wie sich die Marktentwicklung von Powerfuels als Teil einer globalen Energiewende forcieren lässt. Es sollte ein Level Playing Field für verschiedene Technologieoptionen geben, mit der Maßgabe einer vergleichbaren Treibhausgas-minderung. Unter dieser Maßgabe stehen elektrifizierte Antriebe auch im Wettbewerb mit Verbrennern. Dabei kann es aber nicht allein um einen Status quo gehen, der die Kosten von fossilen Energieträgern denen von erneuerbaren gegenüberstellt. Wichtig ist auch, die verschiedenen erneuerbaren Optionen miteinander zu vergleichen. Wenn die Elektromobilität hier die kostenoptimierte Option ist, wird sie sich auch zukünftig weiter durchsetzen.

HZwei: Was sollte Ihrer Meinung nach geschehen, damit die Energiewende gelingen kann?


Kuhlmann: Die kommenden Wochen und Monate sind eine Zeit der Entscheidungen: Ich und meine Kolleginnen und Kollegen bei der dena hoffen, dass die Politik schnell alle notwendigen Entscheidungen trifft, den „gordischen Knoten“ durchtrennt und eine klare Perspektive für die integrierte Energiewende beziehungsweise die Transformation aller Sektoren entwickelt. Dabei geht es um die Umsetzung des im Klimaschutzprogramm bereits beschlossenen Maßnahmen sowie zusätzliche Anpassungen aufgrund der Zielverschärfungen durch den Green Deal. Schließlich hat die Erhöhung der Klimaziele durch die EU erhebliche Auswirkungen auf die deutsche Klimapolitik.

Doch bei all den notwendigen Diskussionen dürfen wir nicht vergessen, unsere Kräfte auf die tatsächlichen Zukunftsaufgaben auszurichten. Letztlich geht es um ganz praktische Dinge. Es geht um echtes Handeln in der echten Welt. Wenn wir das erreichen, was wir uns vorgenommen haben, werden wir einen zentralen Beitrag zur Zukunftsfähigkeit Deutschlands und Europas leisten.

HZwei: Welche Hoffnung verbinden Sie mit der Nationalen Wasserstoffstrategie?

Kuhlmann: Der mit dem Entwurf der Nationalen Wasserstoffstrategie vorgeschlagene Ausbau von Wasserstoffkapazitäten ist ein Anfang. Aus einer industriepolitischen Perspektive trägt dieses Ziel zum Markthochlauf in Deutschland bei. Er hilft, Innovationen zu entwickeln und Deutschlands technologische Spitzenposition zu sichern – und weiter auszubauen. Allerdings werden die genannten Ausbauziele mit Blick auf unsere Klimaziele nicht reichen. Bei der Umsetzung der Wasserstoffstrategie muss auf die Ausbauziele ein besonderes Augenmerk gelegt und entsprechende Instrumente und weitere Maßnahmen entwickelt werden. Hieran müssen Politik und Stakeholder gemeinsam arbeiten. ||

HZwei: Herr Kuhlmann, herzlichen Dank!



Von uns
erfunden.
Mit Ihnen
gemeinsam
neu definiert.

Wir haben die Kategorie der Ionenaustauschmembranen erfunden. Jetzt revolutionieren wir die Brennstoffzelle. Dank der Nafion™ Ionenaustauschmembranen und Dispersionen steigern Sie Produktivität und Leistungsfähigkeit der aktuellsten Designs durch maßgeschneiderte Lösungen.

Die Zukunft kann beginnen. Sind Sie dabei?

nafion.com



SOLID HYDROGEN CARRIERS ALS H₂-SPEICHER

Fortschrittliche Metallhydrid-Verbundwerkstoffe

Am Metallhydrid-Technologie-Zentrum des Fraunhofer-Instituts für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung IFAM werden Verbundwerkstoffe entwickelt, die erhebliche Vorteile gegenüber klassischen Metallhydridspeichern auf Pulver- oder Granulatbasis aufweisen. Mit aktivem Wärmemanagement und Füllstandsensoren ausgestattet, können moderne Hydridspeicher sehr dynamisch betrieben werden, so dass Be- und Entladungen innerhalb weniger Minuten technisch realisierbar sind.

Die Umsetzung eines wasserstoffbasierten Energiekreislaufs erfordert vielfältige Technologien zur Speicherung und Verteilung von Wasserstoff. Im Gegensatz zu Druckgas- oder Flüssig-Wasserstoffspeichern stellen Metallhydride als H₂-Feststoffspeichermaterialien, auch Solid Hydrogen Carriers (SHC) genannt, eine ökonomisch vielversprechende Option dar, Wasserstoff

- mit höchster Reinheit (7.0),
- unter niedrigem Betriebsdruck (2 bis 40 bar),
- auf engem Raum (bis zu 0,15 kg_{H₂}/dm³;
im Vgl. zu 0,04 kg_{H₂}/dm³ für H₂ unter 700 bar) und
- ohne Abdampfverluste

sicher zu speichern (1) [GUP16].

In SHC ist Wasserstoff chemisch an ein solides Trägermaterial gebunden, so dass bei Leckagen des Speichers der gebundene Wasserstoff nicht schlagartig, sondern nur sehr langsam austritt. Damit ist eine sehr hohe Systemsicherheit von SHC-Speichern gegeben.

Wegen dieses Vorteils werden Metallhydride bereits seit einigen Jahren industriell für die Speicherung von Wasserstoff eingesetzt, beispielsweise in U-Booten, für stationäre Energiesysteme oder für portable brennstoffzellenbetriebene Elektronik. Neben der Anwendung als Wasserstoffspeicher können Metallhydride auch für vibrationsfreie thermochemische H₂-Kompressoren, für thermochemische Wärmepumpen, zur Trennung der Isotope H₂ und D₂ (Deuterium) oder als selektive und reversible H₂-Getter aus Gasgemischen verwendet werden.

Am Fraunhofer IFAM werden aktuell im Rahmen mehrerer anwendungsnaher Technologieprojekte Metallhydridwerkstoffe und -tanksysteme hinsichtlich höherer Speicherdichte, Langzeitstabilität, Zuverlässigkeit und vor allem günstiger Material- und Fertigungskosten weiterentwickelt. Ihre zuverlässige Herstellung

und Verarbeitung in industriellem Maßstab bilden einen Schwerpunkt. Im Gegensatz zu klassischen Metallhydridspeichern, wo das Material noch häufig als Block, Granulat oder lose Pulverschüttung mit hoher Porosität eingesetzt wird, werden am Fraunhofer IFAM fortschrittliche Verbundwerkstoff-Lösungen entwickelt, die neben einem verdichteten metallhydridbildenden Legierungspulver auch aus formstabilisierenden und hochwärmeleitfähigen Zweitphasen (Graphite, Polymere etc.) bestehen. Diese Verbundwerkstoffe sind dauerhaft formstabil und damit alterungsbeständig, was den Weg für die breite technische Nutzung auf industriellem Maßstab ebnet. Außerdem lassen sie sich deutlich einfacher mittels Sensorik überwachen, um den Füllstand oder Alterungseffekte zu erkennen.

METALLHYDRIDE ALS SOLID HYDROGEN CARRIERS (SHC)

Die Bildung eines Metallhydrids ist eine mehrstufige chemische Reaktion zwischen gasförmigem Wasserstoff und einer Metalllegierung, bei der eine Wärmemenge – je nach Art der Legierung – von einigen zehn Kilojoule pro Mol Wasserstoff freigesetzt wird. Umgekehrt ist die Dehydrierung (Wasserstofffreisetzung) eine endotherme Reaktion, bei der die Wärme verbraucht wird. Für die Anwendung von Metallhydriden in Brennstoffzellensystemen bedeutet das, dass die Brennstoffzellenabwärme für die Wasserstofffreisetzung sinnvoll genutzt werden kann. Kühlkreisläufe können entsprechend kleiner dimensioniert werden. Bei der Einlagerung des Wasserstoffs in das Gitter der hydridbildenden Legierung kommt es außerdem zu einer leichten Volumenzunahme des Materials, die technisch berücksichtigt werden muss.

Metallhydridspeicher sind heutzutage mit Kapazitäten von einigen wenigen Normlitern (tragbare Kartuschen) bis zu mehreren hundert Normkubikmetern (stationäre Speicher) verfügbar. Klassische Tanksysteme sind modular aufgebaut und bestehen im Allgemeinen aus einem oder auch mehreren gekoppelten Druckbehältern, in deren Innerem das Speichermaterial untergebracht ist. Die hydridbildende Legierung liegt klassischerweise als Block,

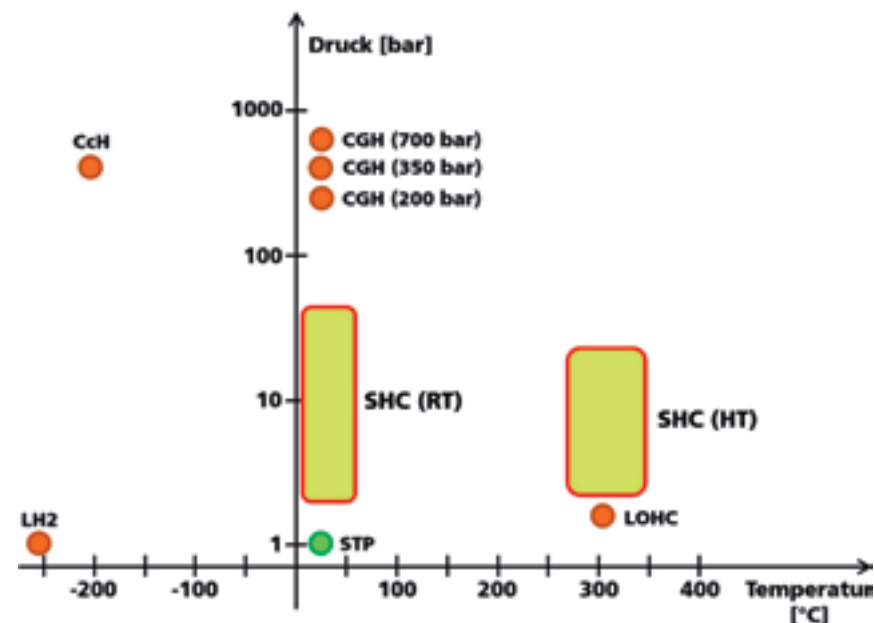


Abb. 1: H₂-Speichertechnologien im Vergleich [CcH: Kryo-Druck-H₂; CGH: Druck-H₂; LH₂: Flüssig-H₂; SHC: Solid Hydrogen Carriers; LOHC: Liquid Organic Hydrogen Carriers; STP: Standard-Temperatur und -Druck; RT: Raum-Temperatur; HT: Hoch-Temperatur]

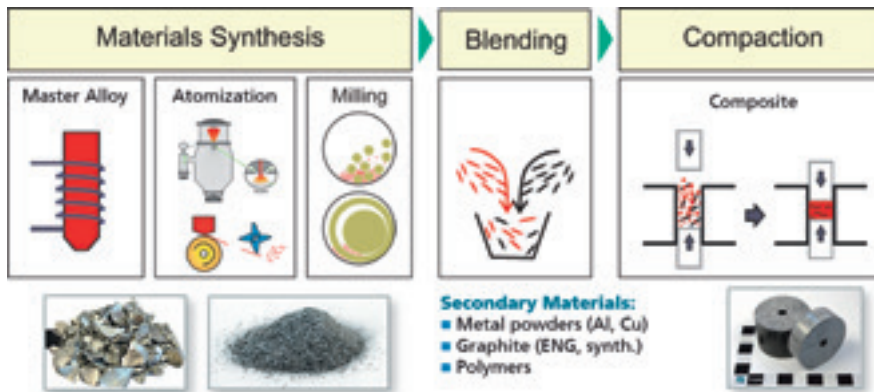


Abb. 2: Schematische Darstellung der Fertigung von Verbundwerkstoffen aus einer hydridbildenden Hauptphase und stabilisierender, hochwärmeleitfähiger Zweitphasen

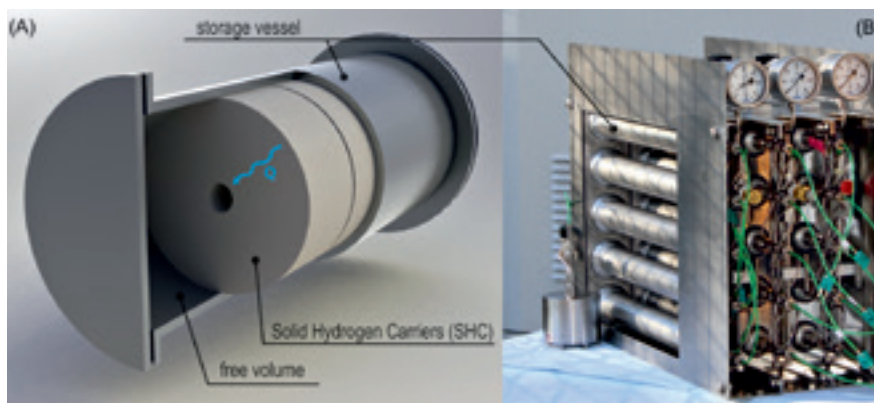


Abb. 3: Schematische Darstellung eines SHC-Speichermoduls (links) mit eingezeichnetem Wärmetransfer (Q) bei der Desorption. Rechts: Speichersystem aus 15 Modulen mit Temperaturüberwachung, Gasdruckmessung und Sensorik zur Füllstandmessung

Granulat oder Pulver vor. Innere Freiräume im Speicherbett jedes Moduls kompensieren in der Regel die Volumenänderung der hydridbildenden Legierung, so dass keine zusätzliche Kraft auf die Wand des Druckbehälters wirkt. Dies bringt allerdings Nachteile hinsichtlich Raumausnutzung, Wärme- und Stofftransport, Systemsicherheit und vor allem Speichergeschwindigkeit (Dynamik) mit sich.

Selbst bei aktivem Wärmemanagement mittels wärmetauschender Komponenten, die wahlweise innerhalb und/oder außerhalb des Speicherbettes angeordnet sind, können volle Wasserstoffbeladungen bis zu mehreren Stunden dauern. Besonders dynamische Betriebsführungen, wie beispielsweise Schnellbeladungen innerhalb weniger Minuten, sind ohne den Einsatz von Verbundwerkstoffen, die aus einem Hydridbildner sowie einem stabilisierendem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit bestehen, nicht sinnvoll realisierbar. Ein Speicherkonzept, bei dem solche Verbundwerkstoffe erstmals eingesetzt wurden, stammte von der Firma McPhy [JEH13].

Herausfordernd bleibt das Problem der strukturellen Beständigkeit der Verbundwerkstoffe mit zunehmender Zahl von Hydrierungs-Dehydrierungs-Zyklen. Die Migration von Partikeln, reduzierte Wärmeleitfähigkeit und fehlender Kontakt zu wärmetauschenden Strukturen sind mögliche Folgen. Diese bisherigen Nachteile der Verbundwerkstoffe werden in aktuellen Forschungsprojekten adressiert. Am Fraunhofer IFAM werden neue Werkstoffe, Speichermodule sowie Systemkonzepte entwickelt, die robuster, dauerbeständiger und damit sicherer sowie wirtschaftlicher als die heute verfügbaren Metallhydrid-Speicherlösungen sind.

VERBUNDWERKSTOFFE UND SPEICHERSYSTEME Breites Interesse gilt dem Zusammenhang zwischen der Art des hydridbildenden Materials, z. B. Magnesium- oder Titan-Legierungen (Fe-Ti oder Ti-Mn), der Art der minoren Zweitphase und dem Verfahren der Konsolidierung mit den daraus für die Anwendung als H_2 -Speichermaterial relevanten Eigenschaften des Verbundwerkstoffes. Dies sind beispielsweise Speicherkapazität, effektive Wärmeleitfähigkeit, Permeabilität für Wasserstoff, Porosität, strukturelle Stabilität, Reversibilität sowie die Be- und Entladekinetiken.

Bei der Herstellung der Verbundwerkstoffe ist der Ausgangspunkt die pulvertechnische Herstellung des hydridbildenden Speichermaterials (Abb. 2). Die

Pulverherstellung kann durch metallurgische Prozesse, wie z. B. Verdüsung, Melt-Spinning oder Schmelzextraktion, durch Mahlprozesse oder chemische Dekrepiation erfolgen. Der Partikelherstellung folgen die Vermischung mit einer minoren Zweitphase, insbesondere mit Graphit, und anschließend die Verdichtung (uniaxiales Pressen) zum hydrierbaren Verbundwerkstoff.

Die Zweitphase erfüllt drei Hauptfunktionen: Erstens erhöht sie im Verbundwerkstoff die effektive Wärmeleitfähigkeit ($> 10 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$), um die Reaktionswärmen von etwa 20 bis 80 kJ/mol- H_2 ausreichend schnell transportieren zu können (wenige Minuten). Zweitens gibt sie den Verbundwerkstoffen mechanische Stabilität, die notwendig ist, weil während der Hydrierung/Dehydrierung der Verbundwerkstoffe Volumenänderungen auftreten. Die Volumenänderung und die daraus resultierenden Kräfte müssen durch den Verbundwerkstoff so aufgenommen werden, dass er formstabil bleibt. Drittens erhöht die Zweitphase die Verpressbarkeit der hydridbildenden Pulver, so dass eine homogene und verschleißarme Verdichtung erreicht werden kann.

In verschiedenen Arbeiten wurde gezeigt, dass vor allem Graphite als Zweitphase geeignet sind, da hier bei geringstem Einsatz höchste Verbesserungen erzielt wurden. Dabei wirken sich verschiedene Graphitmodifikationen unterschiedlich auf die Wärmeleitfähigkeit aus. Es lassen sich beispielsweise Verbundwerkstoffe mit Restporositäten von 20 bis 30 Vol-% mit hohen und anisotropen Wärmeleitfähigkeiten bis zu 45 W/(m·K) senkrecht zur Pressrichtung erzeugen. Die Graphitpartikelform und -ausrichtung während der Verdichtung der Materialmischung erzeugt innere anisotrope, wärmeleitfähige Strukturen.

Diese Anisotropie ist hervorragend für den Einsatz des tablettierten Materials in Speichersystemen nutzbar. Das Speichermaterial wird dazu in der Regel in zylindrischen Druckbehältern gestapelt. Die fertigungsbedingten Spalten in radialer Richtung werden durch die Volumenausdehnung des Materials geschlossen und die Wärme bevorzugt in Richtung der wärmeübertragenden Fläche des Druckbehälters geleitet (Abb. 3). Das Design des Speichersystems ist stark von der Anwendung und auch von der Einkopplung der Abwärme abhängig. Für Systeme, die ein Gas als Wärmetauschmedium nutzen, sind kleine Rohrdurchmesser und große wärmetauschende Oberflächen sinnvoll. >>

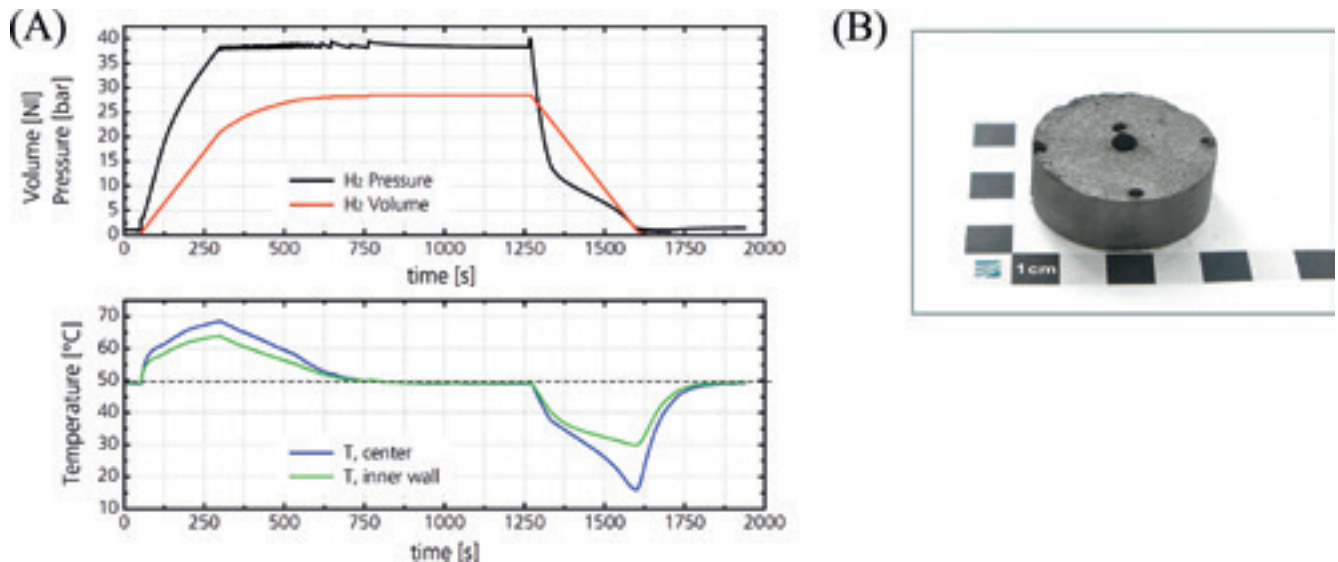


Abb. 4: Be- und Entladeeigenschaften eines Metallhydrid-Verbundwerkstoffs auf Basis einer Ti-Mn-Legierung sowie expandiertem Naturgraphit nach 20 Hydrierungs-Dehydrierungszyklen, wobei die Bohrungen der Aufnahme von Thermoelementen dienen

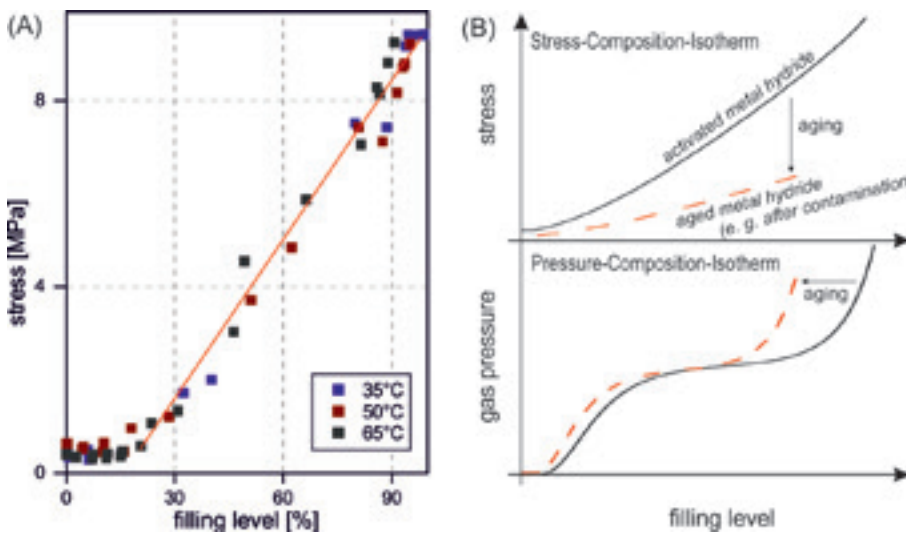


Abb. 5: (A) Spannungs-Konzentrations-Kennlinien zur Ermittlung des H_2 -Füllstands eines Metallhydrid-Verbundwerkstoffes; (B) Schematische Darstellung der Überwachung von Alterungseffekten von Metallhydriden durch Messung der Entwicklung der mechanischen Spannung während der zyklischen Hydrierung-Dehydrierung (Spannungs-Konzentrations-Isothermen); dazu im Vergleich das Verhalten von Druck-Konzentrations-Isothermen.

Die Diagnostik und Überwachung der Eigenschaften der Verbundwerkstoffe mit herkömmlichen Verfahren erfolgt entweder mit nichtlokalen Methoden, die den Stoff- und Wärmefluss betreffen (volumetrische, gravimetrische und kalorische Methoden), oder mit punktuellen, invasiven Methoden wie z. B. Temperaturmessung mittels Thermoelementen im Reaktionsbett (Abb. 4). Die Abbildung (A) zeigt exemplarisch die dynamische exotherme Wasserstoffabsorption in wenigen Minuten und die endotherme Wasserstoffdesorption. Tanksysteme lassen sich also bei richtigem Wärmemanagement in wenigen Minuten be- und entladen.

VOLUMENÄNDERUNG DES SORPTIONSMATERIALS Insbesondere für H_2 -Speicheranwendungen ist eine hohe Packungsdichte der hydridbildenden Metalllegierungen erwünscht. Dies erfordert ein optimiertes Reaktionsbettdesign und eine kontrollierte Volumenexpansion des Speichermaterials. Aufgrund der Ausdehnung der wasserstoffabsorbierenden Phase expandiert der gesamte Verbundwerkstoff während der H_2 -Aufnahme. Das Ausmaß der Expansion hängt jedoch entscheidend von der Zusammensetzung und der inneren Struktur des Verbundwerkstoffs ab.

Verbundwerkstoffe mit Porositäten im Bereich der Volumenausdehnung des Kristallgitters sind in der Lage, die Volumenausdehnung des Materials teilweise oder sogar vollständig aufzunehmen. Bei einer Ausdehnung der Metallhydridphase in die innere Porosität eines Verbundwerkstoffs können sich mechanische Spannungen aufbauen. Für technische Systeme ist es daher empfehlenswert, die Volumenexpansion und die damit verbundenen Spannungen zu überwachen. Aussagen zur Belastung des Druckbehälters können abgeleitet werden, und Veränderungen des Speicherbetts werden messbar. Durch Messung der Spannungen können zudem Rückschlüsse auf den Füllstand des Wasserstoffspeichers sowie die Alterung des Speichermaterials gezogen werden [HEU15, HEU17, HEU18] (5 A).

In thermomechanischer Analogie zu den bekannten Druck-Konzentrations-Isothermen (KDI) können für diesen Zweck so genannte Spannungs-Konzentrations-Isothermen (SKI) abgeleitet werden, die erstmals durch Heubner et al. vorgestellt wurden [HEU15]. Charakteristisch für SKI ist, dass diese über einen weiten Hydrierungsgrad im Verbundwerkstoff ein lineares Verhalten zeigen. Es zeigt sich außerdem eine Unabhängigkeit des Messsignals zum Gasdruck und zur Temperatur. Maßgeblichen Einfluss hat jedoch die

Volumenexpansion des Kristallgitters bei der Wasserstoffaufnahme. Das unterscheidet sie grundsätzlich von KDI, die ein Druckplateau über einen weiten Konzentrationsverlauf aufweisen (5 B). Folglich lässt sich der H₂-Füllgrad durch die Spannungsmessung technisch deutlich einfacher bestimmen als durch eine Messung des Wasserstoffdruckes [HEU15].

Das in 5 B gezeigte Schema verdeutlicht zudem die Möglichkeit, durch die Messung der mechanischen Spannung Veränderungen im Speichermaterial (Alterung) wahrzunehmen, die beispielsweise durch Gasverunreinigung auftreten können. Es ist die Spannungsentwicklung für ein vollaktives und ein gealtertes Speichermaterial im Vergleich zu den jeweiligen KDI gezeigt. Es wird deutlich, dass bei den KDI kein Unterschied festzustellen ist (Lage des Druckplateaus), wohingegen bei der Spannungsentwicklung sich sowohl Maximalspannung als auch Anstieg des Graphen deutlich ändern.

Dieses neuartige Messprinzip stellt die Grundlage für eine neuartige Füllstandsensoren und Zustandsdiagnostik von Hydridspeichern dar [HEU15]. Das in Abb. 3 dargestellte Speichersystem wurde zur Demonstration der Technologie mit einem Füllstandsensoren im Bypass der bestehenden Anlage ausgestattet. Aktuelle Entwicklungen des Fraunhofer IFAM adressieren zum Beispiel die Miniaturisierung des Sensors und die Integration der Sensorik in das Metallhydridbett. Weitere Prototypen mit Durchmessern kleiner als 1,6 cm wurden gefertigt und im Labormaßstab erfolgreich getestet.

