

HZwei

DAS MAGAZIN FÜR WASSERSTOFF UND
BRENNSTOFFZELLEN

ZUM JUBILÄUM
HZwei abonnieren
und H₂-Buch
gratis
bekommen!

→ HYDROGEIT VERLAG FEIERT
SEIN 20-JÄHRIGES BESTEHEN

→ AUSFÜHRLICHER VORBERICHT
ZUR HANNOVER MESSE 2024



16. Teil der Regionen-Serie:
IPCEI-Vorhaben genehmigt

HYDROGEN FUEL CELLS EUROPE

CONNECTING INDUSTRY WITH HYDROGEN AND FUEL CELLS TECHNOLOGY

Powering the Future of Industry: Unlocking Hydrogen's Potential

22 – 26 April 2024 ■ Hannover, Germany

h2fc-fair.com



COOL!

„Heute ist ein guter Tag für den Industriestandort Deutschland, den Klimaschutz und nachhaltige Arbeitsplätze in unserem Land.“



Liebe Leserinnen und Leser!

Bundeswirtschaftsminister Robert Habeck bezog sich mit obigen Worten auf das erste Gebotsverfahren für Klimaschutzverträge, das die Bundesregierung im März 2024 gestartet hat: „Mit den Klimaschutzverträgen fördern wir erstens moderne, klimafreundliche Industrieanlagen von morgen. Dadurch entstehen neue Technologien, Wertschöpfungsketten und Infrastrukturen. Das hilft zweitens der Industrie weltweit dabei, auf klimafreundliche Produktion umzuschalten. Und drittens setzen wir mit den Klimaschutzverträgen international neue Standards für eine effiziente und bürokratiearme Förderung.“

Im Ausland werde dieser Schritt voller Neid bewundert, so Habeck: „Cool, was ihr da in Deutschland macht. Das wollen wir auch haben.“

Auch wenn einige Menschen in der Bundesrepublik das nicht gerne hören, weil sie allzu gerne Habeck-Bashing betreiben – man muss ihm lassen, dass er in seiner Amtszeit vieles auf den Weg gebracht hat. Und wenn insbesondere Vertreter der chemischen Industrie diese Klimaschutzverträge als einen „richtigen Schritt“ bezeichnen, kann nicht alles falsch gewesen sein.

An Habeck scheiden sich momentan die Geister: Den einen ist er nicht grün genug, zu wirtschaftsnah, zu industriefreundlich – den anderen ist er zu grün, zu idealistisch, zu poetisch.

Wenn man sich anschaut, was in den vergangenen Monaten – insbesondere aufgrund des Engagements Habecks – angestoßen wurde, kann sich das sehen lassen, selbst mit Klimaschutzbrille: Deutschland ist gut durch die letzten Winter gekommen und verfügt inzwischen über mehrere, in Rekordzeit aufgebaute LNG-Terminals. Deutschland bekommt nach und nach die von so vielen geforderten energiepolitischen Rahmenbedingungen, die Planungssicherheit geben – sei es im Heizungs- oder im Verkehrssektor, insbesondere aber auch im Industriesektor.

Deutschland bemüht sich, speziell die energieintensiven Unternehmen aus der Stahl-, Glas-, Zement- oder Chemiebranche hier im Lande zu behalten und kommt ihnen weit entgegen. Zudem knüpft Deutschland internationale Partnerschaften für den Import von Wasserstoff und den Transfer von Technologie-Know-how (s. S. 12 – Norwegen).

Darüber hinaus kommt jetzt endlich Fahrt in die IPCEI-Vorhaben (s. S. 26), und selbst die 37. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV) ist am 14. März 2024 vom Bundestag verabschiedet worden.

Diese und viele weitere Maßnahmen haben unter anderem dazu geführt, dass die Klimaemissionen 2023 um 10,1 Prozent gegenüber 2022 gesunken sind, was dem größten Rückgang der CO₂-Werte seit 1990 entspricht.

Ja, dieser Rückgang ist durchaus zum Teil der derzeit reduzierten Wirtschaftskraft Deutschlands geschuldet. Na und? Es ist doch völlig klar, dass ein transformativer Prozess im Energiesektor dazu führt, dass nicht im selben Maße wie zuvor produziert werden kann. Und genau dies ist ja durchaus gewollt, denn wir können es uns nicht länger leisten, so viel Energie und so viele Ressourcen wie bislang zu verballern.

Ein moderater Rückgang der Wirtschaftsleistung ist meiner Meinung nach übergangsweise sehr gut verkraftbar und durchaus positiv zu sehen, da genau dadurch veraltete Strukturen aufgebrochen und die Zukunftsfähigkeit des Landes gewährleistet wird. Es wird jetzt darauf ankommen, das richtige Maß im Auge zu behalten, um eine Balance zwischen Handlungsdruck und Zumutbarkeit zu finden.

Das gilt nicht nur für die Regierung, sondern auch für die Bevölkerung, der ebenfalls ein großes Maß an Verantwortung zukommt – sei es bei der Wahl des nächsten Autos oder der nächsten Heizung. Weniger Nörgeln und mehr nachhaltiges Agieren hilft mitunter Wunder.

Auch der Hydrogeit Verlag versucht mit der Zeit zu gehen, was nach 20 Jahren durchaus angebracht ist. Unsere Homepage haben wir bereits 2023 überarbeitet; jetzt ist das Outfit der HZwei dran:

Freuen Sie sich auf ein sehr viel freundlicheres Erscheinungsbild, wenn Sie die Zeitschrift aufschlagen und durchblättern. Das Layout ist jetzt noch übersichtlicher, nicht mehr so textlastig, sondern sehr viel lockerer, was hoffentlich zu noch mehr Lesefreude beim Studium der vielen Artikel führt.

Besonders hervorheben möchte ich an dieser Stelle den ausführlichen Vorbericht zur diesjährigen Hannover Messe (s. S. 12). Auf 12 Seiten finden Sie Informationen zu zahlreichen Ausstellern – inklusive Standnummern.

Und wen es interessiert, der kann auf den Seiten 10 und 11 den Werdegang des Hydrogeit Verlags nachlesen – vom Ein-Mann-Verlag zum globalen Player.

Als kleinen Dank an die immer größer werdende H₂-Community schicken wir zum 20-jährigen Bestehen allen Neukunden, die jetzt ein HZwei-Abo abschließen oder verschenken, kostenlos ein Gratis-Exemplar unseres Buches über „Wasserstoff und Brennstoffzellen“.

Das gesamte Verlags-Team wünscht viel Freude mit der neuen HZwei. Auf die nächsten 20 Jahre ... •

Herzlichst

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'S. Geitmann'. The signature is fluid and cursive.

Sven Geitmann
HZwei Herausgeber

INHALTSVERZEICHNIS

10

Seit 20 Jahren dokumentieren und informieren



Quelle: NEONBOLD

12

Großer Vorbericht zur Hydrogen + Fuel Cells Europe



3 Editorial

6 Meldungen

- Hübener soll OGE führen
- Neuer CFO für H-Tec Systems
- DWV kürzt den Namen
- Bischof-Niemz in Enertrag-Vorstand berufen
- Apex wird zu H2Apex
- CEP neu aufgestellt
- Projektrealisierung trotz Exytron-Pleite
- Eine One-Man-Show wächst

12 Messen und Kongresse

- Messeführer für die Hannover Messe 2024
- Optimismus beim H₂ Forum in Berlin

26 Politik

- Regionen-Serie: Brüssel genehmigt IPCEI-Vorhaben
- Bundesregierung verabschiedet Kraftwerksstrategie
- Hintergründe zur Trennung des BMDV von Bonhoff

32 Energiespeicherung

- Interview mit C. Leu und B. Eska von Axiosus
- Elektrolyseure auf dem Prüfstand
- Ammoniak – Eine neue Infrastruktur entsteht
- HySupply – Deutsch-australische H₂-Brücke

44 Elektromobilität

- Planungssicherheit schaffen durch H₂-Tankstellenbau
- Unterstützter Froststart bei -40 °C
- Fliegen mit Brennstoffzellen und flüssigem Wasserstoff

53 Produktmeldung

- Mechatronischer H₂-Druckregler

28

IPCEI Hy2Infra genehmigt 320-MW-Elektrolyseur in Emden



Quelle: EWE / Lithio Nisemann + M. Stegmann

65

Der Prime Mover von Hyzon



Quelle: Hyzon

5

54 Entwicklung

- FRHY-Stack – hochratenfähige Elektrolyseurproduktion
- Potentiale der Digitalisierung
- Aufbau einer metrologischen Infrastruktur

64 Lesecke

- Die Wasserstoffwende
- Hydrogen 3.0

65 Markt

- Gruppenrotation wird Wasserstoff voranbringen
- Ballard – Perspektiven besser als aktuelle Bewertung
- Bloom Energy überzeugt auf der Langstrecke
- Ceres Power mit starken Partnern
- Cummins – Abgasskandal durch Zahlung beendet
- FuelCell Energy – CCS als Wachstumsstory?
- Hyzon Motors – Starke Patentposition
- Nikola – Ausblick spricht für das Unternehmen
- Plug Power – Kurskapriolen mit vielen Fragen
- Siemens Energy – Licht am Ende des Tunnels
- Gasehersteller sind die Gewinner des H₂-Hochlaufs

76 International

- Women in Green Hydrogen feiert Geburtstag
- Elektrolysestrom soll in Ungarn aus AKW kommen
- Tschechien: Erste kommerzielle H₂-Produktion

81 Firmenverzeichnis

91 Terminkalender

91 Impressum

HÜWENER SOLL OGE FÜHREN



Abb.: Dr. Thomas Hüwener [Quelle: OGE]

Der neue Sprecher der Geschäftsführung von OGE soll ab dem 1. Juli 2024 Dr. Thomas Hüwener sein. Der Aufsichtsrat des Fernleitungsnetzbetreibers benannte den 52-jährigen, der bereits seit 2001 in verschiedenen Positionen für das Unternehmen tätig ist, zum Nachfolger von Dr. Jörg Bergmann, der dann planmäßig

in den Ruhestand wechselt, nachdem er rund 30 Jahre in unterschiedlichen Funktionen für OGE tätig war – mehr als 15 Jahre davon als Mitglied der Geschäftsführung.

Lincoln Hillier Webb, Vorsitzender des Aufsichtsrates von OGE, sagte dazu: „Mit Thomas Hüwener haben wir nicht nur den herausragenden Kandidaten für die Sprecherposition gewinnen können – wir zeigen damit auch, dass wir den eingeschlagenen Weg der Transformation weiter beschreiten wollen.“ Hüwener erklärte: „Es stehen sehr viele entschei-

dende Jahre an: sowohl beim Aufbau des Wasserstoffnetzes als auch bei der Etablierung eines CO₂-Transportsystems. Gemeinsam mit dem OGE-Team werden wir diese Herausforderungen und die Zukunft des Unternehmens gewinnbringend gestalten.“ •

NEUER CFO FÜR H-TEC SYSTEMS

Der Elektrolyseurhersteller H-Tec Systems hat sich zur Jahreswende neu aufgestellt und Markus Weber als kaufmännischen Geschäftsführer ins Team geholt. Bisher hatte diese Position Frank Zimmermann inne, der das Unternehmen auf eigenen Wunsch verlassen hat. CEO Robin von Plettenberg erklärte: „Mit seinem Erfahrungsschatz in internationalen Großunternehmen ist Markus Weber die ideale Neubesetzung für das Amt des Chief Financial Officer (CFO). Seine weitreichende Erfahrung in transformativen und dynamischen Arbeitsumfeldern kommt dem internationalen Wachstum von H-Tec Systems zugute.“

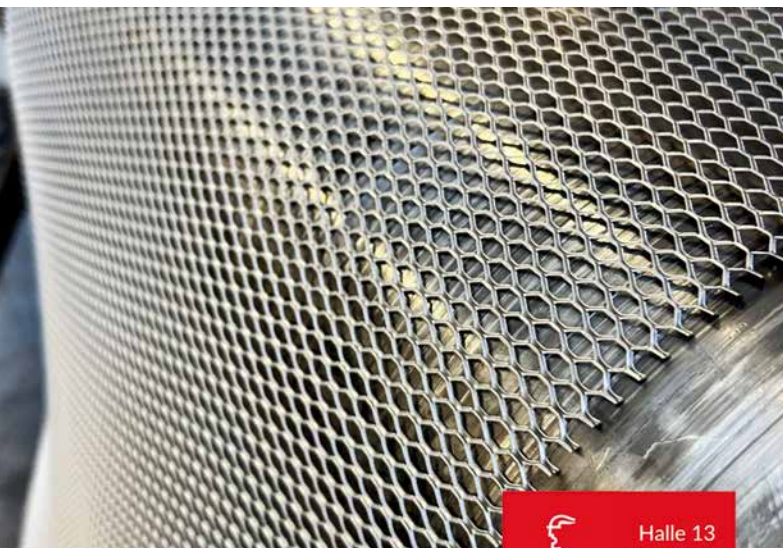
Der Diplom-Betriebswirt war zuletzt bei der börsennotierten Jenoptik AG tätig, wo er als Executive Vice President Controlling & Accounting den Finanzbereich verantwortete. Davor war er in verschiedenen Führungspositionen beim Würzburger Druckmaschinenhersteller Koenig & Bauer, bei der elumatec AG und der Voith-Gruppe tätig. Weber selbst sieht die MAN-Tochterfirma H-Tec Systems als ein „schnell

wachsendes Unternehmen in dem so wichtigen Umfeld der erneuerbaren Energien, sowohl für den Standort Deutschland als auch für den internationalen Markt“.

Seit März 2024 sind zudem vier neue Vice Presidents für H-Tec Systems tätig: Jochen Straub, Nima Pegemanyfar, Bernd Behnke und Claudio Bravo Granadino. •



Abb.: Markus Weber
[Quelle: H-Tec Systems]



Die nachhaltige Komponente für OEMs und Elektrolyseure

Besuchen Sie uns auf der Hannover Messe 2024.
Streckgitter aus Titan, Nickel, Edelstahl - 100 % Made in Germany

+49 (0)511 676756-0

info@sorst.de



Ein Unternehmen von MEISER

DWV KÜRZT DEN NAMEN

Der DWV hat seit Januar 2024 einen etwas kürzeren Namen. Statt Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V. heißt er jetzt – wieder – Deutscher Wasserstoff-Verband (DWV) e.V., nachdem er im Jahr 1996 exakt mit diesem Namen gegründet, dann aber später umbenannt worden war.

Nach eigener Aussage belegt der Verein mit dieser Namensanpassung „seine Technologieoffenheit und die Diversität unter den Mitgliedsunternehmen“, und dass er der „einzige nationale Verband für Wasserstoff ist, der die gesamte Wertschöpfungskette abdeckt und die Interes-

sen aller Wasserstofftechnologien (nicht nur explizit die Brennstoffzelle) kompetent vertritt“. Beschlossen worden war diese Änderung mit großer Mehrheit bei der 28. Ordentlichen Mitgliederversammlung im November letzten Jahres in Berlin. •

BISCHOF-NIEMZ IN ENERTRAG-VORSTAND BERUFEN

Der uckermärkische Projektierer Enertrag hat Dr. Tobias Bischof-Niemz in den Vorstand berufen. Seit Anfang April 2024 ist der bisherige Bereichsleiter Neue Energielösungen nun für das neu geschaffene Vorstandsressort „Projekte International & Technologie“ zuständig. Das bislang dreiköpfige Führungsgremium wird dadurch um eine Person erweitert.



Abb.: Dr. Tobias Bischof-Niemz
[Quelle: Enertrag]

Jörg Müller, Aufsichtsratsvorsitzender, Gründer und Mehrheitseigentümer des ostdeutschen Unternehmens, erklärte: „Wir sind überzeugt, dass Dr. Bischof-Niemz mit seiner umfangreichen Erfahrung und Expertise die ideale Besetzung für das Vorstandsressort Projekte International & Technologie ist. Sein Engagement für

Nachhaltigkeit und seine erfolgreiche Bilanz in der Auslegung und Umsetzung erneuerbarer Verbundkraftwerke, die Strom-, Wasserstoff- und Wärmeerzeugung koppeln, machen ihn zu einer Schlüsselfigur für die weitere Entwicklung von Enertrag auf globaler Ebene.“

Die Firma Enertrag, die inzwischen über 1.000 Mitarbeitende beschäftigt, trägt damit dem wachsenden internationalen Interesse Rechnung. Der 47-Jährige verantwortete bereits vor seiner jetzigen Einberufung in den Vorstand die globalen Aktivitäten und Sektorkopplungsansätze des Unternehmens. •

APEX WIRD ZU H2APEX

Das Rostocker Unternehmen Apex geht weiter in großen Schritten voran in Richtung H₂-Markt. Am 8. Februar 2024 verkündete der Entwickler und Betreiber von grünen Wasserstoffanlagen, dass er fortan gemeinsam mit der Exceet Group SCA unter der Marke H2APEX auftritt.

Nach dem Einstieg von Exceet bei Apex ist dies ein weiterer wichtiger Schritt, mit dem sich die börsennotierte Muttergesellschaft in Richtung Wasserstoff orientiert. Zuvor hatte die Hauptversammlung der Umfirmierung sowie der



Abb.: Peter Rößner (l.), CEO von H2APEX, und Roland Lienau, Aufsichtsratsvorsitzender von H2APEX, bei der Handelseröffnung in der Deutschen Börse [Quelle: Deutsche Börse / Martin Joppen]

Namensänderung im Unternehmensregister zugestimmt, nachdem Apex erst zum Jahresbeginn Axel Funke als CFO hatte verpflichten können (s. HZwei-Heft Jan. 2024).

Peter Rößner, CEO des operativen Geschäfts der H2APEX-Gruppe, erklärte: „Wir treten künftig konsistent als H2APEX mit klarem Markenkern im Markt für grüne Wasserstoffanlagen auf und stehen für hohe Planungskompetenz, verlässliche und erprobte technische Lösungen und umfassende Erfahrung in der Erstellung von Großanlagen im Bereich Industrie und Energie.“ •

7



Nationaler Transformations-Hub für Wasserstoffantriebe und Komponenten in der Automobil- und Zulieferindustrie



12.06.2024

KONGRESS DER
WASSERSTOFFANTRIEBE

Kraftverkehr Chemnitz

JETZT
TICKET
SICHERN



FACHKONFERENZ
Vorträge zur Strategie der OEMs, Einblicke in Vorreiterprojekte für Automobil- und Zulieferindustrie, Technologiefachvorträge

NETWORKING-AREA
Vernetzung und Fachaustausch mit der Wasserstoff-Community

TECHNIKAUSSTELLUNG ZUM ANFASSEN
Ride & Drive, Technologieplattformen, H₂-Fahrzeuge, Komponentenausstellung u. v. m.

Informationen, Anmeldung:
www.ch2ance.de



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages







automotive

land.nrw e.V.

CEP NEU AUFGESTELLT

Neuer Vorstand, neue Mitglieder und eine neue Struktur – so präsentiert sich in ihrer aktuellen Pressemitteilung die Clean Energy Partnership (CEP) e.V. Weiterhin mit dabei ist Jörg Starr von GP Joule, der fortan von Elena Hof, Jet H₂ Energy, und Paul Karzel, Lifte H₂, unterstützt wird. Zu diesen beiden neuen Gesichtern kommt auch eine geänderte Gesellschaftsform: Die vor 22 Jahren gegründete ehemalige Private Partnership agiert jetzt als eingetragener Verein.

Zu den nach eigener Aussage „ambitionierten Zielen“ zählt beispielsweise die Abnahme von nahezu 190 Wasserstofftankstellen in Europa. Damit einher soll die Ertüchtigung zahlreicher Dienstleister gehen, die für die Abnahmen dieser Standorte erforderlich ist. Damit soll laut CEP nun die Entwicklungsphase starten, in der der Weg für den weiteren Hochlauf der Wasserstoffmobilität und -infrastruktur in Deutschland geebnet werden soll.

Elena Hof betont: „Unsere Arbeit fokussiert sich auf den Straßenverkehr, insbesondere den Heavy-Duty-Bereich, aber wir denken alle Verkehrsträger mit. Denn Politik und Industrie brauchen starke Verbündete, um den aktuellen und zukünftigen Aufgaben für einen CO₂-freien Straßenverkehr gerecht zu werden.“

Paul Karzel erklärt dazu: „Ein weiterer Ausbau der Infrastruktur für Brennstoffzellenfahrzeuge ist von entscheidender Bedeutung für den Markthochlauf, nicht nur für die Mobilität, sondern als effizienter, sauberer und kostentechnisch sinnvoller Vorreiter für die gesamte Wasserstoff-



Abb.: E. Hof, J. Starr, P. Karzel – das neue Führungstrio
[Quelle: CEP]

wirtschaft.“ Jörg Starr ergänzt: „Ein nachhaltiger Umbau der Energiewirtschaft ist ohne Wasserstoff nicht möglich. Die von der CEP initiierten Betankungsstandards sind dabei unverzichtbar.“

Besonders freut sich das Trio, mit Enginius ein neues aktives Mitglied in der Partnerschaft begrüßen zu dürfen. •

8

H2APEX[®]

THE POWER OF HYDROGEN



GREEN HYDROGEN 5.0
SUPPLIER



EPC PARTNER FOR
HYDROGEN PROJECTS



MOBILE AND STATIONARY
STORAGE SOLUTIONS

WWW.H2APEX.COM

EPC Project HyBit Bremen
System integration by H2APEX

hyBit
Hydrogen to Power
Energy to Hydrogen

LÜBESSE ENERGIE WILL VORREITER WERDEN

Ursprünglich Ende 2023 sollte ein „emissionsfreies Taxonomie-Gaskraftwerk“ in Lübesse, einer Gemeinde in Mecklenburg-Vorpommern, in Betrieb gehen, aber wie bei so vielen Projekten gibt es Verzögerungen: Ein Projektpartner ging pleite, und nicht zuletzt die Preissteigerungen der letzten Jahre erforderten Umplanungen. Aber die Verantwortlichen blieben trotz aller Widrigkeiten dran und peilen jetzt 2025/2026 für den Produktionsstart an.

Der offizielle Baustart für die Energiewandlungsanlage südlich von Schwerin erfolgte nach vier Jahren Vorbereitungszeit im März 2022. Gemeinsam mit Mecklenburg-Vorpommerns Wirtschaftsminister Reinhard Meyer wurde damals hoffnungsfroh das Startsignal, ein symbolisches „Anbaggern“, für dieses Sektorkopplungsprojekt gegeben, im Rahmen dessen klimaneutrale synthetische Kraftstoffe (e-Fuels) hergestellt werden sollen.

Entgegen früheren Planungen wird jetzt allerdings kein Gaskraftwerk (BHKW) mehr errichtet. Das erzeugte Methan soll zur Produktion von regenerativem LNG (rLNG – liquefied natural gas – Flüssigerdgas) für den Mobilitätssektor genutzt werden. Alternativ ist auch eine Einspeisung in das vorhandene Erdgasnetz denkbar. Außerdem ist jetzt die Versorgung der Wohnbebauung von Lübesse einschließlich des Gewerbegebietes mit Nahwärme Schwerpunkt dieses Vorhabens.

Damals war noch die Exytron GmbH mit im Boot. Das Technologieunternehmen aus Rostock musste allerdings Ende August 2022 Insolvenz anmelden. Der Exytron-Geschäftsführer Klaus Schirmer versuchte zwar noch zu retten, was zu retten war, aber im Herbst 2022 kristallisierte sich heraus, dass eine Abwicklung unvermeidlich war, so dass mehrere Mitarbeiter dann anderweitige Arbeit annahmen.

Infolge der Insolvenz verzögerte sich das Projekt um rund ein Jahr, nachdem es zuvor schon bei den Verhandlungen mit Baufirmen, Lieferanten und Banken durch Preissteigerungen und Lieferengpässe zu terminlichen Problemen gekommen war. Inzwischen konnte aber nach einer öffentlichen Ausschreibung im Herbst 2023 ein international aktiver Anlagenbauer gewonnen werden. Heiko Teichmann, Geschäftsführer der Lübesse Energie GmbH, zeigte sich gegenüber HZwei entsprechend zuversichtlich: „Die Energiewandlungsanlage wird im Zeitraum 2024/2025 hergestellt, montiert und in Betrieb gesetzt werden, so dass ab Ende 2025/Anfang 2026 die Inbetriebnahme und danach eine kontinuierliche Belieferung potenzieller Inverkehrbringer mit rLNG und eine Einspeisung von Wärme in das noch zu errichtende Nahwärmenetz möglich sein wird.“

POWER-TO-X-ANLAGE IM GEWERBEGBIET Konkret ist geplant, auf einer etwa 20.000 Quadratmeter großen Fläche im Gewerbegebiet von Lübesse eine Wasserstoff- und Methan-erzeugungsanlage aufzubauen, die im ersten Ausbauschnitt über eine Elektrolyseleistung von bis zu 8 MW verfügen soll. Sie soll teilweise zur Speicherung und Nutzung des grünen Stroms aus lokalen Windkraftanlagen, für die die 20-jährige EEG-Vergütung ausgelaufen ist, für die saubere und günstige Energieversorgung des Dorfes sowie eines angrenzenden Gewerbegebietes dienen. Weiterer Grünstrom wird aus regionalen und überregionalen Windenergieerzeugungs-



Abb.: Illustration des Vorhabens in Lübesse
[Quelle: Naturwind Schwerin]

und Photovoltaik-Anlagen kommen. Das Wirtschaftsministerium von Mecklenburg-Vorpommern hat zugesichert, das Vorhaben mit 15 Mio. Euro zu unterstützen. Der Windparkentwickler Naturwind aus Schwerin sowie die VR-Bank Nord eG aus Flensburg sind weiterhin mit dabei.

Bernd Jeske, Geschäftsführer der Lübesse Energie GmbH, sagte: „Der dezentrale Ansatz führt dazu, dass Energie dort verbraucht wird, wo sie erzeugt wird. Zudem verbindet das Projekt die Stromwende mit der Verkehrs- und Wärmewende und zeigt auf, wie Sektorenkopplung vorangetrieben werden kann.“

Zur weiteren Planung erklärte Teichmann: „Die im Zusammenhang mit den exothermen Verfahren der Elektrolyse und der Methanisierung entstehende, unvermeidbare Abwärme wird einem neu zu errichtenden Nahwärmenetz zugeführt, das sowohl die Wohnbebauung als auch das Gewerbegebiet in Lübesse mit Heizenergie versorgen soll.“ •

9

LAMINA[®]
THE SMART FUEL CELL
LS-10 (3.6V 10W)

HANNOVER
MESSE
BOOTH B42

FCT
FUEL CELL TECHNOLOGY SWEDEN AB
INSTRUMENTVÄGEN 12A
SE-194 51 UPPLANDS VÄSBY
WWW.FCTSWEDEN.SE

FUEL CELL TECHNOLOGY SWEDEN

Der Hydrogeit Verlag feiert sein 20-jähriges Bestehen

EINE ONE-MAN-SHOW WÄCHST



Seit mehr als 20 Jahren berichtet der Hydrogeit Verlag über Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. In diesen zwei Jahrzehnten ist aus der ehemaligen One-Man-Show ein bedeutender Player der H₂-Community geworden, der mittels seiner Bücher, aber insbesondere auch durch die Fachzeitschrift HZwei sowie das englische e-Journal H2-international informiert, dokumentiert und kommentiert. **Autor:** Sven Geitmann

Es fing an mit einem sehr rudimentär gestalteten Buch, das im Jahr 2002 noch in Eigenregie herausgebracht wurde. Weil sich damals kein bestehender Verlag für das Manuskript über „Wasserstoff und Brennstoffzellen – Die Technik von morgen“ begeistern konnte und die Autorenvergütung ohnehin unverschämte niedrig gewesen wäre, erschien die Erstausgabe über Book on Demand, ein Anfang der Nullerjahre aufkommendes Druck- bzw. Kopierverfahren, das auch für kleinere Stückzahlen geeignet ist.

Das Layout war sehr einfach gehalten, aber dennoch fand sich, nicht zuletzt wegen des Fehlens anderer Wasserstoffbücher, eine interessierte Leserschaft – auch für die kurz danach herausgebrachte Broschüre über „Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Projekte“. Und es fand sich ein Grafiker, Andreas Wolter, der den Inhalt toll fand, aber die Gestaltung als „unwürdig“ erachtete und anbot, die zweite Auflage professioneller aufzuziehen. So erschien die Neuauflage dann zwei Jahre später in schickem Design im damals neu gegründeten Hydrogeit Verlag.

Mit Andreas Wolter startete also der Aufbau eines über die Jahre immer größer werdenden Teams, das den Hydrogeit Verlag zu dem macht, was er heute ist: Der erste und nach wie vor einzige Fachverlag für Wasserstoff und Brennstoffzellen.

HERZLICHEN DANK! Ganz besonderer Dank gilt darüber hinaus allen, die an den Büchern, den Zeitschriften sowie den Homepages und Newslettern mitgewirkt haben: Henrike Hiersig und Robert Müller, die sich stets extremst zuverlässig und gewissenhaft um das Layout kümmern; Dione Gutzmer, die von Beginn an sorgfältig das Korrekturlesen übernimmt; Wolf und Kathrin Lewitz, die sich inzwischen schon seit vielen Jahren sehr kreativ um den gesamten Online-Bereich kümmern; Nicole Helmich und Ina Woryna von der Verlagsauslieferung VAH Jäger, die erst den Versand übernommen haben und inzwischen auch das Rechnungswesen betreuen; Michael Suckow von der Druckerei printec, der mit seinem Team die Farbe aufs Papier bringt, sowie Karlee Archer und Nicola Bottrell Hayward, die aus Deutschem Englisch machen.

Und – ganz wichtig – das immer größer werdende Redaktions-Team mit Eva Augsten, Sven Jösting, Monika Rößiger, Niels Hendrik Petersen und Aleksandra Fedorska mitsamt weiteren KollegInnen, die – wenn es ihre Zeit zulässt – ebenfalls stets wertvollen Content beisteuern.

Darüber hinaus haben natürlich noch viel mehr Menschen an all den verschiedenen Verlagsprojekten mitgewirkt, sei es an der Wasserstoff-CD, dem Unterrichtsmaterial über Batterien und Brennstoffzellen, dem Lernpaket über Nachwachsende Rohstoffe oder den unterschiedlichen Büchern, die immer wieder neu aufgelegt wurden und werden.

Dank geht auch an die vielen Projektpartner, die über die lange Zeit hinweg wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung des Verlags und dadurch auch auf die Entwicklung der Erneuerbare-Energien-Branche hatten. Und natürlich an die treue Leserschaft.

Ihnen allen ist zu verdanken, dass der Hydrogeit Verlag wächst und – zumindest zu einem gewissen Anteil – dass die H₂- und BZ-Branche heute dort ist, wo sie steht. Es ist sicherlich nicht übertrieben zu sagen, dass dieser kleine Verlag über die Zeit doch einige LeserInnen erreicht hat, darunter auch etliche EntscheidungsträgerInnen, was mit dazu geführt haben dürfte, dass Wasserstoff und Brennstoffzellen keine Nischenthemen mehr sind.

Ganz in diesem Sinne freuen wir uns auf das, was kommen mag. •

NEONBOLD



Vor zwei Jahrzehnten kreuzten sich die Wege der GestalterInnen Henrike Hiersig und Robert Müller während ihres Design-Studiums an der Bauhaus-Universität Weimar. Der Hydrogeit Verlag, ihr erster größerer Auftraggeber im Studium, ist bis heute an ihrer Seite. Seit nunmehr 15 Jahren gestalten sie die HZwei und zahlreiche Bücher für den Verlag.

Ihr umfassendes Fachwissen, ihre langjährige Erfahrung und ihr tiefgreifendes Verständnis für die Anliegen ihrer AuftraggeberInnen kommen in vielfältigen Projekten zum Tragen. Sie gestalten in den Bereichen Corporate, Editorial und Web und setzen dabei auf ein konzeptionelles und minimalistisches Design.

→ post@NEON-BOLD.de, [NEON-BOLD.de](https://www.NEON-BOLD.de)



Messeführer für die Hannover Messe 2024

WASSERSTOFFWIRTSCHAFT NIMMT FAHRT AUF

KI und Wasserstoff stehen im Fokus der diesjährigen Hannover Messe. Die Messevorschau der HZwei zeigt, was an Neuem auf der Hannover Messe und insbesondere der Hydrogen + Fuel Cells Europe zu sehen ist.

Autor: Dr. Jens Peter Meyer

Die industrielle Transformation hin zur Klimaneutralität nimmt immer mehr Fahrt auf. Daher steht auch auf der Hannover Messe dieses Jahr die Dekarbonisierung der Industrie im Mittelpunkt des Interesses. Der Energiewirtschaft kommt dabei die entscheidende Rolle zu. Dabei fußt die Transformation auf zwei Treibern: künstlicher Intelligenz (KI) und Wasserstoff. Denn klar ist, dass ohne eine Wasserstoffwirtschaft keine klimaneutrale Industrie denkbar ist.

Über 500 Aussteller zum Thema Wasserstoff werden auf der Hannover Messe 2024 vertreten sein. Die meisten davon im Rahmen der Hydrogen + Fuel Cells Europe in Halle 13. Auch das diesjährige Partnerland Norwegen mit seinem Motto „Pioneering the Green Industrial Transition“ stellt die kohlenstoffneutrale Produktion und neue digitale Lösungen auf seinem Wasserstoffpavillon (Stand D30) in den Fokus. Ebenfalls im Zeichen der Wasserstoffwirtschaft steht die norwegisch-deutsche Energiekonferenz „Renewable Dialogue – North Sea Energy Hub“, die am 23. April 2024 im Convention Center stattfindet. Diese Konferenz will insbesondere Geschäftsmodelle der H₂-Wirtschaft konkretisieren. Wasserstoff ist auch ein zentraler Baustein der Arena zur All Electric Society. Diese Arena ist direkt angegliedert an den ZVEI-Stand in der Mitte der Halle 11, Stand B58

Welche Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle die Wasserstoffwirtschaft heute schon anbietet, werden die Aussteller der Hydrogen + Fuel Cells Europe zeigen. Wichtige Akteure und Neuheiten stellt HZwei in dieser Messevorschau vor.

BRENNSTOFFZELLENTÉCHNIK

Die Proton Motor Fuel Cell GmbH präsentiert auf der Hydrogen + Fuel Cells Europe ihr Brennstoffzellensystem HyModule S4. Es ist für stationäre Anwendungen in Wohnhäusern, kleinen Industriekomplexen sowie als Notstromversorgung und Off-Grid-Stromversorgung gedacht. Das Gerät bietet einen niedrigeren Leistungsbereich von 4,1 kW_{el} und einen Ausgangsspannungsbereich von 28 bis 55 VDC. Der H₂-Versorgungsdruck beträgt 1,5 bis 7 bar. Das HyModule S4 verwendet die flüssigkeitsgekühlte BZ-Technologie HyStack 200 von Proton Motor und ist in einer Umgebungstemperatur von 5 bis 40 °C einsetzbar.

→ Proton Motor, Halle 13, Stand E34 – s. Abb. 2



Abb. 2: Das BZ-System HyModule S4 für stationäre Anwendungen [Foto: Proton Motor]



Abb. 3: Das BZ-Modul FCS-26 von Honda ist auch als saubere und leise Notstromquelle geeignet [Foto: Honda]

Der Automobilkonzern Honda kommt mit dem Prototyp seines neuen Brennstoffzellenmoduls nach Hannover. Das Modul ist für H₂-Pkw, Nutzfahrzeuge, Baumaschinen und stationäre Stromerzeuger konzipiert. Die Brennstoffzelle in kompakten Abmessungen verfügt über eine hohe Ausgangsleistung und eine schnelle Startzeit, selbst in Umgebungen mit niedrigen Temperaturen. Für die Anwendung in Schwerlast-Nutzfahrzeugen hat Honda bereits gemeinsam mit Isuzu Motors damit begonnen, den Brennstoffzellenantrieb der nächsten Generation zu testen. Ein Prototyp ist schon auf öffentlichen Straßen unterwegs. Die Einführung eines Serienmodells ist für das Jahr 2027 geplant.

→ Honda, Halle 13, Stand C56 – s. Abb. 3



Abb. 4: Mobiles Brennstoffzellengerät für den Einsatz auf Baustellen oder Festivals [Foto: SFC Energy]

SFC Energy, Hersteller von Wasserstoff- und Methanol-Brennstoffzellen, hat die Leistungsklasse seiner mobilen Lösung efoy H2Genset erweitert. Die mobile Lösung ist als Alternative zu herkömmlichen Dieselgeneratoren gedacht. Sie kann für eine Vielzahl von Anwendungen eingesetzt werden, z. B. auf Baustellen, bei Events, auf Festivals und in abgelegenen Standorten mit temporärem Strombedarf.

→ SFC Energy, Halle 13, Stand C04 – s. Abb. 4



Abb. 5: Das EcoCabinet von Siqens [Foto: Siqens]

14

Ballard Power Systems hat in diesem Jahr keine eigene Präsenz auf der Hannover Messe. Das Unternehmen ist jedoch Teil einer kanadischen Delegation, die an einer gemeinsamen Präsentation von über 300 Ausstellern aus 25 Ländern auf dem Gebiet der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie beteiligt ist. Derzeit werden weltweit fast 4.000 Lkw und Busse mit Brennstoffzellen von Ballard betrieben (s. auch S. 66). Die Brennstoffzellen werden auch in mehreren Wasserstoffschiffen, Zügen und Wasserstoffprojekten mit globalen Partnern eingesetzt. Auf der Hannover Messe wird Ballard im kanadischen Pavillon zeitweise mit einem Experten für Brennstoffzellentechnologie vertreten sein.

→ Ballard Power, Halle 13, Stand D40

WASSERSTOFFBEREITSTELLUNG

AEG Power Solutions stattet Wasserstoffanlagen mit Gleichstromversorgungssystemen aus. Die Elektrolyseur-Stromversorgung des Unternehmens soll stabilen Strom und Leistung über einen weiten Spannungsbereich bieten. Sie eignet sich für

die Produktion von grünem Wasserstoff mit schwankenden erneuerbaren Energiequellen, da diese Elektrolyseur-Stromrichter eine hohe Gleichstromdynamik und eine hohe Effizienz bei der Netzkonformität auch im Teillastbetrieb bieten. Um den Platzbedarf, die Installationszeit und die Kosten zu reduzieren, bietet AEG Power Solutions skalierbare Plug-&-Play-Lösungen an. Diese Lösungen können bis zu acht DC-3-Module parallel umfassen, die bis zu 16 MW, 1.500 VDC und 25,6 kADC liefern.

→ AEG Power Solutions, Halle 13, Stand B45 – s. Abb. 6

Das Unternehmen Siqens hat eine elektrochemische Wasserstoffseparations-Technologie (EHS) entwickelt. Anders als bei der Elektrolyse von Wasser will das Unternehmen damit Wasserstoff aus Biogas, Methanol oder Methan gewinnen. Das EHS-Verfahren erlaubt laut Hersteller auch die Separation von Wasserstoff aus natürlichen Vorkommen. Eine weitere Anwendung ist die Abtrennung von Wasserstoff, der über das Erdgasnetz transportiert wird.

→ Siqens, Halle 2, Stand A42 – s. Abb. 5



Abb. 6: Die Plug & Play-Elektrolyseur-Stromversorgung umfasst bis zu acht DC-3-Module [Foto: AEG Power Solutions]



Abb. 7: Der HumidiPower sorgt für ausreichend Feuchtigkeit in der PEM-Brennstoffzelle [Foto: Pentair]

BRENNSTOFFZELLEN- UND ELEKTROLYSEURKOMPONENTEN

Der neue Befeuchter HumidiPower von Pentair ist für PEM-Brennstoffzellen konzipiert. Er fungiert als Wärme- und Feuchtigkeitsaustauscher. Das Gerät verfügt laut Hersteller über ein patentiertes, spiralförmig gewickeltes Hohlfaserdesign, um eine effiziente Feuchtigkeitsübertragung an Luft und andere Gase zu gewährleisten. Ein geringer Druckabfall soll den Energieverbrauch minimieren. Die Ableitung der Feuchtigkeit aus dem Abgas der Brennstoffzelle dient der Wiederverwendung im Spülgas.

→ Pentair, Halle 13, Stand F46 – s. Abb. 7

Parker Hannifin zeigt auf seinem Stand die neuesten Entwicklungen im Bereich der Brennstoffzellentechnologie. An einem interaktiven Tisch können Besucher einen Blick in einen Elektrolyseurbehälter werfen und darin Komponenten von Parker suchen. Neu ist der horizontale Gasfilter Peach Gemini PuraSep. Der Filter enthält zwei Stufen und jeweils zwei Trommeln. Die obere Trommel dient der Trennung von Feststoffen und Flüssigkeiten, während die untere Trommel die Flüssigkeit auffängt. Ein Teil der Feststoffe fließt in die untere Trommel unterhalb der ersten Stufe, aber der größte Teil der Feststoffe sammelt sich auf den Elementen und auf dem Boden des oberen Fasses der ersten Stufe. Ebenfalls neu ist ein Befeuchter für BZ-Fahrzeuge und die H70-08-HRS-Schläuche für H₂-Anwendungen.

→ Parker Hannifin, Halle 13, Stand C55 – s. Abb. 8

Fischer Fuel Cell Compressor aus der Schweiz stellt Luftkompressoren für Brennstoffzellensysteme her. Deren besondere Lagertechnik soll eine hohe Leistung und Effizienz auch dann ermöglichen, wenn das Brennstoffzellensystem in großen Höhen operiert. Daher finden die Kompressoren neben den klassischen BZ-Anwendungen in Fahrzeugen, Zügen, Schiffen oder stationären Einheiten auch in der Luftfahrt ihren Platz. Die Geräte befinden sich nicht nur im Prüfbetrieb, sondern sind im mehrstündigen Flugeinsatz. Das Unternehmen hat zudem seine Produktionskapazität auf jährlich 5.000 Einheiten erweitert.

→ Fischer Fuel Cell Compressor, Halle 13, Stand E46 – s. Abb. 9



Abb. 8: An einem interaktiven Tisch können Besucher einen Blick in einen Elektrolyseur-Behälter werfen und darin Komponenten von Parker suchen [Foto: Parker Hannifin]

Auch der dänische Spezialist für BZ-Kompressoren Rotrex präsentiert einen neuen Luftkompressor. Der EK40CT-2429 verfügt über eine zusätzliche Turbinen-/Expander-Ausstattung. Dieser neue Kompressor soll sich für stationäre, maritime und luftfahrttechnische Anwendungen mit großen Brennstoffzellenstapeln mit bis zu 400-kW-Ausgangsleistung eignen.

→ Rotrex, Halle 13, Stand C15 – s. Abb. 10



Abb. 9: Kompressoren von Fischer sind auch für die Luftfahrt geeignet [Foto: Fischer Fuel Cell Compressor]



Abb. 10: Der neue Brennstoffzellenkompressor von Rotrex
[Foto: Rotrex]

Das Schweizer Unternehmen Celeroton Fuel Cell entwickelt und produziert ultrahochdrehende Turbokompressoren und Antriebssysteme für Brennstoffzellenanwendungen. Alle BZ-Kompressoren von Celeroton sind mit eigens entwickelten Gaslagern ausgestattet, die eine hohe Effizienz, einen ölfreien Betrieb und eine lange Lebensdauer ermöglichen sollen. Mit dem CTi-1100 präsentiert das Unternehmen die zweite Generation des Turbokompressors mit integriertem Inverter für Intralogistik, Range Extender, stationäre Anlagen und Drohnen. Ebenfalls neu ist der CTi-2001 mit integriertem 80-V-Wechselrichter, der für Intralogistik- und Off-Road-Anwendungen gedacht ist.

Zudem baut Celeroton Fuel Cell seine Produktpalette für Anwendungen mit höherer Leistung weiter aus. Der neue Turbokompressor CTE-4000 in Verbindung mit dem Wechselrichter CC-4000 soll die Luftversorgung für Brennstoffzellen mit 100 bis 200 kW Nettoleistung bereitstellen. Das neue System wird mit einem optionalen Turbinenexpander und mehreren aerodynamischen Varianten ausgestattet sein.

→ Celeroton, Halle 13, Stand D49 – s. Abb. 11



Abb. 11: Turbokompressor mit 100 bis 200 kW Nettoleistung
[Quelle: Celeroton Fuel Cell]

PDC Machines aus den USA produziert Membrankompressionssysteme und Wasserstoffkompressoren. Über das neue Online-Portal MyPDCMachines können Kunden einen digitalen Betriebszwilling ihrer installierten PDC-Anlagen verwalten. Das Portal bietet den Zugriff auf wichtige Infor-



Abb. 12: Kompressorenproduktion bei PDC
[Grafik: PDC Machines]

mationen wie den Gerätestatus, empfohlene Wartungspläne, Inbetriebnahmeberichte, Servicehistorie, Handbücher und Datenblätter. Zudem ermöglicht es die Bestellung von Ersatzteilen. Neu ist auch eine PDC-Toolbox, die Kunden beim Service und der Wartung von PDC-Kompressoren helfen soll.

→ PDC Machines, Halle 13, Stand E50/2 – s. Abb. 12



Abb. 13: Da Wasserstoff hochreaktiv ist, sollte seine Detektion über die ganze Prozesskette in Echtzeit erfolgen [Foto: Archigas]

Der Gasanalyse-Spezialist Archigas aus Rüsselsheim präsentiert eine neuartige Messtechnologie zur feuchtigkeitsunabhängigen H₂-Detektion. Dazu hat das Unternehmen in gemeinsamer Entwicklungsarbeit mit der Hochschule Rhein-Main das Wärmeleitfähigkeitsmessprinzip technisch neu umgesetzt und mit Halbleitertechnologie kombiniert. Mit unter 30 Millisekunden soll der neue Sensor von Archigas eine besonders hohe Reaktionsgeschwindigkeit aufweisen. Kommt Kondensat in Kontakt mit Sensorik zur Gasanalyse, führt dies meist zu deren sofortiger Zerstörung. Daraus, dass Wasser an den verschiedensten Stellen der H₂-Prozesskette auftreten kann, können Sicherheitslücken resultieren und hohe Kosten entstehen. Das spezielle Konstruktionsdesign des Messmoduls soll daher einem Kontakt von Kondensat mit der Sensorik effektiv entgegenwirken.

→ Archigas, Halle 13, Stand C16 – s. Abb. 13

WASSERSTOFFZAPFSÄULEN

In diesem Jahr stellt Maximator Hydrogen seine neueste Generation von Wasserstoffzapfsäulen vor. Der Max Dispenser 1.5 verfügt über ein Multimedia-Display mit Touchfunktion, Mikrofon, Lautsprecher und NFC-Reader zur direkten



Abb. 14: Dank der eingebauten Neigungserkennung wird der Dispenser bei Gefahrensituationen in einen sicheren Zustand versetzt [Foto: Maximator Hydrogen]

Bezahlung. Das ermöglicht es den Nutzenden, eine genaue Betankungsanleitung zu erhalten und den Befüllstatus ihres Fahrzeuges zu sehen. Gleichzeitig dient das Display als Schnittstelle zum 24/7-Support, der Anwendern bei Fragen jederzeit zur Verfügung steht.

Dank der eingebauten Neigungserkennung wird der Dispenser bei Gefahrensituationen, wie z. B. beim Aufprall eines Fahrzeugs, in einen sicheren Zustand versetzt. Der H₂-Zufluss wird gestoppt, das Entlastungsventil geöffnet und der Dispenser wird stromlos geschaltet. Die Zapfsäule kann Pkw und Schwerlastfahrzeuge mit 700 bar oder 350 bar befüllen.

→ Maximator Hydrogen, Halle 13, Stand C26 – s. Abb. 14



Abb. 15: Kartenzahlung an der neuen Linde-Wasserstoffzapfsäule [Foto: Linde]

Auch Linde stellt auf der Hydrogen + Fuel Cells Europe eine neue Wasserstoffzapfsäule vor. Der HyQ-Dispenser soll eine hohe Leistung bei der H₂-Betankung bieten. Darüber hinaus soll er energieeffizient, sehr leise und für Wartungsarbeiten optimiert sein.

→ Linde, Halle 13, Stand D55/1 – s. Abb. 15

KOMPONENTEN FÜR WASSERSTOFFZAPFSÄULEN

Norgren bietet unter seiner Marke Buschjost jetzt H₂-Hochdruck-Magnetventile mit FM-zugelassenen Spulen für den nordamerikanischen Markt an. Damit kann das Unternehmen nun Kunden bedienen, die Wasserstofftankstellen oder Wasserstofflager für Korea, China, Europa oder die USA bauen. Die Ventile sind für einen Druck bis 1.050 bar ausgelegt.

Neu sind auch Sauerstoff-Magnetventile und -Regler, die das Unternehmen speziell nach den Industriegasnormen für Elektrolyseanwendungen entwickelt hat. Zudem bietet das Unternehmen elektrische Hochdruck-Proportionalregler für Wasserstoffzapfsäulen an.

→ Norgren, Halle 13, Stand E13 – s. Abb. 16



Abb. 16: Hochdruck-Magnetventil mit FM-zugelassenen Spulen für den nordamerikanischen Markt [Foto: Norgren]

Auch Eugen Seitz aus der Schweiz kommt mit einem neuen Magnet-Hochdruckventil für Wasserstoffanwendungen nach Hannover. Das Ventil verfügt über eine integrierte Stellungsanzeige und soll somit eine optimale Systemzustandsinformation gewährleisten.