ZUSAMMENFASSUNG Fortschrittliche Metallhydrid-Verbundwerkstoffe, die sich über eine pulvertechnische Prozessroute industriell herstellen lassen, bieten erhebliche Vorteile gegenüber klassischen Metallhydridspeichern auf Pulver- oder Granulatbasis. Für den sicheren technischen Betrieb von Hydrid-Verbundwerkstoffen sind thermomechanische Sensoren vorteilhaft, um den Füllstand sowie Alterungseffekte zu ermitteln. Moderne Hydridspeicher können bei aktivem Wärmemanagement sehr dynamisch betrieben werden, so dass Beladungen und Entladungen innerhalb weniger Minuten durchgeführt werden können. ||

Teile dieser Forschung werden aktuell vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen der Projekte FORMEN (03ET6119A) und eMIKRO (03ETB008A) gefördert.

Literatur

- [GUP16] Gupta, R. B.; Basile, A.; Vezirođlu, T. N. (Hrsg.): Compendium of Hydrogen Energy, Volume 2 - Hydrogen Storage, Transportation and Infrastructure, Woodhead Publishing Series in Energy. Cambridge; Waltham; Kidlington: Woodhead, 2016 — ISBN 978-1-78242-362-1.
- [HEU15] Heubner, F.; Pohlmann, C.; Mauermann, S.; Kieback, B.; Röntzsch, L.: Mechanical stresses originating from metal hydride composites during cyclic hydrogenation. In: International Journal of Hydrogen Energy Bd. 40 (2015), Nr. 32, S. 10123–10130; Heubner, F.; Pohlmann, C.; Röntzsch, L.; Kieback, B.: Messeinrichtung und Verfahren zur Bestimmung der Menge eines in einem Speicher aufgenommenen Gases an einem porösen Speichermaterial. (DE201510100584B3; 20151126).
- [HEU17] Heubner, F.; Mauermann, S.; Kieback, B.; Röntzsch, L.: Stress development of metal hydride composites for high density hydrogen storage applications. In: Journal of Alloys and Compounds Bd. 705 (2017), S. 176–182.
- [HEU18] Heubner, F.; Hilger, A.; Kardjilov, N.; Manke, I.; Kieback, B.; Gondok, Ł.; Banhart, J.; Röntzsch, L.: In-operando stress measurement and neutron imaging of metal hydride composites for solid-state hydrogen storage. In: Journal of Power Sources Bd. 397 (2018), S. 262–270.
- [JEH13] Jehan, M.; Fruchart, D.: McPhy-Energy's proposal for solid state hydrogen storage materials and systems. In: Journal of Alloys and Compounds Bd. 580 (2013), S. S343–S348.

Autoren:

Felix Heubner → Felix.Heubner@ifam-dd.fraunhofer.de
Dr. Thomas Weißgärber

→ Thomas.Weissgaerber@ifam-dd.fraunhofer.de

Dr. Lars Röntzsch

→ Lars.Roentzsch@ifam-dd.fraunhofer.de

alle vom Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung IFAM, Dresden



Kundenspezifische H₂-Systeme

Wystrachl
Worldwide art of precision



H₂-MOBILITÄT: STAND, TRENDS, PERSPEKTIVEN

DVGW-Studie belegt das Marktpotential



Abb. 1: Insbesondere Brennstoffzellenbusse ... [Quelle: Van Hool]

Der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) beauftragte die Studie *Wasserstoffmobilität: Stand, Trends, Perspektiven*, um ein besseres Verständnis der Zukunftsfähigkeit der wasserstoffbasierten Mobilität zu erlangen. In dieser wird analysiert, welche Marktperspektiven sich der Gaswirtschaft im Bereich der Produktion und des Transports von Wasserstoff bieten. Dieser Fragestellung wird anhand einer Reihe spezifischer technischer, ökonomischer und ökologischer Punkte nachgegangen. Die Studie wurde vom *Center of Automotive Management (CAM)* zwischen Juni 2019 und Januar 2020 durchgeführt, ihre Ergebnisse wurden im März 2020 vorgestellt. Im Kern zeichnet sich ab, dass für die Hersteller und Transporteure von H₂ mittelfristig attraktive Märkte entstehen werden.

Bei der Betrachtung der aktuellen Entwicklung der H₂-Mobilität in der Europäischen Union sowie in fünf ausgewählten Ländern einschließlich Deutschlands zeigt sich, dass sich eine substantielle politische Unterstützung und zunehmende Dynamik der H₂-Mobilität ergibt. Durch Technologieförderprogramme unterstützt, bauen privatwirtschaftliche und öffentliche Akteure Flotten mit brennstoffzellenbetriebenen Fahrzeugen sowie Wasserstoffinfrastrukturen aus. Im April 2019 waren in der EU etwa 1.500 BZ-Pkw in Betrieb und die Beschaffung weiterer 1.400 Fahrzeuge geplant, flankiert von 173 einsatzbereiten und 50 in Realisierung befindlichen H₂-Tankstellen. Trotz vergleichsweise geringer Bestandszahlen sind die Zuwachsraten beachtlich und deuten auf das Entstehen lukrativer Märkte hin.

REGULATORISCHE RAHMENBEDINGUNGEN Gesetzliche Vorgaben, insbesondere auf Ebene der EU, beeinflussen wesentlich die Zukunftschancen von Antriebskonzepten. Richtlinien zur Begrenzung des Ausstoßes von Kohlendioxid (CO₂) von Pkw und Lkw sowie die Clean Vehicles

Directive (CVD) zur Beschaffung CO₂-armer beziehungsweise CO₂-freier Fahrzeuge ab 2021 wirken als starke Treiber der H₂-Mobilität, da zentrale Anforderungen nur durch brennstoffzellen- oder batterieelektrische Fahrzeuge zu erfüllen sind. Auch der Einsatz erneuerbarer und CO₂-armer Kraftstoffe inklusive Wasserstoff ist gefordert. Darüber hinaus ist der für den Markthochlauf relevante regulative Rahmen in Deutschland im internationalen Vergleich gut entwickelt und fördert insgesamt den Aufwuchs der H₂-basierten Mobilität.

VERTIEFENDE UNTERSUCHUNG DER H₂-MOBILITÄT Hyundai fertigt den Nexo und hat weltweit bislang rund 3.800 der Fahrzeuge veräußert. Bis 2022 sollen die Produktionskapazitäten auf 40.000 pro Jahr ausgebaut werden und bis 2030 auf 700.000 steigen. Toyota setzte bis Ende 2029 weltweit 10.000 Exemplare der BZ-Limousine Mirai ab und stellte ein Nachfolgemodell vor, von dem 30.000 Stück pro Jahr gebaut werden sollen. Honda vertreibt den Clarity Fuel Cell außerhalb Deutschlands und kündigte ein Nachfolgemodell an. Weltweit sind derzeit schätzungsweise 18.000 BZ-Pkw im Einsatz. Mit wachsenden Produktionszahlen werden deutliche Kostenreduzierungen erwartet.

Busse gelten als besonders attraktive Anwendung für BZ-Antriebe und zeichnen sich neben ihrer Emissionsfreiheit durch relativ geringe Infrastrukturanforderungen aus. Sie werden von Herstellern wie Van Hool, Solaris und Daimler gebaut und in Europa überwiegend im Rahmen von EU-Projekten mit einem Zielbestand von 1.000 Fahrzeugen im Jahr 2023 betrieben. Die Kosten sind kontinuierlich gesunken und sollten in wenigen Jahren auf 400.000 Euro fallen. Auch BZ-betriebene leichte und schwere LKW gelten als vielversprechende Zukunftstechnologien großer Reichweite und betrieblicher Flexibilität. Voraussichtlich kommen in den nächsten Jahren über 2.000 schwere BZ-Lkw der Hersteller Hyundai und Nikola in der Schweiz beziehungsweise in den USA zum Einsatz.

WASSERSTOFFINFRASTRUKTUR Das Tankstellennetz für BZ-Pkw wird in Deutschland von H2 Mobility ausgebaut und umfasste Mitte März 2020 insgesamt 84 im Betrieb und 24 im Aufbau befindliche Stationen. Es soll bis 2021 auf 140 Tankstellen erweitert werden, wobei letzteres Ziel auch vom Flottenzuwachs der BZ-Fahrzeuge abhängig gemacht wird. Durch die eingesetzte 700-bar-Technologie wird eine Pkw-Betankung in drei Minuten möglich. Die Kosten einer deutschlandweiten H₂-Infrastruktur für Personenkraftwagen liegen Studien zufolge im Endausbau deutlich unter denen einer Ladeinfrastruktur für eine vergleichbare Anzahl von Batterieautos.

Tankstellen für BZ-Busse und andere schwere Nutzfahrzeuge werden stets bedarfsgerecht aufgebaut und ermöglichen eine befriedigende Kraftstoffversorgung bei eher geringem infrastrukturellem Aufwand; die Tankanlagen werden in einer Reihe deutscher und internationaler Initiativen realisiert. Während die Tankstellen standardmäßig auf 350-bar-Druckwasserstoff ausgelegt sind, gilt die 700-bar-Technologie zumindest bei Lastwagen als interes-



Abb. 2: ... und -Lkw bieten viel Potential [Quelle: H2 Energy]

sante Zukunftsoption. Dadurch sind erhebliche Synergien beim Ausbau der Infrastrukturen für Pkw und Nutzfahrzeuge denkbar.

Analog zu dem insbesondere von asiatischen Unternehmen getriebenen Bestandszuwachs von BZ-Autos und den ambitionierten Planungen zum Einsatz von BZ-Nutzfahrzeugen weist der internationale Aufbau von Betankungsinfrastrukturen auf wachsende Marktpotenziale für die Hersteller und Transporteure von H₂ hin.

ABSCHÄTZUNG DER ZUKÜNFTIGEN H₂-NACHFRAGE

Mehrere Studien und Roadmaps schätzen die zukünftigen Wasserstoffnachfrage verschiedener Verbrauchssektoren in Deutschland sowie Europa ab und bestätigen die oben angesprochenen Marktpotentiale. Alle ermitteln einen zukünftig stark steigenden H₂-Bedarf und gehen für Deutschland von mehreren hundert Terawattstunden bis 2050 aus. Für Europa werden H₂-Volumina im Petawattstundenbereich erwartet. Davon entfallen jeweils beträchtliche Anteile auf die H₂-Mobilität.

ABGLEICH MIT ANDEREN GASEN Ein Potentialvergleich der H₂-basierten und der Gasmobilität mit Erd- und Biogasfahrzeugen zeigt in vielerlei Hinsicht eine ähnliche Zukunftsfähigkeit beider Technologien. Beispielsweise verursachen beide bei Zugrundelegung von Well-to-Wheel-Bewertungen und Nutzung erneuerbarer Energien nur sehr geringe Treibhausgasemissionen. Allerdings schaffen die oben genannten Richtlinien zur Reduzierung von CO₂-Emissionen und zur Beschaffung emissionsarmer und -freier Nutzfahrzeuge Märkte für BZ-Fahrzeuge, schließen jedoch Gasfahrzeuge aufgrund der ausschließlichen Berücksichtigung während der Fahrt anfallender Abgase vom Wettbewerb aus.

MASSNAHMENVORSCHLÄGE ZUR FÖRDERUNG Die H₂-basierte Mobilität bietet große ökologische und ökonomische Potentiale, die jedoch aufgrund noch nicht wettbewerbsfähiger Kosten bislang nur ansatzweise realisiert werden können. Als eine insbesondere für schwere Fahrzeuge mit hohen Reichweiten- und Leistungsanforderungen vorteilhafte Antriebsalternative ist die H₂-Mobilität eine für die Erreichung klimapolitischer Zielsetzungen unerlässliche Technologieoption. Daher analysiert die Studie den regulativen Rahmen und stellt einerseits fest, dass dieser schon relativ weit entwickelt ist, legt andererseits aber auch die nachfolgenden Handlungsempfehlungen nahe.

EU-Richtlinien zur Reduzierung von CO₂-Emissionen legen strenge Grenzwerte für Fahrzeuge fest. Überdies verpflichtet die CVD die öffentliche Hand zur Beschaffung von Niedrig- und Nullemissionsfahrzeugen. Zentrale Anforderungen sind nur durch elektrische Fahrzeuge zu erfüllen; der Einsatz erneuerbarer und CO₂-armer Kraftstoffe inklusive Wasserstoff ist gefordert. Während dies als starker Treiber der H₂-Mobilität begrüßt wird, ist die den Gesetzen zugrundeliegende Tank-to-Wheel-Methodik aufgrund ihrer Vernachlässigung bedeutsamer Umweltbelastungen problematisch. Die Zugrundelegung von Well-to-Wheel- oder Lebenszyklus-Ansätzen wird empfohlen, welche eine vollständigere und technologieneutrale Erfassung von Umweltwirkungen ermöglichen.

Auch zur Erfüllung der ehrgeizigen EU-Regularien ist eine weitere Unterstützung der Marktaktivierung und Technologieentwicklung von BZ-Fahrzeugen vonnöten. Die Reduzierung von Kosten und die Bedienung verbleibender F&E-Erfordernisse bedarf einer fortgesetzten Förderung durch die öffentliche Hand. Daher empfehlen die Autoren, die auf europäischer und deutscher Ebene bestehenden Förderangebote für Fahrzeuge fortzuführen. Zur Realisierung von Skaleneffekten wird nahegelegt, den Markthochlauf durch öffentliche Beschaffungsprogramme zu unterstützen.

H₂-Infrastrukturen bedürfen einer mit den Fahrzeugen vergleichbaren Unterstützung. Daher wird empfohlen, die einschlägigen Förderangebote fortzusetzen. Zur Reduzierung der Kosten mittels Wasserelektrolyse und erneuerbarer Energien hergestellten Wasserstoffs wird vorgeschlagen, Betriebskosten zeitlich befristet zu fördern und so die Mehrkosten gegenüber aus Erdgas gewonnenem Wasserstoff auszugleichen. In Deutschland gelten hohe auf die elektrolytische H₂-Herstellung erhobene Umlagen, Abgaben und Steuern als ein zentrales Hindernis für den Betrieb von Power-to-X-Anlagen. Daher empfiehlt diese Studie, die damit verbundenen finanziellen Belastungen erheblich zu reduzieren.

SCHLUSSFOLGERUNGEN Die Kommerzialisierung der H₂-basierten Mobilität läuft in Deutschland und Europa erst an, entfaltet sich aber dynamisch. Klimapolitische Anforderungen und ein starker Wettbewerbsdruck aus Asien begünstigen den Marktantritt, während sich gleichzeitig die Technologie und Wirtschaftlichkeit von Fahrzeugen wie auch Infrastruktur verbessert. Aller Voraussicht nach werden für die Hersteller und Transporteure von erneuerbarem Wasserstoff attraktive Märkte entstehen. Die Gasindustrie könnte insbesondere durch den Aufbau von Erzeugungsanlagen für erneuerbaren Wasserstoff und die langfristige Nutzung bestehender Pipelinennetze profitieren. ||

□ Die Studie hat einen Umfang von 112 Seiten und basiert auf 194 aktuellen Quellen. Eine Kurzversion steht unter www.dvgw.de frei zur Verfügung.

Autor:



Dr. Oliver Ehret
→ oliver.ehret@auto-institut.de
Center of Automotive Management,
Bergisch Gladbach

BRENNSTOFFZELLEN PUNKTEN BEI LANGSTRECKEN

Studie von Fraunhofer ISE und H2 Mobility

Batterie oder Brennstoffzelle? Welche ist die ökologisch, technisch und wirtschaftlich bessere Lösung für die E-Mobilität der Zukunft? Die Antwort gleich vorweg: Es kommt darauf an. Mit dieser Thematik befassen sich aktuell zahlreiche Studien. Die Untersuchung „Treibhausgas-Emissionen für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge“ des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) im Auftrag von H2 Mobility betrachtet beispielsweise den gesamten Lebenszyklus der Autos inklusive Herstellung, Betrieb und Entsorgung von Batterie, Brennstoffzelle und Wasserstofftank.

Zugrunde gelegt wurde dieser Studie ein Brennstoffzellenauto der Kategorie Hyundai Nexa (95 kW; 5,6 kg-H₂-Tank; Reichweite: > 500 km). Damit verglichen wurde ein entsprechendes Batteriefahrzeug, ausgerüstet mit einem 60- bzw. 90-kWh-Akkumulator für Reichweiten zwischen 300 und 400 km (Gewicht ohne Akku: 1.600 kg).

Zentrale Botschaft der ISE-Studie für den Zeitraum zwischen 2020 und 2030: In der Herstellung sind die Treibhausgasemissionen (THG) bei BZ-Fahrzeugen durchweg geringer als bei Batteriefahrzeugen in der 60- und 90-kWh-Klasse. Denn Letztere bringen heute noch einen großen „Klimarucksack“ mit, der allerdings durch künftige Technologiefortschritte sukzessive kleiner werden wird. „Auch über den gesamten Lebenszyklus bleiben für BZ-Autos noch THG-Emissionsvorteile, denn die höhere Effizienz beim Betrieb eines Batterieautos kompensiert nicht den THG-Nachteil aus dessen Herstellung“ – jedenfalls nicht über eine Fahrleistung von 150.000 km, schildert der Fraunhofer-Wissenschaftler André Sternberg.

Hier kommt ein Battery Electric Vehicle (BEV) mit einer 90-kWh-Batterie (im Strommix) auf 0,18 kg CO₂/km, während das Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV; H₂ aus 100 % Erdgas) 0,15 kg CO₂/km verursacht. Diese Relation besteht auch für die Energiebasis Wind bzw. Photovoltaik. Erst für den kleineren 60-kWh-Akku gilt hier Gleichstand zwischen BEV und FCEV.

Auch im Zeitraum von 2030 bis 2040 hat ein Brennstoffzellenfahrzeug laut ISE bei vergleichbarer Reichweite noch THG-Emissionsvorteile, jedenfalls wenn beide Fahrzeuge erneuerbaren Strom nutzen. Vor allem auf langen Strecken sei die Brennstoffzelle umweltfreundlicher, wenn auch der

Preis um einiges höher liegt als bei den schon teuren Batterieautos. Kostentreiber ist hier insbesondere das Edelmetall Platin, das die Brennstoffzelle benötigt.

Aus Umweltsicht von Vorteil sind geringere Batteriekapazitäten und niedrigere Reichweiten (< 50 kWh und 250 km – ideal für den Stadtverkehr). Dies bietet THG-Emissionsvorteile gegenüber Brennstoffzellenfahrzeugen. Allerdings sind die Unterschiede nicht allzu groß. Wenig überraschend ist, dass sowohl FCEV als auch die BEV mit weniger Treibhausgasemissionen gegenüber vergleichbaren konventionellen Dieselfahrzeugen punkten können – Brennstoffzelle mehr als Batterie.

SERIENFERTIGUNG ERHÖHT BRENNSTOFFZELLENPOTENZIAL Im Ergebnis bestätigt dies auch die VDI/VDE-Studie „Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeuge – Bedeutung für die Elektromobilität“ (s. HZwei-Heft Okt. 2019). Sie kommt zu dem Schluss, dass sich bei höheren Leistungen, bei größeren Nutzlasten und auf Langstrecken insgesamt Kostenvorteile für das FCEV gegenüber dem BEV ergeben. Mit der Aufnahme der Serienfertigung würde sich dieser Effekt noch verstärken. BEV wären hingegen insbesondere im Kurzstreckenverkehr in Ballungsräumen vorteilhafter. Heute ist freilich die Serienfertigung von Batteriesystemen weiter fortgeschritten als die von Brennstoffzellen. Entsprechend ist die Kostenreduktion bei Batterien aktuell deutlich ausgeprägter, jedoch liegt ein großer Anteil der Wertschöpfung für Batterien heute nicht in Europa. Die Batteriezellenproduktion findet überwiegend in Asien statt.

Die Autoren der VDI/VDE-Studie glauben aber auch, dass mit der Herstellung von Brennstoffzellen und deren Systemen die Wertschöpfung in Deutschland und Europa gesteigert werden kann. Außerdem reduziere eine Diversifizierung der Elektromobilitätstechnologien das Risiko von Rohstoffverknappungen. Als größtes Manko der Brennstoffzelle führt aber auch die VDI/VDE-Studie an, dass Batteriefahrzeuge die eingesetzte Primärenergie mindestens um etwa den Faktor zwei effizienter nutzen als BZ-Autos.

Positiv für FCEV sei andererseits der Umstand zu sehen, dass Energiewandlung und -speicherung und damit auch Leistung und Kapazität entkoppelt sind. Eine Vergrößerung der Reichweite, also der Kapazität, lässt sich hier allein

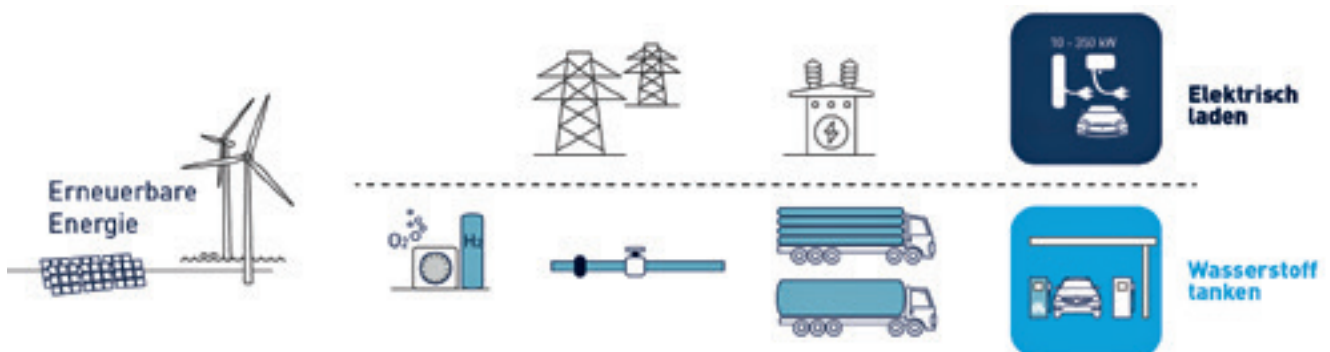


Abb. 1: Zwei Energiepfade im Vergleich [Quelle: FZ-Jülich]

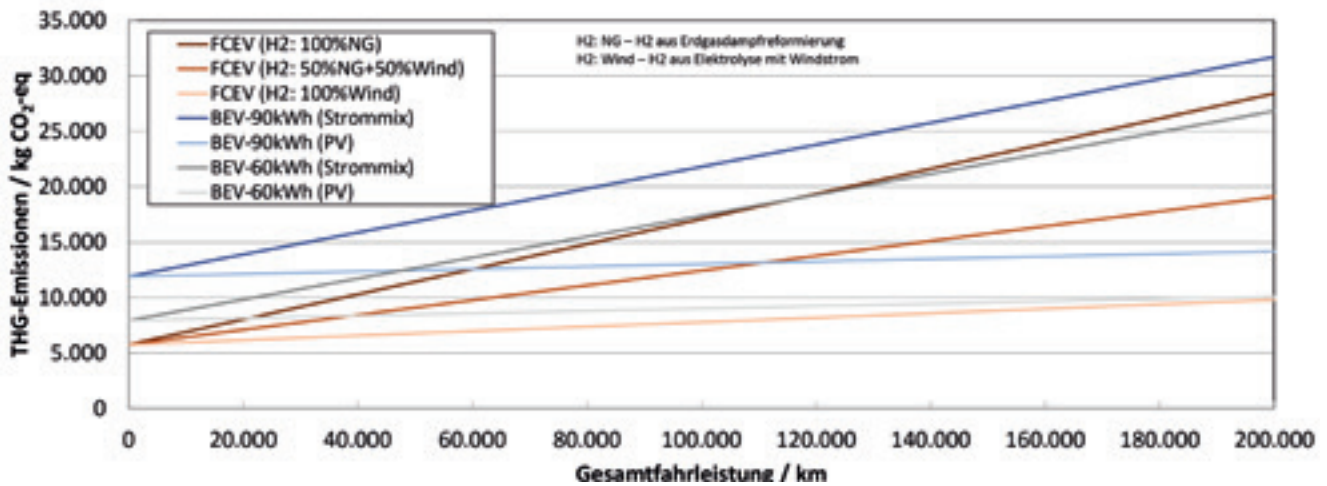


Abb. 2: THG-Emissionen Fahrzeugbetrieb 2020–2030 inkl. Herstellung und Entsorgung Batterie, Brennstoffzelle und H₂-Tank [Quelle: Fraunhofer ISE]

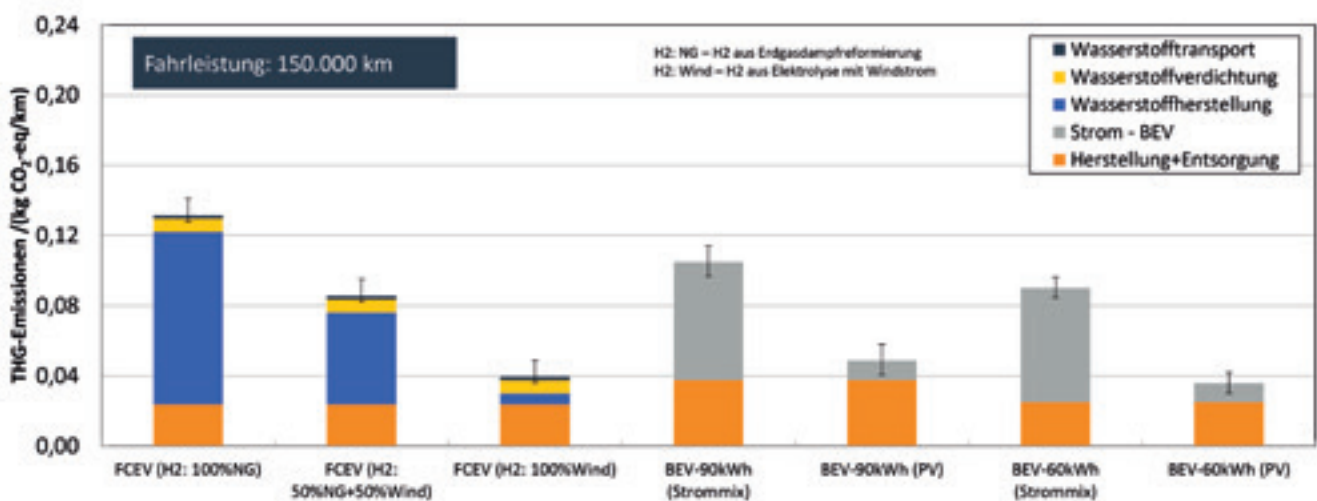


Abb. 3: THG-Emissionen Fahrzeugbetrieb 2020–2030 inkl. Herstellung und Entsorgung Batterie, Brennstoffzelle und H₂-Tank [Quelle: Fraunhofer ISE]

über die Vergrößerung des Tanks erreichen. Der Gewichtszuwachs fällt dabei gering aus. FCEV sind entsprechend in Bezug auf die Reichweite vergleichbar mit konventionellen Fahrzeugen. Mit üblichen 700-bar-H₂-Tanks lassen sich leicht Distanzen von 800 km überbrücken. Bei BEV-Fahrzeugen korreliert die Fahrleistung der Batterie hingegen mit ihrer Kapazität. Eine zunehmende Reichweite geht mit einer Gewichtszunahme einher. Angenehmer Nebeneffekt: Bei FCEV-Fahrzeugen reicht die BZ-Abwärme meist ohne signifikante Reichweitenreduzierung zur Beheizung aus.