→ Eugen Seitz, Halle 13, Stand D50 – s. Abb. 17

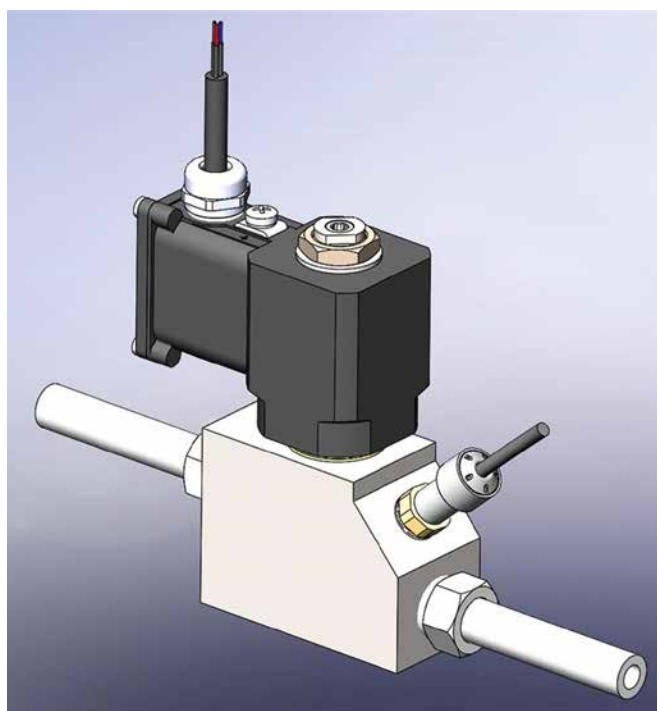


Abb. 17: Das neue H₂-Magnet-Hochdruckventil mit Stellungsanzeige [Grafik: SeitzValve]

Bürkert stellt bei seinem Messeauftritt die neue Spulentechnologie Kick and Drop in den Mittelpunkt. Diese Technologie soll in Ventilen bis zu 80 Prozent Energieeinsparung, 45 K geringere Eigenerwärmung und 200 Prozent mehr Schaltdruck im Vergleich zu herkömmlichen Spulen erreichen. Die Kick-and-Drop-Spule ist mit einer Doppelwicklung mit Anzugs- und Haltewicklung ausgestattet. Bei der Kick-and-Drop-Elektronik wird durch einen hohen Stromimpuls die Spule übererregt. Dadurch wird die benötigte Anzugskraft, welche das Ventil zum Öffnen benötigt, erzeugt. Nach rund 500 Millisekunden schaltet die Kick-and-Drop-Elektronik in einen energiesparenden Haltebetrieb. Dabei wird die Leistungsaufnahme drastisch gesenkt.

→ Bürkert, Halle 13, Stand C30 – s. Abb. 18



Abb. 18: Kick-and-Drop-Spule von Bürkert [Foto: Bürkert]

18

FORSCHUNG

Das DLR-Institut für Technische Thermodynamik ist auf der Hydrogen + Fuel Cells Europe mit den Abteilungen für Energiesystemintegration und Elektrochemische Energietechnik vertreten. Das Institut entwickelt elektrochemische Reaktoren auf der Basis von Protonen-Keramiken. Protonen-Keramik-Brennstoffzellen betreibt man bei Temperaturen zwischen 400 und 600 °C. Die Elektrodenkonfiguration trennt die Dampfzufuhr von der Wasserstoffproduktion und verhindert so eine Verdünnung der beiden Ströme. Diese neuartigen Zellen sind vielseitig: Sie können elektrochemisch komprimierten Wasserstoff liefern, sie können die Protonierung von Molekülen wie CO oder CO₂ in wertvolle Rohstoffe ermöglichen und sie können gleichzeitig als konventionelle Brennstoffzelle zur Energieversorgung eingesetzt werden.

In dem H2Mare-Teilprojekt PtX-Wind erforscht das DLR die Offshore-Produktion von grünem Wasserstoff und Power-to-X-Produkten. Auf der Messe stellt das Forschungsinstitut dazu die transportable Plattform XPlore vor. Diese dient der Untersuchung verschiedener Elektrolisetchnologien in Kopplung mit unterschiedlichen Synthesetechnologien.

→ DLR, Halle 13, Stand B36 – s. Abb. 19

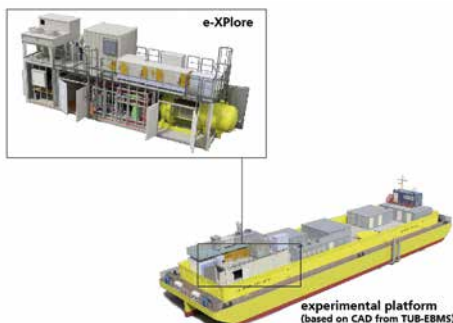


Abb. 19: Die transportable Plattform XPlore dient für Offshore-Tests [Grafik: DLR (basierend auf CAD von TUB-EBMS)]



Abb. 20: Ammoniak-Cracker-Anlage zum Einsatz auf einer Segeljacht [Grafik: ZBT]

Das Zentrum für Brennstoffzellen-Technik (ZBT) legt bei seiner diesjährigen Mes- sepräsenz den Schwerpunkt auf die Themen Elektrolyse und Wasserstoffde- rivate. Das For- schungsinstitut zeigt das Modell eines Ammoniak- Cracking-Reak- tors, der in einem 3D-Metalldruck hergestellt wurde. Auch ein maß- stäbliches Modell

der zugehörigen Cracker-Anlage für mobile Einsätze wird zu sehen sein. Die Anlage wurde für eine Segeljacht konzi- piert und inzwischen als Teil eines kompletten Ammoniak- Schiffsantriebs in der Sportjacht Ammonia Sherpa installiert. Die Elektrolyse-Abteilung der Duisburger präsentiert in Hannover neue edelmetallfreie Membran-Elektrodenein- heiten und stellt Methoden zur Qualitätskontrolle von PEM- Elektrolyseuren vor. Im Bereich der Materialqualifizierung zeigt das ZBT Methoden zur Charakterisierung und Detek- tion von Schadensphänomenen an Brennstoffzellenkompo- nenten wie Membran-Elektrodeneinheiten oder Beschich- tungen von Bipolarplatten.

→ ZBT, Halle 13, Stand E40 – s. Abb. 20



Abb. 21: Neues Design der Membran-Elektroden-Einheiten (MEA) für die Elektrolyse und mobile Brennstoffzellen [Foto: Fraunhofer ISE]

Das Fraunhofer ISE präsentiert in Hannover eine AEM-Laborelektrolysezelle. Diese ist eine Weiterentwicklung des PEM-Elektrolysezellen-Designs und soll der präzisen Charakterisierung und Qualifizierung verschiedener Komponenten wie Membranen, poröser Transportschichten und Katalysatoren dienen. Dies geschieht bei Drücken bis etwa 10 bar, erhöhten Stromdichten von über 5 A/cm² und unter präziser Temperaturkontrolle durch eine integrierte Heizung. Das Institut bietet zudem Kunden Messdienstleistungen für PEM- und AEM-Elektrolyseure und eine Analyse der Messergebnisse an, um Möglichkeiten zur Verbesserung der Kundenprodukte aufzuzeigen.

Auch ein neues Design von Membran-Elektroden-Einheiten (MEA) für die Elektrolyse und mobile Brennstoffzellen, die im Siebdruck- oder Schlitzdüsenverfahren mit kommerziell erhältlichen Materialien hergestellt wurden, ist Teil des Messeauftritts.

→ Fraunhofer ISE, Halle 13, Stand C41 – s. Abb. 21

Auf der diesjährigen Hannover Messe stellt das Fraunhofer IMM auf dem Fraunhofer-Gemeinschaftsstand eine kompakte Anlage zur Ammoniaksplaltung vor. Diese kann zur dezentralen Bereitstellung von Wasserstoff, etwa für Wasserstofftankstellen, dienen. In maritimen Anwendungen kann eine solche Anlage die Versorgung von Brennstoffzellen mit Wasserstoff oder die Zufuhr von zündfähigem „Spaltgas“ für Schiffsmotoren leisten.

Thema auf der Sonderausstellungsfläche der Hydrogen + Fuel Cells Europe sind Power-to-Gas-Verfahren wie die Methanisierung in kompakten, mikrostrukturierten Reaktoren.

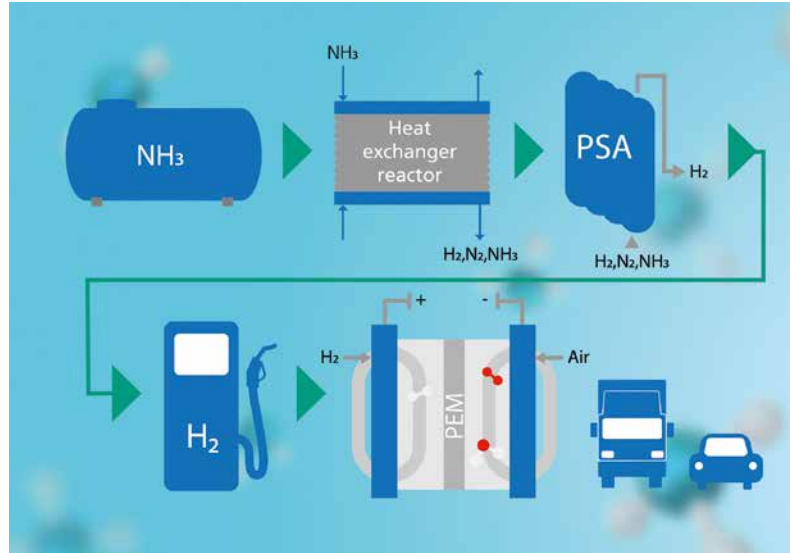


Abb. 22: Die auf Ammoniak und Methanol basierten Systeme zur stationären und dezentralen Energieversorgung sind in Halle 2, Stand B24 zu sehen [Foto: Fraunhofer IMM]

Zudem stellt das Fraunhofer IMM Reformersysteme vor, mit denen Wasserstoffträger wie Methanol, Ethanol und synthetische Kohlenwasserstoffe für die wasserstoffbasierte stationäre und mobile Energieversorgung genutzt werden können. Für diese Reformersysteme entwickelt das Institut Katalysatoren und katalytische Beschichtungen für Mikrostrukturen.

→ Fraunhofer-Gemeinschaftsstand, Halle 2, Stand B24 – s. Abb. 22
→ Fraunhofer IMM, Halle 13, Stand C47/1, Sonderausstellungsfläche

Coriolis-Massedurchflussmesser für eichfähige Wasserstoff-Anwendungen

Neue PTB-zertifizierte Coriolis-Massedurchflussmesser garantieren eichfähige Wasserstoff-Durchflussmessungen für stationäre und mobile Anwendungen

- + Verschiedene Sensorgrößen
- + Schnelle und einfache Einrichtung
- + Optimal für Betriebsdrücke bis 1.379 bar
- + Fertigung nach besonderem Torsionsschwinger-Prinzip
- + Zuverlässige digitale Datenerfassung und Selbstdiagnose





Abb. 23: Die neue Stack-Press für Elektrolyseure [Foto: Graebener Maschinenteknik]

MASCHINENBAU

20

Der Sondermaschinenbauer Graebener Maschinenteknik präsentiert eine Presse für die Herstellung von alkalischen Elektrolyseur-Stacks. Der aus Bipolarplatten bestehende, vormontierte Stack wird zunächst in die Maschine eingefahren. Dort wird er auf eine definierte Höhe zusammengedrückt, bis innerhalb des Stack ein bestimmter Druck erreicht ist. Dieser Druck muss dann unverändert über mehrere Stunden aufrechterhalten werden. In dieser Zeit kann man den Stack mithilfe weiterer Verfahren allen notwendigen technischen Prüfungen unterziehen.

Die Stack-Press für Elektrolyseure verfügt über eine Kraft von 800 Tonnen und kann Stacks mit einer maximalen Höhe von etwa 3 m, einem maximalen Durchmesser von 1,60 m und einem Gewicht von bis zu 12 Tonnen aufnehmen. Um während des Betriebs Montagearbeiten bei maximaler Sicherheit gewähr-

leisten zu können, wurde bewusst auf einen hydraulischen Antrieb verzichtet. Stattdessen erfolgt das Zusammendrücken des Stacks innerhalb der Presse mit sechs servomotorisch angetriebenen Spindeleinheiten. Diese werden im Gleichlaufverfahren betrieben und sollen damit eine besonders homogene Komprimierung des Stacks ermöglichen.

→ Graebener Maschinenteknik, Halle 13, Stand E42 – s. Abb. 23

Der Laserschweißspezialist AWL-Techniek Holding aus den Niederlanden entwickelt Laserschweißgeräte und komplette Fertigungsstraßen für Bipolarplatten. Die neue Laser-Mikroschweißzelle kann laut Hersteller einen Fokus von 0,052 mm erreichen und damit in Hochgeschwindigkeit schweißen. Damit gelinge das anspruchsvolle Verschweißen der hauchdünnen Bipolarplatten.

→ AWL-Techniek, Halle 13, Stand F49 – s. Abb. 24



Abb. 24: Im Experience Center hat AWL eine Versuchslage aufgebaut, die auch eine automatisierte Qualitätskontrolle der Bipolarplatten ermöglicht [Foto: AWL]



Abb. 25: Bipolarplatten von Borit [Foto: Borit]

Das belgische Unternehmen Borit ist auf die Umform-, Schneid-, Schweiß- und Versiegelungstechnologien spezialisiert, die für die Herstellung von Bipolarplatten aus Metall für Brenn-

stoffzellen und Zwischenverbindungen für Elektrolyseure erforderlich sind. Der Trend bei Bipolarplatten geht laut Borit zu immer dünneren Materialien in der Größenordnung von 50 bis 100 Mikrometern, um Gewicht einzusparen. Borit entwickelt die geeigneten Technologien für solche Materialien.

— Borit, Halle 13, Stand C19 – s. Abb. 25

Maceas, eine 100-prozentige Tochter von Worthmann Maschinenbau, fokussiert sich auf die Helium-Dichtheitsprüfung im Vakuum und unter Atmosphäre sowie auf die Ultraschall-Gasblasen-Detektion im Wasserbad. Das Unternehmen ist in den Bereichen Wasserstoff, Elektrolyse, Brennstoffzelle und Batteriekomponenten sowie Wärmespeichertechnologie aktiv. In Hannover zeigt das Unternehmen eine neue vollautomatische Helium-Vakuum-Dichtheitsprüfanlage für metallische und graphitische Bipolarplatten.

— Maceas, Halle 13, Stand E53/1 – s. Abb. 26



Abb. 26: Neue Anlage von Maceas zur Dichtheitsprüfung von Bipolarplatten
[Foto: Maceas GmbH]

WIR SIND IHR PARTNER FÜR NACHHALTIGE WASSERSTOFFLÖSUNGEN

Wir bauen Ihre H₂-Produktion und/
oder Ihre Wasserstofftankstelle.

Gemeinsam mit regionalen Partnern
setzen wir ganze Wasserstoff-
ökosysteme um.

Mit Wasserstoff schaffen wir
Vermarktungsmöglichkeiten für
grünen Strom.

Sprechen Sie uns an!

www.gp-joule.de/wasserstoff
hydrogen@gp-joule.de

Besuchen Sie GP JOULE
auf der **Hannover Messe!**
Halle 12, Stand D45





Abb. 27: Neue Produktionsanlage für wesentlich höhere Kapazität [Grafik: Pajarito Powder]

KATALYSATOREN UND MEMBRANEN

Pajarito Powder hat eine neue Produktionsanlage für Katalysatoren in Brennstoffzellen- und Elektrolyseur-Stacks an seinem Hauptsitz in Albuquerque im US-Bundesstaat New Mexico aufgebaut. Das Unternehmen nutzt Platingruppenmetalle in seinen Katalysatoren, um eine hohe Leistung und eine gute Stabilität und Haltbarkeit zu erreichen. Mit der neuen Produktionsanlage hat Pajarito Powder das Produktionsvolumen für BZ-Katalysatormaterial verdreifacht und die hauseigene Fertigung von Katalysatoren für die Herstellung grünen Wasserstoffs verdoppelt.

→ Pajarito Powder, Halle 13, Stand A40 – s. Abb. 27

22

Der chinesische Hersteller Anhui Contango New Energy Technology zeigt in Hannover eine großformatige katalysatorbeschichtete Membran (CCM) auf verschiedenen PEM-Varianten. Die CCM soll eine hohe Stromdichte und einen niedrigen Iridium- und Platinanteil aufweisen. Contango hat vergangenes Jahr etwa 20 MW CCM an große chinesische Wasserelektrolyseure geliefert. Auch für europäische Kunden ist das Produkt laut Anbieter interessant.

Anhui Contango New Energy Technology, Halle 13, Stand A21

Carbon Energy Technology aus China produziert Kompositmembranen. Das neue Produkt des Unternehmens besteht aus einem organischen Polymer, Keramikpulver und einem Trägermaterial. Es gibt die Membranen in den Stärken 200 und 500 µm. Sie dienen der alkalischen Elektrolyse von Wasser, denn sie können effizient Wasserstoff und Sauerstoff trennen und den Elektrolyten passieren lassen.

→ Carbon Energy, Halle 13, Stand A42

SYSTEMINTEGRATOREN, BETREIBER UND BERATER

Die H2Apex mit Hauptsitz in Rostock/Laage stützt sich auf drei Säulen: Das Unternehmen ist als Systemintegrator für schlüsselfertige Wasserstoffprojekte und Mobilitätslösungen aktiv. Zudem produziert das Unternehmen grünen Wasserstoff. Die dritte Säule ist die Entwicklung und Fertigung von Druckgasspeichern zur Zwischenlagerung von Wasserstoff.

→ H2Apex, Halle 13, Stand E49 – s. Abb. 28

Bis 2032 soll das Wasserstoffkernnetz in Betrieb gehen. Dazu sollen Erdgasleitungen auf Wasserstoff umgestellt werden und auch neue Wasserstoffleitungen entstehen. Gasnetzbetreiber Ontras bringt sich mit seinem H₂-



Abb. 28: Container mit H₂-Druckgasspeichern [Grafik: H2Apex]



Abb. 29: Das Ontras-H₂-Startnetz besteht aus den Projekten „Green Octopus Mitteldeutschland“ und „doing hydrogen“ [Grafik: Ontras]

Startnetz in das Projekt ein. Es besteht unter anderem aus den beiden IPCEI-Projekten „Green Octopus Mitteldeutschland“ und „doing hydrogen“. Damit will Ontras den Grundstein für den effizienten und sicheren Wasserstofftransport in seinem Netzgebiet legen. Das ostdeutsche Unternehmen verbindet über seine Infrastruktur die gesamtdeutschen mit den europäischen Netzen – dem European Hydrogen Backbone. Über dieses soll in Skandinavien produzierter Wasserstoff nach Deutschland gelangen.

→ Ontras, Halle 13, Stand D10 – s. Abb. 29

Siemens verfügt über Expertise in der gesamten H₂-Wertschöpfungskette. Das Unternehmen stellt diese Expertise OEM-Herstellern, Generalunternehmern, Anlagen-Betreibern, aber auch Regierungen und Kommunen bei der Umsetzung von Wasserstoffprojekten zur Verfügung. Das beginnt bei der Finanzierung und geht über das Konzeptdesign und den Aufbau bis hin zum Betrieb von Wasserstoffherzeugungsanlagen und PtX-Projekten. Siemens sieht seine Stärken in den Bereichen Digitalisierung, Automatisierung und Elektrifizierung.

→ Siemens, Halle 13, Stand C36

Das Beratungsunternehmen PGUB Management Consultants ist in Hannover auf dem H₂wo-Gemeinschaftsstand Sachsen vertreten. PGUB berät den schwedischen Brennstoffzellenhersteller FCT Sweden. Unter dem Namen Protonik GmbH soll ab April ein eigenständiges Wasserstoff-Beratungsunternehmen aktiv werden. Dieses ist ebenfalls auf dem Gemeinschaftsstand Sachsen sowie auf dem Stand der hessischen Landesenergieagentur (LEA) zu finden.

→ PGUB, Halle 13, Stand B46 (H₂wo) und C16 (LEA)



VENTILTECHNIK, SENSORIK & AUTOMATION.

Für eine saubere Zukunft mit Wasserstoff.

Flüssigkeiten und Gase in der Wasserstoffherzeugung smart sowie absolut sicher steuern, regeln, messen? Schon seit über 20 Jahren genau unser Ding.

Das praxisbewährte Produkt oder doch die individuell entwickelte Speziallösung? Wir können beides.

Skalierungsfähige Prozesskomponenten? Unser Versprechen an Sie.

We make ideas flow.

www.buerkert.de/wasserstoff



bürkert
FLUID CONTROL SYSTEMS

Optimismus beim H₂ Forum in Berlin

POLITIKER MIT OFFENEM OHR FÜR WASSERSTOFF

Gut 450 Teilnehmer haben sich am 19. und 20. Februar 2024 auf der Fachkonferenz H₂ Forum in Berlin getroffen, um sich über innovative H₂-Technologien, Strategien für den Markthochlauf und die dafür notwendigen regulatorischen Rahmenbedingungen auszutauschen. Weitere 1.000 Teilnehmer waren online zugeschaltet, trotz erheblicher Zeitverschiebung auch aus Ländern wie Indien oder den USA. **Autorin:** Monika Rößiger



Abb. 1: Lebhafter Austausch beim Abendempfang des H₂ Forums in Berlin [Foto: Monika Rößiger]

Eröffnet wurde die Veranstaltung per Video von Kadri Simson, EU-Kommissarin für Energie. Das zweitägige Programm stand unter dem Motto „Die Zukunft des Wasserstoffs vorantreiben“, wobei in diesem Jahr die Erzeugung des grünen Gases durch Elektrolyse sowie dessen Transport in Deutschland und Europa im Mittelpunkt standen. Auf dem H₂ Forum waren unter anderem Vertreter von E.on, Enapter, EWE, Linde, FNB Gas und der H2Global Foundation vertreten. Sie diskutierten über die Rolle von Wasserstoff bei der Defossilisierung des Wirtschaftssystems. Philipp Steinberg vom Bundeswirtschaftsministerium erläuterte die verschiedenen Phasen des Aufbaus des Wasserstoff-Kernnetzes in Deutschland.

Ein Gefühl von Aufbruch und Zuversicht wehte durch die hohen Räume des Estrel Congress Centers, als Akteure aus Politik, Industrie und Energiewirtschaft

über ehrgeizige H₂-Projekte im In- und Ausland sprachen. Beflügelnd wirkte auch, dass die EU-Kommission wenige Tage zuvor eine Reihe von IPCEI-Projekten genehmigt und damit für die beteiligten Unternehmen eine zum Teil jahrelange Hängepartie beendet hatte. Auch die Klimaschutzverträge und die Auktionen der Europäischen Wasserstoffbank lassen nach Aussagen von Wirtschaftsvertretern hoffen.

SPANIEN: MEGAWATT-ELEKTROLYSE IN DER PRAXIS

So berichtete Özlem Tosun, Projektmanagerin für grünen Wasserstoff bei Iberdrola Deutschland, von den Erfahrungen mit einer 20-MW-Elektrolyseanlage, die derzeit als die größte in Europa gilt. „Ich hoffe, dass es nicht dabei bleibt“, fügte sie mit Blick auf den notwendigen Markthochlauf für grünen Wasserstoff hinzu. Der spanische Energiekonzern, hierzulande vor allem als Betreiber von Windparks in der Ostsee bekannt, hatte die Anlage in Puertollano im Mai 2022 in Anwesenheit des spanischen Königs in Betrieb genommen. Die Stadt mit knapp 50.000 Einwohnern liegt rund 250 Kilometer südlich von Madrid. Der Strom für die Wasserstoffproduktion stammt aus einem wenige Kilometer entfernten 100-MW-Photovoltaikpark und fließt über ein unterirdisches Kabel in die Produktionshalle, in der 16 Elektrolyseure à 1,25 MW ihre Arbeit verrichten. Diese produzieren jährlich bis zu 3.000 Tonnen grünen Wasser-

stoff, der in turmhohen Drucktanks bei 60 bar zwischengespeichert wird. Die Elektrolyseanlage steht neben der Düngemittelfabrik Fertiberia und deckt derzeit zehn Prozent von deren Wasserstoffbedarf, wodurch nach Angaben von Iberdrola 48.000 Tonnen CO₂ eingespart werden.

„Aber das ist erst der Anfang“, betont Tosun. „In den kommenden Jahren will Iberdrola die Produktion mehr als verzehnfachen – auf 40.000 Tonnen bis 2027.“ Der Bedarf ist da, denn ansonsten nutzt Fertiberia für seine Ammoniaksynthese grauen Wasserstoff, der aus Erdgas gewonnen wird. Dass noch keine vergleichbare Anlage zur Produktion von grünem Wasserstoff im industriellen Maßstab in Betrieb ist, liegt auch daran, dass das Ganze nicht so einfach ist, wie es in den großen Plänen und Absichtserklärungen der Unternehmen klingt. „Es lief nicht von Anfang an rund“, räumt Özlem Tosun ein. „Im Gegenteil, wir hatten viele Probleme. Aber dadurch haben wir auch viel gelernt und konnten vieles verbessern. Nicht nur technisch, sondern auch wirtschaftlich.“ Einer der wichtigsten Punkte sei gewesen, die Effizienz der Stromnutzung zu optimieren. Dazu habe beigetragen, dass die Leistung und der Wirkungsgrad der Elektrolyseure immer weiter gesteigert werden konnten.

Insgesamt seien die praktischen Erfahrungen in Puertolano wichtig gewesen, „um die Anlage skalieren zu können“. Was die Produktion des klimaneutralen Energieträgers im großen Stil angeht, sieht sich der internationale Energiemulti nicht nur als Vorreiter, sondern blickt auch optimistisch in die Zukunft. Denn Spanien will zunächst selbst unabhängig von fossilen Brennstoffimporten werden und dann erneuerbare Energien exportieren können. Kein Wunder also, dass Deutschland für Iberdrola „ein Schlüsselmarkt“ ist, wie Tosun sagt, „vor allem für grünen Wasserstoff“.

FEHLENDE REGULIERUNG ALS HEMMSCHUH Wie der Aufbau einer deutschen und europäischen Wasserstoffindustrie beschleunigt werden kann, war eines von vielen weiteren Themen der Konferenz. Wichtig sei es, Hemmnisse abzubauen – etwa fehlende Regulierung und Infrastruktur –, hieß es in einer Podiumsdiskussion. Solche Hürden, da waren sich die Referenten einig, sind neben den hohen Kosten für die H₂-Produktion nach wie vor die entscheidenden Gründe, warum nicht wenige Unternehmen trotz positiver Machbarkeitsstudien mit der endgültigen Investitionsentscheidung noch warten. Wie weit Anspruch und Wirklichkeit beim Gas der Zukunft derzeit auseinanderklaffen, zeigen nicht zuletzt die folgenden Zahlen: Die Bundesregierung hat in den vergangenen Jahren das Ziel für die heimische Produktion von grünem Wasserstoff von ursprünglich drei auf zehn Gigawatt angehoben, installiert sind bislang aber gerade einmal 62 MW Erzeugungskapazität. Dass es also ein langer Weg ist, der aber auch schneller gegangen werden kann, zeigten weitere Praxisbeispiele.

„VERSCHWENDEN SIE NIE WIEDER EIN GRÜNES ELEKTRON!“ „Wussten Sie, dass wir allein mit dem Windstrom, der im ersten Halbjahr 2022 aberegelt wurde, 1,5 Millionen Haushalte in Europa ein Jahr lang mit Strom hätten versorgen können?“ (Die Zahl bezieht sich auf durchschnittliche Haushalte mit einem Verbrauch von 3.500 kWh pro Jahr). Das war eine von mehreren Fragen, mit denen Alexander Voigt, Geschäftsführer von HH2E, seinen Vortrag begann. „Was können wir mit all den grünen Elektronen machen, die nur deshalb nicht erzeugt werden, weil das Stromnetz sie nicht aufnehmen kann?“ Seine Antwort, natürlich: Wasser-



Abb. 2: Alexander Voigt, CEO von HH2E, nutzt künftig Überschussstrom in Lubmin [Foto: Monika Röfiger]

stoff! Aber auch Hochleistungsbatteriespeicher, um Energie zur Stabilisierung des Stromnetzes anbieten zu können. So erklärte er das Geschäftsmodell des geplanten HH2E-Werks in Lubmin. Es werde überschüssigen Strom nutzen, um „zuverlässig und kostengünstig grünen Wasserstoff zu erzeugen“. Hinzu komme CO₂-freie Wärme und bei Bedarf die Rückverstromung der „grünen Moleküle“.

Damit könne die Anlage einen Beitrag zur Dekarbonisierung der Industrie in Deutschland leisten und gleichzeitig die Energieversorgung unterstützen. Die endgültige Investitionsentscheidung werde in Kürze fallen, so Voigt, dann sei der Weg frei für den Baubeginn. Im Jahr 2026, so der Plan, soll die Energieerzeugung starten: Rund 100 Megawatt Gesamtkapazität in der ersten Ausbaustufe, verteilt auf einen 56-MW-Elektrolyseur und einen 40-MW-Batteriespeicher. Der Strom für die Elektrolyse kommt aus Offshore-Windparks in der Ostsee. Zu Beginn rechnen die Betreiber mit rund 7.200 Tonnen grünem Wasserstoff pro Jahr. Die Produktionskapazität der Anlage ist bis zu einem Gigawatt skalierbar. Lubmin, einst Umschlagplatz für russisches Erdgas, wird dann zum Zentrum für grünen Wasserstoff. Dieser kann in das bestehende Erdgasnetz eingespeist werden, das vom Nordosten der Republik bis in den Südwesten bei Stuttgart reicht.

Insgesamt präsentierten mehr als 40 Unternehmen aus der gesamten H₂-Wertschöpfungskette ihre Lösungen und Produkte in der hohen Glashalle neben dem Konferenzsaal im Estrel Congress Center. Der organisatorische Rahmen des H₂ Forums stimmte: In den Kaffeepausen sowie beim Mittag- und Abendessen war Zeit, um Kontakte zu knüpfen. An allen Tischen und Ständen wurde lebhaft diskutiert. Dass diesmal mehr Politiker anwesend waren als bei früheren Veranstaltungen, wurde laut Laura Pawlik, Sales Managerin des Veranstalters IPM, in den Rückmeldungen der Teilnehmer besonders hervorgehoben. Und auch, dass sich die Vertreter aus Politik und Verwaltung durchaus offen für weitere Förderungen gezeigt hätten.

Der Termin für die nächste Konferenz steht bereits fest: am 4. und 5. März 2025, wieder im ECC in Berlin. Schwerpunkte werden neben der Politik auch die regulatorischen Fortschritte in Deutschland und Europa sein. •



Abb. 1: Im Rahmen des EWE-Projekts „Clean Hydrogen Coastline“ sollen insgesamt vier Teilvorhaben angegangen werden – zwei Elektrolyseure, ein Kavernenspeicher sowie eine verbindende Pipeline [Quelle: EWE / Litho Niemann + M. Steggemann]

3. Förderwelle für H₂-Infrastrukturmaßnahmen

26

BRÜSSEL GENEHMIGT IPCEI-VORHABEN

Endlich ist es so weit: Die Europäische Kommission hat Mitte Februar 2024 24 deutsche IPCEI-Projekte (Important Projects of Common European Interest – wichtige Projekte von gemeinsamem europäischem Interesse) genehmigt. Im Rahmen des IPCEI Wasserstoff werden Großvorhaben entlang der gesamten Wasserstoffwertschöpfungskette gefördert – von der H₂-Erzeugung über Transport- und Speicherinfrastruktur bis hin zur industriellen Nutzung. **Autor:** Sven Geitmann

Die Genehmigung dieser Projekte durch die Europäische Kommission erfolgt in mehreren „Wellen“. Jetzt, in der dritten Welle, waren die Infrastrukturvorhaben an der Reihe, an denen insgesamt sieben Mitgliedstaaten beteiligt sind (Deutschland, Frankreich, Italien, Niederlande, Polen, Portugal, Slowakei). Ziel ist es, insgesamt fast 3.000 Kilometer an H₂-Rohrleitungen, mehr als 3,2 GW H₂-Erzeugungskapazität sowie rund 370 GWh an H₂-Speicherkapazität aufzubauen.

Erwartet wird, dass die Mitgliedstaaten bis zu 6,9 Mrd. Euro an öffentlichen Mitteln bereitstellen werden, die dann 5,4 Mrd. Euro an privaten Investitionen freisetzen sollen. Insgesamt beteiligen sich an den 33 Projekten 32 Firmen, darunter auch kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Das IPCEI Hy2Infra soll damit „einen Beitrag zur Erreichung der Ziele des Europäischen Green Deal und des REPowerEU-Plans“ leisten, wie es aus Brüssel heißt.

„Während sich die Versorgungskette für erneuerbaren Wasserstoff in Europa noch in der Anfangsphase befindet, wird Hy2Infra die ersten Bausteine eines integrierten und offenen Netzes für erneuerbaren Wasserstoff einrichten. Dieses IPCEI wird die ersten regionalen Infrastrukturcluster in mehreren Mitgliedstaaten schaffen und den Boden für künftige Verbindungen in ganz Europa im Einklang mit der europäischen Wasserstoffstrategie bereiten. Dies wird den Markthochlauf der Versorgung mit erneuerbarem Wasserstoff unterstützen und uns dem Ziel, Europa bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent zu machen, einen Schritt näher bringen.“

Margrethe Vestager, Vizepräsidentin der Europäischen Kommission, zuständig für Wettbewerbspolitik

„Für eine erfolgreiche Einführung von erneuerbarem und kohlenstoffarmem Wasserstoff müssen alle Teile des Puzzles zusammenpassen. Im Rahmen dieses neuen wichtigen Projekts von gemeinsamem europäischem Interesse werden 32 Unternehmen, darunter 5 KMU, in die Wasserstoffinfrastruktur investieren, wobei sich die privaten und öffentlichen Investitionen auf insgesamt mehr als 12 Milliarden Euro belaufen, um Angebot und Nachfrage nach Wasserstoff aufeinander abzustimmen. Es bietet der Industrie mehr Möglichkeiten, ihre Aktivitäten zu dekarbonisieren und gleichzeitig ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern und Arbeitsplätze zu schaffen.“

EU-Kommissar Thierry Breton

„Ich freue mich, dass das Warten auf die europäische Fördergenehmigung ein Ende hat. Wir sind damit einen wichtigen Schritt in Richtung Umsetzung unseres Wasserstoffprojektes gekommen. Jetzt hoffe ich, dass wir eine baldige Fördermittelzusage vom Bund bekommen, damit wir eine gute Grundlage für die finale Investitionsentscheidung in unseren Gremien haben.“

EWE-Vorstandsvorsitzender Stefan Dohler

Die meisten der beteiligten Firmen haben bereits lange auf das nun erfolgte Startsignal gewartet, um endlich mit ihren Vorhaben beginnen zu können. Erwartet wird, dass mehrere Großelektrolyseure zwischen 2026 und 2028 und Pipelines zwischen 2027 und 2029 in Betrieb genommen werden. •

IPCEI

Das IPCEI Hy2Tech zur Entwicklung von Wasserstofftechnologien für Endverbraucher wurde am 15. Juli 2022 genehmigt. In der zweiten Welle folgte am 21. September 2022 das IPCEI Hy2Use, das sich auf Wasserstoffanwendungen im Industriesektor konzentriert.

„IPCEI Hy2Infra trägt zur Verwirklichung eines gemeinsamen Ziels bei, indem es den Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur unterstützt, die für die Verwirklichung der Ziele wichtiger politischer Initiativen der EU wie des Europäischen Green Deal, des REPowerEU-Plans und der EU-Wasserstoffstrategie wichtig ist.

Alle 33 Projekte des IPCEI sind sehr ehrgeizig, da sie auf die Entwicklung einer Infrastruktur abzielen, die über das hinausgeht, was der Markt derzeit bietet. Sie werden die ersten Bausteine für ein integriertes und offenes Wasserstoffnetz legen, das zu nichtdiskriminierenden Bedingungen zugänglich ist, und den Markthochlauf der Versorgung mit erneuerbarem Wasserstoff in Europa ermöglichen. Dies wird die Dekarbonisierung von Wirtschaftssektoren ermöglichen, die zur Verringerung ihrer Kohlenstoffemissionen auf Wasserstoff angewiesen sind.

Die Beihilfen für einzelne Unternehmen beschränken sich auf das notwendige und verhältnismäßige Maß und verzerren den Wettbewerb nicht unangemessen.“

Europäische Kommission



- **Teil der Lösung:** grüner Wasserstoff als Schlüssel für ein klimaneutrales Wirtschaftssystem
- **Für Investoren und Planer:** Elektrolyseure, Brennstoffzellen, Speicher und Infrastruktur
- **Ideales Zusammenspiel:** wenn Wasserstoffwirtschaft und erneuerbare Energien Hand in Hand gehen
- **Branchentreffpunkt:** 115.000+ Energieexperten und 2.800+ Aussteller auf vier parallelen Fachmessen

AUSBAUBESCHLEUNIGUNG UND HÜRDENABBAU

Es hat lange gedauert, aber jetzt ist sie da – die Kraftwerksstrategie für Deutschland. Eigentlich hätte sie bereits Anfang 2023 vorliegen sollen, aber der politische Einigungsprozess war schwierig und entsprechend zeitintensiv. Am 5. Februar 2024 wurde die Strategie vorgestellt, sie muss jetzt aber noch mit Brüssel abgestimmt und notifiziert werden. **Autor:** Sven Geitmann

Details über das zukünftige Strommarktdesign wird es dann voraussichtlich im Sommer geben – wenn sich die Ampelregierung einigt.

Das Ziel der Kraftwerksstrategie ist, dass die Versorgung mit Strom „auch in Zeiten mit wenig Sonne und Wind klimafreundlich gewährleistet“ ist, damit sie „einen wichtigen Beitrag zur Systemstabilität leisten“ kann. Sie soll den Rahmen für neue Investitionen in moderne, hochflexible und klimafreundliche wasserstofffähige Kraftwerke schaffen. Elementare Voraussetzung dafür ist jedoch, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien und der Stromnetze konsequent fortgesetzt wird, damit die Dekarbonisierung vorangetrieben werden kann.

Um dies zu erreichen, verständigten sich Bundeskanzler Olaf Scholz, Bundeswirtschaftsminister Robert Habeck und Bundesfinanzminister Christian Lindner auf wesentliche Elemente. So soll beispielsweise ein vorgezogener Zubau von Kraftwerken angereizt werden. Die Ausschreibungen im Rahmen der Kraftwerksstrategie werden dafür so ausgestaltet, dass die neuen Kraftwerke in den zukünftigen Kapazitätsmechanismus vollständig integriert werden. Details über das zukünftige Strommarktdesign wird es dann voraussichtlich im Sommer geben – wenn sich die Ampelregierung einigt.

Dafür sollen kurzfristig neue Kapazitäten (Gaskraftwerke, die H₂-ready sind und an systemdienlichen Standorten stehen) mit einer Leistung von insgesamt 10 GW ausgeschrieben werden. Habeck hatte zuvor mehr als doppelt so viel anvisiert. Spätestens ab 2040 sollen diese dann vollständig von Erdgas auf Wasserstoff umgestellt werden. Kraftwerke, die ausschließlich mit H₂ laufen, werden bis zu 500 MW im Rahmen der Energieforschung gefördert. Die

dafür benötigten Gelder sollen aus dem Klima- und Transformationsfonds kommen. Außerdem sollen die Arbeiten an einem zukünftigen Strommarktdesign weiter vorangebracht werden.

Bestehende Hemmnisse bei der Errichtung und dem Betrieb von Elektrolyseuren sollen abgebaut werden. Zudem sollen alle Möglichkeiten genutzt werden, um insbesondere den Zubau von Elektrolyseuren, die systemdienlich betrieben werden sollen, zu beschleunigen. Darüber hinaus sollen Doppelbelastungen in Form von Abgaben und Gebühren, die bislang beim Betrieb von Elektrolyseuren anfallen, beseitigt werden. Konkret heißt es dazu: „Die Nutzung von Überschussstrom wird uneingeschränkt ermöglicht; alle bestehenden regulatorischen Hürden werden so weit wie möglich abgebaut.“

„Bis 2030 sollen 80 Prozent des in Deutschland verbrauchten Stroms aus erneuerbaren Energien stammen.“
BMWK

KRITIK VOM DWV Die ersten Reaktionen aus der Energiebranche waren insgesamt positiv. Der DWV begrüßte ausdrücklich, dass sich die Bundesregierung jetzt auf wesentliche Elemente einer Kraftwerksstrategie geeinigt hat, da die Zeit erheblich dränge. Gleichzeitig kritisierte der Vorstandsvorsitzende Werner Diwald aber: „In der Analyse des BMWK heißt es, dass bis 2030 über 23 GW an Gaskraftwerken, die mit Wasserstoff betrieben werden können, zur Absicherung der Stromversorgung erforderlich sind. Es stellt sich daher die Frage, warum in der Eckpunkte-Vereinbarung zur Kraftwerksstrategie nur insgesamt 10,5 GW an Kraftwerksleistung ausgeschrieben werden sollen.“ Der DWV fordert die Ausschreibung der bereits seit langem angekündigten 8,8 GW in Form von Hybrid- und Sprinterkraftwerken sowie weitere 15 GW an zukunftsfähiger H₂-Kraftwerksleistung, die in den nächsten drei Jahren ausgeschrieben werden sollen. Auch für den DVGW ist die jetzt angepeilte Kapazität „bestenfalls ein erster Schritt“.

„Die Kraftwerksstrategie beschreibt, wie wir neue Kraftwerkstypen, die wasserstofffähig sind, in den Markt bringen werden.“

Robert Habeck, Bundesminister für Wirtschaft und Klimaschutz

WISSING STELLT BONHOFF FREI

Eigentlich hatte sich alles schon wieder beruhigt um die Causa Bonhoff, aber dann tauchten im Februar 2024 neue Informationen auf, die Bundesverkehrsminister Volker Wissing zum Anlass nahm zu handeln: Am 15. Februar entband er seinen Leiter der Abteilung Grundsatzangelegenheiten, Prof. Dr. Klaus Bonhoff, mit sofortiger Wirkung von dessen Dienstpflichten und versetzte zudem einen Referatsleiter. Anlass für die Entbindung war eine Diskrepanz im Rahmen eines Prozesses der Innenrevision im Verkehrsministerium. Zusätzliche Brisanz erhielt diese Affäre, als der Spiegel meldete, Wissing habe am 20. Februar „komplett die Bewilligung von Wasserstoffförderung“ gestoppt. Tatsächlich besteht jedoch kein Förderstopp. Es werden lediglich im Ministerium nochmalige Prüfungen durchgeführt, die zu Verzögerung führen können. **Autor:** Sven Geitmann

29



Abb. 1: Dr. Klaus Bonhoff auf der Hannover Messe 2023

Aber der Reihe nach. Wir versuchen jetzt hier zu beleuchten, wer wie mit wem verhandelt ist und was wann geschah:

Es begann im Sommer 2023 mit einer Veröffentlichung des Handelsblatts über ein fragwürdiges Freundschafts- und Lobbynetzwerk. Der Verdacht der Vetternwirtschaft, der von unterschiedlicher

Seite erhoben wurde, wurde damit begründet, dass ein zu enges Geflecht an Kontakten zwischen verschiedenen Akteuren aus Politik und Wirtschaft bestehe. So wurde Bonhoff vorgeworfen, dass er freundschaftlich mit Werner Diwald, dem Vorstandsvorsitzenden des Deutschen Wasserstoffverbandes e. V. (DWV), sowie mit Dr. Oliver Weinmann, dem DWV-Präsidenten, verbunden sei und gemeinsam mit beiden in den Skiurlaub fahre. Weiter hieß es, Bonhoff habe dem DWV 2021 zu Fördermitteln verholfen.

Stefan Schnorr, Staatssekretär im Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), wurde mit der Klärung

dieses Sachverhalts beauftragt und gab laut Spiegel wenige Wochen später Entwarnung: „Keine Spur von Günstlingswirtschaft.“ Parallel dazu erhielt Bonhoff, insbesondere aus der Wasserstoffbranche, breite Rückendeckung.

Anfang 2024 kam dann aber alles nochmals hoch, nachdem der Spiegel aus dem E-Mail-Verkehr zwischen Bonhoff und Diwald zitierte (s. www.fragdenstaat.de). Daraus werde ersichtlich, so die Unterstellung, dass zwischen den Akteuren eine große Nähe und Vertrautheit bestehe.

UNGEREIMTHEITEN UND WIDERSPRÜCHE Tatsächlich lässt sich aus den offengelegten E-Mails ablesen, dass seitens des DWV gewisse Wünsche und Vorstellungen hinsichtlich einiger Fördermaßnahmen artikuliert wurden. So schrieb Werner Diwald beispielsweise im September 2021: „In Anbetracht der anstehenden Wahlen wäre es sicherlich gut, wenn ein Zuwendungsbescheid noch in dieser Legislaturperiode erteilt wird.“ (Spiegel, 6. Februar 2024)

Bonhoff hatte daraufhin diese E-Mail an das zuständige Fachreferat im BMDV weitergeleitet, wobei er sich nach dem Sachstand erkundigt habe, wie er gegenüber HZwei erklärte. Wie Spiegel und Tagesspiegel Background einhellig darlegen, habe er zudem dieses Projekt „mündlich befürwortet“. Eben diese Befürwortung wurde allerdings zuvor bestritten, was

„Das nötige Vertrauensverhältnis des Ministers zu dem Abteilungsleiter besteht nicht mehr fort.“

BMDV-Staatssekretär Stefan Schnorr
in der Frankfurter Allgemeinen Zeitung (FAZ)

nun zu weitreichenderen Problemen im Bundesverkehrsministerium führen könnte.

LobbyControl sah es daraufhin als erwiesen an, dass es sehr wohl eine Günstlingswirtschaft gab. Am 16. Februar 2024 berichtet die Internetplattform darüber, dass tags zuvor das Verkehrsministerium eingeräumt habe, dass es „Ungeheimheiten und Widersprüche“ bei der Vergabe der Fördergelder gegeben und Verkehrsminister Wissing deswegen Abteilungsleiter Klaus Bonhoff von seinen Tätigkeiten entbunden habe.

Darüber hinaus bemängelt LobbyControl, dass die Compliance-Regeln im Bundesverkehrsministerium unzureichend seien und Bonhoff bei der Vergabe von Fördergeldern nicht sauber zwischen privaten und dienstlichen Kontakten getrennt habe.

ZU ENGES GEFLECHT? Klaus Bonhoff, der aufgrund seiner jahrelangen Tätigkeit in Führungsfunktionen im H₂- und BZ-Sektor auch als „Mister Wasserstoff“ bezeichnet wird, hatte jahrelang bei Daimler an Brennstoffzellenautos gearbeitet, bevor er 2008 Geschäftsführer der Nationalen Organisation für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie GmbH (NOW – s. HZwei-Hefte Apr. 2011 & Okt. 2019) wurde. Von dort wechselte er ins Bundesverkehrsministerium. Sein Nachfolger bei der NOW wurde im Mai 2020 Kurt-Christoph von Knobelsdorff (s. HZwei-Heft Jan. 2021).

Aufgrund seiner umfangreichen Expertise war er viele Jahre lang auf zahlreichen Branchen-Events ein gerngesehener Gast, da er auch als versierter Redner gilt, der sehr diplomatisch und präzise formuliert. Verständlich, dass insbesondere der DWV seine Nähe suchte, da in diesem Verband viele wesentliche deutsche Industrieunternehmen aus der H₂-Community Mitglied sind und Bonhoff als NOW-Sprecher Hauptansprechpartner für die Beantragung von Fördermitteln im Wasserstoffsektor war. Die Bewilligung oblag hingegen damals und obliegt auch heute noch dem Projektträger Jülich (PtJ).

DIE ROLLE DES DWV Der DWV hat sich im Laufe der Jahre – insbesondere unter der Führung von Werner Diwald – von einem engagierten Verein motivierter Idealisten zu einem industriellen Lobby-Verband entwickelt. Einige der ursprünglichen Mitglieder, die eher die ideellen Ansätze unterstützten, kehrten deswegen dem Verband in den vergangenen Jahren den Rücken. Einige von ihnen drängten immer wieder auf weniger Industriebhörigkeit und mehr Transparenz. Zuletzt legte zum Jahreswechsel Dr. Johannes Töpler, langjähriger DWV-Vorsitzender, seine Ernennung zum DWV-Bildungsbeauftragten nieder, weil er unter anderem das von ihm für elementar erachtete Thema der Aus- und Weiterbildung in der Verbandsarbeit nicht mehr angemessen berücksichtigt und gewürdigt sah.

Der DWV ist offiziell ein eingetragener Verein. Diwald setzte sich über die Jahre für die Einrichtung verschiedener

Fachkommissionen ein, bei denen die mitwirkenden Firmen hohe Beiträge bezahlen, damit der DWV, unter anderem auf dem politischen Parkett in Berlin und Brüssel, deren Interessen vertreten kann. So werden regelmäßig politische Abende und Wirtschaftsgespräche organisiert, wo Repräsentanten aus Industrie und Politik zusammenkommen, so wie es heutzutage bei Verbänden üblich ist. Eine dieser Fachkommissionen, HyMobility, hat 2021 einen Millionen-Euro-Betrag an Fördergeldern über das PtJ, also aus dem Etat des Bundesverkehrsministeriums, zugesprochen bekommen, was nun Bonhoff vorgeworfen wird.

Das BMDV bestätigte gegenüber HZwei: „Das Innovationscluster HyMobility wird im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördert. Die Zuwendungshöhe beträgt bis zu 1.438.600 €. Abgerechnet werden die tatsächlich entstandenen Ausgaben bis zur maximalen Zuwendungshöhe. [...] Die Finanzierung des HyMobility-Clusters erfolgt durch Fördermittel, die Beiträge für die Mitgliedschaft im Cluster und einen Anteil der Mitgliedsbeiträge des DWV. [...] Über das Förderprojekt werden das Clustermanagement, Koordination des Clusters, Unterstützung und Begleitung der Arbeit der Fachkommission sowie Aufbereitung der Arbeitsergebnisse der Fachkommission und der Fachausschüsse und Handlungsempfehlungen für weiteren Entwicklungsbedarf gefördert. Außerdem werden die Räumlichkeiten für Clustertreffen, Erstellung von Studien und Analysen und fachliche sowie rechtliche Gutachten gefördert. [...] Die Zuwendung ist zweckgebunden.“

Ziele von HyMobility sind laut Vorhabenbeschreibung unter anderem: „Mitwirkung bei der Formulierung entsprechender politischer und rechtlicher Rahmenbedingungen auf nationaler und europäischer Ebene für die Marktvorbereitung und -einführung von CO₂-armer Mobilität auf Basis von erneuerbarem Wasserstoff. [...] Schaffung und Stärkung des Verständnisses für und des Vertrauens in die innovative und emissionsarme Fahrzeugtechnologie auf Basis von erneuerbarem Wasserstoff im Verkehr und der nationalen und europäischen Politik.“

Der DWV bestätigt in diesem Zusammenhang gegenüber HZwei, Ziele der Fachkommissionen seien „Aufmerksamkeit schaffen für das jeweilige Thema, Aufklärungsarbeit, Akteure aus den jeweiligen Bereichen und Branchen zusammenbringen, gemeinsame Positionen erarbeiten und Handlungsempfehlungen an die Politik geben“.

LobbyControl kritisiert in diesem Zusammenhang: „Es ist ungewöhnlich und fragwürdig, dass ein Wirtschaftslobbyverband wie der DWV einen staatlichen Zuschuss für Aufgaben bekommt, die er ohnehin tut: Netzwerke pflegen und Lobbyarbeit betreiben.“

Bonhoff teilte gegenüber HZwei mit: „Die Förderung von HyMobility erfolgt analog zu dem vom BMUV geförderten Vorhaben HySteel, das zeitlich vor HyMobility bewilligt wurde.“ Genau darüber hatte am 7. Februar 2024 Tagesspiegel Background berichtet: „Das Ministerium [Bundesumweltministerium; Anm. d. Red.] ist mit dem Projekt zufrieden. Solche Netzwerk-Bildungen sind effektiv und erfolgreich, dienen dem Best-Practice-Austausch und der Gründung von horizontalen und vertikalen Partnerschaften bei der Erforschung, Erprobung und Produktion.“

Unter den insgesamt 22 Mitgliedern von HyMobility sind auch die NOW GmbH sowie die H2 Mobility Deutschland GmbH & Co. KG. H2 Mobility ist ein Zusammenschluss verschiedener Automobil-, Industriegas- und Mineral-

„Das Projekt HyMobility wird im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie mit insgesamt 1,8 Mio. Euro durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördert. Die Förderrichtlinie wird von der NOW GmbH koordiniert und durch den Projektträger Jülich (PtJ) umgesetzt.“
<https://dwv-hymobility.de/organisation/>



Abb. 2: Werner Diwald ist seit 2014 DWV-Vorstandsvorsitzender

von drei Geschäftsführern ist seit April 2023 Lorenz Jung (s. HZwei-Heft Okt. 2023), nach Angaben von LobbyControl der Schwiegersohn von Dr. Oliver Weinmann. Jung, dessen Ehefrau (Weinmanns Tochter) bei der NOW in der Kommunikationsabteilung arbeitet, war quasi seit der Gründung leitender Mitarbeiter des Unternehmens.

DIE ROLLEN VON WEINMANN UND DIWALD Weinmann ist Gründungs- und Vorstandsmitglied des damaligen Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verbands (s. HZwei-Heft Okt. 2010). Der gebürtige Hamburger arbeitete zunächst für die Hamburgischen Electricitäts-Werke (HEW), die 2001 mehrheitlich von dem schwedischen Großkonzern Vattenfall Europe übernommen wurden. Von 2010 bis Juli 2023 war er Geschäftsführer der Vattenfall Europe Innovation GmbH, dann war er Head of Innovation Management bei der Vattenfall Europe AG. Seit 2020 ist er zudem ehrenamtlich Präsident des DWV. Darüber hinaus ist er Vorsitzender des NOW-Beirats, stellvertretender Vorsitzender der Wasserstoffgesellschaft Hamburg e.V. und hat bzw. hatte – laut seiner eigenen HyAdvice-Homepage, über die er freiberuflich Beratungsdienstleistungen, auch zu Fördermitteln, anbietet – weitere Führungspositionen inne, unter anderem bei Hydrogen Europe sowie beim Bundesverband Energiespeicher (BVES).

Ähnlich, wie Weinmann mit HyAdvice agiert, verfährt Diwald mit der PtXSolutions GmbH, ehemals ENCON.Europe GmbH. Über diese Firma berät der DWV-Vorsitzende nebenbei Institutionen wie DWV, Encon Energy EOOD (ENCON-Tochterfirma), Enertrag (ehemaliger Arbeitgeber), NOW, Performing Energy (DWV-Think-Tank), Vattenfall Europe Innovation usw. Ursprünglich hatte ENCON.Europe einige Tätigkeiten für den DWV übernommen (s. HZwei-Heft Okt. 2020). Nach Aussage Diwalds trug die ENCON.Europe GmbH damals erheblich dazu bei, die Sichtbarkeit des DWV zu steigern, ohne selbst großartig in Erscheinung zu treten. Sie habe exklusiv den DWV und die Fachkommission Performing Energy als Markennamen im politischen Umfeld platziert und im Interesse des Verbands gehandelt. Zum Team zählte seit 2017 unter anderem Dennitsa Nozharova, die Ehefrau von Werner Diwald, die gleichzeitig auch für den DWV arbeitete und zudem für Encon Energy EOOD tätig ist.

Performing Energy war die erste Fachkommission, die der DWV 2015 auf Diwald Bemühungen hin initiierte, nach-

dem er selbst dieses Bündnis für Windwasserstoff im Jahr 2011 gegründet und den Sprecherposten übernommen hatte (s. HZwei-Heft Jan. 2012). Neben Enertrag und Vattenfall sind dort noch weitere Mitgliedsfirmen beteiligt, die auch in anderen Gruppierungen dieses Netzwerks mitwirken.

ölonunternehmen sowie einem Investmentfonds, der sich um den Aufbau von H₂-Tankstellen in Deutschland kümmert. So gut wie jede Station, die von dieser Berliner Gesellschaft errichtet und betreut wird, wird mit annähernd 50 Prozent Fördermitteln aus europäischen, Bundes oder Landesmitteln bezuschusst. Einer

dem er selbst dieses Bündnis für Windwasserstoff im Jahr 2011 gegründet und den Sprecherposten übernommen hatte (s. HZwei-Heft Jan. 2012). Neben Enertrag und Vattenfall sind dort noch weitere Mitgliedsfirmen beteiligt, die auch in anderen Gruppierungen dieses Netzwerks mitwirken.

Werner Diwald bezog zu diesem Sachverhalt gegenüber einigen Vereinsmitgliedern Stellung mit den Worten (E-Mail liegt der HZwei-Redaktion vor): „Die Verdachtsvermutungen der Medien über einen möglichen Verstoß seitens des DWV gegen Compliance-Regeln in Bezug auf die Beantragung der Förderung des Innovationsclusters HyMobility sind unbegründet. [...] Eine unzulässige Einflussnahme durch den DWV hat nicht stattgefunden. Der DWV lässt sich seine satzungsgemäße Arbeit nicht fördern. [...] Aufgrund der Förderung des Innovationsclusters HyMobility durch das BMDV hat sich der DWV somit eindeutig nicht in eine Abhängigkeit der Regierung begeben.“

Darüber hinaus gab es bislang von Seiten des DWV keine öffentliche Stellungnahme, abgesehen von einer Mitteilung an die Vereinsmitglieder (liegt der HZwei-Redaktion vor). Darin wurde Ende Februar 2024 darüber informiert, das „unmittelbar erste Maßnahmen eingeleitet“ wurden, die „über die Inhalte des ‚Code of Compliance‘ des DWV hinausgehen, um die Situation umfassend zu prüfen“. Weiter heißt es, das DWV-Präsidium habe „unverzüglich sowohl eine umfassende Prüfung der Compliance-Regeln des DWV als auch von externen und internen Prozessen und Abläufen im Kontext der Fördermittelbeantragung und -vergabe beauftragt“ – und zwar bei der Berliner Kanzlei Redeker Sellner Dahs.

H₂-FÖRDERGELDER EINGEFROREN? Den zwischenzeitlichen Höhepunkt erfuhr diese Affäre, nachdem der Spiegel berichtete, dass der Bundesverkehrsminister angeblich alle Fördergelder für H₂-Projekte eingefroren habe. Demnach sollten vorerst keine Gelder für diesen Sektor mehr bewilligt und auch keine Verträge mehr abgeschlossen werden. Selbst Änderungsbescheide bedürften einer Freigabe von Staatssekretärsbene, hieß es.

Eine BMDV-Pressesprecherin stellte diesbezüglich allerdings am 21. Februar 2024 in einer Pressekonferenz klar, dass das Ministerium „nicht die Wasserstoffförderung als solche gestoppt“ habe, sondern sorgfältigere Prüfungen von Förderanträgen vorgenommen werden. Diese „fokussieren sich derzeit auf das Bewilligungsverfahren für die Fördervorhaben HyMobility des DWV“. Sollten sich im Rahmen der Untersuchung entsprechende Anhaltspunkte ergeben, werden gegebenenfalls auch weitere Fördervorhaben näher beleuchtet.

Anlass für dieses verschärfte Vorgehen scheint die Causa Brunner zu sein. Hierbei geht es unter anderem um den E-Mail-Verkehr über einen privaten GMX-Account, über den Klaus Bonhoff unter anderem mit dem bayerischen Unternehmer Tobias Brunner, Geschäftsführer der Cryomotive GmbH sowie der Hynergy GmbH und zentrale Figur beim Aufbau des Wasserstoff Technologie- und Anwenderzentrums (WTAZ) in Pfaffenhausen, kommuniziert hat. LobbyControl moniert diese „Nutzung eines privaten Mailaccount für dienstliche Kommunikation“, weil dieser Mailverkehr der ministeriumsinternen Innenrevision nicht bekannt war und somit auch nicht in deren Abschlussbericht entsprechend Berücksichtigung hatte finden können. Hierbei geht es um 14 GB an Daten, die jetzt gesichtet werden müssen, weshalb es zu Zeitverzug bei der Bearbeitung weiterer Bescheide kommt. •

BRENNSTOFFZELLENSYSTEME SORGEN FÜR NETZHÄRTUNG

Ein wichtiger, aber häufig vernachlässigter Anwendungsbereich für H₂-Technologie ist die unterbrechungsfreie Stromversorgung. Damit es nicht zu Lichtflackern und erst recht nicht zu Black-outs kommt, sind sogenannte USV-Systeme unabdingbar. Im besten Fall, wenn das Netz stabil ist, kommen sie zwar nie zum Einsatz, dennoch ist ihre Anwesenheit von zentraler Bedeutung. HZwei sprach darüber mit Benedikt Eska und Christian Leu, den Geschäftsführern der Axiosus Energy GmbH, zudem ging es um das Unternehmen selbst sowie die Technologie-Plattform Clean Power Net (CPN).

Interviewpartner: Christian Leu und Benedikt Eska

32



Abb. 1: Christian Leu

HZwei: Fangen wir mal mit Ihrer BZ- und Wasserstoff-Vita an. Sie sind ja beide schon sehr lange im H₂-Geschäft. Seit wann und wo bzw. als was?

Leu: Alles fing an mit meinem Einstieg als Entwicklungsingenieur für Brennstoffzellentechnik beim Berliner Start-up Heliocentris im Jahr 1998. Zuletzt war ich dort verantwortlich für

die Produktlinie Stationäre-Brennstoffzellen-Stromversorgungen und dabei auch involviert in die ersten kommerziellen Roll-outs für BZ-Netzersatzanlagen beim BOS-Digitalfunk in Deutschland.

Eska: Meine erste ernsthafte Berührung mit dem Thema Brennstoffzelle war bereits vor über 25 Jahren. 2001 bin ich dann bei Proton Motor eingestiegen und war 2006 einer der Verantwortlichen für den Börsengang in London. 2009 gründete ich mein Beratungsunternehmen mit Fokus auf Brennstoffzelle und Wasserstoff.

Herr Leu, nach dieser langen Zeit bei Heliocentris waren Sie zunächst allein in Berlin aktiv. Warum dann der Zusammenschluss mit Herrn Eska?

Leu: Nach der Insolvenz der Heliocentris übernahm ich 2017 beim Ingenieur-Dienstleister ITK Engineering, einem Unternehmen der Bosch-Gruppe, eine Stelle für den Aufbau von Kompetenz und Geschäft im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie. Im Laufe der Zeit entstand bei mir der Wunsch, nicht nur Entwickler zu unterstützen, sondern vor allem Anwendern zu helfen, fertige Entwicklungen nachhaltig erfolgreich in den kommerziellen Einsatz zu bringen. Da das mit dem Geschäftsmodell der ITK nicht gut vereinbar war, suchte ich nach Möglichkeiten für ein eigenes Business. In Benedikt fand ich den idealen Partner – gleichgesinnt und in den Erfahrungen und Stärken komplementär.

Herr Eska, nach dieser jahrelangen Selbständigkeit – was hat Sie dazu bewogen, ein eigenes Unternehmen mit Herrn Leu zu gründen?

Eska: Es gab im meinem Beratungsunternehmen immer mehr Anfragen, ob ich nicht auch bei der Umsetzung unterstützen kann. Aus diesem Grund war ich schon länger am Überlegen, die Rechtsform zu ändern und meine Tätigkeit auf eine breitere Basis zu stellen. Dann kam etwas der Zufall hinzu, dass ich im richtigen Moment mit Christian telefoniert habe. Nachdem wir schon bei anderen Gelegenheiten zusammengearbeitet hatten, haben wir uns intensiv ausgetauscht und die gemeinsame Basis gesehen. Zugegebenermaßen hätten wir vor Corona und der Lernkurve mit Online-Meetings in der Form wahrscheinlich vor ein paar Jahren nicht gemeinsam gegründet.

Seit wann genau arbeiten Sie jetzt zusammen?

Eska: Gegründet haben wir gemeinsam 2022, aber tatsächlich kennen wir uns schon aus dem VDMA-Arbeitskreis Brennstoffzelle beziehungsweise – für die Kenner – aus dem Vorläufer, dem AK Berta. Das müsste so 2003 oder 2004 gewesen sein.



Abb. 2: Benedikt Eska

„sustainability“ für Nachhaltigkeit. Axiosus Energy steht folglich für zuverlässige, nachhaltige Energieversorgungslösungen.

Verstehe. Was genau bieten Sie denn an?

Eska: Wir sehen uns stark an der Schnittstelle zwischen den Systemanbietern und den Anwendern. Die Anbieter wollen sich auf ihre Standardprodukte fokussieren und die Anwender suchen nach einer für sie optimalen Lösung. Wir bringen beide Seiten zusammen. Das startet bei der technischen Konzeption, der Standortplanung bis hin zur Umsetzung vor Ort mit den unterschiedlichen Gewerken. Dafür setzen wir auf unsere Partner, zum Beispiel aus der Elektro- und Tiefbaubranche. Aus Sicht des Anwenders können wir bei geeigneten Projekten auch als Generalunternehmer auftreten. Dabei sind wir herstellerneutral und technologieoffen unterwegs.

Zusammengefasst sind es zwei Säulen: Beratung und Projektentwicklung. Unsere Hardware-Projekte sind derzeit hauptsächlich im Bereich Notstromversorgung für die kritische Infrastruktur. In der Beratung sind wir auch im Bereich der Elektrolyse, Wasserstoffversorgung und strategisch-technologischen Unternehmensentwicklung unterwegs.

Können Sie uns mal bitte einen Einblick geben, wie groß dafür der Markt ist – allein hier in Deutschland?

Leu: Ohne Berücksichtigung weiterer Anwendungen aus anderen Bereichen der kritischen Infrastruktur sind im BOS-Funknetz allein 3.800 Basisstationen im Betrieb, mit Leistungsanforderungen von weniger als 5 kW. Wir gehen in dem Leistungsbereich eher von mehr als 10.000 Anwendungen mit Hochverfügbarkeitsanforderungen aus.

Bevor wir jetzt zu Ihren Dienstleistungen kommen: Wofür steht Axiosus?

Leu: Die Frage bekommen wir natürlich öfters. Axiosus ist ein Kunstwort und hat unsere Tätigkeit bereits im Namen. Axiosus ist zusammengesetzt aus dem griechischen „axiópistos“ für zuverlässig und dem englischen

Sie kümmern sich ja beispielsweise um den BOS-Digitalfunk in Brandenburg. Können Sie kurz mal anhand dieses Projekts erläutern, was Sie da machen?

Eska: In Brandenburg sind wir im Unterauftrag des Brennstoffzellenherstellers Advent Technologies aus Dänemark tätig. Wir koordinieren alle notwendigen Planungen und Errichtungsarbeiten für Notstromsysteme. Zusätzlich sind wir der erste Ansprechpartner für den Betreiber bei technischen Fragen. In der nächsten Phase werden wir uns zudem um die Wartungs- und Servicearbeiten kümmern.

Es gibt da dieses tolle Wort „Netzhärtung“. Was bedeutet das?

Leu: Ziel der Netzhärtung ist es, das gesamte BOS-Funknetz für 72 Stunden abzusichern. Hierzu werden die vorhandenen Batterie-USV-Anlagen meist um stationäre Netzersatzanlagen ergänzt. Viele Bundesländer setzen dabei auf Brennstoffzellenlösungen.

Axiosus war 2022 auf einem CPN-Workshop, ist aber laut Website kein Partner von Clean Power Net (CPN). In den vergangenen Jahren war es sehr ruhig um diesen Firmenzusammenschluss. Das war mal eins der Leuchtturmvorhaben der Nationalen Organisation für Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie (NOW). Passiert dort noch etwas?

Eska: Wir sehen CPN als wertvollen Zusammenschluss aus Herstellern und Zulieferern. Nachdem wir selbst nicht Mitglied sind, können wir zu den aktuellen CPN-Aktivitäten nichts sagen. Bei dem Workshop 2022 durften wir als Gäste über die Betriebserfahrungen aus Brandenburg berichten.

Was ist Ihr neuestes Vorhaben?

Leu: Bei unserem neuesten Projekt helfen wir aktuell einem Konzern bei der Auslegung und Beschaffung von Wasserstoffspeichern mit zugehörigem Logistikkonzept. Daneben sind wir weiterhin mit dem Aufbau des Unternehmens beschäftigt. Zuerst müssen wir dieses Jahr weiter Personal an den Start bringen, um der Nachfrage gerecht zu werden. Wenn sich alle Anfragen materialisieren, werden wir zu größeren Leistungen bei den Stromversorgungen und weiteren Aufträgen als Generalunternehmer kommen.

Letzte Frage: Sind Sie eigentlich auch international aktiv?

Eska: Auch wenn wir noch nicht lange unter Axiosus Energy agieren, haben wir bereits Kunden aus EU- und Nicht-EU-Ländern. Unsere Zusammenarbeit mit der dänischen Advent Technologies A/S haben wir ja bereits erwähnt.

Herzlichen Dank für die Beantwortung der Fragen.

Interviewer: Sven Geitmann

Melden Sie jetzt Ihre Veranstaltung an!

Gemeinsam Wasserstoff
erlebbar machen



**WOCHE DES
WASSERSTOFFS**
15. - 23.6.2024

WELTWEIT EINZIGARTIGES H₂-TESTLABOR

Im „Hydrogen Lab Bremerhaven“ können Hersteller und Betreiber von Elektrolyseuren ihre Anlagen auf die Probe stellen. Die fluktuierende Einspeisung von Windstrom ist im Gegensatz zur gleichmäßigen Fahrweise eine Herausforderung. Wie sich die damit verbundenen komplexen Prozesse optimieren lassen, testen Ingenieure nun im Realbetrieb. **Autorin:** Monika Rößiger



Abb. 1: Kevin Schalk, Leiter des HLB, vor der Windenergieanlage
[Quelle: Monika Rößiger]

Ein grauer, windiger Tag in Bremerhaven. Der Ingenieur Kevin Schalk vom Fraunhofer IWES zeigt mir das Hydrogen Lab Bremerhaven (HLB) – ein weitläufiges Testgelände unter freiem Himmel. Es befindet sich neben einem blau gestrichenen Hangar am ehemaligen Flughafen Luneort und enthält die wichtigsten Bausteine für ein klimaneutrales Energiesystem: einen PEM-Elektrolyseur, einen alkalischen Elektrolyseur, drei Kompressoren, Niederdruck- und Hochdruckspeicher für Wasserstoff (bis 40 bar oder bis 425 bar), Brennstoffzellen, ein wasserstofffähiges Blockheizkraftwerk.

„Unser Hydrogen Lab ist modular und maximal flexibel aufgebaut“, erklärt Kevin Schalk. Alle Komponenten des Testfelds sind durch Trassen miteinander verbunden, in denen die Strom- und Datenkabel sowie die Wasserstoffleitungen verlaufen. Die Rohre für Wasser und Abwasser sind unterirdisch verlegt. Über den Anlagen thront die Leitwarte, in der alle Informationen zusammenlaufen und von der aus die Komponenten überwacht und gesteuert werden.

Zwischen den Anlagen gibt es freie Plätze, damit Hersteller oder Betreiber ihre eigenen Elektrolyseure testen lassen können. So könne jeder Prüfling unabhängig von Untersuchungen in anderen Teilen des Testlabors betrieben werden, erklärt Schalk. Bei Bedarf ist aber auch das Gegenteil möglich: Der Prüfling wird mit anderen Teilen des Wasserstofflabors zusammen betrieben.

Rund um das H₂-Testgelände erstrecken sich Wiesen bis zum Horizont, mit Windrädern bestückt. Die mit acht Megawatt imposanteste Anlage dieser Art steht direkt neben dem Freiluftlabor; ein grauer Gigant, dessen Rotoren sich gemächlich im Wind drehen. „Als die AD8-180 im Jahr 2016 in Betrieb ging, war sie die größte Windenergieanlage der Welt“, erläutert Kevin Schalk, der das Hydrogen Lab Bremerhaven (HLB) leitet. Die langgezogenen Rotorblätter lassen erkennen, dass der Prototyp eigentlich für den Einsatz auf dem Meer gedacht war. Nun soll die Anlage bald dazu dienen, die Herstellung von Wasserstoff aus Windstrom unter realen Bedingungen zu testen. Bis zu einer Tonne des grünen Gases soll hier täglich produziert werden.



Abb. 2: Container mit verschiedenen Wasserstoffspeichern (links) und Blockheizkraftwerk [Quelle: Monika Rößiger]

VERSCHIEDENE ELEKTROLYSEURE IM VERGLEICH Das Team um Kevin Schalk wird sich unter anderem mit der Frage beschäftigen, wie verschiedene Typen von Elektrolyseuren mit einer Windenergieanlage im realen Maßstab interagieren. Da ist zum einen der 1-Megawatt-PEM-Elektrolyseur, der destilliertes Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff spaltet. Diese Art der Wasserspaltung findet im sauren Milieu statt, im Gegensatz zur alkalischen Elektrolyse im basischen Milieu. Als Elektrolyt dient Kalilauge (Kaliumhydroxid-Lösung, KOH) in einer Konzentration von 20 bis 40 Prozent.

Ein alkalischer Elektrolyseur (AEL) besitzt eine Anionenaustauschmembran, lässt also die OH⁻-Ionen durch. Er ist günstiger in der Anschaffung und zeichnet sich durch Langzeitstabilität aus. Die teuersten Komponenten eines Elektrolyseurs sind jeweils die Zellstapel (engl. stacks) sowie die Leistungselektronik, also Gleichrichter und Transformator. Die Frage nach dem jeweiligen Wirkungsgrad lässt sich nach Angaben von Schalk kaum pauschal beantworten – zumindest für Gesamtanlagen.

Wird ein Elektrolyseur mit fluktuierendem Strom aus erneuerbaren Energien betrieben statt wie im Normalbetrieb durchgehend, ist das aus verschiedenen Gründen eine Herausforderung: Eine dynamische Fahrweise belastet die Materialien stärker, und es kann im Teillastbetrieb zu Gasverunreinigungen kommen, die schließlich zur Abschaltung des Systems führen. Im HLB sollen unterschiedliche Betriebszustände miteinander verglichen werden, also Vollast oder Teillast; außerdem die Startzeiten aus dem kalten oder warmen Standby.

„Wir können die Fahrweise eines Elektrolyseurs zum Beispiel auf die Sieben-Tage-Prognose der Windenergieanlage einstellen und diese Fahrweise dann testen“, erklärt der In-







Regeln und Absperrn kann so leicht sein!

Profitieren Sie von den Vorteilen der Gleitschieber- und Sitzventile von **Schubert & Salzer Control Systems**:

- besonders kompakt
- hoch präzise Regeln
- sicheres Absperrn

Entdecken Sie unsere H2-Ventile:
www.schubert-salzer.com



Abb. 3: Blick über das HLB mit freien Stellflächen – links die Leitzentrale [Quelle: Monika Rößiger]

genieur. „Unsere Elektrolyseure können zusammen maximal 2,3 Megawatt aufnehmen. Es gibt bislang allgemein nur wenige Daten und Erkenntnisse darüber, wie sich Megawatt-Elektrolyseure mit fluktuierendem Windstrom verhalten. Die vorliegenden Daten sind meistens Simulationen und Studien, die auf Messdaten in kleineren Systemen basieren und dann hochgerechnet wurden.“

36

ALLEINSTELLUNGSMERKMAL DES FORSCHUNGLABORS

Ein paar Hundert Meter vom Testlabor entfernt befindet sich das Dynamic Nacelle Testing Laboratory (DyNaLab) des Fraunhofer IWES, ein großer Gondel-Prüfstand, der über ein virtuelles 44-MVA-Mittelspannungsnetz verfügt. An diesen wird auch das Hydrogen Lab angebunden, wodurch sich die elektrotechnische Integration der Anlagen ins Stromnetz erproben lässt. „Dynamische Änderungen der Netzfrequenz oder Spannungseinbrüche können auf diese Weise gezielt nachgebildet werden, um etwa die Auswirkungen auf einen Elektrolyseur zu untersuchen“, sagt Kevin Schalk. Das sei ein Alleinstellungsmerkmal und ermögliche den Forschern, zu testen, was in Zukunft immer wichtiger werde: Elektrolyse im netzstabilisierenden Betrieb. Dazu gehören auch die beiden technischen Varianten zur Rückverstromung: das wasserstofffähige Blockheizkraftwerk sowie die Brennstoffzellensysteme.

Ein Laie kann sich wohl kaum vorstellen, wie schwierig es ist, ein so hochkomplexes System an einem Standort aufzubauen. Allein die Elektrolyseure benötigen ja nicht nur einen Wasseranschluss, von dem aus das Wasser erst in eine Aufbereitungsanlage kommt, damit es „ultrarein“ ist, bevor es in den Elektrolyseur-Stack geleitet werden kann, erklärt Kevin Schalk. Der dann entstehende Wasserstoff muss ebenfalls aufbereitet und das restliche Wasser entfernt werden, was in einer Trocknungsanlage geschieht. Zudem muss der bei der Wasserspaltung freiwerdende Sauerstoff aufgefangen und sicher gelagert werden. Im Idealfall ließe sich der Sauerstoff zur weiteren Verwertung, etwa in einem Industrie- oder Gewerbebetrieb oder in einer Kläranlage, nutzen.

„Und das war nur der Bereich Wasser, nun kommt die Stromseite“, fährt Kevin Schalk fort. „Da haben wir den Anschluss an das öffentliche Stromnetz, gegebenenfalls müssen wir noch transformieren, um die passende Spannungsebene zu erreichen. Danach folgt der Umrichter, um von Wechsel- auf Gleichspannung zu kommen. Dann geht der Strom in die

Stacks der Wasserspaltungsanlage. Wann immer das Netz vorne ‘zuckt’, also sich die Frequenz oder Spannung über ein gewisses Maß hinaus ändert, muss der Elektrolyseur dahinter damit klarkommen. Und wenn Leistungselektronik nicht richtig eingestellt ist, schaltet sich das System ab.“

Zudem sei auch die thermische Seite des Systems zu beachten. „Anfangs muss der Elektrolyseur geheizt werden“, erklärt Kevin Schalk. „Später, wenn er konstant läuft, muss er in der Regel gekühlt werden, um den jeweils optimalen Arbeitspunkt zu halten. Das geht zwangsläufig mit energetischen Verlusten einher.“ So weit zum PEM-Elektrolyseur. Bei der alkalischen Elektrolyse muss noch die Kalilauge entfernt und recycelt werden.

FIT MACHEN FÜR DEN OFFSHORE-EINSATZ Ein weiteres Schwerpunktthema für das Forschungslabor findet im Rahmen des Leitprojektes H₂Mare statt: Dazu dient ein 100 Kubikmeter fassendes Meerwasserbecken sowie eine Entsalzungsanlage, für die die Abwärme der Elektrolyseure genutzt werden soll. Dem liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass sich größere Mengen von grünem Wasserstoff im dichtbesiedelten Deutschland wohl am ehesten auf dem Meer erzeugen lassen. Damit muss das elektrochemische Verfahren zur Spaltung von Wasser hochseetauglich werden, denn in Zukunft sollen Elektrolyseure auch direkt mit Offshore-Windanlagen verbunden werden. Das erfordert wiederum die Kopplung mit einer Meerwasser-Entsalzungsanlage, wobei diese Kombination energetisch günstig ist, weil die Abwärme des Elektrolyseurs zur Entsalzung genutzt werden kann.

Ingenieur Schalk weist darauf hin, dass er und seine Kollegen bei all ihren Untersuchungen die deutschen oder europäischen Regularien beachten, wie zum Beispiel die EU-Nachhaltigkeitszertifizierung RED II (Renewable Energy Directive). Die legt fest, unter welchen Bedingungen Wasserstoff als „grün“ zertifiziert werden kann, und genau diesen wollen sie ja hier erzeugen. „Die Abnehmer brauchen garantiert grünen Wasserstoff, zum Beispiel für die Busse im öffentlichen Personennahverkehr.“ Eine H₂-Tankstelle für Nutzfahrzeuge entsteht in Bremerhaven beim Bushof. Neben dem ÖPNV gibt es weitere potenzielle Abnehmer in der Region: Etwa einen Logistikunternehmer, der sein Schiff in Cuxhaven mit gasförmigem Wasserstoff betreiben möchte. Oder das öffentliche Mobilitätsunternehmen Eisenbahnen und Verkehrsbetriebe Elbe-Weser (EVB) als Betreiber der Wasserstoff-Regionalbahn in Niedersachsen.

Das Hydrogen Lab Bremerhaven kooperiert mit dem Norddeutschen Reallabor, einem vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Großforschungsprojekt, in dem mehrere Bundesländer die Sektorenkopplung auf Basis von Wasserstoff vorantreiben. Das HLB erhält Fördermittel von insgesamt rund 16 Millionen Euro aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) sowie vom Land Bremen. Im Mai dieses Jahres geht das HLB vom Probe- in den Normalbetrieb und wird zunächst gut 100 Tonnen Wasserstoff pro Jahr produzieren. In der zweiten Phase rechnet Kevin Schalk mit über 200 Tonnen. „Wir werden die erste große Produktionsstätte von grünem H₂ in Norddeutschland sein.“ •

Neue Anlage produziert grünen Wasserstoff zur Versorgung von Industriekunden

WASSERELEKTROLYSE-SYSTEM DER FEST GMBH GEHT IN DEN KOMMERZIELLEN VOLLBETRIEB

Die FEST GmbH mit Sitz in Goslar und die Infraseriv GmbH & Co. Höchst KG mit Sitz in Frankfurt am Main freuen sich, dass die Wasserstoff-Wasser-Elektrolyse-Anlage im Industriepark Höchst nun in vollem Umfang nutzbar ist. Sie produziert grünen Wasserstoff für die Betankung von Zügen mit Brennstoffzellenantrieb. **Autor:** FEST GmbH



Abb. 1: Die neue Anlage im Industriepark Höchst, einem der größten Chemie- und Pharmastandorte in Europa, produziert grünen Wasserstoff. [Quelle: FEST GmbH]

Konrad Gerner, Projektmanager bei der FEST GmbH: „Wir sind besonders stolz auf unsere Teams und die enge Zusammenarbeit mit unserem Kunden Infraseriv. Die Markt-Entwicklung hin zu ausgereiften und kommerziellen Lösungen, die bis zu 2 Tonnen Wasserstoff pro Tag liefern, erfordert eine präzise Planung, ein starkes Engagement sowie intensives Teamwork. Wir haben in den letzten Jahren durch die kontinuierliche Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse mit unserer „Light EPC-Lösung“ unschätzbare Erfahrungen gesammelt. Dadurch verfügen wir heute über einen einzigartigen Wettbewerbsvorteil am Markt: Wir sind in der Lage eine zuverlässige und risikoarme Realisierung und Lieferung komplexer Projekte zur Wasserstoff-Produktion zu gewährleisten. Die Sicherstellung eines reibungslosen Ablaufs eines solchen Gesamtprojekts inkl. der Lieferung der Komponenten erhöhen die Komplexität bei der Kostenbewertung und der ordnungsgemäßen Installation.“

Martin Greda, VP Technology bei der FEST GmbH, erwähnt, dass das Unternehmen – unterstützt durch den Mutterkonzern Schmidt-Kranz-Gruppe – erhebliche Ressourcen

in die Entwicklung kommerzieller Lösungen investiert hat und sich damit von den unausgereiften Projekten der Vergangenheit entfernt hat: „Wir haben noch eine Lernkurve vor uns, aber die FEST verfügt heute über sehr solide Grundlagen, um unseren Kunden das notwendige Vertrauen für die Realisierung eines Wasserstoffprojekts zu geben. Bei der Fokussierung auf unser Ziel der Lieferung sicherer, zuverlässiger und funktionsfähiger Anlagen steht unser starkes Engagement für die Zufriedenheit unserer Kunden stets im Mittelpunkt. Dies spiegelt sich in der Kernphilosophie unserer Unternehmensgruppe wider. Wir sind stolz darauf, den Übergang von Pilotanlagen zu vollwertigen kommerziellen Systemen vollzogen zu haben und dabei maßgeblich an der Weiterentwicklung der Branche mitzuwirken. In den nächsten Monaten planen wir die Inbetriebnahme weiterer Systeme unter Einsatz unseres umfassenden Know-how, immer mit dem Anspruch unseren Kunden eine reibungslose Durchführung zu garantieren. Auch zukünftig wird es unser Ziel sein, die Installation unserer Systeme beim Kunden zu optimieren und das Vorgehen von einem reinen Projektansatz zu einem produktgeleiteten Projektansatz weiterzuentwickeln.“ •

Kontakt für weitere Informationen:
FEST GmbH, Raymond Schmid, VP Sales & BD
Mobile: +49 176 1699 8802
→ www.fest-group.de



Abb. 2: Eine enge Zusammenarbeit sowie eine präzise Planung sind die Erfolgsfaktoren für die erfolgreiche und reibungslose Projektdurchführung. [Quelle: FEST GmbH]

„Grünes“ und „blaues“ Ammoniak von anderen Kontinenten soll nach Europa kommen

EINE NEUE ENERGIEINFRA- STRUKTUR ENTSTEHT

Mit Elektrolysewasserstoff hergestelltes Ammoniak soll zum grünen Energieträger und zur nachhaltigen Basischemikalie der Zukunft werden. Die Infrastruktur für den Import entsteht in Windeseile. In Hamburg und Brunsbüttel sollen 2026 neue Terminals den Betrieb aufnehmen. **Autorin:** Eva Augsten

Im Wasserstoffbereich war Japan schon oft seiner Zeit voraus. Im Jahr 2014 beschloss die japanische Regierung ihren vierten strategischen Energieplan. Wasserstoff und Brennstoffzellen standen bereits damals hoch im Kurs. Zugleich sollten verschiedene Importoptionen untersucht werden. Eine davon war Ammoniak.

Ammoniak besteht, wie die chemische Formel NH_3 verrät, aus Stickstoff und Wasserstoff. Hergestellt aus elektrolytisch und mit erneuerbaren Energien gewonnenem Wasserstoff sowie Stickstoff aus der Umgebungsluft, könnte es zu einem klimafreundlichen Energieträger der Zukunft werden. Im Gegensatz zu reinem Wasserstoff ist es vergleichsweise leicht zu transportieren: Ammoniak wird unter Umgebungsdruck „schon“ bei -33 °C oder unter knapp 9 bar bei 20 °C flüssig. Auch die Energiedichte von flüssigem Ammoniak liegt mit $11,4\text{ GJ/m}^3$ merklich über der von flüssigem Wasserstoff ($8,52\text{ GJ/m}^3$).

CRACKEN FRISST ENERGIE Mit sogenannten Crackern lässt sich das Ammoniak grundsätzlich wieder in Wasserstoff und Stickstoff zerlegen. Doch dabei handelt es sich um einen endothermen Prozess. Das Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI warnt in einer Metastudie zum Wasserstoffimport daher vor hohen Umwandlungsverlusten und hohen Kosten, wenn man Ammoniak als Träger nutzt, um am Ende wieder Wasserstoff zu erhalten.

Doch das ist gar nicht für alle Anwendungen nötig, denn Ammoniak lässt sich auch direkt als Brennstoff nutzen. Vor allem im Schiffsverkehr gilt Ammoniak als aussichtsreicher Treibstoff. Japan will das stechend riechende Gas vor allem in Kohlekraftwerken einsetzen. Einen Testlauf gab es schon. Ab 2021 haben die Firmen JERA und IHI in einem Gigawatt-Kohlekraftwerk 20 Prozent des Brennstoffs durch Ammoniak ersetzt. Nun entstehen erste kommerzielle Terminals. Ein Konsortium rund um Mitsubishi will ein Terminal im Hafen von Namikata auf Ammoniak umrüsten, und auch das Duo IHI und Vopak prüft, wo in Japan sich weitere Importterminals bauen lassen.

EUROPA MACHT TEMPO Seit der Energiekrise drückt auch Europa auf die Tube. Dabei kommt es gelegen, dass es für Ammoniak bereits kommerzielle Logistikprozesse gibt. Rund 20 Millionen Tonnen werden jährlich verschifft, vor allem für die Herstellung von Düngemitteln. Dass der Düngemittelriese Yara International mit 15 Schiffen und dem Zugang zu 18 Ammoniakterminals das nach eigenen Angaben größte Logistiknetzwerk dafür betreibt, überrascht daher nicht. Doch wenn Ammoniak zum Energieträger werden soll, wird der Transport noch deutlich zunehmen.

Anfang 2024 veröffentlichte das niederländische Institute for Sustainable Process Technology (ISPT) eine „Clean Ammonia Roadmap“. Dieser zufolge könnten allein im Industriecluster Antwerpen-Rotterdam-Rhein-Ruhr bis zu 25 Millionen Tonnen „sauberes“ Ammoniak erzeugt und importiert werden. Der Hafen von Rotterdam könnte sich dabei zum zentralen Umschlag- und Lagerplatz entwickeln. Nach Deutschland könnten laut der ISPT-Studie aus den Niederlanden und Belgien bis zu drei Millionen Tonnen jährlich weitertransportiert werden.

38



Abb. 1: Publikumswirksam, aber unpraktisch: Ammoniak-Testlieferung per Container im Jahr 2022 [Quelle: Senatskanzlei Hamburg]

NEUE UND UMGERÜSTETE TERMINALS Um Ammoniak direkt nach Deutschland zu bringen, sollen mehrere Terminals entstehen beziehungsweise erweitert werden. In Hamburg hat das Hafenundernehmen HHLA im Oktober 2022 testweise Ammoniak per Container aus Abu Dhabi importiert, mit dem der Kupferhersteller Aurubis den Ersatz von Erdgas probieren konnte – eine Aktion, die eher symbolisch anmutet. Für den echten Einsatz plant das Energieunternehmen Mabanaf eine Importkapazität von 600.000 Tonnen jährlich, die ab 2026 bereitstehen soll.

Auf dem von Mabanafs Tochtergesellschaft Oiltanking Deutschland betriebenen Tankterminal Blumensand soll auch ein Tank zur Lagerung von flüssigem Ammoniak entstehen. Ein Cracker soll das Ammoniak zu Stickstoff und Wasserstoff aufspalten können. Zur Vorbereitung des Genehmigungsverfahrens hat mittlerweile ein sogenannter Scoping-Termin mit der Umweltbehörde stattgefunden, bei dem gemeinsam mit direkt betroffenen Nachbarn, Umweltverbänden und weiteren Fachleuten der Umfang der freiwilligen Umweltverträglichkeitsprüfung diskutiert wurde.

Über das neue Terminal in Brunsbüttel will RWE jährlich rund 300.000 Tonnen grünes Ammoniak importieren, auch hier ist 2026 als Startjahr anvisiert. So richtig viel ist das nicht, wenn man es mit dem geplanten LNG-Terminal vergleicht, über das jährlich 8 Milliarden Kubikmeter verflüssigtes Erdgas nach Deutschland kommen sollen. Vergleicht man den Energiegehalt, geht es um 1.560 GWh Ammoniak und 80.000 GWh LNG.

RWE kündigte ebenfalls an, einen Cracker zu bauen, der einen Teil des Ammoniaks wieder in Wasserstoff und Stickstoff zerlegen soll. Durch den Energieverlust wird also das Verhältnis von Ammoniak und LNG noch weiter auseinanderdriften. RWE betont allerdings, dass eine Umrüstung des LNG-Terminals auf Ammoniak später möglich sein soll.

Weniger Schlagzeilen als die geplanten Neubauten machen dagegen die beiden vorhandenen Terminals von Yara in Brunsbüttel und Rostock, die der Konzern bisher nur für den Eigenbedarf nutzte. Schon dafür kommen jährlich rund 600.000 Tonnen Ammoniak in Rostock an. Insgesamt wäre Yara nach eigenen Angaben in der Lage, 3 Millionen Tonnen sauberes Ammoniak zu liefern, wenn die Nachfrage vorhanden sei.

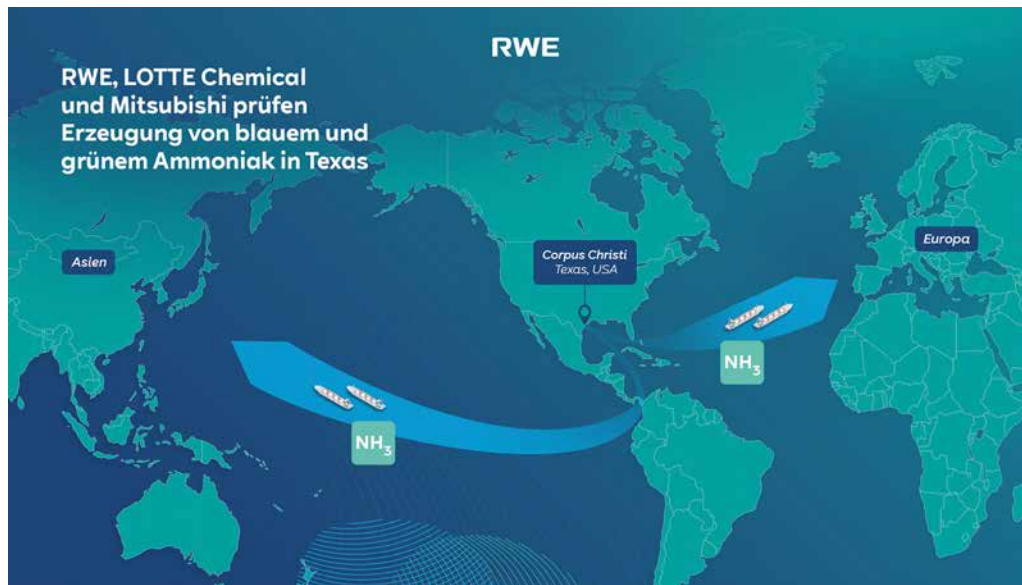


Abb. 2: Ab 2030 wollen LOTTE Chemical, Mitsubishi und RWE gemeinsam Ammoniak in Texas erzeugen [Grafik: RWE]

DISTRIBUTION PER BAHN ODER PIPELINE Einer der ersten Kunden von Yara könnte das Leipziger Gasunternehmen VNG sein. Eine entsprechende Kooperationsvereinbarung haben die beiden Firmen im Frühjahr 2023 unterzeichnet. Auch Mabanaf in Hamburg hat mit dem Prozessgas-Hersteller Air Products bereits einen Ankerkunden benannt. RWE prüft derzeit, ob und wie sich das Ammoniak auf dem Schienenweg in Deutschland weitertransportieren lässt. Mit an Bord ist dabei der Schienenlogistiker VTG.

Der Transport von Ammoniak per Bahn ist nicht neu, doch im Vergleich zur See birgt er ein höheres Risiko. Ammoniak riecht schließlich nicht nur unangenehm, sondern greift auch die Atemwege an. In der Vergangenheit kam es beim Transport per Zug und Lkw durch belebte Gegenden immer wieder zu Unfällen mit Verletzten oder gar Toten, unter anderem in Serbien im Dezember 2022 und im September 2023 im US-Bundesstaat Iowa. Der bulgarische Düngerkonzern Agropolychim investiert nach dem Unfall nun in eine neue Flotte von Ammoniaktankzügen.

Laut einer Studie des niederländischen Think Tanks ISPT könnten Pipelines den Transport von Ammoniak über Land deutlich sicherer machen. Rund 7.600 Kilometer Ammoniakpipelines gebe es bisher weltweit. In den vergangenen 50 Jahren habe es lediglich elf Unfälle gegeben, bei keinem davon seien Menschen gestorben.

WOHER KOMMT GRÜNES AMMONIAK? Bevor das Ammoniak nach Deutschland importiert werden kann, muss es allerdings erst einmal hergestellt werden. Ein Hotspot dafür wird voraussichtlich Namibia mit seinem H₂-Megaprojekt Hyphen Hydrogen Energy sein. Mit dem deutschen Unternehmen Enertrag als Anteilseigner ist der Weg des Wasserstoffs ein Stück weit vorgezeichnet. Eine Million Tonnen Ammoniak, erzeugt mit Wind- und Solarenergie, soll das Megaprojekt liefern. 300.000 Tonnen davon hat sich bereits RWE mittels einer Absichtserklärung reserviert. Doch schaut man auf die von ISPT genannten Mengen, wird auch die bisher anvisierte Produktion in Namibia nicht ausreichen.

RWE berichtet daher auch von einer Partnerschaft mit der koreanischen LOTTE Chemical und dem japanischen Mitsubishi-Konzern. Gemeinsam prüfen die Konzerne den Aufbau einer Produktion von bis zu 10 Millionen Tonnen Ammoniak jährlich im US-Bundesstaat Texas. Dabei geht es sowohl um „blaues“ als auch „grünes“ Ammoniak, entstehen soll die Produktion ab 2030. Damit erfüllt RWE auch gleich eine Empfehlung des Fraunhofer ISI für den Import von Wasserstoffderivaten: sich mit anderen künftigen Importnationen zusammenschließen, statt eine Konkurrenzsituation aufzubauen. •

acatech und BDI zeigen, was machbar ist

HYSUPPLY – DEUTSCH-AUSTRALISCHE WASSERSTOFFBRÜCKE

Das Energiesystem zu defossilisieren ist ein wichtiges Ziel der Energiewende – grünen Wasserstoff zu importieren eine mögliche Option dafür. Das Kooperationsprojekt HySupply von acatech und dem Bundesverband der deutschen Industrie (BDI) hat deshalb die Machbarkeit einer deutsch-australischen Wasserstoffbrücke geprüft. Das Ergebnis: Herstellung und Transport von Wasserstoff und Wasserstoff-Derivaten von Australien nach Deutschland sind technisch, ökonomisch und rechtlich möglich. Eine entscheidende Frage dabei: Wie könnten die Importe im Inland ökonomisch und technisch sinnvoll verteilt werden?

AutorInnen: Iryna Nesterenko, Philipp Stöcker

40



Abb. 1: HySupply/BMBF-Delegation bei Fortescue Future Industries am 25. Mai 2022 in Hazelmere, Perth [Quelle: BMBF]

Energieimporte sind für die deutsche Energieversorgung eine feste Größe. Konzentrierten sie sich bisher größtenteils auf Energieträger fossilen Ursprungs wie Erdgas und Erdöl, könnten sie schon bald um einen alternativen Energieträger erweitert werden: grünen Wasserstoff. Nach dem in der Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie enthaltenen Zielbild wird der Gesamtwasserstoffbedarf in Deutschland 2030 zwischen 95 und 130 TWh liegen und nur über Importe zu decken sein. Innerhalb der nächsten zehn Jahre könnte also australischer Wasserstoff eine Rolle im deutschen Energiesystem spielen. Aber warum kommt ausgerechnet das 14.000 Kilometer entfernt gelegene Australien dafür in Betracht?

ENERGIEVERSORGUNG STABIL UND RESILIENT GESTALTEN

Alle Voraussetzungen sprechen dafür: Erneuerbare Energien zur Herstellung von grünem Wasserstoff sind in Australien reichlich vorhanden. Zudem sind hinsichtlich einer zukunftssicheren und verlässlichen Versorgung die Bedingungen ideal: „Eine australisch-deutsche Wasserstoffbrücke verspricht eine stabile und für beide Seiten vorteilhafte Handelsbeziehung zwischen zwei demokratischen Staaten“, erklärt acatech-Präsident Jan Wörner die Voraussetzungen. „Wir haben jetzt die Gelegenheit, den Zukunftsmarkt Wasserstoff mitzugestalten und unseren Innovationsstandort damit resilienter gegen Abhängigkeiten zu machen. Dafür brauchen wir einen entschlossenen, gemeinsamen Aufbau von Infrastrukturen und Rahmenbedingungen.“

HySupply untersuchte von Ende 2020 bis Januar 2024, unter welchen technischen, ökonomischen und rechtlichen Voraussetzungen eine deutsch-australische Wasserstoffbrücke machbar ist. Durchgeführt wurde die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Machbarkeitsstudie von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und dem Bundesverband der deutschen Industrie. Die University of New South Wales (UNSW) leitete das australische Konsortium. Gefördert wurde dieses vom Department of Foreign Affairs and Trade (DFAT). Zusammen haben beide Seiten ein einzigartiges Netzwerk aus Fachleuten aus Wissenschaft und Wirtschaft vereint, um die gesamte Wertschöpfungskette zu untersuchen.