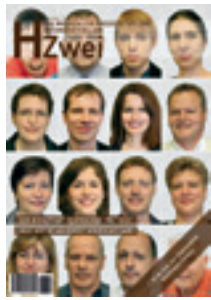
Die H₂-Beschaffung ist von der Markteinführung über den -hochlauf bis hin zum Massenmarkt generell als unkritisch einzuschätzen hinsichtlich Verfügbarkeit und Kosten (dieseläquivalenter Preisbereich), so VDI/VDE. Vorteilhaft sei auch die kostengünstige und längerfristige Speicherfähigkeit von Wasserstoff, allerdings verbunden mit höheren Umwandlungsverlusten. Die Versorgung von Tankstellen mit grünem Wasserstoff sowohl in ausreichender Menge als auch zu angemessenen Marktpreisen sei allerdings derzeit in Deutschland noch mit Problemen verbunden und benötigt deshalb einen weiteren Ausbau. Bei einer größeren Marktdurchdringung (20 Mio. E-Fahrzeuge) geht die VDI/VDE-Studie allerdings von geringeren Investitionen (40 Mrd. €) für die H₂-Infrastruktur aus, gegenüber 51 Mrd. € Investitionen für eine umfassende BEV-Ladeinfrastruktur. Diese

sind nur bei einer geringen Marktdurchdringung niedriger als für FCEV. Hier erweist sich laut Studie auch die weltweit einheitliche mechanische Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Zapfsäule als vorteilhaft. Bei BEV sind die Ladeanschlüsse hingegen bisher nicht einheitlich: In Europa, USA und Asien gibt es allein neun verschiedene Steckertypen.

BZ-Fahrzeuge noch kein Massenmarkt Da die Kostenreduktion durch Serienfertigung für Batteriesysteme weiter fortgeschritten ist als für Brennstoffzellensysteme, sind Letztere aufgrund der späteren Markteinführung zurzeit wirtschaftlich benachteiligt. Laut einer Analyse des US-Departments of Energy werden die Kosten für BZ-Systeme bis 2020 auf 47 US-\$/kW sinken, wobei eine Aggregatgröße von 80 kW und ein Produktionsvolumen von 100.000 Einheiten pro Jahr unterstellt werden. Für den Wasserstofftank Typ IV (Kunststoffliner mit Composite-Umwicklung) – ausgelegt für 700 bar und eine Kapazität von 185 kWh – werden weniger als 16 US\$/kWh (insg. etwa 3.000 US\$) veranschlagt. ||

Literatur

□ Sternberg, A.; Hank, C.; Hebling, C.: Treibhausgas-Emissionen für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge, Fraunhofer ISE, Juli 2019



BINNENSCHIFFE KÖNNEN MEHR ALS DIESEL

ShipFuel-Studie vergleicht Nullemissionsoptionen

Die Studie ShipFuel untersucht, unter welchen technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen und in welchen Marktsegmenten strombasierte Kraftstoffe in der Binnenschifffahrt sinnvoll eingesetzt werden können. Dabei wird der Einsatz der alternativen Kraftstoffe ausschließlich in Brennstoffzellen-Antriebssystemen betrachtet und heute üblichen Diesel-Antriebssystemen mit Verbrennungsmotoren gegenübergestellt.

Die Analysen, die im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums (BMVI) im Rahmen des Nationalen Innovationsprogrammes Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) und unter Koordination der NOW GmbH erstellt wurden, schließen die gesamte Prozesskette ein: von der Kraftstoffherzeugung über dessen Transport, Verteilung und Lagerung bis zum Bunkervorgang und der Speicherung und der energetischen Umsetzung an Bord. Es wurden sowohl der regulatorische Rahmen als auch potenziell relevante Märkte analysiert und Handlungsoptionen in Vorbereitung für eine Markteinführung abgeleitet [1].

HINTERGRUND Die von der Bundesregierung vorgegebenen und international vereinbarten Ziele zur Treibhausgasminimierung können nur durch eine nachhaltige Verringerung des Energiebedarfs und den umfangreichen Einsatz erneuerbarer Energien in allen energieverbrauchenden Sektoren erreicht werden. Die Binnenschifffahrt ist eine wichtige Säule des deutschen Güterfernverkehrs mit einer über die vergangenen Jahre weitgehend konstanten Transportleistung von etwa 60 Milliarden Tonnenkilometern [2], was derzeit rund neun Prozent des deutschen Güterverkehrsaufwands [3] entspricht. Auch andere Bereiche der Binnenschifffahrt (z. B. Personen- und Fährverkehr) sind wichtige Teile der deutschen Verkehrslandschaft. Bislang wird ein großer Teil der damit verbundenen Verkehrsleistung nahe Ballungsgebieten mit Schiffsdieselmotoren erbracht. Zukünftig muss aber auch die Binnenschifffahrt im Hinblick auf die Emissionsreduktion von Luftschadstoffen ihren Beitrag leisten. Insbesondere aus erneuerbarer Energie hergestellte strombasierte Kraftstoffe im Einsatz mit Brennstoffzellenantrieben in der Binnenschifffahrt haben das Potenzial, beide Aufgaben zu lösen und dadurch einen Beitrag zur Sektorenkopplung im Energiesystem zu leisten.

MARKTANALYSE Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde eine Analyse des deutschen Binnenschiffmarktes durchgeführt. Für die am häufigsten vertretenen Binnenschiffstypen beziehungsweise -anwendungen mit einem insgesamt großen Energiebedarf wurden vier Referenzschiffe gewählt, bei deren Umrüstung sich das größte Emissionsreduktions-

STROMBASIERTE KRAFTSTOFFE

Es gibt verschiedene Bezeichnungen für strombasierte Kraftstoffe: E-Fuels, Power-to-Fuels. Zu diesen zählen sowohl Wasserstoff (EE-H₂) und synthetisches Methan (EE-CH₄) als auch synthetisierte Flüssigkraftstoffe (EE-Diesel), die alle mithilfe von Strom aus erneuerbaren Energien hergestellt werden.

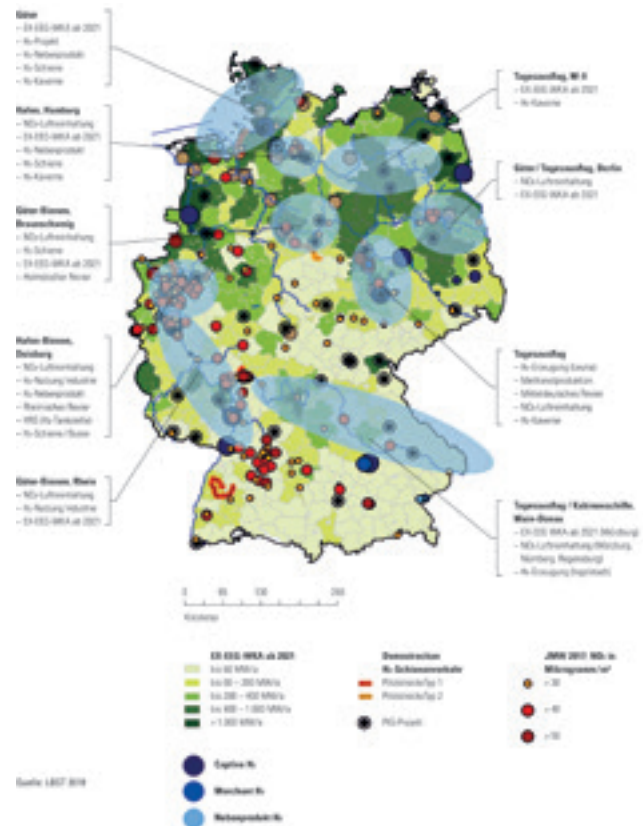


Abb. 1: Ausgewählte Beispiele für mögliche Anwendungsschwerpunkte

potenzial ergeben würde. Neben zwei Schiffstypen für die Güterbeförderung wurden auch ein Tagesausflugs- und ein Kabinenschiff als relevante Anwendungsfälle ausgewählt. Sie können in verschiedenen Regionen Deutschlands (z. B. Berlin, entlang Main-Donau, in Sachsen, Mecklenburg-Vorpommern, s. Abb. 1) einen Beitrag liefern.

BRENNSTOFFZELLENANTRIEBE FÜR BINNENSCHIFFE Basierend auf langjährigen Entwicklungen und praktischen Anwendungen haben sich drei Brennstoffzellentypen aufgrund ihrer hohen Effizienz und Praxistauglichkeit für mobile Anwendungen für die Verfolgung einer Weiterentwicklung hervorgerufen – auch für die Binnenschifffahrt. Hierbei handelt es sich um die Nieder- und Hochtemperatur-Polymermembran-Brennstoffzelle (NT- und HT-PEMFC) sowie die Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC). Ihre funktionalen Anforderungen in maritimen Anwendungen entsprechen prinzipiell denen von maritimen Dieselmotoren. Im Vergleich zu konventionellen Dieselsystemen an Bord von Binnenschiffen ergeben sich jedoch zusätzliche sicherheitstechnische Anforderungen aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der verwendeten Kraftstoffe und Batteriesysteme. Von Vorteil ist dabei die höhere Effizienz von Brennstoffzellensystemen gegenüber Dieselmotoren insbesondere im Teillastbetrieb. Durch diese Eigenschaft ergibt sich über die Nutzungsprofile von Binnenschiffen ein höherer mittlerer Wirkungsgrad.

ALTERNATIVE KRAFTSTOFFE FÜR BRENNSTOFFZELLENANTRIEBE Folgende sechs Alternativkraftstoffe wurden für

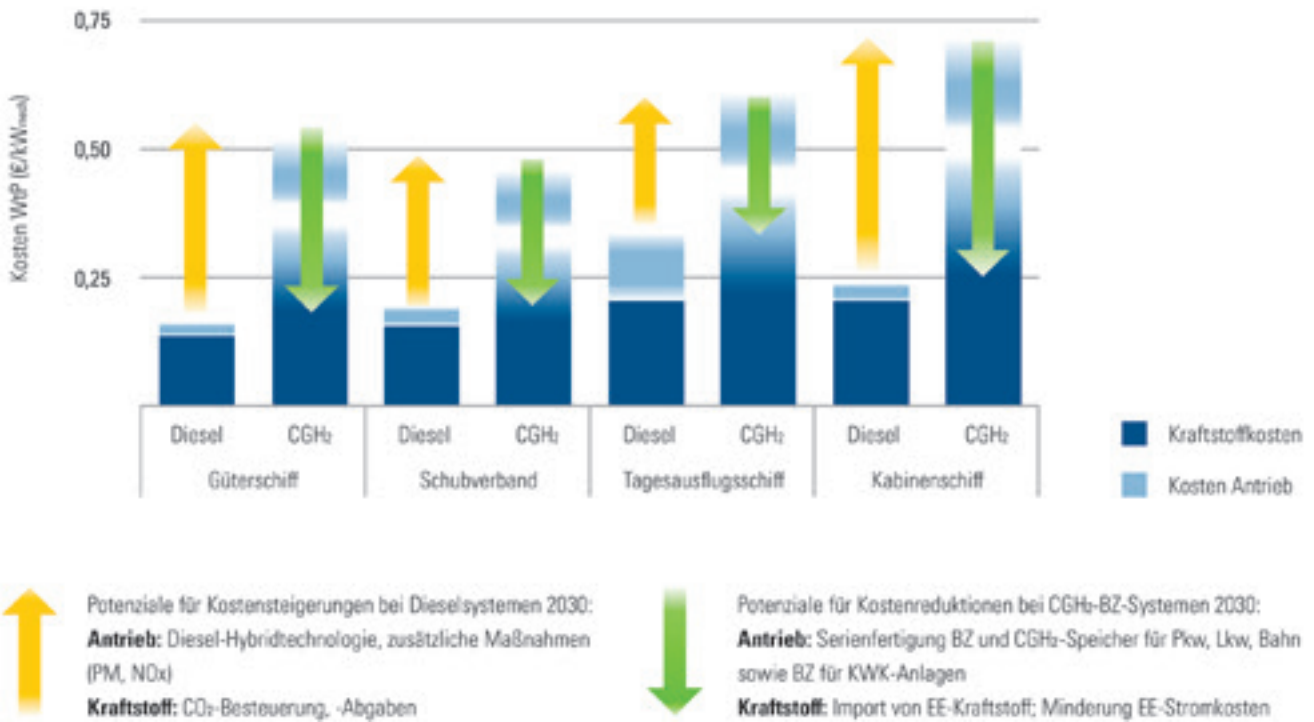


Abb. 3: Wichtige Einflussparameter für die Entwicklung der WtP-Kosten und der Wirtschaftlichkeit von EE-Brennstoffzellensystemen und fossilen Dieselantrieben am Beispiel Wasserstoff-PEMFC mit CGH₂-Speichern für ausgewählte Schiffe zur Güter- und Fahrgastbeförderung

38

	Gütermotorschiff	Schubverband	Tagesausflugsschiff	Kabinenschiff
CGH ₂ (35/50/70 MPa)	PEMFC	PEMFC	PEMFC	PEMFC
LH ₂	PEMFC	PEMFC	PEMFC	PEMFC
LOHC	PEMFC	PEMFC	PEMFC	PEMFC
E-MeOH	HT-PEMFC	HT-PEMFC	HT-PEMFC	HT-PEMFC
E-LNG	SOFC	SOFC	SOFC	SOFC
E-Diesel	SOFC	SOFC	SOFC	SOFC
Anmerkung je Schiffs-kategorie	Hohe Leistungen, große Kraftstoffspeichermengen benötigt, da lange Betriebsfahrten zwischen Bunkerungen		Volumenkritisch	Sehr Volumenkritisch, zusätzliche Hotellast (v. a. Wärme)

Tab. 1: Ausgewählte Brennstoffzellen für alternative EE-Kraftstoffe für die LCA-Analysen

- Wasserstoff
- Infrastruktur
- Brennstoffzellen

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



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

Nikola baut Brennstoffzellen-LKW in Ulm ... Stark sinkende Wasserstoff-Kosten vorausgesagt ... Boom bei Power-to-Gas ... Luxusjacht mit Wasserstoffantrieb wird entwickelt ...

Des Weiteren könnte eine gezielte Förderung von EE-Pfaden (v. a. zur EE-Stromerzeugung – Windkraftanlagen, Photovoltaik) die Kosten für EE-Kraftstoffe weiter und schneller reduzieren. Auch der Import von alternativen Kraftstoffen kann zu niedrigeren Kraftstoffgestehungskosten als bei der Produktion von alternativen Kraftstoffen in Deutschland führen. Bei komprimiertem Wasserstoff können sie im Fall des Imports via H₂-Pipeline aus Nordafrika nach Berechnungen der LBST um etwa ein Drittel niedriger liegen (1,20 € statt etwa 1,85 € pro l Dieseläquivalent).

Bei synthetischen flüssigen Kraftstoffen über Power-to-Liquid-Anlagen, zum Beispiel in Nordafrika mit Import nach Deutschland via Tankschiff, können die Kraftstoffgestehungskosten um etwa 50 Prozent niedriger ausfallen als bei der Produktion in Deutschland (1,30 € pro l Diesel statt 2,64 € pro l Diesel).

WELL-TO-PROPELLER-ANALYSE (WtP) Bei der Gesamtbeurteilung der Kraftstoff- und Antriebssystemkosten Well-to-Propeller (WtP; s. Abb. 3) zeigt sich, dass die Kraftstoffkosten dominieren und diese insbesondere durch die Stromkosten für die Kraftstoffproduktion bestimmt werden (siehe oben). Weitere wesentliche Kostenelemente für den Antrieb sind bei direkter Wasserstoffnutzung die Kosten für die Druckspeicher und bei den anderen Brennstoffzellenantrieben das BZ-System inklusive Kraftstoffaufbereitung (Reformer etc.).

Mit einer breiten Markteinführung von BZ-Systemen und der damit verbundenen Massenfertigung von Stacks, insbesondere von PEM-Brennstoffzellen (PEMFC) für mobile Anwendungen (Pkw, Busse und Lkw), sowie von HT-PEMFC und SOFC-Systemen für stationäre Anwendungen könnten über die bereits angenommenen Weltmarktentwicklungen hinaus weitere Kostenreduktionen für BZ-Antriebssysteme für Schiffe erfolgen. Dies gilt ebenfalls für Druckwasserstoffspeicher (CGH₂), die vor allem in Straßenfahrzeugen in großen Stückzahlen eingesetzt werden können. Hier zeichnet sich über die Nutzung im Pkw aktuell eine darüberhinausgehende Einführung von CGH₂-Antrieben im Lkw-, Bus- und Bahnverkehr ab.

Die Kosten für die Erzeugung erneuerbarer PtX-Kraftstoffe werden insbesondere durch die Kosten für die Bereitstellung von erneuerbarem Strom dominiert. Können diese weiter gesenkt werden, hat dies einen direkten Einfluss auf die Wasserstoffgestehungskosten. Mögliche Maßnahmen zur Reduzierung der Strombereitstellungskosten aus betriebswirtschaftlicher Sicht sind zum Beispiel eine zeitlich begrenzte Reduktion von Abgaben und Steuern auf erneuerbaren Strom zur PtX-Produktion in Deutschland beziehungsweise der Import von günstigerem EE-Strom oder von EE-Kraftstoffen aus Regionen mit deutlich höherer Solareinstrahlung, Windhäufigkeit sowie großtechnischer H₂-Erzeugung. Mit einer Senkung der Wasserstoffgestehungskosten können in der Folge auch die Kosten für synthetisierte EE-Kraftstoffe reduziert werden.

Die Einführungshürde von strombasierten Kraftstoffen kann zudem durch mögliche Kostensteigerungen des fossilen Dieselmotors niedriger werden. Heute ist Dieselmotorkraftstoff für die Binnenschifffahrt von einer Besteuerung weitestgehend befreit. Bei einer Energiebesteuerung vergleichbar mit Benzin würden die Kraftstoffkosten für Diesel gegenüber heute deutlich steigen. Zusätzliche klimawirksame Abgaben (z. B. auf Basis der ausgestoßenen Treibhausgasemissionen – CO₂-Preis; s. Abb. 3) werden zu einem weiteren Anstieg der WtP-Kosten für dieselmotorgestützte Antriebssysteme führen.

Unter Berücksichtigung weiterer Entwicklungen beziehungsweise Maßnahmen können sowohl Antriebssysteme mit fossil betriebenen Dieselmotoren deutlich

teurer als auch EE-Brennstoffzellensysteme deutlich günstiger werden. Hierfür müssen vor allem durch die Politik, aber auch durch die Industrie Maßnahmen ergriffen beziehungsweise Rahmenbedingungen geändert werden. ||

Literatur

- [1] M. Zerta, P. Schmidt, W. Weindorf, U. Bünger, L. Langfeldt, B. Scholz, L.-V. Giebel, P. Klemm, G. Sattler: ShipFuel – Strombasierte Kraftstoffe für Brennstoffzellen in der Binnenschifffahrt. 30. September 2020, www.now-gmbh.de/content/service/3-publikationen/5-mobilitaets-und-kraftstoffstrategie/now_studie-ship-fuel.pdf.
- [2] A. Hütter, Güterverkehr in Deutschland 2014, Statistisches Bundesamt, WISTA 1, 2016.
- [3] BMVI, Verkehr in Zahlen, 2017/18

Autoren:

Dr. Ulrich Bünger, Martin Zerta, Patrick Schmidt, Werner Weindorf
Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST)

→ Ulrich.Buenger@lbst.de

Lars Langfeldt, Benjamin Scholz, Lea-Valeska Giebel, DNV GL SE
→ Benjamin.Scholz@dnvgl.com

Peter Klemm, Gunter Sattler, Ingenieurbüro für Schiffstechnik (IfS)
→ p.klemm@kabelmail.de



ANWENDERZENTRUM H2HERTEN

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

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

CertifHy – GARANTIERT „BUNTER“ WASSERSTOFF

Zertifizierung von nachhaltig erzeugtem Wasserstoff

Das europäische Nachweissystem für die Herkunft von erneuerbarem (grünem) und kohlenstoffarmem (blauem) Wasserstoff hat den Pilotbetrieb erfolgreich absolviert. Ab sofort können im Rahmen von *CertifHy* Zertifizierungen durchgeführt und Herkunftsnachweise ausgestellt und genutzt werden.

Die aktuell große Dynamik, mit der Wasserstoff in den Markt drängt, ist begleitet von Diskussionen, auf welchem Wege der Wasserstoff hergestellt wurde und wie die jeweilige Umweltbewertung ausfällt. Es geht um den Ausbau und den Einsatz von erneuerbaren Energien in allen Sektoren und insbesondere im Verkehr sowie um die Klimaverträglichkeit von nur schwer dekarbonisierbaren Branchen wie der Chemieindustrie und Petrochemie, Raffinerie und Stahlherstellung.

Die aktuelle „Farbenlehre“ in Deutschland und Europa reicht von grau über blau und türkis bis grün. Zwei wesentliche Kriterien bestimmen die „Farbe“ des eigentlich unsichtbaren Gases: die verwendete Primärenergie zur Herstellung des Wasserstoffs und die Treibhausgasbilanz in der Herstellung inklusive aller Emissionen in den Vorketten.

NACHHALTIGKEITSKRITERIEN GEBEN ORIENTIERUNG *CertifHy* hat dafür europaweit akzeptierte Kriterien entwickelt, die von seiner Stakeholder-Plattform im Jahr 2019 einhellig beschlossen wurden [1]. Europa führt damit die Diskussion um die Herkunft von Wasserstoff international an und sieht sich von Asien, Amerika und Australien aufmerksam verfolgt. Es gibt ein von vielen Seiten artikuliertes Interesse, international einheitliche Definitionen und Kriterien zu verwenden. *CertifHy* bietet dafür hervorragende Voraussetzungen aufgrund des breiten Konsenses in Europa und der langjährigen Einbindung internationaler Beobachter.

Wesentlich für die Zertifizierung in *CertifHy* ist die Klimabilanz der Wasserstoffherzeugung, die um mindestens 60 Prozent besser sein muss als bei der H_2 -Erzeugung aus Erdgas. Zusätzlich muss sichergestellt sein, dass Anlagen, die verschiedene Energiequellen nutzen, im Jahresmittel nicht mehr Treibhausgase verursachen, als bei Wasserstoff aus Erdgas anfallen. Beispielsweise darf ein Elektrolyseur, der sowohl erneuerbaren als auch fossilen Strom verwendet, nicht vorwiegend mit Kohlestrom betrieben werden, während nur ein kleiner Anteil erneuerbaren Stroms zur Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff eingesetzt wird. Ziel dieser Anforderung ist es, dass Anlagen nicht einerseits erneuerbare Herkunftsnachweise erhalten können, wenn sie andererseits insgesamt eine Steigerung der Treibhausgase aus der konventionellen Wasserstoffherzeugung verursachen.

Daneben ist die eingesetzte Primärenergie relevant für die Unterscheidung zwischen erneuerbarem und kohlenstoffarmem Wasserstoff (s. Abb. 1). Als erneuerbar gelten die in der Erneuerbare-Energien-Richtlinie [2] als solche definierten Energien: Wind (onshore und offshore), Sonne (Solarthermie und Photovoltaik), geothermische Energie, Umgebungsenergie, Gezeiten-, Wellen- und sonstige Meeresenergie, Wasserkraft und Energie aus Biomasse, Deponiegas, Klärgas und Biogas.

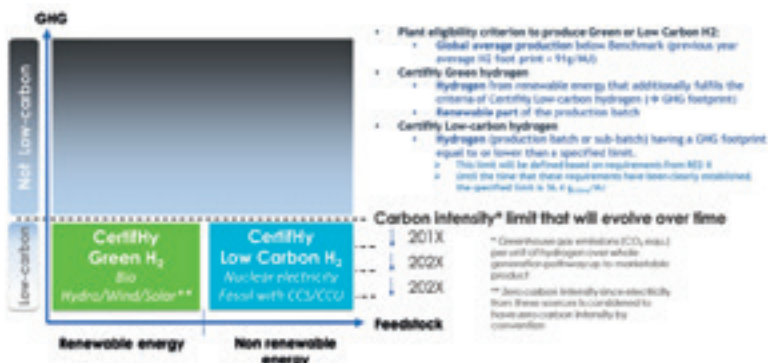


Abb. 1: Treibhausgasbilanz und Primärenergiequelle bestimmen die „Farbe“ des Wasserstoffs bei CertifHy [Quelle: Hiniçio]

Damit geht *CertifHy* für erneuerbaren Wasserstoff in zwei Aspekten über die Anforderungen der Erneuerbare-Energien-Richtlinie an Herkunftsnachweise hinaus. Erstens: Erneuerbarer Wasserstoff muss seine positive Treibhausgasbilanz nachweisen, was insbesondere für Erzeugungspfade auf der Basis von Bioenergien relevant ist. Und zweitens: Anlagen dürfen über zwölf Monate nicht mehr Treibhausgasemissionen verursachen als Erdgasdampfpreformer (s. Abb. 2). In der Richtlinie wird explizit die Option genannt, dass „Herkunftsnachweise für Energie aus nicht erneuerbaren Quellen ausgestellt“ werden, was *CertifHy* mit einem Label für kohlenstoffarmen Wasserstoff umsetzt.

STANDARDISIERUNG AUF EU-EBENE

Herkunftsnachweise dienen zur Aufklärung von Kunden, die den Wasserstoff nutzen wollen. Herkunftsnachweissysteme müssen die in Artikel 19 der Erneuerbare-Energien-Richtlinie festgelegten Anforderungen erfüllen. Relevant für Wasserstoff sind dabei zwei Änderungen in der 2018 verabschiedeten Neufassung: Neben Strom werden jetzt auch Herkunftsnachweise für andere Energieträger ausgestellt, und es wird explizit auf den CEN-Standard EN 16325 verwiesen, der in seiner bisherigen Fassung ausschließlich Herkunftsnachweise für Strom („Guarantees of Origin for Electricity“) abdeckt.

Aus diesem Grund hat das Europäische Komitee für Normung (CEN) die Diskussionen bei *CertifHy* um die Überarbeitung dieses Standards und die Ausweitung auf Wasserstoff aufgegriffen und im Rahmen des Joint Technical Committee 14 „Energy management and energy efficiency in the framework of the energy transition“ die Arbeitsgruppe WG 5 „Guarantees of Origin related to energy“ etabliert. Das erste Treffen fand am 7. Februar dieses Jahres unter Leitung von Convenor Daniël Pol statt, der bei *CertifHy* die Arbeitsgruppe 1 „GO Scheme and Procedures“ stellvertretend leitet.

Ziel der Aktivitäten ist es, den Standard rechtzeitig zum 1. Juli 2021, dem Zieldatum der nationalen Umsetzung der Richtlinie in den 27 Mitgliedsstaaten, fertig zu haben. Wichtig für Wasserstoff ist in diesem Zusammen-

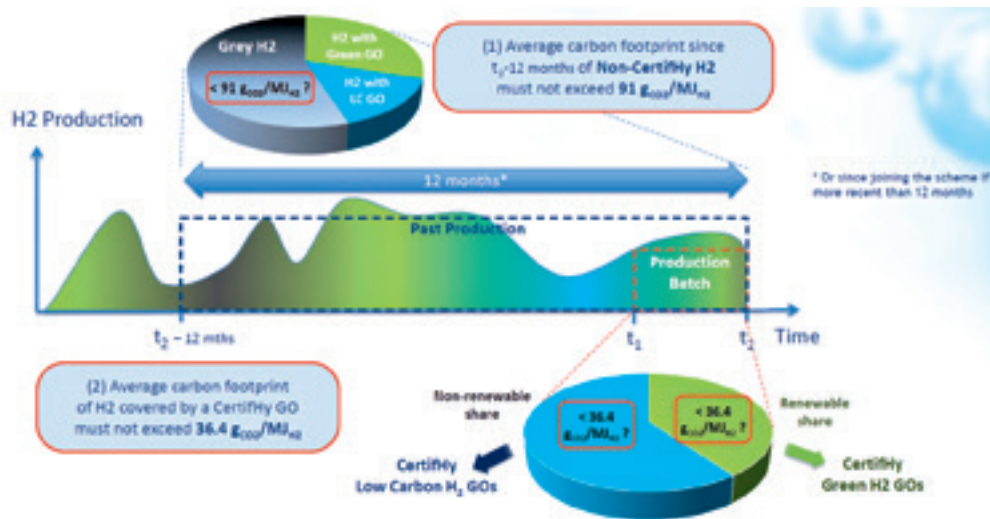


Abb. 2: CertifHy-Anforderungen an H₂-Erzeugungsanlagen und an den erzeugten erneuerbaren oder kohlenstoffarmen Wasserstoff [Quelle: Hincij]

hang, dass Wasserstoff als eigener Energieträger behandelt und nicht als ein Element von mehreren unter erneuerbaren Gasen subsumiert wird. Die Arbeitsstruktur gibt Anlass zur Hoffnung, dass in der CEN-Arbeitsgruppe den Besonderheiten von Wasserstoff und seinen Infrastrukturen Rechnung getragen wird, indem ihm ein eigenständiger Status eingeräumt wird.

Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie, deren Diskussion sich bis Ende 2018 über gut zwei Jahre hingezogen hatte, wird der stark gestiegenen Bedeutung von Wasserstoff bislang noch nicht gerecht. Dort wird Wasserstoff noch unter „Gas, einschließlich Wasserstoff“ geführt. Auch im deutschen regulatorischen Rahmen wäre es wichtig, Wasserstoff als eigenen Energieträger zu etablieren und nicht mehr unter „Biogas“ zu erfassen.

Um den ehrgeizigen Zeitplan einhalten zu können, hat die Europäische Kommission eine unterstützende Aktivität ausgeschrieben, für die ein Konsortium unter der Führung von AIB – Association of Issuing Bodies und unter Beteiligung der CertifHy-Partner Hincij und Grexel den Zuschlag erhalten hat. Das Projekt FaStGO arbeitet der CEN-Standardentwicklung zu.

Die Entwicklung des europaweiten CEN-Standards unterstützt den Ansatz von CertifHy, ein europaweit einheitliches Zertifizierungsregime für Wasserstoff anzubieten. Ziel ist es, eine einheitliche, verifizierte Informationsbasis zu schaffen, die einen europaweiten Austausch von Herkunftsnachweisen (Nachhaltigkeitsqualität) und von Wasserstoff (physisch) unterstützt. CertifHy ist dazu mit einer Reihe von besonders ambitionierten Mitgliedsstaaten in engem Kontakt.

ANWENDUNG IN DER PRAXIS Im vergangenen Jahr hat H2 Mobility Deutschland CertifHy-Herkunftsnachweise für erneuerbaren Wasserstoff von Air Products aus den Niederlanden erworben. Deren Geschäftsführer Nikolas Iwan erklärte: „CertifHy-green-hydrogen-Zertifikate von Air Products erhöhen den Anteil an grünem Wasserstoff unserer Tankstellen erheblich. Wir sind der festen Überzeugung, dass CertifHy mithelfen wird, einen innovativen und transparenten Markt für erneuerbaren Wasserstoff zu etablieren.“

In EU-Projekten mit Wasserstoffbezug wird CertifHy zunehmend als Nachweiselement für Nachhaltigkeit eingeführt. Allein im kürzlich veröffentlichten Arbeitsprogramm 2020 [3] des Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (FCH 2 JU) wird CertifHy mehr als dreißig Mal erwähnt. Die Erzeugung beziehungsweise der Bezug von grünem

Wasserstoff für die Nutzung in Brennstoffzellenantrieben von Bussen, Schiffen und Zügen sowie in Speicher- oder in Inselsystemen soll in neuen Vorhaben durch CertifHy-Herkunftsnachweise belegt werden.

DIE KOSTEN DER CERTIFHY-ZERTIFIZIERUNG Nach der aktuellen Preisliste von CertifHy fallen für die Nutzung von CertifHy wie bei allen Herkunftsnachweissystemen verschiedene Gebühren an. Erzeuger, Händler und Nutzer von Herkunftsnachweisen müssen in der CertifHy-Registry ein Konto mit den damit verbundenen Anmelde- und Führungsgebühren führen. Ebenso müssen die H₂-Erzeugungsanlagen registriert und auditiert werden. Und schließlich muss die Wasserstoffherzeugung verifiziert und die damit verbundenen Herkunftsnachweise müssen ausgestellt werden. Demgegenüber sind die Übertragung von Herkunftsnachweisen auf andere Kontoinhaber und deren Entwertung gebührenfrei. Die aktuelle CertifHy-Preisliste kann bei den Autoren dieses Artikels angefordert werden. ||

Literatur:

- [1] CertifHy-Dokumente: www.certifhy.eu/publications-and-deliverables.html
- [2] Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11.12.2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung). OJ L 328/82, 21.12.2018.
- [3] www.fch.europa.eu/sites/default/files/AWP%202020.pdf

Autoren:



Matthias Altmann
→ matthias.altmann@lbst.de



Patrick Schmidt
→ patrick.schmidt@lbst.de
beide Ludwig-Bölkow-Systemtechnik,
München/Ottobrunn

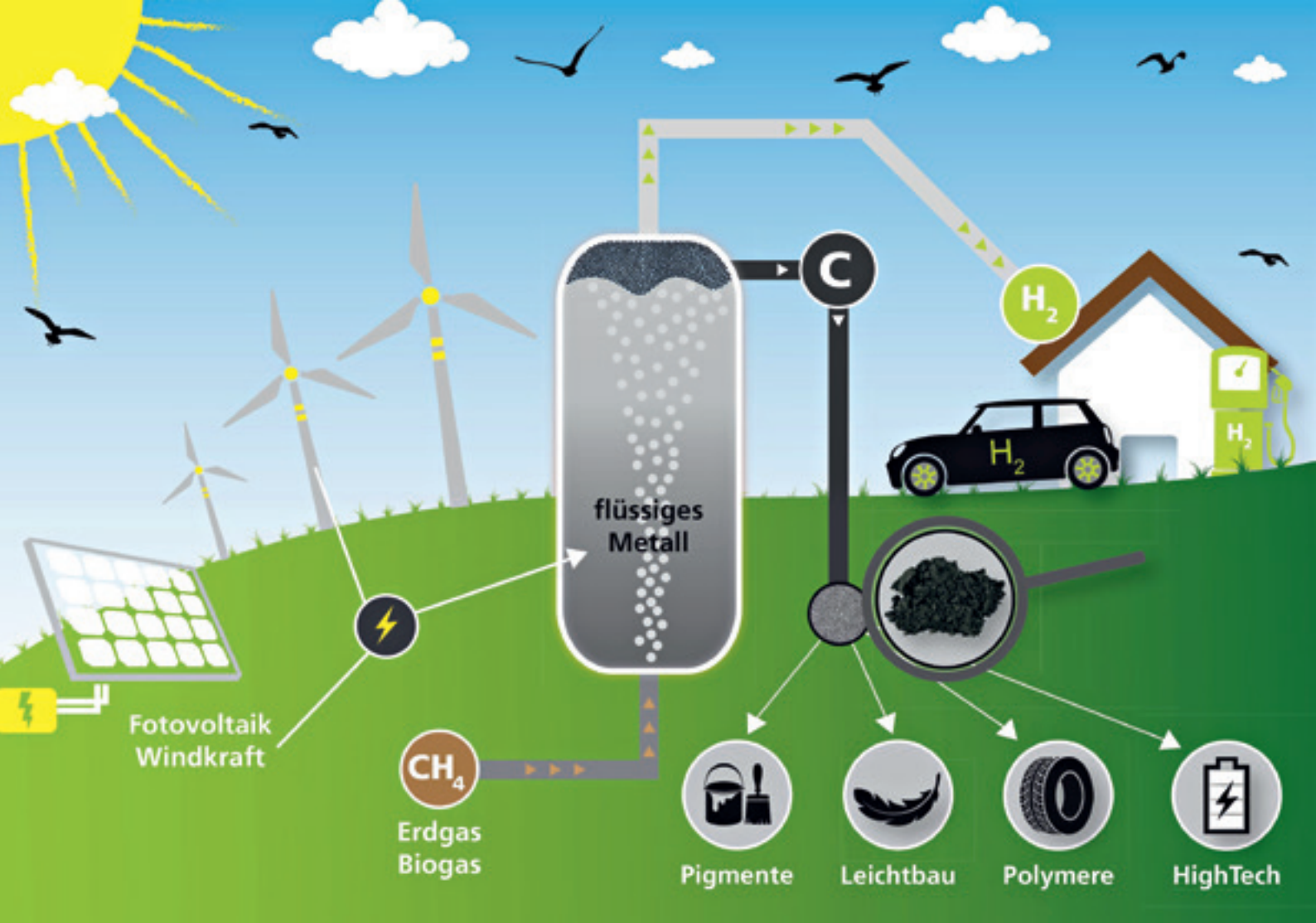


Abb. 1: Methanpyrolyse [Quelle: Leon Kühner, KIT]

Thema: Entwicklung | Autorin: Elena Aminova |

TÜRKISER WASSERSTOFF – EIN GAME CHANGER?

Pyrolyse als Pfad zur Wasserstoffproduktion

Die von der Bundesregierung annoncierte Nationale Wasserstoffstrategie soll Anfang 2020 verabschiedet werden. Sie will damit einen Regulierungsrahmen für Wasserstoff schaffen. Transport, Heizung, Energiespeicherung und -übertragung sowie chemische Industrie könnten davon bereits kurzfristig profitieren.

Laut aktuellen Klimaschutzszenarien wird das Energiesystem in Zukunft nicht mehr zentral und fossil, sondern dezentral und regenerativ sein. Wasserstoff ist bereits jetzt sehr gefragt, und die H₂-Industrie wird noch weiterwachsen. Experten schätzen, dass Wasserstoff in einem Energiemix bis zu 24 Prozent des Gesamtenergiebedarfs der EU im Jahr 2050 abdecken könnte.

Um Wasserstoff in industriellem Maßstab erzeugen und wirtschaftlich machen zu können, bedarf es eines strategischen Ansatzes. Dabei geht es vor allem darum, industriell reife Technologien zu entwickeln, aber auch relevante Anwendungsfelder zu schildern, Infrastrukturen auszubauen und einen geeigneten Rechtsrahmen zu schaffen.

Wasserstoff gilt als „saubere“ Alternative zu fossilen Rohstoffen. Allerdings sind die bisherigen Produktionsverfahren entweder mit relativ hohen Kosten oder mit CO₂-Ausstoß

verbunden. Neben Elektrolyse und Erdgas-Dampfreformierung gewinnt aber aktuell eine weitere Technologie – nämlich die thermische Zerlegung von Erdgas in Wasserstoff und Kohlenstoff durch Pyrolyse – immer mehr an Bedeutung.

H₂-HERSTELLUNG AUS METHAN Die Idee direkter thermischer Zersetzung von Methan ist nicht neu. Unter anderem arbeitet der russische Energiekonzern Gazprom seit Jahren in seinen Forschungszentren in Tomsk an dieser Technologie zur Spaltung von Methan in seine Elemente, was mitunter auch als Methan-Cracken oder -Dekarbonisierung bezeichnet wird. Das Hauptproblem bei der praktischen Umsetzung war bisher die sehr kurze Betriebsdauer der Anlagen. In vielen Fällen lagerte sich der produzierte Kohlenstoff in der Reaktionszone ab und führte zur Verstopfung des Reaktors.



Das Pyrolyseverfahren läuft in einem vertikalen Blasen-säulenreaktor, der mit Flüssigmetall gefüllt ist, ab. Hierbei werden in dem Reaktor kleine Methanblasen von unten in eine mit geschmolzenem Zinn gefüllte Säule geleitet.

Während diese in dem flüssigen Metall aufsteigen, findet die eigentliche Crack-Reaktion statt. Der Kohlenstoff wird an der Blasenoberfläche gebildet. Sobald dort die Blasen zerfallen, sammelt sich elementarer schwarzer Kohlenstoff als Pulver am oberen Ende des Reaktors.

ABTRANSPORT FESTER BESTANDTEILE Sowohl das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) als auch das Potsdamer Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) setzten ihre Expertise in der Flüssigmetallforschung für die Optimierung dieses Prozesses ein und fanden geeignete Lösungsansätze. Der Hauptvorteil der von ihnen vorgeschlagenen Methode ist im Vergleich zu früheren Ansätzen die kontinuierliche Abtrennung und der Abtransport des produzierten festen Kohlenstoffs aus der Reaktionszone. Nachdem die Blasen die Flüssigmetalloberfläche erreicht haben, wird dabei das Kohlenstoffpulver mit bereits verfügbaren konventionellen Methoden aus dem System entfernt.

Bei den Labortests am KIT lief ein Versuchsreaktor zwei Wochen lang im Dauerbetrieb und produzierte bei Temperaturen von rund 1.200 °C Wasserstoff mit einer Umwandlungsrate von bis zu 78 Prozent. Am Ende des Pyrolyseverfahrens entstehen ansonsten nur hochwertige Industrierohstoffe. Im Unterschied zu den anderen industriellen Ansätzen der Wasserstoffproduktion erfolgt die Methanpyrolyse ohne CO₂-Emissionen. Somit bietet die Pyrolyse im Vergleich zur Elektrolyse und zur Dampfreformierung eine kostengünstige, praktische, industriell skalierbare und klimaneutrale Herstellungsmethode für Wasserstoff.

Einsetzbar wäre sowohl der Wasserstoff als auch der Kohlenstoff beispielsweise in der Stahlproduktion. Der Wasserstoffbedarf in Europa allein für die Substitution von Koks könnte im Jahr 2050 bei 140 TWh liegen. Bislang werden im klassischen Hochofenprozess rund 300 Kilogramm Koks und 200 Kilogramm Kohlestaub gebraucht, um eine Tonne Roheisen zu produzieren. Dabei wird der Kohlenstoff als zusätzliches Reduktionsmittel durch Düsen in den Boden des Hochofenschachtes eingeblasen. Statt Kohlenstoff kann hierfür auch Wasserstoff eingesetzt werden, wodurch sich der CO₂-Fußabdruck bei der Stahlerzeugung um bis zu 20 Prozent senken ließe. Außerdem ließe sich hier im Metallbereich auch das zweite Endprodukt der

Methanpyrolyse – der elementare Kohlenstoff – effektiv einsetzen, beispielsweise beim anschließenden Galvanisieren, Beschichten, Gravieren, Bohren, Polieren und Schweißen.

Somit ermöglicht die Pyrolyse eine kostengünstige, praktische, industriell skalierbare und klimaneutrale Herstellung von Wasserstoff. ||

Autorin:

Dr. Elena Aminova

→ elena.aminova@orange-n-square.com

Orange 'n' square, Berlin

HYDROGEN SOLUTIONS...

For a sustainable future

Nel Hydrogen electrolyzers will help monetize excess energy, balance renewable electric generation and produce high purity hydrogen for industrial and transport markets.

- Alkaline and Proton® PEM technologies
- Safe, clean and cost effective
- Ideal for renewable energy storage and grid management
- Green hydrogen for industrial applications and transport fuels
- 90 years of field experience
- Scale to match any application



nel•

Visit us on-line or call for a consult with one of our sales engineers today!

+1.203.949.8697

www.nelhydrogen.com

MESSTECHNIK FÜR WASSERSTOFFFAHRZEUGE

Messung und Zulassung von Wasserstofftankstellen



Abb. 1: H₂-Prüfstandard (Hydrogen Field-Testing Standard - HFTS) auf einem Anhänger und in Betrieb an der Empa-Wasserstofftankstelle [Quelle: Metas]

44

Um seine Verwendung als kohlenstoffarmer Verkehrskraftstoff zu fördern, soll eine umfassende Wasserstoffinfrastruktur in Europa aufgebaut werden. Die Industrie steht dabei allerdings vor dem Dilemma, dass sie bestimmte, gesetzlich vorgeschriebene Anforderungen erfüllen muss, die aufgrund fehlender Verfahren und Standards aktuell nicht zu erfüllen sind. Eine große messtechnische Herausforderung ist beispielsweise die exakte Bestimmung der beim Betanken abgegebenen Wasserstoffmenge. Ungenaue Werte oder Messfehler können zu einem erheblichen wirtschaftlichen Schaden führen, wenn dem Kunden nicht der korrekte Preis berechnet würde. Der gesamte Infrastrukturaufbau könnte sich dadurch verlangsamen oder gar zum Stillstand kommen.

In diesem Artikel werden wir die gesetzlich definierten Anforderungen und Standards vorstellen, die die Messung des Wasserstoffdurchflusses zu einer Herausforderung machen, und die Maßnahmen besprechen, die in dem Projekt „Messtechnik für Wasserstofffahrzeuge“ (MetroHyVe – Metrology for Hydrogen Vehicles), das Teil des European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR) ist, entwickelt werden. Dieses Gemeinschaftsprojekt umfasst mehrere technische Arbeitspakete. Eines davon widmet sich der oben beschriebenen Durchflussproblematik. Zu den rund 20 Partnern gehören Unternehmen aus den Bereichen Messwesen, Wissenschaft und Wasserstoff.

DER PROZESS FÜR DIE ZULASSUNG In Tanksäulen, die Benzin, Diesel oder Flüssiggas (LPG) für herkömmliche Fahrzeuge abgeben, muss die Menge des abgegebenen Kraftstoffs so gemessen werden, dass dem Kunden nach dem Tanken der Betrag ordnungsgemäß in Rechnung gestellt werden kann. Die Internationale Organisation für das gesetzliche

Messwesen (OIML) ist eine weltweite, zwischenstaatliche Organisation, die das Ziel verfolgt, die Regulierungen und messtechnischen Kontrollen, die für das nationale Messwesen gelten, zu vereinheitlichen und weltweite Standards zu schaffen. Sie hat zudem die Internationale Empfehlung OIML-R117 [1] herausgebracht, die die Anforderungen an die Zulassung von Komponenten des Messsystems enthält und für dynamische Messsysteme für Flüssigkeiten, die messtechnisch kontrolliert werden müssen (außer Wasser), gilt. Die Landesbehörden können dann entscheiden, ob sie die international vereinheitlichten Empfehlungen als Grundlage für ihre nationalen Gesetze und Zulassungsverfahren verwenden.

Wasserstofftankstellen sehen wie Benzin- oder Erdgas-tanksäulen aus und werden auf ähnliche Weise betrieben: Der Endnutzer fährt an eine Tanksäule, betankt sein Fahrzeug und setzt nach dem Bezahlen seine Reise fort. Damit dem Kunden der korrekte Betrag berechnet wird, muss die Kraftstoffmenge, die in das Fahrzeug kommt, bekannt sein. Bei einer Wasserstofftankstelle führt ein Durchflussmesser, der die abgegebene Menge ermittelt, diese Messung durch.

Die Internationale Empfehlung OIML-R139 [2] gilt für Messsysteme, die für das Betanken von Straßenfahrzeugen, Schienenfahrzeugen, Booten, Schiffen und Flugzeugen mit Erdgas, Druckwasserstoff, Biogas oder anderen komprimierten gasförmigen Kraftstoffen vorgesehen sind. Sie besteht aus drei Teilen: Der erste Teil legt die messtechnischen und technischen Anforderungen dar. Der zweite Teil enthält Leitlinien für die Typenprüfung der Messsysteme und ihrer Komponenten sowie für die Erst- und Folgeprüfung. Der letzte Teil behandelt das Berichtsformat für die Typenprüfung. 2018 wurde die OIML-R137 um Wasserstofftankstellen erweitert. Die Empfehlung schlägt spezifische Genauigkeitsklassen für Wasserstoff von 2 % oder 4 % im Vergleich zu 0,5 % für Benzin oder Diesel und 1 % für Erdgas vor.

Bis Anfang 2018 gab es keine zertifizierten Referenzprüfvorrichtungen, um Durchflussmesser, die an Wasserstofftankstellen verwendet werden, über eine angemessene Spanne an Drücken, Temperaturen und Durchflussraten zu testen, zu kalibrieren oder zu prüfen. Auch gab es keine H₂-Tankstelle, die den Anforderungen von OIML-R139 vollständig entsprach. Daher liegt es nahe, dass heute nicht zertifizierte H₂-Säulen zum Tankstellennetz gehören und die Landesbehörden den Druck für die Zertifizierung dieser Stationen allmählich erhöhen.

Mittlerweile entwickeln mehrere nationale Messwesensinstitute und Akteure der H₂-Industrie die benötigte messtechnische Infrastruktur, um diese Prüfungen durchzuführen: Dies ist auch der Inhalt des EMPIR-Projekts MetroHyVe, das von Juni 2017 bis Juni 2020 läuft. Die Europäische Union hat über das FCH-JU (Fuel Cell Hydrogen Joint Undertaking) eine spezielle Ausschreibung gestartet, um parallel ein Messprotokoll für Wasserstofftankstellen zu entwickeln, den Prozess voranzutreiben und eine kurzfristige Lösung für das Zulassungsverfahren von H₂-Tanksäulen zu liefern, bevor die Ergebnisse des MetroHyVe-Projekts vorliegen. Dieses Vorhaben begann im November 2017 und endete im April 2019.



Abb. 2: Der HFTS besitzt einen Tankstutzen wie ein normales Wasserstofffahrzeug. Die Betankungsdauer ist mit der eines Fahrzeugs vergleichbar. [Quelle: Meta]

HERAUSFORDERUNGEN BEI DER MESSUNG Das Betanken mit komprimiertem Wasserstoff erfolgt gemäß einem internationalen Standard, der von der Society of Automotive Engineers (SAE) definiert wurde. Der SAE J2601 [4] legt das Protokoll und die Verfahrensgrenzen für die Wasserstoffbetankung von Leichtfahrzeugen fest, so dass die Fahrzeugtanks nicht überhitzen oder überlaufen. Beim Füllen des Druckbehälters mit Wasserstoff führt Kompressionswärme zu einem Anstieg der Temperatur, die aber 85 °C nicht übersteigen darf. Fahrzeuge werden daher im Allgemeinen mit vorgekühltem Wasserstoffgas aus Druckgasflaschen innerhalb von drei bis fünf Minuten betankt.

Während einer Betankung liegen Temperatur und Druck in einer breiten Spanne: Der Druck kann von 10 bar auf einen nominellen Arbeitsdruck von 700 bar steigen. Um kurze Betankungszeiten zu ermöglichen, kann der Wasserstoff auf -40 °C heruntergekühlt werden. Der Mengendurchsatz wird über eine Druckrampenrate bestimmt, die vom Anfangsdruck, vom verfügbaren Volumen und von der Temperatur abhängt. Diese Prozessbedingungen stellen hohe Anforderungen für die Durchflussmessung an die speziellen Prüfvorrichtungen dar.

Durchflussmesser für diese Bedingungen stehen mittlerweile seit vielen Jahren zur Verfügung und wurden hinsichtlich stabiler Messungen, bei denen vorwiegend Wasser oder nicht-explosive Gase verwendet wurden, getestet. Jetzt müssen neue Verfahren entwickelt werden, um H₂-Durchflussmesser während der Typenprüfung zu testen, um zu vermeiden, dass betriebsbereite Tankstellen für die Typenprüfung verwendet werden. Tatsächlich sind Prüfungen mit Wasserstoff bei einem Druck bis zu 700 bar in einem Labor, vor allem aus Sicherheitsgründen, kompliziert.

ZIELE UND ERGEBNISSE VON METROHYVE Das MetroHyVe-Projekt nähert sich seinem Ende (Juni 2020). Die Probleme der Durchflussmessung wurden auf unterschiedliche Weise behandelt. Wir haben Laborarbeiten durchgeführt, indem wir die Leistung der Coriolis-Massenflussmesser bewertet haben, die uns verschiedene Hersteller von H₂-Durchflussmessern zur Verfügung gestellt haben. Dabei haben wir sichere Ersatzflüssigkeiten und nicht Wasserstoff bei unterschiedlichen Temperaturen und Drücken unter kontrollierten Laborbedingungen getestet. Die Rahmenbedingungen wurden so ausgewählt, dass die Dichten und

Massenflussraten, die in diesem Testprogramm festgelegt wurden, ein breites Spektrum an Praxisbedingungen repräsentierten. Der Effekt der Temperaturveränderung wurde während des Testprogramms ebenfalls untersucht.

Wasserstofftankstellen müssen messtechnische Anforderungen erfüllen. Sie müssen getestet und zugelassen werden. Um dies zu erreichen, haben die MetroHyVe-Partner mehrere mobile Feldprüfstandards entwickelt, die auf einem gravimetrischen Messverfahren basieren. Die effektiv abgegebene H₂-Menge aus der Tanksäule wird in Druckbehältern gesammelt. Diese Druckbehälter sind mit denen in Brennstoffzellenfahrzeugen vergleichbar. Ihr Gewicht wird vor und nach der Betankung mit einer Waage bestimmt und mit der Anzeige der Tanksäule verglichen. Was einfach klingt, ist in Wirklichkeit recht kompliziert, weil mehrere Faktoren die Messung beeinflussen und eine hohe Genauigkeit von mindestens 0,4 % erforderlich ist. Einflussfaktoren wie Wind, Position der Waage (Verschiebung des Massenschwerpunkts), Konvektionsströme aufgrund sich verändernder Oberflächentemperaturen der Druckbehälter und die Kondensation der Umgebungsfeuchtigkeit an den kalten Rohren der Prüfvorrichtung während einer Betankung müssen berücksichtigt werden, wenn zuverlässige Ergebnisse erzielt werden sollen.

Am Ende einer Betankung wird der Inhalt der Druckbehälter (3 bis 4 kg) unter kontrollierten Bedingungen in die Atmosphäre freigesetzt. Der leichte Wasserstoff explodiert, wenn er in Kontakt mit Sauerstoff über ein breites Mischungsverhältnis und einer gewissen Zündenergie gelangt. Diese Reaktion muss mit allen Mitteln verhindert werden. Aus diesem Grund werden eine Risikoanalyse und eine ATEX-Zertifizierung (explosive Umgebung) der gravimetrischen Standards von einer benannten Stelle durchgeführt.

Die ersten Testmessungen mit dem von METAS entwickelten gravimetrischen Standard wurden durchgeführt und zeigten einen reibungslosen Betrieb der Prüfvorrichtung. Standortmessungen mit diesem gravimetrischen System waren jedoch zeitaufwendig und erforderten eine gewisse Logistik. Eine potenzielle zukünftige Lösung wäre die Entwicklung eines mobilen Messsatzes, der auf einem sorgfältig charakterisierten Referenzdurchflussmesser basiert, der während einer Betankung zwischen Tanksäule und Fahrzeug in Reihe gesetzt würde. Der gravimetrische Standard würde dann als primäre Referenzvorrichtung dienen, um diese Durchflussmesser zu kalibrieren. Ein EMPIR-Folgeprojekt namens MetroHyVe 2 wird dieses Problem behandeln. ||

Literatur

- [1] OIML R117:1, Dynamic measuring systems for liquids other than water – Part 1: Metrological and technical requirements, 2007
- [2] OIML R139, Compressed gaseous fuel measuring systems for vehicles, 2018
- [3] FCH JU Study, Development of a metering protocol for hydrogen refueling stations, contract no: FCH / OP 196
- [4] SAE J2601, Fueling protocol for light duty gaseous hydrogen surface vehicles, 2016



Autor:

Dr. Marc de Huu
→ marc.dehuu@metas.ch
Federal Institute of Metrology METAS,
Bern-Wabern, Schweiz

2020 – EINSTIEG INS WASSERSTOFFJAHRZEHN

Aktienanalyse von Sven Jösting

Rasant ging es seit Jahresbeginn bei den hier besprochenen Brennstoffzellenaktien nach oben, bevor der aus China stammende Corona-Virus und die damit verbundenen Ängste (Auswirkungen auf die Weltwirtschaft) die Oberhand gewannen und Teile der Kursgewinne wieder dahinschmelzen ließen. Klar ist aber angesichts der vielen Medienberichte, der zahlreichen geplanten Projekte und des immer populärer werdenden Themenkomplexes „grüner Wasserstoff“, dass die Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik nun in aller Munde ist und ihr Durchbruch an den Märkten ansteht.