Allerdings werde die Technologie zum Transport flüssigen Wasserstoffs voraussichtlich innerhalb der nächsten 20 Jahre nicht verfügbar sein, stellte Robert Schlögl kürzlich im Rahmen eines Interviews mit dem Deutschlandfunk fest. Er ist Präsident der Alexander von Humboldt-Stiftung und acatech-Mitglied. Als Co-Projektleiter hat er HySupply ab dessen Start im November 2020 begleitet. Diese und weitere Herausforderungen beim Transport flüssigen Wasserstoffs sind der Grund, weshalb sich die Machbarkeitsstudie HySupply mit den Importmöglichkeiten von H₂-Derivaten beschäftigt, also Ammoniak, synthetischem Erdgas, Methanol, Fischer-Tropsch-Produkten und dem Trägermedium LOHC.

TRANSPORT- UND VERSORGENSROUTEN Bereits in der Vergangenheit haben sich Studien mit verschiedenen Schwerpunkten von Wasserstoffimporten beschäftigt. Das Besondere an der vorliegenden, für HySupply von der Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG erstellten Studie: Erstmals befasst sich eine Publikation explizit mit der letzten Meile, die die Infrastruktur meist vor die größten Herausforderungen stellt – technischer wie wirtschaftlicher Natur. Robert Schlögl erklärt dazu: „Die vorgelegte Studie analysiert, bewertet und vergleicht erstmals flächendeckend und umfassend alle wesentlichen Wasserstoffderivate und Transportoptionen, vom Importhub bis hin zum Endverbraucher.“

ABSCHLUSSTUDIE FOKUSSIERT DAS JAHR 2035

Die Nationale Wasserstoffstrategie sieht vor, bis zum Jahr 2032 ein über 9.000 Kilometer langes Wasserstoffkernnetz zu installieren. Es soll die großen Wasserstoff-Einspeiser mit allen großen Verbrauchern verbinden. Die erste Phase des Markthochlaufs bis 2035 erfordert, auf die wichtigsten logistischen Fragestellungen Antwortoptionen anbieten zu können. Das gilt insbesondere für die Verteiloptionen des importierten Wasserstoffs und der Wasserstoffderivate, die für den Markthochlauf benötigt werden. Die im Rahmen des Projektabschlusses von HySupply vorgestellte Abschlussstudie mit dem Titel „Wasserstoff Verteiloptionen 2035“ fokussiert daher genau auf diesen entscheidenden Zeitraum bis 2035 und gibt einen zusätzlichen Ausblick auf die folgenden zehn Jahre bis 2045.

Insgesamt sind es 543 Nachfragestandorte in Deutschland, die in diese Analyse eingeflossen sind. Sie wurden den verschiedenen Anwendungsfällen zugeordnet und hinsichtlich der Versorgungsmöglichkeiten mit Wasserstoff und dessen Derivaten untersucht. Anwendungsfälle – das sind die Herstellung von Ammoniak, Stahl, petrochemischen Basischemikalien und synthetischen Fluggastkraftstoffen. Außerdem zählen die Bereitstellung von Prozesswärme in der Metallerzeugung und -bearbeitung, die Herstellung von Glas und Keramik sowie die Papierindustrie dazu. Als Transportwege berücksichtigt die Studie Binnenschiffahrtsstraßen, Schienennetz, Wasserstoffkernnetz und Produktpipelines. So listet die Studie je Anwendungsfall die ökonomischen Vor- und Nachteile der jeweiligen Optionen auf.

FLEXIBILITÄT ENTSCHIEDET ÜBER DEN H₂-HOCHLAUF

Das H₂-Kernnetz spielt eine wichtige Rolle in der Versorgung der Industrie. Die Studie weist darauf hin, dass alle

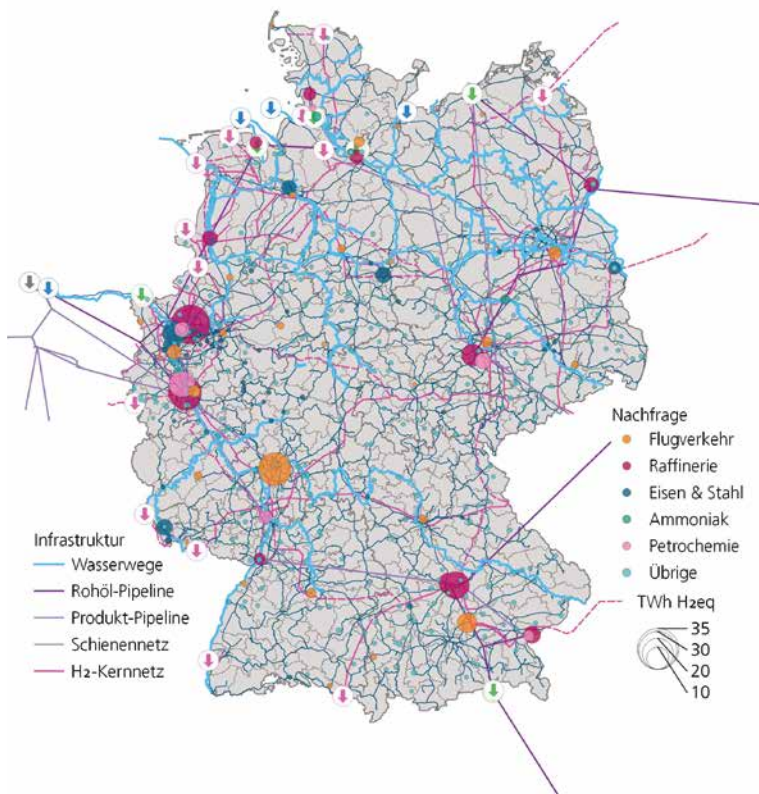


Abb. 2: Gesamtdarstellung des analysierten Versorgungsnetzes und Verteilung der Nachfragestandorte [Quelle: Fraunhofer IEG]



QUALITÄT SEIT 1912

MAGNETSCHULTZ

Ihre Spezialisten für elektromagnetische Lösungen



Ventile für Wasserstoff

- Hochdruckventile bis 1050bar, NW 2,7mm
- Sicherheitsabsperrentile bis 21bar, NW 8mm, vorgesteuert
- Mengenregelventile bis 25bar NW 2,8mm
- Schutzart bis IP6K9K
- Umgebungstemperatur -40°C bis + 125°C
- Niedrige Leckagewerte
- Diverse elektrische Anschlüsse und ATEX / IECEx - Ausführungen auf Anfrage
- Baugruppen mit Ventilen und Sensoren auf Anfrage

22.04.- 26.04.2024

HYDROGEN FUEL CELLS EUROPE

Halle 13, E30



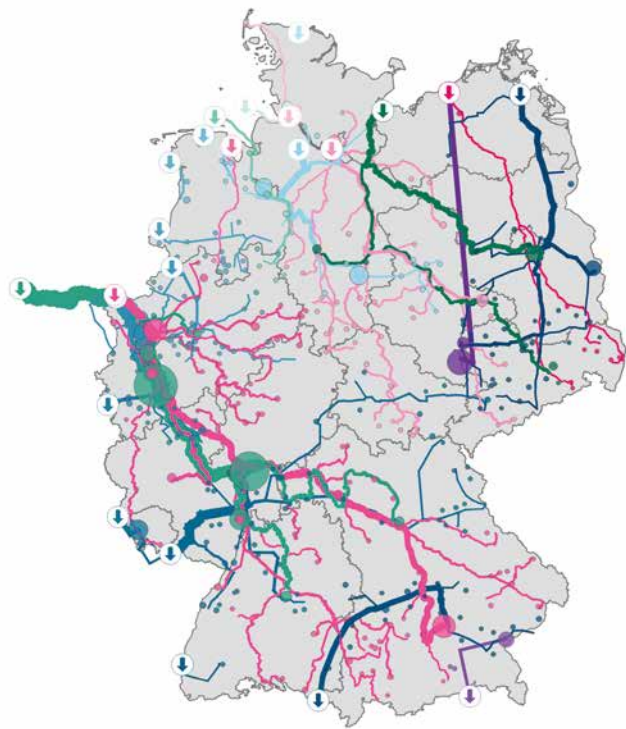


Abb. 3: Kostenoptimale Versorgungsketten [Quelle: Fraunhofer IEG]

identifizierten Standorte potenzieller Wasserstoffgroßnachfrager im Jahr 2035 durch das Wasserstoffkernnetz erreicht werden. Aber: Der Transport von Wasserstoff (-derivaten) per Binnenschiff oder Bahn stellt in vielen Fällen eine mögliche Alternative oder Ergänzung zur pipelinegebundenen Standortversorgung dar.

Rund elf Prozent der Standorte liegen bei einer Nachfrage von über 500 Gigawattstunden Wasserstoffäquivalent ($\text{GWh}_{\text{H}_2,\text{eq}}$). Größtenteils handelt es sich hier um Anwendungen wie die Herstellung von Basischemikalien und Stahl und den Einsatz von Ammoniak und synthetischen Fluggasturbinenkraftstoffen. 85 Prozent der untersuchten 543 Nachfragestandorte beanspruchen hingegen eine jährliche Nachfrage von weniger als $150 \text{ GWh}_{\text{H}_2,\text{eq}}$. Für diese Fälle ist die empfohlene Alternative zur pipelinebasierten Belieferung der Versorgungsanschluss per Binnenschiff oder Bahn.

INLÄNDISCHER TRANSPORT NUR GERINGER ANTEIL

Zwischen 3.400 und 16.000 Euro pro Tonne Wasserstoffäquivalent ($\text{EUR}/\text{tH}_2,\text{eq}$): So weit reicht die in der Studie angegebene Spanne der festgestellten Bereitstellungskosten zwischen den unterschiedlichen Use Cases. Dabei machen die Importkosten mit einem Bereich von 41 bis 100 Prozent den Großteil aus, wohingegen die Kosten für die inländische Weiterverteilung mit durchschnittlich fünf Prozent Kostenanteil vergleichsweise gering ausfallen. In die ökonomische Bewertung flossen die Kosten für die Bereitstellung von Wasserstoff und seinen Derivaten ein. Zusätzlich wurden die spezifischen Transport- und Umwandlungskosten mit einbezogen.

Karen Pittel, acatech-Präsidiumsmitglied und Leiterin des ifo Zentrums für Energie, Klima und Ressourcen, spricht sich für Flexibilität in den Verteiloptionen aus: „Diese alternativen Verteiloptionen spielen eine wichtige Rolle bei der Versorgung der Standorte mit vergleichsweise geringem Bedarf. Sie bringen die nötige Flexibilität mit, um in der ersten Phase des Markthochlaufs schnell in die Umsetzung zu kommen. Um das gewährleisten zu können, sollten wir die Leistungsfähigkeit der alternativen Verteiloptionen sichern und ausbauen.“

Dennoch wird der konsequente Ausbau des Wasserstoffkernnetzes insbesondere für Standorte mit hoher Nachfrage eine zentrale Rolle spielen. Den parallelen Ausbau der ver-

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZU DEN WASSERSTOFF-VERTEILOPTIONEN 2035

- Das Wasserstoffnetz muss weiter ausgebaut werden. Dabei gilt es Speichermöglichkeiten in der Planung zu berücksichtigen.
- Das bestehende Bahnstreckennetz muss erweitert und um neue Strecken ergänzt werden.
- Die Wasserstoffimportstrategie sollte zeitnah publiziert werden.
- In der Markthochlaufphase gilt es, Wasserstoffderivate zunächst stofflich und erst später als Wasserstoffträger zu nutzen.
- Produktpipelines sollten langfristig eingesetzt werden, um die Verteilung von Wasserstoffderivaten zu unterstützen.
- Nachhaltigkeitskriterien beim Import kohlenstoffhaltiger Wasserstoffderivate sollten über den Aufbau internationaler Zertifizierungssysteme garantiert werden.
- Wasserstoff- und CO_2 -Infrastrukturen müssen gemeinsam geplant und unter Berücksichtigung beidseitiger Wechselwirkungen aufgebaut werden.

Grenzübergangspreis

- Innereuropäisch
- Import Australien

Transport

- Umwidmung
- Neubau

Endverbrauch

- Energetisch
- Stofflich



zentrale Konversion

- Cracking
- Dehydrierung
- Gasifizierung

Dezentrale Konversion

- Cracking
- Dehydrierung
- Gasifizierung
- FT-Synthese
- Methanolherstellung

Abb. 4: Kostenmodell zur Bewertung der Versorgungsketten [Quelle: Fraunhofer IEG]

Tab. 1: Kategorien der modellierten Versorgungskettenausprägungen

| Importform | Zentrale Konversion | Transportform | Dezentrale Konversion | Use Case |
|-----------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| CH ₂ | Rekonversion in CH ₂ | H ₂ -Pipeline | Rekonversion in CH ₂ | Ammoniakherstellung |
| IH ₂ | keine | Produktpipeline | Derivatherstellung | Stahlerzeugung |
| LOHC | | Schiff | keine | Petrochemie |
| NH ₃ | | Schiene | | Flugverkehr |
| MeOH | | | | Sonstige Prozesswärme |
| FTP | | | | |

Quelle: Fraunhofer IEG

schiedenen Verteiloptionen sieht daher auch Robert Schlögl als essenziell notwendig an: „Die Fertigstellung des Wasserstoffkernnetzes muss energisch weiterverfolgt werden. Gleichzeitig müssen wir auch bei anderen Aufgaben, wie dem Ausbau des Bahnnetzes oder dem Aufbau von CO₂-Infrastruktur, ins Umsetzen kommen.“ •

Literatur

- www.acatech.de
- wasserstoff-kompass.de
- www.energiesysteme-zukunft.de

Spillmann, T.; Nolden, C.; Ragwitz, M.; Pieton, N.; Sander, P.; Rublack, L. (2024): Wasserstoff-Verteiloptionen 2035. Versorgungsmöglichkeiten von Verbrauchsstandorten in Deutschland mit importiertem Wasserstoff. Cottbus: Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie IEG

AutorInnen:

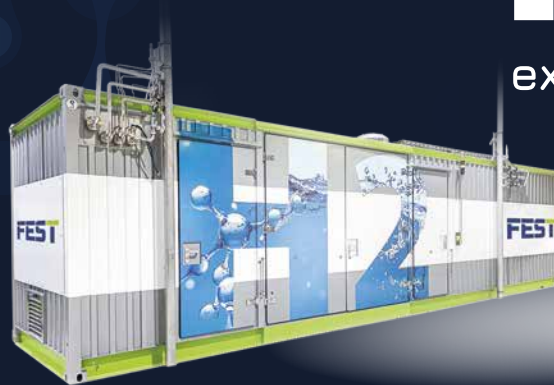


Iryna Nesterenko
→ nesterenko@acatech.de



Philipp Stöcker
Beide von acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

HYDROGEN IS OUR PASSION.



FEST

experience for future



FROM PRODUCTION TO CONSUMER. SOME OF OUR REFERENCES:

contact us:



DE | Cuxhaven



2 MW Electrolyzer with swap storage filling

SE | Ljungby



3 MW Electrolyzer for merchant gas

DE | Frankfurt

5 MW Electrolyzer for train refueling

AT | Vienna

3 MW Electrolyzer for bus refueling

NO | Hellesylt-Geiranger

3 MW Electrolyzer with swap storage filling for ships & car refueling

AM ANFANG WAR DIE TANKSTELLE

Lange haben wir die Frage diskutiert, was beim Hochlauf einer Wasserstoffmobilität an erster Stelle steht. Doch dieses Henne-Ei-Problem gibt es eigentlich gar nicht: Die Tankstelle kommt immer zuerst! Warum das so ist, zeigt beispielhaft die erste Wasserstofftankstelle in Gießen. **Autor:** Marcel Corneille



Abb. 1: H₂-Tankstelle Clean Energy Station: Gut zu erkennen ist die Photovoltaikanlage, mit der das Dach der Tankstelle vollflächig belegt ist. [Quelle: Emcel]

Im August 2023 wurde von der Firma Roth Holding & Co. KG die erste Wasserstofftankstelle im Landkreis Gießen unter dem Label „Clean Energy Station“ in Betrieb genommen. Vor der vorangegangenen Planungs- und Genehmigungsphase hatte sich der Betreiber Frank Roth zwei wesentliche Fragen gestellt: Habe ich heute Kunden für die Wasserstofftankstelle? Und definieren die gesetzlichen Rahmenbedingungen klar, was grüner Wasserstoff ist?

In beiden Fällen lautete die Antwort nein. Aber das Gefühl war: Der Kunde will grünen Wasserstoff, also fange ich an, eine entsprechende Tankstelle zu bauen. Schon während der Bauphase zeigte sich, dass die Kunden kommen und grünen Wasserstoff wollen. Wie hat das so gut geklappt?

DIE ANLAGE Diese Anlage am Schiffenberger Weg ist für alle Fahrzeugtypen geeignet und bietet als Multi-Energie-Tankstelle Diesel, Benzin, Elektrizität und Wasserstoff an. Vor Ort wird grüner Wasserstoff aus eigenen, regionalen Windkraft- und Solaranlagen produziert. Die Erzeugung mittels Elektrolyse erfolgt mit einem 1,25-MW_{el}-PEM-Elektrolyseur, der

auf 2,5 MW_{el} erweiterbar ist und in der Ausbaustufe bis zu 36 kg_{H₂}/h produzieren kann. Der H₂-Speicher an der Tankstelle kann bis zu zwei Tonnen Wasserstoff speichern.

Die Abgabe des Wasserstoffs erfolgt mit 350 bar an Busse sowie Lkw und mit 700 bar an Pkw. Um Schwankungen bei der Erzeugung oder Nachfrage abzufangen, kann auch externer Strom in den Elektrolyseur eingespeist werden. Außerdem lässt sich Wasserstoff per Lkw mittels Trailer anliefern. Darüber hinaus kann zu viel produzierter Wasserstoff, ebenfalls per Trailer, an weitere Tankstellen oder Kunden in der Umgebung abgegeben werden. Dadurch ist die Tankstelle sehr flexibel, kann ein großes Nachfragespektrum handhaben und bei Bedarf weitere Abnehmer mitversorgen.

WAS IST WICHTIG? H₂-Tankstellen sind als Keimzelle für die Energiewende und die Sektorkopplung unerlässlich. Sie verbinden den erneuerbaren Strom mit den Kunden der Mobilität. Dabei wird häufig über das Henne-Ei-Problem diskutiert. In der Praxis zeigt sich, dass das eine überholte Diskussion ist. Die Tankstelle muss zuerst da sein. Sie ist in der Lage, Kunden auf vielfältige Weise anzuziehen. Der wesentliche Punkt dabei ist, dass sie für alle Beteiligten Planungssicherheit schafft.

H₂-LERNWERKSTATT IM LANDKREIS GIESSEN

Die Lernwerkstatt wurde vor dem Hintergrund der eCoach-Bus-Beratung, die von der LandesEnergieAgentur (LEA Hessen) angeboten wird, zusammen mit Emcel entwickelt und maßgeblich durch die Fahma Fahrzeugmanagement GmbH umgesetzt. Die Lernwerkstatt erlaubt den Busunternehmen im Landkreis Gießen und Umgebung einen niederschweligen Einstieg in den elektrischen ÖPNV, der mit einem relativ geringen finanziellen Risiko verbunden ist. Sie können Erfahrungen mit Wasserstoffbussen sammeln, und gleichzeitig lernen die Bürger den Wasserstoff-ÖPNV kennen.

Die Projekte H₂-Tankstelle und H₂-Lernwerkstatt verbinden sich zu beiderseitigem Vorteil: Die Tankstelle ermöglicht den Busbetrieb und bietet der Lernwerkstatt eine gesicherte Wasserstoffquelle, und die Lernwerkstatt verschafft der Tankstelle Stammkunden mit entsprechendem Wasserstoffbedarf.

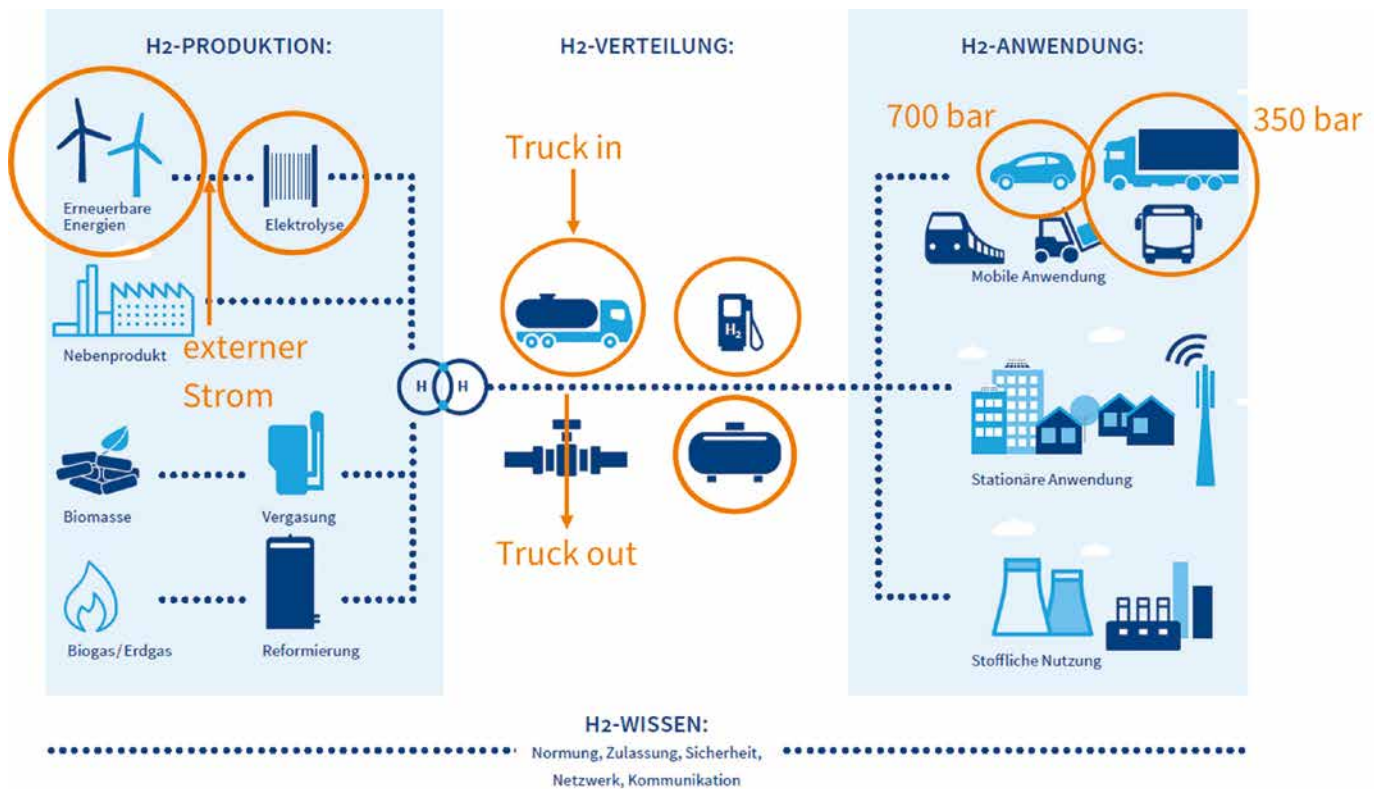


Abb. 2: Die H₂-Wertschöpfungskette – von der H₂-Erzeugung aus Erneuerbaren bis zum Flottenbetrieb. In Orange sind die wesentlichen Bausteine hervorgehoben. [Quelle: Emcel]

HYWHEELS HESSENFLOTTEN-CLUSTER

Das HYWHEELS Hessenflotten-Cluster ist aus einer Studie hervorgegangen, mit der 2020/21 in der Region Fulda ein Feinkonzept für wasserstoffbasierte Transportlogistik erstellt wurde. Das Cluster stellt eine zentrale Anlaufstelle für Akteure aus den Bereichen Logistik und Infrastruktur (Tankstellen sowie Service und Wartung) dar und hat sich zum Ziel gesetzt, Logistikunternehmen einen niederschweligen Einstieg in die wasserstoffbetriebene Nutzfahrzeugmobilität zu ermöglichen. Diese profitieren von einer leichteren Beschaffung der Brennstoffzellen-Lkw, zugänglicher H₂-Infrastruktur und niedrigeren finanziellen Risiken. Tankstellenbetreiber wie die H₂-Tankstelle Gießen gewinnen wiederum weitere Wasserstoffabnehmer.

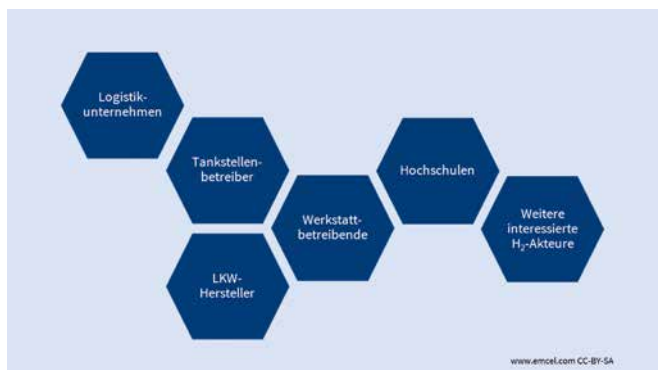


Abb. 3: Das HYWHEELS Hessenflotten-Cluster bietet den dargestellten Akteuren Synergieeffekte und Mehrwert durch Vernetzung und Zusammenarbeit. [Quelle: Emcel]

Bei der Station in Gießen lief das beispielsweise so ab, dass der Betreiber Roth und alle Projektbeteiligten vom Bau der Tankstelle in ihren Netzwerken erzählten. Diese haben sehr schnell Interesse am Wasserstoff bekundet. Zwei Beispiele sind die Initiativen H₂-Lernwerkstatt im Landkreis Gießen (s. Kasten 1) und das HYWHEELS Hessenflotten-Cluster aus Fulda (s. Kasten 2). Das Ingenieurbüro Emcel hat die Planung und Genehmigung der Tankstelle mitbegleitet und die Vernetzung mit diesen beiden Initiativen gefördert, die ebenfalls von Emcel mitentwickelt wurden.

FAZIT Wasserstofftankstellen treiben die Mobilitätswende an. Als direkte Kunden profitieren Flottenkunden wie die H₂-Lernwerkstatt und das HYWHEELS Hessenflotten-Cluster, weil sie sich nicht selbst um eine Wasserstoffversorgung kümmern müssen. Aber auch für die Anlieferung von Wasserstoff an die Tankstelle und die Speicherung von

erneuerbarer Energie sind die Tankstellen willkommene Abnehmer. Der wesentlichste Faktor in dieser Phase des H₂-Markthochlaufs ist aber die Planungssicherheit, die die Wasserstofftankstellen für die Energie- und Antriebswende bieten. Privat- und Geschäftskunden können so verlässlich ihre Flottenumstellung angehen. •



Autor:
Marcel Corneille
Emcel GmbH, Köln
→ marcel.corneille@emcel.com

UNTERSTÜTZTER FROSTSTART BEI -40 °C

Der Froststart von Brennstoffzellen ist nach wie vor eine Herausforderung. Bei Temperaturen unter 0 °C sinkt nicht nur der Wirkungsgrad, auch Degradationsmechanismen, wie zum Beispiel die Eisbildung in den Membranen, reduzieren die Lebensdauer der Zellen erheblich. Um diese Degradation zu vermeiden, ist es nötig, ein Brennstoffzellensystem schnell und zuverlässig mit thermischer Energie zu versorgen, sobald die Temperatur unter dem Gefrierpunkt liegt [1].

AutorInnen: Inga Bürger, Alina Keller, Christian Brack, Hanna Lösch, Andreas Weigl, Marc Linder

46

Eine Aufheizung erfolgt in der Regel durch integrierte elektrische Heizelemente, die kaum zusätzliches Gewicht verursachen und flexibel einsetzbar sind. Allerdings benötigen sie zusätzliche elektrische Energie, die üblicherweise von einer Batterie bereitgestellt wird. Liegt die Umgebungstemperatur jedoch unter -20 °C , kann dies wiederum zu einer starken Degradation und/oder Funktionsunfähigkeit der Batterie führen. Bei Temperaturen zwischen -20 °C und 0 °C ist die katalytische Verbrennung von Wasserstoff eine weitere Möglichkeit, die benötigte Wärmeenergie bereitzustellen. Für Temperaturen unter -20 °C gibt es jedoch nur in begrenztem Maße geeignete Technologien.

Da während des Betriebs einer Brennstoffzelle ausreichend Abwärme vorhanden ist, könnte man sich fragen, ob nicht ein Teil dieser Energie gespeichert und beim nächsten

Froststart bereitgestellt werden könnte, siehe Abb. 1. Diese Möglichkeit würde jedoch voraussetzen, dass es einen Speicher gibt, der zum einen thermische Energie quasi verlustfrei speichern kann – da der nächste Start erst Tage später sein könnte. Zum anderen muss das Speichersystem diese Energie bei Bedarf auch bei Temperaturen von unter -20 °C innerhalb von kurzer Zeit freisetzen können.

THERMOCHEMISCHES REAKTIONSSYSTEM Das thermochemische Reaktionssystem aus Metallhydriden (MH) und Wasserstoff erfüllt all diese Anforderungen (siehe [2]): Es kann große Mengen thermischer Energie über Tage bis Monate verlustfrei speichern und bei Bedarf die thermische Energie bei niedriger Umgebungstemperatur wieder abgeben. Darüber hinaus basiert es auf einer Reaktion mit Wasserstoff, der in jedem Brennstoffzellensystem zur Verfügung steht.

Die gaseitige Integration eines solchen Metallhydrid-Wärmespeichersystems ist relativ einfach und kann zusätzlich von den verschiedenen vorhandenen Druckniveaus in einer Brennstoffzelleninfrastruktur profitieren. Denn diese unterschiedlichen Druckniveaus ermöglichen die Nutzung der sogenannten Temperatur-Druck-Korrelation von Metallhydrid-Systemen (s. Abb. 2, rechts): Immer dann, wenn Wasserstoff auf hohem Druck zugeführt wird, wird Wärme auf einem hohen Temperaturniveau freigesetzt. Bei der Abgabe von Wasserstoff auf einem niedrigeren Druckniveau kann hingegen Wärme niedriger Qualität gespeichert werden.

Abbildung 3 veranschaulicht das Grundkonzept einer solchen Metallhydrid-basierten Temperature Control Unit (TCU). Sobald das Ventil zwischen der H_2 -Zuleitung und der TCU geöffnet wird, wird Wasserstoff vom Metallhydrid auf dem hohen Druckniveau P_1 absorbiert. Die thermische Energie wird auch bei Umgebungstemperaturen von $T < -30\text{ °C}$ sofort freigesetzt, und die Brennstoffzelle (BZ) bzw. der H_2 -Verbraucher kann somit zügig auf mindestens $+5\text{ °C}$ aufgeheizt werden. Da-

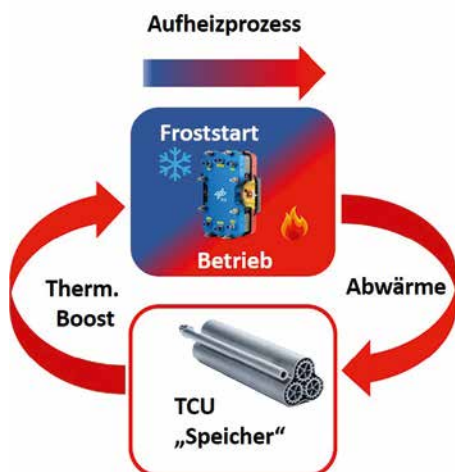


Abb. 1: Schema der Temperature Control Unit (TCU), die die „Abwärme“ der Brennstoffzelle während des Betriebs für das nächste Froststartereignis speichert.

METALLHYDRID-WASSERSTOFF-SYSTEM

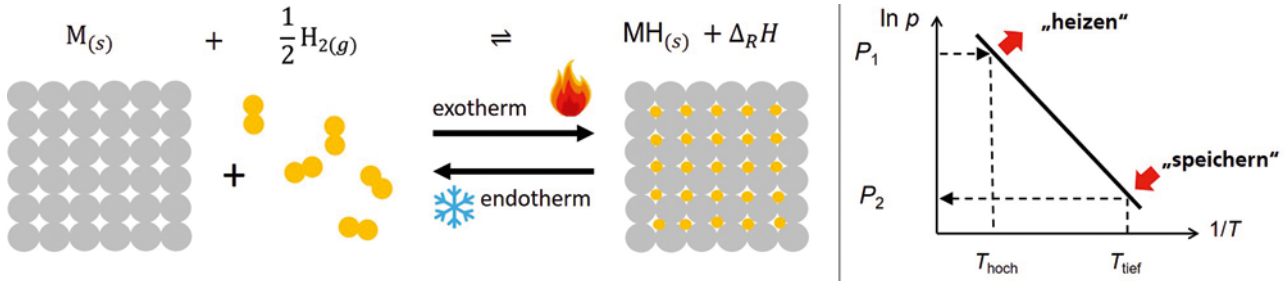


Abb. 2: Links: Reaktionsgleichung für die MH-H₂-Reaktion. Rechts: Schema der Druck-Temperatur-Korrelation des reversiblen MH-H₂-Reaktionssystems.

Metallhydride (MH) reagieren reversibel mit Wasserstoff (H₂, s. Abb. 2, li.).

Bei diesem Reaktionssystem handelt es sich um ein sogenanntes Gas-Feststoff-Reaktionssystem, das aufgrund zweier Besonderheiten für die verlustfreie Langzeitspeicherung von thermischer Energie genutzt werden kann: Erstens ermöglicht die Gas-Feststoff-Reaktion eine einfache Trennung der Komponenten – Gas und Feststoff – und damit ihre langfristige und verlustfreie Speicherung. Zweitens ist die reversible Reaktion bei der Absorption exotherm und bei der Desorption von gasförmigem H₂ endotherm.

Für den zugrunde liegenden Absorptionsprozess können schnelle Reaktionsgeschwindigkeiten von weniger als 100 Sekunden für eine vollständige Umsetzung, selbst bei

Temperaturen unterhalb von -20 °C, beobachtet werden. In Kombination mit den hohen Reaktionsenthalpien von -25 kJ/mol_{H₂} ist es daher möglich, thermische Energie mit einer sehr hohen spezifischen Wärmeleistung aus dem System freizusetzen (5 kW/kg_{MH}).

Abbildung 2 zeigt rechts ein Schema der Temperatur-Druck-Korrelation, die das Reaktionssystem charakterisiert. Aufgrund dieser Korrelation ist es möglich, thermische Energie auf einem höheren Temperaturniveau freizusetzen als auf jenem, auf dem sie eingespeichert wurde – wenn H₂ mit einem höheren Druck bereitgestellt wird, als er abgegeben wird. Dies kann beispielsweise dadurch realisiert werden, dass das Modul (TCU) zwischen der H₂-Versorgung und dem H₂-Verbraucherdruckniveau platziert wird.

47

durch werden die Degradationsmechanismen des Froststart-Szenarios vermieden. Sobald die Betriebstemperaturen der Brennstoffzelle mehr als 40 °C betragen, kann wiederum thermische Energie zum „Aufladen“ der TCU bereitgestellt werden, während der Wasserstoff auf niedrigem P₂ an die BZ abgegeben wird. Der Wasserstoff wird in diesem System somit nicht verbraucht, sondern nur zur Speicherung der Wärmeenergie in den chemischen Bindungen zwischen H₂ und MH verwendet.

ENTWICKLUNG EINES NEUARTIGEN MODULS Am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) wurde in den vergangenen Jahren ein neuartiges Modul für diese Anwendung entwickelt. Kernstück ist ein Reaktordesign, das in der Lage ist, hohe thermische Leistungen aus dem MH-Pul-

ver auf ein externes Wärmeträgerfluid zu übertragen, wie zum Beispiel ein Standard-BZ-Kühlfluid. Dazu musste eine Geometrie für einen optimierten Wärme- und Gasübergang entwickelt werden, die weitere Randbedingungen wie die Dichtheit gegenüber H₂ sowie das Pulverhandling für den Füllvorgang des Materials berücksichtigt.

Das Design basiert auf drei Rohren mit Durchmessern von 15 mm in einem Bündel mit einer Länge von 250 mm (s. Abb. 4). Im Inneren werden ~ 306 g des MH-Materials als Pulver eingefüllt. Die Betriebsbedingungen sind auf eine maximale Betriebstemperatur von 100 °C und auf einen maximalen Druck von 12 bar eingestellt.

Um ein System mit einem geringen Gewicht zu realisieren, wurde das Rohrbündel-Design auf der Grundlage additiver Fertigungsverfahren unter Verwendung der Alu-

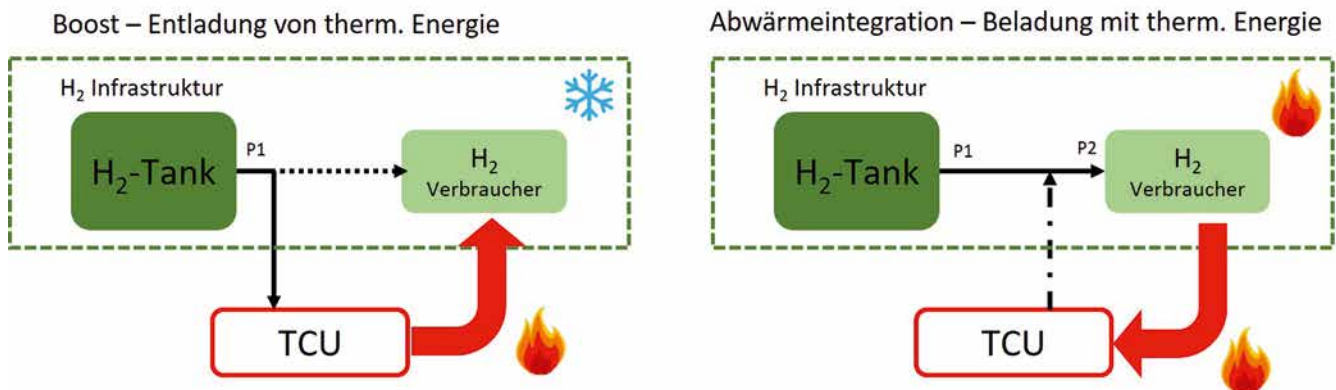


Abb. 3: Schema der Integration der TCU in die H₂-Infrastruktur. Links: Thermische Entladung, rechts: Thermische Beladung

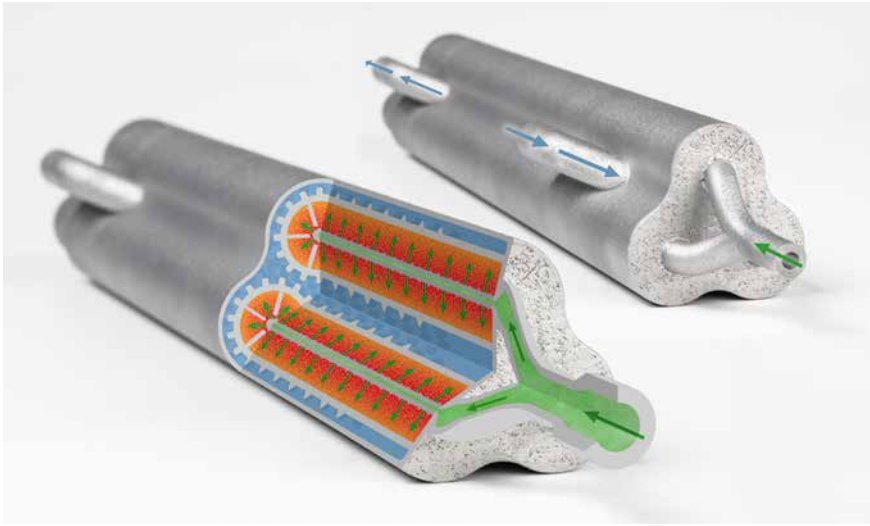


Abb. 4: Bild und Schema des Kernreaktordesigns der TCU. Grün steht für H₂, Orange-Rot für das reagierende MH-Pulver und Blau für die Wärmeträgerflüssigkeit [Quelle: DLR]

miniumlegierung AlSi₁₀ entwickelt. Im Druckverfahren wurden Rippen an der inneren und Nadeln an der äußeren Wärmeübertragungsfläche für einen verbesserten Wärmeübertragungsprozess vom Pulver-MH (orange-rot) zur Wärmeträgerflüssigkeit (blau) integriert. Außerdem wurden in axialer Richtung Filterrohre für den verbesserten radialen Wasserstofftransport (grün) vorgesehen. Dadurch konnte ein Design mit einem Verhältnis von Masse des Reaktors zu Masse des Metallhydrids von $m_{\text{Reaktor}} / m_{\text{MH}} = 0,97 < 1$ realisiert werden. Dies liegt weit unter den herkömmlichen Designs, die üblicherweise Verhältnisse von > 2 aufweisen.

Unter Verwendung dieses Designs wurde eine kleine Serie von zwölf Reaktoren hergestellt und von Industriepartnern befüllt. Die ersten Berst-, Brand- und Falltests wurden erfolgreich durchgeführt.

Abb. 5 zeigt Oberflächenaufnahmen des TCU mit einer Thermografiekamera für ein Experiment zum Zeitpunkt des Starts bei -20 °C sowie im aktivierten Zustand, nachdem ein H₂-Druck von 8 bar angelegt wurde.

Das Modul hat seine Anwendbarkeit bereits in verschiedenen Untersuchungen bewiesen. So wurde es erfolgreich in ein System mit einem von DLR-TT konzipierten BZ-Stapel integriert (s. Abb. 6), der im Rahmen des FCCP-Projekts – wurde von Interreg NorthWestEurope gefördert (NWE596) – in verschiedene Lastenpedelecs eingebaut wurde. Basierend auf dieser Integration wurde die Anwendbarkeit als thermischer Booster für ei-

nen Kaltstart ab -20 °C mit über 2 kW/kg_{MH} als Stand-alone-Einheit nachgewiesen [3]. Weiterhin wurde nachgewiesen, dass die Integration in das BZ-System einen positiven Einfluss auf die Performance ab -7 °C hat. Es wurde ein Temperaturanstieg auf +5 °C in weniger als 40 s gezeigt sowie eine deutlich reduzierte Eisbildung abgeleitet [4].

LEISTUNGS-PERFORMANCE BEI -40 °C

Wie bereits erwähnt, gibt es für Temperaturen über -20 °C alternative Heiztechnologien, die nur geringes Zusatzgewicht verursachen (z. B. elektrische Heizungen). Für Temperaturen unter -20 °C gibt es jedoch nur wenige eigenständige Heizungsoptionen. Ein geeignetes Modul könnte somit Brennstoffzellen oder anderen H₂-Technologien mit Froststartanforderungen zu einem Durchbruch verhelfen.

Das entwickelte Modul wurde daher kürzlich in einen angepassten Laboraufbau integriert und getestet. Der Aufbau ist in der Lage, Temperaturen von -40 °C im Wärmeträgerfluid zu realisieren und Wasserstoff bei den erforderlichen Drücken von 4 bis 8 bar bereitzustellen. Für die Auswertung der Experimente konnte der H₂-Massenstrom und damit die Gesamtmasse des dem Modul zugeführten Wasserstoffs gemessen werden. Außerdem konnte die auf das Wasser-Glykol-Gemisch übertragene Wärmeleistung durch Messung des Flüssigkeitsdurchflusses sowie der Ein- und Austrittstemperaturen bestimmt werden. Die Experimente wurden bei 10, 0, -10, -20, -30 und -40 °C und einem H₂-Druck von 8 bar mit einem maximalen Wasserstoffdurchsatz von 50 NLmin⁻¹ durchgeführt.

Eine Zusammenfassung der in der Flüssigkeit gemessenen spezifischen Wärmeleistung in kW/kg_{MH} für verschiedene Einlasstemperaturen von bis zu -40 °C ist in der Grafik in Abbildung 7 dargestellt. Offensichtlich wird die thermische Energie für alle Anfangstemperaturen sofort nach dem Öffnen des Ventils bei $t = 10$ s freigesetzt. Dies zeigt, dass es auch bei -40 °C keine wesentliche Begrenzung der Reaktionsgeschwindigkeit dieser chemischen Reaktion gibt.

Nach etwa 20 s wird bei der spezifischen Wärmeleistung ein Spitzenwert von ~ 3 kWh/kg_{MH} erreicht. Dieses Maximum ist für alle Anfangstemperaturen identisch und kann auf den maximalen Wasserstoffdurchsatz von 50 NLmin⁻¹, der dem System zugeführt werden kann, zurückgeführt werden. Eine Aufhebung dieser Be-

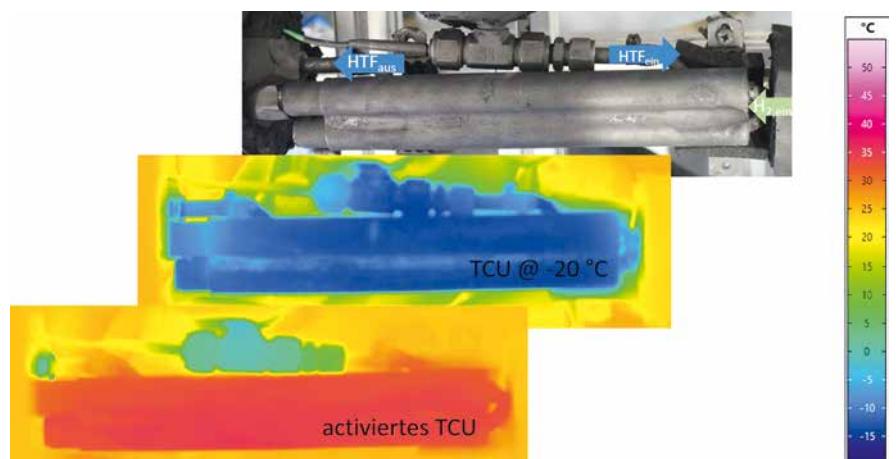


Abb. 5: TCU mit Oberflächenaufnahme durch eine Thermografiekamera für den Ausgangszustand bei -20 °C und den aktivierten Zustand bei 8 bar

grenzung könnte somit noch höhere thermische Leistungen erzielen.

Nach etwa 100 s ist die gesamte im Metallhydrid gespeicherte Wärmeenergie freigesetzt, wie die auf der rechten Achse des Diagramms in Abbildung 7 angegebene spezifische Wärmeenergie zeigt. Mit den vorliegenden Experimenten konnte eine Entladerate oder auch C-Rate des Moduls von $\sim 50 \text{ h}^{-1}$ – selbst bei Starttemperaturen von $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ – nachgewiesen werden.

VIELSEITIGE ANWENDBARKEIT DES SYSTEMS Das entwickelte TCU-Modul hat somit seine Anwendbarkeit für H_2 -Systeme bei Froststart bis $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ unter Beweis gestellt. Es ist darüber hinaus nicht auf die Kombination mit einer Brennstoffzelle beschränkt, sondern kann auch für andere Systeme verwendet werden, die Wasserstoff verbrauchen oder Wasserstoff in stationären oder mobilen Anwendungen benötigen. Sobald es in ein System integriert ist, ist zudem die Anzahl der TCU-Betriebsereignisse nicht auf Anfangstemperaturen unter $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ beschränkt, sondern es können Startvorgänge bei jeder Anfangstemperatur unterhalb der Betriebstemperatur unterstützt werden. Des Weiteren ist das integrierte Modul auch in der Lage, Temperaturspitzen während des Betriebs zu reduzieren. Somit kann das TCU als multifunktionales Modul die Flexibilität und Leistungsfähigkeit des gesamten Wärmemanagements eines H_2 -Systems erhöhen.

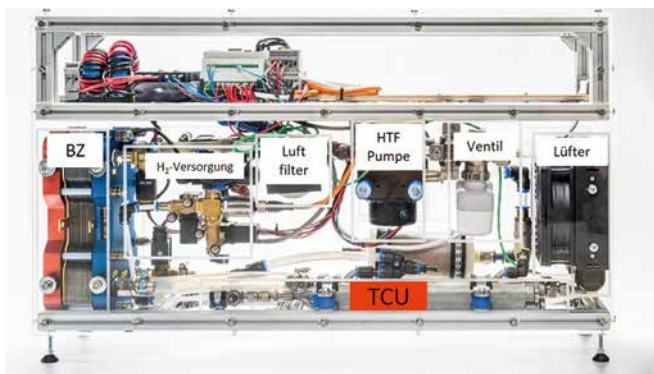


Abb. 6: Bild eines Brennstoffzellensystems mit integrierter TCU (unten, rechts), siehe [4] [Quelle: DLR]

Da das System auf der Speicherung thermischer Energie basiert, ist es offensichtlich, dass die erforderliche Masse und die Materialkosten linear mit der Menge der thermischen Energie ($190 \text{ kJ/kg}_{\text{MH}}$) ansteigen. Es liegt auf der Hand, dass der Vorteil des Moduls, keine zusätzliche Energie für den Heizvorgang zu verbrauchen, den Nachteil des zusätzlichen Gewichts nur dann überwiegt, wenn das Modul so oft wie möglich verwendet wird. Daher ist die spezifische Dimensionierung und Integration des Systems von entscheidender Bedeutung für die Effizienz des Gesamtsystems. Dies könnte durch intelligente Anfahrstrategien erreicht werden, beispielsweise indem ausreichend Energie für einen Teil des Brennstoffzellensystems, die Batterie, kritische Ventile oder andere wichtige Systemkomponenten bereitgestellt wird.

An diesem Vorhaben beteiligt sind das Unternehmen Tecnodelta, das für die Befüllung, Versiegelung und Aktivierung des Materials in den Reaktoren zuständig ist, sowie die Firma 3D-Laserdruck, die für die Herstellung der Reaktoren mittels additiver Fertigung verantwortlich ist. •

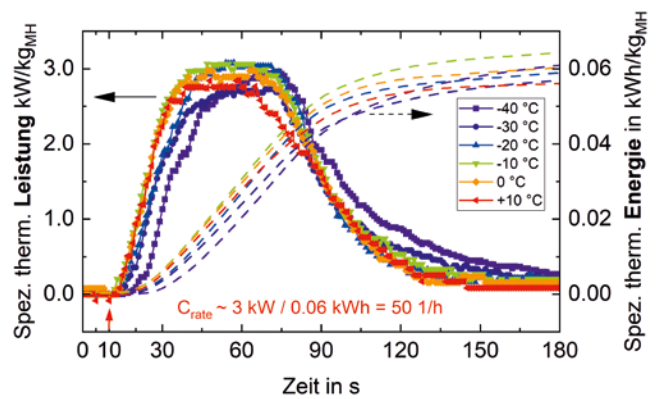


Abb. 7: Spezifische thermische Leistung (links) und freigesetzte spezifische thermische Energie (rechts) für Experimente bei 8 bar H_2 und Anfangstemperaturen von bis zu -40 °

Literatur

- [1] Liu P, Xu S. A progress review on heating methods and influence factors of cold start for automotive PEMFC system. SAE international, 2020, <http://dx.doi.org/10.4271/2020-01-0852>.
- [2] Kölbig et al., Review on thermal applications for metal hydrides in fuel cell vehicles: Operation modes, recent developments and crucial design aspects, RSER, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112385>
- [3] Bürger et al., Lightweight reactor design by additive manufacturing for preheating applications using metal hydrides, Int J. Hydrogen Energy, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.06.091>
- [4] Melnik et al., Energy efficient cold start of a Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell coupled to a thermochemical metal hydride preheater, Applied Energy, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122585>

AutorInnen:



Dr.-Ing. Inga Bürger
DLR Institute of Engineering
Thermodynamics, Stuttgart
→ inga.buerger@dlr.de

Alina Keller, Christian Brack, Hanna Lösch, Andreas Weigl,
Dr.-Ing. Marc Linder



EINE KNIFFELIGE ANGELEGENHEIT

In der Forschung dienen Drohnen mit Brennstoffzellen (BZ) und flüssigem Wasserstoff als Modell für eine klimaschonendere Luftfahrt. Die unbemannten Fluggeräte zeigen jedoch auch, welche Hürden es noch zu überwinden gilt. Raketentechnik hilft dabei nicht. **Autorin:** Monika Rößiger



Abb. 1: Eingang zum ZAL in Hamburg-Finkenwerder
[Fotos: Monika Rößiger]

Auf der Elbinsel Hamburg-Finkenwerder empfängt den Besucher ein bizarrer Kontrast zwischen gestern und morgen: Nicht weit von einer beschaulichen Backstein-Siedlung aus den 1950er-Jahren liegt das Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung (ZAL), ein futuristischer Gebäudekomplex mit Hallen, Laboren und Büros. Rund 600 Menschen aus

aller Welt arbeiten hier daran, die Zukunft der zivilen Luftfahrt umweltverträglicher und im besten Fall klimaneutral zu machen. Der silberfarbene „Turm“ am Eingang verkündet das Forschungsziel bereits mit der Aufschrift: „Hydrogen. Flying green tomorrow.“ Dabei handelt es sich um einen 20 Meter hohen Tank, gefüllt mit gasförmigem Wasserstoff mit einem Druck von 45 bar.

Vom Empfang aus geht es durch lange Flure in den zweiten Stock, von wo aus sich der Blick in die sogenannte Akustikhalle öffnet. Im Prinzip ein Hangar, in dem es ein wenig nach Kunststoff riecht. An den Wänden verlaufen unzählige Rohre, zum Beispiel für Stickstoff, Wasserstoff oder Pressluft. Man hört das Summen und Surren von Aggregaten und Schaltanlagen sowie das Rauschen der Lüftung.

Im Brennstoffzellenlabor des ZAL zeigt Sebastian Altmann auf ein spinnenartiges Objekt aus schwarzer Kohlefaser: „Das ist unsere LiquiDrone, sozusagen der größere Bruder des ZALbatros.“ Beide Namen stehen für H₂-Drohnen mit sechs Rotoren, die hier entwickelt wurden. Was bei der LiquiDrone in etwa so aussieht, als hätte man ihr eine rote Taucherflasche auf den Rücken geschnallt, ist ein karbonfaserverstärkter Tank mit gasförmigem Wasserstoff, komprimiert auf 350 bar, der für erste Flugversuche dient. Später wird er durch einen Flüssigwasserstofftank ersetzt. Unter dem Tank befinden sich zwei Kammern mit Brennstoffzellen, die das Gas zusammen mit Luft in Strom umwandeln, und der treibt die Elektromotoren an den Rotoren an.

Der „kleinere Bruder“ ZALbatros, der mit ausgeklappten Rotoren gut zwei Meter im Durchmesser misst, ist genau genommen eine Forschungsplattform, die als Basis für wissenschaftliche Projekte dient. Zwei Brennstoffzellensysteme mit einer Leistung von jeweils 800 Watt versorgen die Elektromotoren des Hexakopters mit Strom. „Das Startgewicht beträgt dank des Kohlefaserrumpfes nur etwas mehr als zwölf Kilogramm und er ist dennoch stabil“, erläutert Altmann. „Beim Flugtest erreichte der ZALbatros trotz teilweise böigen Windes eine Flugdauer von zwei Stunden und zehn Minuten. Batteriebetriebene Drohnen müssen oft schon nach einer guten halben Stunde wieder landen, um die Akkus zu laden oder zu wechseln.“

FLÜSSIGWASSERSTOFF FÜR HÖHERE REICHWEITEN
Doch auch diese schon verlängerte Flugzeit ist nur der Anfang. Denn jetzt wird im aktuellen Forschungsprojekt LiquiDrone der gasförmige Wasserstoff durch seine flüssige



Abb. 2: H₂-Experte Vijay Siva Prasad mit einer H₂-Drohne

Variante (liquefied hydrogen, LH₂) ersetzt. „Aufgrund der höheren Energiedichte könnte so eine Drohne bis zu zwölf Stunden im Einsatz sein“, erklärt Ingenieur Altmann, der das Brennstoffzellenlabor im ZAL leitet. Dabei ist eine Umstellung auf flüssigen Wasserstoff alles andere als einfach. Die Speichertechnik für das verflüssigte Gas ist ebenso herausfordernd wie dessen Regasifizierung im Flugbetrieb, die Betankung mit LH₂ und die Integration des Ganzen in ein Betriebssystem.

Lösungen dafür sollen im Rahmen des LiquiDrone-Forschungsprojektes gefunden werden, das vom Bundesverkehrsministerium mit knapp 900.000 Euro gefördert wird. An dem Projekt beteiligen sich außer dem ZAL auch die Universität Rostock sowie die Unternehmen RST Rostock-Systemtechnik und BaltiCo.

Für die künftig längere Flugzeit muss der Zustand einer Drohne aus der Ferne komplett erfasst und überwacht werden. Dazu sind Sensoren notwendig, die verschiedene Parameter erheben: Von der Leistungsaufnahme der Motoren über die Betriebstemperatur der Brennstoffzellen bis zur Signalstärke der Funkverbindung.

Ein Tank für die Speicherung von flüssigem Wasserstoff wurde bereits konzipiert und gebaut. Ein Schwerpunkt im Projekt ist die schwierige Frage, wie sich bei möglichst leichtem und kompaktem Tank-Design Wärmebrücken minimieren lassen, die dazu führen würden, dass der flüssige Wasserstoff unkontrolliert verdampft und wieder gasförmig wird. Dieses Phänomen, auch „boil-off“ genannt, ist seit langem bekannt, nicht zuletzt aus der H₂-Forschung der Automobilbranche.

Da die Brennstoffzelle gasförmigen Wasserstoff verwendet, wird der Treibstoff aus der Gasphase im Tankinneren entnommen. Durch geschickte Wärmezufuhr soll die Verdampfungsrates innerhalb des Energiespeichers an den Ver-

brauch angepasst werden. „Auf diese Weise lässt sich fast jedes Gramm Wasserstoff im Tank nutzen“, sagt Altmann. „Das steigert die Effizienz und verlängert die Flugzeit.“ Parallel dazu haben Forscher der Universität Rostock ein Sensorsystem entwickelt, mit dessen Hilfe der Füllstand des Flüssigwasserstoffs überwacht werden kann. Momentan ist die LiquiDrone oft zum Zweck von Tests im Einsatz, die als Vorbereitung für den Flug mit flüssigem Wasserstoff dienen. Der erste LH₂-Flug soll im Frühjahr 2024 stattfinden.

LUFTFAHRTBRANCHE STEHT VOR GROSSEN HERAUSFORDERUNGEN

Unbemannte Fluggeräte eignen sich gut, um die komplexen Herausforderungen meistern zu können, die Brennstoffzellen und Wasserstoff mit sich bringen. Batteriebetriebene Drohnen sind bereits jahrelang im Einsatz; nun sollen mit ihrer Hilfe Erkenntnisse gewonnen werden, die später skaliert und im besten Fall auf Passagiermaschinen übertragen werden können. Im Vordergrund des LiquiDrone-Projektes steht außer den genannten Fragestellungen zudem eine höhere Leistung, so Altmann, bei der zugleich die Wirtschaftlichkeit beachtet werden soll.

Die Luftfahrt weniger umwelt- und klimaschädlich zu machen, ist inzwischen nicht nur das Ziel der Forschung, sondern der Branche insgesamt. Rund 3,5 Prozent trägt der Flugverkehr nach Angaben des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) weltweit zur menschengemachten Klimaerwärmung bei. In dieser Bewertung sind alle Faktoren der Luftfahrt enthalten, das heißt, zu den CO₂-Emissionen auch der Ausstoß von Stickoxiden „sowie die Wirkung von Kondensstreifen und Kondensstreifen-Zirren.“



Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik
erfolgreich anwenden

Nachhaltige Energieversorgung

- wir beraten
 - wir planen
 - wir bauen
 - technologieoffen
 - kundenorientiert

GIBT DOCH EINE EINFACHE LÖSUNG
GEGEN DEN BLACKOUT



Axiosus Energy GmbH
 Franz-Ehrlich-Str. 12
 12489 Berlin
 Germany
 www.axiosus.de





Abb. 3: Sebastian Altmann, Leiter des BZ-Labors (Senior Expert Fuel Cell Lab), vor einem modularen Teststand für Brennstoffzellensysteme, der am ZAL entwickelt wurde

52

Klimaneutralität in der Luftfahrt zu erreichen ist allein aus technischen Gründen noch schwieriger als in anderen Bereichen. Der Vorstoß in die dritte Dimension sowie die physikalischen Bedingungen in der bisher üblichen Reiseflughöhe erfordern entweder ganz eigene Lösungen oder zumindest Anpassungen der herkömmlichen Technik.

Allein die BZ-Technologie, im landgebundenen Verkehr auf der Straße und der Schiene erfolgreich erprobt, ist im Luftverkehr nicht so einfach zu handhaben. „Anders als bei Anwendungen am Boden birgt der geringe Umgebungsdruck sowie die limitierte Wärmeabfuhr von luftfahrttechnischen Brennstoffzellensystemen besondere Herausforderungen“, erklärt Florian Becker. „Das Wassermanagement ist relativ komplex, jedoch von zentraler Bedeutung, um einen effizienten und langlebigen Betrieb zu ermöglichen.“ Wie man diese Herausforderungen durch innovative Ansätze und Betriebsstrategien bewältigen kann, untersucht er als wissenschaftlicher Mitarbeiter des DLR, ebenfalls im Brennstoffzellen-Labor des ZAL.

NICHT NUR AIRBUS ARBEITET AN H₂ Um die Erkenntnisse aus dem Labor in der Praxis zu testen, ist der Weg buchstäblich kurz: Nur drei Kilometer entfernt liegt das Werk des Flugzeugherstellers Airbus, der sich ebenfalls am ZAL beteiligt. Der Branchenriese hat bekanntlich das Ziel verkündet, im Jahr 2035 eine Passagiermaschine auf den Markt zu bringen, die mithilfe eines Wasserstoffantriebs erheblich emissionsärmer als heutige Flugzeuge sein soll. Als drittgrößter Standort für die zivile Luftfahrt weltweit verfügt Hamburg über ein dicht geknüpftes Netz aus Hochschulen, Instituten und branchenspezifischen Firmen, die Forschung und Entwicklung mit Fokus auf Nachhaltigkeit betreiben. Dazu tragen insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) bei.

So hat beispielsweise der Ingenieur-Dienstleister Teccon, der allein im H₂-Bereich 35 Mitarbeiter beschäftigt, das öffentlich geförderte Forschungsprojekt H₂ Finity initiiert und die Mittel dafür eingeworben. Dabei geht es um die Entwicklung eines skalierbaren H₂-Antriebsstrangs für leichte und mittlere Fluggeräte, die in einem Verbund aus KMU und unter Mitwirkung des ZAL umgesetzt wird.

„Anhand einer Drohne mit einer Spannweite von 3,5 Metern und 25 Kilogramm Startgewicht erproben wir den hybrid-elektrischen Antriebsstrang“, erklärt Jörg Manthey von Teccon, federführend für das Projekt zuständig. Der H₂-Antriebsstrang werde optimiert und für höhere Leistungen weiterentwickelt. „Unser Ziel ist ein modular skalierbares Konzept, das von Tragflügel-Drohnen bis hin zu Kleinflugzeugen reicht, die dann einen umweltfreundlichen und leisen Antrieb besitzen sollen.“ Skalierbar bedeutet in diesem Fall, dass der gesamte Betrieb der Drohne schließlich auch mit 500 Kilogramm Startgewicht funktionieren soll.

Weil die Zertifizierungs- und Zulassungsverfahren in der Luftfahrtbranche aus Sicherheitsgründen besonders aufwändig sind, denken die beteiligten Teams die notwendigen Verfahren gleich mit, betont Manthey, „damit die Technologie nach Projektende schnell eingesetzt werden kann“. Pionierleistungen wie der erste Flug mit flüssigem Wasserstoff einerseits und die mühselige LH₂-Forschung an Drohnen andererseits sind kein Widerspruch, sondern gehören zusammen. Denn so wichtig solche Pilotflüge auch sind, geht damit nicht automatisch eine Lösung für eine industrietaugliche Serienproduktion einher.

Dass bemannte Flugkörper mit flüssigem Wasserstoff fliegen, kennt man seit Jahrzehnten aus der Raketenforschung. Allerdings sind Raketen bislang nicht wiederverwertbar, und wie schwierig der Weg dahin ist, kann die Öffentlichkeit ja an entsprechenden Experimenten von US-Raumfahrtunternehmen mitverfolgen. Der Umgang mit gasförmigem Wasserstoff ist erheblich einfacher als der mit flüssigem. „Abgesehen davon, dass LH₂ erstmal hergestellt werden muss, braucht man dafür ein geeignetes Transportgefäß und ein Betankungssystem, das sich sicher bedienen lässt“, erklärt Manthey. „Das alles muss serientauglich sein und schließlich zertifiziert werden.“ Nur dann kann der Umgang mit dem klimaneutralen Treibstoff eines Tages so selbstverständlich werden wie heute mit Benzin oder Kerosin. •

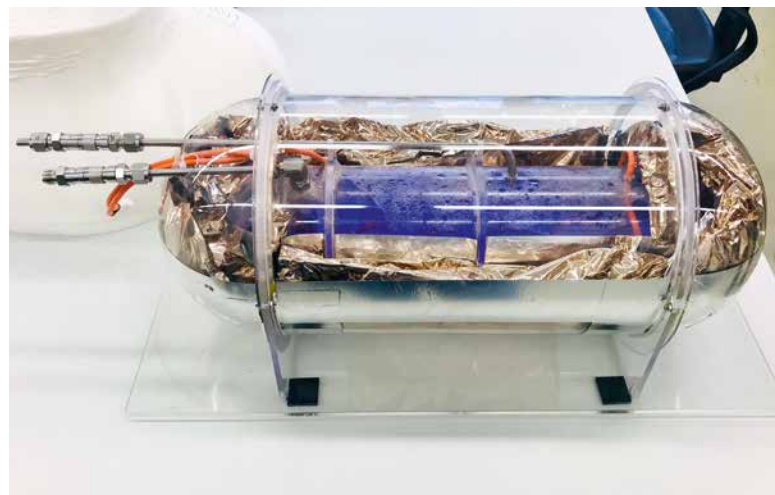


Abb. 3: Sebastian Altmann, Leiter des BZ-Labors (Senior Expert Fuel Cell Lab), vor einem modularen Teststand für Brennstoffzellensysteme, der am ZAL entwickelt wurde

Produktmeldung

MECHATRONISCHER H₂-DRUCKREGLER

Bislang ist das italienische Unternehmen Landi Renzo vornehmlich für seine Umrüstsätze für Gasmotoren bekannt. Jetzt stößt der weltweit mehr als 1.200 Mitarbeiter beschäftigende Automobilzulieferer in den Wasserstoffsektor vor und entwickelt einen fortschrittlichen elektronischen Druckregler für mittel-schwere und schwere Nutzfahrzeuge, die mit H₂-Verbrennungsmotoren betrieben werden. **Autor:** Sven Geitmann



Quelle: Landi Renzo

Um in Zukunft nicht nur Komponenten für Erdgas, Biomethan oder Flüssiggas anbieten zu können, hat sich das in Cavriago ansässige Unternehmen mit dem deutschen Konzern Bosch zusammengesetzt. Sein erklärtes Ziel ist, noch 2024 wasserstoffbasierte Kraftstoffsysteme mit mechatronischen Druckreglern der nächsten Generation zu produzieren und zu vermarkten. Auf diese Weise will Landi Renzo einen kohlenstoffneutralen Betrieb von Nutzfahrzeugen möglich machen und so zur zunehmenden Dekarbonisierung des Mobilitäts- und Transportsektors beitragen.

Damiano Micelli, Leiter der Technologie-Abteilung, erklärte: „Dieser mechatronische Wasserstoffdruckregler ist ein wichtiger Meilenstein des technologischen Fortschritts, den wir dem sich schnell entwickelnden Mobilitäts- und Transportmarkt anbieten können. [...] Dies ist eine hochinnovative Lösung, die in Kürze für mittlere und schwere Anwendungen verfügbar sein wird.“

Druckregler gelten als das Herzstück von Umrüst-Kits, weil sie teils große Druckunterschiede ausgleichen und gegebenenfalls auch den Aggregatzustand des jeweiligen Kraftstoffs verändern. Laut Landi Renzo reichte bisher „ein einfacher und robuster mechanischer Regler“ aus, um diese Funktion zu erfüllen. Mechatronische Druckregler wie der EM-H sorgen darüber hinaus für eine Steuerung und Kalibrierung des Wasserstoffförderdrucks entsprechend den Anforderungen des Fahrzeugs. In zwei Stufen wird der Eingangsdruck zunächst mechanisch von hoch auf mittel und dann vollelektronisch auf den Zielwert reduziert.

Landi Renzo verfügt über 70 Jahre Erfahrung in der Automobil- bzw. Energiebranche und besitzt unter anderem ein eigenes H₂-Exzellenzentrum in Bologna mit einem gut ausgestatteten, modularen Reinraum der Klasse 8. •

Komprimierte Wasserstoffkompetenz

Trafag ist der Hersteller von Druck-Sensoren, die in sämtlichen Anwendungen der Wasserstoff-Technologie zum Einsatz kommen. Gute Gründe für Trafag Produkte sind Robustheit, Zuverlässigkeit, Stabilität und Einbaugröße. Entscheidende Parameter für Unternehmen, die mit H₂ arbeiten.

NHT 8250

Wasserstoff-Drucktransmitter
für Ex-Zone 2



EXNT 8292

Wasserstoff-Drucktransmitter
für Ex-Zone 0, 1



Deutschland

Trafag GmbH
Kelterstrasse 59
72669 Unterensingen
info@trafag.de
www.trafag.de

Österreich

Trafag GmbH
Konrad-Doppelmayr-Str. 17
6922 Wolfurt
trafagat@trafag.com
www.trafag.at

FRHY-STACK, DER ERSTE SEINER ART!

Das Verbundprojekt FRHY im Wasserstoff-Leitprojekt H2Giga zielt auf die Hochskalierung der Elektrolyseurproduktion ab. Damit die Entwicklung der erforderlichen Technologielösungen gelingt, wurde der FRHY-Stack als Referenz geschaffen. **Autorin:** Ulrike Beyer



Abb. 1: FRHY-Referenz-Stack [Quelle: Referenzfabrik.H2]

54

Der FRHY-Stack ist ein Elektrolyseur mit hohem Wirkungsgrad und dem Potenzial für eine industrielle Massenfertigung, der zudem den Wissens- und Technologietransfer unterstützt. Die insgesamt zehn Zellen des FRHY-Stacks bestehen jeweils aus zwei umgeformten und gefügten Blechplatten, den sogenannten Bipolarplatten (BPP). Diese beiden Halbplatten werden auf einer am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU) neu entwickelten Anlage zunächst mit hoher Geschwindigkeit prägend gewalzt. Anschließend werden sie in einem hinsichtlich der Prozessgeschwindigkeit angepassten Fügeverfahren miteinander verschweißt.

FRHY - DER REFERENZSTACK Eine weitere wesentliche Komponente ist die Protonen-Austausch-Membran (MEA). Diese wird in einem neuartigen Inkjet-Druckverfahren (Fraunhofer ENAS) hergestellt. BPP und MEA sind in einen stabilen Folienrahmen, das Subgasket, eingebettet und werden durch verschiedene Dichtungen und die porösen PTL/GDL-Matten (engl. Porous Transport Layer bzw. Gas Diffusion Layer) ergänzt. Somit entsteht ein auf industrielle Massenfertigung ausgelegtes Zelldesign.

Die Zu- und Abführung der Medien Wasser beziehungsweise Wasserstoff am Stack – dem Stapel mehrerer Zellen – erfolgt durch Kanäle am Rand jeder Zelle. Die beiden vergoldeten Kontaktplatten am Stapelende versorgen den Stack mit Energie.

Der FRHY-Referenz-Stack ist für verschiedene Nutzungsszenarien geeignet und verfügt über einen hohen Wirkungsgrad. Damit stellt die Referenzfabrik.H2 erstmals eine Basis zur Verfügung, die es einer Vielzahl von Branchen beziehungsweise Unternehmen ermöglicht, einzelne Komponenten technologisch und wirtschaftlich zu bewerten, ihr individuelles Geschäftsmodell zu entwickeln und sich in der Lieferkette zu platzieren.

In der ersten Entwicklungsphase entstand der Design-Baukasten. Dieser definiert wesentliche Parameter für die

Auslegung der Zell- beziehungsweise Stack-Komponenten und stellt verschiedene Ausführungen gegenüber. Dabei konnten zunächst zwei sehr funktionale Designs herausgearbeitet werden, die für die Fertigung von Zellen in hohen Stückzahlen infrage kommen. Die Variante M ist die Basis für den FRHY-Stack; das fertigungstechnische Potenzial beruht auf metallischen BPP.

Zusätzlich wurde eine Variante K entwickelt. Diese zeichnet sich durch einen neu geschaffenen, intelligenten Kunststoffrahmen aus, der automatisiert in großen Stückzahlen gefertigt werden kann. Auf der Grundlage dieser Designs stellten die Ingenieure Komponenten her und führen diese im FRHY-Stack zusammen.

H2GIGA UND FRHY

Mit dem Wasserstoff-Leitprojekt H2Giga unterstützt das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Deutschlands Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft. In vier Jahren Laufzeit (bis März 2025) soll es vorhandene Hürden auf dem Weg zur serienmäßigen Herstellung großskaliger Wasserelektrolyseure überwinden. FRHY vereint die Fraunhofer-Institute IWU, ENAS, IPT, IPA, IMWS und IWES. Der dezentrale Aufbau ermöglicht es, regionale Partner und Netzwerke in Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Mitteldeutschland einzubinden.

Tab. 1

| BEZEICHNUNG | FRYH-STACK |
|----------------------|------------------------|
| Entwicklung | Referenzfabrik.H2 |
| Wasserstoff-System | Elektrolyseur |
| Komponente | Stack |
| Aufbau | 04 |
| Zellen- - Design | Metall |
| - Aktive Fläche | 300 cm ² |
| - Anzahl | 10 |
| Spannung | 20 V |
| Strom | Max. 600 A |
| Leistung | 12 kW |
| Wasserverbrauch | 1,1 l/h |
| Wasserstofferzeugung | 2,5 Nm ³ /h |
| Wirkungsgrad | ca. 74% |

Die Gesamtkoordination für das Verbundprojekt FRHY liegt bei der Referenzfabrik.H2 des Fraunhofer IWU. Die Referenzfabrik.H2 hat sich das Ziel gesetzt, Schrittmacher für die industrielle Massenproduktion von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen zu sein. Industrie und Wissenschaft verstehen sich dabei als Wertschöpfungsgemeinschaft, die gemeinsam am zügigen Hochlauf einer effizienten, stückzahlskalierbaren Produktion von Wasserstoffsystemen arbeitet.

Die Referenzfabrik.H2 basiert auf den Forschungs- und Entwicklungsprojekten des Fraunhofer IWU. Daraus entstandene Lösungen bieten die fertigungstechnische Grundstruktur. Hier bringen die Industrieunternehmen ihre Kernkompetenzen ein und entwickeln diese gemeinsam mit den beteiligten Fraunhofer-Instituten sowie anderen Industrieunternehmen weiter. Nur mit diesem engen Schulterschluss zwischen Wissenschaft und Industrie kann es gelingen, schneller leistungsstarke, kostengünstigere Systeme für den Masseneinsatz zu produzieren.

Für die Entwicklung der nächsten, hochratenfähigen Generation von Elektrolyseuren steht somit ein wertvoller Bezugsrahmen zur Verfügung. Gerade Elektrolyseure im (preissensiblen) kW-Bereich sind ohne hochratenfähige Produktionsprozesse kaum markttauglich. Sind die Verkaufspreise hingegen attraktiv, entsteht allein durch den Energie-speicherbedarf in Windparks oder Wohnhäusern ein riesiger Markt. Auch für Anwendungsszenarien im Megawatt-Bereich wäre der Stack einsetzbar. Durch die Kopplung von Stacks ließen sich Anlagen für die Produktion großer Mengen an Wasserstoff realisieren, um beispielsweise das verarbeitende Gewerbe und die Grundstoff-Industrie zu versorgen.

STOSSRICHTUNG DES VERBUNDVORHABENS FRHY FRHY verfolgt einen technologieoffenen Ansatz zur Entwicklung neuer Module für eine hochskalierbare Elektrolyseurproduk-

tion und deren digitale Zwillinge. Das Ziel ist, einen Baukasten der wesentlichen Produktionsschritte zu deren technologischer und wirtschaftlicher Bewertung zu schaffen und damit die Industrie bei der Auswahl der Fertigungsverfahren unter Berücksichtigung wichtiger Parameter, wie insbesondere Skalierbarkeit, Qualität und Kosten, zu unterstützen. So lassen sich Produktionsvarianten berechnen und mögliche Fertigungsstrategien, etwa hinsichtlich Automatisierung oder einer integrativen kontinuierlichen Prozessführung, analysieren. Damit können nicht nur Investitionskosten beziffert, sondern auch Return-on-Investment-Aussagen im Verhältnis zur geplanten Produktionsmenge abgeleitet werden.

Die FRHY-Methodik gestattet auch eine Vernetzung von Produktionslinien zu einem gesamten Wertschöpfungssystem. Dadurch wird Transparenz geschaffen und der Aufbau von Lieferketten unterstützt. Zudem erleichtert



Abb. 2: Walzprägen von Bipolarplatten: Die Struktur der Bipolarplatte wird durch ein Walzenpaar geprägt. Hauptvorteil dieses Verfahrens ist die hohe Prozessgeschwindigkeit, die zu einer substantiellen Steigerung der Stückzahlproduktion, Skaleneffekten und schließlich zu einer deutlichen Reduktion der Kosten führt.

sie die Fabrikplanung und Entscheidungen über eine effektive Fertigungstiefe.

Produktions- und Prüfverfahren für Elektrolyseure verleiht der FRHY-Ansatz typübergreifend einen enormen Schub und sorgt für einen hohen Technologie-Reifegrad. Ein wesentlicher Schwerpunkt dabei ist, den Nachweis robuster und skalierbarer Prozesse zu erbringen. Davon wird auch die Qualität und Lebensdauer des Produkts profitieren: Stabile Prozesse sorgen zudem für eine wirtschaftliche Massenproduktion hochwertiger Elektrolyseure und sind die Grundlage kontinuierlicher Weiterentwicklung sowohl der Produktion als auch des Produkts.

POTENZIALE FRHY verknüpft physische und virtuelle Lösungen und sorgt so für einen enormen Innovationsimpact in der Elektrolyseurproduktion. Aus diesem Leitziel des Verbundvorhabens ergeben sich ehrgeizige Vorhaben, die den Weg in die Massenproduktion von Elektrolyseuren ebnen werden.

Die Entwicklung neuartiger, konfigurierbarer Produktions- und Prüfmodule für die Schlüsselprozessschritte der Stack-Herstellung wird die Fertigungskosten um mindestens 50 Prozent senken und die Produktqualität um 20 Prozent verbessern, bei einer erheblich verlängerten Lebensdauer der Elektrolyseur-Gesamtsysteme.

Die dabei zu lösenden Forschungsfragen umfassen vorrangig die Erweiterung der technologischen Grenzen der Elektrolyseurproduktion. Parallel dazu sind wissenschaftliche Impulse zur produktionsoptimierten „Next Generation“ der Elektrolyseure zu erwarten. FRHY, das Verbundprojekt in H2Giga, und insbesondere der FRHY-Stack haben dafür eine wesentliche Grundlage geschaffen.

Digital abgebildete Produktions- und Prüfmodule werden in einen Technologiebaukasten für die Stack-Produktion integriert. Dieser fasst die Resultate aus den physischen und digitalen Analysen zusammen. Dadurch lassen sich erstmals von der Industrie dringend benötigte quantifizierbare Aussagen zur Ausbringungsmenge, zu Kosten und zum Funktionsbereich in Abhängigkeit vom Fertigungsverfahren ableiten.

CHANCEN Mit dem FRHY-Referenzstack wurde erstmals eine Lösung geschaffen, die die Basis für eine industrielle Massenfertigung von Elektrolyseurkomponenten darstellt. Nicht nur die konsequente Umsetzung von kontinuierlichen Rolle-zu-Rolle-Fertigungstechnologien führt zur Erhöhung der Produktionsmengen. Auch neue Verfahren, die bewusst auf den sparsamen Einsatz kritischer Materialien (z. B. Platin, Iridium, Titan) setzen, und In-situ-Prüftechnologien resultieren in einer substantziellen Senkung der Produktionskosten.

Entstanden sind eine echte Referenz und ein technologischer „Rohdiamant“, die für eine industrielle Umsetzung durch Unternehmen zur Verfügung stehen. Damit ist ein wichtiger Grundstein für die künftige Verfügbarkeit von Wasserstoffsystemen zu bezahlbaren Preisen gelegt – und letztlich für einen H₂-Endpreis auf wirtschaftlich vertretbarem Niveau. •



Autorin:

Dr. Ulrike Beyer

Referenzfabrik.H2 am Fraunhofer IWU

→ ulrike.beyer@iwu.fraunhofer.de

56

Sven Geitmann, Eva Augsten

WASSERSTOFF UND BRENNSTOFFZELLEN

DIE TECHNIK VON GESTERN, HEUTE UND MORGEN

„Der Klassiker, jetzt komplett überarbeitet!“

Jorgo Chatzimarkakis,
Generalsekretär Hydrogen Europe

Energiewende und Wasserstoffwirtschaft gehören zusammen. Dieses Buch skizziert den Weg – von der gestrigen über die aktuelle hin zu einer zukunftsfähigen, wirklich nachhaltigen Energieversorgung. Es erklärt leicht verständlich die Vorteile und Herausforderungen des Speichermediums Wasserstoff und stellt die Vielfältigkeit der H₂-Technologien dar – als Saisonspeicher, in der Mobilität und in der Industrie – ebenso wie die Brennstoffzellen- und Elektrolyseurtechnologien – als effiziente Energiewandler.

ISBN 978-3-937863-54-2
Hydrogeit Verlag, Oberkrämer
April 2022, Preis: 18,90 Euro



Aktualisierte
und erweiterte
5. Auflage

Mit einem
Vorwort von Prof.
Volker Quaschnig

Transformation des Warentransports auf der letzten Meile:

EINE WASSERSTOFFBETRIEBENE REVOLUTION #PoweredByBallard

Autor: Ballard Power Systems Europe



Abb. 1: QUANTRON QLI FCEV

Die letzte Etappe im Warentransport stellt die Fahrt vom Verteilzentrum bis zur Haustür des Kunden dar. Es handelt sich hierbei um das energieintensivste und kostspieligste Segment der Lieferkette. Obwohl diese Strecke nur einen kleinen Teil der Reise ausmacht, können Zustellungen auf der letzten Meile bis zu 30 % der städtischen Emissionen verursachen, was den dringenden Bedarf für sauberere und nachhaltige Lösungen in diesem Bereich unterstreicht.

Die emissionsfreie Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie bietet eine vielversprechende Lösung für emissionsfreie Zustellfahrzeuge der letzten Meile. Aktuell tragen diese Fahrzeuge durch häufige Stopp und Leerlaufzeiten und den Einsatz von Kraftstoffen wie Diesel oder Benzin in Umweltzonen erheblich zur innerstädtischen Umweltverschmutzung bei.

Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb dagegen ermöglichen eine leise und emissionsfreie Anlieferung der Waren, ohne dabei Kompromisse bei Effizienz, Reichweite oder Fahrzeugverfügbarkeit eingehen zu müssen. Brennstoffzellenfahrzeuge unterstützen Logistikunternehmen sowohl beim Erreichen ihrer Netto-Null-Ziele als auch bei der steigenden Nachfrage der Verbraucher nach emissionsfreier Logistik.

Um dem Bedarf für emissionsfreien Transport nachzukommen, hat die Quantron AG, ein Spezialist für E-Mobilität, kürzlich den QUANTRON QLI FCEV eingeführt. Der mit Ballard-Wasserstoff-Brennstoffzellen betriebene Lieferwagen stellt einen Meilenstein im Markt der leichten Nutzfahrzeuge bis 7,5 t dar. Dieses Fahrzeug setzt neue Standards, was Reichweite und Effizienz von Brennstoffzellenfahrzeugen angeht. Der QLI FCEV erreicht Distanzen von bis zu 400 km mit einer einzigen Tankfüllung. Im Gegensatz zur langen Ladezeit von batterieelektrischen Lieferwagen kann das Betanken mit Wasserstoff in weniger als 10 Minuten erfolgen, wodurch die Fahrzeugverfügbarkeit erheblich steigt und Distanzen von über 500 km pro Tag zurückgelegt werden können.

Angetrieben wird der QUANTRON QLI FCEV von einem Ballard FCmove®-MD-Brennstoffzellenmotor. Mit einer Leistung von 45 kW ist der Antrieb für leichte und mittelschwere Nutzfahrzeuge entwickelt und für den Einsatz in emissionsfreien Hybridanwendungen mit Batteriebetrieb konzipiert, perfekt für Reichweitenverlängerung bei Stadtbussen, leichten Lkws und Lieferwagen.

Die Leistung des Brennstoffzellenmotors wird durch regeneratives Bremsen erhöht. Insbesondere auf Strecken mit häufigen Stopps unterstützt er damit das Wiederaufladen der Batterien. Zusätzlich zur schnellen Betankungszeit werden so die Stillstandszeiten der Fahrzeuge stark reduziert. Die täglichen Einsatzzyklen können damit über mehrere Schichten hinweg verlängert werden.

Die FCmove®-MD-Brennstoffzelle stellt eine langlebige, kompakte und einfach zu installierende Lösung für Systemintegratoren und Fahrzeughersteller dar. Das kompakte Design mit integrierten Luft- und Kühlsystemen ermöglicht einfache Integration und Wartung.

Ballards Erfahrung in der Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie, die unübertroffene Leistung von über 25.000 Betriebsstunden, 98 % Verfügbarkeit und Ballards Versprechen höchster Servicequalität machen die FCmove®-Brennstoffzellenmotoren zur idealen Lösung für zukünftige Logistik mit saubereren und grüneren Flotten. •



Abb. 2: Ballard FCmove®-HD, 45 kW

BALLARD™



Video für weitere Informationen



#PoweredByBallard magazine

POTENZIALE DER DIGITALISIERUNG

Die Planungen zum Ausbau der deutschen H₂-Landschaft sind in vollem Gange. Viele Elektrolyseure sowie Tausende Kilometer neugebauter oder umgestellter Pipelines werden in den nächsten Jahren errichtet werden. Dies bietet uns die Chance, die Zukunftstrends Wasserstoff und Digitalisierung von Anfang an gemeinsam zu denken und Digitalisierung im H₂-Sektor zu implementieren. Die Potenziale entlang der gesamten grünen H₂-Wertschöpfungskette sind enorm.

Autor: Fabian Rundel

58



Abb. 1: Potenzielle Anwendungsfälle von Digitalisierung im Wasserstoffsektor. Im inneren Ring ist die Wasserstoff-Wertschöpfungskette (Erzeugung, Speicherung sowie Transport, Nutzung) dargestellt. Im mittleren Ring stehen die Aufgaben, die Digitalisierung dort übernehmen kann. Im äußeren Ring sind die Technologien aufgeführt, die zur Erfüllung der Aufgaben zum Einsatz kommen können. [Quelle: August-Wilhelm Scheer Institut]

Die Bundesregierung hat das Ziel der Vollversorgung auf Basis von Wind- und Solarstrom bis 2035 ausgerufen und sich zum Ziel der ganzheitlichen Treibhausgasneutralität bis 2045 bekannt. Um die mit dem beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien einhergehende Volatilität in Sachen Energieverfügbarkeit abzufedern, setzt Deutschland neben Flexibilitätsoptionen und Energiespeichern künftig auf wasserstofffähige Gaskraftwerke. Diese sollen perspektivisch mit grünem Wasserstoff betrieben werden und in Zeiten einer Dunkelflaute die stabile Stromversorgung sichern.

Auch deswegen beschloss das Bundeskabinett im Juli 2023 die Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS). Hauptziel darin ist es, die Wasserstoffkapazität bis 2030 auf 10 GW auszubauen. Dies geht mit großskaligen Infrastrukturprojekten zur Errichtung von Elektrolyseuren für die grüne Wasserstoffproduktion einher. Damit deren Integration in die bestehende Gasversorgungslandschaft erfolgreich verläuft, muss von Anfang an auf Digitalisierung gesetzt werden.

ANWENDUNGSPOTENZIALE VON DIGITALISIERUNG Digitalisierung kann im Wasserstoffsektor vor allem Prognose- und Monitoringdienste übernehmen und gleichzeitig für einen effizienten Datenaustausch sorgen. Seien es die Prognose

von grünem Überschussstrom zur Wasserstoffproduktion, Zertifikate für grünen Wasserstoff im Handelsbereich, der Einsatz digitaler Zwillinge im neu zu bauenden oder umzustellenden Transportnetz oder neuartige digitale Lösungen im Wasserstoff-Nominierungsprozess der Gasnetzbetreiber, die aufgrund der immer dezentraler aufgestellten Einspeisung hier vor neuen Herausforderungen stehen (s. Abb. 1).

Insbesondere während der aktuellen Aufbauphase der Wasserstoffinfrastruktur ist es entscheidend, dass Herstellung, Verteilung und Nutzung von Wasserstoff gut aufeinander abgestimmt sind. Dafür müssen Informationsflüsse zwischen den einzelnen Gliedern der Wertschöpfungskette gewährleistet sein. Die Wasserstofferzeugung muss beispielsweise auf der einen Seite mit der Stromerzeugung gekoppelt werden und auf der anderen Seite mit dem Transportnetz und den Abnehmern in der Industrie. Das der Wasserstofferzeugung nachgelagerte Transport- und Speichernetz fungiert als Umschlagpunkt und muss seinerseits darüber informiert sein, was auf der stark dezentralisierten Zufuhrseite eingespeist wird und auf der Verbrauchsseite benötigt wird.

Der Flaschenhals der bisherigen H₂-Aufbauaktivitäten war genau diese fehlende Transparenz: Bisher zögerten Energieversorger, in kostspielige Elektrolyseure zur Wasserstoff-

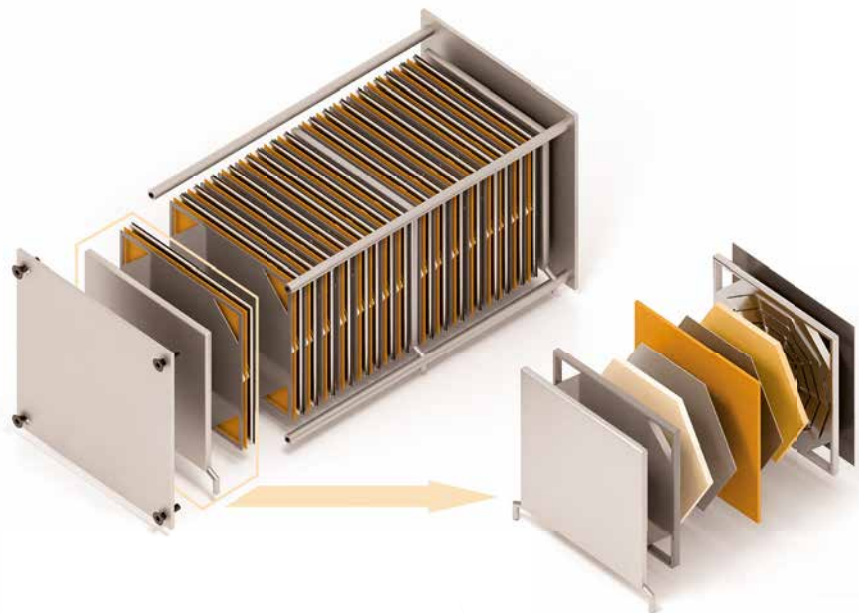
produktion zu investieren, da es kein Leitungsnetz für den Abtransport des Gases gab. Netzbetreiber wiederum zögerten, Leitungen zu verlegen, solange es keine Kunden gab. Gleichzeitig zögerten Industriebetriebe, feste Abnahmeverträge abzuschließen, solange kein Transportnetz vorhanden war. Wollen wir nicht, dass sich dieser Trend der Aufbauphase im Tagesgeschäft der nächsten Jahre fortsetzt, müssen wir von Anfang an gegensteuern, solange wir in der jetzigen Hochlaufphase noch einen großen Gestaltungsspielraum haben.

DIGITALE PLATTFORM ENTLANG DER H₂-WERTSCHÖPFUNGSKETTE Die Ideallösung wäre eine multidirektionale digitale Vernetzung der Akteure entlang der gesamten Wertschöpfungskette auf einer gemeinsamen Plattform. Eine solche digitale Plattform (s. Abb. 2) kann aus verschiedenen Modulen zusammengesetzt werden. Die H₂-Wertschöpfungskette wird damit unter einem Dach zusammengeführt, indem die einzelnen Instanzen digital abgebildet werden. Dies ist sowohl innerhalb eines Unternehmens möglich, welches sowohl Erzeugung als auch Verbrauch von Wasserstoff auf dem eigenen Gelände abbildet, als auch zwischen verschiedenen Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette. Die Plattform kann je nach Vernetzungstiefe verschiedene Ebenen haben und je nach Einsatzszenario mehrere Aufgaben übernehmen. Exemplarisch sind hier einige Vernetzungsebenen und deren Funktionalitäten beschrieben:

- **Dashboarding:** Auf der untersten Ebene der Plattform mit geringstem Vernetzungsgrad kann als erste Ausbaustufe ein Dashboard integriert werden. Hier sollen Ausbauziele und aktuelle Projektstände aufgeführt werden sowie Stakeholder in der Wasserstoffindustrie die Möglichkeit bekommen, sich und ihre Projekte vorzustellen.

Dies dient allgemein der Transparenzmachung von zum Beispiel Ständen der bisherigen inländischen Wasserstoffvorhaben, von agierenden Stakeholdern in den einzelnen Kettengliedern der Wertschöpfungskette sowie aktuellen Trends und Best-Practice-Ansätzen.

- **Kommunikation und Kollaboration:** In logischer Fortsetzung der ersten Ausbaustufe kann die Plattform als Kommunikations- und Kollaborationsraum genutzt werden. In dieser Funktion kann sie einen sicheren, intelligenten und effizienten Datenaustausch in Echtzeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette ermöglichen. Egal ob innerhalb von Projektkonsortien oder auch zwischen verschiedenen Vorhaben bzw. Stakeholdern aus dem Wasserstoffbereich: Beim einfachen Austausch von Nachrichten, Dateien oder anderen Informationen war das bisherige Kernproblem eine effektive Kommunikation zwischen den beteiligten Akteuren sowie der gebündelte Zugang zu Informationen. Hierfür ist eine gemeinsame Datengrundlage, auf die die beteiligten Akteure zurückgreifen können, elementar. Seien es verifizierte Erfahrungswerte zu Elektrolyseur- oder Pipeline-Lebensdauern, H₂-Gestehungskosten oder -Bedarfsprognosen für die nächsten Jahre – es muss eine vertrauenswürdige Quelle geben, die Anlaufstelle für alle Akteure der H₂-Community ist. Eine einfache Registrierung auf der Plattform ermöglicht das Teilen, Auslesen und Kommentieren von Informationen sowie ein selektives Zuweisen von Lese- und Schreibrechten oder auch das Erstellen verschiedener Gruppen. Ein praxisnaher Anwendungsfall ist die Abwicklung einer Abfrage bei Unternehmen über ihren prognostizierten künftigen Wasserstoffbedarf über die Plattform. Besser geschieht



Power Upgrade

Eisenhuth ist Teil der Whitecell Familie

Leistungsfähige Komponentenfertigung
Hohe Innovationskraft

- Dichtungen
- Graphitbipolarplatten
- Stacks

Whitecell Eisenhuth GmbH & Co. KG
www.eisenhuth.de

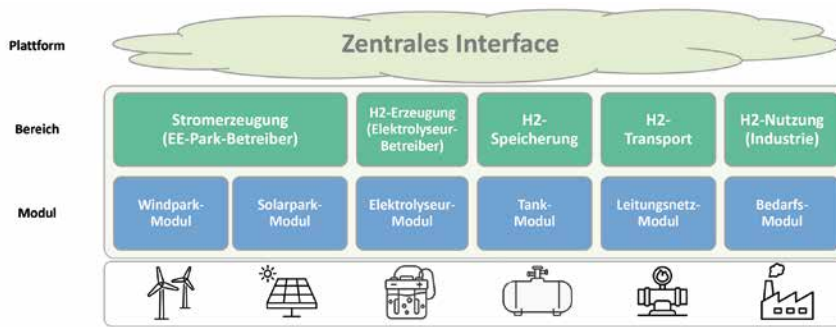


Abb. 2: Schematische Darstellung einer modular aufgebauten digitalen Plattform für die gesamte Wasserstoff-Wertschöpfungskette [Quelle: August-Wilhelm Scheer Institut]

dies an einer Stelle deutschlandweit gebündelt, als wenn jede Region dies unter großem Mehraufwand für sich durchführt.

- **Abwicklung des Tagesgeschäfts:** Neben der Arbeit in Aufbauprojekten können in die Plattform auch Aktivitäten des H_2 -Tagesgeschäfts integriert werden. Hier kommen nun die einzelnen Module zum Tragen, die die einzelnen Instanzen der H_2 -Wertschöpfungskette abbilden. Im Elektrolyseurmodul beispielsweise sitzen die Elektrolyseurbetreiber, welche von den Stromhändlern aus dem Modul Stromerzeugung Informationen über den prognostizierten Grünstromüberschuss erhalten und im Gegenzug den Gasnetzbetreibern im nachgelagerten Leitungsnetzmodul ihre prognostizierten Einspeisemengen übermitteln können. Die Händler und Lieferanten erhalten wiederum mittels Echtzeitdaten die aktuellen Wasserstoffpreise und können ihren Kunden nun verschiedene H_2 -Pakete anbieten: Ein Standardpaket, das ähnlich dem Terminmarkt über einen längeren Zeitraum einen konstanten Wasserstoffpreis garantiert, oder aber kurzfristige Pakete, die grünen Wasserstoff auf Basis von kostengünstigem grünem Überschussstrom enthalten und somit erheblich günstiger sind. Was in diesem Fall die industriellen Abnehmer mitbringen müssen, ist ein gewisses Maß an Flexibilität in Sachen Lieferzeitpunkt für einen bestimmten Teil ihres geordneten Wasserstoffs. Industrieabnehmer müssen für sich einen geeigneten Mix aus kurzfristiger und meist günstiger sowie langfristiger und sicherer, aber auch teurerer Beschaffung finden.

Dieser holistische Ansatz ermöglicht es, Synergien zu schaffen und Wasserstoff möglichst kosten- und energieeffizient sowie bedarfsgerecht aus erneuerbarer Überschussenergie zu produzieren, zu verteilen und zu nutzen. Der nächste Abschnitt bietet einen detaillierteren Einblick in das beispielhafte Zusammenspiel des Elektrolyseurmoduls und des Strommoduls und die dadurch geschaffenen Mehrwerte für die deutsche Energieversorgung.

KONZEPT ZUR SENKUNG DER GESTEHUNGSKOSTEN Bisher gilt grüner Wasserstoff noch als Champagner der Energiewende. Damit dies nicht so bleibt, muss seine Produktion einen drastischen Kostensenkungsprozess erfahren. Während die Hardware der Elektrolyseure tendenziell immer günstiger wird (Capital Expenditures), ist der Strompreis eines Standortes der größte Faktor der laufenden Betriebskosten (Operational Expenditures) und dominiert insgesamt die inländischen H_2 -Gestehungskosten. Will man also Kosten einsparen, müssen Synergien zwischen der Wasserstoffsynthese und der Stromproduktion geschaffen werden. Grundsätzlich gilt grüner Strom aus Wind und Photovoltaik als kostengünstigste Form des Stroms, wäre er nicht so volatil. Aufgrund dieser Volatilität müssen in Zeiten einer Dunkelflaute die teuren, perspektivisch wasserstofffähigen Gaskraftwerke zur Deckung der Residuallast einspringen. Da an der Strombörse immer der teuerste Erzeuger den Strompreis aller Anbieter bestimmt, hebt dies den Strompreis und damit auch indirekt den Preis für inländisch produzierten Wasserstoff (Wasserstoff-Grünstrom-Paradoxon).