Einer der vielen potentiellen Märkte ist die Elektromobilität, wo die Brennstoffzelle vor allem mit der Batterie konkurriert. Vielfach übersehen wird hierbei, dass sich China als weltgrößter Absatzmarkt für Kraftfahrzeuge technologieoffen gibt und insbesondere den Potentialen der Brennstoffzelle besondere Unterstützung und Förderung zuteilwerden lässt – inzwischen auf Kosten der Batterie.

An der Börse feierten derweil auch Totgeblaupte wie FuelCell Energy wie erwartet ihr Comeback – wie der Phoenix aus der Asche. Auch andere Werte profitieren von der allgemein guten Stimmung in der Branche, da man weltweit via Brennstoffzelle und Wasserstoff dem Klimawandel begegnen will (z. B. Green Deal der EU). Es sind zwar vielerorts immer noch Testprojekte, Reallabore, Kleinstserien und Prototypen, die ihr Debüt erleben und der Öffentlich-

keit präsentiert werden, doch ist es nur eine Frage der Zeit, bis hieraus in den kommenden Jahren neue Trends und vor allem neue Megamärkte erwachsen.

Die hier behandelten Unternehmen und deren Aktien werden uneingeschränkt davon profitieren und könnten – Stichwort: US-Wahlen – auch in den USA aus der politischen Entwicklung zusätzlich Nutzen ziehen, sollten die Demokraten das Ruder übernehmen und massiv in regenerative Energien investieren, um dem Klimawandel zu begegnen. Auch befanden sich Unternehmen wie Tesla mit Rekordbewertungen an der Börse in einem wahren Rausch und Hype, der aber nun auch vorbeigeht, wenn in den kommenden Jahren die Brennstoffzelle, der Wasserstoff und die Infrastruktur mit den notwendigen Skalierungseffekten zur echten Konkurrenz werden.

Vor allem bei Lkw und Bussen hat die Brennstoffzelle bereits ein Level erreicht, das den rein batteriebetriebenen Modellen in die Quere kommt. Entscheidend ist die gesamte Preis- und Kostensituation, die sich in dem Begriff „cost of ownership“ widerspiegelt. Bei Lkw, die mit Wasserstoff und kleiner Batterie (Hybridtechnik) fahren, ist die Brennstoffzelle klar im Vorteil, da gewichtige und platzraubende Batterien entfallen. Nikola Motors lässt grüßen! Deren Börsendebüt wird hier neue Akzente setzen und auch im positiven Sinne auf andere Werte wie Ballard reflektieren. 2020 wird das Jahr des weltweiten Durchbruchs des ganzen Themenkomplexes Brennstoffzelle und Wasserstoff. Das Jahr 2019 war da – gefühlt – erst ein Anfang.

BALLARD POWER – GUT GERÜSTETER STARKER MARKTFÜHRER

Ab der zweiten Jahreshälfte beziehungsweise ab Mitte 2020 soll die Produktion der neuen, leistungsfähigen LCS-Stacks in China (Venture Weichai mit Ballard) beginnen. Dies ist meines Erachtens die Basis für ein hohes langfristiges Umsatz- aber auch Gewinnwachstum. Wir sind zeitlich nun nicht mehr weit davon entfernt. Gute hieraus zu erwartende Nachrichten im Jahresverlauf sind die Basis für die Kursentwicklung an der Börse, die ich sehr positiv – Ballard ist ja Weltmarktführer – einschätze.

GUTES ZAHLENWERK AUS 2019 – TENDENZ POSITIV Die Zahlen für das Geschäftsjahr 2019 waren gut; das vierte Quartal 2019 entsprach den Erwartungen. Umgesetzt wurden vergangenes Jahr 106,3 Mio. US-\$. Im letzten Quartal 2019 kam es zu einer auf Jahresbasis erhöhten Umsatzgröße von 41,9 Mio. US-\$, was einem Plus (Jahr-zu-Jahr) von 47 Prozent entspricht und immerhin über 10 Mio. US-\$ über den Erwartungen lag. Unter dem Strich blieb ein Minus von 0,04 US-\$ pro Aktie. Der Bargeldbestand hielt sich bei gesunden 147,8 Mio. US-\$. Für das Gesamtjahr 2020 wird nun ein Umsatz von 130 Mio. US-\$ angepeilt. Frisches Kapital werde man sich von Zeit zu Zeit an der Börse über ein ATM-Programm (at the market) besorgen: 75 Mio. US-\$ können es werden. Damit ist Ballard

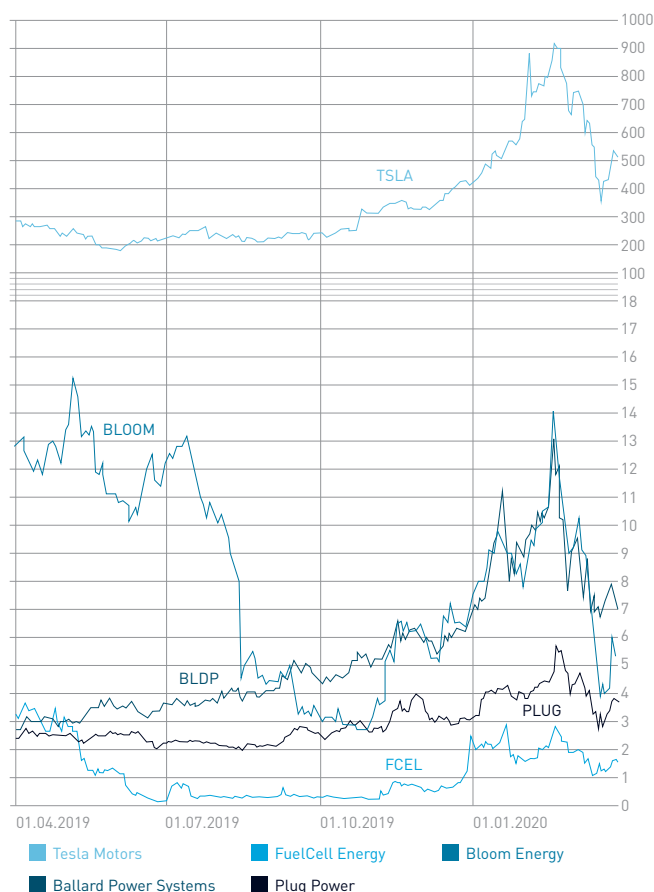


Abb. 1: Aktienkursverlauf der fünf besprochenen Unternehmen [Quelle: www.wallstreet-online.de] Kurse vom 23. März 2020



Abb. 2: Telekommunikationsmast in Thailand

gut aufgestellt, muss keine Kredite aufnehmen und auch den Bargeldbestand wenig antasten. Vielleicht plant man mit den 75 Mio. US-\$ auch anderes – einen Unternehmenszukauf?

AUFTRAG FÜR BZ-SYSTEME FÜR TELEKOMMUNIKATIONSMASTEN SFC Energy und Adcore haben Ballard den Auftrag für 500 BZ-Systeme für Telekommunikationsmasten erteilt. Es gibt 1.500 davon in Deutschland. Für mich ist diese Nachricht insofern höchst interessant, da Ballard vor Jahren in China aktiv werden wollte und wohl auch mit China Tower (über 35.000 Masten) im Gespräch war, aber man dies dann nicht weitergeführt hat. Damit eröffnet sich jetzt wieder ein alt-neuer Markt mit Potential.

Wer die Telefonkonferenz zum neuesten Earnings-Call gehört beziehungsweise deren Transkript gelesen hat, kann leicht ins Schwärmen geraten. Ballard-CEO Randy MacEwen zeichnet ein Zukunftsbild der Brennstoffzelle, das besser nicht ausfallen könnte. Er sieht „remarkable momentum“ und ist sich sicher: „We are entering the hydrogen decade – Wir treten in die Wasserstoffdekade ein.“ Insgesamt sechs Entwicklungen hat er ausgemacht, die der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnik erhebliches Wachstum bescheren werden:

1. 66 Länder bzw. deren Regierungen haben beschlossen, bis zum Jahr 2050 CO₂-frei zu sein. 18 Länder (repräsentieren 70 % des weltweiten GDP) haben Hydrogen-Roadmaps (Strategien) festgelegt. Diverse Energieminister haben sich der 10+10+10-Strategie angeschlossen, also 10 Millionen BZ-Fahrzeuge in zehn Jahren und parallel 10.000 H₂-Tankstellen.
2. Großunternehmen erhöhen massiv ihre Investitionen in H₂/BZ; u. a. Bosch, Cummins, CNH, Michelin, Hyundai, Daimler Trucks. Der Hydrogen Council hat mittlerweile 81 Mitglieder, die 6 Mio. Beschäftigte repräsentieren und Umsätze von 18 Billionen US-\$ erzielen.
3. Beginn von BZ-Massenmärkten bei Lkw, Bussen, Zügen und Schiffen. Cost of ownership wird in den kommenden zehn Jahren günstiger sein als alle anderen Systeme (Verbrenner, Batterie); perspektivisch wird die Brennstoffzelle

große Vorteile gegenüber der Batterie erlangen, auch ohne steuerliche Förderungen, weil Skalierungseffekte die Kosten der Fahrzeuge sowie der Infrastruktur reduzieren.

4. Viele neue Märkte und Einsatzfelder (z. B. Gabelstapler). Aktuell sind insgesamt circa 18.000 BZ-Kfz im Markt und 400 H₂-Tankstellen installiert (200 kommen 2020 dazu). In China fahren bereits 6.300 Busse und Lkw mit Wasserstoff; Ballard hat davon 3.000 ausgerüstet. Aktuell gibt es dort 44 H₂-Tankstellen, 41 im Bau. Gute Zusammenarbeit u. a. mit UPS (Kurierfahrzeuge) und Kenworth (Lkw).
5. Erhebliche Kostenreduktion in der Produktion von BZ-Stacks; LCS-Stacks sind 35 % günstiger als die Vorgängergeneration.
6. Wachsendes allgemeines Umwelt- und Klimabewusstsein in der Welt – sowohl bei Politikern als auch bei Investoren. Dadurch werden erheblich größere Kapitalbeiträge in Richtung BZ und H₂ gelenkt.

Mein Fazit: Wer hier Zeit mitbringt, wird gutes Geld verdienen. Eine Kursentwicklung wie 2001/03 erscheint mir nicht realistisch, aber die Richtung dahin stimmt auf Sicht von drei Jahren. Damals ging es von 5 US-\$ bis auf über 130 US-\$. Und aus Richtung China kommen die ersten Zeichen, dass man den Corona-Virus im Griff hat und ein Ende der Pandemie erwartet – das ist auch besonders gut für Ballard.

BLOOM ENERGY – ZURÜCK AUF START

47

Der Aktienkurs von Bloom Energy erlebte einen kräftigen Kursrückgang nach vorangegangener sehr fester Tendenz (bis auf 14 US-\$). Ursache dafür waren zuletzt die nicht guten Zahlen für das 4.Quartal 2019 und die damit eingehende Neubilanzierung von Serviceverträgen (Managed Service Agreements) aus dem Zeitraum 2016 bis Ende 2019. Statt diese Verträge vom Gegenwert her sofort als Einmalbeitrag zu bilanzieren, hat man sich entschlossen, diese neu auf die jeweiligen Vertragslaufzeiten zu verteilen. Das betraf indes nur circa zehn Prozent der Umsätze und hat die Gesamtsätze unverändert belassen. Interessant: Ein Analyst der Investmentbank Cowen sieht darin keinen Grund für eine Änderung der Zukunftsaussichten. >>

INTERNATIONAL NEWSLETTER

ON HYROGEN AND FUEL CELLS



H2international
E-JOURNAL ON HYROGEN AND FUEL CELLS
www.h2-international.com

NOCH SCHWACHE ZAHLEN ... ABER DANN Die Zahlen für das vierte Quartal 2019 fielen im negativen Sinne anders aus als erwartet: Statt einem Umsatz von circa 260 Mio. US-\$ (Prognose) lag dieser bei 213,8 Mio. US-\$ (plus 35,8 % gegenüber 4/2018) und statt einem Gewinn gab es einen Verlust in Höhe von 67,1 Mio. US-\$, wobei bei Letzterem vor allem „stock based compensation“, also mehr buchhalterische Verluste zu beklagen sind. Der Auftragsbestand kletterte dennoch um beachtliche 43,5 %.

Für die Börse und natürlich die Shortseller (circa 18 Mio. Aktien sind leer verkauft worden, circa 70 Mio. gibt es – free float) war dies bislang perfekt, wie sich ja in der Kursentwicklung zeigte. Ich konzentriere mich da lieber wie der Analyst auf die Zukunftsaussichten, die als sehr gut angesehen werden können, wenn man sich den Auftragsbestand von gut 4 Mrd. ansieht – davon 1,1 Mrd. US-\$ Hardware und 1,1 Mrd. US-\$ an neuen Serviceverträgen und 2,1 Mrd. US-\$ an Altverträgen. In der Bank liegen gut 377 Mio. US-\$, wobei man die Rekapitalisierung der Altschulden im Jahresverlauf anstrebt. Da wird wahrscheinlich die ausstehende 6-%-Wandelanleihe von nominal 289 Mio. US-\$ in eine neue Wandelanleihe (Convertible) getauscht, wie auch ein langfristiger Kredit kommen kann. Man wolle diese Refinanzierung auf jeden Fall im ersten Halbjahr 2020 abschließen.

Da Bloom ein sattes Plus an Auftragseingängen (4. Quartal 2019) von über 40 Prozent meldet und die neuen Energieserver über 50 Prozent mehr Leistung zu bringen imstande sind, ist das Wachstum des Unternehmens gesichert und lässt wieder steigende Notierungen der Aktie erwarten.

GUTER AUSBLICK FÜR DAS ZWEITE HALBJAHR Der Vorstandchef sieht ein solides Gesamtjahr 2020. Originalton: „A solid 2020“. Die Aussichten: Für das erste Quartal wird ein Umsatzrückgang auf 140 bis 160 Mio. US-\$ erwartet. Dies erklärt sich aus der Art und Weise, wie Aufträge gewonnen und umgesetzt werden beziehungsweise in die Bilanz einfließen. Jedes Projekt benötigt circa drei Monate der Bewertung und der Genehmigungsverfahren. Von der Auftragsvergabe bis zur Realisierung vergehen im Durchschnitt neun bis zwölf Monate, so dass schon heute gesagt werden kann, dass das zweite Halbjahr ein gutes wird (Zitat: „A far better second half“).

Die Prognose des Vorstandes lautet, dass nach einem ersten Quartal mit Verlust das zweite Quartal „breakeven“ ausfallen wird und Bloom im dritten und vierten nachhaltig in die Gewinnzone kommt. Mein Fazit: Aktuelle Kurse eventuell für Zukäufe (Verbilligung) nutzen, wenn man mittelfristig engagiert sein will. Die Shortseller werden die Aktie weiter zu drücken versuchen, da die gerade veröffentlichten Zahlen dazu genutzt werden können. Der Ausblick auf das Geschäftsmodell des Unternehmens hat sich nicht verändert und ist ausgezeichnet als eine Lösung für netzunabhängige und saubere Energie. Am Rande: Gerade (17. März) hat der Analyst von JP Morgan sein Kursziel von 16 US-\$ auf 14 US-\$ gesenkt. Wir handeln ja gerade bei unter 4 US-\$!

FUELCELL ENERGY – MEHR GEHT NICHT

So schnell kann es gehen: Bestand noch vor wenigen Monaten das Risiko des Konkurses aufgrund dubioser Finanzierungspraktiken, so hat das tatkräftige Engagement einer erfolgreichen Unternehmensberatung eindeutig zur Wende

zum Besseren geführt. In der Entwicklung des Aktienkurses kam es gar zu einer Kursexplosion von circa 0,13 US-\$ bis auf über 4,00 US-\$ (intraday) und – ausgedrückt im Unternehmenswert – gar von 40 Mio. US-\$ bis auf 500 Mio. US-\$, bis es durch den Börsencrash wieder auf 1,00 US-\$ runterging. Hier braucht es sicher auch noch seine Zeit, bis ein Mittelwert gefunden ist, der als Basis des Unternehmenswachstums gelten kann. Der sehr hohe Tagesumsatz in der Aktie von bis zu 150 Mio. Aktien lässt den Schluss zu, dass es sich noch um ein Eldorado für Zocker und Daytrader handelt und weniger für den strategisch denkenden Anleger. Aber das wird sich im positiven Sinne ändern, so meine Prognose, wenn institutionelle Anleger das Ruder übernehmen und langfristige Positionen aufbauen. Denkbar ist auch, dass ein Unternehmen wie FuelCell Energy einen an der Gesamtübernahme interessierten Großkonzern auf sich aufmerksam machen könnte – wie im Fall Hydrogenics, die ja von Cummins Engine übernommen worden sind.

Nun muss der neue Vorstand erst einmal klar Schiff machen, sich dem bestehenden Auftragsbestand widmen, neue Aufträge und Kunden generieren und vor allem das Unternehmen profitabel machen. Das Unternehmen meldet auch laufend Fortschritte wie mit dem BZ-Kraftwerk für Toyota in Kalifornien, wo man auch Wasserstoff für BZ-Fahrzeuge zu produzieren plant. Aus dem Venture mit E.ON Energy Solutions müsste auch mancher Großauftrag aus Europa in die Bücher von FuelCell fließen, wenn diese Kooperation Sinn haben soll.

GUTE AUSSICHTEN Eine gute Grundlage für wieder steigende Aktienkurse sind die Zahlen für das erste Quartal 2020 per 31. Januar: 16,1 Mio. US-\$ Umsatz und ein um 51 Prozent verringerter Verlust in Höhe von 3,1 Mio. US-\$ (Vorjahr: minus 15,2 Mio. US-\$); pro Aktie ein Minus von 0,20 US-\$. Indes muss man da die parallel zur Kapitalerhöhung ausgegebenen Warrants rechnerisch einbeziehen, da diese steuerlich erfasst sind: Non-cash charge von über 37 Mio. US-\$. Bargeld in frei verfügbarer Form wie auch „restricted“ (projektbezogen) erreicht gesunde 73,9 Mio. US-\$.

Zusätzlich stehen noch 120 Mio. US-\$ aus der Kreditlinie des Großaktionärs Orion Capital Partners zur Verfügung. Der Auftragsbestand steht am Ende der Berichtszeit bei gut 1,36 Mrd. US-\$, was einem Plus von über 130 Mio. US-\$ entspricht. Ich denke, man hat da auch die Serviceverträge auf die jeweiligen Laufzeiten übertragen. Mein Fazit: Aktuelle Kurse sollten wieder als möglicher Einstieg gesehen werden, auch wenn das Unternehmen und seine Aktie sicherlich noch die Einstufung „hochspekulativ“ trägt, bis die Reorganisation Früchte trägt. Aber Kurse um 2 US-\$-plus sind schnell in Reichweite, wenn die nächsten Quartalszahlen einen positiven Trend erkennen lassen, wovon ich ausgehe.

PLUG POWER – NEUEINSTIEG IMMER NOCH NICHT INTERESSANT

Meine Empfehlung, ab 5 US-\$ Kasse zu machen, war zu früh, aber letztendlich doch zielführend, auch wenn der Kurs 6 US-\$ gesehen hat. Wir handeln heute wieder bei circa 3 US \$. Was ist passiert? Man hatte bessere Zahlen erwartet. Unter dem Strich blieb ein Minus von 0,06 US-\$ pro Aktie im vierten Quartal 2019. Der Umsatz zog auf 91,7 Mio. US-\$ an – immerhin, denn im Vorjahr lag er bei 59,8 Mio. US-\$.

Neubuchungen sollen dieses Jahr 300 Mio. US-\$ erreichen. Mir fehlt allerdings noch das Verständnis dafür, wie Plug Geld verdienen will. Über Serviceverträge? Ideal wäre eine gute Marge beim Wasserstoff. Und auch die Optionsscheine (über 100 Mio.), die Amazon und Walmart halten und sehr niedrig zum Einstieg um 1 US-\$ pro Aktie führen, sehe ich kritisch, da sie die Zahl der Aktien – in case – erheblich erhöhen (Verwässerung).

Die Art und Weise, wie Großkunden und deren Aufträge erfasst werden, erschließt sich mir nicht. Man nennt es Vendor Financing und es soll – ohne Obligo – über 210 Mio. US-\$ an Liquidität (restricted cash) binden. Trotz des scharfen Kursrückganges bleibe ich verhalten, habe aber unter Trading-Aspekten bei Wikifolio eine kleine Position aufgebaut, da nach einem solchen Rückgang von 6 auf unter 3 US-\$ es eine technische Reaktion bei einer allgemein besseren Börsenstimmung auf 4 bis 5 US-\$ geben kann.

WIKIFOLIO: BZVISION – NOCH MIT ÜBER 200 PROZENT IM GEWINN

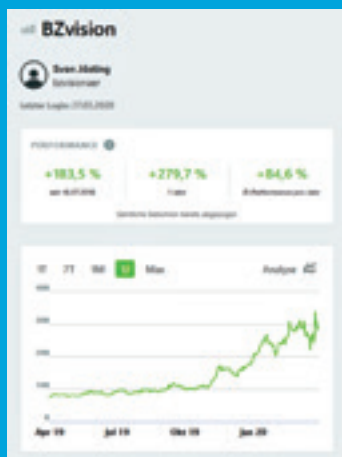


Abb. 3: Entwicklung von BZVision im Jahresverlauf [Quelle: Wikifolio]

Mein Spieledepot bei www.wikifolio.com BZVision hat sich trotz der Turbulenzen (Crash!) an der Börse ausgesprochen gut gehalten. Ich hatte zwischenzeitlich die Verkaufsoptionsscheine auf Tesla (380 US-\$ Basis/Strike mit Laufzeit 15.9.2020) um 5.000 Stück zu je 5 Euro des HSBC-Scheines mit der Basis 600 US-\$ und Laufzeit Dezember 2020 erweitert, nachdem Tesla zwischenzeitlich auf über 800 US-\$ gestiegen war. Diese Verkaufsoptionsscheine dienten erstens der Absicherung des Depots und zweitens der Spekulation auf fallende Kurse bei Tesla, da mir der massive Anstieg nicht fundamental begründbar und mehr der Markttechnik von Hedgefonds geschuldet ist. Der aktuelle Rückgang von über 800 US-\$ bis auf 450 US-\$ hat dem voll Rechnung getragen und die Kurse der Verkaufsoptionsscheine massiv steigen lassen. Realisierungsgewinne flossen so auch umgehend in Zukäufe in Bloom, Ballard, FuelCell und auch wieder – als Tradingposition – in Plug Power. Glücklicherweise hatte ich auch Ballard und Bloom vorher zum Teil auf Höchstniveau (um 13/14 US-\$) realisiert, da der Anstieg in der Zeit von Dezember 2019 bis Februar 2020 gefühlt zu schnell und zu stark ausfiel. Nun setze ich weiterhin darauf, dass Tesla wieder Kurse von unter 400 US-\$ sieht, aber vor allem die BZ-Aktien nun allmählich wieder stark anziehen werden. Tesla hat sich als Anti-BZ-Investment, da Elon Musk ja hierin die „Fool Cell“ sieht, perfekt bewährt. Hätte ich bei der Realisierung indes ein paar Tage gewartet, wäre das Depot allein aus dem Mehrgeprofit bei den Tesla-Optionsscheinen um über 100.000 Euro höher im Kurs. So konnten aber die BZ-Aktien wieder zu günstigen Kursen nachgekauft werden – alles hat zwei Seiten.

TESLA – EIN ECHTER SHORT-SQUEEZE

Schrieb ich noch in der letzten HZwei-Ausgabe, dass der Anstieg von circa 250 US-\$ bis auf über 430 US-\$ bereits einem Short-Squeeze entspricht, so musste ich eines Besseren belehrt werden, denn die Aktie zog zwischenzeitlich gar auf bis zu 1.000 US-\$ (intraday) an, bevor es in den vergangenen Wochen wieder nach unten führte. Fundamentale Daten dazu konnte ich keine finden, die diese Höherbewertung bis auf 180 Mrd. US-\$ auch nur annähernd rechtfertigen. CEO Elon Musk kann sich indes freuen, da er einen seiner Milestones – eine Bewertung des Konzerns von über 100 Mrd. US-\$ – damit erreicht hat und er wohl (?) eine Bonifikation allein hieraus von über 300 Mio. US-\$ erhält.

Auf der anderen Seite haben sich diverse Hedgefonds gleichzeitig beziehungsweise zeitnah mit größeren Long-Positionen in Tesla (Quelle: Börsenfilings von jeweils über 100 Mio. US-\$) engagiert. Ob dies alles eine Absprache war, also eine gemeinsame gezielte Aktion, kann vermutet, aber nicht bewiesen werden (ohne Obligo). Das Ziel lag aber wohl darin, die Shortseller unter Druck zu bringen, denn diese (über 22 % der Aktien waren leer verkauft worden) verlieren ja Geld, wenn die Aktie steigt. Aktuelle Notierungen von über 700 US-\$ erscheinen mir indes immer noch sehr, sehr luftig.

Der bekannte und erfolgreiche Shortseller Mark Spiegel hält die Tesla-Aktie für einen großen Kursbluff. Er habe zwar oft falsch gelegen und hat mit Short-Positionen in Tesla viel Geld verloren, bleibt aber weiterhin short und erwartet erheblich niedrigere Notierungen. Seine Begründung liegt in den Verbindlichkeiten von Tesla, die inklusive Zulieferverträgen gut 30 Mrd. US-\$ ausmachen sollen. Zudem mache es die stark wachsende Konkurrenz an Elektrofahrzeugen Tesla immer schwerer.

Hier verweise ich auf das Beispiel Norwegen, wo Tesla nun nicht mehr Top-Positionen in den Absatzzahlen für den Januar und Februar erreicht, sondern sich mit Model S, X und 3 auf den hinteren Plätzen ab Position 18 befindet. Morgan-Stanley-Analyst Jonas führt parallel dazu aus, dass General Motors mit einem Budget für die Elektromobilität in Höhe von über 20 Mrd. US-\$ punktet und auch in Sachen Batterie Tesla nicht nur „auf den Fersen“ ist, was die Reichweite der Fahrzeuge angeht, sondern es sogar übertreffen werde (400 Meilen).

KAPITALERHÖHUNG IM VORBEIGEHEN Zwar benötige man kein frisches Kapital, so Elon Musk Ende 2019 in einem Interview, doch wurde dieses dann doch via Aktienausgabe zu einem Preis von 767 US-\$ pro Aktie im Wert von 2,3 Mrd. US-\$ mal eben „mitgenommen“. Damit sind die Bilanzverhältnisse verbessert worden, nachdem Tesla zwischenzeitlich 2 Mrd. US \$ an Krediten von chinesischen Banken für die Gigafactory in Shanghai erhalten hat. Zur dortigen Produktion kann man Tesla gratulieren. Chapeau! Nun muss Tesla dort Geld verdienen, da man sich verpflichtet hat, in ein paar Jahren Mindeststeuern zu zahlen.

Positiv ist es auf jeden Fall, im weltgrößten Kfz-Markt direkt präsent zu sein angesichts der Handelskriegsdrohungen eines US-Präsidenten Trump. Ob indes das Timing stimmt, wird die Zukunft zeigen, da China die Potentiale der Brennstoffzelle und des Wasserstoffs erkannt hat und hier zunehmend unterstützend aktiv wird – zu Lasten der Batterie! >>



Abb. 4: Tesla Roadster [Quelle: Tesla]

Bedingt durch den Corona-Virus standen die Bänder vorübergehend still, was sich auch in den Zahlen für das erste Quartal niederschlagen wird. Positiv ist indes, dass Tesla 2019 seine ambitionierten Absatzziele erreicht hat. 7,4 Mrd. Umsatz im vierten Quartal und ein Gewinn von 105 Mio. US-\$. Über 365.000 Fahrzeuge wurden 2019 ausgeliefert – 2020 sollen es 500.000 Einheiten werden.

Die ausstehenden Wandelanleihen (nominal circa 3 Mrd. US-\$) könnten in Aktien gewandelt werden und die Schuldenlast reduzieren, da der Börsenkurs von Tesla erheblich über den Wandlungskurs liegt, damit also aus Fremdkapital Eigenkapital werden kann – ohne Obligo; das hängt mit den Anleihebedingungen zusammen. Dies würde aber – in case – viele neue Aktien bedeuten und eine Verwässerung der Altaktionäre mit sich bringen.

Das vierte Quartal 2019 brachte einen Gewinn, den man so nicht erwartet hatte. Ich bitte dabei allerdings zu berücksichtigen, dass dieser vor allem auf dem Verkauf von Emissionsrechten (ZEVs) beruht und nicht dem Verkauf von E-Autos. Wichtiger für mich ist das erste Quartal 2020, welches zu einem Dämpfer führen kann (Virus plus Absatzeinbruch in China). Ergänzend für diese negative Einschätzung ist die Reduktion oder gar völlige Aufhebung von Förderbeträgen und staatlichen Subventionen in vielen Märkten, in denen Tesla präsent ist und hohe Absatzzahlen – bislang – erzielen konnte.

Der Rückgang der Verkaufszahlen für die margenstarken Modelle S und X sollte auch zu denken geben, denn Model 3 wird zwar mengenmäßig auftrumpfen können, wird damit aber auch Geld verdient? Nun soll es mit dem Model Y – basierend auf dem Model 3 – zu einem neuen Wachstumsschub

kommen. Mancher Analyst sieht auch hierin eine Gefahr, sollten viele Model-3-Interessenten zu dem Schluss kommen, lieber ein Model Y zu kaufen.

Parallel schläft die Konkurrenz aber auch nicht und wird mit wohl hunderten von neuen Modellen auf den Markt kommen. Für wasserstoffbetriebene BZ-Hybridfahrzeuge mag 2020 nur ein Übergangsjahr sein, aber ab 2021 geht es richtig los, wenn man die Pläne von Hyundai, Toyota & Co. betrachtet. Zudem bewegen sich die Preise der Brennstoffzellenmodelle massiv nach unten – logische Skalierungseffekte lassen grüßen. Deutsche Autobauer werden da wohl leider erst 2022 ff. wach werden und mit eigenen Modellen zu kontern versuchen, da man erst einmal der Batterie die Vorfahrt gibt.

Tesla denkt indes nicht mal im Traum daran, in irgendeiner Form auch die Brennstoffzelle zu berücksichtigen. Über 5 Mrd. US-\$ liegen auf der Bank – noch, aber die Fabrik in Brandenburg kostet wohl auch gut 4 bis 5 Mrd. US-\$, so dass entweder weitere Kredite notwendig sind, die bestehende Liquidität angezapft wird oder aber eine weitere Kapitalerhöhung durch die Ausgabe weiterer Aktien ansteht.

Zukunftsthemen wie das autonome Fahren werden zu oft als Grund für die hohe Börsenbewertung von Tesla angeführt, aber kommt all das so schnell, wie es Elon Musk gerne hätte und wird damit dann auch schon Geld verdient? Ich habe da meine Zweifel und sehe mich in der aktuellen Kursentwicklung bestätigt – eine ähnliche Kursentwicklung wie im ersten Halbjahr 2019, als es von 350 bis auf 170 US-\$ runterging. Auf heute übertragen heißt dies: Von 700 US-\$ runter auf 350 US-\$. Aber mancher Analyst sieht auch ein Potential bis auf 7.000 US-\$ in der Aktie. Wir werden irgendwo dazwischen landen – meiner Meinung nach am unteren Rand und tiefer. ||

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.

HZWEI NEWSLETTER

DER INFO-SERVICE FÜR WASSERSTOFF UND BRENNSTOFFZELLEN

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

www.hzwei.info/hzwei-newsletter

GASGEBLÄSE FÜR 100 PROZENT WASSERSTOFF



Quelle: ebm-papst

Aktuell erhältliche Heizgeräte arbeiten meist mit Erdgas als Energieträger, teilweise auch mit Flüssiggas. Es ist aber absehbar, dass zukünftig auch reiner Wasserstoff für die Energieversorgung stationärer Anlagen herangezogen werden dürfte. Zahlreiche Zulieferer bereiten sich daher schon heute auf diese Zeit vor. So wie der Ventilatorbauer ebm-papst, der im März 2020 ein neues Verbundsystem für die Gas-Luft-Versorgung von Brennwertthermen vorstellte, das eigentlich auf der internationalen Messe für Heizungs-, Klima-, Lüftungs- und Sanitärtechnik MCE Mostra Convegno Expocomfort in Mailand hätte präsentiert werden sollen.

Das Familienunternehmen mit Hauptsitz in Muldingen hat mit dem NRV 118 Hydrogen ein Gasgebläse konzipiert, das für den Einsatz mit hundert Prozent Wasserstoffanteil geeignet ist. Im Vergleich zu dem Basismodell seien nur einige wenige technische Änderungen erforderlich, hieß es vom Hersteller. Die Flammgeschwindigkeit von Wasserstoff sei zwar achtmal höher als die von Methan, aber durch eine Überprüfung und Anpassung der Zündzeiten im Feuerungsautomaten sei dies zu managen. Auch der geringere Heizwert von Erdgas sei unproblematisch, da der für den Austausch von Brenngasen wichtige Wobbe-Index annähernd gleich hoch sei, so ebm.

Wie die ebm-papst Gruppe vermeldete, seien erste Komponententests erfolgreich verlaufen, ohne dass aufwändige Steuerleitungen, wie beim Betrieb im Überdruck, erforderlich gewesen seien. Zudem hätten relativ hohe Modulationen gefahren werden können, da sich das Gasventil durch den Unterdruck gut habe ansteuern lassen. Gegenüber HZwei erklärte eine Firmensprecherin: „Alle großen Heizgeräthersteller arbeiten intensiv an Projekten der Transformation in eine Wasserstoffwirtschaft. Es gibt dazu derzeit einige größere Projekte wie beispielsweise ThyGA auf europäischer Ebene, Hy4heat und HyDeploy in Großbritannien außerdem Avacon in Sachsen-Anhalt.“ ||

WECHSEL VOM VERBRENNER ZUR BRENNSTOFFZELLE

Trotz des grundlegenden Technologiewechsels beim Übergang vom Verbrennungsmotor zum Elektroantrieb sind einige der bislang im Benzin- und Dieselauto eingesetzten Komponenten auch bei E-Fahrzeugen einsetzbar. Dies hat auch die Pierburg GmbH erkannt und entwickelt ihre verschiedenen Medienversorgungssysteme weiter, um sie auch in Brennstoffzellenautos einsetzen zu können. Pierburg ist eine Tochtergesellschaft der Rheinmetall Automotive AG und insbesondere im Bereich Pumpen und Ventile aktiv. Unter anderem bietet das Neckarsulmer Unternehmen ein leakagefreies Regelventil sowie eine Kühlmittelpumpe und ein H₂-Rezirkulationsgebläse an.

Rezirkulationssysteme werden beispielsweise auf der Anodenseite von Brennstoffzellen benutzt, um den nicht verbrauchten Wasserstoff zurückzuführen. Wichtig ist hierbei, dass auch bei hohen Konzentrationen von Wasserstoff eine sichere und effiziente Rezirkulation gewährleistet ist. Pierburg konstruierte hierfür einen Seitenkanalverdichter, der ohne dynamische Dichtelemente auskommt, um dauerhaften leakagearmen Betrieb gewährleisten zu können – sowohl für Niedervolt- als auch für Hochvoltspannungen.

Auch die neue Hochvoltkühlmittelpumpe (s. Abb. unten) ist für Spannungstufen bis 800 V geeignet. In Ergänzung zu den seit langem in Serie befindlichen Pumpen für den Niederspannungssektor von 12 bis 48 V wurde diese speziell für BZ-Anwendungen entwickelt. Sie wird von einem bürstenlosen EC-Motor (electronically commutated) mit sensorloser Regelung angetrieben und verfügt über eine LIN/CAN-Bus-Kommunikation mit entsprechenden Diagnosefunktionen. Die Pumpe ist für den Einsatz von deionisiertem Wasser und verschiedenen Kühlmitteln geeignet.

Das Regelventil (Multi Purpose Valve – MPV) des Automobilzulieferers wurde insbesondere für den Einsatz auf der Kathodenseite der Brennstoffzelle konzipiert, da es ebenso wie die Pumpe resistent gegen deionisiertes Wasser und Wasserstoff ist. Es ist als Schubumluft- oder Bypassventil für Luftkompressoren oder als Druckregelventil sowie als Abschaltventil für Stacks einsetzbar und ermöglicht eine vergleichsweise hohe Durchflussrate bei gleichzeitig hoher Dichtigkeit und geringem Druckverlust. Es weist eine kompakte Konstruktion bei geringem Gewicht sowie eine präzise Regelbarkeit auf. ||



Quelle: Rheinmetall

BRITEN RÜSTEN SICH FÜR WASSERSTOFF

Gasbranche schlägt Weg in die Zukunft ein

Im Juni 2019, nur wenige Wochen vor ihrem Rücktritt als Premierministerin, erlegte Theresa May dem Vereinigten Königreich das ehrgeizige Ziel auf, seinen Nettoausstoß an Kohlenstoff bis 2050 auf null zu reduzieren. Mit dem entsprechenden Zusatz zum Climate Change Act schrieb Großbritannien die Nullemissionsmarke als erster G7-Staat gesetzlich fest. Die Reduzierung des Kohlendioxidausstoßes erhält angesichts dieser Verschärfung der Zielvorgaben eine erhöhte Dringlichkeit. Derzeit wird ein ganzes Drittel des britischen Kohlenstoffausstoßes durch die Beheizung von Wohn- und Gewerbeflächen verursacht. Über 80 % aller Haushalte verfügen über eine Erdgasheizung. Angesichts dieser hohen Zahl kommt Wasserstoff immer stärker als alternativer Heizstoff ins Gespräch. In der Gasbranche ist das Wissen über die Eigenschaften dieses Stoffs jedoch sehr begrenzt.

Derzeit wird das britische Nieder- und Mitteldruckgasverteilernetz umfassend erneuert. Bis 2032 sollen alle gusseisernen Gasrohre durch Leitungen aus PE ersetzt werden. Damit wäre das Königreich bereit für den Umstieg auf Wasserstoff. Um Wasserstoff bei hohem Druck weiterzuleiten, wird jedoch eine speziell für diesen Zweck gefertigte Pipeline benötigt, da hochfester Stahl zu Wasserstoffversprödung neigt.

EIN KURZER RÜCKBLICK Der Wechsel zu einem neuen Heizbrennstoff wäre nichts Neues für Großbritannien. Bevor in den 1960er Jahren Erdgasreserven (überwiegend Methan) in der Nordsee entdeckt wurden, nutzten die Briten Stadtgas zur Straßenbeleuchtung sowie zum Heizen und Kochen. Stadtgas wurde aus Kohle hergestellt. Wasserstoff hatte am Gesamtvolumen dieses Gases, das von 13 Mio. Haushalten genutzt wurde, einen Anteil von 60 %. Zwischen 1968 und 1970 wurde das gesamte Netzwerk einschließlich seiner 40 Mio. Geräte erfolgreich für die Verwendung von Erdgas umgerüstet. Es ist deswegen nicht aus der Luft gegriffen, dass auch in diesem Jahrhundert ein Umstieg auf ein neues Gas gelingen kann.

Bis zur flächendeckenden Umstellung ist es technisch möglich, in das Gasnetz einen gewissen Volumenanteil Wasserstoff einzubringen, ohne dass dies spürbare Störungen zur Folge hätte. Mit dieser Strategie könnte das Land seinen Kohlenstoffausstoß bereits deutlich vor Ablauf der gesetzten Frist verringern. Würde dem derzeit verwendeten Erdgas beispielsweise so viel Wasserstoff beigesetzt, dass dieser 20 % des Gesamtvolumens des Gasgemischs ausmacht, könnten die britischen Kohlendioxidemissionen jährlich um etwa sechs Millionen Tonnen reduziert werden. Diese Einsparungen entsprechen dem Ausstoß von 2,5 Millionen mit fossilen Brennstoffen angetriebenen Fahrzeugen.

WASSERSTOFFERZEUGUNG Der ökologische Nutzen einer Dekarbonisierung des Wärmesektors hängt allerdings von der Art der Gewinnung des verwendeten Wasserstoffs ab. In der Schulung wurde die Extraktion von Wasserstoff mittels Methan-Dampfreformierung (SMR), die Methode, die in Großbritannien derzeit am stärksten im industriellen Maßstab zum Einsatz kommt, in groben Zügen vorgestellt. Das in diesem Prozess freigesetzte Kohlendioxid würde eingefangen und in stillgelegten Öl- und Gasfeldern der Nordsee endgelagert. Dass sich die aktuellen Bemühungen auf diesen so genannten „blauen Wasserstoff“ konzentrieren, hat im Wesentlichen zwei Gründe: die Kosten sowie die geringe Verfügbarkeit von aus erneuerbaren Energiequellen gewonnenem Strom.

In der Stromerzeugung aus Wind, Biomasse und Sonnenenergie liegt Großbritannien hinter Ländern wie Deutschland. Das Land hat jedoch aufgeholt. Im dritten Quartal des Jahres 2019 lag der Anteil erneuerbarer Energien im Vereinigten Königreich über dem fossiler Energieträger [1]. Der Anstieg ist vor allem der Inbetriebnahme einer Reihe neuer Offshore-Windfarmen zu verdanken. In den Monaten Juli, August und September wurden 20 % des britischen Stromverbrauchs durch Windkraft bestritten. Bis jedoch die mithilfe erneuerbarer Energien durchgeführte Elektrolyse



Abb. 1: Netz zur Gas- und Elektrizitätsversorgung in Großbritannien [Quelle: National Grid UK]

Diese Wissenslücke zu schließen war Ziel einer Intensivschulung zum Thema „Wasserstoff und das Erdgasversorgungsnetzwerk“, die die Institution of Gas Engineers & Managers (IGEM) am 1. Oktober 2019 in der Nähe von Derby für Mitglieder der britischen Gasbranche abhielt. Im Zentrum der von Kiwa Gastec, einem Prüf- und Zertifizierungsunternehmen, organisierten Veranstaltung stand das Thema Sicherheit.

Unter anderem lernten die Teilnehmer, dass zum Transport von Wasserstoff und Methan dieselben Leitungen verwendet werden können, obwohl der Durchmesser des Wasserstoffmoleküls nur 76 % des Durchmessers eines Methanmoleküls beträgt. Die Schulungsleiter versicherten außerdem, dass Rohre aus Polyethylen (PE) für den Transport von Wasserstoff umgerüstet werden können. Die Gasleitungen, die das Land mit einer Gesamtlänge von etwa 284.000 Kilometern durchziehen, dürften im Falle einer Umstellung also weiter im Einsatz bleiben.

eine wirtschaftlich rentable Alternative darstellt, ist noch ein weiter Weg zurückzulegen. Bis es so weit ist, könnte die Dampfreformierung in Kombination mit der Bindung und Endlagerung von Kohlenstoff eine wichtige Zwischenlösung darstellen, mit der die Ausweitung der Wasserstoffenergie ermöglicht und der Zeitraum bis zur in großem Maßstab möglichen Verwendung erneuerbarer Quellen zur Energieerzeugung überbrückt werden kann.

LAGERUNG Ein zentrales Problem besteht allerdings darin, immer die jeweils benötigte Menge an Wasserstoff verfügbar zu halten. In der Schulung wurde auf die starken Schwankungen verwiesen, denen der Energieverbrauch der Briten im Tagesverlauf unterliegt. In Zeiten des Spitzenverbrauchs, während der Wintermonate, ist der Energiebedarf der etwa 23 Millionen Gasanschlüsse um das Vierfache erhöht. Mittels Netzpufferung, der Steuerung des Pipelinedrucks zur Regulierung der Gaszufuhr, kann zwar überschüssiges Gas über den Zeitraum von einem Tag gespeichert werden. Ist jedoch eine Speicherung zum Ausgleich jahreszeitlicher Schwankungen gewünscht, sind andere Verfahren erforderlich.

Vertreter des Projekts H21 Leeds City Gate (s. HZwei-Heft Juli 2018) schlugen vor, Salzstöcke während der Sommermonate als Wasserstoffspeicher zu verwenden. Zur Deckung des Energiebedarfs der 660.000 Einwohner von Leeds müsste die Speicherkapazität 702.720 MWh betragen. Salzkavernen haben sich bereits als Mittel zum Ausgleich jahreszeitlicher Energiebedarfsschwankungen bewährt. Dreißig von ihnen werden im Vereinigten Königreich bereits als Erdgasspeicher eingesetzt.

TECHNIK DER NÄCHSTEN GENERATION Neben der Erzeugung und dem Transport von Wasserstoff war auch die Aufbereitung für den Endverbrauch Thema der durchgeführten Schulung. Noch bis 2021 läuft das Regierungsprogramm Hy4Heat, in welchem überprüft wird, ob Wasserstoff in Wohn- und Gewerbegebäuden als sichere Alternative zu Erdgas verwendet werden kann. Unter dem Dach des durch das britische Ministerium für Wirtschaft, Energie & Industrie (Department for Business, Energy & Industrial Strategy; BEIS) in Auftrag gegebenen Programms laufen verschiedene Projekte, deren Ziel darin besteht, die Gewinnung von Energie aus Wasserstoff in Bezug auf technische Aspekte ebenso wie unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit zu analysieren. Diese Forschungsarbeiten erstrecken sich auch auf die Entwicklung von Gasgeräten. Weit verbreitet ist der Irrglaube, aufgrund des niedrigeren Brennwertes von Wasserstoff (für eine Menge gleichen Volumens liegt dieser bei etwa einem Drittel des Wertes von Methan) werde bei dessen Verwendung eine Leitung mit entsprechend größerem Durchmesser benötigt. Wie die Schulungsleiter erklärten, ist dies nicht der Fall. Die niedrigere Energiedichte des Wasserstoffs könne vielmehr durch die Verdreifachung der Durchflussrate ausgeglichen werden.

Bei der Entwicklung von Haushaltsgeräten für den Einsatz in Großbritannien besteht die Herausforderung in der dort vergleichsweise geringen verfügbaren Wohnfläche. Einer Studie zufolge verfügen die Briten im europäischen Vergleich über die kleinste Wohnfläche. In England beträgt die durchschnittliche Wohnfläche 71,2 m², in Deutschland 92,7 m² [2]. Britische Häuser oder Wohnungen, die nur wenig Wohnraum bieten, verfügen in der Regel über einen Boiler ohne Zylinder zur Warmwasserspeicherung, welcher in einem Küchenregal verbaut ist. Diese räumlichen Beschränkungen müssen beim Entwurf neuer mit Wasserstoff betriebener Geräte berücksichtigt werden.

Derzeit sind neun von zehn Boilern auf einer Grundplatte verbaut. Würde für alle H₂-Boiler dieselbe Grundplatte verwendet, könnte damit nicht nur gewährleistet werden, dass das Gerät auf der entsprechenden begrenzten Fläche Platz findet, sondern auch, dass es innerhalb von nur 15 Minuten durch Fachpersonal ausgetauscht werden kann. Im Rahmen der Initiative Hy4Heat wurden bekannte Hersteller wie Baxi und Worcester Bosch mit der Entwicklung wasserstoffbetriebener Boiler, Öfen und Kamine beauftragt. Anfang 2020 sollen sicherheitszertifizierte Prototypen in die Testphase gehen.

BEVORSTEHENDE HERAUSFORDERUNGEN Auch wenn sich nicht jeder Gasversorger im gleichen Maße mit diesem Projekt befasst, so gibt es doch keinen unter den britischen, der nicht der Frage nachgeht, wie Wohngebäude direkt mit Wasserstoff versorgt werden können. Somit wird hinter den Kulissen bereits intensiv am Umstieg Großbritanniens auf Wasserstoff gearbeitet. Dennoch gibt es nicht zu unterschätzende Hürden.

Um Wasserstoff zum alleinigen Heizenergieträger zu machen, wäre ein starkes Engagement der britischen Regierung erforderlich, insbesondere bei der Verwirklichung großer und kostenintensiver Projekte zur Schaffung der Infrastruktur, die zur Bindung und Lagerung von Kohlenstoff benötigt wird. Zu Fragen der Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und technischen Umsetzung liegen bereits umfangreiche Erkenntnisse vor. Wie die neue Technologie von den Nutzern angenommen wird, ist jedoch weitgehend unbekannt. Mit der Einführung wasserstoffbetriebener Züge und Busse und der zunehmenden Versetzung des bisher verwendeten Erdgases mit Wasserstoff könnte die Technologie ihren Weg in den Alltag finden und etwaige Vorbehalte ihr gegenüber könnten abgebaut werden.

Eines steht jedoch fest: Wenn Theresa Mays eingangs zitierte Ankündigung zur Reduzierung des Kohlenstoffausstoßes kein reines Lippenbekenntnis bleiben soll und die gesteckten Ziele erreicht werden sollen, muss das Vereinigte Königreich die Umsetzung schnell in Angriff nehmen. Gemäß einem Bericht, den der Sonderausschuss des britischen Parlaments für Wissenschaft und Technologie im August 2019 vorlegte, erscheint es unwahrscheinlich, dass Großbritannien die für den vierten (2023–2027) und fünften (2028–2032) Zeitraum formulierten Emissionsziele bei Einhaltung der aktuellen Vorsätze und Maßnahmen erreichen kann [3]. Die Studienautoren betonen, dass „die Dekarbonisierung des Wärmesektors bei der Erreichung der langfristigen Ziele zur Emissionsreduzierung eine Schlüsselrolle spielen werden“. Solche Warnungen sollten den nötigen Motivationsschub zur Verwirklichung ehrgeiziger Projekte geben. ||

Literatur:

- [1] Carbon Brief, Analysis: UK renewables generate more electricity than fossil fuels for first time, 14. Oktober, 2019
- [2] Find Me A Floor, Where in the World Do You Get the Biggest Home, 2017
- [3] Parliament, Clean Growth: Technologies for meeting the UK's emissions reduction targets, 22. August, 2019



Autorin:

Nicola Bottrell Hayward
 → languagelaunchpad@outlook.com
 Language Launchpad translation service,
 Bristol, United Kingdom

CH₂ILE – DER HEIMLICHE CHAMPION

Wiedergutmachung für die chilenische Wirtschaft

1883 endete der sogenannte „Salpeterkrieg“ mit dem Sieg Chiles über Peru und Bolivien. Die Regionen Tarapacá und Antofagasta wurden ins chilenische Staatsgebiet eingegliedert. Warum aber hatte man in der trockensten Wüste der Welt Krieg geführt? Der Grund war Gold, allerdings nicht das klassische Gold, sondern das *weiße Gold* oder *Chilesalpeter*. Mit der Unterstützung des Britischen Weltreichs wurde Chile zum weltweit größten Exporteur für Salpeter oder Natriumnitrat, das ein natürliches Düngemittel ist und zudem als Schießpulver nutzbar ist, wenn es mit einem Reduktionsmittel gemischt wird. Chile hielt fast vier Jahrzehnte lang buchstäblich ein Monopol, errichtete neue Unternehmen und Städte und zog Investoren aus der ganzen Welt an.

Und wo Geschäfte sind, ist oft auch ein Deutscher beteiligt. Henry B. Sloman (1848 – 1931) war ein deutscher Geschäftsmann, der nach Chile ausgewandert war, um sein eigenes Salpeterunternehmen in Tocopilla aufzubauen. 1889 kehrte er als wohlhabender Mann nach Hamburg zurück. 1923 galt er als einer der reichsten Bürger Hamburgs. Seinem Erfolg zu Ehren hat Sloman 1924 das „Chilehaus“ in Auftrag gegeben, ein zehnstöckiges Bürogebäude in Hamburg, das heute zum UNESCO-Weltkulturerbe gehört.

Die Salpeterexporte haben die chilenische Wirtschaft auf beispiellose Weise angekurbelt. Doch nichts ist für die Ewigkeit. Ab 1904 gelang es Fritz Haber an der Hochschule Karlsruhe (heute KIT), Ammoniak direkt aus Wasserstoff und Stickstoff herzustellen. Zwischen 1910 und 1913 konnte Carl Bosch von BASF in Ludwigshafen diesen Prozess erweitern und industrialisieren. Ihre Entdeckungen brachten beiden später den Nobelpreis in Chemie ein. Zum ersten Mal in der Geschichte war es seitdem möglich, Stickstoff auf einem stabilen Ammoniakmolekül zu binden. Haber und Bosch konnten so einen günstigeren Ersatz für das *chilenische weiße Gold* chemisch herstellen.

Im Ersten Weltkrieg 1914 war dieses neue Verfahren für die deutschen Kriegsanstrengungen entscheidend. Das gleiche Britische Weltreich, das Chile im Salpeterkrieg unterstützte, begann, den deutschen Import von Salpeter zu blockieren und damit die deutsche Landwirtschaft und den Schießpulversektor zu gefährden. Für das Deutsche Reich stellte der Mangel an Salpeter eine Krise dar, die gelöst werden musste. Und mit einer Krise kamen Finanzpläne und Innovation. Ein zwischen der deutschen Regierung und der Chemieindustrie geschlossener Vertrag ermöglichte die Errichtung neuer Ammoniak-Produktionsanlagen (*Salpetersversprechen*). Deutschland und seine Alliierten waren somit in der Lage, Schießpulver und Düngemittel herzustellen, ohne auf Salpeterimporte angewiesen zu sein.

Mit diesen synthetischen Salpeter-Alternativen und aufgrund der fehlenden Innovation in der chilenischen Industrie war es nur eine Frage der Zeit, bis das Monopol des Chilesalpeters zusammenbrach. Dies geschah schließlich während der „Großen Depression“ zwischen 1929 und 1932. Der starke Rückgang des Salpeterbedarfs und das zunehmende Aufkommen von Harnstoff bedeuteten das Ende der Industrie. Das südamerikanische Land hatte den Gewinn aus dem weißen Gold nicht verwendet, um die Wirtschaft

zu diversifizieren oder in Forschung und Entwicklung zu investieren. Dieser Fehler ließ die chilenische Wirtschaft zusammenbrechen.

DIE WIEDERGUTMACHUNG Fast hundert Jahre später kann der gleiche chemische Prozess, der die chilenische Wirtschaft einbrechen ließ, eine bedeutende Rückkehr auf den Weltmarkt ermöglichen. Nur dieses Mal wird die Entwicklung auf moderner Technologie, sauberer erneuerbarer Energie und umweltfreundlichem „grünem“ Wasserstoff basieren. Willkommen zur größten Wiedergutmachung für die chilenische Wirtschaft.

Chile hat weltweit eines der größten Potentiale für die Produktion erneuerbarer Energien. Mit einer Länge von mehr als 4.200 km von Nord nach Süd, also einer Strecke vom nördlichen Skandinavien bis zum nördlichen Afrika, liegt es zwischen dem Pazifik und den Anden. Laut dem 2018 Bloomberg New Energy Finance Climate Scope ist Chile das weltweit attraktivste Land für Investitionen in saubere Energien (von insgesamt 103 aufstrebenden Märkten). Es besitzt ein Potential für die Produktion von 1.380 bis 1.860 GW erneuerbare Energie, einschließlich Solar-PV-, Solar-CSP- und Windenergie. Das entspricht rund dem 70-fachen der aktuell installierten elektrischen Leistungskapazität. Dies hat den Weltenergieat-Deutschland e. V. dazu veranlasst, das Land in seinem 2018 erschienenen Bericht „Internationale Aspekte einer Power-to-X-Roadmap“ als „heimlichen Champion“ zu bezeichnen.

WIE RÜTTELT MAN DIESEN „HEIMLICHEN CHAMPION“ WACH? Wasserstoff ist natürlich kein neues Element für Chile. Er wird seit Jahrzehnten in industriellen Anwendungen genutzt, die von Ölraffinerien über die Flachglasherstellung bis zum gehärteten Pflanzenöl reichen. Die jüngste Aufwertung von grünem Wasserstoff in Chile kann jedoch auf die Bemühungen der Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit, GIZ, im Auftrag des deutschen Bundesumweltministeriums zurückgeführt werden, das mit dem chilenischen Energieministerium und CORFO, der Wirtschaftsentwicklungsgesellschaft, zusammenarbeitet.