Eine Lösung dafür ist sicherlich der leitungsgebundene Import von günstigem Wasserstoff aus Portugal oder Nordspanien. Doch für die Versorgungssicherung und die inländische Resilienz kann das nicht die einzige Lösung sein. Der Schlüssel liegt in der Nutzung von erneuerbarer Überschussenergie zur Wasserstoffsynthese. Klar ist auch: Um unseren Bedarf zu decken und die Investitionsausgaben (CapEx) gering zu halten, brauchen die Elektrolyseure eine hohe Auslastung und können

nicht nur in Stromüberschusszeiten betrieben werden. Dennoch kann Wasserstoff letztendlich nur günstig im Inland produziert werden, wenn zumindest ein großer Teil auch wirklich in Zeiten produziert wird, in denen erneuerbarer Strom im Überschuss vorliegt und deshalb am Spotmarkt günstig zu beschaffen ist. Wasserstoffproduzenten müssen aktiv daran arbeiten, diese Zeiten zu identifizieren – und hier kommt Digitalisierung ins Spiel.

WETTERPROGNOSEN UND SPOTMARKT

Das Prinzip ist bekannt: Wetteralgorithmen prognostizieren Zeiten mit besonders hohem Wind- und PV-Potenzial und teilen diese Daten mit den Betreibern von Elektrolyseuren. Diese wiederum ordern den in diesen Zeiten günstigen Strom auf dem Spotmarkt. Dadurch wird nicht nur vermieden, dass Windkraftanlagen durch die Netzbetreiber abgeregelt werden müssen (2021 wurden aufgrund von Netzengpässen ca. 6 TWh erneuerbare Energie abgeregelt). Darüber hinaus wird den Elektrolyseurbetreibern auch eine kosteneffizientere Wasserstoffherzeugung ermöglicht. Das Ganze funktioniert aber nur bei einer Strombeschaffung am Spotmarkt.

Viele Unternehmen schrecken aufgrund des vermeintlichen Mehraufwands sowie Preisrisikos davor zurück und kaufen Strom lieber langfristig auf dem Terminmarkt ein. Wer aber Strom zum richtigen Zeitpunkt einkauft, kann im Vergleich zu einer reinen Terminmarktbeschaffung bares Geld sparen. Um den Unternehmen diese Hürde zu nehmen, kann durch Schaffung eines digitalen Tools alles in einem Interface vereint werden: Wetterprognose und Strombeschaffung integriert in die Elektrolyseursteuerung zur Wasserstoffproduktion, mit welcher über sichere Schnittstellen kommuniziert werden kann. Mithilfe dieses Blicks in die meteorologische Zukunft kann zum einen ein größerer Teil unseres erneuerbaren Energiepotenzials genutzt werden, und zum anderen kann Wasserstoff für die deutsche Industrie kostengünstiger produziert werden. •

Autor:



Fabian Rundel
August-Wilhelm
Scheer Institut für
digitale Produkte und
Prozesse gGmbH
→ [fabian.rundel@aws-
institut.de](mailto:fabian.rundel@aws-institut.de)

AUFBAU EINER METROLOGISCHEN INFRASTRUKTUR

Im Bereich der Durchflussmesstechnik ist der Einsatz von Wasserstoff, insbesondere von regenerativ erzeugtem Wasserstoff, als Prozessgas und Energieträger in vielen Anwendungen in den Fokus gerückt. Aufgrund der Notwendigkeit, Speicherkapazitäten effizient zu nutzen, muss Wasserstoff unter hohem Druck oder in flüssiger Form gespeichert werden. Das EMPIR-Projekt 20IND11 MetHyInfra adressiert diese Herausforderungen durch die Bereitstellung verlässlicher Daten, messtechnischer Infrastruktur, validierter Verfahren und normativer Beiträge. **Autoren:** Oliver Büker, Benjamin Böckler

Kritische Venturidüsen (Critical Flow Venturi Nozzles, CFVNs) sind heute weit verbreitet und stellen eine standardisierte und anerkannte Methode zur Durchflussmessung dar. Die wichtigsten Details bezüglich Form und Messmodell sind in der Norm ISO 9300 festgelegt. CFVNs werden im eichpflichtigen Verkehr eingesetzt und gelten als zuverlässige Normale mit hoher Langzeitstabilität. Die kostengünstigen und wartungsarmen CFVNs liefern bei gut definierter Geometrie stabile, reproduzierbare Messergebnisse und sind nur vom verwendeten Gas abhängig. Die Norm ISO 9300 beschreibt zwei Düsenformen, die zylindrische und die toroidale Form. In der Realität weichen die nach dieser Norm gefertigten Düsenkonturen jedoch von diesen Idealformen ab. In den meisten Fällen liegen die realen Formen zwischen den beiden Idealformen.

Die erreichbare Messunsicherheit wird auch durch die Qualität der Modelle der thermophysikalischen Eigenschaften der zu messenden Gase begrenzt. Die aktuelle Referenzgleichung (Equation of State, EoS) für normalen Wasserstoff ($n\text{-H}_2$) wurde von Leachman et al. entwickelt [1]. Da für $n\text{-H}_2$ nur begrenzte thermodynamische Messdaten mit vergleichsweise hohen Messunsicherheiten vorliegen, sind die Unsicherheiten für die verschiedenen Eigenschaften im Allgemeinen um eine Größenordnung höher als bei anderen Gasen.



Abb. 1: Düsenhalter für kritische Venturidüsen

Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht bei der messtechnisch abgesicherten Mengenmessung für den Nieder- bis Hochdruckbereich von gasförmigem und verflüssigtem Wasserstoff. Darüber hinaus müssen entsprechende Rückführungsketten auf das SI-System für den weiten Bereich von Betriebsbedingungen aufgebaut werden, um valide Aussagen über die Messgenauigkeit und Stabilität der eingesetzten Durchflussmessgeräte treffen zu können

Daher wurden in diesem Projekt neue Schallgeschwindigkeitsmessungen (speed of sound, SoS) bei Temperaturen von 273 bis 323 K und Drücken bis 100 MPa durchgeführt. Die gewonnenen Daten wurden anschließend zur Entwicklung einer neuen, für Gasphasenberechnungen optimierten EoS für $n\text{-H}_2$ verwendet [2]. Durch die Messungen konnten die Unsicherheiten der aus der EoS berechneten SoS im untersuchten Temperatur- und Druckbereich deutlich reduziert werden.

Im Projekt wurden umfangreiche Computational-Fluid-Dynamics-Simulationen (CFD-Simulationen) durchgeführt, um weitere Erkenntnisse über die Strömungsphysik in der Düse zu gewinnen. Zu diesem Zweck wurde in OpenFOAM ein numerisches Modell für Hochdruck-Wasserstoffströmungen in CFVN entwickelt, das verschiedene relevante Gaseffekte, wie zum Beispiel Kompressibilitätseffekte, Grenzschichteffekte, Übergangseffekte, berücksichtigt. Die erzielten Ergebnisse stimmen wesentlich besser mit den experimentellen Daten überein als bisher verfügbare Implementierungen.

Um das Strömungsverhalten nicht idealer Düsenkonturen bewerten und vergleichen zu können, wurden zusätzlich CFD-Simulationen für die in diesem Projekt experimentell



Abb. 2: Mobiles HRS-Durchflussnormal

62

untersuchten idealen Düsen sowie für parametrisierte Düsen durchgeführt. Der Durchflusskoeffizient dieser nicht idealen Düsen kann mit Hilfe der vorgeschlagenen Düsenformcharakterisierung sehr gut vorhergesagt werden. Die im Projekt entwickelten Implementierungen sind frei verfügbar [3].

Da derzeit keine Prüfeinrichtung mit rückführbaren Standards zur Verfügung steht, mit der CFVNs direkt mit Hochdruckwasserstoff kalibriert werden können, musste eine alternative Methode entwickelt werden. Das gewählte Vorgehen ist, ein Coriolis Flow Meter (CFM) unter Hochdruckbedingungen (Bereich 10 MPa bis 90 MPa) mit einem gravimetrischen Primärnormal rückführbar zu kalibrieren, um es später als Referenzmessgerät für die Düsenkalibrierung verwenden zu können.

Für die Kalibrierung des Referenzmessgeräts wurde die H₂-Versuchstankstelle (Hydrogen Refueling Station, HRS) des Zentrums für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) in Duisburg ausgewählt. Für die Messungen wurde ein Rheonik RHM04 CFM als Referenzmessgerät in der „warmen Zone“ der HRS installiert, das heißt vor dem Wärmetauscher und dem Druckregelventil. In diesem Bereich ist die Temperatur stets nahe der Umgebungstemperatur und der Druck konstant hoch, typischerweise um 90 MPa. Für die Kalibrierung wurde ein mobiles HRS-Durchflussnormal verwendet, das direkt an die HRS angeschlossen wurde und somit den Platz eines Fahrzeugs einnahm.

Im letzten Schritt sollen die Ergebnisse der CFVN-Messkampagne mit denen der CFD-Simulationen verglichen werden. Dabei werden die neu entwickelten EoS sowohl in der Messkampagne als auch in den CFD-Simulationen eingesetzt, um beide Ergebnisse bestmöglich vergleichen zu können.

MESSVERFAHREN FÜR FLÜSSIGEN WASSERSTOFF Neben gasförmigem Wasserstoff liegt ein Schwerpunkt des Projekts auf verflüssigtem Wasserstoff (LH₂). Es gibt gegenwärtig noch keine Primär- oder Transfernormale für die Messung von LH₂. Die mit der Verwendung eines Durchflusssensors für die Durchflussmessung von LH₂ verbundene Unsicherheit ist unbekannt und nicht quantifiziert, da es keine direkte Rückführbarkeit auf Kalibrierungen mit LH₂ als Kalibrierflüssigkeit gibt. Das Fehlen von Kalibriereinrichtungen bedeutet, dass Zähler, die mit LH₂ verwendet werden, mit alternativen Flüssigkeiten wie Wasser, verflüssigtem Stickstoff (liquid nitrogen, LN₂) oder Flüssigerdgas (liquefied natural gas, LNG) kalibriert werden müssen.

Im Rahmen des Projekts wurden daher drei Ansätze entwickelt, die auf völlig unabhängigen Rückführungsketten für die Messung von LH₂-Durchflüssen basieren. Die ersten beiden Ansätze sind auf Durchflüsse beim Be- und Entladen von LH₂-Tankwagen anwendbar (Durchflüsse bis zu 3.000 kg/h für einen Messquerschnitt DN25 bei Drücken bis etwa 1 MPa), der dritte auf kleinere Durchflüsse (4 kg/h für einen Messquerschnitt DN3 bei Drücken bis etwa 0,2 MPa).

Der erste Ansatz basiert auf der Bewertung der Übertragbarkeit von Wasser- und LNG-Kalibrierungen auf LH₂-Bedingungen. Die Studie identifiziert und analysiert potenzielle Unsicherheitsbeiträge für kryogene CFMs. Die experimentelle und theoretische Analyse soll als Grundlage für Richtlinien für die Konstruktion und Auswahl von CFMs dienen, die für SI-rückführbare LH₂-Durchflussmessungen geeignet sind. CFMs sind eine anerkannte Technologie für die direkte Messung des Massendurchflusses und der Dichte von Flüssigkeiten und werden typischerweise im kryogenen eichpflichtigen Verkehr für Transportkraftstoffanwendungen eingesetzt.

Die Literaturrecherche identifizierte mehrere Temperaturkorrekturmodelle, die auf LH₂-Durchflüsse anwendbar sind, das heißt, wie die LH₂-Durchflussmessung aufgrund von Temperatureffekten, die die CFM-Messung beeinflussen, korrigiert werden sollte. Numerische Finite-Elemente-Methoden (FEM) für U-förmige, bogenförmige und gerade Rohrkonstruktionen wurden verwendet, um die Temperaturempfindlichkeit von CFMs für die Messung von LH₂-

Durchflüssen vorherzusagen [4]. Schließlich können mit Hilfe der FEM auch Abschätzungen der erreichbaren Messunsicherheit unter Verwendung des aktuellen Stands der Technik für die LH₂-Durchflussmessung durchgeführt werden.

Der zweite Ansatz basiert auf der kryogenen Laser Doppler Velocimetry (LDV) und wird als “Référéncie en Débitmétrie Cryogé-



Abb. 3: LDV-Standard für rückführbare kryogene Durchflussmessung

nique Laser“ (RDCL) bezeichnet. Die Rückführbarkeit wird durch Geschwindigkeitsmessungen gewährleistet, und es kann entweder als Primärnormal oder als Sekundärnormal für Durchflussmessungen von flüssigem Wasserstoff verwendet werden. Seine In-situ-Kalibrierunsicherheit in kryogenen Strömungen (d. h. Flüssigstickstoff, Flüssigerdgas) wurde auf 0,6 % ($k = 2$) geschätzt [5]. Da das RDCL in jeder Flüssiggasanlage installiert werden kann, hat es den Vorteil, dass eine repräsentative Kalibrierung unter Prozessbedingungen direkt in der Anlage durchgeführt werden kann.

Der dritte Ansatz wird als Verdampfungsmethode bezeichnet. Die Rückführbarkeit auf SI-Einheiten wird in der Gasphase durch kalibrierte Laminar-Flow-Elemente (LFE) gewährleistet, nachdem das verflüssigte Gas verdampft wurde. Die LFE sind auf die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) rückführbar. Wie beim ersten Ansatz muss die Übertragbarkeit alternativer Flüssigkeitskalibrierungen mit Wasser, LN_2 und verflüssigtem Helium (LHe) bewertet werden, da die Kalibrierbank aus Sicherheitsgründen nicht für die direkte Verwendung von LH_2 geeignet ist. Der kleinere Durchflussbereich und die Tatsache, dass nichtexplosive Gase verwendet werden, sind operationelle Vorteile der Verdampfungsmethode. Ein weiterer Vorteil ist die Verwendung von LHe (Siedepunkt bei etwa 4 K), so dass die Unsicherheit der alternativen Flüssigkeitskalibrierung auf Interpolation und nicht auf Extrapolation beruht.

Ein wichtiger Aspekt, der bei der Verdampfungsmethode berücksichtigt werden muss, ist die Umwandlung von Para-Wasserstoff in normalen Wasserstoff, die von Günz ausführlich untersucht wurde [6]. Bei tiefen Temperaturen liegt fast ausschließlich Para-Wasserstoff vor, bei Raumtemperatur ändert sich das Verhältnis auf 25 % Para- und 75 % Ortho-Wasserstoff (n-Wasserstoff). Para- und Ortho-Wasserstoff unterscheiden sich deutlich in bestimmten physikalischen Eigenschaften wie Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität oder SoS. Diese können die Gasdurchflussmessung je nach Messprinzip des Durchflusssensors stark beeinflussen. LFEs, die zur Messung des Gasdurchflusses bei Umgebungsbedingungen eingesetzt werden, sind davon nicht betroffen, da Dichte und Viskosität, insbesondere im hier interessierenden Temperaturbereich, vernachlässigbare Unterschiede aufweisen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Projektergebnisse das Vertrauen der Endnutzer und Verbraucher stärken werden. Die vorgestellten Methoden gewährleisten verlässliche Daten von Messungen, was für die Erhöhung des Wasserstoffanteils am Gesamtenergieverbrauch wichtig ist.

This project (20IND11 MetHyInfra) has received funding from the EMPIR programme co-financed by the Participating States and from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme.

Literatur

- [1] Leachman, J. W.; Jacobsen, R. T.; Penoncello, S. G.; Lemmon, E. W.: Fundamental Equations of State for Parahydrogen, Normal Hydrogen, and Orthohydrogen, *J. Phys. Chem. Ref. Data* 38(3): 721-748 (2009) <https://doi.org/10.1063/1.3160306>
- [2] Nguyen T-T-G, Wedler C, Pohl S, Penn D, Span R, Trusler JPM, Thol M. Experimental Speed-of-Sound Data and a Fundamental Equation of State for Normal Hydrogen Optimized for Flow Measurements. *Unter Begutachtung in International Journal of Hydrogen Energy*, 2024.

- [3] Weiss, S. (2023). Dataset of publication "Derivation and validation of a reference data-based real gas model for hydrogen" (V1.0) [Data set]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10074998>
- [4] M.D. Schakel, F. Gugole, D. Standiford, J. Kutin, G. Bobovnik, N. Mole, R. Maury, D. Schumann, R. Kramer, C. Guenz, H.-B. Böckler, O. Büker, „Establish traceability for liquefied hydrogen flow measurements“, FLOMEKO, Chongqing, 2022
- [5] Maury, R., Strzelecki, A., Auclercq, C., Lehot, Y., Loubat, S., Chevalier, J., Ben Rayana, F., Olsen, Å. A. F., Chupin, G., "Cryogenic flow rate measurement with a laser Doppler velocimetry standard," *Measurement Science and Technology*, vol. 29, no. 3, p. 034009, 2018 <https://doi.org/10.1088/1361-6501/aa9dd1>
- [6] C. Günz, "Good practice guide to ensure complete conversion from para to normal hydrogen of vaporized liquified hydrogen", <https://doi.org/10.7795/110.20221115>

Autoren:



Oliver Büker
RISE Research Institutes of Sweden,
Borås, Sweden
→ oliver.buker@ri.se



Benjamin Böckler
Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB),
Braunschweig
→ hans-benjamin.boeckler@ptb.de



Wasserstoff-Kompetenz-Zentrum

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







ANWENDERZENTRUM H2HERTEN

- Erstes Technologiezentrum für Firmen der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnik
- Büroräume und Technika
- Integrierte Wasserstoffversorgung
- H_2 -basiertes Energiekomplementärsystem
- Meetingräume inkl. Präsentationstechnik

DIE WASSERSTOFFWENDE



„Leicht verständlich und unterhaltsam“ – mit diesem Anspruch ist Monika Rößiger an ihr Buch gegangen, um insbesondere den technisch nicht so Versierten näher zu bringen, was Wasserstoff so alles kann. Für die Wissenschaftsjournalistin und HZwei-Redakteurin ist Wasserstoff „der Schlüssel zur Energiewende“. „Er gibt uns die Chance, auf Erdöl, Kohle und Erdgas zu verzichten“, so die Hamburgerin.

Dafür widmet sie sich auf 256 Seiten verschiedenen Pilotprojekten sowie den Men-

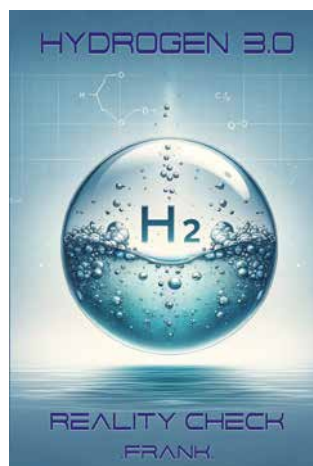
schcn, die sich, beispielsweise in der Energieversorgung, in der Stahlindustrie oder der Hafenlogistik, bereits mit Wasserstoff beschäftigen. So berichtet sie von eigenen Erfahrungen bei der Besichtigung von Projekten wie AquaVentus oder dem Norddeutschen Reallabor. Dementsprechend lautet der Untertitel: „So funktioniert die Energie der Zukunft.“

Auf technische Grundlagen geht Rößiger, die auch für Geo, Spiegel, Tagesspiegel, Zeit und Spektrum der Wissenschaft schreibt, am Buchanfang aber nur in groben Zügen ein.

Ihr Buch im Reportagestil vermittelt sehr anschaulich, wie der aktuelle Entwicklungsstand in den verschiedenen Anwendungsbereichen (z. B. Luft- und Schifffahrt, Nutzfahrzeuge, Eisenbahnen) sowie im Wärmesektor, beim H₂-Transport und in der Metallindustrie ist. Mit einem gut dokumentierten Quellenverzeichnis genügt ihr Buch zudem allen wissenschaftlichen Ansprüchen. •

▣ Rößiger, Monika; Die Wasserstoffwende, Edition Körber, ISBN 978-3-896-842954, 2022

HYDROGEN 3.0



„Stehen wir an der Schwelle zu einer Wasserstoffrevolution oder sind wir lediglich Zeugen einer weiteren Blase?“ Mit seinem neuen englischsprachigen Buch „Hydrogen 3.0 – Reality Check“ möchte der Autor Frank Genin dazu beitragen, Fakten von Fiktion zu trennen. Der US-Amerikaner lädt die Leserschaft auf eine Reise zur Wahrheit hinter dem Wasserstoff-Hype ein.

Auf 280 Seiten, illustriert mit zahlreichen Schwarz-Weiß-Abbildungen (digital

auch in Farbe erhältlich), ermöglicht er einen ganzheitlichen Blick auf die weltweite Wasserstoffwirtschaft – in seinen eigenen Worten eine „nuancierte, gut recherchierte Perspektive“, indem er unter anderem verschiedene Einsatzgebiete sowie unterschiedliche Märkte – von China bis Deutschland – beleuchtet.

Genin stellt die Frage, ob Wasserstoff tatsächlich der Treibstoff der Zukunft ist – das grüne Allheilmittel, die Wunderwaffe, auf die wir alle gewartet haben –, oder ob wir in unserer Verzweigung sein Potenzial vielleicht überschätzt haben. Er richtet sich mit unvoreingenommenem Ton und weitestgehend sachlich gleichermaßen an Investoren sowie Umweltschützer und an alle, die mehr über Wasserstoff erfahren möchten. •

▣ Genin, Frank; Hydrogen 3.0, ISBN 978-2-958-293093, 2024

64

Powering a
sustainable
future

Celeroton
Fuel Cell



Get More Information
celeroton.com/fuelcells



SWISS MADE

GRUPPENROTATION WIRD WASSERSTOFF VORANBRINGEN

Aktien aus dem Krypto-Universum und von vielen Hightech-Unternehmen erreichen derzeit neue Höchstkurse. Auch Rüstung boomt an der Börse angesichts der vielen, teils kriegerischen weltpolitischen Konflikte. Nur der Themenkomplex Wasserstoff und Brennstoffzelle führt noch ein Schattendasein mit Kursen auf Crash-Niveau, die aber die Perspektiven von nachhaltig erzeugter Energie und vor allem von Wasserstoff völlig ausblenden – noch. **Autor:** Sven Jösting

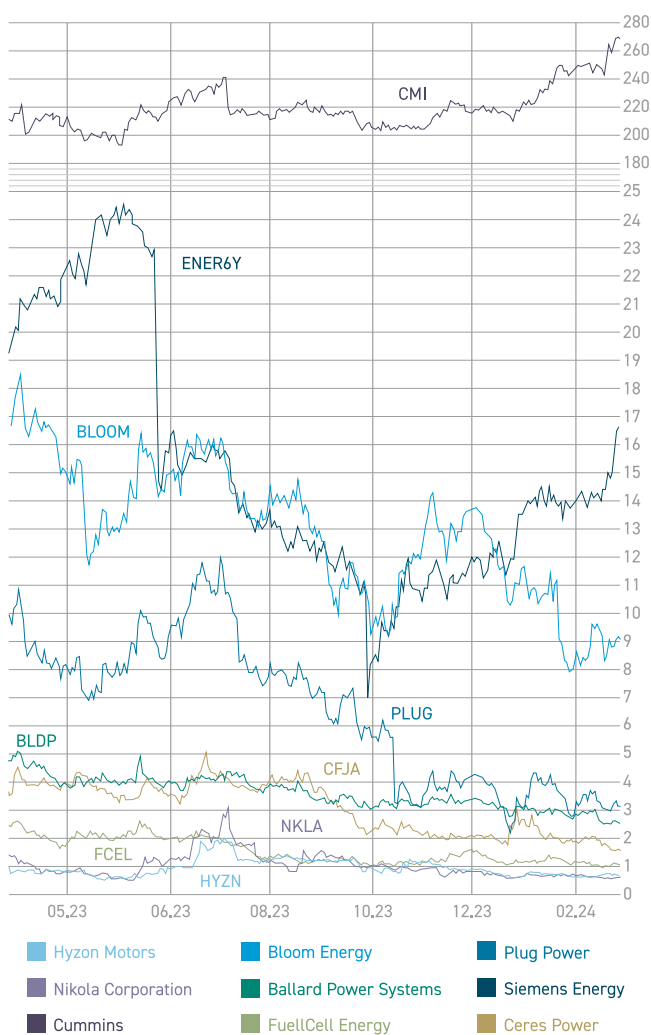


Abb. 1: Aktienkursverlauf der besprochenen Unternehmen
[Quelle: www.wallstreet-online.de]

Die Börse funktioniert auch immer nach dem Prinzip der Gruppenrotation, wonach immer genau die Branchen in den Fokus und ins Zentrum des Anlegerinteresses rücken, die bisher völlig vernachlässigt wurden, aber über hervorragende Perspektiven verfügen. Genau daher rührt meine Erwartung, dass nach fast drei Jahren fallender Aktienkurse nun allmählich die Trendwende einsetzt und ein nachhaltiger, langfristiger Aufwärtstrend an der Börse beginnt, der seine Basis in einem sehr hohen Unternehmenswachstum hat.

Vielen Marktteilnehmern ist derzeit noch unklar, wie Wasserstoff in großen Mengen verfügbar werden könnte, dabei steht heute schon fest, dass die Produktionsmengen enorm steigen und die Preise fallen werden. Das alles geht aber nicht über Nacht: Riesige Kapazitäten an Elektrolyseurtechnologie – PEM, AFC, AEM, SOFC – müssen entstehen, um ausreichend Wasserstoff produzieren zu können.

HYDROGEN ECONOMY IS ON ITS WAY AND WILL COME!
„Die H₂-Wirtschaft ist auf dem Weg und wird kommen“, so das Fazit des H₂ Forums in Berlin (19. und 20. Febr. 2024, s. S. 24). Ein Referent führte aus, dass wir jetzt, nach den übertriebenen Erwartungen, „aus dem Tal des Todes“ heraus- und auf dem Boden der Tatsachen angekommen seien. Jetzt gehe es darum, die Risiken abzuschätzen und in konkrete Projekte einzusteigen, die sich in Investitionen in den gesamten Themenkomplex Wasserstoff niederschlagen würden. Vom Reden zum Handeln.

Blicken wir visionär in die Jahre 2030, 2035 und 2040, so ist klar, was heute technologisch alles auf den Weg gebracht werden muss. Grüner und vorübergehend blauer Wasserstoff (erzeugt durch Erdgasreformierung – 70 Prozent weniger CO₂) werden dominieren und den grauen Wasserstoff aus Erdgas CO₂-frei ablösen. Regenerativ erzeugter Wasserstoff wird zum Rohstoff, der als Commodity an der Börse einen Marktpreis erhält. Diejenigen Produzenten, die über große Mengen an kostengünstiger regenerativer Energie (Sonne, Wind und Wasserkraft) verfügen und den notwendigen Zugang zu Wasser (vor allem Meerwasser) haben, erhalten ein

handelbares Gut, das sie mit hohen Gewinnmargen auf dem Weltmarkt verkaufen oder selbst nutzen können.

Für letzteren Fall ist zu beobachten, dass Länder mit idealen Rahmenbedingungen zunehmend darüber nachdenken, den erzeugten Wasserstoff durch den Aufbau entsprechender Industrien selbst vor Ort zu nutzen, statt ihn an Länder wie Deutschland zu verkaufen, da Energie ein sehr wichtiger Standortfaktor ist.

WASSERSTOFF UND BÖRSE In Ländern wie China und einzelnen Regionen wie dem US-Bundesstaat Kalifornien entwickeln sich Wasserstoffstrategien, die Vorbildcharakter haben und auch als Blaupause für die Welt dienen. In China sollen bis 2025 über 1.200 H₂-Tankstellen in Betrieb sein. Derzeit sind es etwa 400. Südkorea will langfristig mehr als 1.600 H₂-Tankstellen im Land etablieren. Hier in Deutschland sind nach wie vor rund 100 in Betrieb.

Firmen mit Kapazitäten für Brennstoffzellen-Stacks sowie -Module für Nutzfahrzeuge stehen in den Startlöchern (Bosch, Cummins, Ballard, Hyzon, Toyota, Hyundai u. v. a.), denn diese Märkte werden riesig sein. Man kann von mehreren Millionen Lkw und Bussen ausgehen, die in den nächsten zehn bis zwanzig Jahren auf Batterie und Brennstoffzelle (auch in Kombination) umgestellt werden. Auch Wasserstoffmotoren bekommen viel Aufmerksamkeit, verschiedene Prototypen wurden bereits entwickelt (Bosch, Cummins, Toyota).

Die Frage nach den richtigen H₂-Aktien lässt sich insofern gut beantworten, als vor allem solche Unternehmen gewinnen werden, die über eine ausgereifte Technologie verfügen, robuste Geschäftsmodelle betreiben, lieferfähig sind und möglicherweise selbst von Consumable Hydrogen profitieren, wenn sie diesen kostengünstig selbst herstellen oder als Handelsgut vertreiben und nutzen können.

Hier winkt perspektivisch eine gute Gewinnmarge mit hohem Steigerungspotenzial. An der Börse gibt es allerdings gerade in Sachen Wasserstoff noch eine Phase der Enttäuschung, da erstens alles nicht so schnell geht und zweitens auch Rückschläge zu verkraften sind. Neben Fragen der Umsetzungsgeschwindigkeit geht es oft auch um regulatorische Fragen auf der Zeitschiene. Dass die Börse das Potenzial der Unternehmen mit deren Aktienkursen und Börsenbewertungen noch nicht erkannt hat, ist an den aktuellen Kursen unschwer abzulesen. Dass es aber zu einer völligen Neubewertung kommen wird, steht außer Frage, auch wenn es länger dauern wird. Haben Sie Geduld. Wir stehen erst am Anfang dieses neuen Mega-Trends – auch an der Börse. Warten wir auf die Gruppenrotation, dann geht alles ganz schnell.

BALLARD – PERSPEKTIVEN BESSER ALS AKTUELLE BÖRSENBEWERTUNG

Der Aktienkurs von Ballard Power befindet sich auf einem Tiefstand. Die veröffentlichten Zahlen für das vierte Quartal 2023 und das Gesamtjahr 2023 zeichnen ein widersprüchliches Bild. Die vom Vorstand ausgeführten Zukunftsaussichten geben jedoch Anlass zu Optimismus. Der Umsatz stieg im vierten Quartal auf 46,8 Mio. US-Dollar – ein Plus von 132 Prozent gegenüber dem Vorjahresquartal. Der Auftragsingang lag im vierten Quartal bei beachtlichen 64,7 Mio.

US-\$, wobei sich der Auftragsbestand (Backlog) leicht um drei Prozent auf 130,5 Mio. US-\$ verringerte, da Ballard mehr Aufträge zur Ausführung (Auslieferung) brachte. Allerdings ging der Auftragsbestand um 21,7 Mio. US-\$ zurück, da es bei einem Kunden zu Verzögerungen kam. Dieser Auftrag ist nicht verloren, kann aber noch nicht bilanziert werden.

Der Gesamtumsatz lag 2023 bei 102,4 Mio. US-\$, unterm Strich blieb für das Gesamtjahr ein Verlust von 0,48 US-\$/Aktie. Das sind aber alles Momentaufnahmen, die die Perspektiven des Unternehmens ausblenden, denn wichtige Märkte für die Brennstoffzelle stehen erst am Anfang einer langen Phase starken Wachstums. In den USA arbeitet Ballard am Aufbau einer neuen Produktionsstätte, wie jüngst bekannt wurde, und zwar einer in Texas: Hier sollen einmal 20.000 BZ-Stacks im Jahr produziert werden, wie auch die MEA. Investitionsvolumen: 160 Mio. US-\$, wobei Zuschüsse in Höhe von 40 Mio. US-\$ winken. Baut man ein solches Werk, wenn man nicht an die Zukunft der eigenen Technologie und deren Markt glaubt? Mitnichten.

BEI BZ-BUSSEN GEHT ES RICHTIG LOS Beeindruckend ist die Entwicklung der Lieferungen und Auftragseingänge von BZ-Modulen für Busse. Ein Beispiel: Der Bushersteller Solaris begann seine Zusammenarbeit mit Ballard im Jahr 2013 mit dem Kauf von zwei Modulen. In den folgenden zehn Jahren bestellte Solaris 213 Module. Allein im Jahr 2023 waren es schon 365 Module. Laut Ballard ist dies erst der Anfang einer wahren Auftragswelle. Ähnlich sieht es beim langjährigen Kooperationspartner NFL aus: 141 Module im Jahr 2023, was erst der kleine Anfang des möglichen Auftragsvolumens sein soll, so der Kommentar.

NFL vereint unter seinem Dach diverse Busmarken wie New Flyer (70 Prozent Marktanteil bei Transitbussen in den USA), aber auch Alexander Dennis (Doppeldecker) und MCI. Die Jahresproduktion beläuft sich auf 8.000 Busse. Nun wurde die Partnerschaft mit Ballard verstärkt und bereits 100 BZ-Module bestellt, die bis 2024 ausgeliefert werden sollen.

Bis zum Jahr 2037 soll es weltweit 650.000 Busse geben (Information Trends), die mit Wasserstoff fahren. 2022 waren es gerade mal 4.000. Die Preisparität von batterieelektrischen und wasserstoffbetriebenen Bussen soll im Jahr 2030 erreicht sein. Dann soll es auch genügend H₂-Stationen geben und der Wasserstoffpreis paritätisch mit dem Dieselpreis sein. Ballard ist heute der eindeutige Marktführer und könnte dies auch bleiben.

CHINA – DER RIESE ERWACHT Das Joint Venture mit Weichai zur Produktion von BZ-Modulen für Lkw und Busse ist immer noch nicht richtig in Fahrt gekommen. Regulatorische Bedingungen und Förderprogramme sowie Initiativen einzelner Provinzen stimmen Ballard zuversichtlich, dass es bald richtig losgehen wird. 20.000 komplette BZ-Systeme (Leistungsspektrum von 50 bis 200 kW) können hier pro Jahr gebaut werden. Das entspricht einer Jahreskapazität von 2 GW an BZ-Leistung. Im Jahr 2023 wurden in China 7.500 BZ-Fahrzeuge verkauft – insgesamt gibt es dort inzwischen 7.300 BZ-Busse und 13.700 BZ-Lkw. Durch besondere Fördermaßnahmen der Provinz Shandong (wo die Produktion angesiedelt ist) soll das JV ab 2024 endlich an den Start gehen.

Aus dem Vereinigten Königreich meldet Ballard einen Auftrag über 15 MW BZ-Leistung. Es handelt sich um 150 FCmove-Module für einen namentlich nicht genannten Kunden, mit dem eine Absichtserklärung über weitere 296 FCmove-Module mit Lieferung bis März 2026 besteht. Da-



Abb. 2: Das FCmove®-HD+ von Ballard – ein mittelschweres BZ-Energiemodul der nächsten Generation für den Einsatz in emissionsfreien Antriebsanwendungen [Quelle: Ballard]

bei geht es um netzferne Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Gleichzeitig meldet Ballard den erfolgreichen Abschluss von Testreihen für BZ-Backup-Systeme für Rechenzentren mit Caterpillar und Microsoft. Letzteres könnte die Basis für Großaufträge sein.

BODENBILDUNG BEIM AKTIENKURS ABGESCHLOSSEN?

Der Kursanstieg von 1 bis 2 US-\$ (2018 bis 2020) auf über 40 US-\$ Ende 2021 und der anschließende Kursrückgang auf aktuell rund 2,70 US-\$ sollten nun wieder in einen nachhaltigen Aufschwung münden. Damit ist das gesamte H₂-Ökosystem an der Börse beschrieben: Es beginnt mit technologischen Entwicklungen, die an der Börse zu einer Erwartungshaltung führen, die sich in stark steigenden Aktienkursen der börsennotierten Unternehmen der Branche ausdrückt.

Dies war Ende 2021 der Fall. Danach kam es nach und nach zu starken Kurseinbrüchen, verbunden mit einer zunehmenden Desillusionierung der Investoren. Gemäß dem Gartner-Hype-Zyklus geht die BZ- und H₂-Branche jetzt in einen langfristigen Aufwärtstrend über, denn die Märkte kommen in Schwung. Bei Wasserstoff geht es um Produktion, Transport, Anwendungen, Märkte u. v. m. Dabei ist klar, dass es sich um eine disruptive neue Technologie und Industrie handelt.

Kombiniert man diese Analyse mit dem langfristigen Elliott-Wave-Chart, ergibt sich ein Bild, wonach die Ballard-Aktie jetzt ihren Boden bildet (ein aktueller Sell Off als Ende der Abwärtsspirale), gerade zu einem Zeitpunkt, wo die Anleger fast nicht mehr an den Erfolg des Unternehmens glauben wollen, was sich in dem sehr niedrigen Aktienkurs und der Börsenbewertung von ca. 0,8 Mrd. US-\$ bei gleichzeitig 751 Mio. US-\$ auf der Bank ausdrückt. Heute haben wir reale Zahlen, wenn man sich nur die über 1.680 Busse ansieht, die mit Ballard-Technologie fahren. Die Wasserstoffkosten pro 100 km sinken massiv, ebenso werden die Module durch Kostensenkungsprogramme und Materialoptimierungen immer wettbewerbsfähiger – auch im Vergleich zu batterieelektrischen und dieselbetriebenen Bussen.

Liegen die Kosten für Dieselkraftstoff bei durchschnittlich 240 US-\$/Tag und bei der Batterie bei 16 US-\$ für Strom/Tag, so liegt die Brennstoffzelle (Wasserstoff) inzwischen bei durchschnittlich 85 US-\$/Tag. Man muss aber auch die Ladezeiten eines batterieelektrischen Busses berücksichtigen, während Wasserstoff und Diesel in wenigen Minuten getankt werden können. Insbesondere bei bestimmten Anwendungen (mit langen Strecken, hügeligem Gelände, Witterungseinflüssen) ist der Wasserstoffbus dem batterieelektrischen Bus überlegen.

Hinzu kommt, dass Wasserstoff immer günstiger wird. Lag der Durchschnittspreis pro kg bislang noch bei 10 Euro, so sollen in ein bis zwei Jahren durchschnittlich 6,48 Euro machbar sein, in zwei bis drei Jahren 3 bis 5 Euro/kg, und in 10 bis 15 Jahren, so sagt man, könnten es sogar nur noch 1 bis 2 \$ pro kg sein. Die Gesamtkosten (Total Cost of Ownership) für den Wasserstoffbus werden massiv sinken, und Diesel wird ersetzt werden müssen.

Ballard setzt gelassen auf die Skalierung seiner Technologien und den bevorstehenden Hochlauf wichtiger Sektoren wie des Schwerlastverkehrs. Schon im laufenden Jahr 2024 soll der Auftragseingang für BZ-Module für Busse stark ansteigen, wobei sich die Umsatzerwartung mit 30 zu 70 Prozent auf das erste und zweite Halbjahr verteilt. Auftragsgänge werden sich auf den Börsenkurs auswirken, weniger die nächsten Quartalszahlen.

Fazit: Ballard ist bilanziell sehr gut aufgestellt. Mit über 750 Mio. US-\$ Liquidität kann das Unternehmen sein zukünftiges Wachstum (Ausbau bestehender Kapazitäten, geografische Expansion) sehr gut aus eigener Kraft stemmen. Schlüsselmärkte wie BZ-Busse und -Lkw stehen gerade erst in den Startlöchern und werden langfristig für ein sehr hohes Wachstum des Unternehmens sorgen. Dass dies alles länger dauert als erwartet, ist für die Entwicklung eines neuen Marktes normal. Das Jahr des eigentlichen Durchbruchs (Gewinnzone) wird 2025/26 sein, da bis dahin die wichtigsten Rahmenbedingungen (u. a. Verfügbarkeit von H₂-Infrastruktur) geschaffen sind und die Regulierung sowie Förderprogramme weltweit (USA, EU und Asien) im positiven Sinne voll greifen. Ballard dürfte einer der Gewinner dieser Entwicklung sein. 2024 wird von steigenden Auftragsengängen geprägt sein. Kaufen und liegen lassen. Anlagehorizont: mindestens zwei bis drei Jahre.

BLOOM ENERGY ÜBERZEUGT AUF DER LANGSTRECKE

Bloom Energy plant eine Kooperation mit Shell zur Nutzung seiner SOEC-Technik für die großtechnische Produktion von Wasserstoff. Bloom verweist darauf, dass man bereits sehr erfolgreiche Testreihen mit dem Ames Research Center der NASA in Mountain View durchgeführt habe: 2,4 t H₂ pro Tag konnten dort produziert werden – Bestleistung bezogen auf den Energieeinsatz in Relation zum Wasserstoffoutput und PEM- und alkalischer Elektrolyse damit weit überlegen.

Bloom Energy meldet für das vierte Quartal 2023 einen Umsatz von 357 Mio. US-\$, erwartet hatte man 450 bis 500 Mio. US-\$. Jetzt sind es 1,33 Mrd. US-\$ für das Gesamtjahr 2023, 1,4 bis 1,5 Mrd. US-\$ hätten es werden sollen. Die Non-GAAP-Gewinnmarge soll 2024 bei 28 Prozent liegen. Indes: 160 Mio. US-\$ fehlender Umsatz gehen auf das Konto eines milliardenschweren Rahmenvertrags mit der südkoreanischen SK Group, die zugleich größter Einzelaktionär von Bloom ist. Hier wurden jährliche Ziele für Projekte und damit verbundene Umsätze (Aufträge) definiert, die im Jahr 2023 um 160 Mio. US-\$ geringer ausgefallen sind als erwartet.

Diese Umsätze kommen nun erst mit Verzögerung, nämlich ab 2024. Nun gibt es einen neuen Vertrag, der auf Quartalsbasis läuft und damit – so die Aussage des Finanzvorstandes – viel kalkulierbarer ist, da Mindestumsätze pro Quartal festgelegt wurden. Dass die Börse von der Entwick-

„Wir gehen davon aus, dass Bloom das Jahr 2024 mit einer Reihe von kommerziellen Impulsen beschließen wird, sowohl bei der Gewinnung von Aufträgen als auch bei der Auslieferung von Systemen.“

Der scheidende CFO Greg Cameron

lung in 2023 enttäuscht ist, liegt auf der Hand. Zudem wird das Wachstum im ersten Halbjahr 2024 geringer ausfallen als erwartet, bis es im zweiten Halbjahr wieder richtig losgeht. Für 2024 wird nun ein Umsatzziel von 1,4 bis 1,6 Mrd. US-\$ ausgegeben – es sollten ursprünglich über 1,8 Mrd. US-\$ werden. Aber – und das ist positiv – der Non-GAAP-Gewinn soll in diesem Jahr zwischen 75 und 100 Mio. US-\$ liegen. Negativ ist, dass CFO Greg Cameron das Unternehmen aus persönlichen Gründen verlassen wird. Das ist wahrlich ein Cocktail aus „kurzfristigen“ Negativnachrichten, die aber angesichts der Aussichten bald vergessen sein dürften.

Es gibt einen Auftragsbestand von 12 Mrd. US-\$ (Backlog: 3 Mrd. US-\$ in Hardware und 9 Mrd. US-\$ in langfristigen Serviceverträgen). Das Unternehmen ist mit seinen Energieservern sehr gut positioniert und hat eine führende Position bei Hochtemperatur-Elektrolyseuren, die 2025 auf den Markt kommen werden – zunächst mit einer Leistung von 2 GW pro Jahr und einem starken Umsatzwachstum, ebenfalls ab 2025.

Testreihen, unter anderem im Idaho National Lab, seien äußerst positiv verlaufen, hieß es auf der Bilanzpressekonferenz. Fast 750 Mio. US-\$ Cash auf dem Konto sind ein gesundes Eigenfinanzierungspolster. Erst im August 2025 müssen 250 Mio. US-\$ Schulden beglichen werden. Bei höheren Aktienkursen sollte es kein Problem sein, dann neue Aktien auszugeben und Fremdkapital durch Eigenkapital zu ersetzen. Wichtiger ist der Blick auf den Unternehmensgewinn: Der fällt mit einem Plus von 27,4 Mio. US-\$ als Non-GAAP-Gewinn im vierten Quartal 2023 sehr gut aus.

Das Ziel ist klar definiert: 2024 soll die Gewinnmarge durch Kostenmanagement, höhere Margen im Servicebereich und Preisdisziplin gesteigert werden. Die Materialkosten sollen zur Vermeidung von Supply-Chain-Problemen in diesem Jahr deutlich sinken. Die Produktionsstätte in Fremont hat eine Kapazität von 700 MW p. a., die leicht auf das Doppelte erhöht werden kann. Darüber hinaus werden neue Geschäftsmodelle (Energy on Demand 24/7 und Heat & Power) sowie viele Innovationen das neue Geschäftsjahr prägen. Klar ist, dass KI sowie die zunehmende Elektrifizierung den Energiebedarf nicht wie bisher um 0,5 Prozent pro Jahr steigen lassen werden, sondern um das Zehnfache, so CEO KR Sridhar. Der fehlende Netzausbau wird daher Inselösungen, wie Bloom sie anbietet, begünstigen.

Allein in den USA müssten 90.000 Meilen Hochspannungsleitungen gebaut werden, um die benötigte Energie zu transportieren. Im Jahr 2022 waren es in den USA gerade einmal 700 Meilen. Das Risiko von Stromausfällen und mangelnder Energieverfügbarkeit steigt damit erheblich. Dies gilt nicht nur für die USA, sondern für viele Industrienationen. Ging es bisher oft um den Preis der Energie, so geht es jetzt um die Verfügbarkeit und die Sicherheit der Versorgung, denn ein Stromausfall kann enorme Schäden verursachen.

All das spielt Bloom Energy in die Hände, sagt Sridhar. Die Nachfrage nach Inselösungen, beispielsweise bei Rechenzentren, ist enorm. Man spreche mit allen wichtigen und führenden Unternehmen der Branche. Hier geht es jetzt immer um Gigawatt und nicht mehr um Megawatt. So manches

KI-Unternehmen hat schon von seinem Energie- oder Stromlieferanten die Nachricht erhalten, dass die gewünschte Energiemenge nicht darstellbar ist. Zu diesen sogenannten Greenfield-Data-Centern, die quasi auf der grünen Wiese entstehen, kommen neu geplante Mikrochip-Produktionsstätten, Ladestationen für Nutzfahrzeuge und Logistikzentren hinzu.

Bloom setzt da auf seine schnelle Projektumsetzung („Rapid Deployment Capability“) und Flexibilität. Hier werden bis 2024 zahlreiche Aufträge erwartet. Darüber hinaus wird Abwärme aus Rechenzentren über Net-Zero-Stream und Net-Zero-Cooling als CO₂-freies Abfallprodukt für Prozesswärme genutzt. Mit diesen Lösungen kann Bloom Energieversorger unterstützen, indem Energie flexibel, sauber (50 Prozent CO₂-Reduktion), 50 Prozent günstiger und fünfmal schneller als beim Hochfahren von Gasturbinen bereitgestellt werden kann. Damit wird Bloom auch zum Partner der Energieversorger.

ALLGEMEINE ANMERKUNGEN Gegenüber verschiedenen Fachanalysten namhafter Banken hat Bloom darauf hingewiesen, dass sich einige Projekte verzögern, da potentielle Kunden oft mehr Zeit als geplant benötigen, um Flächen für Rechenzentren zu entwickeln (Genehmigungsverfahren) oder Finanzierungsfragen zu klären. Dies habe nicht direkt etwas mit Bloom zu tun, müsse aber im Zeitplan berücksichtigt werden. Außerdem werde man verstärkt auf das Zahlungsmanagement der Kunden achten. Das zweite Halbjahr werde dementsprechend deutlich robuster ausfallen als das erste, hieß es: 60 zu 40 Prozent im zweiten Halbjahr.

FANTASIE NOCH NICHT EINGEPREIST Ab 2025 wird der neue Markt für Hochtemperatur-Elektrolyseure weiteres Wachstumspotenzial generieren. Unter anderem wird bei vier der sieben geplanten Energy Hubs der Biden-Administration diese Technik zum Einsatz kommen. Da die Aussichten gut sind und Bloom die richtigen Technologien für sichere, saubere und verfügbare dezentrale Energielösungen anbietet, wird die Börse nicht umhinkommen, all dies im Aktienkurs

68



Abb. 3: Dr. Ravi Prasher
[Quelle: Bloom]

Als neuer Chief Technical Officer (CTO) konnte Dr. Ravi Prasher gewonnen werden. Dieser ist u. a. Mitglied im prestigeträchtigen Verband National Academy of Engineering. Er soll Geschäftsoportunitäten in konkrete Aufträge verwandeln. Er kommt, wie so viele Vorstände bei Bloom, von General Electric (GE), wo er 20 Jahre lang tätig war. Er sieht die Hochtemperaturbrennstoffzellen von Bloom als Gamechanger, mit denen bei der Verbrennung von Wasserstoff keine SO_x-, keine NO_x- und keine CO₂-Emissionen entstehen. Bloom könne, so Prasher, all die Probleme lösen, die viele Industrien mit ihrer Energienutzung haben. Zudem sei die Elektrolysetechnologie von Bloom die effizienteste am Markt.

zu antizipieren. So wird es auch in diesem Jahr zu einigen Großaufträgen kommen, die dann aber aufgrund der zeitlichen Abläufe erst ab 2025 über die Umsetzung in die Bilanz einfließen werden. Für Analysten ist das dann die Basis dafür, die Aktie hochzustufen – von „hold“ auf „buy“ bzw. „strong buy“. Die aktuelle Kursschwäche geht schnell wieder vorbei und ist vergessen, wenn Bloom – und das wird erwartet – in diesem Jahr entsprechende Aufträge verbuchen kann. Die Fantasie aus der Elektrolyseursparte kommt on top.

STARK GEDRÜCKTE KURSE SIND KLARE KAUFKURSE

Mit einer Börsenbewertung von nur 2 Mrd. US-\$ ist eine Unterbewertung erreicht, die Bloom sogar zu einem Übernahmekandidaten machen könnte. GE oder Siemens Energy sollten das Unternehmen genau unter die Lupe nehmen, so wie es die SK Group getan hat: Beteiligung und gemeinsame Projektentwicklung. Es wäre besser, wenn die Börse die Perspektiven richtig einschätzt und die aktuelle Unterbewertung schnell vergessen lässt. 2024 wird ein wachstumsschwächeres Übergangsjahr sein, dem aber viele Jahre mit sehr starkem Wachstum folgen werden, was sich aus vielen Aussagen der Bilanzpressekonferenz zum vierten Quartal 2023 und zum Gesamtjahr ableiten lässt. Wichtig ist vor allem, dass Bloom auf dem besten Weg ist, profitabel zu werden. Für 2024 peilte der bisherige CFO einen Non-GAAP-Gewinn von 75 bis 100 Mio. US-\$ an.