Da der Bergbau die wichtigste Wirtschaftsaktivität in Chile ist, hat die Kommission für Solarenergie und technologische Innovation von CORFO 2017 mit der Mitfinanzierung von zwei Projekten für industrielle Wasserstoffanwendungen in diesem Sektor begonnen. Das erste Projekt führt die duale Wasserstoffverbrennung in 300-t-Großmuldenkippern ein (s. Foto Seite 3). Das zweite hat die Nutzung von Brennstoffzellen in großen unterirdischen Förderfahrzeugen zum Ziel.

Die GIZ nahm darüber hinaus eine entscheidende Rolle bei der Organisation der ersten internationalen Wasserstoffseminare in Chile im Mai 2017 und September 2018 ein, die die Aufmerksamkeit von Schlüsselpersonen aus Regierung, Industrie und Wissenschaft weckten. Auch eine privat-private Partnerschaft entstand. Zusammenarbeit ist wichtig, um die Technologie auszubauen, und so haben ENGIE (französischer Versorger) und ENEAX (chilenischer Importeur für Ammoniak für Bergbausprenge Stoffe) sich zusammengesetzt, um das erste umweltfreundliche Ammoniakprojekt in Chile zu entwickeln.

Unbestrittener Höhepunkt war bislang die Gründung von H₂ Chile, der chilenischen Wasserstoffgesellschaft, im Januar 2018. Ihr Ziel ist die Förderung von grünem Wasserstoff als nachhaltigem Energievektor für die Kohlendioxidreduzierung des chilenischen Wirtschaftssektors und längerfristig für die weltweite Lieferung von umweltfreundlicher Energie, indem Wasserstoff und seine Ableitungen ins Ausland versendet werden. So entsteht eine ganz neue Chemieindustrie, die auf Aufbauinvestitionsprojekten basiert.

In den letzten beiden Jahren gab es eine steigende Zahl von Veranstaltungen, bei denen dieser alte Newcomer Wasserstoff in speziellen Schulungsaktivitäten, Kongressen, Seminaren, Zeitungen, Fachartikeln und Berichten, einschließlich Fernsehinterviews, vorgestellt und beworben wurde, um das öffentliche Bewusstsein für dieses Thema zu steigern.

WIE SIEHT DIE PROGNOSE FÜR CHILE AUS? In ihrem Bericht vom Juni 2019 mit dem Titel „Die Zukunft der Wasserstoffwirtschaft“ bestätigte die IEA (International Energy Agency), dass Chile über geeignete Rahmenbedingungen verfügt, um Wasserstoff zu den weltweit niedrigsten Kosten zu produzieren (< 1,60 US-\$/kg). Dies liegt an der außergewöhnlichen Sonneneinstrahlung in Chile, vor allem in der nördlichen Atacama-Wüste. Aufgrund des kalten Humboldtstroms bilden sich in diesem Gebiet an mehr als 300 Tagen und Nächten im Jahr keine Wolken, was dazu führt, dass sich hier mehr als 70 Prozent der weltweiten Himmelsbeobachtungseinrichtungen befinden. Dagegen bietet der südliche Teil Chiles, einschließlich der stets windigen Patagonia-Region, phänomenale Anlagenvoraussetzungen für Onshore-Windparks.

Erneuerbare elektrische Energie kann auch mithilfe von Erdwärme erzeugt werden. Chile gehört zum pazifischen Feuerring und hat sehr viele Vulkane, was darauf hinweist, dass sich heiße Lava in der Nähe der Erdoberfläche befindet. Die rund 5000 km lange Küste sorgt dafür, dass alle Arten von Gezeiten- und Wellenenergie genutzt werden können (Potential von 240 GW). Darüber hinaus besteht ein beträchtliches Potential für Biomasse und Wasserkraft in den mittleren/südlichen Regionen.

Aber wie viel grüner Wasserstoff kann produziert werden? Ausgehend von seinem Potential für erneuerbare Energie könnte Chile bis zu 200 Mio. t Wasserstoff pro Jahr herstellen. Das wäre das rund Dreifache der aktuellen weltweiten jährlichen Wasserstoffproduktion von rund 70 Mio. t. Der Wert dieser elementaren umweltfreundlichen Energie kann bis zu mehrere hundert Milliarden Dollar pro Jahr betragen. Diese neue Industrie hat die gleiche Größenordnung wie das aktuelle Bruttozialprodukt Chiles.

2017 hat die Washington Post Chiles Potential für erneuerbare Energie mit den Ölexporten Saudi-Arabiens verglichen. Saudi-Arabiens Erdölexporte von 2,7 Mrd. Barrel pro Jahr entsprechen 16,5 EJ/Jahr Wärmeenergie, was nach der Umrechnung in elektrische Energie einen Wert von 5,5 EJ/Jahr ergibt. Wie oben beschrieben, beläuft sich allein Chiles Potential für Solarenergie auf 6,1 PWh/Jahr, was 22,1 EJ/Jahr als grünen Wasserstoffs gespeicherter Energie entspräche. Daraus könnten 12,1 EJ/Jahr Regenerativstrom mithilfe von Brennstoffzellen erzeugt werden. Das ist mehr als das Doppelte der thermoelektrisch erzeugten Energie, die aus den aktuellen Erdölexporten Saudi-Arabiens gewonnen werden kann. Ein weiterer Vorteil ist, dass der umweltfreundliche Wasserstoff Chiles keine Treibhausgasemissionen produzieren würde. Er ist zudem ein erneuerbarer Energieträger, der nicht von Quellen abhängig ist, die versiegen könnten.

WAS KOMMT ALS NÄCHSTES? 2019 war ein spannendes Jahr für die chilenische Wasserstoffproduktion, die durch die COP25 vorangetrieben wurde, die ursprünglich in dem langgestreckten Land stattfinden sollte. Es gab zahlreiche Seminare zum Thema Wasserstoff. Zudem wurde die chilenische Wasserstoffstrategie diskutiert und festgelegt, nachdem landesweite Arbeitssitzungen mit der Industrie, Wissenschaft, Regierung und Zivilgesellschaft stattfanden. Sie wurde von der Kommission für Solarenergie und technische Innovation der Wirtschaftsentwicklungsgesellschaft CORFO bekannt gegeben. Auch wenn die COP25 letztendlich in Madrid stattfand, konnte Chile eine neue Veranstaltung rund um den Wasserstoff unter dem Vorsitz des Geschäftsführers von H₂ Chile organisieren, an der zahlreiche Spezialisten aus der ganzen Welt teilnahmen.

2020 werden zahlreiche Seminare und Workshops namens Mission Cavendish (zu Ehren der Entdeckung von elektrolytischem Wasserstoff vor zweieinhalb Jahrhunderten) veranstaltet, um Wissenslücken zu schließen und Wasserstoffprojekte zu fördern. Das Energieministerium, das von der GIZ und von nationalen wie auch internationalen Beratern unterstützt wird, erarbeitet zurzeit eine offizielle chilenische Wasserstoffnorm, die im Laufe des Jahres fertig werden soll. Diese Einrichtungen arbeiten mit CORFO und dem Wissenschaftsministerium zusammen, um eine internationale Wasserstofftagung im Juni 2020 zu organisieren. Ein weiterer Höhepunkt wird das Forum „2020 Clean Energy Ministerial and Mission Innovation Ministerial (CEM11/MI-5)“ sein, das in Viña del Mar, Chile, vom 2. bis 4. Juni 2020 abgehalten wird.

MASSNAHMEN Chile könnte Deutschland maßgeblich dabei unterstützen, seine Ziele für saubere Energie zu erreichen. Der vor Kurzem veröffentlichte Entwurf der deutschen Wasserstoffrichtlinie fordert, dass umweltfreundlicher Wasserstoff importiert wird, um die Kohlendioxidreduzierung der Wirtschaft zu beschleunigen. Chile hat das erforderliche Potential, um sauberen, nachhaltigen grünen Wasserstoff zu den geringstmöglichen Kosten zu produzieren. Es muss eine riesige Industrie für saubere Energie in Chile aufgebaut werden, für die Technologie, Know-how und Kapital aus Deutschland dringend benötigt werden. Geht man einen Schritt weiter, könnte auch eine ganz neue, nachhaltige Chemieindustrie in Chile entstehen, um unter anderem umweltfreundliches Ammoniak und umweltfreundliche Düngemittel zu exportieren.

Gern würden wir den heutigen visionären Henry B. Sloman einladen, nach Chile zu kommen und den Haber-Bosch-Prozess anzuwenden, dieses Mal mit grünem Wasserstoff, um das neue, erneuerbare „grüne Gold Chiles“ herzustellen. ||

Autoren:

Hans-Werner Kulenkampff, Präsident H₂ Chile

Dr. Erwin Plett

Vorsitzender der Energiekommission, Chilean Engineering Society; Low Carbon Chile SpA





Abb. 1: H2 Future 6-MW-Elektrolyseur in Linz, Österreich [Quelle: FCH JU]

Thema: International | Autor: Bart Biebuyck

EUROPA FÄHRT MIT BZ-AUTOS VORAN

Übersicht über die Tätigkeiten der FCH JU

Europa ist führend bei der Entwicklung wegweisender Technologien, die benötigt werden, um das Energiepotenzial von Wasserstoff auszuschöpfen. Mit dem Einsatz von wasserstoffbetriebenen Bussen und Taxis in Großstädten haben wir gezeigt, dass die Technologie auch großflächig genutzt werden kann.

Europa ist Weltmarktführer für erneuerbare Energie. Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologien spielen dabei eine entscheidende Rolle. Wasserstoff kann gemäß einer Studie der FCH JU bis zu 24 Prozent des europäischen Energiebedarfs liefern und somit die jährlichen CO₂-Emissionen um 650 Mio. t verringern. Es können 5,4 Mio. Arbeitsplätze geschaffen und ein Jahresumsatz von 820 Mrd. Euro in Europa bis 2050 erzielt werden.

„Wasserstoff wird für Industriesektoren maßgeblich sein“, erklärte die Vorsitzende der Europäischen Kommission, Ursula von der Leyen, in ihrer letzten Rede zum Business-Europe Day 2020. „Wir möchten Anreize für Investitionen schaffen und Innovation in der gesamten Wertschöpfungskette fördern. Wir möchten sowohl große als auch kleine Industrien einbinden. Wir möchten Leitmärkte für neue Technologien schaffen.“

Und das ist genau das, was unsere Gemeinschaftsinitiative tut. Als öffentlich-private Partnerschaft zwischen der Industrie und der EU hat die Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) seit 2008 mehr als 260 innovative Forschungs- und Demonstrationsprojekte mitfinanziert, um

die Technologie soweit voranzubringen, dass sie erfolgreich in unterschiedlichen Sektoren eingesetzt werden kann.

BESSERE ELEKTROLYSEURE Die Fortschritte, die bei der Entwicklung innovativer Elektrolýsetechnologie erzielt wurden, sind ein Beispiel für den Erfolg für die Bereitstellung wegweisender H₂-Produktionstechnologien auf dem Markt. Elektrolyseure speichern erneuerbare Energie über einen Prozess, bei dem mit Hilfe von Strom Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten wird. Elektrolýsetechnologien sind somit für die Produktion von grüner Wasserstoffenergie entscheidend. Sie ebnen den Weg für eine großflächige Einführung der H₂-Technik. Um das zu erreichen, entwickeln die von der FCH JU finanzierten Projekte erschwinglichere, effizientere und zuverlässigere Elektrolyseure.

Die Projekte NEPTUNE und PRETZEL arbeiten an wegweisenden Lösungen für Protonaustauschmembran-(PEM)- und Festoxid-(SO)-Elektrolyseure. Europa ist bei diesen Technologien weltweit führend, wie eine aktuelle Analyse relevanter Publikationen und Patente offenbart.

Das Projekt H2 Future zeigt, wie PEM-Elektrolyseure Energie für die europäische Stahlindustrie liefern können. Währenddessen demonstriert DJEWELS die Einsatzbereitschaft des weltweit größten Hochdruck-Alkali-Elektrolyt-(AE)-Elektrolyseurs, der für die Massenproduktion von Wasserstoff und ebenso von grünem Methanol verwendet werden kann.

BESCHLEUNIGTE EINFÜHRUNG VON H₂-BUSSEN Die FCH JU finanziert mehrere Projekte, die den Nutzen der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie für den Transport demonstrieren, während gleichzeitig das Infrastrukturnetz für Wasserstofftankstellen erweitert wird. Auf diesem Gebiet haben Projekte wie „Clean Hydrogen in European Cities (CHIC)“ (Sauberer Wasserstoff in europäischen Städten), 3EMOTION und High V.LO-City die Eignung, Nachhaltigkeit, Zuverlässigkeit und finanzielle Tragfähigkeit der Brennstoffzellentechnologie für Busse in vielen Städten nachgewiesen. Dies hat maßgeblich zur Verbreitung dieser Technik in Europa beigetragen.

Die jüngsten JIVE-Projekte (Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe – Gemeinsame Initiative für Wasserstofffahrzeuge in Europa) planen die bisher größte Einführung, bei der mehr als 300 Wasserstoffbusse in 22 Städten Europas eingesetzt werden. Angesichts der potenziellen Größe des europäischen Marktes, die kürzlich von der FCH JU auf rund 2,3 Mrd. Euro geschätzt wurde, könnten bis 2025 mehr als 1.000 Busse zum Einsatz kommen.

Über ihre Demonstrationsprojekte hat die FCH JU ein solides Geschäftsszenario für Wasserstoff-Brennstoffzellen-Busse als Mittel für einen CO₂-reduzierten öffentlichen Transport geschaffen. Die Partnerschaft hat Hersteller, Betreiber und Behörden zusammengebracht. Das Ergebnis ist eine neue Generation von Wasserstoffbussen, die zurzeit von bis zu zehn Busherstellern entwickelt werden. Im Rahmen von FCH-JU-Projekten werden zudem aktuell 2.000 leichte Nutzfahrzeuge, inklusive Taxiflotten, in Paris und Brüssel eingesetzt.

TANKSTELLEN Auch wenn wasserstoffbetriebene Fahrzeuge eine Strecke von bis zu 400 Kilometern zurücklegen können, ohne tanken zu müssen, besteht der Bedarf, das Tankstellennetz in Europa auszubauen. Von der FCH JU finanzierte Projekte arbeiten daran, die Hindernisse bei der Errichtung von Tankstellen zu überwinden und so die Verbreitung von Brennstoffzellen-Elektroautos zu fördern.

Gegenwärtig werden 67 neue Wasserstofftankstellen in zwölf Ländern errichtet, einschließlich einer mobilen Tankstelle für Busse und Nutzfahrzeuge. Zudem gibt es in zehn Ländern 55 Pkw-Tankstellen. Mit der zunehmenden Zahl an Tankstellen gehen beträchtliche CO₂- und Kostenreduzierungen einher. Erwähnenswert ist zudem, dass die Projekte der FCH JU rund 90 Prozent grünen Wasserstoff nutzen, um die von ihnen eingesetzten Fahrzeuge zu betreiben.

Das ist aber noch nicht alles: Ein wichtiges langfristiges Ziel ist es, ein gemeinsames europäisches System aufzubauen, das Fahrern Echtzeitinformationen über verfügbare Wasserstofftankstellen gibt (s. <https://h2-map.eu/>).

HYDROGEN VALLEYS Abschließend möchten wir all diese Einzelteile zusammensetzen, um zu zeigen, wie die Wasserstofftechnologie das Wirtschaftswachstum in den europäischen Regionen vorantreiben und gleichzeitig den lokalen Energiebedarf decken und Umweltverschmutzung reduzieren kann. So entstand das Konzept der „Hydrogen Valleys“. Dies sind Regionen, in denen Aktivitäten, die die gesamte H₂-Wertschöpfungskette, von der Produktion bis zur Endnutzung, umfassen, integriert werden, um die Wirtschaftlichkeit von H₂- und BZ-Technologien zu verbessern.

Im Rahmen des kürzlich finanzierten Projekts Heavenn wird zurzeit das erste „Hydrogen Valley“ Europas im Norden der Niederlande aufgebaut. Hier wird es die gesamte Wasserstoff-Wertschöpfungskette vernetzen. 31 öffentliche und private Organisationen aus sechs europäischen Ländern sind an diesem Projekt beteiligt.

INFORMATIONEN ZUR FCH JU

Als öffentlich-private Partnerschaft trägt die FCH JU zur Entwicklung nachhaltiger und global wettbewerbsfähiger H₂- und BZ-Technologie in Europa bei. Indem sie ein großes Spektrum an industriellen und wissenschaftlichen Partnern zusammenführt, unterstützt sie die EU-Ansätze für nachhaltige Energie und Beförderung, Klimawandel und industrielle Wettbewerbsfähigkeit.

„Über seine Demonstrationsprojekte hat die FCH JU ein solides Geschäftsszenario für Wasserstoff-Brennstoffzellen-Busse als Mittel für die Kohlendioxidreduzierung im öffentlichen Transport geschaffen.“

www.fch.europa.eu

Die Ausschreibungen 2020 werden diese Bemühungen noch einen Schritt weiter bringen. Neben anderen Themen werden in diesen Ausschreibungen Finanzierungsprojekte gesucht, die das Konzept des „Hydrogen Valley“ auf Inseln und Inselregionen anwenden, um die besonderen Herausforderungen der Inselwirtschaften in Bezug auf die Kohlendioxidreduzierung zu erfüllen. Einreichungsfrist ist der 21. April 2020. ||



Autor:

Bart Biebuyck, Geschäftsführer von Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)

57

// Europaweit größte Wasserstoff-Busflotte im Aufbau

// 2 H₂-Bus-Tankstellen in der Region, 2 weitere im Aufbau

// > 50 Mio. € Projektvolumen im Bereich H₂&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.

SOLAR-, H₂- UND BZ-TECHNIK AUF SCHWEDISCH

Öffentliches Wohnungsbauprojekt geht ins Off-Grid-Netz



Abb. 1: Die Sanierung und energetische Renovierung der 1975 errichteten Gebäude war ein großes Vorhaben, das die Anbringung neuer hochisolierender Fassaden und die Installation des einzigartigen netzfernen Energiesystems auf Basis von Solarstrom und saisonaler Wasserstoffspeicherung umfasste – während (links) und nach (rechts) der Sanierung. [Source: Vårgårda Bostäder]

58

Vårgårda, eine kleine Stadt im Südwesten Schwedens, macht einen wichtigen Schritt in die Zukunft des nachhaltigen öffentlichen Wohnens, indem dort sechs renovierte Mehrfamilienhäuser durch eine Kombination aus Solarmodulen, Batterien, Wasserstoff- und Brennstoffzellen autark mit Strom und Wärme versorgt werden.

Die sechs Gebäude, die heute 172 Wohnungen umfassen, wurden Mitte der 1970er Jahre im Rahmen des schwedischen öffentlichen Wohnungsbauprogramms Miljontalsprogrammet (Programm für Millionen) errichtet. Vor Beginn des laufenden Renovierungsprozesses hatten die Gebäude seit einigen Jahren nicht mehr dem modernen Wohnstandard entsprochen. Es musste etwas getan werden, um das Innere und die Ausstattung der Wohnungen sowie das Raumklima und die Energieeffizienz zu verbessern. Darüber hinaus litt das Wohnprojekt Backgårdsgatan aufgrund von sozialen Problemen und veralteten Gebäuden unter einem schlechten Ruf in der Öffentlichkeit.

HOHE ENERGIEKOSTEN BEGRENZEN DEN IMMOBILIENWERT Die hohen Betriebs-, Wartungs- und Energiekosten der Altbauten schmälerten schon lange den Immobilienwert der kommunalen Liegenschaften, was wiederum die Gesamtbilanz der städtischen Wohnungsgesellschaft Vårgårda Bostäder, die Backgårdsgatan sowie andere Wohnprojekte in der 11.500-Einwohner-Stadt Vårgårda besitzt und betreibt, nach unten zog.

Jan Thorsson, Stadtrat und Geschäftsführer von Vårgårda Bostäder, erkannte den Ernst der Lage und beschloss, dass es an der Zeit sei, etwas dagegen zu unternehmen. Thorsson suchte nach Möglichkeiten, die Gebäude zu verbessern und zu modernisieren, eine höhere Energieeffizienz zu erreichen,

die Wartungs- und Betriebskosten zu senken sowie die zukünftigen Energiekosten durch die Internalisierung der Gebäudeenergieversorgung stabil zu halten und unabhängig von externen Lieferanten zu werden. Die ständig steigenden Energiekosten aus Versorgungsstrom und Fernwärme hatte er frühzeitig als wesentliche und unvorhersehbare Faktoren im Facility Management identifiziert, die den ROI und den Immobilienwert durch Modernisierungsmaßnahmen ernsthaft gefährden.

WERTSTEIGERUNG UND INVESTITIONSSICHERHEIT Die Steigerung des Immobilienwertes durch Modernisierung und bessere Energieeffizienz verbessert offensichtlich die finanzielle Solidität der kommunalen Wohnungsgesellschaft selbst. In ihrem Bestreben, den Anforderungen gerecht zu werden, wurden Thorsson und sein Team nicht von bestimmten technischen Lösungen angetrieben, sondern sie suchten offen nach Wegen, die Gebäude nachhaltig zu sanieren sowie ein effizientes, nachhaltiges und umweltfreundliches Facility-Management-Modell mit vorhersehbaren und niedrigeren Kosten zu gewährleisten.

GÜNSTIGER UND ZUKUNFTSSICHER So kam es, dass sich die Solarenergie in Kombination mit Batterien plus Brennstoffzellen und H₂-Saisonspeicher als Lösung erwies und die Abschaltung der teuren Fernwärme sowie die Versorgung von Gemeinschaftsanlagen wie Treppenhausbeleuchtung, Aufzüge, Lüftung und mehr ermöglichte.

Neben den allgemeinen architektonischen und technischen Verbesserungen nach der Gebäudesanierung sind die Mehrfamilienhäuser nun mit einem individuellen, vernetzten Energiesystem (Mikronetz) auf Basis von Solarstrom, Batteriespeicher und Brennstoffzellen ausgestattet.

Alle Anforderungen an Warmwasser und Heizung werden durch diese Konstruktion, bei der geothermische Wärmepumpen eine konventionelle Zentralheizungsanlage speisen, erfüllt.

Der Wasserstoffspeicher mit Elektrolyseur, Kompressor und Speicher steht im Mittelpunkt (s. Abb. 3: linke Seite). Diese Anlage versorgt alle sechs Gebäude mit Wasserstoff für ihren jeweiligen 5-kW-Brennstoffzellen. Alle Gebäude speisen überschüssigen Solarstrom in den Elektrolyseur und den Kompressor ein, der wiederum den Wasserstoff in zentralen Druckbehältern speichert.

Jedes Gebäude verfügt über ein individuelles Strom- und Wärmeerzeugungssystem mit 500 Quadratmetern PV-Solarmodulen auf dem Dach, Wechselrichter, Off-Grid-Netzknoten, 5-kW-Brennstoffzelle, Warmwasserspeicher, Zentralheizungsanlage (Erdwärmepumpe), Stromverteiler mit dem einzigartigen RE8760-Betriebssystem, Batteriespeicher für 48-Stunden-Betrieb (s. Abb. 3: rechte Seite). Wenn die Batterien vollständig geladen sind, wird überschüssige Sonnenenergie in den zentralen Wasserstoffspeicher umgeleitet. Das Energieerzeugungssystem jedes Gebäudes ist mit den anderen fünf Gebäuden zu einem Mikronetz verbunden, das Redundanz und Flexibilität schafft, um ein Gebäude zu versorgen, sollte es zu Ausfällen oder vorübergehenden Systemabschaltungen bei Wartungszwecken kommen.

In der kalten Jahreszeit, in der kaum oder gar keine Solarenergie zugeführt wird, erfolgt die Versorgung von Gemeinschaftssystemen wie Treppenhausbeleuchtung, Aufzügen und Wärmepumpen über Brennstoffzellen, die mit zentral gespeichertem Wasserstoff betrieben werden. Während der langen Sommertage in Schweden von Mai bis September wird Wasserstoff bei der Elektrolyse mit überschüssigem Strom aus den Solarmodulen auf dem Dach erzeugt. Zudem wird Zusatzwärme aus der Stromerzeugung in den Brennstoffzellen in die Zentralheizungsanlage gespeist.

Bisher erhalten und bezahlen die einzelnen Wohnungen noch den Strom über ein Energieversorgungsunternehmens. Die Solar-/Wasserstofflösung wird jedoch den Strombedarf der Wohnungen decken, sobald das System lange genug betrieben wurde, um die erforderliche Praxiserfahrung und

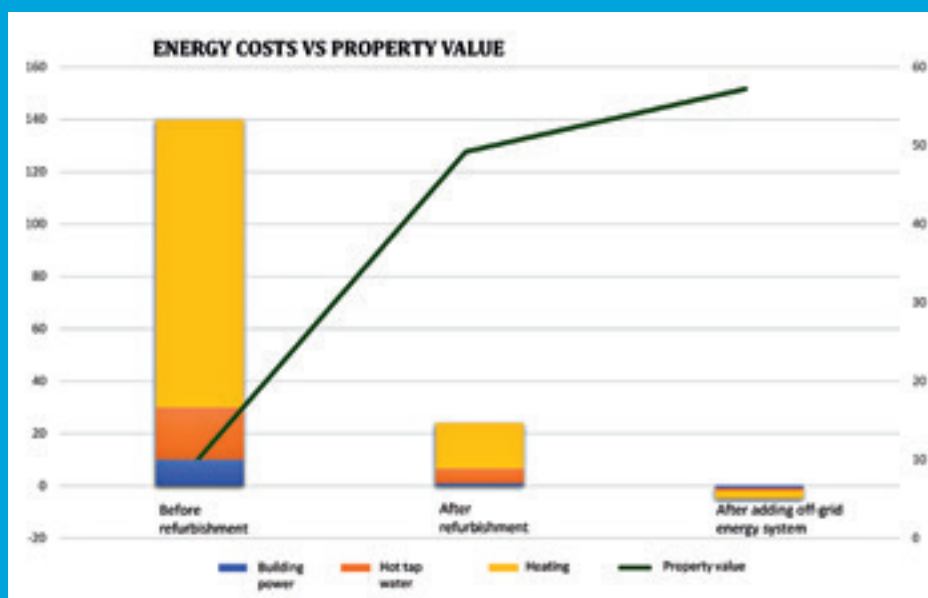
Zuverlässigkeit zu gewinnen und so einen größeren oder stärker schwankenden Bedarf der Privathaushalte zu decken. Das neue Energiesystem versorgt die Wohnungen seit Anfang 2019 mit Wärme und Warmwasser.

RENOVIERTE GEBÄUDE Neben der umfassenden Modernisierung der Gebäudehülle (z. B. neue Dächer, Fenster und moderner, wärmedämmte Fassaden) kommt ein zusätzliches Geschoss mit insgesamt 54 neuen Wohnungen durch die Renovierungsarbeiten hinzu. Außerdem wurden die ursprünglichen Wohnungen und Treppenhäuser, die Aufzüge erhielten, aufwändig modernisiert. Die optische und technische Verwandlung der Gebäude ist enorm und wertet den gesamten Gebäudekomplex auf. Die Maßnahmen gehen über die meisten Standards für den modernen öffentlichen Wohnungsbau hinaus und übertreffen gar viele Neubauwohnungen hinsichtlich Komfort, Energieeffizienz, Nachhaltigkeit und Umweltschutz.

DAS ENERGIESYSTEM Das Dach jedes renovierten Gebäudes ist mit 500 Quadratmetern Photovoltaikmodulen bedeckt, die 109 kW peak bei maximalem Sonneneinfluss liefern (Jahresproduktion: 98.000 kWh). Wechselrichter im Keller führen Gleichstrom aus den Solarmodulen oder Brennstoffzellen in den Batteriespeicher und wandeln ihn in Wechselstrom um, der dann im Gebäudenetz verteilt wird. Weitere Wechselrichter wandeln Gleichstrom aus den Solarmodulen und Brennstoffzellen für das Gebäudenetz direkt in Wechselstrom um.

Der Energiespeicher ist ein 48-V-Lithium-Akkumulator von Tesvolt mit einer Kapazität von 187 kWh. Er deckt den Wärme- und Strombedarf eines Gebäudes für 48 Stunden. Der Batteriespeicher wird zuerst mit überschüssiger Solarenergie versorgt. Ist er vollständig geladen, wird die überschüssige Solarenergie in den alkalischen Elektrolyseur (60 Nm³ Wasserstoff pro Stunde) geleitet, um den Wasserstoffspeicher zu füllen. Die Gesamtkapazität aller Wasserstoffbehälter beträgt 50.000 Normkubikmeter bzw. 4.560 Kilogramm bei 300 bar. Das ist ausreichend, um alle sechs Gebäude während der kalten Jahreszeit mit Wärme und Strom zu versorgen. >>

Abb. 2: Kennzahlen für eines der sechs Gebäude



- Das bestehende Gebäude (linke Spalte) wurde mit 7 Mio. SEK bewertet, mit einem jährlichen Energieeinkauf (AEP) von 140 kWh/Quadratmeter.

- Nach der Renovierung sind es 47 Mio. SEK beziehungsweise 25 kWh/m².

- Nach der Sanierung mit einem neuen netzfernen Energiesystem sind es 55 Mio. SEK beziehungsweise 4 kWh/m² (Ziel: 0 kWh/m²).

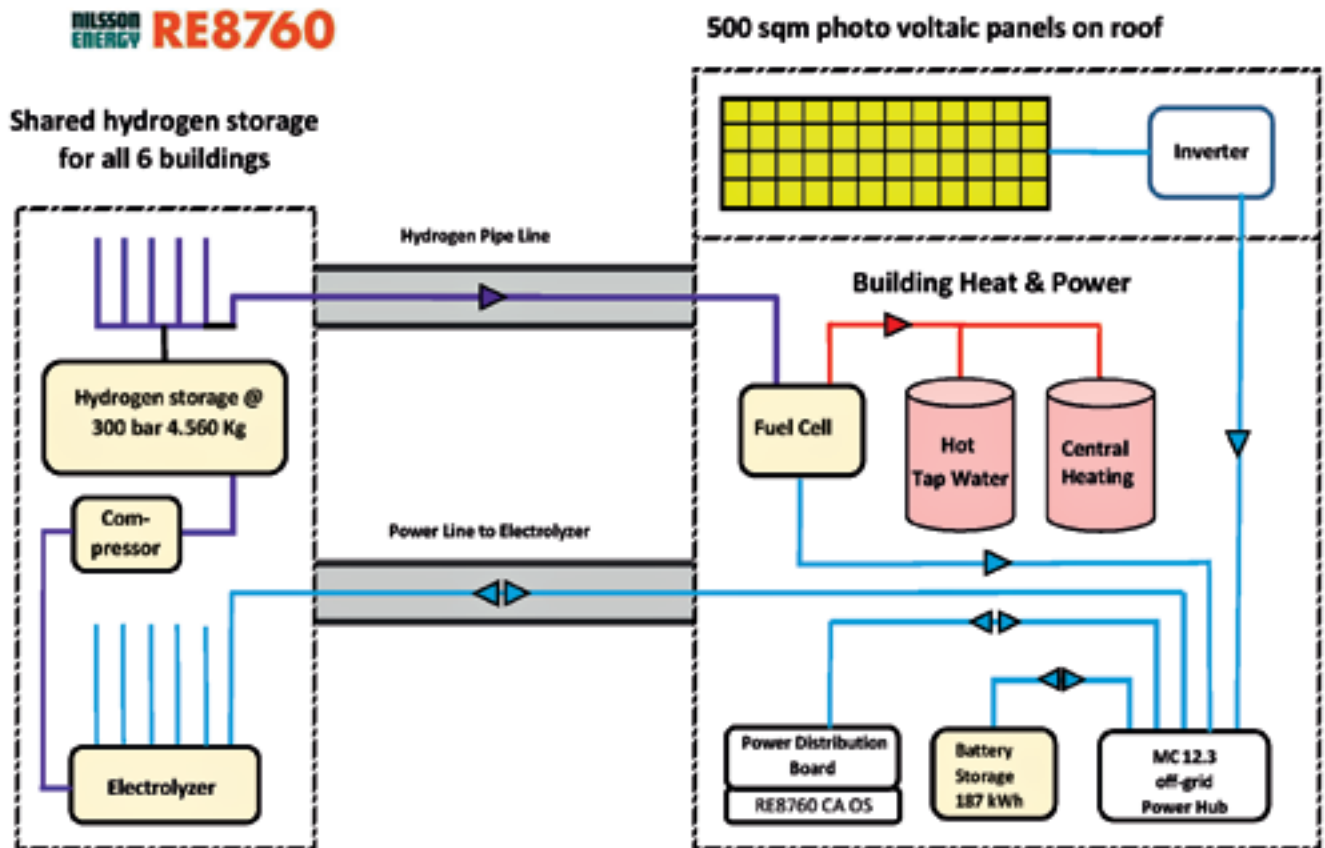


Abb. 3: Energiesystem der Backgårdsgatan-Gebäude [Quelle: Nilsson Energy AB]

Eine 5-kW-Brennstoffzelle von PowerCell, die aus dem zentralen Wasserstoffspeicher gespeist wird, erzeugt Strom, wenn die Solarproduktion gering oder nicht vorhanden ist. Die Batteriekapazität wird als Ausgleichsenergie, die typischerweise in der kalten Jahreszeit benötigt wird, gespart. Zusatzwärme aus der Brennstoffzelle wird in der Zentralheizungsanlage des Gebäudes verwendet, um einen Kraft-Wärme-Kopplungs-Wirkungsgrad von 90 % sicherzustellen. Erdwärmepumpen erwärmen das kalte Leitungswasser und versorgen die Zentralheizungsanlage für die Wohnungen und die Gemeinschaftsbereiche des Gebäudes.

Ein einzigartiger Stromverteiler, der von dem RE8760-Betriebssystem gesteuert wird, entscheidet, wann Solarenergie direkt verwendet, wann die Batterien geladen oder Wasserstoff produziert und wann Strom aus der Batterie und/oder Brennstoffzelle verwendet wird. Der Stromverteiler und sein Betriebssystem wurden von Nilsson Energy AB entwickelt. Das Unternehmen ist ebenso für das allgemeine Systemdesign, für die Integration und Installation verantwortlich.

ERKENNTNISGEWINN „Bei einem Projekt wie Backgårdsgatan muss man ganzheitlich vorgehen“, erklärt Jan Thorsson. „Die Ziele in Bezug auf Architektur, Gebäudedesign, Betrieb, Wohnumfeld, Zukunft, Wirtschaft und Umwelt müssen zusammengeführt werden. Man muss langfristig denken und neu und nachhaltig bauen. Man muss unternehmerisch denken und sein Geschäftsmodell um die eigene Energieproduktion erweitern. Es lohnt sich, in smarte Energietechnologie zu investieren. Das steigert den Wert der Immobilie und sichert Ihre Rendite.“ „Es ist wichtig“, betont er weiter, „dass Ihre Lösungen energieeffizient und

unabhängig von externen Energieversorgern sind, um diese Ziele zu erreichen.“

„Wir haben gelernt, die Feuerwehr früh in den Prozess einzubinden, da wir die Ersten waren, die diese Art von Energiesystem in einem öffentlichen Wohnungsbauprojekt auf schwedischem Boden und tatsächlich weltweit eingeführt haben. Demzufolge hat der Genehmigungsprozess für das gesamte Brandschutz- und Sicherheitssystem lange gedauert, da die Feuerwehr noch keine Erfahrung mit Wasserstoffspeichern in einer solchen Größenordnung auf dicht bewohntem Raum hatte.“

ÖFFENTLICHER WOHNUNGSBAU OHNE FOSSILE BRENNSTOFFE Das Backgårdsgatan Wohnungsbauprojekt ist international führend im Bau und Betrieb nachhaltiger Wohngebäude unter Verfolgung eines ganzheitlichen Ansatzes hinsichtlich sozialer Verantwortung, Umwelt- und Klimaschutz sowie Erfüllung der Bedürfnisse und Erwartungen an modernes Wohnen. Mehrere internationale Delegationen haben sich das Wohnungsbauprojekt bereits angesehen und viele weitere haben sich angekündigt. Vårgårda Bostäder hat bewiesen, dass es durchaus möglich ist, nachhaltig zu bauen, Gebäudeenergie ohne Emissionen und fossile Brennstoffe zu liefern und dabei sogar die Wirtschaftsbilanz und den Immobilienwert zu steigern.

Nichts muss in riesigen Fernwärmekesseln verbrannt werden, keine Kohle, keine Biomasse, keine Haushaltsabfälle. Es ist möglich, die kostenlose, saubere Energie der Sonne zu nutzen, um Gebäude das ganze Jahr über mithilfe von PV-Solarmodulen, Batteriespeicher und dem einfachsten Element des Universums – Wasserstoff – zu versorgen. ||

TERMINKALENDER

Alle Angaben unter Vorbehalt

MAI

04.-06.05. Berliner Energietage – online

Messe & Konferenz, Berlin, Berliner ImpulsE, Tel. 030-2014308-04, Fax -10, www.berliner-energietage.de

JUNI

08.-09.06. f-cell + HFC Impulse Summit

Konferenz, Vancouver/Kanada, Peter Sauber Agentur, Tel. 0711-656960-55, Fax -9055, www.hyfcell.com

14.-17.06. Electric Vehicle Symposium

Konferenz & Messe, Portland/USA, EDTA, Tel. +1-202-408-0774, www.evs33portland.org

17.-18.06. BDEW-Kongress

Kongress, Berlin, EW Medien & Kongresse, Tel. 030-2602412-1, Fax -2, www.bdew-kongress.de

19.-21.06. GreenTec Festival

Gala, Messe & Konferenz, Berlin, Voigt Krüger & Partner, Tel. 030-24087821-0, Fax -2, www.greentechfestival.com

19.-21.06. E-Mobil Rallye

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

24.-25.06. Branchentag Windenergie NRW

Konferenz, Köln, Lorenz Kommunikation, Tel. 02182-578780, www.nrw-windenergie.de

27.06. Jahrestagung Mobilität

Kongress, Düsseldorf, Energieregion NRW, Tel. 0211-86642-16, Fax -22, www.energieagentur.nrw

30.06. Future Mobility

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

30.06.-03.07. EFCF – SOFC & SOE

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

SEPTEMBER

01.-02.09. Das 1x1 des Wasserstoffs
Kongress, Bremen, DVGW Kongress, Tel. 0228-9188-672, Fax -92672, www.dvgw-kongress.de

03.09. Gasinfrastruktur für Erdgas-H₂-Gemische

Kongress, Bremen, DVGW Kongress, Tel. 0228-9188-672, Fax -92672, www.dvgw-kongress.de

07.-11.09. Joint European Summer School

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

08.-12.09. Automechanika

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

14.-18.09. Joint European Summer School

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

16.-17.09. E-Motive

Konferenz, Wolfsburg, Forschungsvereinigung Antriebstechnik, Tel. 069-6603-1820, Fax -2820, www.e-motive.net

22.-25.09. WindEnergy

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

24.-30.09. IAA Nutzfahrzeuge

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

27.-29.09. China International Hydrogen and Fuel Cell Exhibition

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

29.-30.09. f-cell

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

OKTOBER

08.10. National Hydrogen and Fuel Cell Day

Feiertag, weltweit, FCHEA, +1-2022611331, www.fchea.org

08.10. Hydrogen Online Conference
Online-Conference, Internet, Mission Hydrogen, Tel. 07195-904390-0, www.hydrogen-online-conference.com

15.-17.10. Electric & Hybrid Vehicle Technology Expo

Messe, Stuttgart, Informa Plc, Tel. +44-207560-4185, www.evtechexpo.eu

20.-22.10. eMove360°

Messe & Konferenz, München, MunichExpo, Tel. 089-32299136, www.emove360.com

24.10. Brennstoffzellenforum Hessen

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

27.-28.10. Elektrische Antriebstechnologie

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

27.-29.10. Enlit Europe

Konferenz & Messe, Mailand/Italien, PennWell, Tel. +44-1992-656-717, www.enlit-europe.com

NOVEMBER

04.-06.11. REGWA Energie-Symposium

Symposium, Stralsund, FH Stralsund, Tel. 03831-45-7072, Fax -6729, www.hochschule-stralsund.de

04.-06.11. European Hydrogen Energy Conference (EHEC)

Konferenz, Madrid/Spanien, AeH2, Tel. +34-91-8045372, www.ehec.info

05.-06.11. Elektrochemische Speichertechnik

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

09.11. Perspektiven von Wasserstoff und Brennstoffzellen

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

17.-18.11. gat & wat

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

19.-20.11. Forum Neue Energiewelt

Konferenz, Berlin, Conexio, Tel. 030-235995141, www.forum-neue-energiewelt.de

FIRMENVERZEICHNIS

ANLAGENBAU



Silica Verfahrenstechnik GmbH, Wittestr. 24, 13509 Berlin, Tel. 030-43573-5, sales@silica.de, www.silica.de

ARMATUREN, REGLER, VENTILE



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



HPS Solutions GmbH, Fachgroßhandel für Fluid- und Gastechologie, Fraunhoferstr. 5, 82152 Martinsried, Tel. 089-744926-0, info@hps-solutions.de, www.hps-solutions.de



MAGNETSCHULTZ
Ihre Spezialisten für elektromagnetische Aktorik und Sensorik

Magnet-Schultz GmbH & Co. KG, Hochdruck-, Sicherheits-, Absperr- & Mengenregelventile für H₂, Allgäuer Str. 30, 87700 Memmingen, Tel. 08331-104-0, Fax -333, www.magnet-schultz.com

NOVA SWISS

Nova Werke AG, H₂-Hochdruck-Magnetventile, Vogelsangstrasse 24, 8307 Effretikon, Schweiz, Tel. +41-52-3541616, www.novaswiss.com



www.ptec.eu

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

BERATUNG & PLANUNG



APEX Energy Teterow GmbH, Energiespeicherung und Systemlösungen, Hans-Adam-Allee 1, 18299 Rostock-Laage, Tel. 0381-799902-0, Fax -123, info@apex-energy.de, www.apex-energy.de



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

GIC – Agentur der Neuen Energien und Zukunftsthemen GbR, Rosenhagenstr. 42, 22607 Hamburg, Tel. 040-89018247, 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, www.haasengineering.de



Infraser GmbH & Co. Höchst KG, Konzeptentwicklung, Studien, Consulting, Industriepark Höchst, 65926 Frankfurt am Main, Tel. 069-30581022, www.infraser.com



P2X Ingenieurbüro Ludwig GmbH, Wutöschinger Str. 7, 79771 Klettgau-Rechberg, Tel. 07742-922612, kontakt@p2x-ingenieure.de, www.p2x-ingenieure.de

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

Technology Management SK, Benedikt Eska, Innovationsmanagement, Strategieentwicklung, Projektmanagement, Technologie- und Marktanalysen, Münchener Str. 35a, 85748 Garching, Tel. 089-36037836, www.temsk.de

BETANKUNGSTECHNIK



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, www.kustec.at



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

BRENNSTOFF- UND LUFTVERSORGUNG



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



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



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



sera ComPress GmbH,
sera-Straße 1, 34369 Immenhau-
sen, Tel. 05673-999-04, Fax-05,
info-compress@sera-web.com, www.sera-web.com

BRENNSTOFFZELLEN

HYDROGENICS

SHIFT POWER | ENERGIZE YOUR WORLD

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

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

ELEKTROLYSEURE

AREVA H₂Gen

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

AsahiKASEI

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



Enapter srl, Pisa, Berlin,
Chiang Mai, Via di lavoria
56G, 56040 Crespina
Lorenzana (PI), Italien,

Tel. +39-5064-4281, www.enapter.com



Giner ELX, Inc.,
89 Rumford Avenue,
Newton, Massachusetts
02466, USA, Tel. +1-781-

529-0500, information@ginerelx.com, www.ginerelx.com



PEM-Elektrolyseure, Stacks,
H₂-Projekte



Hoeller Electrolyzer
GmbH, The Stack
Company, Alter
Holzhafen 17b, 23966

Wismar, Tel. 03841-758-3030, www.hoeller-electrolyzer.com



Hydrogen is now.

H-Tec Systems GmbH,
PEM-Elektrolyseure
für industrielle Anwen-
dungen, Am Mittleren

Moos 46, 86167 Augsburg, Tel. 0821-507697-0, Fax 0451-
399-41799, info@h-tec-systems.com, www.h-tec-systems.de

HYDROGENICS

SHIFT POWER | ENERGIZE YOUR WORLD

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



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

**Kraftanlagen München**

Kraftanlagen München
GmbH, Ridlerstraße 31 c,
80339 München,
Tel. 089-62370,
www.kraftanlagen.com

A member of Bouygues Construction

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



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

**sunfire**

sunfire GmbH, Gasanstalt-
straße 2, 01237 Dresden,

Tel. 0351-896797-0, Fax -885, www.sunfire.de



thyssenkrupp Uhde Chlorine
Engineers GmbH, Voßkuhle 38, 44141
Dortmund, Tel. 231547-0, Fax -2334,
info-uce@thyssenkrupp.com,
www.thyssenkrupp-uhde-chlorine-engineers.com

ELEKTRONIK



Prüfreflex Innovative Power
Products GmbH, Egersdor-
fer Str. 36, 90556 Cadolz-
burg, Tel. 09103-7953-0,
Fax -55, www.pruefreflex.de

ENERGIESPEICHERUNG



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



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

ENGINEERING



Silica Verfahrenstechnik GmbH, Wittestr. 24, 13509 Berlin, Tel. 030-43573-5, sales@silica.de, www.silica.de

FINANZIERUNG

Notos Group, Dr. Jens Rohweder, Unternehmensbeteiligungen und Risikokapital, Pelzerstr. 5, 20095 Hamburg, Tel. 040-6094550-0, www.notos-group.com

FORSCHUNG & ENTWICKLUNG



DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, Karl-Heine-Straße 109/111, 04229 Leipzig, 0341-2457-113, www.dbi-gut.de

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



FES GmbH Fahrzeug-Entwicklung Sachsen, Crimmitschauer Str. 59, 08058 Zwickau, Tel. 0375-5660-0, Fax -222, info@fes-aes.de, 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

Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES, Postkamp 12, 30159 Hannover, Tel. 0471-14290-456, www.iwes.fraunhofer.de

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

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



HyCentA Research GmbH, Inffeldgasse 15, A-8010 Graz, Tel. +43 (0)316-873-9501, office@hycenta.at, www.hycenta.at



Wenger Engineering GmbH, Forschungs- und Entwicklungszentrum für Thermodynamik, CFD-Simulation & H₂-Technik, Einsteinstr. 55, 89077 Ulm, Tel. 0731-790605-0, Fax -99, mail@wenger-engineering.com, www.wenger-engineering.com

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

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

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



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

INFRASTRUKTUR

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

KOMPRESSOREN



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



HD-tech Hochdrucktechnik GmbH & Co. KG, Neustadter Ring 5, 38855 Wernigerode, Tel. 03943-26780-0, Fax -20, www.h-d-tech.de



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



J.P. Sauer & Sohn Maschinenbau GmbH, Brauner Berg 15, 24159 Kiel, Tel. 0431-3940-0, sales@sauercompressors.de, www.sauercompressors.com

MESSDATENMANAGEMENT UND MONITORING



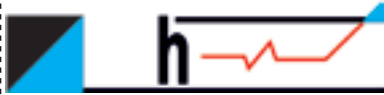
DiLiCo engineering GmbH, Lorenzweg 43, 39124 Magdeburg, Tel. 0391-505859-86, info@dilico.de, www.dilico.de

MEMBRANEN



Chemours International Operations SARL, Chemin du Pavillon 2, 1218 Le Grand Saconnex, Schweiz, Patrick Redon, Tel. +33-680-282140, www.chemours.de, www.nafion.de

MESS- UND REGELUNGSTECHNIK



**Henze-Hauck
Prozessmesstechnik /
Analytik GmbH,**

Wasserstoffanalysatoren, ATEX zertifiziert, Sicherheitstechnik, Dünnhauptstr. 14, 06847 Dessau, Tel. 0340 5169363, info@henze-hauck.de, www.processanalytik.de

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

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



**Prignitz Mikrosys-
temtechnik GmbH,**
Druck- und Tempera-
turmesstechnik für H₂-Anwendungen, Margarethenstr. 61,
19322 Wittenberge-Elbe, Tel. 03877-56746-15, Fax -18,
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

PR & MARKETING



mummert – creating relations,
Uta Mummert, deutsch-französische
Kommunikationsdienstleistungen –

Medien, Messen, Marketing, Ecksteinstr. 18, 04277 Leipzig,
Tel. 0177/4811408, info@mummert.fr, www.mummert.fr

PRÜFTECHNIK



**Greenlight Innovation
Corp. Canada, Europäi-
sche Vertretung: Dr. Lutz**

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



JA-Gastechnology GmbH,
Albrecht-Thaer-Ring 9,
30938 Burgwedel,

Tel. 05139-9855-011, Fax -33, www.jag.de



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

Hochdrucktechnik • Prüftechnik • Hydraulik • Pneumatik



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

**SL Tech2 GmbH – Ihr Entwicklungspartner für die Mobi-
lität von morgen,** Hohenneuffenstr. 21, 73230 Kirchheim,
Tel. 07021-993968-0, Fax -1, www.sl-tech2.de



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



Zeltwanger, Dichtheits- und Funktionsprüfung, automati-
sierte Laserapplikations- und Montageanlagen, Maltschach-
str. 32, 72144 Dußlingen, Tel. 07071-3663-106, a.nobel@zeltwanger.de, 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

REFORMIERUNG



WS Reformer GmbH, Dornier-
straße 14, 71272 Renningen,

Tel. 07159-163242, Fax -2738, www.wsreformer.com

SPEICHERTECHNIK

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

65

WindEnergy Hamburg

Join the global on & offshore event
22 – 25 September 2020

Key topics include:

- Power4Climate
- Empowering People
- Global Business

It's time to put Climate First

The world's leading wind energy event will bring policy, industry and research leaders together for an unmissable global gathering. Be part of it, and make the most of the learning, business and networking opportunities! We look forward to welcoming you!

windenergyhamburg.com



The global on & offshore event

Organised by:



In cooperation with:



Co-organised by:



Global Partner:



Partners:



Power Systems



Hexagon Purus GmbH,
Otto-Hahn-Str. 5, 34123 Kassel,
Tel. 0561-58549-0,
www.hexagonxperion.com



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



Kessels Prüfwerk GmbH & Co.
KG, Lehmkuhlenweg 13,
41065 Mönchengladbach,
Tel. 02161-65907-0, Fax -68, www.kessels-pruefwerke.de

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



Nprox B.V., Business Trade
Center Heerlen, Vogt 21,
6422 RK Heerlen, Niederlande, +31-(0)45-7820564,
contact@nprox.com, www.nprox.com

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



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

STATIONÄRE SYSTEME

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

SYSTEMINTEGRATION

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



Framatome GmbH, Paul-Gos-
sen-Str. 100, 91052 Erlangen, Ansprechpartner: Frau Gem-
mer-Berkbilek, Tel. 09131-90095221, www.framatome.com

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

TECHNOLOGIEZENTREN

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



H2Herten, Wasser-
stoff-Kompetenz-Zen-
trum, Doncaster-Platz
5, 45699 Herten, info@herten.de, www.h2herten.de

TESTSTÄNDE



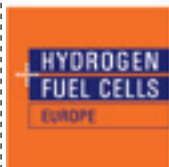
AVL List GmbH, Hans-List-Platz
1, 8020 Graz, Österreich,
Tel. +43-316-787-0, Fax -400,
info@avl.com, www.avl.com



Horiba FuelCon GmbH, Steinfeldstr. 1, 39179 Barleben,
Tel. 039203-5144-00, Fax -09, info@horiba-fuelcon.com,
www.horiba-fuelcon.com

VERANSTALTER

HANNOVER MESSE



April 20-24
2020

Hall 27, C66
Exhibition Grounds
Hannover, Germany

**Hydrogen + Fuel Cells Eu-
rope**, Hannover Messe 2021,
April 12-16, Tobias Renz
FAIR, tobias@h2fc-fair.com,
www.h2fc-fair.com



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

VEREINE & VERBÄNDE

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



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

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

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

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



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



**Industriegaseverband
e.V.**, Französische Str. 8, 10117 Berlin, Tel. 030-20645 8804,
Fax -8805, www.industriegaseverband.de

Zentrum Wasserstoff.Bayern (H2.B),
Fürther Str. 250, 90429 Nürnberg,
info@h2.bayern, www.h2.bayern

WASSERSTOFFERZEUGUNG

Fronius Deutschland GmbH, grünen H₂ selbst erzeugen
für Lkw, Bus, Auto, Stapler, Fronius Str. 1, 36119 Neuhof -
Dorfborn, Tel. 06655-91694-0, Fax -50, www.fronius.de



Rouge H₂ Engineering GmbH,
Reininghausstr. 13, 8020 Graz,
Österreich, Tel. +43-(0)316-375-
007, 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, www.reinhard-christiansen.de

ZULIEFERER



Anleg GmbH, MSR, Anla-
genbau, H₂- & Ventiltech-
nik, Am Schornacker 59,
46485 Wesel, Tel. 0281-206526-0, Fax -29, www.anleg.de



Borit NV, Bipolarplatten und
Interconnects, Lammerdries
18e, 2440 Geel, Belgien, Tel.
+32 (0)14-250900, contact@borit.be, www.borit.be

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

EDUR Pumpenfabrik Eduard Redlien GmbH & Co. KG,
Spezialist für Kreisel- und Mehrphasenpumpen, Edisonstr.
33, 24145 Kiel, Tel. 0431-689868, info@edur.de, www.edur.com

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



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

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



Gräbener Maschinentechnik GmbH & Co. KG,
Fertigungsanlagen für das Formen, Schneiden und Schwei-
ßen metallischer Mikrostrukturplatten, Tel. 02737-989-367,
a.edelmann@graebener.com, 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

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



**Sandvik High Precision
Tube, ZN der SMT D
GmbH**, 33824 Werther,
Tel. 05203-91090,

info.hpt@sandvik.com, H₂-Edelstahlrohr-Anwendungen /
Coil Container Service – On Site Tubing Solution



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



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

EINTRAG IM HZWEI-FIRMENVERZEICHNIS

Basiseintrag: Kontaktdaten des Unternehmens

- in allen vier Print- und Digital-Ausgaben
- online unter www.hzwei.info/firmen
- ca. 150 Zeichen, Rubrik ist frei wählbar
- inkl. HZwei Jahres-Abonnement als Beleg
- inkl. Abonnement des Hydrogeit-Newsletters
- inkl. Verlinkung zur Unternehmens-Homepage
- Kosten: 120 Euro im Jahr (zzgl. MwSt.)

Firma

Adresse

Tel., Fax, Internet

Premiumeintrag: Einbindung des Logos

- in allen vier Print- und Digital-Ausgaben
- online unter www.hzwei.info/firmen
- alle Leistungen des Basiseintrags
- zzgl. Logo-Einbindung im monatlich erscheinenden Hydrogeit-Newsletter (10.000 Abonnenten) inkl. Verlinkung
- Kosten: 520 Euro im Jahr (zzgl. MwSt.)

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



Wasserstoffspeicher auf Weltklasseniveau

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

Nutzfahrzeuge,
Busse und Schiffe
(350 bar)

Pkw und
Kleintransporter
(700 bar)