CERES POWER MIT STARKEN PARTNERN

Die Hauptgesellschafter Bosch und Weichai setzen bereits auf die englische Ceres Power und deren Hochtemperatur-Brennstoffzellensysteme bzw. deren Patente und Know-how. Mit der südkoreanischen Doosan Fuel Cell gibt es einen Lizenzvertrag und die Planung einer gemeinsamen BZ-Produktion. Nun kommt als Partner noch die US-Firma Delta Electronics hinzu, die einen Umsatz von ca. 23 Mrd. US-\$ (über 80.000 Mitarbeiter) aufweist und kürzlich mit Ceres Power einen Lizenzvertrag über die Produktion von BZ-Stacks zur Wasserstoffherzeugung im Volumen von 43 Mio. GBP abgeschlossen hat, wovon die Hälfte noch im laufenden Geschäftsjahr umsatzwirksam wird. Delta wird an seinen weltweit 200 Produktionsstätten BZ-Stacks auf Lizenzbasis für verschiedene Anwendungen und Märkte produzieren. Das Unternehmen arbeitet unter anderem für Microsoft und auch Tesla.

Für uns ist interessant zu sehen, dass auch Bloom Energy sehr erfolgreich auf Hochtemperatur-Brennstoffzellen aus eigener Entwicklung (Microgrids) setzt und damit verschiedene Energieträger wie Erdgas, Biogas und Wasserstoff nutzbar macht. Auch Bosch adressiert dieses Marktsegment – unter anderem über eine Kooperation und Lizenz von Ceres.

Der Aktienkurs von Ceres hat wie alle anderen börsennotierten BZ-Unternehmen in den letzten Jahren stark gelitten, scheint mir aber ein Kursniveau erreicht zu haben, auf dem man Positionen aufbauen sollte. Die Partnerschaften mit Großunternehmen lassen nachhaltig hohe Lizenzeinnahmen und Umsätze erwarten, ohne dass Ceres selbst stark in den Aufbau von Produktionskapazitäten investieren muss. Fazit: Eine gute Depotbeimischung im Bereich BZ- und H₂-Technologie.



Abb. 4: 1-MW- Festoxid-Elektrolyseur von Ceres Power
[Quelle: Ceres Power]

CUMMINS ENGINE – ABGASSKANDAL DURCH ZAHLUNG BEENDET

Die Aktie von Cummins Engine macht Freude: Der Kurs stieg auf ein neues Jahreshoch, nachdem das Unternehmen einen langjährigen Rechtsstreit – es ging um nicht eingehaltene Abgasnormen bei Motoren – mit einer Strafzahlung in Höhe von 1,6 Mrd. US-\$ beilegen konnte und dieses Kapitel damit abgeschlossen ist. Insgesamt kostete dieser Vergleich 2,04 Mrd. US-\$. Bezogen auf den Wert pro Aktie hätte Cummins im Jahr 2023 gut 19 US-\$ verdient, wenn man die oben genannten Kosten einbezieht. So waren es ca. 6 US-\$/Aktie.

Die Dividende bleibt auf hohem Niveau – zuletzt 1,68 US-\$ pro Aktie im Quartal. Der Umsatz stieg um zehn Prozent auf 34,1 Mrd. US-\$ im Jahr 2023 und soll auch in Zukunft weiter wachsen. Die Tochtergesellschaft Accelera, die sich auf das Geschäft rund um saubere Energie (Motoren, Batterien, Brennstoffzellen, Elektrolyse etc.) konzentriert, konnte den Umsatz auf 354 Mio. US-\$ steigern und soll im laufenden Geschäftsjahr auf 450 bis 500 Mio. US-\$ wachsen. Dieser Bereich zählt über das Programm Destination Zero zu den Zukunftsfeldern des Konzerns und erfordert erhebliche Investitionen. Daher wird dieser Bereich in diesem Jahr einen Verlust von 400 Mio. US-\$ ausweisen, der aber seine logische Grundlage in den hohen Anfangsinvestitionen hat. Immerhin konnte Accelera allein für Elektrolyseure bereits einen Auftragsbestand von 500 Mio. US-\$ aufbauen. Auch die Abspaltung der Tochter Atmus Filtration Technologies an die Aktionäre (Tauschangebot) steht kurz vor dem Abschluss. Cummins hält hier über 80 Prozent. Das Unternehmen wird mit 1,9 Mrd. US-\$ bewertet.

NEUE MOTORENENTWICKLUNG HELM™ Kurstreibend kann indes die Entwicklung einer neuen Generation von Motoren gewertet werden. Diese Aggregate, basierend auf der X15-Motorenplattform, können mit Erdgas genauso betrieben werden wie mit Wasserstoff (ab 2028) und E-Fuels. HELM™ steht für High Efficiency, Low Emission, Multiple

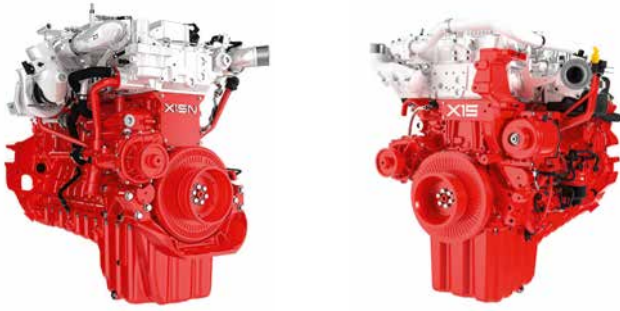


Abb. 5: X15-Motorenplattform von Cummins [Quelle: Cummins]

Fuels. Sie sollen dazu beitragen, den heutigen Dieselbedarf der Kunden deutlich zu verringern. Testläufe sind mit Walmart und UPS im Gange wie auch mit Paccar für dessen Class 8 Kenworth T680-Lkw. Cummins investiert vorerst 1 Mrd. US-\$ in dieses Projekt.

Auf dem aktuellen Kursniveau – das Unternehmen hat eine Marktkapitalisierung von ca. 39 Mrd. US-\$ – erscheint mir die aktuelle Bewertung ausreichend, wobei Cummins als Standardwert mit hoher Dividendenrendite gilt. Ich würde jetzt realisieren und eher auf den vergleichbaren Konkurrenten aus China, Weichai Power, setzen, da dieses Unternehmen nur halb so hoch bewertet ist wie Cummins und zudem besondere Fantasie in Sachen Wasserstoff und Brennstoffzelle besitzt. Cummins wird aber seinen eigenen Weg in Sachen Wasserstoff gehen. Die dafür zuständige Tochter Accelera hat ein sehr hohes Wachstumspotenzial, was sich in einigen Jahren positiv auf den Gesamtkonzern auswirken wird.

FUELCELL ENERGY – CARBON CAPTURE ALS WACHSTUMSSTORY?

FuelCell Energy hat mit SOFC-Brennstoffzellenkraftwerken eigene Kapazitäten für saubere Energie im Umfang von 62,8 MW (Vorjahr: 43,7 MW) aufgebaut. Die eigene Hochtemperatur-Brennstoffzelle dient als Basis für den Einsatz in der Elektrolyse, wo das Unternehmen großes Potenzial für sich erkannt hat. Dazu kommen diverse Forschungsprojekte, unter anderem in Kanada, und man setzt auf die eigens entwickelte Carbon-Capture-Technologie, die Emissionen vermeiden und gleichzeitig emissionsfreie Energie erzeugen soll. So weit, so gut. Unweigerlich denkt man an Konkurrenten wie Bloom Energy, Sunfire und Ceres Power (indirekt auch Weichai Power und Bosch), die ähnliche Visionen und Technologieansätze wie FuelCell Energy verfolgen.

Was das alles an Auftrags- und Umsetzungspotential hat, erschließt sich mir leider noch nicht. Die Zahlen sind bisher ernüchternd: Das erste Quartal (Fiskaljahr 31.01.24) brachte einen Verlust von 44,4 Mio. US-\$. Der Umsatz sank in dem Quartal auf 16,7 Mio. US-\$. An Liquidität mangelt es dem Unternehmen nicht: 348,4 Mio. US-\$ waren am 31. Januar 2024 auf dem Konto. Allerdings ist seit Jahren ein permanenter Kapitalabfluss zu verzeichnen, der durch ständige Aktienplatzierungen an der Börse über ein ATM-Programm gestützt wird. Projekte wie mit Exxon in Holland klingen

vielversprechend, lassen aber keine Rückschlüsse auf das Potenzial zu. In Südkorea hat der ehemalige Partner Posco über seine Tochter Korea Fuel Cells die Option auf weitere Aufträge in Ergänzung zu einem früheren Projekt verfallen lassen. Kein gutes Zeichen.

GEMEINSCHAFTSUNTERNEHMEN MIT EXXONMOBIL Auf den ersten Blick klingt es vielversprechend: FuelCell Energy und ExxonMobil haben vereinbart, in Rotterdam eine Produktionsanlage für Carbon Capture zu bauen. Dabei geht es darum, CO₂-Emissionen zu vermeiden bzw. CO₂ zu speichern und nutzbar zu machen, ohne dass ein CO₂-Fußabdruck entsteht. CCS steht für "Carbon Capture and Storage". Nach erfolgreichem Einsatz direkt in der Nachbarschaft wichtiger Industrien könne das Projekt, das auf der Technologie von FuelCell Energy aufbaut, an allen Produktionsstandorten von ExxonMobil eingesetzt werden, an denen CO₂-Emissionen anfallen. Der Prozess soll als Nebenprodukt Wärme erzeugen und die Produktion von grünem Wasserstoff ermöglichen.

Leider gibt es keinen Hinweis auf das genaue Investitionsvolumen (Invest seitens FuelCell Energy) und darauf, welches Auftragsvolumen sich daraus ableiten lässt. Jedenfalls wird das Projekt von der EU über den Emissions Trading System Innovation Fund finanziell unterstützt. ExxonMobil und FuelCell Energy arbeiten bereits seit einiger Zeit an den begleitenden Technologien, so dass dieses konkrete Projekt einen weiteren wichtigen Meilenstein darstellt.

Das Cash-Polster sichert den Aktienkurs gut ab. Die Börse wird FuelCell Energy wiederentdecken, wenn gezeigt werden kann, wie mit Technologien wie Carbon Capture und SOEC Aufträge generiert und Geld verdient werden kann. Das wird noch dauern. Zum Trading ist die Aktie immer geeignet, da gute Nachrichten hier schnell zu größeren Kursausschlägen führen.



Abb. 6: Brennstoffzellenkraftwerk von FuelCell Energy [Quelle: FuelCell Energy]

HYZON MOTORS – STARKE PATENTPOSITION



Abb. 7: Dr. Christian Mohrdieck, Chief Technology Officer von Hyzon, zeigt Janelle Arena (Kangan Institute), Finn Buchhorn (Hyzon), Chris Eager (DGE Energy Solutions) und Gavin Cribb (Kangan Institute) das Hyzon 200-kW-Brennstoffzellensystem.
[Quelle: Hyzon]

Hyzon Motors wird ab der zweiten Jahreshälfte 2024 in den USA die Produktion von 200-kW-Modulen für Nutzfahrzeuge aufnehmen. Dies sollte dann über Auftragseingänge zu einer Erholung des stark gedrückten Aktienkurses führen. Parallel dazu laufen Produktpräsentationen wie zuletzt in Melbourne (Australien) mit dem 200-kW-Hyzon-Prime-Mover im dortigen Kangan Institute Automotive Centre of Excellence. Im weiteren Jahresverlauf sind Auslieferungen in Neuseeland, Australien, Europa und den USA geplant. Dieses Brennstoffzellensystem ist gleichzeitig in vielen anderen Anwendungen und Märkten einsetzbar: Schienenfahrzeuge, Schifffahrt, stationäre Energie, Minifahrzeuge u. a. Man darf gespannt sein, welche Kunden dieser 200-kW-Single-Stack finden wird und welches Auftragspotenzial sich daraus ergibt, zumal er ein Kostenreduktionspotenzial von über 25 Prozent bietet und 30 Prozent Platz und Gewicht einspart – verglichen mit einem 110-kW-System. Ein erster großer Markt für Hyzon wird der Einsatz in Nutzfahrzeugen in Australien sein, wo das Unternehmen einen wichtigen Standort mit rund 50 Mitarbeitern unterhält.

PATENTANMELDUNGEN – KONKURRENZ ZU TOYOTA UND BOSCH Hyzon Motors hat eine Reihe von Patenten in den USA, Europa und Asien angemeldet und viele bereits erteilt bekommen. Dabei geht es vor allem um das Thema Emissionsreduktion beim Einsatz der Brennstoffzelle, aber auch um Batteriesysteme. Was das im Einzelnen bedeutet, erschließt sich mir nicht, zeigt aber, dass Hyzon sich sehr aktiv um die Absicherung von Patenten kümmert und darin eine wichtige Basis für seine BZ-Produkte und Anwendungen sowie Märkte sieht. Damit stünde man in direkter Konkurrenz zu Firmen wie Toyota und Bosch. Dies könnte – rein theoretisch – irgendwann zu Lizenzeinnahmen führen.

Noch verfügt Hyzon mit über 100 Mio. US-\$ über ausreichend Kapital, wird aber um Kapitalmaßnahmen (Ausgabe neuer Aktien oder Beteiligung eines strategischen Investors) nicht herumkommen, um das Unternehmenswachstum und den Aufbau zu finanzieren. Die Produktionsstätte in Illinois ist eigenfinanziert. Der Produktionshochlauf beginnt in der zweiten Jahreshälfte. Die Auftragseingänge für die BZ-Module sowie die Spekulation auf einen strategischen Partner oder Investor machen die Aktie von Hyzon Motors zu einer sehr interessanten Spekulation, wenngleich das Investment als hochspekulativ einzustufen ist, da es sich um ein Start-up handelt.

NIKOLA MOTORS – AUSBLICK SPRICHT FÜR DAS UNTERNEHMEN

Die Bilanzpressekonferenz vom Februar 2024 zum vierten Quartal sowie zum Gesamtjahr 2023 und vor allem der Ausblick auf das laufende Geschäftsjahr bestätigen meine sehr optimistische Einschätzung dieses Start-ups. Von den 42 gebauten TreFCEV wurden 35 im vierten Quartal ausgeliefert. Sieben befinden sich in der Erprobung bei Flottenbetreibern. Die batterieelektrischen Lkw TreEV werden nach den Problemen mit den Batterien und deren Austausch im Laufe des Jahres bis zum Ende des zweiten Quartals wieder zu ihren Käufern zurückkehren.

Nikola kann jeden gebauten TreFCEV sofort verkaufen, denn die Nachfrage ist da, aber es gibt noch nicht genügend Zulieferteile. 2024 sollen 300 bis 350 verkauft werden. Stark ist die Position bei den Gutscheinen HVIP Voucher, von denen Nikola fast alle (99 Prozent/355 von 360) für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge verkaufen kann. Wir sprechen von bis zu 408.000 US-\$ Förderung pro BZ-Lkw. Bei den BEV sind es 95 Voucher bis Ende Januar 2024.

Sich in der Anfangsphase auf Kalifornien und Kanada zu konzentrieren, ist angesichts der dortigen Förderprogramme sinnvoll. Parallel arbeitet Nikola über seine Tochter HYL A daran, wichtige Standorte (u. a. Hafenanlagen in Kalifornien wie LA oder Orlando) zunächst mithilfe von mobilen H₂-Tankstellen mit dem notwendigen Wasserstoff zu versorgen (deutlich weniger Regulierungsaufwand als bei festen Standorten), um dann je nach Erfahrung und Bedarf feste H₂-Tankstellen aufzubauen.

Hinzu kommt die Partnerschaft mit FirstElement Fuel, einem Unternehmen, das bereits an wichtigen Knotenpunkten (Häfen wie Orlando) Standorte betreibt und dort 100 bis 200 Lkw pro Tag mit dem nötigen Wasserstoff versorgt. Die Verfügbarkeit von ausreichend Wasserstoff ist laut einem Take aus der Pressekonferenz jedenfalls gegeben. Dabei sind auch die zukünftig auszuliefernden TreFCEV und deren H₂-Bedarf bereits berücksichtigt. Aktuell sind neun Standorte des eigenen HYL A-Programms neben denen von FirstElement Fuel in der Entwicklung. Insgesamt werden dort perspektivisch über 60 H₂-Tankstellen entstehen.

ALLE WICHTIGEN POSITIONEN BESETZT – MIT TOP-TALENTEN Nun ist auch der CFO-Posten neu besetzt: Thomas B. Okray ist der neue Finanzvorstand. Er kann eine beeindruckende Vita vorweisen: Okray war CFO bei Firmen



Abb. 8: IMC, das größte Seetransportunternehmen in den USA, stellte im März in Phoenix das Design seiner 50 Nikola Tre FCEV-Trucks vor [Quelle: Nikola]

wie Eaton, aber auch in leitender Funktion in der Logistiksparte (Fulfillment) bei Amazon und 14 Jahre in Toppositionen bei GM – auch hier als CFO.

Mit Jonathan Pertchik holt sich Nikola einen neuen Vorstand ins Haus, der schon als CEO bei TravelCenters of America erfolgreich tätig war. Das Unternehmen wurde von BP übernommen und zählt zu den größten Betriebshofbetreibern in den USA. Hier könnten einmal Wasserstofftankstellen von Nikola positioniert sein – vergleichbar Pilot Flying J –, wenn es zu einer Kooperation käme (eine Idee).

Ole Höfelmann wird über die Tochtergesellschaft HYLÄ Präsident von Nikola Energy. Zuvor war er für die weltweiten Infrastrukturaktivitäten des Unternehmens verantwortlich. In seiner Karriere hatte er 30 Jahre lang zahlreiche Führungspositionen bei Air Liquide inne, unter anderem als CEO von Air Liquide Spanien mit 3.000 Mitarbeitern. Außerdem war er bei Plug Power als Leiter des Bereichs Elektrolyse tätig. Darüber hinaus ist er Vorstandsmitglied verschiedener Verbände wie der California Fuel Cell Partnership.

Carla Tully vervollständigt den Vorstand. Sie hatte Führungspositionen in Fortune-150-Unternehmen inne, u. a. als Mitbegründerin von Earthrise Energy (über 1,5 GW erneuerbare Energie), war im Vorstand des Citizens for Responsible Energy Solutions Forum sowie in leitenden Positionen bei MAP Energy (2,4 Mrd. US-\$ Marktkapitalisierung) und AES Corp. Nikola kann so auf ein umfassendes Know-how in den Bereichen M&A, Private Equity und CSR zurückgreifen. Damit ist Nikola auf allen Führungspositionen bestens für die Zukunft gerüstet.

LKW IM EINSATZ – KUNDEN SEHR ZUFRIEDEN Mehrere Kundenberichte über Langstreckenfahrten mit wasserstoffbetriebenen Lkw fallen sehr positiv aus: Coyote Container fuhr vom Hafen Oakland nach Long Beach, dann nach Iowa und Ontario und zurück zum Hafen Portland – mit nur einer H₂-Tankfüllung 866 Meilen. MTA Trucks fuhr 519 km von Edmonton nach Calgary und zurück. Der Tank war am Ende der Strecke noch zu 40 Prozent gefüllt – bei minus zehn Grad. Weitere Beispiele beziehen sich auf Touren von über 1.000 Meilen an einem Tag bei voller Beladung.

SPEZIELLE FANTASIE MIT DEM BADGER? Ja, Sie lesen richtig: Ember hat 2023 von Nikola die Markenrechte (IP, Design) und Prototypen für diesen stark aussehenden SUV namens Badger erworben. Nikola hat diese Werte im Rahmen eines Equity-Swaps (Tausch über Sacheinlage) an Ember abgegeben und dafür 30 Prozent an der Firma erhalten. Es wird kein Kapital von Nikola fließen, da man sich auf den E-Lkw konzentriert. Fest steht, dass der Badger als BZ/Batterie-SUV dem Cybertruck von Tesla ernsthaft Konkurrenz machen könnte, sollte er in time auf den Markt kommen. Ob Ember und andere OEMs und Partner dieses Projekt tatsächlich umsetzen, ist aber noch unklar.

Psychologisch ist es jedoch ein starkes Zeichen, dass Nikola hier indirekt mit im Boot sitzt. Man darf gespannt sein. Denn der Badger diente einmal als Basis für eine Kooperation mit GM und sorgte für eine zweistellige Milliardenbewertung von Nikola Motors an der Börse. Damals gab es 6.000 Vorbestellungen. Betrachten Sie es einfach als nettes Nebenthema, aber es könnte sehr spannend werden, wenn es hier konkret wird und bekannte Namen wie Magna, Dana, GM und viele andere den Ball aufgreifen. Man bedenke: Auch das Design eines solchen Autos, das man ja bereits hat, kostet viel Kapital – ganz abgesehen davon, dass der Produktionsstart sehr viel Kapital erfordert, auch wenn es eventuell Firmen (OEM: Original Equipment Manufacturer) gibt, die bereits vorhandene Produktionskapazitäten sehr schnell hochfahren könnten. Dann wäre der Badger schon in wenigen Jahren auf dem Markt. Alles ist denkbar.

FAZIT Mit über 460 Mio. US-\$ an freiem Kapital (unrestricted cash) ist das Unternehmen zunächst gut aufgestellt. Kostensenkungsmaßnahmen, Optimierungen und normale Skaleneffekte in der Produktion (je mehr Lkw gebaut und verkauft werden, desto günstiger wird der Stückpreis und desto näher rückt die Gewinnschwelle) werden das Gesamtjahr prägen, wobei der Kapitaleinsatz auf Quartalsbasis deutlich sinken soll. 400 bis 450 Lkw beider Typen gelten als erstes Absatzziel für 2024, mit einer Umsatzerwartung von 150 bis 170 Mio. US-\$. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Auftragseingänge deutlich höher ausfallen können, auch wenn sie erst ab 2025 umsatzwirksam werden.

Nikola befindet sich erst in der Anlaufphase. Theoretisch könnten bei Verfügbarkeit aller Zulieferteile bereits 2.400 Lkw pro Jahr produziert werden. Was den Börsenkurs betrifft, so wiederholt sich CEO Stephen Girsky salomonisch, wenn er – sinngemäß – sagt, dass die Börse das selbst am besten bewerten wird, wenn die gemachten Prognosen eintreffen. Damit verbunden ist meine Erwartung, dass wir bald wieder Kurse von über 1 US-\$ (oder deutlich mehr) sehen werden, wenn das eintritt, was prognostiziert wird. Ein Reverse Split (Aktienzusammenlegung) als Maßnahme, um den Aktienkurs über 1 US-\$ zu heben, erübrigt sich dann natürlich. (Bei einem Kurs von unter 1 US-\$ kann es theoretisch zu einem Delisting von der NASDAQ kommen, am 7. Juli nach einer 180-Tage-Frist, die aber verlängert werden kann.)

Das Kursverhalten der Aktie wird derzeit noch von Shortsellern und Naked-short-Sellern dominiert, die massiv gegen das Unternehmen und den Aktienkurs wetten. 217,6 Millionen Aktien waren Mitte Februar leerverkauft. Dieses Short-Interesse könnte bei guten Nachrichten zu Eindeckungskäufen (im Extremfall zu einem Squeeze) führen – so meine persönliche Sicht, ohne Obligo.

Auf der anderen Seite kaufen institutionelle Investoren wie der norwegische Staatsfonds (der 10,25 Prozent an Nikola hält), Blackrock, Vanguard und andere, was als gutes Zeichen gewertet werden kann und sollte. Gegen den Firmengründer Trevor Milton hat Nikola bereits vor Gericht gewonnen und man arbeitet nun an einem Vollstreckungstitel. Immerhin geht es um 165 Mio. US-\$. Milton hält noch über 51 Mio. Aktien, die eventuell als Teilzahlung – ohne Obligo – eingezogen werden könnten.

Der Aktienkurs wird nun vor allem von den Auftragseingängen für die E-Lkw getrieben. Aus aktuell laufenden Testreihen bei Flottenbetreibern könnte – so meine Erwartung – auch so mancher Großauftrag resultieren.

Nikola ist als Start-up zu sehen. Es handelt sich um einen neuen, disruptiven Markt am Anfang eines langfristigen Trends. Bis zum Übergang in die Gewinnzone (2025/26) muss noch viel Kapital investiert werden (logische Verluste), aber die Börse wird es, wenn die Prognosen eintreffen, gerne zur Verfügung stellen und in der Aktienkursentwicklung antizipieren. Die Investmentbank Baird hat kürzlich bereits ein Kursziel von 2 US-\$ ausgerufen. Andere Investmentbanken dürften folgen. Die Volatilität der Aktie wird sehr hoch bleiben. Tagesschwankungen von fünf oder sogar über zehn Prozent sind normal. Nichts für Anleger mit schwachen Nerven.

PLUG POWER – KURSKAPRIOLLEN MIT VIELEN FRAGEN

Der Plug-Kurs fiel schnell auf unter 3 US-\$ (2,50 US-\$ im Tief) und stieg dann wieder auf über 4 US-\$. Bei einem Kurs von unter 3 US-\$ konnte man hervorragend Handelspositionen aufbauen (s. HZwei-Heft Jan. 2024). Kommt es nun zu einer Wende in der Kursentwicklung oder war das nur ein kurzes Aufflackern, bevor es weiter abwärts geht? Oder kommt es sogar zu einer Trendwende nach oben?

Da gibt es die große Chance für Plug Power, einen Kredit (Loan) im Umfang von 1,6 Mrd. US-\$ vom Department of Energy (DoE) im Rahmen des Inflation Reduction Act zu

erhalten. Dieser soll innerhalb des dritten Quartals kommen, wobei es auch Gerüchte gibt, dass er wesentlich früher bewilligt werden könnte, aber an dieser Spekulation beteilige ich mich nicht. In diesem Idealszenario verfügt Plug dann über genügend Kapital, um unter anderem mehrere Produktionsstätten wie in Tennessee und New York auf- und auszubauen und dort die Produktion aufzunehmen. Die Börse wird dies – in case – sehr positiv bewerten: mit höheren Aktienkursen.

Aber ein Kredit ist Fremdkapital, das zurückgezahlt werden muss. Wie sind die Konditionen? Wie hoch ist der Zins bzw. Kupon? Was sind die Rückzahlungsmodalitäten? Wird der Kredit sofort in voller Höhe ausgezahlt oder in Raten und mit Zieldefinitionen (Milestones)? Was macht Plug mit dem Geld? Wenn keine Klarheit darüber besteht oder der Kredit erst gar nicht bewilligt wird, dann wird die Börse „verschnupft“ bzw. enttäuscht reagieren, mit der Folge fallender Aktienkurse.

Parallel dazu läuft ein Aktienplatzierungsprogramm über nominal (ATM: at the market) 1 Mrd. US-\$. Davon sind bereits über 305 Mio. US-\$ durch die Platzierung von 77,4 Mio. Aktien auf das Konto von Plug geflossen. Dies korreliert auch positiv mit dem DoE-Kredit: Wird dieser gewährt, steigt Plugs Kurs – wenn auch eventuell nur kurzfristig – stark an, und dies ermöglicht dann die perfekte Platzierung von Aktien via ATM in den Hochlauf. Mit diesem Geld aus dem ATM kann das kurzfristige Liquiditätsproblem gelöst werden, denn der Cash-Bestand lag am 31. Dezember 2023 gerade mal bei 135 Mio. US-\$.

Hinzu kommen weitere mögliche Schwierigkeiten, denn das US-Finanzministerium definiert, wie Wasserstoff hergestellt werden muss, um die Förderung von bis zu 3 US-\$ pro kg zu erhalten. Plug setzt sehr stark auf diese Förderung, aber es sind Fragen offen: Von welchem Standort muss die regenerative Energie kommen, in welcher Menge und zu welchem Zeitpunkt? Und an welchem Standort muss die Elektrolyse stattfinden. Hier gibt es, wie in der EU, eine Reihe bürokratischer Hürden – leider.

ENTTÄUSCHENDE ZAHLEN Was sind das für Zahlen: Der Umsatz im Geschäftsjahr 2023 betrug statt der erwarteten 1,2 Mrd. US-\$ nur 891 Mio. US-\$. Der Verlust betrug sogar 1,4 Mrd. US-\$, was einem Minus von 2,30 US-\$ pro Aktie entspricht. Die Bilanzpressekonferenz im März warf mehr Fragen auf, als sie beantwortete.

So soll der Materialbestand (Inventory) über die Auslieferung von Fertigprodukten an Kunden wertmäßig um 700 Mio. US-\$ reduziert werden. Während 2023 noch 400 Mio. US-\$ in diesen Bereich investiert wurden, soll 2024 kein Kapital mehr dort hineinfließen.

Die Produktion an Standorten wie Georgia, Tennessee und Louisiana soll hochgefahren werden und zu einer Erhöhung der Gewinnmarge beitragen. An diesen Standorten ist man bereits heute in der Lage, flüssigen Wasserstoff selbst herzustellen und an Kunden zu liefern. Die Standorte Texas und New York werden erst nach der Bewilligung des DoE-Kredits weitergeführt, da sie sonst zu viel Liquidität binden.

Zudem soll es Preiserhöhungen (u. a. für H₂, Stacks und Elektrolyseure) und ein Kostensenkungsprogramm in Höhe von 75 Mio. US-\$ geben. Flüssiger Wasserstoff wird derzeit noch zugekauft, was Verluste mit sich bringt, soll aber durch selbst produzierten Wasserstoff ersetzt werden.

Nachdem Plug Power – ich berichtete ausführlich – in vielfältiger Weise Produktionsstätten in den USA und international aufgebaut und damit die Liquidität stark strapaziert

hat, soll nun das geplante Kostensenkungsprogramm in Höhe von 75 Mio. US-\$ greifen. Ob dieser Betrag ausreichen wird, darf allerdings bezweifelt werden, denn er erscheint angesichts der Liquiditätsprobleme von Plug geradezu lächerlich und kommt viel zu spät. Dass das Unternehmen an mehreren Standorten begonnen hat, flüssigen Wasserstoff zu produzieren und an Kunden wie Amazon und Walmart auszuliefern, ist erst einmal eine gute Nachricht, hat aber zunächst wenig Einfluss auf die Geschäftszahlen des Unternehmens.

Auch bei Aufträgen für Elektrolyseure kann Plug punkten, aber bis hier nennenswerte Umsätze und damit Gewinne sichtbar werden, wird es dauern. Dass sich der saudische Staatsfonds Public Investment Fund (PIF) Ende 2023 mit dem Verkauf von 5,67 Millionen Aktien komplett aus Plug zurückgezogen hat, ist kein gutes Zeichen.

FAZIT Den Worten müssen nun Taten folgen, denn zu oft wurden sehr vollmundige Prognosen abgegeben. Dass Plug für einige Projekte Partner ins Boot holt, scheint sehr wahrscheinlich. Und auch die Abspaltung (Teilverkauf) einiger Einheiten ist denkbar, wenn die Liquidität nicht zeitnah ausreichend dargestellt werden kann. Aktuell besteht allerdings kein Handlungsbedarf. Plug steht aber klar auf meiner Watchlist, da das Unternehmen zur richtigen Zeit in den richtigen Märkten aktiv ist. Wenn die finanziellen Probleme gelöst sind, es evtl. auch Veränderungen im Management, das Vertrauen verspielt hat, gibt, wird Plug seinen Weg gehen.

Über 170 Mio. leerverkaufte Aktien (Short Interest, Stand Mitte Februar) sind allerdings bedenklich, da hier massiv gegen das Unternehmen spekuliert wird oder – Stichwort Amazon und Walmart (Warrants) – eine Art Absicherung (Hedging) betrieben wird. Ohne Obligo. Immerhin wurden im Januar/Februar bereits 10 Mio. Aktien eingedeckt. Auf der anderen Seite ist es dieses Short Interest, das auch mal, über die Eindeckung, kurstreibend wirken kann (Short Squeeze), wenn gute Nachrichten gemeldet werden. Alles hat zwei Seiten.

Noch besteht aber kein Handlungsbedarf, denn nun steht erst einmal die Veröffentlichung der Zahlen für das erste Quartal an. Dass diverse Wirtschaftsmedien in Deutschland Plug Power zu den Top-Investments in Sachen Wasserstoff zählen, wundert mich allerdings. Es gibt überzeugendere H₂-Investments.

SIEMENS ENERGY – LICHT AM ENDE DES TUNNELS

Siemens Energy ist auf dem richtigen Weg, wie die jüngsten Zahlen zeigen. Zwar schreibt die Windtochter Gamesa nach wie vor Verluste, aber alle anderen Unternehmensbereiche laufen gut und sind profitabel, Tendenz steigend. Dass das auch die Börse so sieht, zeigt der Aktienkurs von zeitweise über 14 Euro. Man muss der Integration von Siemens Gamesa einfach Zeit geben. Das geht nicht in Wochen, sondern eher in ein bis zwei Jahren. Ab 2026 soll diese Einheit wieder profitabel sein und bis dahin ein Kostensenkungspotenzial von 400 Mio. Euro ermöglichen.

Gleichzeitig wächst der Markt für Offshore-Wind gerade enorm, und es werden immer mehr Synergien, z. B. mit Elektrolyseuren für die Offshore-Wasserstoffproduktion, sichtbar. Hier wächst zusammen, was zusammengehört, denn regene-

NEU IM AUFSICHTSRAT: PROF. VERONIKA GRIMM



Abb. 9: Prof. Veronika Grimm [Quelle: Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung]

Die Berufung von Prof. Veronika Grimm in den Aufsichtsrat von Siemens Energy – aus den Reihen der Wirtschaftsweisen kam Kritik wegen möglicher Interessenkonflikte – halte ich für zielführend, weil hier Kompetenz aus dem theoretischen Bereich in die Praxis eines Unternehmens einfließt. Grimm hat mit ihrer Kompetenz im Energiebereich eine besondere Stellung im Rat der Weisen, weil sie technologieoffen und pragmatisch denkt und auch dem Wasserstoff die Bedeutung zumisst, die das Supermolekül hat. Davon kann Siemens Energy profitieren. Zu Themen, die Siemens Energy direkt betreffen, wird Sie keine Stellungnahme abgeben. In Beratungsgremien wie dem Wirtschaftsrat sitzen Theoretiker.

rativ erzeugter Windstrom sollte vor Ort in Moleküle umgewandelt werden, die dann per Schiff und Pipeline zu den Verbrauchern gelangen. Ob die Onshore-Windsparte – und hier liegen die Probleme bei Gamesa – als Aktivität aufrechterhalten werden kann und soll, ist fraglich, wenn die technischen Probleme nicht nachhaltig gelöst werden können.

Siemens gliedert sich in viele Divisionen, die alle unterschiedlich schnell wachsen und zum Erfolg des Konzerns beitragen. Die Sparte Gas Services weist einen Umsatz von 10,9 Mrd. Euro bei einem operativen Gewinn von 1,033 Mrd. Euro aus. Die Sparte Grid Technologies macht 7,2 Mrd. Euro Umsatz bei 0,54 Mrd. Euro Gewinn, und Transformation of Industry hat 4,4 Mrd. Euro Umsatz bei 0,228 Mrd. Euro Gewinn. Ich mache hier ein einfaches Gedankenspiel:

Was wäre, wenn Siemens Energy eine dieser Sparten als Spin-off (Abspaltung als Unternehmensanteil) an die Börse bringen würde, so wie es der Mutterkonzern Siemens mit Siemens Energy gemacht hat? Könnten vielleicht 30 bis 40 Prozent der Gas Services an der Börse anteilig 2, 3 oder 4 Mrd. Euro wert sein und Siemens Energy diesen Gegenwert über einen Börsengang (IPO) als Kapitalzufluss zukommen lassen? Mit diesem Kapital könnte Siemens Energy dann strategische Akquisitionen aus eigener Kraft finanzieren. Es könnten neue Geschäftsmodelle entwickelt werden, um die Offshore-Wind-Sparte von Siemens Gamesa mit der Elektrolyseur-Sparte zusammenzubringen, mit dem Ziel, Offshore-Wasserstoff zu produzieren. Wäre es nicht sogar interessant, mit Partnern und Kunden selbst in die Wasserstoffproduktion einzusteigen und Hardware von Siemens Energy als Asset oder Sacheinlage in Projekte einzubringen? All dies würde Siemens Energy neue und nachhaltige Umsatzfelder eröffnen, so meine rein theoretische Überlegung.

REKORDAUFTRAGSEINGANG Die von der Bundesregierung endlich verabschiedete Kraftwerksstrategie (s. S. 28) lässt für Siemens Energy viel Fantasie aufkommen, denn so mancher Großauftrag für Gasturbinen könnte und sollte hier lan-

den, da es überhaupt nur wenige leistungsfähige Anbieter wie Siemens Energy gibt. Es ist ein gutes Zeichen, dass das erste Quartal des Geschäftsjahres 2024 mit einem Gewinn vor Sondereffekten von 208 Mio. Euro abgeschlossen werden konnte. Der um beachtliche 24 Prozent auf 15,4 Mrd. Euro gestiegene Auftragseingang im Quartal katapultierte diesen auf den Rekordwert von über 118 Mrd. Euro und lässt, wenn es so weitergeht, auch auf Jahresbasis 140 bis 150 Mrd. Euro erwarten (Schätzung).

Fazit: Kaufen und liegen lassen. Der Konzern ist als Komplettanbieter in den richtigen und vor allem wachstumsstarken Märkten der Energieerzeugung, besonders auch im Thema Wasserstoff, perfekt positioniert.



Abb. 10: Handschlag von Seifi Ghasemi, CEO von Air Products, und Bundeswirtschaftsminister Robert Habeck im November 2022 [Quelle: Air Products]

GASEHERSTELLER SIND DIE GEWINNER DES H₂-HOCHLAUFS

Die großen internationalen Gasekonzerne wie Linde, Air Liquide und Air Products sind seit jeher im Bereich Wasserstoff aktiv, bisher allerdings mit dem industriell nachgefragten „grauen“ Wasserstoff auf Erdgasbasis. Darüber hinaus ist das Wasserstoffmolekül für viele Derivate und chemische Verbindungen essentiell. Nun geht es zunehmend in Richtung grünen, also regenerativ erzeugten Wasserstoff. Und auch und gerade hier positionieren sich die drei genannten Unternehmen, indem sie weltweit sehr große Elektrolyse-Produktionskapazitäten aufbauen und strategische Allianzen in solchen Ländern eingehen, die dafür geradezu ideal sind, weil dort die Rahmenbedingungen (hohe Sonneneinstrahlung, Wind- und Wasserkraft und Wasser, vor allem Meerwasser) perfekter nicht sein könnten.

Dort wird vor allem auch auf den blauen Wasserstoff gesetzt, der über Erdgasreformierung kostengünstig hergestellt werden kann und der durch Speicherung (CCS & CCUS), aber auch durch industrielle Nutzung des Kohlenstoffs einen geringeren CO₂-Fußabdruck hat. Hinzu kommt das sehr gewichtige Argument, dass man zusätzlich von diversen Förderprogrammen profitiert, sei es in der EU oder auch in den USA mit dem Inflation Reduction Act.

An der Börse sind diese glänzenden Aussichten zum Teil schon in die Kursentwicklung und Bewertung eingeflossen, aber es gibt doch Unterschiede, die es zu nutzen gilt, denn Air Products & Chemicals hat den Run im Gegensatz zu Air Liquide und Linde noch nicht richtig mitgemacht. Daher die Empfehlung, auf den Nachzügler zu setzen:

AIR PRODUCTS & CHEMICALS Das Unternehmen setzt stark auf Wasserstoff und Ammoniak, um mit Letzterem den Langstreckenverkehr zu bedienen. In Hamburg hat man sich mit dem weltweit aktiven Mineralöl- und Chemiehandelsunternehmen Mabanaft (Tochter der Marquardt & Bahls-Gruppe, die weltweit Lagerhaltung für Mineralölprodukte aller Art,

darunter Kerosin für Flugzeuge, und ein eigenes Tankstellennetz betreibt) zusammengetan und plant mit einer Investition von über einer Milliarde Euro eine Ammoniakverarbeitungsanlage (Cracking) im Hamburger Hafen. Doch zunächst geht es um den blauen Wasserstoff, der seinen Weg nach Europa finden soll, und zwar aus Ländern wie Saudi-Arabien, wo man gemeinsam am Projekt Neom Green Hydrogen arbeitet und wo Air Products & Chemicals ein Auftragsvolumen von 6,7 Mrd. US-\$ an Land ziehen konnte.

Ein Blick auf die Charts zeigt, dass Air Products & Chemicals nicht weit von den Tiefstständen des letzten Jahres entfernt ist, während Linde und Air Liquide neue Höchststände erreicht haben. Als Gruppe werden diese Aktien ihren Weg fortsetzen, aber als Nachzügler erscheint die Aktie von Air Products & Chemicals am günstigsten bewertet. Zuletzt wurde die Quartalsdividende auf 1,77 US-\$/Akte erhöht. Erstes Kursziel: 300 US-\$.

RISIKOHINWEIS

Jeder Anleger sollte sich bei der Investition in Aktien immer seiner eigenen Risikoeinschätzung bewusst sein und auch an eine sinnvolle Risikostreuung denken. Die hier genannten BZ-Unternehmen bzw. Aktien stammen aus dem Bereich der Small- und Mid-Caps, das heißt, es handelt sich nicht um Standardwerte, und auch die Volatilität ist deutlich höher. Diese Analyse stellt keine Kaufempfehlung dar. Alle Informationen basieren auf öffentlich zugänglichen Quellen und stellen hinsichtlich der Bewertung ausschließlich die persönliche Meinung des Autors dar, wobei der Fokus auf einer mittel- bis langfristigen Bewertung und nicht auf kurzfristigen Gewinnen liegt. Die hier vorgestellten Aktien können im Besitz des Autors sein. Es handelt sich nicht um eine Anlage- oder Kaufempfehlung, sondern lediglich um eine unverbindliche persönliche Einschätzung – ohne Obligo.

Tab. 1:

| Unternehmen | Börsenbewertung | Umsatz | KGV 24 | Dividendenrendite |
|--------------|-----------------|-----------------|--------|-------------------|
| Linde | 185 Mrd. US-\$ | 36 Mrd. US-\$ | 37 | 0,9 Prozent |
| Air Liquide | 99 Mrd. US-\$ | 33 Mrd. US-\$ | 33 | 1,8 Prozent |
| Air Products | 52 Mrd. US-\$ | 12,7 Mrd. US-\$ | 24 | 3 Prozen |

Women in Green Hydrogen feiert Geburtstag

WASSERSTOFF IST WEIBLICH!

Women in Green Hydrogen wurde im November 2020 von neun Frauen aus dem Wasserstoffsektor gegründet. Mittlerweile ist das Netzwerk auf über 5.000 Mitglieder angewachsen und feiert regelmäßig Erfolge im Bereich Gender Awareness. Für das Jahr 2024 haben sich die Frauen zum Ziel gesetzt, eine eigene Geschäftsstelle aufzubauen. **Autorin: Julia Epp**



Nachdem wir uns im November 2020 – mitten in der Corona-Pandemie – zum ersten Mal auf Zoom getroffen hatten, um das Netzwerk Women in Green Hydrogen (WiGH) zu gründen, waren wir schnell von dessen Erfolg überrumpelt. In kürzester Zeit bekamen wir zahlreiche Anfragen hinsichtlich möglicher Partnerschaften und Eventkooperationen. Es gab Bedarf und eine große Offenheit dafür, sich mit den Themen Diversität, Inklusion und Geschlechtergerechtigkeit auseinanderzusetzen.

Die Zielsetzung von WiGH ist es, Frauen, die in der Wasserstoffbranche tätig sind, zu vernetzen und zu empowern. Das Netzwerk bietet Veranstaltungen zur Weiterbildung an – sowohl zur fachlichen als auch zur methodischen –, aber eben auch zum Netzwerken und zum Erfahrungsaustausch. Ein wichtiges Element von WiGH ist die Experten-Datenbank auf der Homepage. Dort sind H₂-Expertinnen aus verschiedenen Ländern und Sektoren gelistet. Mittlerweile haben sich mehr als 950 Frauen aus über 70 Ländern registriert. Vor allem unterstützt die Datenbank Veranstalter dabei, geeignete SpeakerInnen zu finden.

WiGH pflegt mittlerweile über 18 feste Partnerschaften, unter anderem mit den World Hydrogen Leaders und der Organisation der Vereinten Nationen für industrielle Entwicklung. Unsere Partner verpflichten sich dazu, künftige Veranstaltungen so zu planen, dass auf jedem Podium mindestens 30 Prozent Frauen vertreten sind. Dadurch ermöglichen wir es den Frauen in unserem Netzwerk, eine größere Sichtbarkeit zu erreichen, und natürlich unterstützen wir unsere Partner durch die Vermittlung passender Expertinnen.

Gemeinsam mit den Partnern organisieren wir auf deren Konferenzen Workshops oder Vernetzungsformate. Im nächsten Jahr werden wir dies für große Konferenzen wie die Reuters Hydrogen Conference (09. bis 10.04.2024 in Amsterdam), den World Hydrogen Congress (01. bis 02.10.2024 in Kopenhagen) und die hy-fcell (08. bis 09.10.2024 in Stuttgart) anbieten. WiGH wird zudem vermehrt in Lateinamerika auftreten, zum Beispiel auf der Conferencia Latinoamericana CE-GEN LAC im Februar in Mexico und dem 4th Hydrogen Congress for Latin America and the Caribbean im Juni in Santiago de Chile.

Auch unser Mentorinnen-Programm findet dieses Jahr zum dritten Mal statt – mit einer Rekordzahl von 180 Mentoren und Mentees. Insgesamt haben schon über 350 Frauen aus über 50 Ländern an dem WiGH-Mentorinnen-Programm teilgenommen. Es handelt sich dabei um ein Online-Programm, das Mitte 2021 ins Leben gerufen wurde. Wir möchten dadurch junge Fachleute in der Wasserstoffbranche in der Anfangsphase ihrer Laufbahn unterstützen und fördern. Wasserstoffexpertinnen aus der ganzen Welt helfen dabei, die beruflichen Fähigkeiten und Fertigkeiten der neuen Führungskräfte in diesem Sektor zu verbessern. Physische Treffen bei geeigneten Gelegenheiten werden als wertvolle Ergänzung der Mentor-Mentee-Beziehung betrachtet.

VEREINSGRÜNDUNG ALS MEILENSTEIN Im Jahr 2023 konnten wir zwei besondere Highlights feiern: Wir haben unseren ersten regionalen Hub in Lateinamerika gegründet, der aus

Verónica Chorkulak (WiGH Argentina), Nicole Gutiérrez (WiGH Colombia), Nuria Hartmann (WiGH Chile) und Maria Miller (WiGH Brazil) besteht. Auch wenn das Netzwerk von Anfang an weltweit agiert, können wir mithilfe von regionalen Hubs stärker auf die spezifischen Aktivitäten vor Ort reagieren. Wir freuen uns darüber, dass wir Frauen, die in ihren Ländern das Thema Wasserstoff und Gender Awareness vorantreiben wollen, ein Dach bieten können.

Ein zweiter großer Meilenstein war die Gründung von WiGH als Verein im Oktober 2023. Bislang hatte die Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit als unsere Anockstelle fungiert und uns, gerade in der Anfangsphase, unterstützt. Da unser Netzwerk kontinuierlich wächst, haben wir uns dazu entschieden, uns auszugründen: Schrittweise planen wir nun den Aufbau einer eigenen Geschäftsstelle, um unseren Impact und unsere Schlagkraft zu erhöhen.

Das Jahr 2024 steht damit für uns im Zeichen des strategischen und strukturellen Wandels. Der Vereinsstatus wird es uns ermöglichen, Fördermittel zu beantragen, Spenden zu verwalten und an Forschungsprojekten teilzunehmen. Er ermöglicht es uns auch, unsere professionelle Arbeitsstruktur zu stärken, Freiwilligen die Kosten zu erstatten, ein Büro zu mieten und Personal einzustellen. Die rechtliche Struktur einer NGO gewährleistet auch die Fortführung des demokratischen Austauschs und der Entscheidungsprozesse innerhalb des Teams. Da das deutsche Recht diese Vorteile und Strukturen zulässt, haben wir beschlossen, das Netzwerk in Deutschland zu registrieren. Unser Ziel ist es nach wie vor, Frauen weltweit zu vernetzen und das Netzwerk in alle Regionen der Welt auszuweiten.

Mit der neuen Struktur hoffen wir auch, unsere Ziele noch besser umzusetzen. Da unsere Arbeit bislang ausschließlich ehrenamtlich organisiert war, fehlte es häufig an Ressourcen, um auf politische Entscheidungsprozesse einzuwirken. Wir sehen es aber als unsere Aufgabe an, neben öffentlichkeitswirksamen Veranstaltungen dafür zu sorgen, dass Gender Equality im Wasserstoffsektor auch in politischen Gremien und Unternehmensvorständen gelebt wird. Zudem möchten wir stärker dazu beitragen, dass die strukturellen Gründe für Gender Inequality angegangen werden: Dazu gehören das Pipeline-Problem – der bereits geringere Anteil weiblicher Personen in MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik) –, aber auch der Gender Pay Gap. Die Herausforderungen sind also zahlreich. Umso erfreulicher ist es, dass WiGH diese Aufgaben ab sofort mit größeren Ressourcen angehen wird. •

Autorin:



Julia Epp
Mitgründerin von Women in Green Hydrogen
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
→ julia.epp@pik-potsdam.de



Wasserstoff-Brennstoffzellen
Die **Energie der Zukunft.**
Bereits heute.

Beschichten

Laminieren

Schneiden

Prägen

22.-26. April 2024 | Hannover

WIR SEHEN UNS AUF DER #HM24
Hydrogen + Fuel Cells Europe Hannover
Halle 13 - Stand D59

matthews-engineering.com



Elektrolysestrom soll in Ungarn auch aus Atomkraft kommen

H₂ FÜR DIE POSTFOSSILE ÄRA

Bereits im Mai 2021 hat Ungarn seine nationale Wasserstoffstrategie veröffentlicht. Sie soll dem Land eine Chance für die Zeit nach der Kohle eröffnen. Während der laufenden Dekade soll zuerst grauer Wasserstoff in der Industrie verwendet werden. Erst Schritt für Schritt soll er durch Wasserstoff aus Elektrolyse ersetzt werden. Solarer Wasserstoff soll auf einstigen Tagebauflächen erzeugt werden – die erste Anlage ist in Betrieb. **Autorin:** Aleksandra Fedorska



Abb. 1: Der Elektrolyseur im Energiepark Bükkkábrány produziert nicht nur solaren Wasserstoff, sondern dient auch der Forschung [Foto: Bükkkábrány Energiapark]

Das Ministerium für Innovation und Technologie, das für die Wasserstoffstrategie Ungarns verantwortlich ist, verwendet in seinem Strategiepapier durchgehend die Begriffe „kohlenstofffreier Wasserstoff“ und „kohlenstoffarmer Wasserstoff“. Der Terminus „grüner Wasserstoff“ fehlt hingegen, da in Ungarn das Kernkraftwerk Paks eine wichtige Rolle bei der Wasserstoffherstellung spielen soll. Ungarn betont wie kein anderes Land offen seinen Willen, die Kernkraft in den Mittelpunkt seiner Wasserstoffenergie zu stellen.

In der Kleinstadt Paks, gut 100 Kilometer südlich von Budapest an der Westseite der Donau gelegen, sind aktuell vier Kernreaktoren aktiv, die zusammen auf eine Leistung von 2 GW kommen. Aktuell werden an diesem Standort von dem russischen Unternehmen Rosatom zwei weitere Reaktoren gebaut. Es wird mit der Fertigstellung im Jahr 2032 gerechnet. Ihre Leistung soll 2,4 GW betragen. Das ungarische Ministerium für Innovation und Technologie sieht vor, dass die Kernkraftwerke in Paks große Mengen an kohlenstofffreiem und günstigem Strom für den Aufbau der Wasserstoffwertschöpfungskette bereitstellen.

Rund um Paks hat sich auch die Ammoniak- und Raffinerieindustrie angesiedelt. Das spricht dafür, dass in einer Wasserstoffwirtschaft Synergien zwischen den Sektoren

Strom und Mobilität entstehen könnten. Eisen- und Stahlwerke gibt es in Dunaújváros am östlichen Donauufer, außerdem Zementwerke in der Region Transdanubien westlich der Donau. Hier könnte die Dekarbonisierung ebenfalls mit der Einführung der Wasserstoffwirtschaft erfolgen.

NORDWESTEN: WASSERSTOFF STATT KOHLE Ein anderer regionaler Schwerpunkt für die Wasserstoffwirtschaft soll der Nordwesten des Landes werden. Dort soll die Dekarbonisierung des alten Kohlekraftwerks Mátra im Zentrum der Aufmerksamkeit stehen. Die Bergwerke und das Braunkohlekraftwerk werden bis 2025 in Betrieb bleiben, danach sollen nur diejenigen Unternehmen ihre Tätigkeit fortsetzen, die im Maschinenbau, im Tiefbau und in der Biomasseproduktion tätig sind.

Der Wasserstoff soll einen fairen Übergang des Kraftwerks Mátra in eine emissionsfreie Zukunft gewährleisten. Die sozialen und wirtschaftlichen Veränderungen durch den Ausstieg aus der Kohleverbrennung, die sich auf das Leben Tausender Menschen auswirken werden, sollen möglichst verantwortungsvoll und schonend ablaufen.

Anders als in Transdanubien weisen die ersten Pilotprojekte darauf hin, dass grüner Wasserstoff, der mit Solarstrom hergestellt wird, hier gute Chancen hat. Photovoltaikanlagen finden auf den ehemaligen Tagebauflächen ihre neuen Standorte.

Zu solchen Pilotprojekten gehört zum Beispiel der Energiepark Bükkkábrány. Das Projekt wird von der Universität Szeged begleitet und teilweise aus EU-Innovationsmitteln finanziert. Bereits seit 2019 wird in Bükkkábrány Solarstrom im Megawatt-Maßstab produziert. Bis Ende 2023 (Stand nach Redaktionsschluss) sollen die ersten 100 MW Photovoltaik-Leistung komplett sein. Weitere 40 MW sind für 2024 bis 2025 vorgesehen. Ein Elektrolyseur mit einer Leistung von 1 MW erzeugt dort hochreinen Wasserstoff.

Obwohl das Projekt als erste Elektrolyseanlage im kommerziellen Maßstab gilt, betont der Betreiber auf der Webseite den Pilotcharakter des Projektes: Der Elektrolyseur soll die Produktionsspitzen der benachbarten 22-MW-Solaranlage nutzen, die sich auf einem einstigen Braunkohletagebau befindet. Die Universität Szeged habe hierfür die Steuerungstechnik entwickelt und Interesse bekundet, einen Teil des grünen Wasserstoffs aus Bükkkábrány abzunehmen. •

YOUR PARTNER TO MEET THE HYDROGEN CHALLENGE

Committed to a low-carbon mobility, Bontaz designs and produces **Balance of Plant components for Fuel Cell systems**. You can integrate our products in any type of Fuel Cell to ensure high-performance hydrogen and thermal loops.

Hydrogen
valves



Coolant
valves



Drain
valves



Coolant
Particulate
Filter



CONTACT OUR TEAM TO LEARN MORE contact@bontaz.com

For 60 years, Bontaz has been developing **innovative flow control solutions** for the most demanding OEMs. Today, our products equip half of all vehicles worldwide.



ERSTE KOMMERZIELLE H₂-PRODUKTION

Ein Elektrolyseur in der Kleinstadt Napajedla im Südosten der Tschechischen Republik hat den ersten grünen Wasserstoff des Landes aus Solarstrom produziert. Die H₂-Produktionsanlage wird von Solar Global betrieben, einem führenden Akteure der tschechischen Erneuerbare-Energien-Branche. **Autorin:** Aleksandra Fedorska

Diese Wasserstoffproduktionsanlage sollte vor allem als Pionierprojekt verstanden werden, denn ihre Leistung von 230 kW ist relativ gering. Es können bis zu 246 MWh Strom pro Jahr aufgenommen werden. Der Strom stammt aus einer Photovoltaikanlage mit 611 kW Peakleistung. Ein Batteriespeicher puffert die Differenzen zwischen Erzeugung und Verbrauch. Entsprechend der tschechischen Wasserstoffstrategie wird der Wasserstoff vor allem als Treibstoff eingesetzt.

„Der so erzeugte grüne Wasserstoff kann an der Tankstelle in Napajedla nicht nur in Lkw und Busse, sondern auch in Pkw mit umweltfreundlichem Wasserstoffantrieb getankt werden“, erklärte Vítězslav Skopal, Eigentümer der Solar Global Group. Laut Solar Global kann die Anlage jährlich rund acht Tonnen grünen Wasserstoff liefern. Damit kann ein Pkw 800.000 Kilometer und ein Wasserstoffbus 80.000 Kilometer weit fahren.

GESAMTE WERTSCHÖPFUNGSKETTE ABDECKEN Die Wasserstoffherstellung soll Schritt für Schritt zu einem wichtigen Industriezweig in Tschechien entwickelt werden. Dabei stellt sich die Solar Global Group eine Entwicklung der gesamten Wertschöpfungskette vor. Neben der Herstellung von Wasserstoff will das Unternehmen perspektivisch auch Fahrzeuge betreiben, die mit Brennstoffzellen ausgestattet sind. Schließlich will sich die Solar Global Group auch in der Bereitstellung von Wasserstoff über Tankstellen engagieren. „All dies setzt natürlich den Bau weiterer notwendiger Technologien voraus, das heißt Wasserstoffverdichtung, -speicherung und -tankstellen, die die nächsten Etappen unseres Pilotprojekts darstellen“, erklärte Skopal.

Die Herstellung des ersten Kilogramms tschechischen Wasserstoffs wurde finanziell vom Staatlichen Umweltfonds der Tschechischen Republik (SEF CR) gefördert, der seit 1992 besteht. Bislang hat das Umweltministerium vier Elektrolyseure aus dem Umweltfonds finanziell unterstützt. „Zwei weitere Projekte werden derzeit geprüft“, sagte Lucie Frühlingová, Sprecherin des staatlichen Umweltfonds. Die Programme, aus denen heraus Wasserstoffprojekte gefördert werden können, werden derzeit erweitert. Die Anzahl der geförderten Projekte und die Summe der Subventionen sollen in der Zukunft steigen.

FOSSILE FIRMAN WOLLEN GRÜNEN WASSERSTOFF PRODUZIEREN Auch Orlen Unipetrol, der größte Produzent von „grauem“, fossilem Wasserstoff in der Tschechischen Republik, soll Fördermittel erhalten. Das Unternehmen, das dem polnischen Mineralölriesen Orlen gehört, will einen Elektrolyseur in Verbindung mit einem Solarkraftwerk in Litvínov installieren. Mit dem Aufbau der Anlage soll zwischen 2024 und 2025 begonnen werden, die Produktion von grünem Wasserstoff soll Ende 2028 anlaufen. Unipetrol ist aber jetzt schon klar, dass die eigene Produktion nur einen Bruchteil seines Wasserstoffbedarfs decken kann. Man denkt bereits über H₂-Importe nach.

Ein weiterer Elektrolyseur, der von dem Umweltfonds gefördert wird, gehört der Sev.en Energy Group. Das Bergbauunternehmen betreibt den einst großen Braunkohletagebau in Most, Komořany, der bald auslaufen soll, und die dazugehörigen Kohlekraftwerke. Sev.en plant einen massiven Ausbau von Solarkraftwerken mit einer Gesamtkapazität von 120 MW. Hier ist ein 17,5-MW-Elektrolyseur vorgesehen, der ab 2027 360 Tonnen grünen Wasserstoff pro Jahr produzieren soll. Die Kosten für das Wasserstoffsystem belaufen sich laut Pavel Farkač, Geschäftsführer von Sev.en, auf etwa 700 Mio. CZK, was umgerechnet 28,5 Mio. Euro entspricht, wovon ein substantieller Anteil durch die Subventionen des Umweltfonds gedeckt werden soll.

Tschechiens Regierung hat im Oktober 2023 einen Entwurf für einen Energie- und Klimaplan für die Jahre bis 2030 vorgelegt. Laut der Pressemitteilung des Umweltministeriums soll bis zum Ende des Jahrzehnts vermehrt Wasserstoff für Industrie und Mobilität eingesetzt werden. Der Plan sieht außerdem vor, keinen Braunkohlestrom mehr zu exportieren. •

▢ [Nationale Wasserstoffstrategie für Tschechien \(auf Englisch\): www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/Czech_Hydrogen_Strategy_2021.pdf](http://www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/Czech_Hydrogen_Strategy_2021.pdf)

Abb. 1: Solar Global will eine komplette Wertschöpfungskette aufbauen [Quelle: Solar Global]



FIRMENVERZEICHNIS

ANLAGENBAU



Caru Containers GmbH,
Maßgenaue Container-
Lösungen, Poststr. 7,
71063 Sindelfingen,

Tel. 07031-709070-8, Fax -9, www.caru-tech.de



H2 Core Systems GmbH,
modulare Elektrolysesysteme,
Ruesdorfer Str. 8, 25746 Heide,
sales@h2coresystems.com,
www.h2coresystems.com



HAINZL Industriesysteme GmbH, Konditionier- & Hochdrucksysteme, Prüfstandtechnik, Industriezeile 56, A-4021 Linz,
Tel. +43-732-7892-528, www.hainzl.at



Kloeckner DESMA Elastomertechnik GmbH,
Spritzgießmaschinenhersteller für Elastomerartikel, An der Baera, 78567 Fridingen,
Tel. 07463-8340, www.desma.biz

Kloeckner DESMA Elastomertechnik GmbH,
Spritzgießmaschinenhersteller für Elastomerartikel,
An der Baera, 78567 Fridingen,
Tel. 07463-8340,
www.desma.biz



Silica Verfahrenstechnik GmbH – Vom Engineering bis zur Inbetriebnahme, Wittestr. 24,

13509 Berlin, Tel. 030-43573-5, sales@silica.de, www.silica.de



XENON Automatisierungstechnik GmbH,
Montage- und

Prüfautomation, Pforzheimer Str. 16, 01189 Dresden,
Tel. 0351-40209-100, www.xenon-automation.com

ARMATUREN, REGLER, VENTILE



Bürkert Werke GmbH & Co. KG,
Fluidtechnische Systemlösungen,
Christian-Bürkert-Str. 13-17, 74653
Ingelfingen, Tel. 07940-10-0, www.buerkert.com



Buschjost GmbH – IMI Precision Engineering,

Detmolder Str. 256, 32545 Bad Oeynhausen, Tel. 05731-791-0,
www.norgren.com, hydrogen@imi-precision.com



Festo SE & Co. KG,
Automatisierung von
Produktionstechnik,

Ruiterstr. 82, 73734 Esslingen, Tel. 0711-3471185,
markus.ott@festo.com, www.festo.com



GSR Ventiltechnik GmbH & Co. KG, Im Meisenfeld 1,
32602 Vlotho,

Tel. 05228-779-0, info@ventiltechnik.de, www.ventiltechnik.de



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



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



POPPE+POTTHOFF

Poppe + Potthoff GmbH,
Verteilssysteme für BZ-Anwendungen und H₂-Motoren,
Dammstr. 17, 33824 Werther,

Tel. 05203-9166276, www.poppe-potthoff.com



VOSS Fluid GmbH,

Einbaufertige Hochdruck- und
Niederdrucktechnik, Lüdenscheider Str. 52–54,
51688 Wipperfürth, Tel. 02267-63-0, www.voss-fluid.net

BERATUNG & PLANUNG



Aengenheyster Armin Ing.-Büro IBAA, Planung, Beratung und Bau von Wasserstofftankstellen, Erkrath/Berlin Tel. 0211-91323650,
info@ibaa.de, www.ibaa.de



Axiosus Energy GmbH,

Franz-Ehrlich-Str. 12, 12489 Berlin, Tel. 030-6798-9638,
mail@axiosus.de, www.axiosus.de



cruh21 GmbH – part of Drees & Sommer, Erste Brunnenstr. 2,

PART OF DREES & SOMMER 20459 Hamburg, Tel. 040-334655360,
office@cruh21.com, www.cruh21.com



EMCEL GmbH, Ingenieurbüro für
BZ, H₂-Technologie und E-Mobilität,
Am Wassermann 28a, 50829 Köln,
Tel. 0221-292695-0,
email@emcel.com, www.emcel.com



Griesemann Gruppe,
Studien, Basic- &
Detail-Engineering,

Realisierung, Industriestr. 73, 50389 Wesseling, Tel. 02232-7080, kontakt@griesemann.com, www.griesemann.com

HAASE ENGINEERING

INGENIEURBÜRO FÜR VERFAHRENSTECHNIK

Haas Engineering GmbH & Co. KG, Reinhold-Schneider-Str. 18a, 79194 Gundelfingen, Tel. 0761-503649-0, info@haasengineering.de, www.haasengineering.de



HydroHub

HydroHub – Unternehmens-
initiative der TÜV NORD
GROUP, Munscheidstr. 14,

45886 Gelsenkirchen, Tel. 0201-8252026,
wasserstoff@hydrohub.de, hydrohub.de



CONSULTING
ENGINEERS

ILF Beratende Ingenieure GmbH,
Engineering-Kompetenz für die gesamte
Wasserstoff-Wertschöpfungskette,
hydrogen@ilf.com,
www.ilf.com/de-de/



infraseriv
höchst

Infraseriv GmbH & Co. Höchst
KG, Konzeptentwicklung,
Studien, Consulting,

Industriepark Höchst, 65926 Frankfurt am Main,
Tel. 069-30581022, www.infraseriv.com



LIFTE H2 GmbH, Wasserstoff-
projekte der nächsten Generation,
c/o The Office Group, Kronenstr. 63,
10117 Berlin, berlin@lifteh2.com, www.lifteh2.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,
Donnerschwer Str. 89/91, 26123 Oldenburg,
Tel. 0441-85051, info@planet-energie.de

Spilett New Technologies GmbH,

Schöneberger Str. 18, 10963 Berlin,
030-536796-57, www.spilett.de



white energy
energy for generations

white energy solutions
GmbH, Josef-Jägerhuber-
Str. 13, 82319 Starnberg,

Tel. 08151-9969400, www.white-energy.eu

BESCHICHTUNG



Aalberts Surface Technologies GmbH,
Seelandstr. 7, 23569 Lübeck,
Tel. 0451-39006-0,
www.aalberts.com/st

Holzapfel Metallveredelung GmbH,

Unterm Ruhestein 1, 35764 Sinn,
Tel. 02772-5008-0, Fax -55,
www.holzapfel-group.com



PVT Plasma und Vakuum Technik
GmbH, Rudolf-Diesel-Str. 7,
64625 Bensheim, Tel. 06251-85656-10,
Fax -56, h2@pvtvacuum.de,
www.pvtvacuum.de

BETANKUNGSTECHNIK



Kälte- und Systemtech-
nik GmbH, Kühlung von
Wasserstoff, Strassfeld 5,

3441 Freundorf, Österreich, Tel. +43-2274-44109,
office@kustec.at, www.kustec.at



Spir Star AG,
Auf der Rut 7, 64668 Rim-
bach-Mitlechtern,

Tel. 06253-9889-0, info@spirstar.de, www.spirstar.de



WEH GmbH Gas Techno-
logy, Josef-Henle-Str. 1,
89257 Illertissen, Tel. 07303-

95190-0, Fax -9999, h2sales@weh.com, www.weh.com

BIPOLARPLATTEN



Borit NV, Bipolarplatten und
Interconnects, Lammerdries
18e, 2440 Geel, Belgien,
Tel. +32-14-250900,

contact@borit.be, www.borit.be



Schunk Kohlenstofftechnik
GmbH, graphitische Bipolarplat-
ten für Brennstoffzellen,
bipolarplates@schunk-group.com,
www.schunk-carbontechnology.com



SITEC Industrietechnologie
GmbH, Entwicklungspartner,
Prototypen, Serienfertigung

von Bipolarplatten, info@sitec-technology.de,
www.sitec-technology.de



Whitecell Eisenhuth
GmbH & Co. KG,
Friedrich-Ebert-Str. 203,
37520 Osterode am Harz,

Tel. 05522-9067-0, Fax -44, www.eisenhuth.de

BRENNSTOFF- UND LUFT-VERSORUNG

Celeroton Celeroton AG, hochkomplexe Turbo Kompressoren, Industriestr. 22, 8604 Volketswil, Schweiz, Tel. +41-44-25052-20, info@celeroton.com, www.celeroton.com

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

BRENNSTOFFZELLEN

Cummins Cummins Inc. – Hydrogenics GmbH, Albert-Einstein-Allee 24-28, 45966 Herten, 02366-5699-300, www.cummins.com

OPTIMA Optima life science GmbH, Steinbeisweg 20, 74523 Schwäbisch Hall, Tel. 0791-506-1900, Fax -1520, www.optima-packaging.com/lifescience

SFC ENERGY SFC Energy AG, EFOY Brennstoffzellen, Eugen-Sänger-Ring 7, 85649 Brunenthal, Tel. 089-673592-555, info@sfc.com, www.sfc.com, www.efoy-pro.com

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

DICHTUNGEN

KRAIBURG Gummiwerk KRAIBURG GmbH & Co. KG, Teplitzer Str. 20, 84478 Waldkraiburg, 08638-236, hydrogen@kraiburg.de, www.kraiburg-rubber-compounds.com/h2-wasserstoff/

whitecell eisenhuth Whitecell Eisenhuth GmbH & Co. KG, Friedrich-Ebert-Str. 203, 37520 Osterode am Harz, Tel. 05522-9067-0, Fax -44, www.eisenhuth.de

ELEKTROLYSEURE

AsahiKASEI Asahi Kasei Europe GmbH, Fringsstr. 17, 40221 Düsseldorf, Tel. 0211-3399-2000, info@asahi-kasei.eu, www.asahi-kasei.eu

Cummins Cummins Inc. – Hydrogenics GmbH, Albert-Einstein-Allee 24-28, 45966 Herten, 02366-5699-300, www.cummins.com

ecolyzer by Ecoclean EcoLyzer | Ecoclean GmbH, Systemintegration, Hans-Georg-Weiss-Str. 10, 52156 Monschau, Tel. 02472-83-0, info@ecolyzer.com, www.ecolyzer.com

elogen Empowering a sustainable world Elogen GmbH, Eupener Straße 165, 50933 Köln, Tel. 0221-2919073-0, Fax -9, www.elogenh2.com

Enapter Enapter AG, Wir liefern AEM-Elektrolyseure zur Produktion von grünem Wasserstoff, Tel. +39 506 44 281 (IT), +49 2574 889 99 84 (DE), www.enapter.com

FEST FEST GmbH, Experience for future, Harzburger Str. 14, Standort Goslar (Hauptsitz), 38642 Goslar, kontakt@fest-group.de, www.fest-group.de

HOELLER Hoeller Electrolyzer GmbH, THE STACK COMPANY, The Stack Company, Alter Holzhafen 17b, 23966 Wismar, Tel. 03841-38901-0, www.hoeller-electrolyzer.com

H-TEC SYSTEMS Hydrogen is now. H-TEC SYSTEMS GmbH, PEM-Elektrolyseure industr. Anwendungen, Alois-Senefelder-Allee 1, 86153 Augsburg, Tel. 0821-507697-0, info@h-tec.com, www.h-tec.com

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

ITM POWER ITM Power GmbH, Energy Storage | Clean Fuel, ITM Power GmbH, Energy Storage – Clean Fuel, Am Mühlgraben 6, 35410 Hungen, Tel. 06402-5197321, info-itmgmbh@itm-power.com, www.itm-power.com

McPhy Driving clean energy forward McPhy Energy Deutschland GmbH, Schwartzkopff 1, 15745 Wildau, Tel. 03375-497210-0, Fax -9, www.mcphy.com

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

ostermeier ostermeier H2hydrogen SOLUTIONS GmbH, lokale H₂-Lösungen, Dieselstr. 1, 85301 Schweitenkirchen, Tel. 08444-92490-0, info@ohs.energy, www.ohs.energy

ProPuls

ProPuls GmbH, Hochdruck-
elektrolyse, Stackbau, System-
integration, Neidenburger
Str. 10, 45897 Gelsenkirchen, Tel. 0209-589094-60, Fax -99,
www.propuls.de



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



thyssenkrupp nucera AG & CO. KGaA,
Voßkuhle 38, 44141 Dortmund,
Tel. 231547-0, Fax -2334,
info-uce@thyssenkrupp.com,
www.thyssenkrupp-nucera.com

ELEKTRONIK

iEB-Industrie Elektronik Brandenburg AG,
Magistrale 13, 16244 Schorfheide OT Finowfurt,
Tel. 03335-2160-09, Fax -12,
info@iebag.de, www.iebag.de



KraftPowercon Sweden AB,
Bruksvägen 4, 445 56 Surte-
Göteborg, Schweden, Tel. +46-31-
7061970, www.kraftpowercon.com

84

Phoenix Contact,
Elektrifizierung, Vernetzung, Automatisierung,
Flachmarktstr. 8, 32825 Blomberg,
Tel. 05235-312-000, Fax -999,
www.phoenixcontact.com



plating electronic GmbH,
Gleichstromquellen, Rheinstr. 4,
79350 Sexau, Tel. 07641-93500-0,
info@plating.de, www.plating.de



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

ENERGIESPEICHERUNG



**APEX Group – Energielösungen
mit grünem Wasserstoff,**
Hans-Adam-Allee 1,
18299 Rostock-Laage, Tel. 0381-799902-0,
info@apex-energy.de, www.apex-group.de



GKN Hydrogen GmbH, Pennefeldsweg 11-15, 53177 Bonn,
Germany, www.gknhydrogen.com

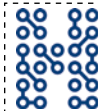
GP JOULE

GP JOULE Hydrogen GmbH,
Trust your energy, Cecilienkoog 16,
TRUST YOUR ENERGY. 25821 Reußenköge,
Tel. 04671-6074-0, Fax -199, www.gp-joule.de



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

ENGINEERING



**HydroHub – Unternehmens-
initiative der TÜV NORD
GROUP,** Munscheidstr. 14,
45886 Gelsenkirchen, Tel. 0201-8252026,
wasserstoff@hydrohub.de, hydrohub.de

SCHAEFFLER ENGINEERING

**Schaeffler Engineer-
ing GmbH,** SW- und
HW-Lösungen für
H₂-Anwendungen, Gewerbe-
str. 14, 58791 Werdohl,
Tel. 02392-809-0, www.schaeffler-engineering.com

SEGULA Technologies GmbH,
Rugbyring 12, 65428 Rüsselsheim a.M., Tel. 0151-12183180,
stephanjohannes.schnorpfeil@segulagr.com,
www.segulatechnologies.com



**Silica Verfahrenstechnik
GmbH – Vom Engineer-
ing bis zur Inbetrieb-
nahme,** Wittestr. 24,
13509 Berlin, Tel. 030-43573-5, sales@silica.de, www.silica.de

FERTIGUNGSTECHNIK



**DORST TECHNOLOGIES
GmbH & Co. KG,**
Mittenwalderstr. 61, 82431 Kochel
am See, Tel. 08851188332,
christian.schmidt@dorst.de, www.dorst-technologies.com



Gräbener Maschinentechnik GmbH & Co. KG,
Anlagen zur Fertigung metallischer Bipolarplatten für BZ
und Elektrolyse, Tel. 02737-989-0, info@graebener.com



MARTIN LOTTER Ihr Spezialist für Hochleistungswerkstoffe
Martin Lotter,
Ihr Spezialist
für Hochleis-
tungswerkstoffe, Hertinger Weg 10, 87484 Nesselwang, Tel.
08361-1353, kontakt@martin-lotter.de, www.martin-lotter.de



Matthews International GmbH,
Gutenbergstr. 1-3, 48691 Vreden,
Tel. 02564-120, vreden@saueressig.com,
[www.saueressig.com/engineering/
wasserstoff-loesungen/](http://www.saueressig.com/engineering/wasserstoff-loesungen/)



ODONICS Your-Tool GmbH, Strassfeld 10, 3441, Freundorf, Österreich, Tel. +43-2274-30601, www.your-tool.net

FORSCHUNG & ENTWICKLUNG



DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, Karl-Heine-Str. 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 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



Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hafenstr. 101, 45356 Essen, Tel. 0201-3618-0, www.gwi-essen.de



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



IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr, Carnotstr. 1, 10587 Berlin, Tel. 030-39978-0, Fax -9926, www.iav.com



Wenger Engineering GmbH, Forschungszentrum 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 BrennstoffzellenTechnik ZBT gGmbH, Carl-Benz-Str. 201, 47057 Duisburg, Tel. 0203-7598-0, Fax -2222, info@zbt.de, www.zbt.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, Por-schestr. 6, 41836 Hückelhoven, Tel. 02433-44674-0, Fax -22, www.melicon.de



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

INFRASTRUKTUR

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

KOMMUNIKATION & MARKETING



HYDROGEN MOVES — Push the Market! Wir sind Ihr unabhängiger & strategischer Wasserstoff-Berater und Marketing-Macher. Nutzen Sie eines der größten persönlichen, globalen H₂-Netzwerke!



Mission Hydrogen GmbH, Einsteinstraße 55, 89077 Ulm, Tel. 0731-790605-0, www.mission-hydrogen.de

KOMPRESSOREN



AERZEN Aerzener Maschinenfabrik GmbH, Schraubenverdichter und Gebläse für Prozessgase, Reherweg 28, 31855 Aerzen, Tel. 05154-810, processgas@aerzen.com, www.aerzen.com



Burckhardt Compression Burckhardt Compression AG, Franz-Burckhardt-Str. 5, 8404 Winterthur, Schweiz, Tel. +41-52-2625330, www.burckhardtcompression.com



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

processes' heartbeat
www.mehrer.de

Mehrer

Mehrer Compression GmbH,
Prozessgas unter

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



NEUMAN & ESSER

Neuman & Esser Group, Werkstraße o.Nr., 52531 Übach-Palenberg, Tel. 02451-481-01, Fax -100, www.neuman-esser.de



Sauer Compressors

J.P. Sauer & Sohn
Maschinenbau GmbH,
Brauner Berg 15, 24159
Kiel, Tel. 0431-3940-0,

sales@sauercompressors.de, www.sauercompressors.com

MEMBRANEN

AGC

Your Dreams, Our Challenge

AGC Chemicals Europe,
Ltd., FORBLUE™ Membrane
Technology, Commercial
Centre, World Trade Center,

Zuidplein 80, 1077 XV Amsterdam, Niederlande,
Tel. +31-20-880-4170, forblue.info@agc.com, www.agcce.com

CMC Klebetechnik GmbH,
Rudolf-Diesel-Str. 4, 67227 Frankenthal/Pfalz,
Tel. 06233-872-300, info@cmc.de, www.cmc.de

MESSDATENMANAGEMENT UND MONITORING



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

S++
SIMULATION SERVICES

S++ Simulation Services, Ralf
Kraume, Waldstr. 5, 82418 Murnau-
Westried, Tel. 08841-672147-0,
ralf.kraume@splusplus.com,
www.splusplus.com

MESS- UND REGELUNGSTECHNIK

ADZ NAGANO
Sensortechnik

ADZ NAGANO GmbH,
H₂-Drucksensorik mit
EC79-Zulassung, Berge-
ner Ring 43, 01458 Otten-
dorf-Okrilla, Tel. 035205-596930, sales@adz.de, www.adz.de



Henze-Hauck
Prozessmesstechnik /
Analytik GmbH,

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

HYDAC ELECTRONIC

HYDAC Electronic GmbH, H₂-Druckmessumformer mit
Zulassungen für explosionsgefährdete Umgebungen sowie
EC 79/2009, Hauptstr. 27, 66128 Saarbrücken,
Tel. 06897-50901, electronic@hydac.com, www.hydac.com



JUMO GmbH & Co. KG,
Ihr Partner für Sensor- und
Automatisierungslösungen
für Wasserstoffanwendun-
gen, Moritz-Juchheim-Str. 1, 36039 Fulda, www.jumo.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 Wasserstoffsensoren und Katalysatoren,
Bussardweg 12, 41468 Neuss, Tel. 02131-2090112,
Fax -6629600, www.neohysens.de

Phoenix Contact,
Elektrifizierung, Vernetzung, Automatisierung,
Flachmarktstr. 8, 32825 Blomberg,
Tel. 05235-312-000, Fax -999,
www.phoenixcontact.com



Poppe + Pothoff
Maschinenbau GmbH,
Prüfstände zum Einsatz in
Forschung und Entwicklung,
An der Helme 26, 99734 Nordhausen, Tel. 03631-46221022,
www.poppe-pothoff.com

PRIGNITZ
MIKROSYSTEMTECHNIK

Prignitz Mikrosystemtechnik
GmbH, Druck- und Tempe-
raturmesstechnik, Marga-
rethenstr. 61, 19322 Witten-
berge-Elbe, Tel. 03877-56746-15, www.prignitz-mst.de

trafag

Trafag GmbH, Zuverlässige Sen-
soren und Drucktransmitter für
Wasserstoffanwendungen,
info@trafag.de und
trafagat@trafag.com, www.trafag.de und www.trafag.at

Trigas DM

TrigasDM GmbH,
Durchflussmesser-Manufaktur
Erdinger Str. 2b,
85375 Neufahrn,
Tel. 08165-9999-300, Fax: -369, info@trigasdm.com,
www.trigasdm.com

ORGANISATION

Plattform
H2BW

Plattform H2BW c/o
e-mobil BW GmbH,
Leuschnerstr. 45, 70176 Stuttgart,
Tel. 0711-892385-0, Fax -49,
h2bw@e-mobilbw.de, www.plattform-h2bw.de

PRÜFTECHNIK



balticFuelCells GmbH, PEM- und Elektrolyse-Testzellen für F&E und QA, www.balticfuelcells.de



Greenlight Innovation Corp. Canada, Europäische Vertretung:

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



HAINZL Industriesysteme GmbH, Konditionier- & Hochdrucksysteme, Prüfstandtechnik, Industriezeile 56, A-4021 Linz, Tel. +43-732-7892-528, www.hainzl.at



JA-Gastechnology GmbH, Albrecht-Thaer-Ring 9, 30938 Burgwedel, Tel. 05139-9855-0, Fax -33, www.jag.de



MACEAS GmbH, Experten für Dichtheitsprüfung und Automatisierung, Königstr. 2, 26676 Barßel-Harkebrügge, Tel. 04497-9269-90, Fax -18, www.maceas.com



MARPOSS GmbH, Ihr Partner für Dichtheitsprüfung und Automatisierung, Mercedesstr. 10, 71384 Weinstadt, Tel. 07151-20540, marposs-mkt@de.marposs.com, www.marposs.com



Hochdrucktechnik • Prüftechnik • Hydraulik • Pneumatik
Maximator GmbH, H₂-Hochdrucktechnik, Prüftechnik, Hydraulik, Pneumatik, Dienstleistungen, Lange Str. 6, 99734 Nordhausen, Tel. 03631-9533-5040, info@maximator.de, www.maximator.de



Poppe + Potthoff Maschinenbau GmbH, Prüfstände zum Einsatz in Forschung und Entwicklung, An der Helme 26, 99734 Nordhausen, Tel. 03631-46221022, www.poppe-potthoff.com



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



SL Tech2 GmbH, H₂-Umweltsimulation, -Sicherheitsprüfungen, -Leckageprüfungen, -Druckzyklisierung, -Dienstleistungen, Hohenneuffenstr. 21, 73230 Kirchheim u. Teck, Tel. 07021-993968-0, www.sl-tech2.de



Sonplas GmbH, Sachsenring 57, 94315 Straubing, Tel. 09421-92750, www.sonplas.de



TesTneT Engineering GmbH, Eschenallee 11, 85445 Oberding und 9669 201 St, Langley City, BC V1M 3E7, Canada, Tel. 089-23710939, info@h2-test.net, www.h2-test.net



Zeltwanger, Dichtheits- und Funktionsprüfung, automatisierte Laserapplikations- und Montageanlagen, Maltschachstr. 32, 72144 Dußlingen, Tel. 07071-3663-106, e-mobility@zeltwanger.com, 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, Dornierstr. 14, 71272 Renningen, Tel. 07159-163242, Fax -2738, www.wsreformer.com

87

Maschinenbau.
Zukunft. Gestalten.



Du willst nächstes Jahr DAS Highlight der Hannover Messe werden?

Wir liefern dir das Wissen, dass du brauchst, um die Technologien von morgen zu entwickeln!

Finde deine VDI-Weiterbildung

www.vdi-wissensforum.de/maschinenbau-zukunft-gestalten



SICHERHEIT

ENVIRO CONSULT
INGENIEURBÜRO

ECI EnviroConsult Inge-
nieurbüro Dr. Lux e.K.,

Hugo-John-Str. 8, 99086 Erfurt, Tel. 0361 653 63 78,
info@lux-umweltschutz.de, www.lux-umweltschutz.de



HydroHub

HydroHub –
Unternehmensinitiative der
TÜV NORD GROUP,

Munscheidstr. 14, 45886 Gelsenkirchen, Tel. 0201-8252026,
wasserstoff@hydrohub.de, hydrohub.de



TÜV SÜD AG, Westendstr 199,
80686 München, Tel. 089-5791-0,
hydrogen@tuvsud.com,
www.tuvsud.com

SPEICHERTECHNIK

AMBARtec AG,

Lieferant von kompakten, effizienten und nachhaltigen
H₂-Speichern, Erna-Berger-Str. 17, 01097 Dresden,
Tel. 0351-30993666, www.ambartec.de

Ballonbau Wörner GmbH, flexible Gasspeicher,
Flughafenstr. 20, 86169 Augsburg,
Tel. 0821-4-50406-0, Fax -19641,
info@ballonbau.de, www.ballonbau.de



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



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



Nproxx B.V., Business Trade
Center Heerlen, Vogt 21,
6422 RK Heerlen, Niederlande, +31-45-7820564,
contact@nproxx.com, www.nproxx.com



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

STATIONÄRE SYSTEME



GKN Hydrogen GmbH, Pennefeldsweg 11-15, 53177 Bonn,
Germany, www.gknhydrogen.com



inhouse engineering GmbH,
Köpenicker Str. 325 –
Haus 41, 12555 Berlin,
Tel. 030-6576-3358, Fax -2582, www.inhouse-engineering.de

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

SYSTEMINTEGRATION



Framatome GmbH,
Paul-Gossen-Str. 100,

91052 Erlangen, Ansprechpartner: Frau Gemmer-Berkbilek,
Tel. 09131-90095221, www.framatome.com



HAINZL Industriesys-
teme GmbH, Konditio-
nier- & Hochdrucksys-

teme, Prüfstandtechnik, Industriezeile 56, A-4021 Linz,
Tel. +43-732-7892-528, www.hainzl.at

TANKSTELLEN



Driving
clean energy
Forward

McPhy Energy
Deutschland GmbH,
Schwartzkopff 1, 15745 Wildau,
Tel. 03375-497210-0, Fax -9,
www.mcphy.com

TECHNOLOGIEZENTREN

HIAT gGmbH,

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



Wasserstoff-Kompetenz-Zentrum

H2Herten,
Wasserstoff-
Kompetenz-Zentrum,
Doncaster-Platz 5,

45699 Herten, info@herten.de, www.h2herten.de

TESTSTÄNDE



AIP Automotive GmbH & Co. KG,
Hojen 30, 87490 Haldenwang,
Tel. 08374-24090,

info@aip-automotive.de, www.aip-automotive.de



Horiba FuelCon GmbH, Otto-von-Guericke-Allee 20,
39179 Barleben, Tel. 039206-964400,

info@horiba-fuelcon.com, www.horiba-fuelcon.com



MARPOSS GmbH, BZ-Prüfsysteme in
Labor- und Produktionsumgebung,
Mercedesstr. 10, 71384 Weinstadt,
Tel. 07151-20540, marposs-mkt@de.marposs,
www.marposs.com



POPPE+POTTHOFF

**Poppe + Potthoff
Maschinenbau GmbH,**
Prüfstände für Forschung
und Entwicklung,

An der Helme 26, 99734 Nordhausen, Tel. 03631-46221022,
www.poppe-potthoff.com

VERANSTALTER



electrical energy storage

ees Europe – Internationale
Fachmesse für Energiespeicher-
systeme Solar Promotion GmbH,
P.O. Box 100 170,

75101 Pforzheim, Tel. 07231-58598-0, www.ees-europe.com



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

MunichExpo Veranstaltungen GmbH,
Zamdorfer Str. 100, 81677 München,
Tel. 089-322991-14, www.emove360.com



Messe Stuttgart – hy fcell – Inter-
national Expo and Conference in
Stuttgart and worldwide,
www.hy-fcell.com/worldwide,

www.messe-stuttgart.de/hy-fcell/aussteller/hy-fcell-weltweit



HANNOVER MESSE 2024,
22.-26. April, Tobias Renz FAIR,
Berlin, Tobias Renz,
tobias@h2fc-fair.com, Tel. 030-
60984556, www.h2fc-fair.com

VEREINE & VERBÄNDE



**Deutscher Wasserstoff- &
Brennstoffzellen-Verband**
e.V., Robert-Koch-Platz 4,
10115 Berlin, Tel. 030-

62959482, @DWV_H2, h2@dwv-info.de, www.dwv-info.de

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

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

H2BZ-Initiative e.V., c/o Überlandwerk Groß-Gerau GmbH,
Friedrichstr. 45, 64521 Groß-Gerau, Tel. 06152-718260,
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



**Wasserstoff
Region
Rheinland e.V.**

**HyCologne – Wasserstoff
Region Rheinland e. V.**,
Goldenbergstr. 1, 50354 Hürth,

Tel. 02233-406123, www.hycologne.de



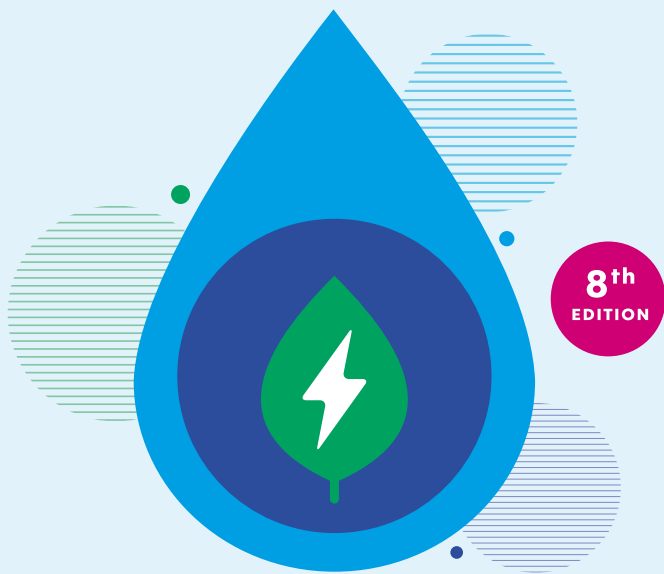
Hydrogen Power Storage & Solutions e.V.,
Am Haupttor, Bau 4310, 06237 Leuna /
Schillerstr. 5, 04109 Leipzig,
Tel. 0341-60016-20,
www.hypos-germany.de



**Industriegase-
verband e.V.**,
Französische

Str. 8, 10117 Berlin, Tel. 030-20645 8804, Fax -8805,
www.industriegaseverband.de

89



Hyvolution

A WORLD OF HYDROGEN
PARIS

JANUARY 28-30, 2025

PARIS EXPO • PORTE DE VERSAILLES • FRANCE

**BE PART OF WORLD'S
LEADING H2 EVENT**

**DO YOU WANT
TO EXHIBIT?
SCAN THE QR CODE**



PARIS.HYVOLUTION.COM



In collaboration with



NRW.Energy4Climate GmbH – Landesgesell. für Energie und Klimaschutz, Kaistr. 5, 40221 Düsseldorf, wasserstoff@energy4climate.nrw, www.energy4climate.nrw

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

WASSERSTOFF-LIEFERANT



Propan Rheingas GmbH & Co. KG, Lieferant für H₂ & H₂-Tankstellen, Fischenicher Straße 23, 50321 Brühl, Tel. 02232-7079-9142, wasserstoff@rheingas.de, www.rheingas.de

SL Schwanteland GmbH, Transport & Lagerung von Gasen, Perwenitzer Chaussee 2, 16727 Oberkrämer, Tel. 03304-3994-0, www.sl-schwanteland.de



SWF Sauerstoffwerk Friedrichshafen GmbH, Technische/Med./Spezialgase & Wasserstoff, 88045 Friedrichshafen, wasserstoff@swffn.de, www.swffn.de



Tyczka Hydrogen GmbH, Partner für die Versorgung mit grünem Wasserstoff, Blumenstr. 5, 82538 Geretsried, hydrogen@tyczka.de, www.tyczka.com/wasserstoff

WEITERBILDUNG



Dresden International University (DIU), Weiterbildung in H₂-Technologie & -wirtschaft,

Freiberger Str. 37, 01067 Dresden, Tel. 0351-4047000, www.di-uni.de



Heinze Akademie GmbH, Überseering 9, 22297 Hamburg,

Tel. 040-639029-0, wasserstoff@heinze-akademie.de, <https://bit.ly/heinze-akademie-h2>

Universität Augsburg, Anwenderzentrum Material- und Umweltforschung – AMU, Am Technologiezentrum 5, 86159 Augsburg, Tel. 0821-598-3070, www.amu.uni-augsburg.de

Weiterbildungszentrum für innovative Energietechnologien der Handwerkskammer Ulm (WBZU), Helmholtzstr. 6, 89081 Ulm, Tel. 0731-1425-7520, info@wbzu.de, www.wbzu.de

WINDENERGIE

Windpark Ellhöft GmbH & Co KG., Dorfstr. 11, 25923 Ellhöft, Tel. 04663-7299, info@reinhard-christiansen.de, www.reinhard-christiansen.de

Phoenix Contact, Elektrifizierung, Vernetzung, Automatisierung, Flachsmarktstr. 8, 32825 Blomberg, Tel. 05235-312-000, Fax -999, www.phoenixcontact.com

ZULIEFERER



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



Dr.-Ing. K. Busch GmbH, Schauinslandstr. 1, 79689 Maulburg, 07622-682-0, info@busch.de, www.buschvacuum.com

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

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



Heraeus Precious Metals GmbH & Co. KG, Heraeusstr. 12 – 14, 63450 Hanau, Tel. 06181-35-4200, www.heraeus.com/hydrogen-systems



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

Pajarito Powder, LLC, 3600 Osuna Road NE, Suite 309, Albuquerque, NM 87109-4427, USA, Tel. +1-505-2-935367, Fax -448040, www.pajaritopowder.com



Sandvik High Precision Tube, ZN der SMT D GmbH, 33824 Werther, Tel. 05203-91090, info.hpt@sandvik.com, H₂-Edelstahlrohr-Anwendungen / Tubing Solution



Siemens AG – Wir unterstützen OEMs, EPCs und Endkunden von der Planung bis zum Betrieb von Anlagen entlang der H₂-Wertschöpfungskette, www.siemens.com/h2



Sorst Streckmetall GmbH – Einsatz in OEMs und Elektrolyseuren aus Titan, Edelstahl, Nickel, Tel. 0511-67675650, info@sorst.de, www.sorst.de



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



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

TERMINE

Alle Angaben unter Vorbehalt

APRIL

Energietage 2024

16. bis 18. April 2024, Online-Veranstaltung
www.energiesdays.de

Hydrogen + Fuel Cells Europe

22. bis 26. April 2024, Hannover Messe
www.hannovermesse.de/de/

4. Technikforum Wasserstoff

23. bis 24. April 2024, Online-Veranstaltung
www.dvgw-kongress.de/veranstaltungen/gas/technikforum-wasserstoff

MAI

Innovationsforum Energie

16. bis 17. Mai 2024, Zürich Marriott Hotel
www.innovationsforum-energie.ch/event/veranstaltungsort

Powerfuel Days

24. bis 28. Mai 2024, Verkehrshaus der Schweiz
www.powerfuel.ch

Energietage 2024

15. bis 16. Mai 2024, Berlin
www.energiesdays.de

Innovationsforum Energie

16. bis 17. Mai 2024, Zürich Marriott Hotel
www.innovationsforum-energie.ch/event/veranstaltungsort

Powerfuel Days

24. bis 28. Mai 2024, Verkehrshaus der Schweiz
www.powerfuel.ch

Symposium „Das Wasser ist die Kohle der Zukunft“ Wasserstoff: Schlüsselement für die Energiewende

27. bis 28. Mai 2024, Fraunhofer-Institut IMWS
www.efds.org/event/h2-symposium/

Green Hydrogen Innovation Congress 2024

29. Mai 2024, Internationales Congress Center Dresden
www.buergerbeteiligung.sachsen.de/portal/smwa/beteiligung/themen/1036845

JUNI

Electrolysis North America

4. bis 5. Juni 2024, Toronto
www.electrolysis-northamerica.redcabin.de

Kongress der Wasserstoffantriebe 2024

12. Juni 2024, Kraftverkehr Chemnitz
www.hzwo.eu/veranstaltungen/kdw2024/

Woche des Wasserstoff

15. bis 23. Juni 2024, bundesweit
<https://www.wochedeswasserstoffs.de/mitmachen>

IMPRESSUM

HZwei

DAS MAGAZIN FÜR WASSERSTOFF UND
BRENNSTOFFZELLEN
HZwei

ISSN 1862-393X

Jahrgang 24. (2024) / Heft 2, April 2024

Verlag

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

UStID. DE 221143829

ViSdP Dipl.-Ing. Sven Geitmann

Tel./Fax +49 (0)33055 - 21322/20

E-Mail kontakt@hydrogeit.de

Internet www.hydrogeit-verlag.de, www.hydrogeit.de

Redaktion. Mitarbeit

Eva Augsten, Aleksandra Fedorska, Sven Geitmann, Sven Jösting,
Niels Hendrik Petersen, Monika Rößiger, Dr. Jens Peter Meyer

Design Henrike Hiersig & Robert Müller, NEON-BOLD.de, Berlin

Anzeigen Kathrin Lewitz, Correct Conception, Oberkrämer

Lektorat Dione Gutzmer, Berlin

Druck



Printec Offset – medienhaus, Kassel
mineralölfrei gedruckt auf Steinbeis Select Silk, her-
gestellt aus 100 % Altpapier, ausgezeichnet mit dem
Blauen Engel für den Wald-, Arten- und Klimaschutz

Druckauflage 5.000 Stück (2.700 Downloads pro Heft/Jahr)

Erscheinungsweise 4 x jährlich

Einzelpreis (Inland) 9 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 2 Euro Versand)

Jahrespreis (Inland) 35 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 7 Euro Versand)

Einzelpreis (Europa) 9 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 4 Euro Versand)

Jahrespreis (Europa) 35 Euro (inkl. MwSt. zzgl. 16 Euro Versand)

Studenten 50 % Ermäßigung

Kündigung 4 Wochen vor Ende des Bezugszeitraums

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

H₂HYDROGEIT
Verlag

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

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

Titelbild: 20 Jahre Hydrogeit Verlag

[Quelle: NEONBOLD, midjourney]

Editorial-Foto: derBildmacher, Rüdiger Tesch-Zapp



Lösungen für Wasserstoff

Aktivieren Sie mit uns die Power der neuen Energie

- Produkte, Systeme und Lösungen von der elektrischen Verbindungstechnik bis zur Cloud
- Profitieren Sie von unserer langjährigen Erfahrung und Kompetenz in der Industrialisierung von Lösungen für erneuerbare Energien
- Sicherer Anlagenbetrieb durch unsere Zertifizierungskompetenz für internationale Normen, z. B. UL, IECEx, ATEX und weitere



Mehr Informationen:
www.weidmueller.de/wasserstoff

Weidmüller 